

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



RESUMO

As paredes de tabique, uma técnica de construção tradicional, encontram-se em todo o território português, com maior incidência no norte. Verifica-se uma pronunciada variabilidade de materiais empregues, das dimensões e dos detalhes construtivos. A reconhecida necessidade atual de reabilitar este património edificado justifica a investigação desta técnica construtiva de modo a definir com rigor as intervenções de reabilitação.

Foi desenvolvido um estudo relativo às construções no centro histórico de Viseu, onde as paredes de tabique surgem como elementos de compartimentação, como elementos de fachada ou como elementos principais da estrutura. Após a seleção de amostras representativas de paredes de tabique, foram estudados os seus elementos constituintes, nomeadamente a madeira, as argamassas e os elementos de ligação. Procedeu-se a uma análise experimental das mesmas, de modo a conhecer e caracterizar as suas propriedades mecânicas. Posteriormente foram realizados ensaios de flexão em paredes de tabique à escala real. Tendo por base os resultados obtidos, propõe-se o desenvolvimento de um modelo numérico que seja capaz de simular o seu comportamento estrutural, permitindo a sua correta incorporação na modelação estrutural dos edifícios antigos. Conclui-se a importância destas construções tradicionais no comportamento global das estruturas.

ABSTRACT

“Tabique” walls, a technique of traditional construction, can be found along the Portuguese territory with the highest incidence in the north. There is a marked variability in materials used, dimensions and construction details. The recognized current need to rehabilitate this heritage structure type justifies the investigation of this construction technique to define accurately the rehabilitation interventions.

A study was conducted on the buildings in the historic centre of Viseu, where “tabique” walls appear as elements of compartmentalization, as façade elements or as main structural elements. After the selection of representative samples of “tabique” walls, we studied its constituent elements, namely wood, mortar and the connecting elements. Afterwards, an experimental analysis was performed in order to know and characterize the mechanical properties of these walls. Posteriorly were conducted bending test the "tabique" walls to real scale. Based on these results, the development of a numerical model was made and proposed, which is able to simulate the structural behaviour, allowing its correct incorporation into structural modelling of old buildings. We conclude the importance of this traditional technique in the overall behaviour of the structures.

PALAVRAS CHAVE

Ensaio experimentais

Paredes de tabique

Reabilitação

Modelação numérica

KEY WORDS

Experimental tests
“Tabique” walls
Rehabilitation
Numerical modelling

AGRADECIMENTOS

A elaboração de uma dissertação, mesmo sendo um trabalho individual, resulta de uma alargada sinergia, que consciente ou inconscientemente, permite alcançar um determinado resultado final. Assim sendo, esta dissertação não estaria completa sem exprimir o meu profundo agradecimento às individualidades que prestaram os contributos mais relevantes, de um modo particular:

Ao meu orientador, professor José Padrão, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV), do Instituto Politécnico de Viseu (IPV), sem o qual este trabalho não teria sido possível, uma vez que foi este que fomentou o interesse pelos temas tratados. Gostaria também de agradecer o apoio e disponibilidade prestado ao longo de todo o trabalho, assim como, os incentivos, a paciência e a amizade;

Ao técnico Marco Vinhanova, ao professor Marcelo Oliveira e ao professor José Salgueiro, da ESTGV, do IPV, pela disponibilidade e apoio prestado durante os ensaios de caracterização a cada um dos materiais que constituem uma parede de tabique, nomeadamente, o material de enchimento, as madeiras e os conectores metálicos, respetivamente;

Ao engenheiro Carlos Silva, da ESTGV, do IPV, pela prontidão demonstrada na disponibilização do equipamento que possibilitou os ensaios de termografia;

Ao presidente, Paulo Mendes, da ESTGV, do IPV, pela sua disponibilidade e apoio prestado ao longo da investigação;

À Sociedade de Reabilitação Urbana de Viseu, nomeadamente à arquiteta Margarida Henriques, pela cedência das paredes de tabique e das peças desenhadas, referentes ao edifício de estudo 1, localizado na rua Dr. Luís Ferreira.

À ARTSPAZIOS, nomeadamente ao arquiteto André Soares, pela cedência das paredes de tabique, de suporte fotográfico e das peças desenhadas, referentes ao edifício de estudo 2, localizado no largo António José Pereira.

Aos professores Jorge Pinto e Vítor Cunha, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), pela disponibilidade e apoio prestado durante a realização dos ensaios de flexão às paredes de tabique, assim como, pela transmissão de conhecimentos e informação relativamente ao funcionamento do programa de cálculo automático, SAP2000.

Por fim, mas não por último, à minha família e aos meus amigos, pela sua presença, apoio e paciência reveladas ao longo de todo o trabalho.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xix
ÍNDICE DE TABELAS	xxi
ABREVIATURAS E SIGLAS	xxiii
1. Introdução	1
1.1 Motivação e objetivo da dissertação	2
1.2 Estrutura da tese	4
2. Caracterização dos materiais	7
2.1 Madeira	7
2.1.1 Generalidades	7
2.1.2 Vantagens e limitações das construções de madeira	10
2.1.3 Estruturas de madeira em Portugal e no mundo	11
2.1.4 A produção de madeira em Portugal	14
2.2 Terra	16
2.2.1 Generalidades	16
2.2.2 Vantagens e limitações das construções de terra	19
2.2.3 Principais técnicas construtivas de terra em Portugal	20
2.2.4 Fatores que influenciaram a distribuição geográfica das principais técnicas tradicionais construtivas de terra em Portugal	26
2.3 Considerações finais	27
3. Tabique	31
3.1 O tabique no mundo	32
3.2 O tabique em Portugal	33
3.3 Principais características das construções de tabique	34
3.4 Função dos elementos de tabique	36
3.5 Considerações finais	37
4. Caracterização da construção de tabique existente no centro histórico de Viseu	39

4.1	Caracterização e descrição dos edifícios em estudo.....	39
4.1.1	Edifício 1 (Ed.1).....	40
4.1.2	Edifício 2 (Ed.2).....	48
4.1.3	Outros edifícios	54
4.1.4	Análise e discussão dos resultados.....	56
4.2	Estudo e caracterização experimental dos materiais	57
4.2.1	Estrutura de madeira	57
4.2.2	Material de enchimento e de revestimento	75
4.2.3	Conectores metálicos	87
4.3	Ensaio termográfico	96
4.3.1	Descrição do ensaio	96
4.3.2	Análise e discussão dos resultados.....	101
4.4	Considerações finais.....	102
5.	Avaliação da capacidade resistente de paredes de tabique	105
5.1	Descrição das paredes a ensaiar	106
5.1.1	Parede 1.....	106
5.1.2	Parede 2.....	109
5.1.3	Parede 3.....	110
5.2	Ensaio à flexão em três pontos	112
5.2.1	Preparação e realização do ensaio (Parede 1)	112
5.2.2	Preparação e realização do ensaio (Parede 2 e 3)	116
5.3	Apresentação e análise dos resultados.....	119
5.3.1	Parede 1.....	120
5.3.2	Parede 2.....	122
5.3.3	Parede 3.....	125
5.4	Considerações finais.....	127
6.	Proposta de modelação numérica de paredes de tabique	129
6.1	Modelo numérico proposto	130
6.2	Apresentação e análise dos resultados.....	132
6.3	Considerações finais.....	135
7.	Conclusões e desenvolvimentos futuros	137
7.1	Considerações finais.....	137

7.2 Desenvolvimentos futuros	139
Referências	141
Apêndice 1 – Termogramas.....	147
Apêndice 2 – Propriedades geométricas e mecânicas	149
Anexo 1 – Peças desenhadas do caso de estudo Ed.1	153
Anexo 2 – Peças desenhadas do caso de estudo Ed.2	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Estrutura de madeira da Pré-história (Martins, 2009)	8
Figura 2-2: Ponte rudimentar (Silva, 2005).....	9
Figura 2-3: Esquema de um piso de um edifício pombalino com paredes em gaiola pombalina (Martins, 2009)	13
Figura 2-4: Palheiros de madeira na Costa Nova (Martins, 2009)	13
Figura 2-5: Ocupação das espécies florestais em Portugal Continental (ICFN, 2013)	15
Figura 2-6: Distribuição geográfica das principais espécies florestais,	16
Figura 2-7: Mapa da distribuição da existência de arquiteturas de terra no mundo ao longo do tempo, (http://craterre.org/ , visualizado em [05/04/2013])	16
Figura 2-8: Representação esquemática das diferentes técnicas de construção com terra, Adaptado (Houben e Guillaud, 1989).....	17
Figura 2-9: Exemplos de construções em terra ainda existentes	18
Figura 2-10: Distribuição geográfica das principais técnicas construtivas tradicionais em terra, em Portugal Continental (Jorge et al., 2005)	21
Figura 2-11: Adobe.....	22
Figura 2-12: Taipa	24
Figura 2-13: Mapas de Portugal (Carvalho, 2009)	27
Figura 3-1: Esquema de montagem de uma parede de tabique	32
Figura 3-2: Construções de tabique no mundo	32
Figura 3-3: Construções em tabique em Portugal	33
Figura 3-4: Tabique- distribuição em Portugal Continental, Adaptado de (http://arquitecturadouro.blogspot.pt/2008/01/tnicas-de-construo-no-alto-douro-o.html)	34
Figura 3-5: Parede exterior de tabique	35
Figura 4-1: Fachada principal do edifício Ed.1	40
Figura 4-2: Construção de referência Ed.1	42
Figura 4-3: Parede de tabique com tabuado duplo	43
Figura 4-4: Ligação entre uma parede interior de tabique e o teto do andar, detalhe I.....	44
Figura 4-5: Ligação entre uma parede interior de tabique a nível superior e inferior, detalhe II	45
Figura 4-6: Viga principal	46
Figura 4-7: Conexão entre as paredes de tabique e as paredes exteriores resistentes de alvenaria de pedra, detalhe III	46
Figura 4-8: Conexão entre o prolongamento de um elemento de madeira e a parede exterior, detalhe IV	47
Figura 4-9: Ligação de canto entre duas paredes interiores	48
Figura 4-10: Presença de tábuas na diagonal junto aos cantos	48
Figura 4-11: Fachada principal do edifício Ed.2	49

Figura 4-12: Construção de referência Ed.2	51
Figura 4-13: Ligação entre uma parede interior de tabique e o teto do andar, detalhe V	53
Figura 4-14: Ligação entre a parede exterior de tabique e o pavimento do 1º andar, detalhe VI	53
Figura 4-15: Colocação de ripas na vertical para nivelar o conjunto da parede de tabique.....	54
Figura 4-16: Fachada principal do edifício	55
Figura 4-17: Parede de tabique conservada e restaurada	55
Figura 4-18: Detalhe construtivo entre duas frações de tabique, numa mesma parede, construído em épocas distintas.....	56
Figura 4-19: Paredes de tabique em estudo	58
Figura 4-20: Exemplo da estrutura de madeira de uma parede de tabique com as dimensões consideradas mais representativas	58
Figura 4-21: Secções transversais das tábuas	60
Figura 4-22: Secções transversais das ripas	61
Figura 4-23: Etapas da preparação dos provetes.....	64
Figura 4-24: Provetes com secções finais para ensaio	64
Figura 4-25: Determinação da humidade dos provetes.....	65
Figura 4-26: Ensaio de flexão estática	65
Figura 4-27: Ensaio de dureza	67
Figura 4-28: Ensaio de compressão axial	67
Figura 4-29: Influência dos furos provocados por pregos nas linhas de rotura	70
Figura 4-30: Material de enchimento recolhido ao longo do trabalho de campo	76
Figura 4-31: Ensaio de peneiração.....	79
Figura 4-32: Ensaio de sedimentação	79
Figura 4-33: Determinação do limite de liquidez	80
Figura 4-34: Determinação do limite de plasticidade	81
Figura 4-35: Método da calcinação.....	81
Figura 4-36: Ensaio do ácido	82
Figura 4-37: Pregos recolhidos durante o trabalho de campo.....	87
Figura 4-38: Esquema dos pregos	88
Figura 4-39: Equipamento utilizado no endireitar e corte das amostras de pregos	91
Figura 4-40: Equipamento utilizado no ensaio de tração.....	91
Figura 4-41: Equipamento utilizado no corte, e lixagem das amostras de pregos.....	92
Figura 4-42: Microdurómetro, SHIMADZU HMV-2000.....	92
Figura 4-43: Microscópio metalográfico de reflexão, ZEISS	93
Figura 4-44: Imagens da microestrutura da superfície das amostras dos pregos recolhidos ...	95
Figura 4-45: Câmara termográfica ThermoCAM E300.....	97
Figura 4-46: Localização geográfica dos pontos das fachadas em estudo e as respetivas coordenadas GPS (http://maps.google.com , visualizado em [07/08/2013]).....	98
Figura 4-47: Fachada principal do CE.1 e o respetivo termograma obtido	99
Figura 4-48: Termograma do pormenor da fachada principal do CE.1	99

Figura 4-49: Fachada lateral do CE.1 e o respetivo termograma obtido.....	100
Figura 4-50: Fachada principal do CE.3 e o respetivo termograma obtido.....	100
Figura 4-51: Fachada principal do CE.6 e o respetivo termograma obtido.....	101
Figura 5-1: Parede de tabique recolhida para realizar o ensaio experimental e respetivo edifício de onde foi obtida.....	107
Figura 5-2: Dimensões dos vários constituintes da parede de tabique ensaiada, Parede 1	108
Figura 5-3: Desalinhamento das emendas das ripas de uma parede de tabique	109
Figura 5-4: Parede de tabique simples.....	109
Figura 5-5: Dimensões dos vários constituintes da parede de tabique ensaiada, Parede 2	110
Figura 5-6: Parede de tabique dupla.....	110
Figura 5-7: Dimensões dos vários constituintes da parede de tabique ensaiada, Parede 3	111
Figura 5-8: Simplificações realizadas ao longo da preparação do ensaio	113
Figura 5-9: Apoio criado a meio vão durante a preparação do ensaio	113
Figura 5-10: Posição adotada para a colocação dos LVDTs (Parede 1)	114
Figura 5-11: LVDTs utilizados (Parede 1).....	115
Figura 5-12: Esboço do esquema de ensaio adotado (Parede 1)	115
Figura 5-13: Sequência do ensaio (Parede 1)	116
Figura 5-14: Posição adotada para a colocação dos LVDTs (Parede 2 e 3).....	117
Figura 5-15: LVDTs utilizados (Parede 2 e 3)	118
Figura 5-16: Esboço do esquema de ensaio adotado (Parede 2 e 3).....	118
Figura 5-17: Sequência do ensaio (Parede 2)	119
Figura 5-18: Sequência do ensaio (Parede 3)	119
Figura 5-19: Caixa de ligação dos LVDTs.....	120
Figura 5-20: Ausência de deformada após o término da aplicação da carga (Parede 1).....	121
Figura 5-21: Deformada final após o término da aplicação da carga (Parede 2)	123
Figura 5-22: Deformada final após o término da aplicação da carga (Parede 3)	125
Figura 6-1: Modelos numéricos adotados	132

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1: Ensaio de flexão estática. Conjunto de respostas Força vs Deslocamento a meio vão - Lote “Ed.1”	68
Gráfico 4-2: Ensaio de flexão estática. Conjunto de respostas Força vs Deslocamento a meio vão - Lote “Ed.2”	69
Gráfico 4-3: Ensaio de compressão axial. Conjunto de respostas Força vs Deslocamento entre placas - Lote “Ed.1”	73
Gráfico 4-4: Ensaio de compressão axial. Conjunto de respostas Força vs Deslocamento entre placas - Lote “Ed.2”	73
Gráfico 4-5: Curvas granulométricas das amostras Ed.1 e Ed.2	83
Gráfico 4-6: Determinação do limite de liquidez da amostra Ed.2	85
Gráfico 4-7: Diagrama Tensão (σ) vs Extensão (ϵ)	93
Gráfico 5-1: Força-Deslocamento dos LVDTs (Parede 1)	121
Gráfico 5-2: Deslocamento-Posição dos LVDTs (Parede 1)	122
Gráfico 5-3: Força-Deslocamento dos LVDTs (Parede 2)	123
Gráfico 5-4: Força-Deslocamento dos LVDTs (Parede 3)	126
Gráfico 6-1: Força-Deslocamento dos LVDTs, SAP2000 vs real (Parede 1)	133
Gráfico 6-2: Força-Deslocamento dos LVDTs, SAP2000 vs real (Parede 2)	134
Gráfico 6-3: Força-Deslocamento dos LVDTs, SAP2000 vs real (Parede 3)	134

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4-1: Dimensões globais das paredes de tabique presentes nos casos de estudo	59
Tabela 4-2: Dimensões médias das tábuas de madeira das paredes de tabique em estudo	60
Tabela 4-3: Dimensões médias das ripas de madeira das paredes de tabique estudadas	61
Tabela 4-4: Valores estatísticos para o ensaio de flexão estática	69
Tabela 4-5: Comparação entre valores obtidos e os de referência (flexão estática).....	70
Tabela 4-6: Módulo de Elasticidade da madeira	71
Tabela 4-7: Valores estatísticos para o ensaio de dureza, pelo método de Chalais-Meudon ...	71
Tabela 4-8: Valores estatísticos para o ensaio de dureza, pelo método de Janka.....	72
Tabela 4-9: Comparação entre valores obtidos e os de referência (dureza)	72
Tabela 4-10: Valores estatísticos para o ensaio de compressão axial	74
Tabela 4-11: Comparação entre valores obtidos e os de referência (compressão axial).....	74
Tabela 4-12: Densidade das partículas das amostras (g/cm^3).....	84
Tabela 4-13: Determinação do limite de liquidez (LL) [NP 143-1969].....	84
Tabela 4-14: Determinação do limite de plasticidade (LP) [NP 143-1969].....	85
Tabela 4-15: Plasticidade da amostra de terra da construção Ed.2	85
Tabela 4-16: Resultados do ensaio de calcinação	86
Tabela 4-17: Caracterização dos grupos das amostras de pregos.....	88
Tabela 4-18: Síntese dos valores obtidos no ensaio de tração.....	94
Tabela 4-19: Número de dureza de Vickers	94
Tabela 5-1: Campo de aplicação dos LVDTs.....	114
Tabela 5-2: Campo de aplicação dos LVDTs.....	118
Tabela 5-3: Módulo de Elasticidade da Parede 1	122
Tabela 5-4: Módulo de Elasticidade da Parede 2	124
Tabela 5-5: Módulo de Elasticidade da Parede 3	126

ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
ASTM	American Society for Testing and Material
BTC	Bloco de Terra Comprimida
EDS	Energy Dispersive Spectroscopy
ESTGV	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HV	Número de dureza Vickers
ICFN	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
INE	Instituto Nacional de Estatística
IP	Índice de Plasticidade
IPV	Instituto Politécnico de Viseu
LL	Limite de Liquidez
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LP	Limite de Plasticidade
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
NP	Norma Portuguesa
UA	Universidade de Aveiro
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação Ciência e Cultura
UTAD	Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
SAP	Structural Analysis Program
SEM	Scanning Electron Microscope
WHEAP	World Heritage Earthen Architecture Programme

1. Introdução

A utilização de recursos provenientes da natureza para a construção de abrigos foi fundamental para a sobrevivência e conseqüente evolução da espécie humana. O Homem, ao longo de todo o seu processo evolutivo, sempre recorreu à utilização de materiais provenientes da natureza, de forma a defender-se de ataques dos animais selvagens, dos seus semelhantes e inclusive das adversidades climáticas. A utilização desses mesmos recursos naturais sofreu uma evolução ao longo dos tempos, de que é testemunho a atribuição de nomes de materiais a alguns dos períodos da história da humanidade, tal como, a Idade da Pedra (de 600.00 a 14.600 a.C.), a Idade da Argila (de 14.600 a 4.500 a.C.) e a Idade dos Metais (de 4.500 a 586 a.C.) (Carvalho, 2009).

As paredes de tabique conciliam a utilização de dois materiais naturais de grandes potencialidades, e que foram muito provavelmente os primeiros materiais utilizados pelo Homem para a construção. Por um lado a madeira, um material reutilizável e que possui um reduzido impacto ambiental, aliado a uma grande versatilidade de uso, que lhe permite resistir às solicitações a que se encontra sujeito (Carvalho, 1996). Em complemento a terra, que é um material reciclável, inesgotável, ecológico e sustentável, que possui excelentes propriedades acústicas e térmicas (Cepeda, 2009).

Em Portugal, a implementação da técnica de tabique ocorreu a partir do século XVII, tendo atingido o seu expoente máximo no século XIX (Cardoso, 2013). As paredes representam o elemento de tabique mais executado. Esta técnica construtiva evidencia-se pelo funcionamento em conjunto da estrutura, ou seja, mesmo que não recebam diretamente cargas verticais, estas paredes têm um importante papel no travamento geral das estruturas, mediante a interligação entre paredes, pavimentos e coberturas, decisiva para o bom comportamento

global a nível estrutural do edifício durante a ocorrência, por exemplo, de um terremoto, dissipando a sua energia.

Durante as últimas décadas assistiu-se a um forte impulso na construção de novos edifícios. Sendo que as paredes de tabique deixaram de ser uma escolha aquando da decisão sobre o tipo de modelo estrutural e material a utilizar na construção nova, em detrimento dos novos materiais e face às atuais exigências em termos regulamentares e sociais.

Em contrapartida, ao longo dos últimos anos e de forma gradual, tem-se verificado uma alteração de mentalidades, no que diz respeito ao conceito e ao valor dado à importância do património, uma vez que permitem manter viva a história e a cultura de um determinado espaço, e além do mais, muitas delas ainda estão em perfeitas condições de funcionamento, quer estrutural, quer construtivo.

1.1 Motivação e objetivo da dissertação

As estruturas antigas materializam uma parte importante do património edificado, constituindo elementos fundamentais para a preservação da memória, da identidade cultural e história do país. A nível nacional, a crescente preocupação com a reabilitação do edificado existente, torna-se cada vez mais visível, pois esta faz parte de um dos compromissos assumidos no programa do governo.

A dinamização da reabilitação urbana é um dos compromissos assumidos no Programa do Governo, sendo considerada um objetivo estratégico e um desígnio nacional para o qual devem ser canalizados esforços consideráveis, tanto pelo Estado como pelos particulares. Neste momento, a reabilitação do edificado existente em Portugal representa apenas cerca de 6,5 % do total da atividade do sector da construção, bastante aquém da média europeia, situada nos 37 %. Existem atualmente cerca de dois milhões de fogos a necessitar de recuperação, ou seja, 34 % do parque habitacional nacional.

Despacho n.º 14574/2012

A intervenção necessária para a reabilitação destas estruturas nem sempre tem sido consensual. No caso particular das paredes de tabique, a sua remoção e substituição por outro tipo de elemento construtivo e estrutural tem sido prática comum, em vez da sua reabilitação, consequência, por um lado, da falta de conhecimento acerca dos materiais e das técnicas tradicionais, e por outro, das dificuldades relacionadas com a inexistência de regulamentação atual. A regulamentação técnica da construção portuguesa está especialmente orientada para a construção nova. Como tal, verificando-se agora uma reorientação da atividade da construção,

no sentido de privilegiar a reabilitação do parque edificado existente, importa conhecer melhor em que medida essa regulamentação técnica se adequa ou não à nova prioridade de política pública.

O património edificado dos grandes centros urbanos encontra-se bastante envelhecido. De acordo com os resultados dos Censos 2011, ao longo da última década manteve-se a tendência de um forte crescimento do parque habitacional. No entanto, e embora a reabilitação tenha evidenciado um maior dinamismo em Portugal com o agudizar da crise, o nosso país ainda está aquém da Europa. Apesar destas perspetivas, a reabilitação tem vindo a crescer de forma ténue nos últimos tempos, em todo o país. Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), de 2001 a 2011 a representatividade das obras de reabilitação sobre a construção nova dos edifícios de habitação familiar foi de 21,6%, atingindo o seu valor máximo de 28,5% em 2011.

Ao longo das últimas décadas, esta filosofia de constante construção de novos edifícios, tem tido implicações diretas na sociedade, pois não são criadas condições para fixar as pessoas nos centros urbanos, levando as populações a viver cada vez mais longe dos centros históricos das cidades. Como resultado desse abandono, é possível encontrar muitos desses edifícios devolutos e com um elevado estado de degradação, contribuindo para a criação de zonas pouco atrativas.

No entanto, este fenómeno está num ponto de viragem, pois ao longo dos últimos tempos tem-se verificado uma crescente preocupação na valorização do património edificado, passando de um simples interesse pelos monumentos, ao seu enquadramento no contexto em que estão inseridos, privilegiando assim uma conservação integrada do edificado, alargando o conceito de património ao contexto dos monumentos, das aldeias, dos centros e das cidades históricas. Como consequência, existe a necessidade de efetuar uma correta avaliação do património existente, de modo a adequar a intervenção a executar. O problema da reabilitação deste tipo de edifícios está associado ao grande desconhecimento sobre as suas potencialidades, pois a construção foi feita recorrendo a metodologias baseadas na experiência adquirida pelos trabalhadores. Como tal, os preceitos estabelecidos na construção atual não são compatíveis com os praticados aquando da construção dessas estruturas.

Tendo por base a expressiva representatividade desta técnica construtiva na região de Viseu, aliado à reconhecida necessidade de reabilitar este património edificado, surge este trabalho de investigação. Este tem como objetivo contribuir para um aprofundamento do conhecimento da técnica construtiva de tabique, servindo como auxílio em futuras intervenções no património edificado. Nomeadamente no que se refere ao conhecimento dos aspetos construtivos mais relevantes, e ao conhecimento das propriedades de cada um dos materiais utilizados. Em complemento realizou-se o estudo do comportamento real de três paredes de

tabique quando solicitadas segundo uma carga a meio vão, transversal às ripas. Propõe-se ainda um modelo numérico que traduza esse comportamento.

1.2 Estrutura da tese

Esta dissertação de mestrado, para além deste capítulo introdutório, desenvolve-se em mais 7 capítulos, e dada a extensão de informação, em mais 2 apêndices e 2 anexos. Em seguida descreve-se de forma sucinta o conteúdo de cada um.

No capítulo 2 é apresentada uma breve descrição sobre os principais materiais utilizados na construção de tabique, nomeadamente, a madeira e a terra, de forma separada. Apresentam-se as suas principais aplicações construtivas e as vantagens e desvantagens que estes materiais possuem para essas aplicações.

Após a abordagem individual dada a cada um dos materiais, é no capítulo 3 que se procede ao culminar do estado da arte. É neste capítulo que se procede a um enquadramento de algumas noções básicas, que permitirão compreender melhor os capítulos subsequentes, explicando o que é o tabique, qual a sua origem, a sua expressividade no mundo e em particular em Portugal, bem como as respetivas aplicações.

No capítulo 4 descreve-se o trabalho efetuado nas construções de tabique estudadas, situadas no centro histórico de Viseu. Este capítulo divide-se em 3 grandes subcapítulos. Inicialmente efetua-se a caracterização e descrição dos edifícios em estudo, e apresenta-se os pormenores construtivos encontrados mais significativos. São apresentados os resultados do estudo, nomeadamente a caracterização experimental efetuada a cada um dos materiais, a saber: à estrutura resistente (madeira), ao material de enchimento e de revestimento (terra) e aos conectores metálicos de ligação (pregos). Por último é ainda apresentada a aplicação do ensaio da termografia a paredes de tabique. Este subcapítulo é independente do restante trabalho, uma vez que se pretende demonstrar algumas das vantagens que este método possui quando aplicado a estruturas de tabique.

No capítulo 5 são expostos os resultados do ensaio laboratorial de flexão em três pontos, realizados a três paredes de tabique à escala real. Estes resultados permitiram aprofundar o conhecimento acerca do comportamento de uma parede de tabique quando sujeita a uma carga a meio vão, transversal às ripas. Este ensaio possui uma enorme relevância pois permitiu avaliar e validar os resultados numéricos do estudo das paredes de tabique abordados no capítulo seguinte.

No capítulo 6 é apresentado um modelo de cálculo numérico, cuja validação se baseia nos resultados obtidos no ensaio experimental realizado à flexão em três pontos, descrito no capítulo anterior.

Por último, no capítulo 7 apresentam-se as principais conclusões obtidas no decurso do trabalho desenvolvido, assim como as propostas para futuros desenvolvimentos.

No Apêndice 1 podem ser consultados os restantes resultados obtidos durante o ensaio de termografia, complementares ao capítulo 4.

No Apêndice 2 podem ser consultadas as tabelas referentes às propriedades geométricas e mecânicas de cada uma das secções dos elementos considerados nos modelos numéricos das Paredes 1, 2 e 3.

No Anexo 1 podem ser consultadas as peças desenhadas referentes ao edifício em estudo, Ed.1.

No Anexo 2 podem ser consultadas as peças desenhadas referentes ao edifício em estudo, Ed.2.

2. Caracterização dos materiais

Neste capítulo, será efetuada uma descrição e caracterização dos materiais utilizados na construção de paredes de tabique. A madeira, que confere resistência à estrutura, e a argamassa terrosa que, como material de enchimento preenche os vazios deixados na estrutura reticulada de madeira. A apresentação dos materiais, madeira e argamassa terrosa, efetuar-se-á de forma separada.

Salienta-se que se pretende fazer uma alusão generalizada e não exaustiva sobre os materiais aplicados na construção das paredes de tabique. Como tal, proceder-se-á a um enquadramento a nível mundial, situando as construções de referência no mundo, de forma a fazer uma abordagem do ponto de vista histórico. Apresentam-se também as principais vantagens e limitações que estão implícitas à aplicação destes materiais na construção.

2.1 Madeira

2.1.1 Generalidades

A madeira enquanto material de construção pode ser considerada como um dos materiais mais antigos utilizados pelo Homem. Em conjunto com a terra, a madeira será muito possivelmente o primeiro material de construção, acompanhando o desenvolvimento do Homem ao longo do tempo (Martins, 2009).

Segundo Martins (2009), os achados de madeira mais antigos remetem para aproximadamente 200 a 250 mil anos, sendo que os vestígios existentes são em reduzido número, permitindo concluir que a grande maioria dos objetos não resistiram até aos dias de hoje. A existência de

extensos períodos de guerra e a ocorrência de incêndios, aliado aos fatores de degradação da madeira levou a que se extinguisse uma boa parte do património existente, ficando apenas os elementos em pedra.

A sua abundância aliada às suas características, fez da madeira um material presente nas mais diversas aplicações, a nível estrutural, aplicado em utensílios e ferramentas diárias e até como elemento decorativo. A sua permanência como matéria-prima de preferência é facilmente compreensível quando se salienta as inúmeras espécies de madeiras existentes, em conjunto com o tamanho, formas e cores, que são capazes de saciar basicamente qualquer necessidade ou gosto (Cachim, 2007).

A madeira desempenhou um papel de grande preponderância para o Homem, ao proporcionar-lhe o abandono das cavernas, para habitar outros sítios mais favoráveis. As primeiras construções realizadas com madeira, não seriam mais do que simples cabanas, muito provavelmente constituídas somente por dois paus cravados no solo e ligados entre si no topo superior e revestidos por tiras de peles de animais ou por uma mistura de folhas e argila (Figura 2-1). Com os meios de elevação em desenvolvimento e também através da força dos braços, já na Pré-História, eram utilizados pilares e vigas de madeira na construção de abrigos e habitações (Martins, 2009).



Figura 2-1: Estrutura de madeira da Pré-história (Martins, 2009)

Aquando das suas primeiras utilizações, a madeira, mais especificamente ramos de árvores sem qualquer tipo de ajuste, eram utilizados para caçar ou como defesa contra animais selvagens. Posteriormente, ao alcançar o domínio dos metais, o Homem foi capaz de desenvolver ferramentas que possibilitaram o corte da madeira, alargando a utilização a árvores de maiores dimensões.

Diversos são os exemplos de civilizações que ao longo dos tempos empregaram o uso da madeira nas mais diversas, multifacetadas e otimizadas aplicações, tais como a civilização egípcia, romana e grega (Martins, 2009). No entanto, é necessário ressaltar que a utilização da madeira sempre foi muito variada, dependendo de cada civilização, ao adaptar as suas necessidades de acordo com a disponibilidade existente. A diversidade arbórea, o clima de cada local, a topografia do terreno, e os desastres naturais, eram determinantes nas distintas

utilizações do material. A madeira era usada no seu estado puro ou através da junção combinada com outros elementos como a argila, a palha, a pedra ou o ferro. Com o decorrer dos tempos e através das vivências entre diferentes civilizações, devido às migrações ou mesmo através da expansão marítima, adveio uma partilha de conhecimentos.

A madeira, de acordo com as diferentes zonas do mundo, possui aplicações bastante distintas. Exemplo disso são as diferentes aplicações dadas à madeira nas civilizações do Extremo Oriente comparativamente com os Países Escandinavos. Por exemplo, no Extremo Oriente a arquitetura das construções é bastante leve de modo a ter um melhor comportamento aos sismos frequentes, enquanto nos Países Escandinavos as construções possuem paredes de espessura elevada, capazes de reduzir a condutibilidade térmica das paredes, protegendo e isolando do frio.

A necessidade de tornar fácil o acesso a qualquer lugar, desde há muito tempo, obrigou o Homem a construir pontes. As primeiras não passariam de passadiços primitivos de madeira, constituídos somente por troncos de árvores que funcionavam como vigas (Figura 2-2) (Cachim, 2007). A primeira ponte de que existe registo, foi sobre o rio Tibre, ligando Roma à via Etrúria (Rodrigues, 2006). Com o evoluir da técnica, a madeira, junto com a alvenaria de pedra, constituíram os elementos estruturais principais de uma ponte durante muitos anos, de forma separada ou numa estrutura mista, com pilares de pedra e tabuleiros de madeira.



Figura 2-2: Ponte rudimentar (Silva, 2005)

Um dos maiores avanços tecnológicos que se seguiu ao aparecimento das ferramentas para trabalhar as madeiras e que revolucionou completamente a construção em madeira, foi o aparecimento da madeira lamelada colada, aquando da revolução industrial (Cachim, 2007). Esta inovação teve o seu início no século XIX e traduziu um ponto de viragem, nomeadamente ao possibilitar a minimização dos defeitos existentes, o aumento dos vãos, e a modelação de qualquer forma à madeira, algo que até aí era impensável numa madeira de secção maciça (Cachim, 2007). Outra das vantagens alcançadas nos processos inovadores de industrialização foi a pré-fabricação de casas de madeira, proporcionando uma redução nos prazos de execução, aumentando assim o número de construções de madeira (Martins, 2009).

2.1.2 Vantagens e limitações das construções de madeira

Das atividades humanas, a construção civil é uma das que mais gera impacto negativo no meio ambiente, produzindo resíduos em todas as suas fases, desde a extração das matérias-primas, até ao final da vida útil da construção. Além disso, segundo Alexandria (2006), esta atividade é responsável por consumir até 50 % dos recursos naturais (madeira, metais, areia, pedras, entre outros), dependendo da tecnologia de construção. De tal forma que, cada vez mais é inculcido a todos os intervenientes na área da construção, uma maior consciencialização nas opções adotadas (Carvalho, 2009).

Atualmente a utilização de madeira como elemento estrutural nas construções portuguesas é bastante limitada. Restringe-se basicamente à construção de pavimentos e coberturas e, por vezes, ao reforço de estruturas de alvenaria (Cachim, 2007). Tendo em consideração as propriedades únicas que a madeira exhibe, não é clara a razão que se encontra subjacente à opção de construir recorrendo sobretudo ao betão armado e a estruturas metálicas, em detrimento da madeira, uma vez que em algumas situações esta seria, aparentemente, bastante competitiva em relação a esses materiais.

No entanto, e como qualquer outro material, a madeira apresenta vantagens e desvantagens. De modo a proceder-se à sua correta caracterização, no contexto da sua aplicação na construção, é necessário salientar as vantagens e limitações que a mesma apresenta.

As principais vantagens da aplicação de madeira, no contexto da construção, encontram-se enumeradas nos seguintes tópicos:

- Matéria-prima de origem natural, renovável, abundante na natureza e com uma alta taxa de sustentabilidade;
- Baixo custo de produção;
- Material não tóxico e inerte, sendo portanto, seguro de manusear;
- Material ecológico, sendo facilmente reaproveitada e reutilizada;
- Fácil de trabalhar e com grande versatilidade de uso, o que permite criatividade de escolha nas soluções a adotar;
- Requer pouco tempo para a execução de uma obra;
- Elevada resistência em relação à sua baixa massa específica, ideal para grandes vãos. É um material que tanto é capaz de resistir a esforços de compressão como de tração;
- Bom desempenho em relação à ação do fogo;
- Material durável;
- Bom desempenho em termos de isolamento térmico, acústico e elétrico. Não interfere com os dispositivos “sem-fios”;
- Beleza arquitetónica.

Por outro lado, as principais limitações da aplicação de madeira, no contexto da construção, são:

- Material que dispõe de uma grande variabilidade, possuindo uma enorme heterogeneidade e anisotropia;
- A resistência e as variações de dimensões, são influenciadas nas três direções principais, isto é, na direção axial, radial e tangencial;
- Material muito sensível ao ambiente, sofrendo variações de dimensões de acordo com a humidade;
- Vulnerável ao ataque de agentes agressivos externos;
- Material combustível;
- No seu meio natural, possui dimensões limitadas, ou seja, formas alongadas de seção transversal reduzida;
- Requer mão de obra qualificada em algumas técnicas tradicionais, particularmente as ligações com recurso a entalhes.

Estas limitações levaram a que a madeira fosse, numa determinada época, substituída pelo betão armado e por estruturas metálicas e até substituída na utilização de estruturas provisórias, de que são exemplo as cofragens. No entanto, fruto de um maior conhecimento e desenvolvimento tecnológico, na atualidade existem técnicas de melhoramento que atenuam ou eliminam de forma permanente as características negativas que a madeira exibe no seu estado natural.

2.1.3 Estruturas de madeira em Portugal e no mundo

Recorrendo ao trabalho de Cachim (2007) e Martins (2009) é possível a nível mundial fazer uma breve síntese do tipo de edifícios, que utilizaram a madeira a nível estrutural, sendo de referir:

- Entre os séculos VII e VIII, nos países Nórdicos, um sistema que consistia, literalmente, na colocação de troncos sobrepostos;
- Entre o século XII e XIV, igrejas na Noruega, denominadas de “stavkirker”, em que a sua estrutura principal era formada por pilares (staves) de madeira;
- No Reino Unido, em meados do século XIV, surgiram as construções denominadas de “box frame”, que consistiam em paredes resistentes que suportavam as cargas da cobertura e possuíam pórticos de madeira com contraventamento;
- Após as “box frame”, também no Reino Unido, apareceram as construções denominadas de “cruck frame”, em que a base da estrutura era constituída por troncos de árvore que formavam um “A”.

A nível nacional e durante muitos séculos a madeira constituiu uma componente importante da economia portuguesa, designadamente na construção de edifícios, mobiliário e embarcações (Brites, 2011).

Até ao início do século XVI, aquando das Ordenações Manuelinas, a construção em madeira era frequente em edifícios correntes, enquanto os edifícios em alvenaria de pedra estavam restritos para as construções grandiosas, pertencentes ao clero e à nobreza. Desde então e até à utilização do betão armado em edifícios, alterou-se a forma de construir, passando a alvenaria a substituir a madeira, com exceção da sua aplicação nas estruturas dos pavimentos e da cobertura. A partir da proliferação dos “edifícios em placa”, a madeira passou a ter unicamente como utilidade estrutural a sua aplicação em coberturas. Relativamente às paredes interiores de compartimentação e, nos pisos elevados as paredes exteriores, já desde o século XVII e até ao século XX, estas eram frequentemente construídas em tabique (Martins, 2009).

Presentemente, para além das estruturas anteriormente referidas, as duas únicas exceções que restam dentro do território nacional e que resistem até aos nossos dias, resumem-se às gaiolas pombalinas e aos palheiros existentes no litoral centro do país (Cachim, 2007).

Desde muito cedo o Homem percebeu que no decorrer de um sismo, o que causava as vítimas não era o sismo propriamente dito, mas sim os efeitos devastadores que estes repercutiam nas estruturas. Como tal, já na Idade Média, foi desenvolvido um sistema construtivo denominado “opus craticium”, que dotava os edifícios de um melhoramento de resistência sísmica. Essa técnica evoluiu para um novo tipo de construção designado de “colombage” em França, por sistema “ingabbiati” em Itália e por “gaiola” em Portugal (Martins, 2009).

Após o terramoto de 1755, que destruiu Lisboa, a reconstrução da cidade encontrou na madeira um importante aliado, e como forma de prevenir igual devastação em futuros sismos, iniciou-se a implementação do sistema “gaiola”, com algumas modificações, passando a designar-se por “gaiola pombalina” (Martins, 2009). A sua implementação tornou-se obrigatória a partir de 15 de Junho de 1759 (Azevedo, 2010). Este sistema terá sido muito provavelmente um dos primeiros sistemas estruturais, ou até mesmo o primeiro, construído com o intuito de resistir à ação dos sismos (Cachim, 2007).

A “gaiola pombalina” (Figura 2-3), designa o sistema construtivo global do edifício, constituído por pisos de madeira e por paredes resistentes mistas de madeira e alvenaria, que se encontram ligados entre si (Martins, 2009; Meireles e Bento, 2010).

As paredes das habitações, frequentemente designadas por paredes de frontal, eram obtidas através da elaboração de uma moldura de madeira retangular, possuindo no interior um contraventamento conseguido no cruzamento de duas cruces, uma na vertical e a outra na diagonal (Cachim, 2007). O elemento decorrente da junção destas duas cruces designa-se cruz

de santo André (Martins, 2009). Posteriormente, a moldura em madeira era preenchida com alvenaria de tijolo maciço, fragmentos cerâmicos ou pedra irregular argamassada de cal, embutindo deste modo a estrutura de madeira na alvenaria. Na constituição das paredes divisórias e em complementaridade destas, eram utilizadas as paredes de tabique (Cachim, 2007; Martins, 2009).



Figura 2-3: Esquema de um piso de um edifício pombalino com paredes em gaiola pombalina (Martins, 2009)

As paredes de frontal, existentes acima do primeiro piso, tinham uma função estrutural muito importante no comportamento global da gaiola. Contudo, as características deste sistema estavam patentes no conjunto formado pelas paredes de frontal, ortogonais entre si e na boa ligação existente entre as paredes e os pavimentos, e entre a cobertura e as paredes de fachada (Flórido, 2010).

Os palheiros existentes no litoral centro do país (Figura 2-4), terão surgido nos finais do século XVIII e são estruturas inteiramente construídas em madeira (Cachim, 2007; Martins, 2009). O propósito inicial destas construções, era o de servir de refúgio aos pescadores durante a época de pesca. Como tal, estas estruturas eram bastante rudimentares. Porém, com o passar do tempo, estas estruturas passaram a servir como habitação de férias, e com essa alteração de funcionalidade, houve um acréscimo na qualidade de construção (Cachim, 2007).



Figura 2-4: Palheiros de madeira na Costa Nova (Martins, 2009)

O processo construtivo inicial das paredes, consistia na implementação de barrotes verticais, aos quais eram pregados tábuas de madeira sobrepostas. Seguidamente eram colocadas as vigas, sobrepostas nos barrotes verticais e ainda eram aplicados nos cantos, elementos na

diagonal, como forma de travamento da estrutura. A cobertura era composta por asnas de madeira, e revestida exteriormente por palha, sendo que este revestimento somente mais tarde é que foi substituído por telha cerâmica (Cachim, 2007; Martins, 2009).

Na segunda metade do século XX, aquando da introdução do betão armado, as estruturas em madeira deixaram de ser uma opção corrente nos edifícios de habitação nacionais. Todavia, fruto de uma mudança de mentalidade no que diz respeito à construção sustentável, aliado à necessidade de preservar o património edificado existente, observa-se o reaparecimento do interesse pela madeira como elemento estrutural.

Segundo Cachim (2007), as razões que estão subjacentes para a limitada utilização da madeira a nível estrutural em Portugal, apesar de não poderem ser apontadas como causas diretas, estão relacionadas com a:

- Pouca qualidade da madeira produzida em Portugal para aplicações estruturais;
- Falta de certificação da madeira existente;
- Escassez de mão de obra especializada na montagem deste tipo de estruturas;
- Normalização ainda muito recente no que se refere ao cálculo deste tipo de estruturas, antes do Eurocódigo 5, era inexistente no país regulamentação que orientasse de forma segura o dimensionamento;
- Carência, a nível académico, de disciplinas de cálculo de estruturas de madeira, pois a generalidade das instituições do ensino superior não oferece este tipo de formação.

2.1.4 A produção de madeira em Portugal

Atualmente é prática comum na construção, a utilização de madeiras provenientes de locais longínquos, conciliando madeiras de melhores características, com preços apelativos. No entanto, nem sempre existiu essa facilidade de recorrer de modo tão expedito a madeiras provenientes de outros locais. Muitas das construções, sobretudo as mais antigas, rudimentares e de menor grandeza, que ainda existem foram construídas recorrendo a espécies de madeiras autóctones. Por isso, será feita uma breve referência à produção de madeira em Portugal, com o intuito de compreender a possível correlação existente entre a utilização local de determinada espécie de madeira em função das espécies autóctones.

A nível mundial as florestas ocupam uma área próxima de 40 milhões de quilómetros quadrados, ou seja, o equivalente a cerca de 30% da área de terra existente e a uma área *per capita* de 0,62 hectares (Cachim, 2007).

Em Portugal Continental, segundo os dados provisórios de 2013, do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, I.P. (ICFN), o uso florestal do solo corresponde a 35,4% do

território. A nível europeu esta percentagem coloca Portugal na média da anterior Europa a 27, que é de 37,6% (ICFN, 2013).

Em termos de espécies florestais, tem-se verificado ao longo dos últimos anos uma tendência de constante diminuição da área afeta ao pinheiro-bravo, em contraste com um aumento da área de eucalipto. De acordo com os dados provisórios do 6º Inventário Florestal Nacional, referentes a 2010, atesta-se que a espécie florestal dominante no continente é o eucalipto (*Eucalyptus globulus*), cuja ocupação florestal representa uma área de 812 mil ha (26%), seguido do sobreiro (*Quercus Suber*), cuja área representa 737 mil ha (23%), e por fim o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*), com uma área de 714 mil ha (23%), conforme se ilustra na Figura 2-5 (ICFN, 2013).

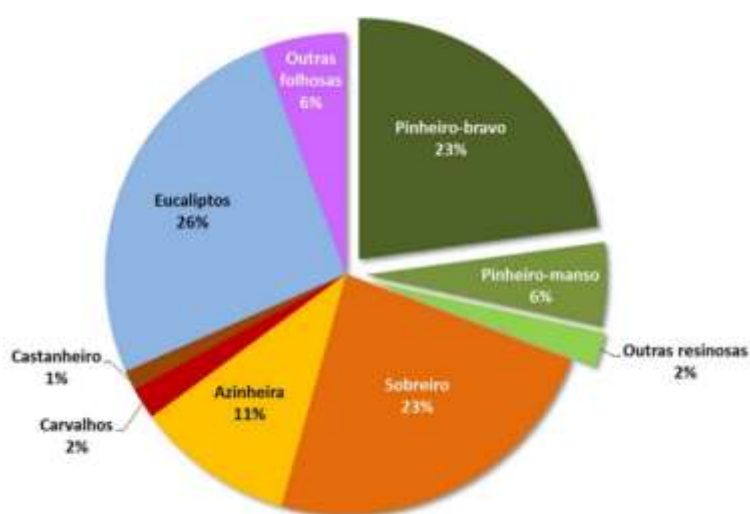


Figura 2-5: Ocupação das espécies florestais em Portugal Continental (ICFN, 2013)

Com o objetivo de tentar perceber se existe uma relação entre a madeira aplicada na construção de tabique e a espécie dominante a nível local, é apresentada a Figura 2-6, onde se ilustra a distribuição geográfica atual das principais espécies florestais no continente. Foram utilizados dados recentes, uma vez que se verificou a falta de dados mais antigos (relacionados com a data de construção das paredes de tabique), apesar de se saber que a mancha florestal portuguesa tem sofrido alterações significativas.

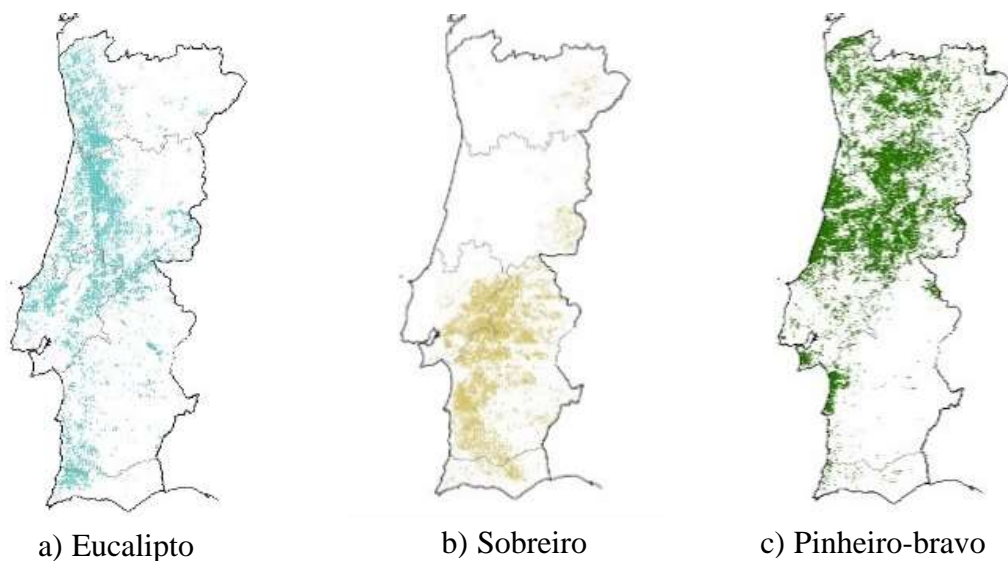


Figura 2-6: Distribuição geográfica das principais espécies florestais, Cortesia do ICFN (2013)

2.2 Terra

2.2.1 Generalidades

A terra, enquanto matéria-prima utilizada na construção, foi um recurso usado em permanência pelo Homem, fazendo com que esteja presente nos mais variados patrimónios edificados, podendo ser encontrados em quase todos os continentes (Figura 2-7). A utilização de terra para criar construções através de recursos naturais facilmente disponíveis a nível local, constitui uma das expressões mais engenhosas usadas pela humanidade (Carvalho, 2009).



Figura 2-7: Mapa da distribuição da existência de arquiteturas de terra no mundo ao longo do tempo, (<http://craterre.org/>, visualizado em [05/04/2013])

2 - Caracterização dos materiais

De acordo com Carvalho (2009), existem vestígios de construções em argila com aproximadamente 2,5 milhões de anos, conferindo que a aplicação deste material na construção já é de longa data. Por outro lado, os vestígios existentes das primeiras habitações construídas com recurso a terra datam de há cerca de 10 mil anos e serão oriundos da região do Médio Oriente, mais propriamente da cidade de Jericó (Cardoso, 2013). Ou seja, são consistentes com a transição do Homem para o sedentarismo.

De forma geral, desde as primeiras aplicações da terra crua nas construções, até aos dias de hoje, esta tem-se mantido como um material muito escolhido, devido à sua abundância na natureza, mas sobretudo devido às suas excelentes qualidades, tais como a trabalhabilidade, sempre que misturada com água, e a coesão (Carvalho, 2009).

Normalmente à arquitetura de terra, associam-se várias matérias-primas, sendo que as principais são: a terra (argila e areia), a palha e a água. Sendo necessário compreender que a uma escala mundial lhe está subjacente um amplo conjunto de técnicas, elucidativa da enorme diversidade cultural dos povos, das condições climáticas e geológicas, que demonstra uma grande versatilidade em termos de aplicação (Carvalho, 2009).

Segundo uma pesquisa realizada por Houben e Guillaud, citados por Fernandes (2006), e de forma a sintetizar as inúmeras soluções de construções em terra em todo o mundo, foram apresentados os seguintes resultados (Figura 2-8).

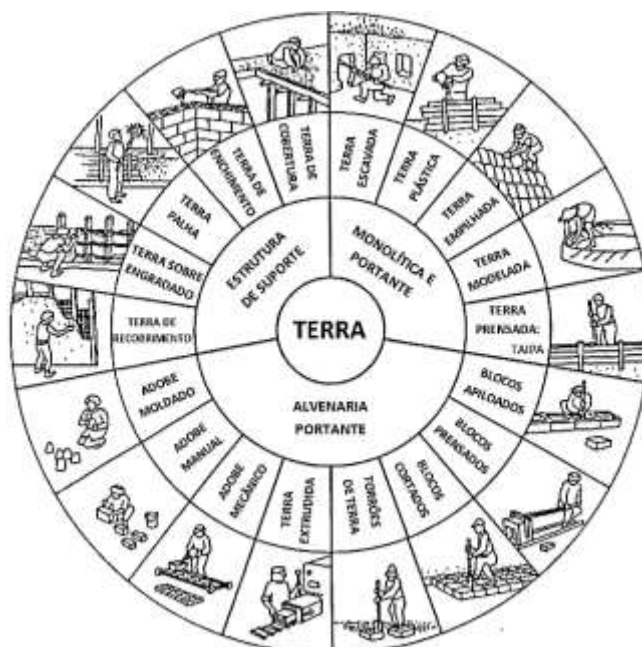


Figura 2-8: Representação esquemática das diferentes técnicas de construção com terra, Adaptado (Houben e Guillaud, 1989)

As construções de terra são frequentemente elaboradas recorrendo a técnicas construtivas relativamente simples, usando a matéria-prima local e efetuados recorrendo a mão de obra pouco especializada (Cepeda, 2009). Contudo, tal facilidade não deve colocar em causa a durabilidade deste material. Esta pode ser comprovada com a existência, em muitos continentes, de inúmeras construções antigas que perduram até aos nossos dias, desde que tomadas as devidas precauções aquando da sua construção (Carvalho, 2009).

Tendo em conta o edificado existente, atesta-se que para além de serem muitos os povos que a utilizaram, são bastante diversos os locais que recorreram à terra crua como material construtivo (Correia, 2006). E contrariamente ao que poderia ser inicialmente expectável, constata-se que esta serviu tanto para construções de pequena dimensão, como as habitações, assim como também para construções de maiores dimensões, de que são exemplo os monumentos de carácter militar e religioso. Refira-se as pirâmides de Saqqarah no Egipto, alguns troços da Muralha da China (Figura 2-9.a)), as ruínas de ChanChan no Peru ou a emblemática cidade de Shibâm no Iémen (Figura 2-9.b)) (Cardoso, 2013; Correia, 2006).



a) Muralha da China,
(Joffroy, 2012)



b) Cidade de Shibâm (Iémen),
(Azevedo, 2010)

Figura 2-9: Exemplos de construções em terra ainda existentes

As construções que utilizam o barro não são apenas uma herança do passado, sendo que atualmente cerca de 30% da população mundial e 50% da população nos países em desenvolvimento vive em edifícios de barro (Almeida, 2012). Por outro lado, comprova-se a sua importância cultural a nível mundial, através da crescente proteção e conservação levados a cabo pela comunidade internacional. Em 2011, observava-se que mais de 10% dos bens classificados como património mundial, integravam estruturas de barro (<http://whc.unesco.org/en/earthen-architecture/>), comprovando assim a sua consideração como uma herança comum da humanidade.

A preservação e proteção deste património constitui atualmente um encargo difícil para todos os intervenientes, tanto para a comunidade local, como internacional. As ameaças têm-se tornado crescentes, quer seja por imposições naturais (inundações e terremotos), ou humanas (a industrialização, a urbanização, o abandono das práticas tradicionais de construção e conservação e, até por atos relacionados com a guerra). De modo a contribuir como uma

resposta válida às necessidades das estruturas de terra, em termos de conservação e manutenção, iniciou-se um programa na UNESCO centrado neste tipo de construção, o World Heritage Programme on Earthen Architecture (WHEAP).

No contexto atual, convém salientar que nos países em desenvolvimento, a necessidade básica de obtenção de habitação muitas vezes só é conseguida com recurso a materiais disponíveis a nível local e sem o recurso a equipamentos sofisticados, apresentando-se portanto a terra como um material de enorme potencialidade neste aspeto (Cardoso, 2013).

2.2.2 Vantagens e limitações das construções de terra

De acordo com Carvalho (2009), e de uma forma geral, a terra ainda é utilizada como a principal matéria-prima nas construções realizadas nos países subdesenvolvidos. Nos países desenvolvidos, esta foi substituída por outros materiais, que de uma forma geral são produzidos com recurso a processos de fabrico complexos, com enormes consumos de energia e emissões de dióxido de carbono.

Tal como já foi referido anteriormente, a construção civil constitui uma das atividades humanas geradoras de um enorme impacto negativo no ambiente. Cada vez mais, tanto nos utilizadores como nos agentes decisores, tem-se tentado inculcar a necessidade de uma construção mais salubre para o ambiente em geral. Neste contexto a construção em terra apresenta muitos benefícios.

A construção em terra pode ser vista como uma situação paradigmática, isto porque, por um lado é entendida como uma opção de construção do passado, e portanto antiquada, e por outro lado, surge como sendo uma alternativa viável para o futuro. Partindo deste pressuposto e para uma correta avaliação da utilização de terra na construção civil, é necessário ponderar as vantagens e limitações que essa opção acarreta.

As principais vantagens da aplicação de terra, no contexto da construção, encontram-se expostas nos seguintes tópicos:

- Matéria-prima natural, abundante e não tóxica;
- Reduzido impacto ambiental, sendo facilmente reciclável e reutilizável;
- Matéria-prima económica, pois não requer gastos energéticos em transformação ou transporte;
- Permite reduzir a quantidade de resíduos construtivos;
- Fácil de trabalhar;
- Possibilita prazos de execução bastante reduzidos;
- As construções conseguem ser bastante duradouras;
- Boas propriedades térmicas e acústicas;

- Bom desempenho na permeabilidade ao vapor de água;
- Material incombustível;
- Permite reduzir o custo total da obra, comparativamente com a utilização de outros materiais industrializados.

Por outro lado, as principais limitações da aplicação de terra, no contexto da construção, são:

- Suscetibilidade à água;
- Grandes fragilidades relativamente ao desenvolvimento em altura e quando sujeitas a ações sísmicas;
- Diminuição das suas propriedades mecânicas quando sujeitos a fenómenos de compressão e tração;
- Escassez de conhecimento sobre o material e sobre as técnicas construtivas (técnicas baseadas no conhecimento empírico);
- Ausência de normas e regulamentos.

Nos últimos anos, e para relançar a utilização deste material natural, têm-se realizado pesquisas e avanços tecnológicos, de modo a colmatar as falhas existentes, a racionalizar os processos e as respetivas técnicas construtivas. A nível nacional, é possível salientar o trabalho desenvolvido neste contexto pelos investigadores na Universidade de Aveiro (UA).

2.2.3 Principais técnicas construtivas de terra em Portugal

A adoção de terra como uma matéria-prima nas construções de núcleos habitacionais, data já de há muitos séculos. Em Portugal, refira-se os centros históricos de Évora, Porto, Guimarães e Angra do Heroísmo, que fazem parte dos núcleos habitacionais classificados pela UNESCO (Joffroy, 2012).

A nível mundial, é possível identificar inúmeras técnicas construtivas, que variam tendo em consideração as diferentes condições climáticas, geológicas e culturais das regiões. Em Portugal, as três principais técnicas construtivas tradicionais que usam terra como material de construção são a taipa, o adobe e o tabique. De uma forma geral, o uso destas técnicas construtivas tem como principal vantagem o facto de necessitarem de poucos recursos humanos e tecnológicos e de a matéria-prima ser natural, abundante e sem necessitar de grande tratamento, o que faz com que se apresente ainda hoje como uma alternativa a outros métodos construtivos. As matérias-primas usadas neste tipo de construção são essencialmente a terra (argila e areia), a palha, a madeira e a água (Cardoso, 2013; Carvalho, 2009; Cepeda, 2009; Gonçalves, 2010).

A distribuição geográfica destas três técnicas construtivas em Portugal Continental é de fácil visualização, como ilustra a Figura 2-10. A taipa encontra-se principalmente no sul, o adobe

junto aos estuários do Tejo, Sado e no litoral centro e, o tabique no centro e norte do país (Cepeda, 2009).

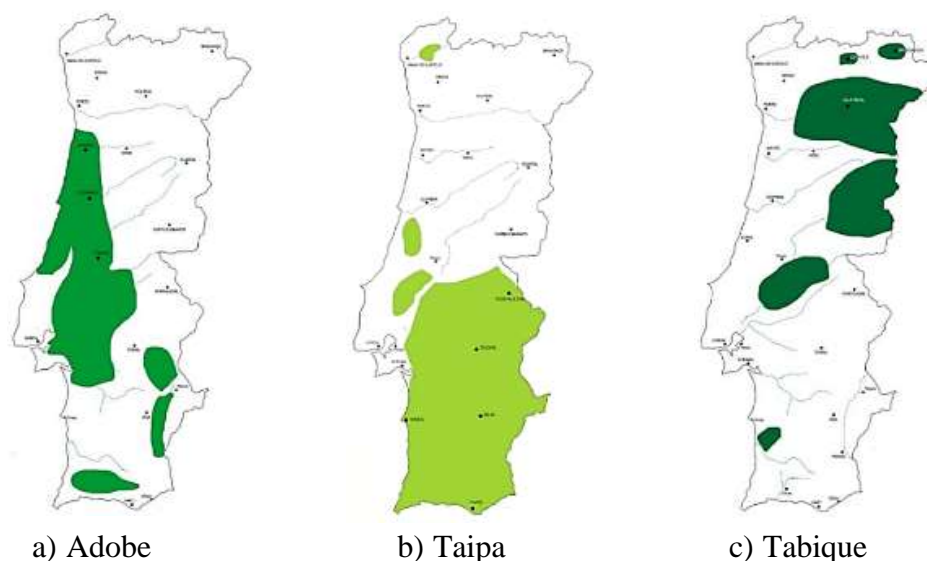


Figura 2-10: Distribuição geográfica das principais técnicas construtivas tradicionais em terra, em Portugal Continental (Jorge et al., 2005)

Devido a esta distribuição díspar, pensa-se que a mesma é dependente de fatores como a litologia, o clima e a própria economia de cada região. Como tal, após uma descrição de cada uma das técnicas construtivas, proceder-se-á a uma análise do clima e da litologia de cada região, na tentativa de explicar a sua distribuição.

Apesar de todas as três técnicas anteriormente referidas serem construções de terra, estas apresentam algumas diferenças entre si, essencialmente no que respeita ao processo construtivo. De uma forma simplificada, na taipa e no adobe, o único material de construção utilizado é a terra, enquanto no tabique a terra é um elemento secundário, de enchimento e de revestimento, sendo somente utilizada para preencher os espaços deixados na estrutura resistente em madeira (maciça ou reticulada) previamente feita (Carvalho, 2009). Como tal, e como o objetivo desta dissertação é estudar as paredes de tabique, a abordagem à técnica de construção em tabique será feita no capítulo 3, dedicando-se este ao seu conhecimento.

2.2.3.1 Adobe ou adobo

A origem do nome resulta do termo Egípcio *thobe*, que significa tijolo seco ao sol, a que se sucedeu, em Árabe, o termo *ottob*. No entanto, a génese do termo adobe aparenta ser originário da Península Ibérica, mais concretamente derivado da junção de influências construtivas de terra, trazidas inicialmente pelos romanos e depois pelos árabes (Cardoso, 2013).

Persistem até aos dias de hoje, espalhados um pouco por todo o mundo, vestígios de construções em adobe. É possível encontrar construções desta técnica construtiva, que datam do ano 10.000 a.C. na Mesopotâmia, que é considerada um dos berços da civilização (Cardoso, 2013). A cidade de Jericó, é considerada um dos aglomerados mais antigos da fixação humana de que existe registo, na qual foi identificada a aplicação de adobe em cabanas circulares, datados de 6800 a.C. (Correia, 2006). No Egito, destaca-se o templo de Ramsés II (Figura 2-11.a)), que tinha funções de depósito de cereais, e que foi construído há 3300 anos (Cardoso, 2013; Correia, 2006).

O seu fabrico requer a extração e preparação da matéria-prima (barro, areia e palha), que posteriormente é amassada. De seguida, procede-se à moldagem de pequenos blocos de forma regular de argamassa de barro ordinário, amassado com areia e palha. Depois é colocado sem compactação num molde, normalmente de madeira, denominado adobeira (Figura 2-11.b)), sendo desmoldados ainda no estado fresco e colocados a secar à temperatura ambiente, durante aproximadamente quinze dias, até ser atingida a capacidade resistente desejada, evitando-se assim a necessidade de incrementar um processo de cozedura (Cardoso, 2013; Carvalho, 2009).



a) Templo de Ramsés II, Egito
(Cardoso, 2013)



b) Molde para execução dos blocos de adobe, (Cepeda, 2009)

Figura 2-11: Adobe

Como o solo argiloso é bastante retráctil, tem tendência a criar fissuras quando seca. Como tal, para diminuir e evitar a fissuração no processo de secagem é usual a impregnação de palha ou outras fibras vegetais, no reforço do adobe (Azevedo, 2010). Tal processo, além de aumentar a resistência mecânica do material, ainda proporciona uma diminuição da massa volúmica. Uma desvantagem da utilização da palha nesta técnica é o facto de se deteriorar quando exposta em ambientes húmidos durante largos períodos de tempo.

O adobe enquanto técnica construtiva surge como uma alternativa viável ao tijolo cerâmico cozido (Cepeda, 2009). Esta técnica é possivelmente das três apresentadas a mais utilizada, provavelmente devido à simplicidade de fabrico. No entanto, outros fatores também contribuíram, tais como, o baixo custo de produção, o bom comportamento térmico e acústico e a possibilidade de produzir peças com dimensões muito distintas e com recurso a vários

tipos de solos, que podem conter fibras naturais ou a adição de algum ligante (Cardoso, 2013; Cepeda, 2009).

Esta técnica integra as bases da arquitetura mesopotâmica e egípcia (Correia, 2006). Para isso contribuíram bastante as boas propriedades mecânicas que esta técnica construtiva possui, essencialmente no que se refere à compressão, o que levou a que tenha sido muito utilizada na construção de paredes e muros, mas também para a construção de arcos, de cúpulas e de abóbadas (Carvalho, 2009).

Em Portugal, a técnica de construção em adobe surge essencialmente junto a linhas de água. Esta distribuição geográfica é facilmente compreensível, uma vez que esta técnica exige o uso de água, mas requer sobretudo o uso de solos plásticos e argilosos (Cardoso, 2013; Carvalho, 2009).

A nível nacional, o fabrico do adobe era realizado de forma artesanal como forma de sustento para muitas famílias, até à implementação do betão e do aço na construção, após isso, e durante a década de 60 e 70, a técnica de adobe começou a desaparecer (Cardoso, 2013; Carvalho, 2009). Segundo Cardoso (2013), em termos nacionais, o concelho de Aveiro é o detentor do património edificado mais vasto nesta técnica.

As paredes de adobe são, na sua maioria, rebocadas com uma argamassa à base de terra, ou então podem ficar sem acabamento superficial, usualmente designados por adobes à vista (Cardoso, 2013). A adoção de um revestimento final tem o intuito de proteção das adversidades atmosféricas, essencialmente da água. Sempre que se opte por um revestimento final, este deve ser um reboco à base de cal apagada ou através de uma caição direta.

A principal limitação das construções em adobe está relacionada com a vulnerabilidade às ações sísmicas, consequência do elevado peso que as paredes ostentam (Cardoso, 2013). De modo a fazer face à limitada resistência à tração e ao comportamento frágil que o adobe apresenta, recentemente passaram a ser introduzidos reforços nos cantos das paredes, de forma a garantir uma melhor ligação entre os panos de parede ortogonais. Tendo também em consideração a fragilidade deste material à ação da água e de modo a evitar o fenómeno da capilaridade, a construção em adobe é usualmente iniciada 60,0 cm acima do solo, sobre uma fundação de alvenaria de pedra ordinária, geralmente xisto (Cardoso, 2013).

Presentemente, fruto do desenvolvimento tecnológico e da evolução das técnicas construtivas, surgiram os blocos de terra comprimida (BTC). O uso de BTC tem vindo a ganhar expressão ao longo das últimas décadas (Almeida, 2012). Este método não deriva diretamente de nenhuma técnica manual e tradicional, mas é frequentemente referido como uma evolução dos tijolos de adobe (Almeida, 2012; Lourenço, 2002). O seu processo de fabrico consiste na execução de blocos de terra prensada, através da compactação do solo restringido num molde.

2.2.3.2 Taipa

A gênese do termo advém da palavra Árabe *tabíya*. Em Portugal designa-se por taipa. Podendo também ser designado por “pisé” (em França), “rammed-earth” (no Reino Unido), “tapial” (em Espanha), “stampflehm” (na Alemanha) e “taipa de pilão” (no Brasil), entre outros, dependendo da região do mundo (Cardoso, 2013).

A origem desta técnica, pode ter acontecido de forma independente na China e nas proximidades do Mediterrâneo, que através da circulação de pessoas se espalhou por outras zonas do mundo (Martinho, 2010). Subsistem ainda hoje, dispersos um pouco por todo o mundo, vestígios de construções em taipa. Exemplos disso são partes da grande muralha da China, que data do século III a.C. e o palácio de Potala, no Tibete (Figura 2-12.a)) (Azevedo, 2010; Cardoso, 2013).

A nível nacional a técnica de construção em taipa constitui um sistema de construção milenar, tendo a sua origem aquando das invasões islâmicas na Península Ibérica, ocorridas a partir do século VIII, permanecendo até aos anos 50 e 60 do século XX (Cardoso, 2013). Ainda hoje é possível observar algumas construções referentes à arquitetura militar islâmica em taipa, tais como, o castelo de Paderne, construído entre os séculos XI e XII, os castelos de Alcácer do Sal e de Silves, entre outros (Cardoso, 2013).

Esta técnica construtiva caracteriza-se por ser uma construção monolítica (Figura 2-12.b)). Consiste de forma simplificada na moldagem *in situ* de um elemento que frequentemente é uma parede. A técnica construtiva consiste, de forma resumida, na execução dos seguintes passos: extração e preparação da terra; construção de uma cofragem, após o qual a terra é depositada por camadas e compactada com recurso a um pilão ou a um compressor pneumático; secagem; descofragem quando a terra adquirir a capacidade resistente adequada (Carvalho, 2009).



a) Palácio Potala,
(Joffroy, 2012)



b) Compactação de uma parede
de taipa, (Carvalho, 2006)

Figura 2-12: Taipa

A terra usada para construir uma parede de taipa é normalmente obtida no próprio local da construção. No entanto, apesar dessa facilidade de obtenção do material, a preparação da terra pode implicar um processo mais moroso. Pode ser necessário peneirar, e até misturar com outra terra, de modo a conseguir uma percentagem adequada de argila, para além de ser necessário adicionar uma percentagem de água (Cepeda, 2009). Os moldes tradicionais, taipais, são geralmente em madeira. Porém as cofragens em madeira estão atualmente a ser substituídas, em algumas regiões, por painéis metálicos, integrais e deslizantes.

Uma parede de taipa apresenta frequentemente espessuras superiores a 50,0 cm. No entanto, através do recurso à adição de cimento ou cal à mistura é possível alcançar paredes mais esbeltas. Devido à espessura considerável que estas paredes normalmente ostentam, é conferida à construção uma grande inércia térmica, funcionando como um regulador climático ao longo de todo o ano (Lourenço, 2002).

Após a sua conclusão, ou seja, após a prensagem e conveniente secagem, uma parede de taipa apresenta uma densidade e dureza idêntica à da pedra, estando por isso capacitada para exercer funções resistentes (Cardoso, 2013; Lourenço, 2002).

A taipa, comparativamente com o adobe, é um método construtivo que necessita de pouca água. Por essa razão, esta técnica encontra-se com mais regularidade onde a água escasseia e onde a existência de madeira e da pedra não abunda (Cardoso, 2013; Jalali e Eires, 2008). Este é o principal motivo pelo qual esta técnica construtiva surge no território nacional com maior preponderância na zona do Ribatejo, Alentejo e Algarve (Cardoso, 2013).

Como desvantagem, tal como acontece com o adobe, a construção com recurso à taipa tem um mau comportamento quando sujeito à ação de forças horizontais (por exemplo, sismo), devendo evitar-se a aplicação desta técnica a edifícios altos. Ainda possui a contrariedade de ser recorrentemente atacada por roedores. Necessita de muita mão de obra na sua execução. O revestimento nas paredes, sempre que aplicado, quer seja por questões estéticas ou simplesmente para reduzir a existência de pó, deve ser permeável. Apesar de esta técnica resistir bem a períodos de chuva intensa sem perder as suas características resistentes, é aconselhável a impermeabilização das fundações de forma a assegurar o afastamento da água (Cardoso, 2013).

Na atualidade, após algum abandono desta técnica construtiva, a mesma aparenta estar a reaparecer em alguns locais, fruto das características favoráveis em termos de sustentabilidade que lhe está subjacente, associado às inovações tecnológicas desenvolvidas recentemente (a taipa mecanizada, por exemplo) (Jalali e Eires, 2008; Martinho, 2010). Devido ao abandono desta técnica de construção artesanal ao longo dos últimos anos, atualmente os mestres taapeiros existentes no nosso país são um número residual (Carvalho, 2009).

2.2.4 Fatores que influenciaram a distribuição geográfica das principais técnicas tradicionais construtivas de terra em Portugal

A distribuição geográfica das técnicas construtivas de terra anteriormente descritas, são o resultado de um efeito conjugado de diversos fatores, dos quais se destacam, o clima e os fatores de ordem económico-social, que se abordam seguidamente.

As regiões interiores, como o Alentejo e parte de Trás-os-Montes e Alto Douro, são os locais do país onde se verifica uma maior incidência de construções de terra (Figura 2-10). Sendo que a nível climático é possível constatar-se que essas são também as regiões que apresentam uma menor humidade relativa e precipitação (Figura 2-13.b)). Como tal, é conclusivo que esses dois fatores estão interligados, levando a que as regiões interiores, como o Alentejo e parte de Trás-os-Montes e Alto Douro, apresentem os climas mais favoráveis para a utilização de terra nas construções.

Aliado ao fator clima e de entre os fatores que possam influenciar a escolha de uma técnica construtiva numa determinada região, em detrimento de outra, o fator económico é considerado como um dos mais importantes. Como contributo favorável, em termos económicos para a escolha de uma determinada técnica, salienta-se o facto de poderem ser utilizados materiais de construção, tal como a pedra, a argila ou a madeira, existentes numa determinada região, em detrimento do uso de materiais que necessitem de transporte. Por outro lado, o facto das técnicas construtivas não requererem o uso de mão de obra muito especializada, e por isso serem consideradas como rudimentares, contribui também para a sua aplicação.

Em Portugal as construções de terra assentam no uso de argila. Portanto, não é de estranhar a relação existente entre as respetivas regiões detentoras deste material e o tipo de construções que aí se encontram. Para tal, é necessário entender que a argila resulta do processo de meteorização química de minerais, tais como o feldspato, existentes em rochas sedimentares (Carvalho, 2009).

Recorrendo ao mapa litológico de Portugal (Figura 2-13.a)), comprova-se que a localização das construções de terra tem maior incidência nas zonas onde se verifica este tipo de formação geológica favorável. Constata-se que as zonas de formação sedimentar estão patentes na Beira Litoral, na Estremadura e no Ribatejo, enquanto as zonas de formação sedimentar e metamórfica abarcam a região de Trás-os-Montes e Alto Douro, a Beira Interior e o Baixo Alentejo.

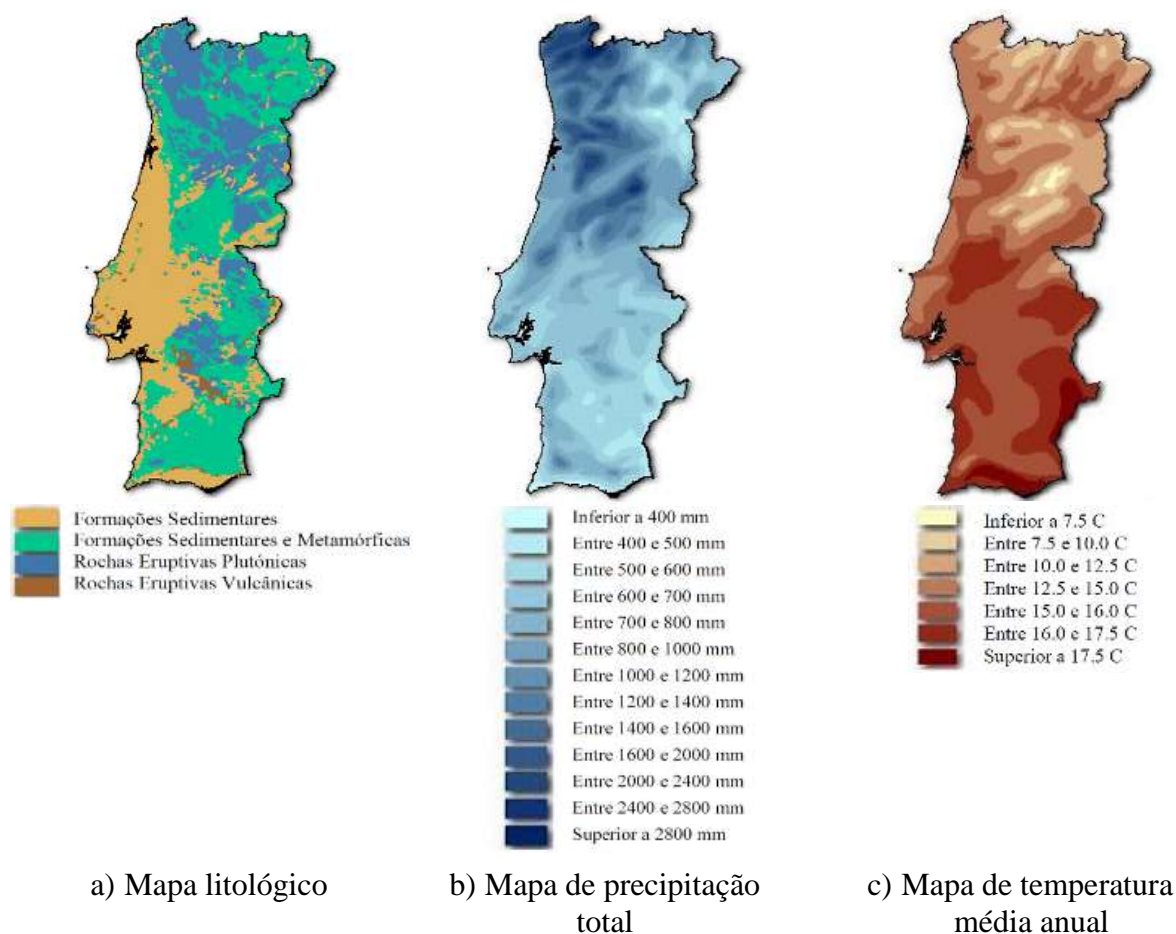


Figura 2-13: Mapas de Portugal (Carvalho, 2009)

Sobrepondo os mapas apresentados na Figura 2-10, com os apresentados na Figura 2-13, é possível criar um efeito conjugado, e encontrar algumas relações que podem explicar os fatores identificados anteriormente e que influenciam a distribuição geográfica da taipa e do adobe, em Portugal.

Resumidamente é possível concluir que a distribuição da construção de terra no que se refere a Portugal Continental, ocorre em zonas onde a partida a matéria-prima está mais disponível e onde as características litológicas e climatéricas privilegiam o seu uso. De uma forma generalizada é possível aferir-se que a construção em terra está presente em zonas de formações sedimentares e/ou metamórficas, com valores de precipitação total inferior a 1000 mm e com temperaturas médias anuais superiores a 12.5 °C.

2.3 Considerações finais

Neste capítulo apresentaram-se as características essenciais dos principais materiais aplicados na construção de uma parede de tabique, isto é, a madeira e terra. Foram também expostas

algumas das respetivas técnicas construtivas que utilizam a madeira e terra, como material construtivo.

Face ao exposto, é possível afirmar que tanto a madeira como a terra constituem, muito provavelmente, as duas primeiras matérias-primas usadas na construção pelo Homem, encontrando-se bem espalhadas a nível mundial. A sua utilização abrangeu, desde sempre, uma enorme variedade de aplicações.

A madeira é um material natural, que se apresenta como um excelente material de construção e com enormes potencialidades na indústria da construção, desempenhando adequadamente as suas funções sempre que aplicada em edifícios bem projetados, construídos e preservados de forma apropriada.

Em Portugal, tendo em conta o edificado ainda existente, verifica-se que as principais aplicações de madeira, a nível estrutural, além da sua utilização em asnas na cobertura e nos pavimentos, consistem nas gaiolas pombalinas e nos palheiros, ainda existentes.

Relativamente às construções em terra ficou claro que, por um lado surge como sendo considerada um tipo de construção antiquada, sinónimo de pobreza, no entanto, e por outro lado, começa a desfazer-se esse preconceito e a alterar-se a mentalidade por parte de todos os intervenientes, despertando uma renovação de interesse baseado nas qualidades que lhe está implícita. De forma sucinta, os problemas estruturais existentes resultam de uma má conceção estrutural ou de solicitações muito violentas. Como tal, é preponderante que no processo de construção se tenha em conta as limitações e fragilidades deste material.

A nível mundial, as principais técnicas construtivas que usam a terra como matéria-prima são, o adobe, a taipa e o tabique. Sendo que todas elas também se encontram dispersas pelo território nacional. A distribuição das técnicas construtivas é influenciada por diversos fatores, tais como, as condições climáticas, sociais e económicas.

Portugal é dotado de um vasto património edificado de terra, fruto de um conhecimento empírico, que necessita de ser preservado. No entanto, a nível nacional, é inexistente a regulamentação que oriente o dimensionamento e as boas práticas construtivas, contrariamente ao que acontece em alguns outros países.

A partir de meados do século XX, com a industrialização da construção e o aparecimento do betão armado e do aço, tanto a terra como a madeira, foram colocados em segundo plano como opção na construção.

Como acontece com qualquer outro material, tanto a madeira como a terra apresentam vantagens e desvantagens. No entanto, após uma breve reflexão sobre os prós e contras de

2 - Caracterização dos materiais

cada uma, é possível constatar que por vezes estes seriam uma mais-valia na construção, mas que no entanto não são escolhidos.

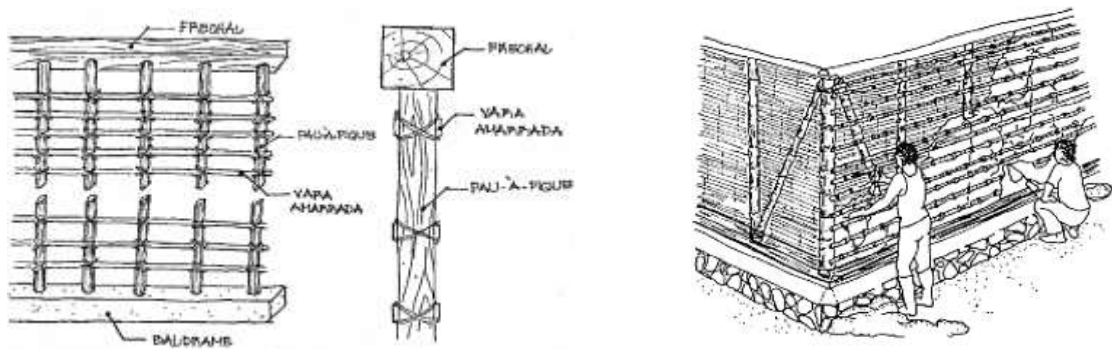
Em suma, sendo a reabilitação cada vez mais a opção correta a seguir, é urgente saber intervir no património existente, preservando a memória e a identidade cultural de cada local.

3. Tabique

Em Portugal a designação mais comum é tabique, podendo também pode ser denominado por “taipa de fasquio”, “taipa de rodízio”, “taipa de mão”, “taipa de sopapo”, “taipa de chapada”, “terra sobre engradado”, “barro armado”. Dependendo do lugar, possui ainda outras designações, tais como, “pau-a-pique” (no Brasil), “wattle and daub” (no Reino Unido e nos Estados Unidos da América), “quincha” (na Argentina, Chile, Espanha e Peru), “torchis” (na França), “bahajareque” (na Colômbia e na Venezuela e El Salvador), “cuje” (em Cuba), “lehmbewurf” (na Alemanha), ou ainda “tsuchikabe” (no Japão) (Cardoso, 2013; Cepeda, 2009).

Segundo Cardoso (2013), esta técnica é utilizada desde o período neolítico e poderá ser mais antiga do que o adobe ou a taipa. De forma sucinta, esta técnica consiste em aplicar um material à base de terra argilosa ou siltosa, podendo em casos pontuais, conter fibras vegetais, tais como carolos de espigas de milho ou palha como enchimento (Figura 3-1.b)), sobre uma estrutura previamente concebida que pode ser essencialmente de madeira ou de cana (Figura 3-1.a)). Os elementos de madeira são colocados na posição vertical, horizontal ou inclinada.

Atualmente o tabique começa a deixar de ser tido em conta como uma técnica de construção de terra, passando a ser visto como um sistema construtivo misto (Alexandria, 2006; Carvalho, 2009). É considerado por Cardoso (2013) como o primeiro material compósito feito pelo Homem, em que a estrutura resistente é conferida através da madeira e a terra é considerada como um elemento secundário, de enchimento e de revestimento. A terra desempenha um papel relevante porque, para além de servir como material de acabamento, simultaneamente protege a estrutura de madeira (Carvalho, 2009).



a) Esquema de montagem da estrutura em madeira, (Alexandria, 2006)

b) Esquema de preenchimento da estrutura em madeira com terra, (Minke, 2006)

Figura 3-1: Esquema de montagem de uma parede de tabique

3.1 O tabique no mundo

O tabique é uma técnica construtiva presente no cotidiano do ser Humano há imenso tempo e amplamente utilizada em todo o mundo, devido à sua versatilidade. Esta técnica encontra-se dispersa pelos mais diversos locais do mundo (Figura 3-2), sendo independente do clima existente (Cardoso, 2013).

Atualmente esta técnica construtiva encontra-se em desuso na Europa, sendo que atingiu o seu auge durante a Idade Média. A partir do século XVIII deixou de ser aplicada com tanta frequência, no entanto, permanece ainda hoje um vasto património edificado em tabique por toda a Europa. Apesar da heterogeneidade de processos construtivos, influenciados essencialmente pelo conhecimento empírico de quem as elaborava e pela disponibilidade das matérias-primas a nível local, é possível ainda encontrar exemplos deste tipo de construção em diversos países da Europa como, a França, a Inglaterra, a Espanha, a Bélgica, a Turquia e a Eslováquia (Cardoso, 2013).



a) El Salvador, (López, Bommer, & Méndez, 2004)



b) França, (Joffroy, 2012)



c) Japão, (Cardoso, 2013)

Figura 3-2: Construções de tabique no mundo

3.2 O tabique em Portugal

Em Portugal, a implementação da técnica de tabique ocorreu, maioritariamente, entre o século XVII e o início do século XIX, tendo atingido o seu apogeu no século XIX (Cardoso, 2013). Este processo construtivo faz parte da arquitetura vernácula portuguesa, estando bem presente no território nacional (Figura 3-3), com maior incidência no nordeste de Portugal (Cardoso, 2013; Carvalho, 2009). Na atualidade e comparativamente com o adobe e a taipa, esta técnica é a menos utilizada (Carvalho, 2009).



Figura 3-3: Construções em tabique em Portugal

A técnica de tabique caracteriza-se por ser económica e de simples execução. Utiliza duas matérias-primas abundantes na natureza e de fácil obtenção, facto que contribuiu para a sua proliferação nas mais diversas regiões. Em Portugal, exemplo disso, além da sua aplicação habitual, é a sua incorporação na construção Pombalina (Flórido, 2010).

A nível nacional é na região norte e centro do país que se verifica uma maior incidência desta técnica construtiva. Porém e tendo por base os inúmeros exemplos de construções que incorporam elementos de tabique, é possível afirmar que esta técnica se encontra patente na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, Beira Alta, Beira Baixa, Ribatejo e Baixo Alentejo, sendo, por comparação com o adobe e a taipa, uma técnica mais dispersa pelo país. Na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, Beira Alta e Beira Baixa existe uma maior proliferação de paredes de tabique exteriores e interiores, enquanto no Ribatejo e Baixo Alentejo, em geral, só se encontra aplicada em paredes interiores (Figura 3-4). Normalmente as paredes exteriores localizam-se nos pisos superiores.

Analisando os locais onde se encontram este tipo de construções (Figura 3-4), com o tipo de solo e as condições meteorológicas que se observam nesses locais (Figura 2-13), verifica-se que as zonas onde esta técnica se encontra implementada possuem formações sedimentares e metamórficas, à exceção de Santarém que apenas apresenta formações sedimentares. Em termos de precipitação total registam-se valores inferiores a 1200 mm. Por fim, no que diz

respeito à temperatura, estes locais apresentam uma temperatura média anual superior a 10.0 °C.

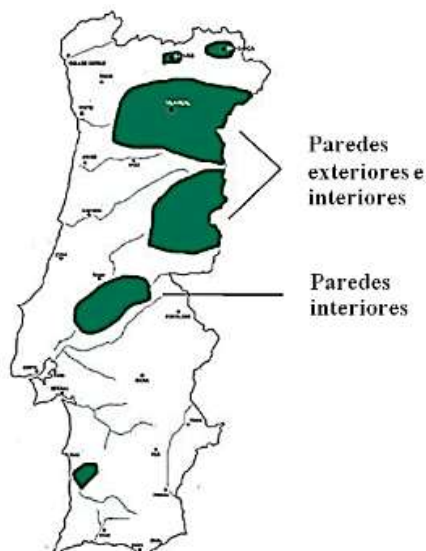


Figura 3-4: Tabique- distribuição em Portugal Continental, Adaptado de (<http://arquitecturadouro.blogspot.pt/2008/01/tnicas-de-construo-no-alto-douro-o.html>)

Por outro lado, um dos fatores que contribuiu para o abandono desta técnica construtiva, para além dos já supracitados, consiste na ausência de normas e regulamentos que permitam orientar e regular as boas práticas de construção em tabique. Alguns países como a Nova Zelândia ou a França já possuem normas e regulamentos apropriados para a construção em terra. No entanto, essas normas e regulamentos são exclusivos para a construção de terra, não podendo ser aplicados em casos onde esta é combinada com outro material, como acontece nas paredes de tabique (Cardoso, 2013).

Ao longo dos últimos anos, vários investigadores têm canalizado as suas investigações no sentido de aprofundar o conhecimento acerca das construções de tabique existentes na região nordeste de Portugal. Este vasto e valioso espólio tem sido tema de investigação, tal como o mostram os trabalhos de Cardoso (2013), Carvalho (2009), Cepeda (2010), Gonçalves (2010) e Martinho (2010), entre outros.

3.3 Principais características das construções de tabique

Esta técnica concilia a utilização de dois materiais, a madeira e a terra, com funções bastante díspares. A madeira, através da elaboração de uma trama, cria uma estrutura base com função resistente. Os vazios deixados são preenchidos por um compósito de um material à base de terra de origem argilosa ou siltosa, água e, em algumas ocasiões com adição de fibras vegetais ou cal, que tem um papel secundário de enchimento e revestimento (Cardoso, 2013).

3 - Tabique

A execução de uma construção em tabique não implica seguir princípios pré-definidos. Prova disso são os exemplos que subsistem até aos dias de hoje, detentores de uma grande variabilidade, tanto no tipo de matéria-prima utilizada nos elementos estruturais como na disposição construtiva, assim como, na enorme diversidade de material de enchimento e de revestimento existentes. De uma forma geral, esta variedade é explicada tendo em consideração a disponibilidade da matéria-prima, os recursos financeiros do dono de obra e as condições climáticas da região. No entanto, tal como em outras técnicas tradicionais, esta também se encontra implicitamente dependente do conhecimento empírico de quem as elabora. Dentro da mesma região, ou até na mesma localidade, é possível encontrar grandes diferenças no resultado final obtido na execução de uma construção em tabique (Cardoso, 2013).

De acordo com Cardoso (2013) e Cepeda (2009), um elemento construtivo de tabique, como por exemplo uma parede, consiste na pregagem de um fasquiado de ripas finas de madeira, dispostas usualmente em ambos os lados na horizontal, sobre as tábuas de maiores dimensões colocadas geralmente na vertical. Sobre a estrutura resistente de madeira anteriormente elaborada, é colocado um material à base de terra, de origem argilosa ou siltosa, havendo por vezes a adição de cal, palha ou outras fibras vegetais, preenchendo os vazios existentes (Figura 3-5).

A ligação do fasquio às tábuas verticais era realizada recorrendo a pregos zincados, prevenindo deste modo que a ferrugem trespasse para o exterior (Carvalho, 2009). Por outro lado, o material de enchimento e revestimento, para além de conferir boas qualidades térmicas e acústicas, ainda permite salvaguardar a estrutura de madeira do ataque dos agentes biológicos e em relação ao fogo (Cardoso, 2013).



Legenda: 1- Fasquio; 2- Tábua vertical; 3- Enchimento; 4- Pregos; 5- Revestimento

Figura 3-5: Parede exterior de tabique

Em Portugal, a estrutura resistente nas paredes de tabique é conseguida através do uso de madeira. Segundo os trabalhos de Cardoso (2013), Cepeda (2010), Gonçalves (2010) e

Martinho (2010), é possível afirmar que a espécie de madeira mais frequente é o pinho bravo. Com efeito, constata-se através da sobreposição da Figura 2-6.c) com a Figura 2-10.c) que o pinho bravo é a espécie de madeira com maior abundância na sua zona de aplicação. A proximidade geográfica desta matéria-prima é um dos fatores propícios para a sua utilização, senão mesmo o fator preponderante. Noutros países como a Colômbia, as Filipinas, a Índia, a Indonésia e o Japão, a madeira é substituída pela utilização de bambu, a espécie dominante (Cardoso, 2013).

Tendo por base os trabalhos desenvolvidos por diversos autores tais como Cardoso (2013), Carvalho (2009), Cepeda (2010), Gonçalves (2010) e Martinho (2010), é possível aferir que o tipo de edifício com mais utilização de paredes de tabique na região nordeste de Portugal possui dois pisos. Sendo que o piso térreo é, normalmente, destinado ao arrumo de alfaiais agrícolas ou como resguardo dos animais, ou até, como espaço comercial, enquanto o piso elevado é utilizado para habitação. Na maioria das situações, todas as paredes do rés do chão são compostas por alvenaria de pedra, frequentemente granito, e as paredes do andar superior, tanto exteriores como interiores, são em tabique. No entanto, encontram-se situações distintas, como por exemplo, todas as paredes exteriores em alvenaria de pedra e somente as paredes interiores do andar superior em tabique. O revestimento exterior das paredes de tabique varia entre um reboco com uma argamassa à base de cal, ao uso de soletos de ardósia, de chapas de zinco ou de telhas cerâmicas.

3.4 Função dos elementos de tabique

As paredes de tabique foram destacadamente o elemento de tabique com maior utilização, podendo estas serem exteriores ou interiores. As paredes exteriores desempenham uma dupla funcionalidade, isto porque para além de constituírem a envolvente exterior do edifício, ainda constituem um elemento resistente. Esses elementos resistentes suportam as ações verticais, como por exemplo, o peso dos elementos que lhe estão sobrejacentes e as ações horizontais, essencialmente a ação do vento e sismos. As paredes interiores possuem apenas a função de compartimentação.

As paredes de tabique não representam de forma assumida uma função estrutural. No entanto, mesmo que aquando da conceção do edifício não lhe sejam atribuídas funções resistentes na receção de cargas verticais, estas desempenham um papel importante no travamento global da estrutura, face à disposição e interligação existente entre estas e os restantes elementos estruturais do edifício (paredes, pavimentos e cobertura), contribuindo de forma importante para a capacidade resistente global da estrutura, durante a ocorrência de uma ação dinâmica, do tipo sismo (Cardoso, 2013).

3.5 Considerações finais

Neste capítulo foi realizada uma abordagem à técnica de construção em tabique, enquadrando o trabalho que se vai desenvolver nos capítulos seguintes.

A técnica de construção em tabique foi implementada em Portugal entre o século XVII e o início do século XIX, estando atualmente dispersa em todo o país, porém com maior incidência no nordeste de Portugal. As paredes de tabique são, destacadamente, o elemento construtivo de tabique mais utilizado.

Resultam da combinação de dois materiais, a madeira e a terra, que desempenham funções bastante díspares. Por um lado a madeira desempenha uma função resistente, enquanto a terra possui uma função secundária, mas importante, de enchimento e revestimento.

Contrariamente com o que acontece com a taipa e com o adobe, a bibliografia e os estudos científicos existentes referentes à construção em tabique são ainda bastante escassos, ou até mesmo inexistentes, no caso de normas e regulamentos. Como tal, para se proceder a uma correta resposta às solicitações atuais em termos de soluções de reabilitação e de reforço, é necessário efetuar-se ainda muito trabalho de investigação, quer na caracterização dos materiais, quer no estudo do seu comportamento estrutural.

Um estudo rigoroso no sentido de avaliar, com maior profundidade, a capacidade resistente e de suporte dos elementos em tabique carece de ser desenvolvido, de forma a ser possível avaliar com rigor o desempenho que este tipo de construção tem nas construções em que está inserido. É neste propósito que este trabalho de investigação se pretende enquadrar, contribuindo para que exista uma maior e melhor compreensão sobre o seu comportamento.

4. Caracterização da construção de tabique existente no centro histórico de Viseu

Ao longo deste capítulo proceder-se-á ao estudo da construção de tabique existente no centro histórico de Viseu. Nomeadamente, através da descrição e caracterização das construções de tabique utilizadas como casos de estudo, expondo alguns pormenores construtivos que foram encontrados e que se consideram relevantes. Apresentar-se-á também o estudo de caracterização efetuado aos vários materiais que constituem uma parede de tabique, nomeadamente, a madeira, as argamassas terrosas e os conectores metálicos, provenientes dos casos de estudo. Por último, apresentam-se as potencialidades da utilização do ensaio da termografia, na deteção e definição dos vários elementos de tabique, nomeadamente nas paredes exteriores.

Refira-se que esta dissertação tem como finalidade fazer um estudo aprofundado, tanto dos pormenores construtivos, como dos vários materiais que constituem as paredes de tabique. Os casos de estudo apresentados foram aqueles em que, à data da elaboração desta dissertação, se pode recolher amostras aptas a desenvolver o trabalho.

4.1 Caracterização e descrição dos edifícios em estudo

Dentro do vasto património edificado de construções em tabique existente no centro histórico de Viseu, apenas se encontrou disponibilidade para fazer o estudo e recolha de amostras completas em dois edifícios, situados na rua Dr. Luís Ferreira e no largo António José Pereira.

Por uma questão de facilidade de designação, refira-se que os edifícios situados na rua Dr. Luís Ferreira e no largo António José Pereira, passam a ser designados de agora em diante, como Ed.1 e Ed.2, respetivamente.

Devido ao facto de ambos se encontrarem a ser objeto de obras de reabilitação, aquando das visitas de inspeção e recolha dos diversos materiais, facilitou a obtenção de um conjunto de informações mais vasta, que em condições normais de utilização seriam impossíveis de recolher.

Seguidamente será realizada a descrição de cada um dos edifícios de tabique em estudo, de modo a enquadrá-los, assim como, será indicada a proveniência das amostras que serão alvo de estudo nas secções seguintes.

Serão apresentados os pormenores construtivos considerados preponderantes para caracterizar este tipo de estruturas. Esses pormenores serão ilustrados e descritos de acordo com a informação recolhida e complementados por suporte fotográfico, sendo que alguns serão apresentados em peças desenhadas de modo a que a sua perceção seja facilitada. A localização desses detalhes construtivos estará referenciada em cada um dos casos de estudo num corte transversal dos edifícios. Para apresentar tais cortes transversais tornou-se importante a obtenção das plantas de arquitetura junto das entidades promotoras de cada um dos projetos de reabilitação, aliado a algumas medições que foram feitas no local.

4.1.1 Edifício 1 (Ed.1)

Na Figura 4-1 é possível observar a fachada principal do edifício em estudo, aqui designado de Ed.1. Localiza-se no centro histórico de Viseu, mais concretamente entre a rua D. Duarte e a rua Dr. Luís Ferreira e possui as seguintes coordenadas geográficas, Latitude: N 40° 39' 31.183" e Longitude: W 7° 54' 42.822".



Figura 4-1: Fachada principal do edifício Ed.1

O ano de construção do edifício remonta a 1927. É composto por quatro pisos, sendo que a cave é apenas acessível pela rua D. Duarte, devido há diferença de cotas existente entre as ruas que lhe são adjacentes. O último piso é recuado. A nível estrutural, apresenta todas as paredes exteriores resistentes em alvenaria de pedra de granito, enquanto no seu interior, todas as paredes existentes eram de tabique. Com a exceção da laje térrea, que consistia num afloramento rochoso, sobre o qual existia uma camada de regularização, os restantes pavimentos do edifício, assim como a estrutura da cobertura, eram de madeira. A cobertura era materializada em duas águas, com a presença de seis mansardas, sendo revestida externamente por telhas cerâmicas. A escada interior que fazia a ligação entre todos os pisos, também era de madeira.

Aquando do início dos trabalhos de reabilitação o edifício encontrava-se a ser parcialmente utilizado como espaço comercial, ao nível do rés do chão, na frente para a rua Dr. Luís Ferreira. Até há pouco tempo a restante área era ocupada pela Associação Viseense dos Bombeiros Voluntários, que ali já teve o seu quartel e a respetiva sede social.

Quando se deu início à primeira visita de inspeção, o piso superior, encontrava-se já no início da fase de demolição das paredes interiores. O material de enchimento de todas as paredes já tinha sido todo retirado. Todavia foi ainda possível recolher amostras suficientes para ser posteriormente analisado em laboratório, através da recolha de alguns pedaços que ainda lá permaneciam nos vazios entre o ripado. Por sua vez e através da entidade responsável pela obra, a Sociedade de Reabilitação Urbana (SRU) “Viseu Novo”, foi possível saber que o acabamento final existente nas paredes era estuque aplicado com barramento de pasta de cal.

Também foi possível constatar através de uma análise visual do “esqueleto” das paredes de tabique que a generalidade da madeira existente apresentava um excelente estado de conservação. Para tal, pensa-se que o material de enchimento e de revestimento final das paredes contribuíram de forma significativa na conservação dos elementos de madeira.

4.1.1.1 Pormenores construtivos

Através do acompanhamento periódico das obras de demolição do interior do edifício foi possível observar alguns pormenores construtivos referentes às paredes de tabique, tanto na sua ligação aos elementos horizontais, como na ligação entre as diversas paredes, e na ligação às paredes resistentes de alvenaria de pedra.

Na Figura 4-2.b) apresenta-se o corte transversal localizado no alinhamento A-A assinalado na Figura 4-2.a). Este corte transversal do edifício tem como objetivo sinalizar os locais onde foram encontrados alguns dos pormenores construtivos que se vão analisar posteriormente. As restantes plantas e alçados do edifício encontram-se em anexo.

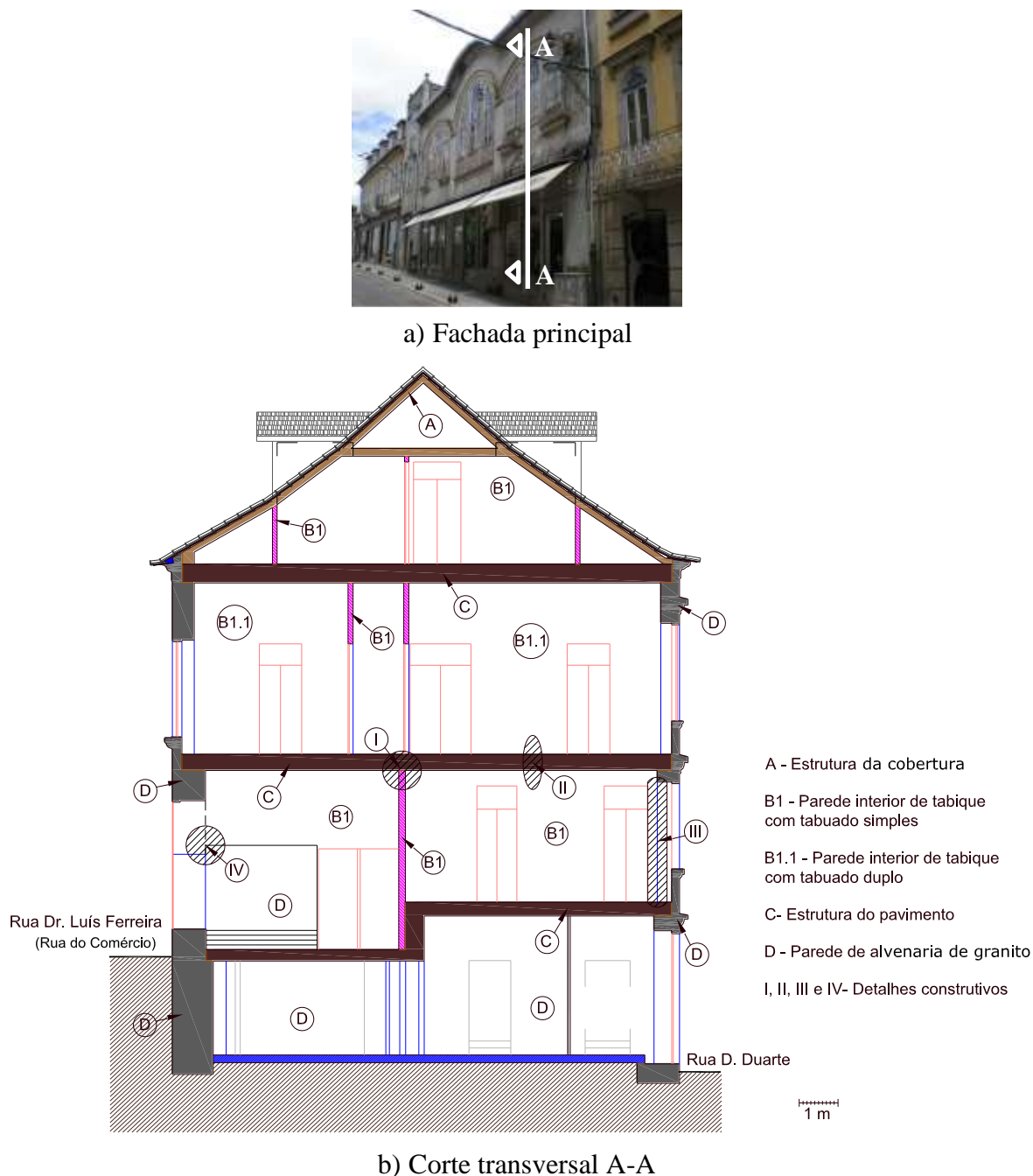


Figura 4-2: Construção de referência Ed.1

Tal como já foi referido o sistema estrutural principal do edifício é constituído por paredes exteriores resistentes de alvenaria de pedra de granito (detalhe D da Figura 4-2.b)), cuja espessura varia entre 1,05 m, ao nível da cave, e os 0,5 m, ao nível do último piso. Paredes essas que conjuntamente com a presença de alguns pilares ao nível do rés do chão sustentavam a estrutura que constituía os pavimentos de madeira (detalhe C da Figura 4-2.b)). A estrutura do pavimento era constituída pelas vigas principais que serviam de apoio às vigas secundárias e sobre o qual era assente, o soalho de madeira e, ao nível inferior, o forro de madeira. Por sua vez, as paredes interiores de tabique apoiavam-se diretamente nos elementos horizontais de madeira (detalhe B1 da Figura 4-2.b)). Por último, o sistema estrutural na

cobertura era concretizado através de vigas de madeira, que após se ligarem aos elementos horizontais, também de madeira, apoiavam-se na parede resistente de alvenaria de granito.

Refira-se que aquando da primeira visita de inspeção ao edifício já tinha sido demolida a totalidade da cobertura e as paredes interiores existentes no último piso, restando apenas o pavimento. Como tal, e uma vez que nem sequer em suporte fotográfico existia registo desses pormenores, tornou-se inviável observar e documentar os pormenores construtivos aí existentes. Do que foi possível observar será elaborada uma descrição dos pormenores construtivos entre a conexão das paredes interiores em tabique com os respetivos pavimentos e tetos (superior e inferior), e ainda do tipo de ligação existente entre as paredes de tabique e as paredes resistentes em alvenaria de pedra.

Antes de se iniciar a descrição mais aprofundada de cada um dos pormenores indicados na Figura 4-2.b), começará por descrever-se um aspeto construtivo encontrado neste edifício. Este representa uma variação do método comum de tabique, que consiste em dotar uma parede de tabique de um tabuado duplo (Figura 4-3), em que um dos panos apresentava tábuas alinhadas na vertical (Figura 4-3.b)) e o outro possuía tábuas dispostas na diagonal (Figura 4-3.a)).

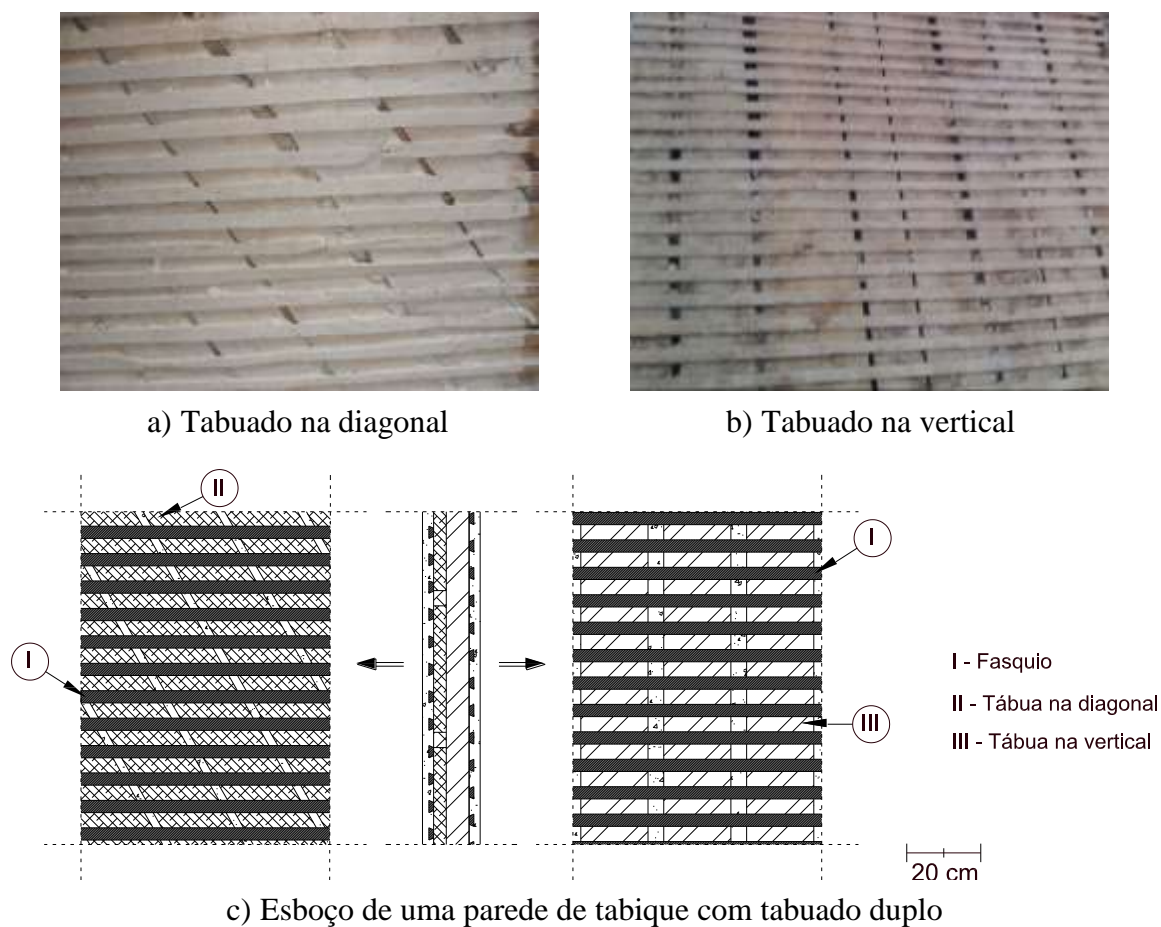
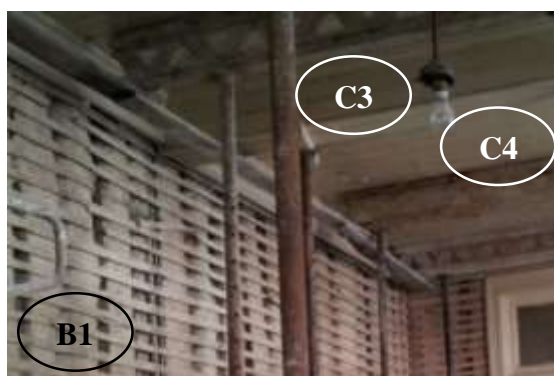


Figura 4-3: Parede de tabique com tabuado duplo

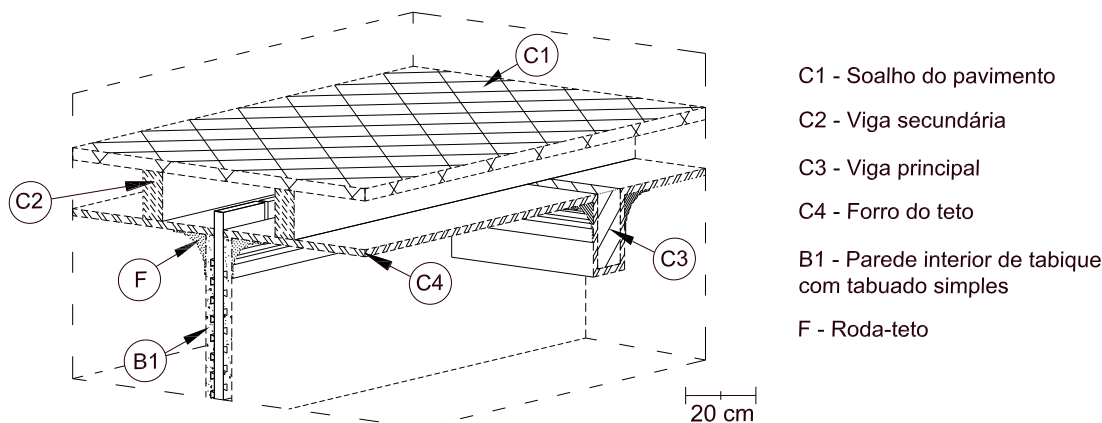
Esta variação do método de tabique, foi apenas encontrada numa parede do edifício em estudo. Esta possuía uma altura de 4,45 m e um comprimento de 12,0 m. O pano com as tábuas na diagonal era distribuído a começar a meio vão, com um ângulo de aproximadamente 60°, e dispostas de modo simétrico. Relativamente às dimensões dos vários elementos de madeira, em termos médios, constatou-se que as tábuas alinhadas na vertical possuíam aproximadamente o dobro da espessura das dispostas na diagonal. No entanto, também possuíam quase o dobro do espaçamento entre si. Em termos gerais, a presença deste tabuado duplo conferia à parede uma espessura bastante considerável, permitindo-lhe ter um acréscimo de capacidade resistente dentro da estrutura. Esta localizava-se a meio do edifício e a viga principal do pavimento, sobre a qual a parede estava apoiada, apoiava-se na parede resistente de alvenaria de granito.

As paredes de tabique existentes no edifício estavam dispostas em duas direções, isto é, no alinhamento das vigas principais, ou perpendiculares a esse vigeamento.

Na Figura 4-4 é apresentado um esquema correspondente ao pormenor construtivo I da Figura 4-2.b), correspondente à ligação entre uma parede interior de tabique e o pavimento superior. Este pormenor é referente a paredes de tabique cuja disposição é no sentido perpendicular à disposição das vigas principais.



a) Ligação ao teto do andar



b) Esboço do tipo de ligação existente numa parede de tabique a nível superior

Figura 4-4: Ligação entre uma parede interior de tabique e o teto do andar, detalhe I

Nesta situação foi possível constatar que as tábuas verticais das paredes de tabique prolongavam-se aproximadamente 5,0 cm para além do forro de madeira do teto que a circunda. O travamento transversal do topo superior da parede interior de tabique era efetivado através do roda-teto, que juntamente com o forro de madeira se encontravam fixos à estrutura de madeira do piso superior.

Na Figura 4-5 apresenta-se um esquema do detalhe construtivo II da Figura 4-2.b), correspondente à ligação entre uma parede interior de tabique com os pavimentos adjacentes, quer ao nível superior como inferior. A orientação destas paredes de tabique coincide com o alinhamento existente das vigas principais.

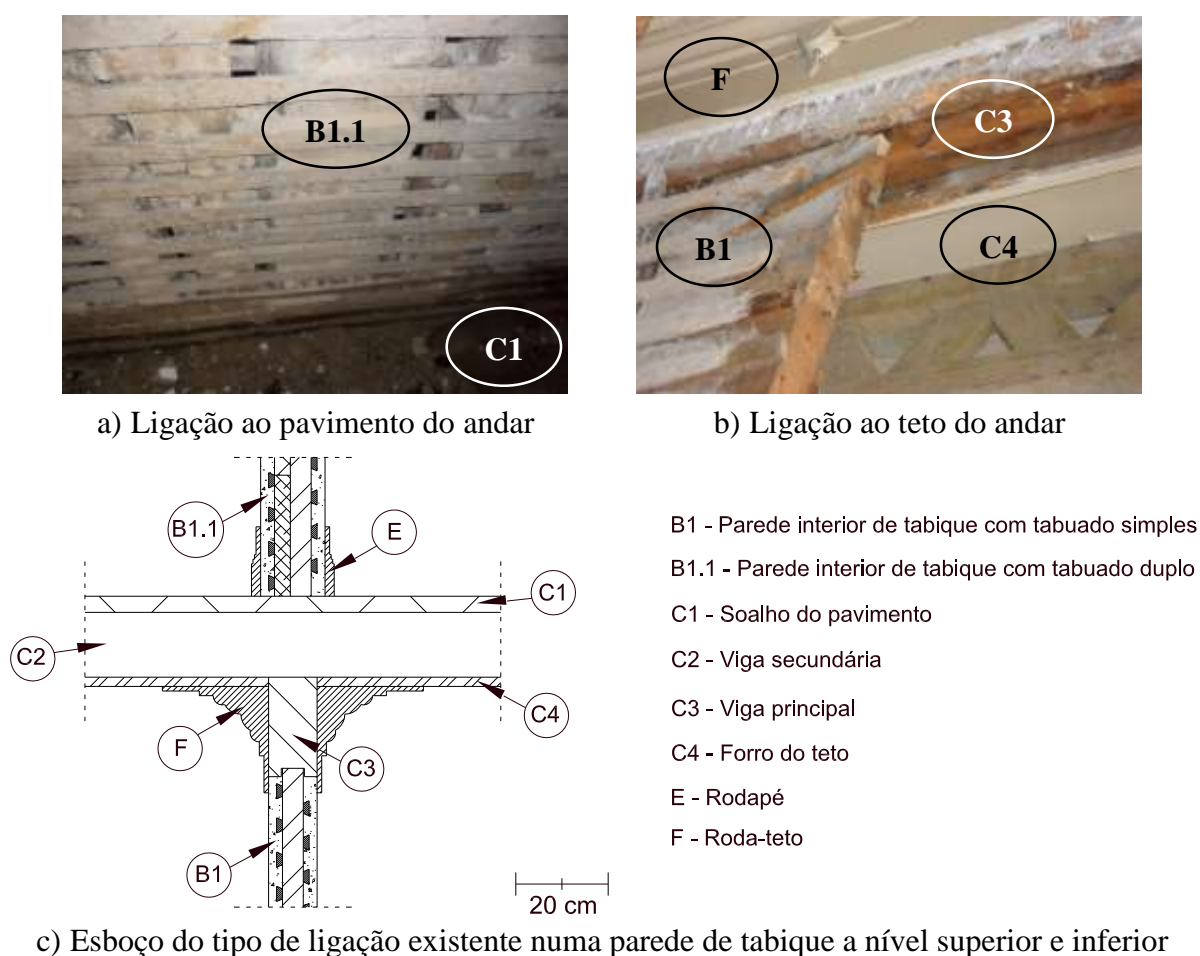


Figura 4-5: Ligação entre uma parede interior de tabique a nível superior e inferior, detalhe II

Em relação à ligação existente ao nível inferior (Figura 4-5.a)), constatou-se através de uma análise visual que as paredes de tabique existentes no edifício encontravam-se simplesmente apoiadas aos respetivos pavimentos. Deste modo, é possível aferir que o travamento transversal das paredes de tabique era conseguido através do rodapé e das tábuas de soalho.

Relativamente à ligação no topo superior da parede (Figura 4-5.b)), é visível na Figura 4-6 que a meio da viga principal existia uma reentrância longitudinal, com aproximadamente 2,0 cm de profundidade, o que permitia que a viga encaixasse quase na perfeição no topo da parede de tabique. Como tal, o travamento a nível superior era efetivado através desse encaixe, aliado a algum contributo adicional que era dado pelo roda-teto, que sobrepunha parcialmente a parede de tabique.



Figura 4-6: Viga principal

Salienta-se que, para além das restrições impostas às paredes pela colocação e disposição dos elementos em madeira circundantes, ainda se verificou a presença de conectores mecânicos do tipo pregos metálicos com alguma regularidade junto aos topos superior e inferior, efetivados com pregos na diagonal.

No que se refere à ligação existente entre as paredes de tabique e as paredes exteriores resistentes de alvenaria de pedra, apresenta-se a Figura 4-7, que corresponde ao pormenor construtivo III da Figura 4-2.b).

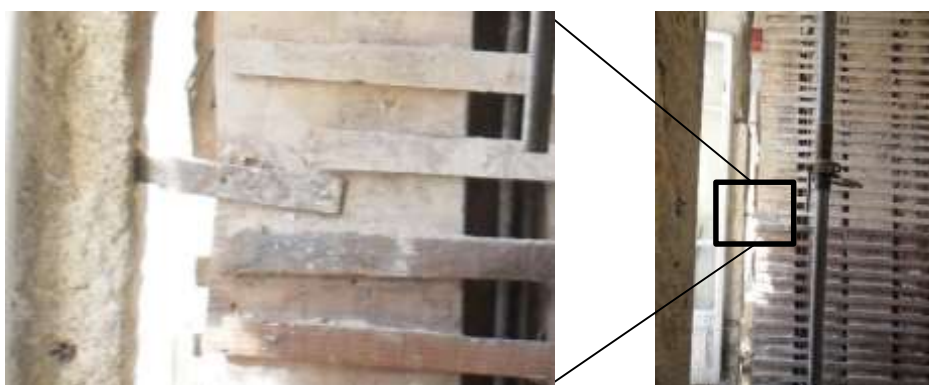


Figura 4-7: Conexão entre as paredes de tabique e as paredes exteriores resistentes de alvenaria de pedra, detalhe III

Este tipo de ligação consiste em realizar através da cravação na alvenaria de pedra um elemento de liga metálica, em que a outra extremidade é fixa através de pregos à parede de

tabique. Parte deles já tinham sido retirados aquando da remoção do material de enchimento. Porém, nos casos onde se conseguiram ainda detetar, observou-se a existência de aproximadamente uma ou duas ligações por parede. Apesar de não se ter um verdadeiro conhecimento do contributo deste elemento de ligação para o travamento das paredes, considerou-se relevante apresentar este pormenor construtivo, uma vez que na bibliografia consultada, até à data, era omissa.

Por último, é apresentado na Figura 4-8 a ligação existente entre uma parede de tabique que estava apoiada num elemento de madeira que, por sua vez se apoiava na parede resistente de alvenaria de pedra, correspondente ao pormenor construtivo IV da Figura 4-2.b). Este pormenor construtivo, para além deste local, só foi encontrado na caixa de escadas. Este pormenor concretizava-se através da penetração, em aproximadamente 20,0 cm, do elemento de madeira na parede exterior resistente de alvenaria de pedra. Na extremidade oposta, o dito elemento apoiava-se numa tábua, também de madeira, que fazia parte da parede de tabique interrompida nesta zona, para concretizar um vão de circulação.



Figura 4-8: Conexão entre o prolongamento de um elemento de madeira e a parede exterior, detalhe IV

Para além dos pormenores já descritos, ainda é possível referir outros pormenores construtivos que foram encontrados, mas que não se encontram ilustrados na Figura 4-2.b), nomeadamente no que se refere ao tipo de ligação existente entre duas paredes interiores de tabique e à frequente colocação de uma tábua na diagonal junto a cada um dos cantos das respetivas paredes.

Relativamente à ligação existente entre duas paredes interiores de tabique, observou-se a existência de duas situações distintas, dependendo se as mesmas eram confluentes entre si ou não (Figura 4-9). No caso em que as paredes interiores de tabique ortogonais eram confluentes na conexão existente entre si, como se ilustra na Figura 4-9.b), observou-se uma ligação direta entre elas, realizada através de pregagem dos últimos elementos verticais, bem como o prolongamento e intercalar dos elementos horizontais entre si, sendo que o prolongamento do ripado sobrepunha as tábuas que lhe eram ortogonais. Nos casos em que o

término das paredes não era confluyente (Figura 4-9.a)), não se verificava qualquer tipo de ligação concreta. Apenas se encontravam encostadas e pregadas entre si. Também aqui os elementos horizontais se encontravam intercalados entre si.

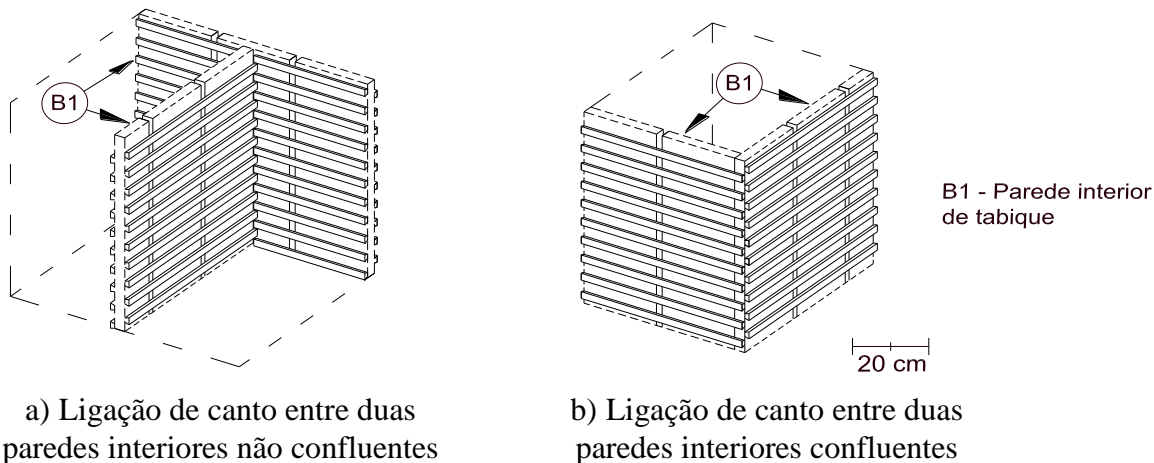


Figura 4-9: Ligação de canto entre duas paredes interiores

Em termos gerais, e observando-se todas as paredes de tabique do edifício com tabuado simples, constatou-se que era frequente a colocação de uma tábua na diagonal junto a cada um dos cantos das respetivas paredes (Figura 4-10). Estas tábuas possuíam aproximadamente um ângulo de 60° com a horizontal. Este pormenor construtivo pode muito possivelmente estar relacionado com a intenção de travar melhor as paredes.

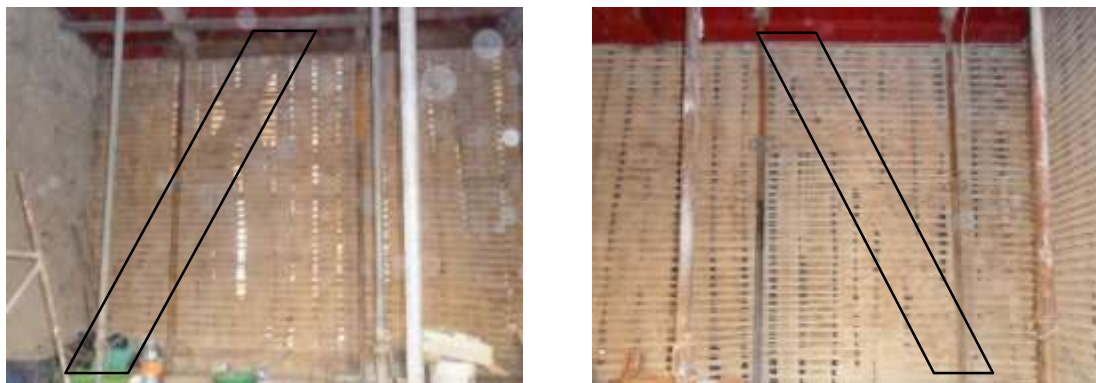


Figura 4-10: Presença de tábua na diagonal junto aos cantos

4.1.2 Edifício 2 (Ed.2)

Na Figura 4-11 é possível observar a fachada principal do edifício em estudo, aqui designado de Ed.2. Este edifício, tal como o anterior, localiza-se no centro histórico de Viseu, mais concretamente entre o Largo António José Pereira e a rua Escura, e possui as seguintes coordenadas geográficas, Latitude: N $40^\circ 39' 37.148''$ e Longitude: W $7^\circ 54' 37.174''$.



Figura 4-11: Fachada principal do edifício Ed.2
(fotografia gentilmente cedida pelo arquiteto André Soares)

Tendo por base informação cedida pela equipa de arqueólogos que estava a realizar o acompanhamento da obra de reabilitação, que estava a decorrer na altura em que foi executado o presente estudo, foi possível aferir que o edifício foi construído no século XIX, sendo reaproveitados e incluídos na sua estrutura elementos arquitetónicos do século XVI (janelas manuelina, friso e cachorros). Tratava-se de um edifício de habitação unifamiliar, que já começava a evidenciar algum estado de degradação. Ao que foi possível verificar, a atual geometria do edifício consistia, na realidade, na junção de três edifícios, que a dada altura no tempo foram aglomerados. À data o edifício era composto por quatro pisos (rés do chão, 1º e 2º andar e sótão).

A nível estrutural foi possível identificar que no rés do chão todas as paredes exteriores e interiores existentes eram paredes resistentes, materializadas em alvenaria de pedra de granito, existindo somente duas pequenas paredes divisórias em tabique. No 1º andar todas as paredes exteriores continuavam a ser em alvenaria de pedra, sendo que no interior, observava-se a presença quer de paredes resistentes em alvenaria de pedra, quer de paredes em tabique. Relativamente ao 2º piso e sótão, somente a fachada principal é que era em alvenaria de pedra. As restantes paredes exteriores e interiores eram em tabique. Os pavimentos de todos os pisos, exceto o pavimento térreo, incluindo a estrutura da cobertura, eram de madeira. A cobertura era concretizada em diversas vertentes. Duas delas em duas águas e uma outra em três águas, todas revestidas com telhas cerâmicas.

Aquando da visita de inspeção que foi feita a este edifício, já não foi possível observar a disposição de todo o interior do edifício, uma vez que este já tinha sido demolido. Porém, apesar das paredes já não estarem em obra, foi possível aceder às mesmas, de modo a recolher alguns panos de parede, que já se encontravam desprovidos do material de enchimento. Bem como, à parte, material de enchimento suficiente para realizar posteriormente os ensaios de caracterização do material.

Em virtude destes constrangimentos, tornou-se imprescindível a colaboração quer do promotor da obra, quer do empreiteiro responsável pelas obras de reabilitação. A sua colaboração foi importante na disponibilização de informação referente ao edifício, nomeadamente das peças desenhadas em suporte informático, e no esclarecimento de algumas características e pormenores construtivos.

Foi possível saber que o acabamento final das paredes interiores em tabique consistia na aplicação de uma argamassa terrosa à base de cal. Enquanto nas fachadas exteriores Norte e Este o revestimento final consistia numa argamassa à base de cimento, e na fachada sul era um revestimento materializado com placas de ardósia.

Efetuada uma análise visual aos vários elementos de madeira disponíveis, foi possível constatar duas situações distintas. Por um lado, foram observados alguns panos de parede em muito bom estado de conservação, enquanto noutros panos foi possível constatar alguma degradação, resultado essencialmente do ataque de insetos xilófagos ou de fungos. É preciso ter presente que pelo menos uma parte dos panos de parede é oriunda da mesma época de construção do edifício, tendo portanto, já alguns séculos.

4.1.2.1 Pormenores construtivos

A deteção e caracterização de pormenores construtivos neste caso de estudo foi bastante mais complicada, tendo em conta as restrições anteriormente descritas. Contudo, recorrendo a um suporte fotográfico bem fundamentado e a esclarecimentos pontuais foi possível sinalizar alguns pormenores construtivos que se consideram relevantes.

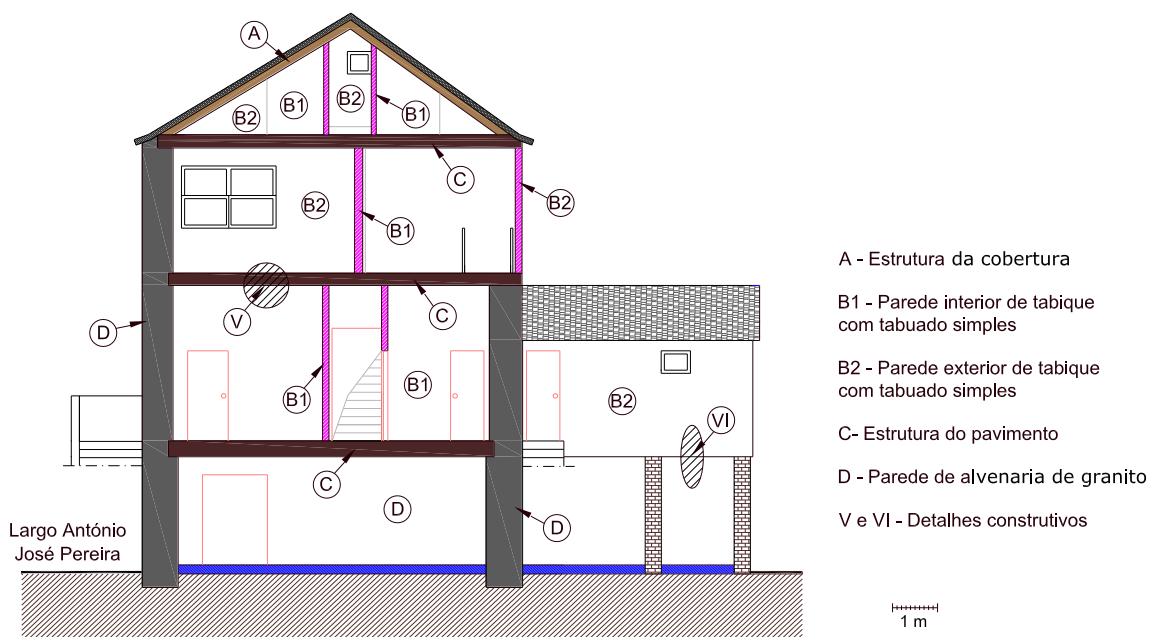
A Figura 4-12.b), refere-se ao corte transversal localizado no alinhamento C-C assinalado na Figura 4-12.a). Este corte transversal foi elaborado especificamente para este trabalho de investigação, com o objetivo de indicar os locais onde se encontram os pormenores construtivos que serão detalhados de seguida. Esses pormenores retratam a ligação das paredes de tabique entre si, assim como a ligação destas aos elementos horizontais, bem como a ligação existente às paredes resistentes de alvenaria de pedra. Também neste caso de estudo, as plantas disponibilizadas pela entidade promotora serão apresentadas em anexo.

O sistema estrutural principal do edifício era constituído por paredes exteriores resistentes em alvenaria de pedra, com aproximadamente 80,0 cm, que estavam presentes ao nível do rés do chão e 1º andar e na fachada principal do 2º andar (detalhe D da Figura 4-12.b)). Estas paredes resistentes serviam de apoio à estrutura de pavimento existente no edifício. Este pavimento de madeira era composto por um forro de madeira que se encontrava pregado às vigas principais, sobre as quais se apoiavam as vigas secundárias e sobre elas o soalho de pavimento (detalhe C da Figura 4-12.b)). A estrutura do pavimento do sótão era em tudo semelhante à adotada nos pavimentos dos andares, apenas diferindo pelo facto de ser invertida. As paredes de tabique

presentes nos andares superiores, quer exteriores ou interiores, assentavam diretamente em elementos de madeira. Ao nível da cobertura a solução existente para o sistema estrutural consistia em vigas de madeira que assentavam nas vigas principais existentes no pavimento do sótão, que após se ligarem aos elementos horizontais de madeira se apoiavam na parede resistente de alvenaria de granito num dos lados e numa parede de tabique no outro. Ao nível do rés do chão o pavimento térreo existia num afloramento rochoso sobre o qual estava aplicada uma camada de regularização.



a) Fachada principal



b) Corte transversal C-C

Figura 4-12: Construção de referência Ed.2

Seguidamente, serão abordados os pormenores construtivos referentes à conexão das paredes de tabique com os respetivos pavimentos e tetos, assim como algumas curiosidades encontradas. Uma vez que alguns dos pormenores construtivos encontrados neste caso de estudo são bastante semelhantes aos já descritos no Ed.1, e de modo a não tornar este trabalho

de investigação repetitivo, alguns dos pormenores serão somente mencionados, sem se proceder a uma descrição exaustiva.

Salvaguarda-se também o facto de estarmos perante, ao que tudo leva a crer três edifícios distintos, que depois foram aglomerados e até adaptados para essa nova situação, sendo portanto possível estar-se perante pormenores de tabique bastante distintos. Como já foi referido em 3.3, a técnica de tabique não segue normas pré-definidas de elaboração, ou seja, depende bastante do conhecimento empírico existente por quem elabora a parede de tabique, o que se traduz em pormenores construtivos distintos.

Tal como já foi referido para o anterior edifício, também aqui foi facilmente verificado através de suporte fotográfico que não existia uma efetiva e eficiente ligação das paredes de tabique aos pavimentos, isto porque estas simplesmente se encontravam apoiadas sobre os mesmos, estando apenas restringidas através da colocação do rodapé.

Através de alguns esclarecimentos por parte do empreiteiro responsável pela obra de reabilitação do edifício, foi possível perceber que na ligação entre paredes exteriores em tabique e entre paredes exteriores e paredes interiores em tabique, o único tipo de união existente residia na ligação direta através de pregagem dos últimos elementos verticais, e na colocação do ripado, intercalados entre si. Como situação curiosa, e constatada através de suporte fotográfico, refira-se a existência de telha canudo a revestir e contornar pelo exterior a confluência de duas paredes exteriores de tabique.

Foi também possível esclarecer e comprovar através de suporte fotográfico que não existia uma ligação eficiente entre as paredes interiores de tabique e as paredes exteriores em alvenaria de pedra. A materialização desta ligação consistia simplesmente em encostar os vários elementos entre si, sem a existência de qualquer tipo de ligação, do tipo encaixe ou recorrendo a conectores.

A Figura 4-13 é referente ao pormenor construtivo V da Figura 4-12.b), e serve acima de tudo como curiosidade e para descrever três situações distintas que são visíveis numa só imagem.

É visível na imagem da esquerda (pormenor n.1) a não uniformidade do tabique numa mesma parede. Esta diferença é concretizada com diferentes secções transversais dos seus elementos constituintes, assim como pela diferente disposição adotada. Apesar da inexistência de fundamento técnico, pensa-se que esta diferença surge da existência de técnicas de construção distintas, em função da época de construção. A secção com maior rigor técnico, isto é, aquela que apresenta maior uniformidade das secções transversais dos elementos de madeira e dos espaçamentos entre si, corresponde à parte mais recente, que terá surgido da necessidade de readaptar os espaços para a nova geometria do edifício. Os elementos verticais de madeira que

supostamente são mais antigos, assemelham-se a prumos, mas este dado não foi passível de ser comprovado.

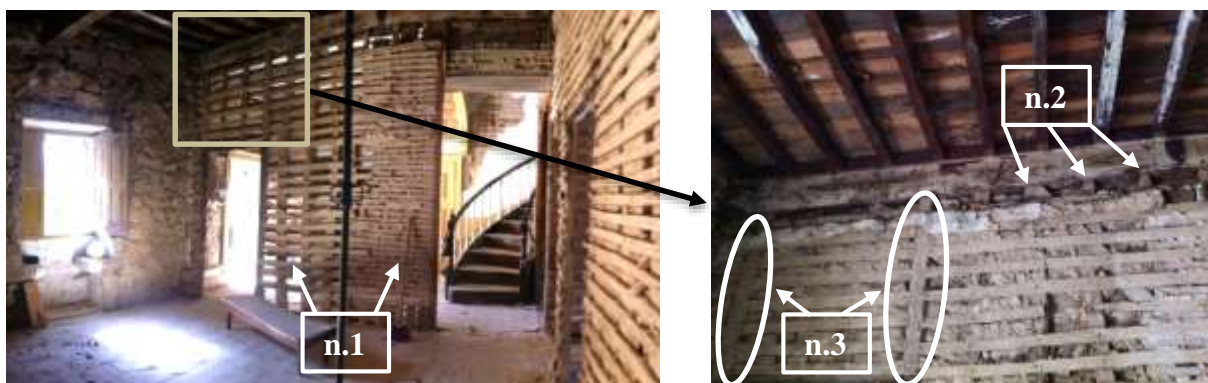


Figura 4-13: Ligação entre uma parede interior de tabique e o teto do andar, detalhe V

Ao efetuar uma observação mais cuidada, é possível constatar na imagem da direita (pormenor n.2) que os elementos verticais da parede de tabique, ao nível superior, penetravam a viga principal. Este pormenor técnico assemelha-se ao já apresentado em 4.1.1.1, com a única diferença de em vez de existir uma reentrância longitudinal contínua ao longo da viga, neste caso foram realizadas reentrâncias pontuais, no local onde as tábuas encaixavam.

Por último é também possível constatar na imagem da direita (pormenor n.3) que, para limitar a largura da porta, eram colocados prumos com alguma espessura e que, como consequência o ripado nessa zona não sobrepunha os prumos, estando limitado entre prumos.

Na Figura 4-14 apresenta-se um esquema do detalhe construtivo VI da Figura 4-12.b), que correspondente à ligação existente entre a parede exterior de tabique e o pavimento do 1º andar. Este anexo ao edifício encontrava-se num pátio, apoiado sobre quatro pilares realizados em tijolo burro.

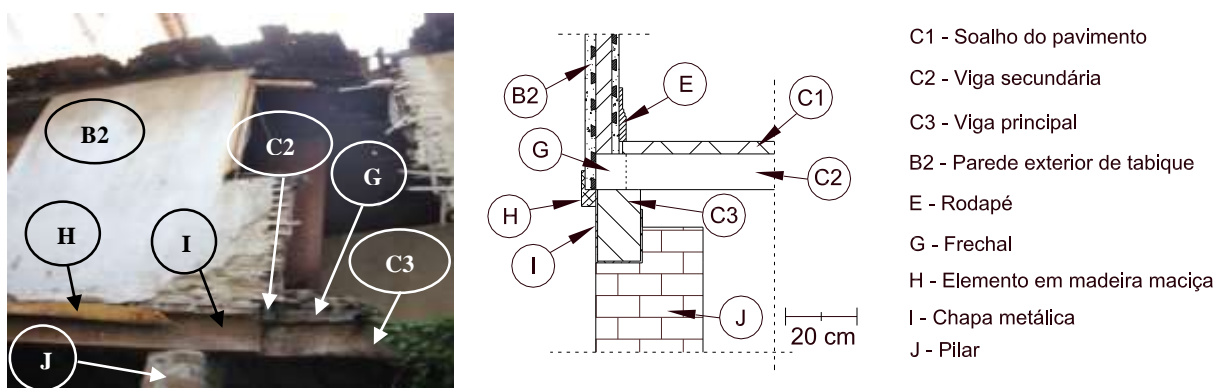


Figura 4-14: Ligação entre a parede exterior de tabique e o pavimento do 1º andar, detalhe VI

Nesta ligação é visível que a viga principal de madeira (detalhe C3 na Figura 4-14), se encontrava simplesmente apoiada no topo dos pilares. Encontrando-se revestida por uma chapa metálica (detalhe I na Figura 4-14), muito possivelmente com o objetivo de proteger a viga da degradação resultante da ação direta dos agentes agressivos exteriores. Este pormenor construtivo tem a curiosidade de o frechal existente não ser um elemento contínuo (detalhe G na Figura 4-14). Apenas existia entre as vigas secundárias (detalhe C2 na Figura 4-14). Por fim, ainda se observa a existência de uma calha em madeira maciça (detalhe H na Figura 4-14), com o objetivo de proteger a parte inferior da parede de tabique.

Para além dos pormenores supracitados é possível ainda referir que por vezes, para nivelar a estrutura de madeira, no caso de as tábuas verticais possuírem espessuras variáveis entre si, eram pregadas ripas na vertical sobre essas tábuas, tal como é visível na Figura 4-15. Este pormenor construtivo tem como objetivo permitir que no seu conjunto a parede possua sempre a mesma espessura.



Figura 4-15: Colocação de ripas na vertical para nivelar o conjunto da parede de tabique

4.1.3 Outros edifícios

Para além dos edifícios já mencionados e apesar de não ter sido feito um estudo tão aprofundado, ainda foi inspecionado outro edifício. Apresentam-se de forma resumida as conclusões retiradas em relação a pormenores construtivos observados numa parede de tabique existente, que foi preservada, devido ao seu valor histórico, mesmo após as obras de reabilitação a que o edifício foi sujeito.

Na Figura 4-16 é possível observar a fachada principal do edifício em questão, conhecido como sendo a antiga sinagoga de Viseu. Este edifício, tal como os anteriores, localiza-se no centro histórico de Viseu, mais concretamente entre a rua da Árvore e a rua Direita e possui as seguintes coordenadas geográficas, Latitude: N 40° 39' 31.36" e Longitude: W 7° 54' 38.48".



Figura 4-16: Fachada principal do edifício

Através de informação cedida pela entidade promotora da obra, foi possível aferir que o edifício foi construído ao longo do tempo, em diversas fases construtivas, sendo que a sua construção está situada na transição entre a Alta e Baixa Idade Média. Apesar de ser frequentemente designado como sendo a antiga sinagoga de Viseu, após a avaliação feita pela equipa de arqueólogos, verificou-se ser cada vez mais uma designação desprovida de fundamento científico. Porém tudo leva a querer que este tenha sido ocupado por famílias de judeus.

Atualmente tratava-se de um imóvel privado, que a câmara municipal de Viseu adquiriu com o intuito de transformar no Museu de História da Cidade e Sede do Museu Municipal.

Tal como já foi referido, mesmo após as obras de reabilitação a que o edifício foi sujeito, foi mantida e restaurada uma parede de tabique. Esta parede de tabique, apesar de não ter sido possível datá-la com rigor, pensa-se ser muito possivelmente contemporânea da época de construção do restante edifício.

Na Figura 4-17, é possível observar a referida parede, sendo que na Figura 4-17.a) é visível a mesma antes das obras de restauro e, na Figura 4-17.b), após as obras de restauro.



a) Antes do restauro



b) Após o restauro

Figura 4-17: Parede de tabique conservada e restaurada

Relativamente aos pormenores construtivos, este pano de parede representa um bom exemplo da evolução da técnica de tabique ao longo do tempo. É visível que a parede de tabique foi elaborada em dois períodos distintos do tempo (Figura 4-18). Apesar de não ter sido possível, com precisão, datar a construção da parede de tabique, pensa-se que a quase totalidade do pano de parede é contemporâneo da construção inicial do edifício, enquanto uma pequena fração (à esquerda), é referente a um período mais recente, mas que não foi possível datar.

No que se refere à estrutura de madeira, e comparando as duas técnicas de construção, foi possível observar que os elementos mais antigos não possuíam rigor na sua disposição. As dimensões das secções e o espaçamento entre si eram bastante díspares. Em termos de ligação ao pavimento inferior, observa-se que este era materializado através de uma pregagem dos elementos verticais ao frechal, que se encontrava no topo da parede de alvenaria de pedra. Ainda é possível referir que devido à idade dos elementos de madeira mais antigos, era já bastante visível a sua degradação, devido ao ataque de agentes xilófagos.

Relativamente ao material de enchimento, verifica-se que a parte mais antiga contém bastante palha. A própria coloração do material é bastante diferente, consequência de um tipo de mistura de solo diferenciado.



a) Ligação superior



b) Ligação inferior

Figura 4-18: Detalhe construtivo entre duas frações de tabique, numa mesma parede, construído em épocas distintas

4.1.4 Análise e discussão dos resultados

Ao longo deste subcapítulo procedeu-se à identificação e descrição de cada um dos casos de estudo que foram utilizados na obtenção das amostras para a caracterização experimental dos vários elementos que constituem as paredes de tabique.

De forma geral constatou-se que o caso de estudo Ed.1 possuía mais pormenores construtivos e muito bem fundamentados. Porém esta conclusão é fundamentada no facto de não ter sido

possível observar as paredes aplicadas em obra, no caso de estudo Ed.2. Contudo é natural que as paredes de Ed.1, por serem mais recentes, tenham sido realizadas com mais rigor, a que não é alheio o facto de ser um edifício público (antiga sede de bombeiros) e ter maior dimensão.

4.2 Estudo e caracterização experimental dos materiais

Tendo por base a informação recolhida ao longo do capítulo 3, relativa à técnica de construção em tabique, foi possível concluir que, de uma forma geral, este elemento construtivo é constituído por três tipos de materiais, a madeira, a terra e os conectores do tipo pregos metálicos. A madeira é o elemento principal, que confere a resistência à estrutura, sobre a qual é colocado um material à base de terra com o objetivo de preencher os vazios existentes e de servir como revestimento, enquanto os conectores metálicos são utilizados para fixar os diversos elementos de madeira e estes a outros elementos estruturais.

Com vista a estudar e caracterizar experimentalmente os materiais utilizados na construção das paredes de tabique, foram recolhidas ao longo do trabalho de campo um conjunto de amostras destes três tipos de materiais, referentes aos dois casos de estudo. Nas secções seguintes apresentam-se os resultados do estudo de caracterização experimental dos materiais recolhidos.

4.2.1 Estrutura de madeira

Numa parede de tabique a estrutura resistente é conferida pelos elementos de madeira. Esses elementos são compostos pelas ripas do fasquio e pelas tábuas ou prumos, que através das ligações existentes entre si conferem resistência à estrutura.

Durante a realização do trabalho de campo houve o cuidado de se proceder ao registo das várias dimensões dos diversos elementos constituintes da estrutura de madeira, de modo a caracterizar melhor estes elementos. Na Figura 4-19 apresentam-se algumas das paredes que foram utilizadas na obtenção das respetivas dimensões.

Tanto quanto se sabe, esta é a primeira vez em que este tipo de registo se faz no centro histórico de Viseu. As conclusões do registo destas dimensões encontram-se expostas nas duas subsecções seguintes.



a) Paredes de tabique simples, Ed.1



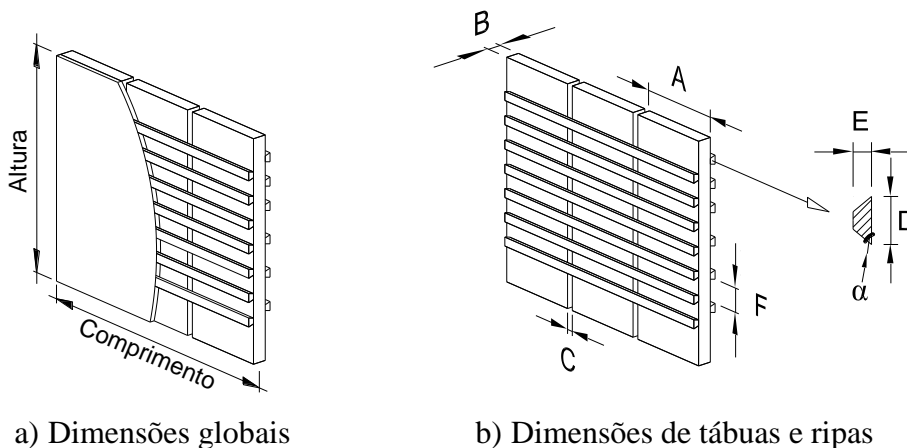
b) Parede de tabique dupla, Ed.1



c) Paredes de tabique simples, Ed.2

Figura 4-19: Paredes de tabique em estudo

Na Figura 4-20 apresenta-se um esquema exemplificativo da estrutura típica de uma parede de tabique, onde se encontram definidas as dimensões registadas. Para as tábuas verticais atribuíram-se as seguintes designações: a largura (A), a espessura (B) e o espaçamento horizontal entre si (C). Por sua vez, as ripas de madeira estão assinaladas com: a largura (D), a espessura (E) e o espaçamento livre vertical entre si (F). Todos os elementos constituintes da estrutura de madeira não possuem dimensões constantes em todo o seu desenvolvimento, pelo que os valores apresentados correspondem aos valores médios registados.



a) Dimensões globais

b) Dimensões de tábuas e ripas

Figura 4-20: Exemplo da estrutura de madeira de uma parede de tabique com as dimensões consideradas mais representativas

Salienta-se também o facto de todas as porções de paredes de tabique que foram obtidas em cada um dos casos de estudo, serem referentes a paredes interiores.

4.2.1.1 Dimensões globais

No que se refere às dimensões globais (comprimento, altura e espessura) das paredes de tabique de cada um dos casos de estudo, foi possível fazer uma síntese dessas dimensões recorrendo ao levantamento da arquitetura existente antes dos trabalhos de reabilitação e complementado através de medições no local. Porém, como à data da visita as paredes de tabique já não possuíam o material de enchimento, tornou-se inviável aferir com exatidão a sua espessura.

Na Tabela 4-1 identificam-se as paredes de tabique, o tipo de parede (interior ou exterior) e o intervalo de valores encontrado para o seu comprimento e altura.

Tabela 4-1: Dimensões globais das paredes de tabique presentes nos casos de estudo

Id.	Tipo	Comprimento (m)	Altura (m)
Ed.1	Interior	0,75 - 12,0	1,55 - 4,45
Ed.2	Interior	1,15 - 4,80	1,85 - 3,45
	Exterior	2,65 - 8,0	1,60 - 2,80

Através de uma análise ao conjunto global de valores registados, é possível aferir que as paredes possuíam um intervalo de valores para o comprimento e altura com dimensões compreendidas entre 0,75 m e 12,0 m e entre 1,55 m e 4,45 m, respetivamente. Contudo, ao ser feita uma distinção entre os casos de estudo, é possível afirmar que, em termos comparativos, as dimensões registadas nas paredes de Ed.2, apresentam valores semelhantes com os resultados obtidos por Cardoso (2013) e Cepeda (2009). As dimensões máximas encontradas para as paredes de tabique em Ed.1, quer em comprimento, quer em altura, apresentam valores bastante superiores aos registados até ao momento noutros trabalhos da área, consequência do tipo de ocupação do mesmo.

Tal como já foi referido por Cardoso (2013), a construção de panos de parede em madeira tem como vantagem o facto de permitir atingir comprimentos muito superiores aos utilizados na construção tradicional em alvenaria de tijolo cerâmico, que devido aos efeitos de dilatação e retração térmica são inviáveis.

4.2.1.2 Tábuas

De um modo geral, é possível referir que todas as amostras de tábuas observadas apresentavam um aspeto tosco e sem qualquer tipo de acabamento final e que, tal como seria espectável, possuíam furos devido aos pregos utilizados na conexão entre os vários elementos.

Relativamente ao tipo de secção transversal das várias amostras inspecionadas, é possível observar na Figura 4-21 os três tipos de secções encontrados. O mais comum era tábuas com uma secção retangular (Figura 4-21.a)), seguido de tábuas costaneiras, que também eram frequentes (Figura 4-21.b)), e por último, e em número residual, tábuas retangulares irregulares (Figura 4-21.c)).

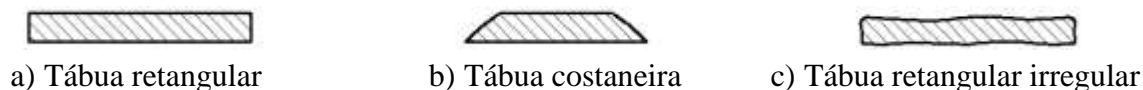


Figura 4-21: Secções transversais das tábuas

A síntese dos resultados das medições realizadas a três frações de paredes distintas para cada um dos casos de estudo encontra-se apresentada na Tabela 4-2. São indicados os valores médios obtidos para as secções transversais das tábuas de madeira dos casos de estudo, de acordo com as simbologias indicadas em 4.2.1.

Tabela 4-2: Dimensões médias das tábuas de madeira das paredes de tabique em estudo

Id.	Tábuas		
	A (cm)	B (cm)	C (cm)
Ed.1	19,9	5,0	3,4
Ed.2	13,8	3,5	2,6

Efetuando uma análise aos dados registados é possível apurar que, em termos de valores médios, as tábuas possuem uma largura (A) de 19,9 cm e 13,8 cm, uma espessura (B) de 5,0 e 3,5 cm e um espaçamento horizontal entre as tábuas de madeira (C) de 3,4 cm e 2,6 cm para os casos de estudo Ed.1 e Ed.2, respetivamente.

Comparando-se os dois edifícios, é possível afirmar que os valores registados nas paredes do Ed.2 possuem uma maior variabilidade do que os registados no Ed.1. Verifica-se que as tábuas das paredes do Ed.1 possuem uma secção transversal superior. No entanto, apresentam um maior espaçamento entre si.

4.2.1.3 Ripas do fasquio

Tal como foi mencionado para as tábuas, também para as ripas de fasquio é possível referir que estas para além de apresentarem os furos oriundos dos pregos que anteriormente aí constavam, apresentavam uma superfície rugosa com um acabamento tosco.

Em relação ao tipo de secção transversal, as amostras observadas possuíam três tipos distintos de secções (Figura 4-22). A mais comum era a secção transversal do tipo retangular com chanfro duplo (Figura 4-22.a)).No entanto, e apesar de em menor número, também foram

identificadas outro tipo de secções, tais como secções transversais do tipo retangular com chanfro simples (Figura 4-22.b)) e secções transversais do tipo retangular (Figura 4-22.c)).

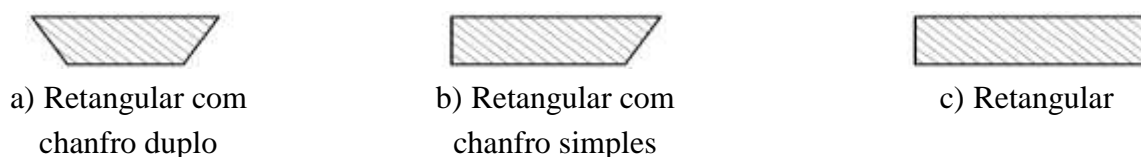


Figura 4-22: Secções transversais das ripas

Na Tabela 4-3, apresentam-se os resultados referentes às medições efetuadas a frações de três paredes distintas para cada um dos casos de estudo, concordantes com as simbologias indicadas em 4.2.1.

Tabela 4-3: Dimensões médias das ripas de madeira das paredes de tabique estudadas

Id.	Ripas			
	D (cm)	E (cm)	F (cm)	α (°)
Ed.1	3,3	1,4	4,1	63,36
Ed.2	3,0	1,4	4,2	63,22

Através de uma análise às dimensões registadas é possível constatar que em média, as ripas horizontais possuem uma largura (D) de 3,3 cm e 3,0 cm, uma espessura (E) de 1,4 cm para ambos os casos de estudo e um espaçamento entre ripas de madeira (F) de 4,1 cm e 4,2 cm para os casos de estudo Ed.1 e Ed.2, respetivamente. Enquanto os chanfros existentes na quase totalidade das ripas inspecionadas possuem um ângulo de corte de aproximadamente 63° com a vertical, em ambos os casos de estudo. A existência dos chanfros nas ripas tem como propósito contribuir na retenção do material de enchimento.

Em termos de valores médios os valores registados nas várias amostras de paredes, para ambos os casos de estudo, são bastante semelhantes. Porém os valores registados em Ed.2 possuem uma maior disparidade.

4.2.1.4 Descrição dos ensaios realizados

Considerando a importância de conhecer as propriedades físicas e mecânicas da madeira, estrutura resistente das construções em tabique, foram realizados alguns ensaios experimentais. De forma prévia e com o intuito de se escolher os ensaios mais adequados a realizar, foi feita uma revisão bibliográfica. Verificou-se a escassez de trabalhos científicos publicados que abordem a caracterização da madeira, quando a aplicação desta se insere numa parede de tabique. Com efeito, até à realização deste trabalho, as anteriores abordagens em trabalhos nesta área, como são exemplo os trabalhos de Cardoso (2013), Carvalho (2009),

Cepeda (2010), Gonçalves (2010) e Martinho (2010), somente residia na identificação da espécie de madeira utilizada, sendo omissos na restante caracterização.

Salienta-se desde já, que de modo a aferir a espécie de madeira, para ambos os casos de estudo, foram realizados cortes histológicos a vários elementos, permitindo concluir que a espécie presente era o pinho bravo (*pinus pinaster*).

Os ensaios adotados consistiram numa análise à flexão estática, à dureza e à compressão axial, sendo que todos eles foram realizados no laboratório de mecânica da madeira, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu – Instituto Politécnico de Viseu (ESTGV-IPV).

Como consequência do limitado tempo disponível para a realização dos ensaios, não foi possível aprofundar e alargar a investigação a outros ensaios, como por exemplo, a determinação da retração da madeira. Esta constitui uma informação importante na caracterização física da madeira, sendo também necessário conhecer esta propriedade para se proceder à correção dos resultados obtidos durante os ensaios. Contudo, devido ao facto do ensaio requerer um prazo muito longo para a sua realização, esta tornou-se inviável. Como tal, sempre que foi necessário utilizar essa informação nos cálculos efetuados, adotou-se o valor da retração do pinho bravo de Viana, visto este ser um dos valores de referência apresentado por Carvalho (1996). Apresenta-se de seguida uma breve descrição dos ensaios realizados.

4.2.1.4.1 Flexão estática

O ensaio de flexão estática consiste na aplicação de uma carga, a meio vão, sobre uma peça simplesmente apoiada nas extremidades. A carga aplicada é introduzida lentamente a uma velocidade constante, até provocar a rotura do provete. O objetivo deste ensaio é obter a força de rotura, ou seja, a força máxima aplicada e a respetiva flecha aquando da dita rotura. Este ensaio encontra-se descrito na norma portuguesa NP 619 [1973].

4.2.1.4.2 Dureza

A dureza é definida como sendo a capacidade que um corpo possui em resistir à deformação localizada por meio de um esforço, isto é, a capacidade que o material testado possui para resistir à penetração de um dispositivo específico. A dureza da madeira representa um bom indicador relativo à facilidade ou à dificuldade em moldá-la. Apesar de neste contexto não se considerar como sendo uma característica preponderante, optou-se por se proceder ao seu estudo para uma melhor caracterização do material em estudo.

Para determinar a dureza das madeiras existem vários métodos, entre eles o Chalais-Meudon e o Janka, que estão descritos na norma portuguesa NP 617 [1973] e na norma ISO 3350, respetivamente.

4.2.1.4.3 Compressão axial

O ensaio de compressão axial, tal como o nome indica, consiste em submeter os provetes a uma compressão paralela às fibras, até atingir a rotura sob a ação de uma carga com velocidade constante. A rotura surge devido ao rompimento das camadas intercelulares, ao fendimento, à dobragem das células e à rotura das paredes celulares. Este ensaio encontra-se descrito na norma portuguesa NP 618 [1973].

4.2.1.5 Preparação das amostras e realização dos ensaios

Ao longo do desenvolvimento do trabalho de campo foram recolhidas várias paredes de tabique referentes aos dois edifícios em estudo. A recolha das paredes restringiu-se à estrutura resistente incluindo as respetivas ligações, os conectores metálicos e, em separado, o material de enchimento.

Após essa recolha, a madeira foi sujeita a uma conveniente preparação, de modo a ser possível determinar algumas das suas propriedades físicas e mecânicas, que se consideram relevantes para este trabalho. Seguidamente, descrevem-se e ilustram-se os procedimentos realizados na obtenção dessas propriedades.

4.2.1.5.1 Preparação das amostras

A preparação das amostras para a realização dos ensaios de caracterização física e mecânica da madeira foi transversal a todos os ensaios, sendo que a única diferença residiu no comprimento final dos provetes, em função do ensaio em questão. Como tal, por forma a não se repetir informação, agrupou-se na mesma subsecção a descrição da preparação dos provetes.

Antes de se proceder à preparação dos provetes propriamente ditos, foi necessário remover todos os elementos mecânicos de ligação de algumas tábuas e do fasquiado que lhe estava subjacente, em cada um dos casos de estudo. Seguidamente, procedeu-se à lavagem da madeira, com o auxílio de uma máquina de pressão, de modo a remover todos os grãos de argamassa terrosa que ainda lá pudessem existir, após o que se deixou a madeira secar ao ar durante alguns dias.

Convém realçar que os ensaios foram realizados apenas à madeira proveniente das tábuas. A realização de ensaios à madeira proveniente do fasquiado mostrou-se inapropriada, devido à insuficiente secção que estas possuem, por forma a respeitar as normas em vigor.

Após a secagem ao ar, ocorrida durante alguns dias, submeteu-se a mesma a um corte transversal e longitudinal (Figura 4-23.a)), de modo a obterem-se secções próximas das desejadas para realizar os ensaios. Esta operação foi realizada com o auxílio de um traçador e de uma serra de fita.

Teve-se o cuidado de numerar cada uma das secções de madeira, resultantes dos cortes efetuados, desde a proveniência inicial de cada uma das tábuas e ao longo de cada uma das etapas (Figura 4-23.b)).

Seguidamente, procedeu-se ao aparelhamento de cada um dos exemplares obtidos anteriormente (Figura 4-23.c)). Esta operação decorreu com o auxílio de uma garlopa, que efetuou o aparelhamento da face e junta, seguido da desgrossadeira, que aparelhou a contra face e contra junta.



a) Corte longitudinal,
na serra fita



b) Numeração das secções
de madeira



c) Aparelhamento, na
garlopa

Figura 4-23: Etapas da preparação dos provetes

Finalmente, para a obtenção dos provetes com as dimensões finais (Figura 4-24), foi usado equipamento para processamento de provetes, ou seja, equipamento de maior precisão, nomeadamente uma desgrossadeira e uma serra radial.



Figura 4-24: Provetes com secções finais para ensaio

Os provetes que integravam cada um dos conjuntos de ensaio, descritos seguidamente, foram previamente medidos. Após cada ensaio foram pesados (Figura 4-25.a)), antes e depois de serem colocados na estufa (Figura 4-25.b)). Este procedimento permitiu determinar a humidade que cada provete continha aquando do ensaio. Com isso, tornou-se possível calcular a densidade de cada um dos provetes e fazer-se as respetivas correções necessárias, para que os valores obtidos fossem comparados com os de referência, e que são referentes a uma humidade de 12,0 %.



a) Pesagem de cada provete



b) Estufa

Figura 4-25: Determinação da humidade dos provetes

4.2.1.5.2 Flexão estática

Os ensaios de flexão estática foram realizados com o auxílio de uma máquina de ensaios universal SERVOSIS ME-405 (Figura 4-26.a)), segundo as metodologias descritas na norma portuguesa NP 619 [1973]. Os provetes ensaiados possuíam dimensões próximas de 2,0×2,0×45,0 cm nas direções radial, transversal e tangencial, respetivamente.

O ensaio consistiu em colocar os provetes sobre os apoios, orientados de modo a que a carga fosse aplicada segundo a direção tangencial da madeira, e de modo a que o seu eixo ficasse perpendicular aos eixos dos apoios e que a sua secção média ficasse centrada em relação à distância entre apoios (Figura 4-26.b)). Aproximou-se o prato superior da máquina até o cutelo contactar com a face do provete, mas evitando a transmissão de qualquer solicitação. Por fim, foi aplicada uma força crescente a um ritmo constante, até à rotura do provete, aproximadamente ao fim de 3 minutos (NP 619 [1973]).



a) Máquina de ensaios universal SERVOSIS ME-405



b) Pormenor do ensaio de flexão estática

Figura 4-26: Ensaio de flexão estática

Em termos globais, foram estudados um total de 25 provetes, sendo que o primeiro conjunto de 10 provetes é referente ao Ed.1 e o restante conjunto de 15 provetes é referente ao Ed.2.

4.2.1.5.3 Dureza

Os ensaios de dureza foram realizados aplicando a cada provete dois métodos distintos, isto é, o método Chalais-Meudon e o método Janka, que estão descritos na norma portuguesa NP 617 [1973] e na norma ISO 3350, respetivamente. A adoção de dois métodos distintos para determinar esta característica teve como fundamento o facto de terem ambos uma aceitação similar na definição desta característica. Para a sua realização também foi utilizada a máquina de ensaios universal SERVOSIS ME-405, com os acessórios próprios para cada um dos métodos utilizados.

Dado que a realização deste ensaio requeria provetes de menores dimensões, foram aproveitados os provetes de madeira proveniente do ensaio de flexão. Retiraram-se da amostra os danos mecânicos que tinham resultado dos ensaios de flexão, obtendo-se provetes de menores dimensões. Os provetes ensaiados possuíam dimensões próximas de 2,0×2,0×6,0 cm nas direções radial, transversal e tangencial, respetivamente, de acordo com o indicado na norma.

Numa das extremidades do provete procedeu-se ao ensaio de dureza segundo o método de Chalais-Meudon, preconizado na norma portuguesa NP 617 [1973]. Posteriormente, e após troca de acessórios efetuou-se na extremidade oposta da contra face, o ensaio de dureza segundo o método Janka, descrito na norma ISO 3350.

O ensaio segundo o método de Chalais-Meudon (Figura 4-27.a)), consistiu em colocar o provete com a face radial virada para cima, sobre o prato da máquina, apoiando-se depois sobre essa face o cutelo, deixando o eixo do bordo do cilindro horizontal. De seguida aplicou-se ao cutelo uma força progressivamente crescente até atingir, ao fim de 3 minutos, o valor de 200 kgf. Após o que se começou a diminuir a intensidade da força, de modo a que a sua variação se dê a um ritmo análogo ao descrito anteriormente. Por fim, fazem-se as duas leituras, ascendente e descendente, relativas ao valor indicado pelo dispositivo de medição da profundidade da moça, quando se atingiu os 5 kgf. Obtém-se assim o valor final da dureza, de modo direto pela máquina de ensaio, e que corresponde ao inverso do valor existente entre a diferença entre as duas leituras efetuadas.

No ensaio segundo o método de Janka (Figura 4-27.b)), o procedimento consistiu em introduzir uma carga a uma velocidade constante, até que o equipamento penetrasse metade da esfera, ou seja, até que fosse atingida uma profundidade de 5,64 mm na madeira. Após o que se fez uma leitura direta do valor de dureza dado pelo equipamento.



a) Ensaio segundo o método Chalais-Meudon



b) Ensaio segundo o método Janka

Figura 4-27: Ensaio de dureza

No global e para cada um dos métodos, foram estudados um total de 24 provetes, sendo que o primeiro conjunto de 10 provetes é referente ao Ed.1 e o restante conjunto de 14 provetes é referente ao Ed.2.

4.2.1.5.4 Compressão axial

Também neste ensaio se utilizaram os provetes iniciais, utilizados nos ensaios de flexão estática, uma vez que este ensaio requer provetes de pequenas dimensões. Sempre que foi possível obteve-se um provete de cada um dos que foram utilizados no ensaio de flexão estática, desde que estivesse desprovido de qualquer dano.

O ensaio de compressão axial foi realizado de acordo com a norma portuguesa NP 618 [1973]. Também foi utilizada a mesma máquina de ensaios universal SERVOSIS ME-405, mudando os respetivos acessórios, próprios para o ensaio.

O ensaio consistiu em colocar o provete centrado no prato inferior da máquina e com o eixo segundo a direção vertical (Figura 4-28.a)). Desceu-se o prato superior até entrar em contacto com a face do provete, sem lhe aplicar qualquer carga. De seguida, foi aplicada uma carga a uma velocidade constante, até atingir a rotura, ao fim de aproximadamente 3 minutos (Figura 4-28.b)).



a) Pormenor do ensaio de compressão axial



b) Modo de rotura

Figura 4-28: Ensaio de compressão axial

No global, foram estudados um total de 47 provetes, sendo que o primeiro conjunto de 22 provetes é referente ao Ed.1 e o restante conjunto de 25 provetes é referente ao Ed.2.

4.2.1.6 Apresentação dos resultados

Após a descrição da preparação e realização de cada um dos ensaios, segue-se a apresentação dos resultados obtidos. Os resultados encontram-se pela mesma ordem pela qual os ensaios foram descritos anteriormente.

4.2.1.6.1 Flexão estática

Os resultados obtidos neste ensaio permitiram obter os valores de força máxima de rotura e dos deslocamentos ocorridos a meio vão, ou seja, a flecha para a carga máxima. Nos gráficos seguintes é possível visualizar os resultados obtidos. A representação não permite identificar os provetes ensaiados, dado que se adotou uma representação que permitisse evidenciar a sua globalidade e perceber a diversidade de comportamentos observados.

Nos Gráfico 4-1 e Gráfico 4-2 apresentam-se os resultados obtidos para o lote de provetes provenientes do edifício Ed.1, e do edifício Ed.2, respetivamente.

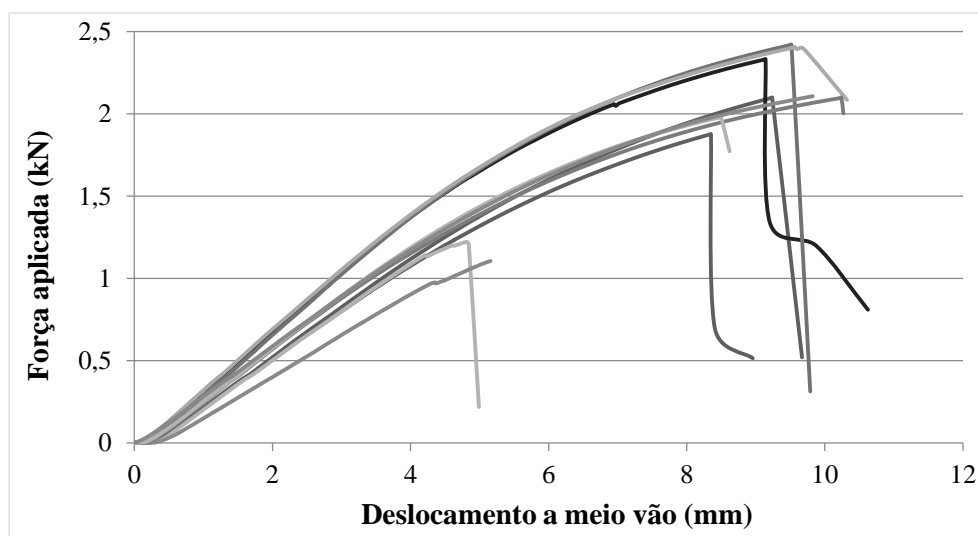


Gráfico 4-1: Ensaio de flexão estática. Conjunto de respostas Força vs Deslocamento a meio vão - Lote “Ed.1”

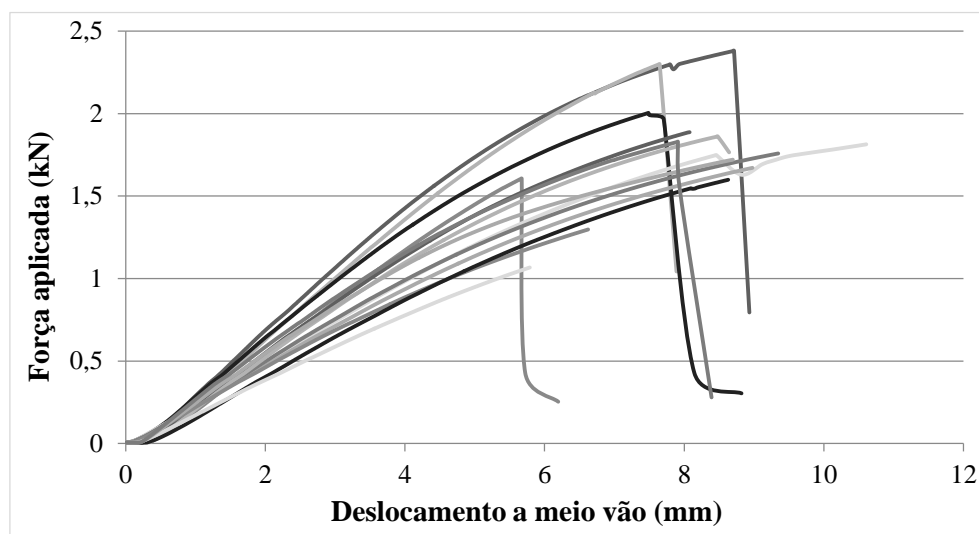


Gráfico 4-2: Ensaio de flexão estática. Conjunto de respostas Força vs Deslocamento a meio vão - Lote “Ed.2”

Em função dos resultados obtidos de forma direta, foi possível determinar o valor da tensão de rotura por flexão estática a 12% de teor em água da madeira em cada provete, e as respetivas cotas de flexão, tenacidade e rigidez. Por uma questão de simplificação apresenta-se na Tabela 4-4, um resumo com os valores estatísticos obtidos para o ensaio de flexão estática referente a todos os provetes ensaiados, respetivamente para os lotes de amostras de Ed.1 e Ed.2.

Tabela 4-4: Valores estatísticos para o ensaio de flexão estática

	Média		Mínimo		Máximo		Desvio padrão		Coeficiente de variação (%)	
	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2
Densidade (H=12%) (kg/m ³)	652	560	593	517	729	608	46,1	19,94	7,1	4
Tensão Rotura (H=12%) (kg/cm ²)	1285	935	741	574	1569	1282	276,9	197,96	21,5	21
Deslocamento (mm)	8,64	8,00	4,82	5,67	10,40	10,61	2,0	1,42	23,3	18
Flexão	8	5	5	3	10	7	1,6	1,09	18,8	21
Cota Tenacidade	2	1,95	1	1,43	2	2,41	0,5	0,29	22,9	15
Rigidez	35	36	27	26	58	49	11,5	6,93	33,0	19

Analisando os resultados obtidos é possível referir que, no que respeita à tensão de rotura, existe uma elevada dispersão de resultados, uma vez que no tratamento estatístico foram considerados todos os provetes ensaiados. Estes, em algumas situações, apresentavam furos

oriundos dos pregos que anteriormente aí existiam, alguns dos quais a meio vão, como é possível comprovar através da Figura 4-29. Além da anisotropia do material e da presença habitual de defeitos que a madeira apresenta, a influência dos furos foi uma das causas que mais influenciou o resultado final obtido, nomeadamente a capacidade resistente.



Figura 4-29: Influência dos furos provocados por pregos nas linhas de rotura

O lote de amostras Ed.2 apresenta um valor médio de rotura inferior ao Ed.1, o que é facilmente compreensível tendo em consideração o facto de a madeira ser bastante mais antiga e de os provetes em questão não apresentarem as fibras com a orientação considerada adequada.

De um modo geral, é possível afirmar que os modos de rotura obtidos não seguem um modo de rotura padrão, devido à anisotropia do material e à eventual presença de defeitos que influenciam as características intrínsecas.

Na Tabela 4-5 encontra-se exposto a média dos valores obtidos nos ensaios realizados, e os valores de referência apresentados por Carvalho (1996), para o pinho bravo, quer de Leiria, quer de Viana do Castelo.

Tabela 4-5: Comparação entre valores obtidos e os de referência (flexão estática)

	Valores obtidos (média)		Valores de referência	
	Ed.1	Ed.2	Leiria	Viana
Densidade (H=12%) (kg/m ³)	652	560	640	565
Tensão Rotura (H=12%) (kg/cm ²)	1285	935	1519	1350

Comparativamente com os valores de referência apresentados por Carvalho (1996), constata-se que se obtiveram valores médios de tensões de rotura inferiores. No entanto, verifica-se que este valor médio foi bastante influenciado devido à presença dos furos já anteriormente referidos, caso contrário, nos provetes isentos de defeitos visíveis e sem furos, os valores obtidos ficam na sua maioria dentro dos valores de referência descritos em Carvalho (1996). Por outro lado, os valores médios da densidade obtidos são muito próximos dos referenciados em Carvalho (1996), sendo que o valor obtido em Ed.1 se assemelha ao valor de referência

para o pinho bravo de Leiria e o valor obtido em Ed.2 encontra-se muito próximo do valor de referência para o pinho bravo de Viana do Castelo.

Na Tabela 4-6, apresentam-se os valores obtidos na determinação do módulo de elasticidade, calculados através dos resultados provenientes do ensaio de flexão estática. Esta é uma propriedade intrínseca dos materiais, que foi obtida através da razão entre a tensão exercida e a deformação sofrida pelo material (Gráfico 4-1 e Gráfico 4-2). Depois de analisados os gráficos, recorreu-se à zona elástica para obter uma reta de regressão, da qual se retirou o declive. Após a aplicação da fórmula indicada na EN 408 [2003], determinou-se o módulo de elasticidade para o conjunto de provetes de cada um dos casos de estudo.

Tabela 4-6: Módulo de Elasticidade da madeira

	Média		Mínimo		Máximo		Desvio padrão		Coeficiente de variação (%)	
	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2
E_{m,g} (GPa)	10,87	8,66	8,62	5,98	12,72	11,66	1,30	1,80	11,99	20,73

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que a madeira estudada, possui características que de acordo com a EN338 [2003] a “aproximam” de uma madeira da classe de resistência C18 e C24 da madeira de pinho nacional, para Ed.2 e Ed.1, respetivamente.

4.2.1.6.2 Dureza

Salienta-se novamente, que em cada um dos provetes, foi realizado o ensaio de dureza, quer pelo método de Chalais-Meudon, quer pelo método de Janka, e que os valores da dureza foram obtidos de forma direta, através de uma leitura do valor fornecido pela máquina de ensaio.

Na Tabela 4-7 apresenta-se um resumo dos valores estatísticos obtidos para o ensaio de dureza pelo método de Chalais-Meudon, referente a todos os ensaios realizados para os provetes do lote de amostras Ed.1 e Ed.2.

Tabela 4-7: Valores estatísticos para o ensaio de dureza, pelo método de Chalais-Meudon

	Média		Mínimo		Máximo		Desvio padrão		Coeficiente de variação (%)	
	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2
Profundidade (mm)	0,25	0,40	0,14	0,30	0,37	0,60	0,1	0,1	26,5	23,1
Dureza (kgf)	4,3	2,62	2,7	1,67	7,1	3,38	1,3	0,5	29,6	20,4

Na Tabela 4-8 apresenta-se um resumo dos valores obtidos para o ensaio de dureza pelo método de Janka, para ambos os conjuntos de lotes de amostras.

Tabela 4-8: Valores estatísticos para o ensaio de dureza, pelo método de Janka

	Média		Mínimo		Máximo		Desvio padrão		Coeficiente de variação (%)	
	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2
Dureza (kgf)	398	317	338	267	457	403	44,0	33,6	11,1	10,6

Na Tabela 4-9 apresenta-se a média dos valores obtidos nos ensaios realizados, e os valores de referência apresentados por Carvalho (1996), para o pinho bravo, quer de Leiria, quer de Viana do Castelo.

Tabela 4-9: Comparação entre valores obtidos e os de referência (dureza)

	Valores obtidos (média)		Valores de referência	
	Ed.1	Ed.2	Leiria	Viana
Dureza (CM/ JANKA - kgf)	(4,3 / 398)	(2,62 / 317)	(2,2 / 330)	(3,6 / 325)

Em termos de comparação, verifica-se que os valores médios de dureza obtidos no lote de amostras Ed.1, para ambos os métodos utilizados, se encontram acima dos valores de referência. No lote de amostras Ed.2 verifica-se que estes se encontram aproximadamente dentro dos valores de referência.

4.2.1.6.3 Compressão axial

Através dos resultados obtidos para cada um dos provetes conseguiu-se extrair de forma direta o valor da força máxima de rotura e os respetivos deslocamentos medidos entre os pratos da máquina nesse instante. Tal como aconteceu na representação gráfica dos ensaios à flexão estática, também aqui se adotou uma representação que não permite identificar os provetes ensaiados, dado que se optou por evidenciar a sua globalidade e assim perceber a diversidade de comportamentos observados.

Nos Gráfico 4-3 e Gráfico 4-4 apresenta-se a interação existente entre a força aplicada a cada provete e o deslocamento existente entre os pratos da máquina, para as amostras dos edifícios Ed.1 e Ed.2, respetivamente.

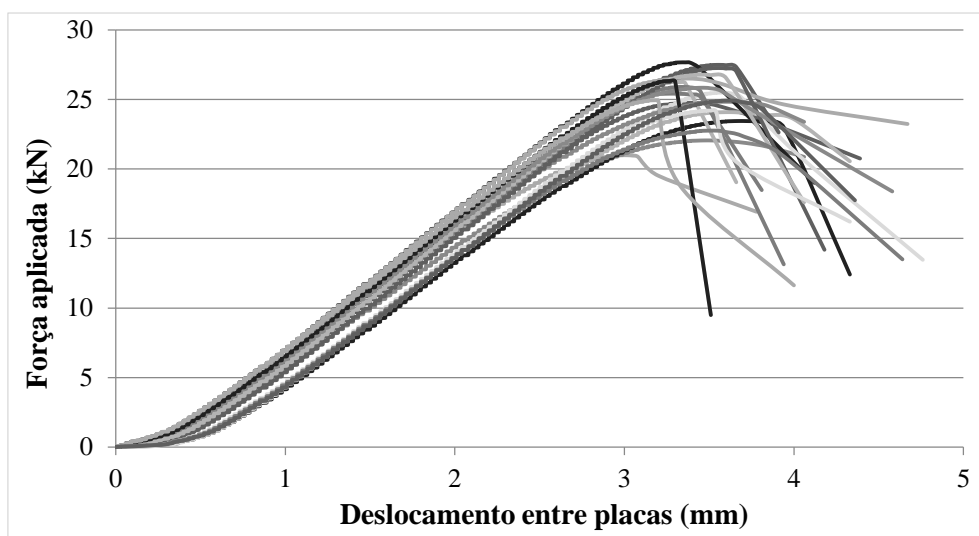


Gráfico 4-3: Ensaio de compressão axial. Conjunto de respostas Força vs Deslocamento entre placas - Lote "Ed.1"

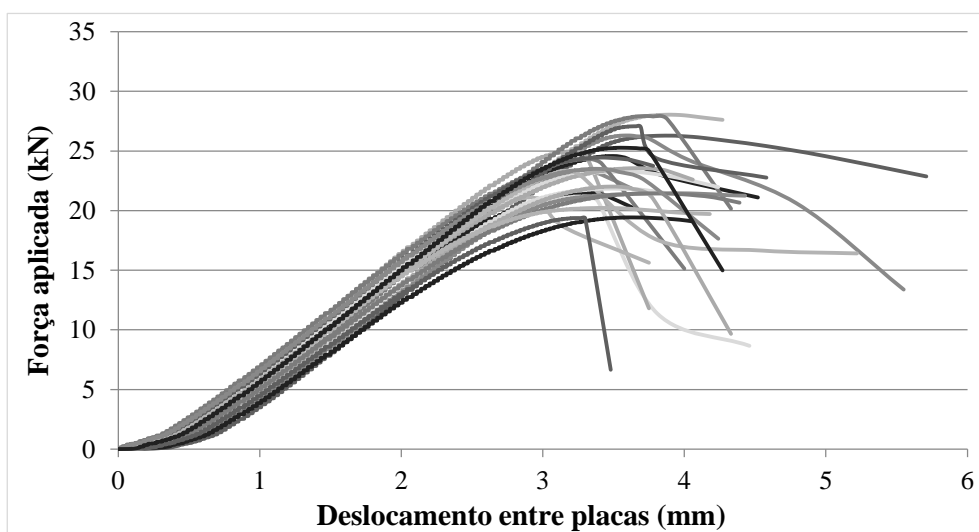


Gráfico 4-4: Ensaio de compressão axial. Conjunto de respostas Força vs Deslocamento entre placas - Lote "Ed.2"

Através do conjunto de respostas obtido diretamente da realização do ensaio, procedeu-se à determinação do valor da tensão de rotura por compressão axial a 12% de teor em água da madeira em cada provete, e as respetivas cotas estática e específica. Na Tabela 4-10 encontra-se uma síntese estatística dos resultados obtidos, referentes a todos os provetes ensaiados.

Analisando os resultados obtidos, no que respeita aos valores médios de tensão de rotura alcançados, é possível aferir que a dispersão existente não é muito grande. Tal é expectável uma vez que os defeitos e furos existentes na madeira não condicionam tanto o resultado final, como no ensaio à flexão estática.

Tabela 4-10: Valores estatísticos para o ensaio de compressão axial

	Média		Mínimo		Máximo		Desvio padrão		Coefficiente de variação (%)		
	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	Ed.1	Ed.2	
Densidade (H=12%) (kg/m ³)	665	572	589	523	776	643	53,6	25,2	8,1	4,4	
Tensão Rotura (H=12%) (kg/cm ²)	629	479	519	401	709	567	51,9	45,8	8,2	9,6	
Deslocamento (mm)	3,68	3,49	2,99	2,90	8,36	3,91	1,1	0,3	28,8	7,2	
Cota	Estática	4	3	3	2	6	3	0,6	0,3	13,9	12,0
	Específica	3	2	2	1	4	2	0,6	0,2	21,7	15,3

Tal como aconteceu no ensaio de flexão estática, também neste ensaio os valores médios obtidos para a tensão de rotura para a amostra Ed.2 foram inferiores aos obtidos na amostra Ed.1. O que de igual forma é explicado tendo por base a diferença de idades existentes entre o conjunto de amostras e o facto de na amostra Ed.2 não se terem obtido provetes com as fibras orientadas da forma mais adequada.

Por outro lado, também neste ensaio os modos de rotura observados não seguiram um padrão de rotura esperado, isto é, nem todos os provetes evidenciaram o mesmo comportamento. Este comportamento diferenciado é facilmente compreendido dada a madeira ser um material anisotrópico, cujo comportamento está dependente da presença ou não de defeitos.

Na Tabela 4-11 é apresentada a média dos valores obtidos nos ensaios realizados, e os valores de referência apresentados por Carvalho (1996), para o pinho bravo, quer de Leiria, quer de Viana do Castelo.

Tabela 4-11: Comparação entre valores obtidos e os de referência (compressão axial)

	Valores obtidos (média)		Valores de referência	
	Ed.1	Ed.2	Leiria	Viana
Densidade (H=12%) (kg/m ³)	665	572	640	565
Tensão Rotura (H=12%) (kg/cm ²)	629	479	685	590

Em termos comparativos, observa-se duas situações distintas para os valores médios da tensão de rotura obtidos. No que se refere ao lote de amostras Ed.1, os valores médios estão dentro dos valores de referência. Relativamente ao lote de amostras Ed.2, os valores obtidos encontram-se abaixo dos de referência para o pinho bravo, quer de Leiria ou de Viana do Castelo. Relativamente aos valores médios de densidade, constata-se que para as amostras do

caso de estudo Ed.1, os valores obtidos são superiores aos de referência, enquanto para as amostras do caso de estudo Ed.2 encontram-se dentro dos valores de referência.

4.2.1.7 Análise e discussão dos resultados

Ao longo deste subcapítulo foram abordados um conjunto de ensaios experimentais que permitiram o estudo e caracterização dos elementos de madeira presentes nas paredes de tabique dos casos de estudo.

Após a observação das várias paredes em tabique e respetivos pormenores construtivos, é possível afirmar que a estrutura de madeira do caso de estudo Ed.1 dispunha de mais rigor construtivo, quer na disposição dos vários elementos, quer na homogeneidade de todas as secções encontradas. No caso de estudo Ed.2, a estrutura de madeira possuía uma maior variabilidade de secções em todos os elementos observados, para além de um menor rigor construtivo na disposição dos vários elementos.

Após a realização de todos os ensaios, e refletindo-se sobre os valores obtidos, é possível tentar fazer-se uma comparação entre os valores médios obtidos e os valores de referência citados em Carvalho (1996). Para o ensaio de flexão estática obtiveram-se valores médios, para a tensão de rotura, que se encontram abaixo dos referenciados. Enquanto para o ensaio de compressão axial, os valores obtidos encontram-se dentro dos de referência, para as amostras provenientes de Ed.1 e, abaixo dos de referência, para as amostras provenientes de Ed.2. Por fim, e no que diz respeito aos valores obtidos para o ensaio de dureza, observa-se que para as amostras provenientes de Ed.1 os valores obtidos encontram-se acima dos valores de referência e, aproximadamente dentro dos mesmos para as amostras provenientes de Ed.2.

O valor da tensão de rotura no ensaio de flexão estática é aquele que apresenta uma maior variabilidade de valores. Consequência, muito provavelmente, da presença dos furos existentes nas linhas de rotura, que influenciaram bastante o comportamento final de alguns provetes.

Ao contrário do que até poderia ser expectável, comprova-se que a madeira conserva boa parte das suas propriedades físicas e mecânicas, mesmo após tantos anos de serviço, mantendo um desempenho estrutural muito aceitável.

4.2.2 Material de enchimento e de revestimento

Nas construções em tabique, a terra é considerada um elemento secundário, de enchimento e de revestimento. No entanto, desempenha um papel importante, isto porque, para além de servir como material de acabamento, protege a estrutura de madeira, como se acabou de constatar.

4.2.2.1 Amostras

Ao longo de todo o trabalho de campo procedeu-se à recolha de amostras de material de enchimento, nos dois edifícios anteriormente descritos (Figura 4-30), de modo a caracterizar-se experimentalmente este material. Ao longo das secções seguintes descreve-se a realização dos ensaios efetuados às amostras de material recolhido.



a) Material de enchimento da amostra Ed.1



b) Material de enchimento da amostra Ed.2

Figura 4-30: Material de enchimento recolhido ao longo do trabalho de campo

4.2.2.2 Descrição dos ensaios realizados

Antes de se proceder à caracterização da terra aplicada nas construções em tabique foi feita uma revisão bibliográfica, no sentido de avaliar quais são as características do material que se consideram relevantes, bem como os ensaios que as permitem determinar experimentalmente.

Relativamente ao estudo e caracterização da terra aplicada às construções em tabique, verificou-se que ainda existe uma carência de trabalhos científicos publicados. Ainda que recentemente tenham sido realizados alguns trabalhos nesta área, como são exemplo os trabalhos de Cardoso (2013), Carvalho (2009), Cepeda (2010), Gonçalves (2010) e Martinho (2010).

No entanto, quando se trata da aplicação da terra noutros sistemas construtivos, como no adobe, taipa e BTC, constata-se que já existe uma maior divulgação científica. Tendo por base esses trabalhos é possível aferir que a caracterização do material terra se baseia na identificação da sua granulometria, da sua plasticidade e na sua composição química e mineralógica.

Após a perceção de quais os ensaios necessários para se proceder à correta caracterização da terra, foram selecionados alguns ensaios, nomeadamente, ensaios de análise granulométrica, da plasticidade e da composição química e mineralógica elementar. Todos os ensaios foram realizados no laboratório de geotecnia, do Departamento de Engenharia Civil, da ESTGV-IPV.

Salienta-se que tendo por base restrições de ordem económica, não foi possível realizar alguns dos ensaios pretendidos, mais concretamente o ensaio de microscopia eletrónica de varrimento SEM/EDS (Scanning Electron Microscope e Energy Dispersive Spectroscopy) e o ensaio de difração de raios X.

4.2.2.2.1 Granulometria

A terra é composta por partículas minerais de diversas dimensões, que ao serem agrupadas de acordo com a sua distribuição dimensional em percentagem ponderal, tornam possível obter a sua composição granulométrica.

4.2.2.2.1.1 Ensaio de peneiração e de sedimentação

A determinação da composição granulométrica da terra, pode ser obtida com recurso aos ensaios de peneiração e de sedimentação.

Para caracterizar as partículas de maiores dimensões, com diâmetro superior a 0,074 mm, realiza-se o ensaio de peneiração, que se encontra regulamentado na norma do LNEC E 239 [1970]. Em complemento, e para caracterizar as partículas mais finas, com um diâmetro inferior a 0,074 mm, procede-se ao ensaio de sedimentação, que se encontra regulamentado na norma do LNEC E 196 [1966].

4.2.2.2.2 Plasticidade

A plasticidade é uma característica muito importante da terra, pois traduz a sua aptidão de ser trabalhada e moldada, sem perder a coesão. As partículas de menores dimensões, siltes e argilas, bem como, o teor em água são os fatores mais preponderantes no comportamento plástico da terra (Cardoso, 2013).

A terra pode ser muito plástica caso exista um intervalo bastante vincado entre dois limites do teor de água, designados por limite de plasticidade (LP) e por limite de liquidez (LL).

4.2.2.2.2.1 Determinação dos Limites de Atterberg

A plasticidade da terra pode ser quantificada através dos limites de Atterberg, designação habitual dada aos limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP).

A realização deste ensaio encontra-se descrita na norma portuguesa NP 143 [1969], que refere que a determinação dos limites de consistência, é realizada através da quantificação do teor em humidade da terra, no estado líquido e no estado plástico.

O índice de plasticidade (IP) pode ser calculado através da subtração do limite de liquidez ao de plasticidade. Este índice constitui um parâmetro importante, porque permite estimar a

extensão do comportamento plástico e também avaliar qual o teor de água necessário para fazer transitar o solo do estado sólido, com retração, para o estado líquido (Cardoso, 2013).

4.2.2.2.3 Composição química e mineralógica elementar

A determinação da composição química e mineralógica elementar permite identificar a presença de matéria orgânica e de algum ligante hidráulico, como por exemplo a cal aérea. Para tal, é frequente o recurso a ensaios de avaliação qualitativa para identificar a presença desses constituintes.

A presença de matéria orgânica, pode ser processada de diversas formas, tais como, a realização do ensaio do cheiro, do ensaio da observação da cor ou até através do método da calcinação. Por outro lado, a verificação da existência de cal na terra é facilmente comprovada através da realização do ensaio do ácido.

4.2.2.3 Preparação das amostras e realização dos ensaios

As amostras de material de enchimento recolhidas ao longo do trabalho de campo foram convenientemente preparadas de modo a que, posteriormente, fosse possível determinar as respetivas granulometrias, a plasticidade e a composição química e mineralógica elementar. Essas etapas encontram-se descritas nas secções seguintes, assim como se ilustram algumas fotografias, que servem de complemento à descrição efetuada.

4.2.2.3.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi executada por peneiração húmida e de acordo com a norma do LNEC E 239 [1970]. A preparação das amostras consistiu basicamente em desagregar cada uma delas com o recurso a um almofariz com um pilão (Figura 4-31.a)), após o que foram colocadas numa estufa, com o intuito de eliminar a humidade existente na terra. Após a secagem, peneiraram-se (Figura 4-31.b)) e efetuaram-se os registos dos retidos em cada um dos peneiros da série ASTM (American Society for Testing and Material), (Figura 4-31.c)).



Figura 4-31: Ensaio de peneiração

Uma vez que o ensaio de peneiração não permite conhecer com rigor a fração fina do material, mais concretamente a percentagem de argila e de silte, foi necessário realizar o ensaio de sedimentação.

O ensaio de sedimentação foi executado de acordo com a norma do LNEC E 196 [1966]. A realização deste ensaio consistiu inicialmente em desagregar as amostras de terra com recurso a um almofariz com um pilão. De seguida, executou-se um pré-tratamento na amostra Ed.1, uma vez que se constatou que continha compostos de cálcio. Seguidamente, já com a respetiva amostra no interior de um frasco de Erlenmeyer, adicionou-se o antifloculante e aqueceu-se a mistura de forma suave (Figura 4-32.a)), após o que a mistura foi transferida para um agitador elétrico (Figura 4-32.b)), com a utilização de água destilada. Terminada a agitação da amostra, esta suspensão foi transferida para um peneiro com 0,074 mm de abertura de malha, e lavou-se o solo no peneiro utilizando água destilada. Por fim, o material passado, foi transferido para uma proveta ao qual se adicionou água destilada até perfazer 1000 cm³. Posteriormente, foram feitas as respetivas leituras na proveta (Figura 4-32.c)) com o auxílio de um densímetro e de um termómetro graduado.



Figura 4-32: Ensaio de sedimentação

4.2.2.3.2 Plasticidade

A avaliação da plasticidade das amostras recolhidas, foi conseguida através da determinação dos limites de Atterberg. Este ensaio foi executado de acordo com a norma portuguesa NP 143 [1969].

Atendendo à norma, constatou-se que este ensaio somente é aplicável a solos com 30%, ou mais, em massa, de partículas inferiores a 0,05 mm. Como tal, este ensaio só foi aplicado à amostra Ed.2, amostra que respeitava essa condicionante.

Para se proceder ao ensaio propriamente dito, começou-se por desagregar a amostra com a ajuda de um almofariz e um pilão. Para a continuidade do ensaio, somente foram tidas em consideração as partículas que passaram no peneiro nº40.

Na determinação do limite de liquidez foram colocadas subamostras da amostra principal, na concha de Casagrande (Figura 4-33.a)), com um teor de água desconhecido e determinou-se o número de pancadas em cada uma das subamostras. No final foram obtidas quatro subamostras da amostra principal, sendo que estas foram escolhidas de modo a que o número de pancadas, em dois ensaios fosse inferior a 25 e nos outros dois ensaios o número fosse superior a 25. Após o que se pesaram (Figura 4-33.b)), antes e depois de serem secas na estufa (Figura 4-33.c)).



a) Concha de Casagrande



b) Pesagem de uma subamostra



c) Secagem das amostras

Figura 4-33: Determinação do limite de liquidez

Relativamente à determinação do limite de plasticidade, o procedimento consistiu em obter três subamostras da amostra principal. Sobre uma placa de vidro (Figura 4-34.a)), foram modeladas de modo a se obter a rotura do filamento quando o seu diâmetro atingisse cerca de 3 mm (Figura 4-34.b)). Em seguida, pesaram-se, antes e depois de serem colocadas na estufa.



a) Placa de vidro



b) Subamostra da amostra principal

Figura 4-34: Determinação do limite de plasticidade

4.2.2.3.3 Composição química e mineralógica elementar

Tendo como objetivo avaliar a composição química e mineralógica elementar das amostras, foram utilizados o método da calcinação e o ensaio do ácido, nomeadamente para determinar a presença de matéria orgânica e de algum ligante hidráulico, respetivamente.

Convém salientar que o método da calcinação e o ensaio do ácido foram realizados previamente ao ensaio de sedimentação, porque era necessário ter o conhecimento destas propriedades *a priori*, por forma a intervir no pré-tratamento na sedimentação, se necessário.

4.2.2.3.3.1 Método da calcinação

Para averiguar a presença de matéria orgânica, utilizou-se o método da calcinação. Este método consistiu em colocar uma pequena porção de material, de cada uma das amostras de Ed.1 e Ed.2, nuns recipientes especiais em porcelana, os cadinhos (Figura 4-35.a)). Inicialmente, de modo a retirar-se toda a humidade existente na amostra, estas foram colocadas na estufa e posteriormente colocadas numa mufla a 450°C, durante 16 horas (Figura 4-35.b)). Por fim, calculou-se a diferença de massa existente entre as massas das amostras secas e após a sua colocação na mufla, obtendo-se a percentagem de matéria orgânica existente.



a) Cadinho com uma pequena porção de material



b) Mufla

Figura 4-35: Método da calcinação

4.2.2.3.3.2 Ensaio do ácido

Com o propósito de averiguar se as amostras possuíam compostos de cálcio, foi realizado o ensaio do ácido. Este ensaio consistiu em colocar uma pequena porção de material de cada uma das amostras, num recipiente de vidro e, seguidamente, adicionar-lhe algumas gotas de ácido clorídrico a 10% (Figura 4-36.a)), observando-se qual a reação química decorrente, ou seja, se existia efervescência ou não (Figura 4-36.b) e Figura 4-36.c)).



a) Ácido clorídrico a 10 %



b) Reação química da amostra Ed.1



c) Reação química da amostra Ed.2

Figura 4-36: Ensaio do ácido

4.2.2.4 Apresentação dos resultados

Apresentam-se os resultados obtidos em todos os ensaios experimentais realizados e descritos anteriormente. A ordem de apresentação dos resultados, é a mesma pelos quais os processos de preparação e realização dos ensaios foram descritos.

4.2.2.4.1 Análise granulométrica

4.2.2.4.1.1 Ensaio de peneiração e de sedimentação

A apresentação gráfica dos resultados obtidos na análise granulométrica encontra-se exposta no Gráfico 4-5, onde se ilustram as curvas granulométricas obtidas nas amostras Ed.1 e Ed.2.

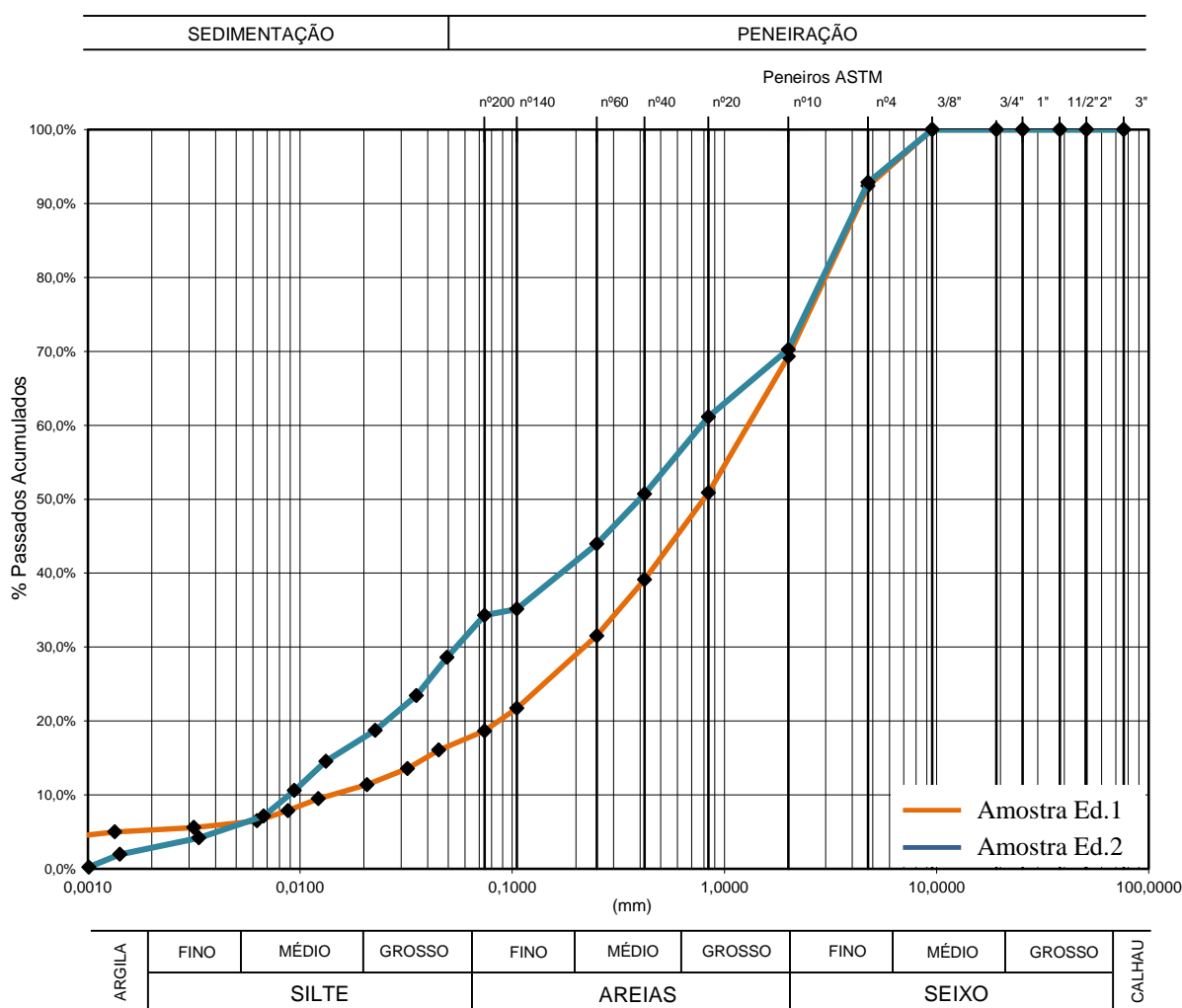


Gráfico 4-5: Curvas granulométricas das amostras Ed.1 e Ed.2

Através de uma análise dos resultados obtidos é possível concluir que as curvas granulométricas obtidas nas duas amostras são semelhantes, o que indica que a origem geográfica da terra utilizada nas duas construções pode ser próxima, o que é expectável. Por outro lado, verifica-se que as duas curvas granulométricas são extensas, uma vez que as dimensões das partículas estão compreendidas entre 0,001 mm e 10 mm. A amostra Ed.1 apresenta uma curva melhor graduada. Em relação à fração fina das amostras (silte e argila), constata-se que em termos médios apresentam um valor de 25%.

Comparativamente com o fuso granulométrico da terra adequada para as construções de tabique proposto por Cardoso (2013), constata-se que em ambos os resultados as amostras apresentam curvas extensas. Porém, existe uma grande diferença em termos médios dos valores de fração fina do material. No fuso proposto é de 60 %, enquanto nos resultados obtidos neste trabalho é de 25%.

Tendo por base os resultados obtidos, é possível afirmar que a constituição média das amostras ensaiadas aponta para 25% de fração fina (silte e argila) e 75% de fração média (areia e seixo). Estes resultados estão de acordo com os resultados obtidos por Cepeda (2010), Gonçalves (2010) e Martinho (2010), mas diferentes dos obtidos por Cardoso (2013), que indicam que o material de enchimento ronda os 60% de fração fina (silte e argila) e 40% de fração média (areia e seixo). Esta divergência de resultados obtidos entre os autores anteriormente referidos e as conclusões obtidas neste trabalho de investigação, poderão ser explicadas tendo em conta a disparidade geográfica das construções em estudo, o que reforça a ideia de que a terra utilizada nas construções em tabique terá muito provavelmente origem local.

Na Tabela 4-12, apresenta-se o valor da densidade das partículas do solo com dimensões inferiores a 4,76 mm. Esta densidade foi calculada de acordo com a norma portuguesa NP 83 [1965] e constitui um parâmetro necessário para efetuar o ensaio de sedimentação.

Tabela 4-12: Densidade das partículas das amostras (g/cm³)

Amostra Ed.1	Amostra Ed.2
2,50	2,26

4.2.2.4.2 Plasticidade

Na Tabela 4-13 são indicados, nas diversas colunas, os valores obtidos nas várias etapas da determinação do limite de liquidez para a amostra Ed.2.

Tabela 4-13: Determinação do limite de liquidez (LL) [NP 143-1969]

Id.	Número de pancadas	Amostra húmida + Recipiente (g)	Amostra seca + Recipiente (g)	Recipiente (g)	Teor em água (%)
A2.1	14	23,9	20,5	10,9	35,42
A2.2	18	27,1	22,9	10,7	34,43
A2.3	28	25,8	22,2	11,0	32,14
A2.4	39	28,5	24,2	10,8	32,09

Através do número de pancadas determinadas anteriormente, traçou-se uma curva, que relaciona o teor de água em cada um dos provetes ao correspondente número de pancadas (Gráfico 4-6). Para a amostra ensaiada, o limite de liquidez é dado pela expressão:

$y = -0,1371x + 36,911$, sendo que a variável “x” corresponde ao número de pancadas.

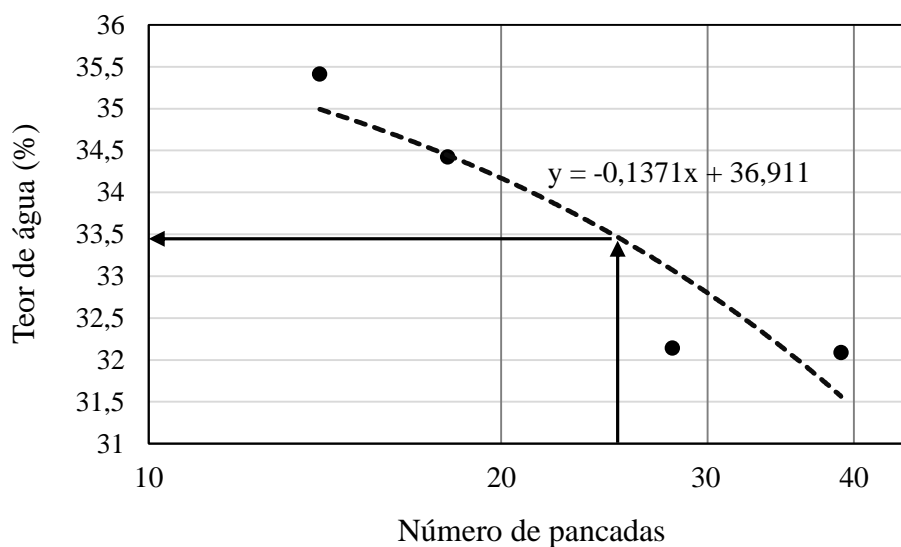


Gráfico 4-6: Determinação do limite de liquidez da amostra Ed.2

De acordo com a norma aplicada, substituindo a variável por 25 (nº de pancadas) obtém-se o valor do limite de liquidez. Neste caso, para a amostra Ed.2, obteve-se o valor de 33%, arredondado à unidade.

A determinação do limite de plasticidade, encontra-se indicado na Tabela 4-14. O seu valor corresponde à média aritmética dos teores em água de 3 provetes da amostra ensaiada, com que rompe cada provete ao transformar-se num filamento cilíndrico com aproximadamente 3 mm de diâmetro.

Tabela 4-14: Determinação do limite de plasticidade (LP) [NP 143-1969]

Id.	Amostra húmida + Recipiente (g)	Amostra seca + Recipiente (g)	Recipiente (g)	Limite de plasticidade LP (%)	LP (%) (médio)
A2.5	15,8	14,6	10,8	31,58	
A2.6	14,9	13,9	10,9	33,33	32,28
A2.7	17,1	15,6	10,9	31,91	

Constata-se que para a amostra Ed.2 o limite de plasticidade médio é de 32 %.

Por último, na Tabela 4-15 apresenta-se uma síntese dos resultados finais obtidos para os limites de Atterberg da amostra analisada.

Tabela 4-15: Plasticidade da amostra de terra da construção Ed.2

Id.	Limites de Atterberg (%), [NP 143, 1969]		
	LL	LP	IP
Ed.2	33,48	32,28	1,2

O valor obtido para o limite de plasticidade vai de encontro aos valores obtidos por Cardoso (2013), isto é, valores diminutos do limite de plasticidade, o que indica que a terra da amostra ensaiada não apresenta uma plasticidade vincada.

4.2.2.4.3 Composição química e mineralógica elementar

4.2.2.4.3.1 Método da calcinação

Analisando os resultados obtidos, como se indica na Tabela 4-16, é possível conhecer a percentagem de matéria orgânica existente em cada amostra.

Tabela 4-16: Resultados do ensaio de calcinação

Id.	Amostra seca + Recipiente (g)		Matéria orgânica (%)
	Antes da calcinação	Após a calcinação	
Ed.1	164,3	162,9	0,85
Ed.2	166,8	165,1	1,02

Estes resultados indicam a existência de matéria orgânica em ambas as amostras Ed.1 e Ed.2, sendo de 0,85% e 1,02%, respetivamente. O que significa que estamos perante amostras com percentagens relativamente pequenas de matéria orgânica.

4.2.2.4.3.2 Ensaio do ácido

O ensaio do ácido levou a conclusões distintas no que se refere às duas amostras ensaiadas. Relativamente à amostra Ed.1, observou-se uma reação de efervescência da amostra quando sujeita ao ácido clorídrico, ou seja, é possível concluir que possui cal na sua composição. Por outro lado, a amostra Ed.2 não reagiu ao ácido clorídrico, atestando-se a ausência de cal na sua composição, ou então, a existir seria numa percentagem bastante reduzida.

4.2.2.5 Análise e discussão dos resultados

Neste subcapítulo foram abordados um conjunto de ensaios experimentais que permitiram a caracterização do material de enchimento das paredes de tabique dos casos em estudo.

Em função dos resultados obtidos é possível referir que as amostras estudadas são semelhantes entre si. No que respeita à análise granulométrica efetuada constatou-se a existência de curvas extensas e cuja constituição média das amostras ensaiadas aponta para 25% de fração fina (silte e argila) e 75% de fração média (areia e seixo).

A determinação dos limites de Atterberg permitiu aferir a existência de um índice de plasticidade bastante diminuto, o que demonstra a presença de uma plasticidade pouco vincada.

O estudo da composição química e mineralógica elementar, no que se refere à determinação da presença de matéria orgânica e de compostos de cálcio, comprovou serem dois métodos expeditos e de fácil realização, mas simultaneamente importantes para perceber melhor a composição das amostras.

4.2.3 Conectores metálicos

Nas construções em tabique os pregos são utilizados como conectores mecânicos de ligação entre os vários elementos de madeira e até na fixação do revestimento exterior, como por exemplo, na ligação entre as tábuas e as ripas, os prumos e as ripas, as tábuas ou os prumos e os frechais e também na fixação do revestimento exterior, sempre que este seja composto por ardósias ou chapas metálicas.

Pela sua importância, tornou-se também necessário efetuar um estudo de caracterização deste material, para perceber o seu “papel” no comportamento estrutural das paredes de tabique.

4.2.3.1 Amostras

Face à grande variedade de pregos encontrados nas construções estudadas, foram recolhidos alguns exemplares, que estão apresentados na Figura 4-37, e que se consideram demonstrativos dos conectores existentes nos edifícios em estudo. Essas amostras foram agrupadas em função da construção estudada e, em função do seu comprimento, diâmetro e tipo de secção transversal, originando desta forma doze amostras, que se encontram designadas de A a L.

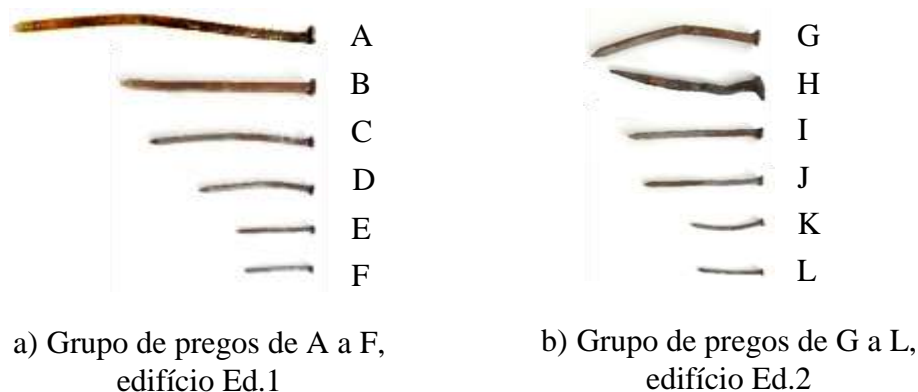


Figura 4-37: Pregos recolhidos durante o trabalho de campo

Em simultâneo com esta associação, também se constatou a existência de uma relação entre o comprimento dos pregos e a ligação que estes efetivavam. Os quatro maiores pregos em cada grupo, nomeadamente de A a D e G a J, correspondem aos pregos usados na ligação entre as tábuas ou os prumos e os frechais (superior e inferior), ou na ligação entre prumos (vertical e inclinado), apresentando comprimentos que variam entre os 7,5 cm e os 18,0 cm. Os restantes dois pregos de cada grupo eram usados na ligação do fasquio às tábuas ou aos prumos, com comprimentos que variam entre os 4,5 cm e os 5,0 cm.

Apresenta-se o registo das principais dimensões de cada uma das amostras recolhidas, com o objetivo de caracterizar a geometria dos pregos. Na Figura 4-38, esquematiza-se a tipologia de pregos encontrados, isto é, pregos de secção constante e de secção variável. Na mesma representação são também indicadas as dimensões observadas, tais como, o comprimento (L), a dimensão da aresta (D) e a dimensão correspondente ao diâmetro da cabeça do prego (C).

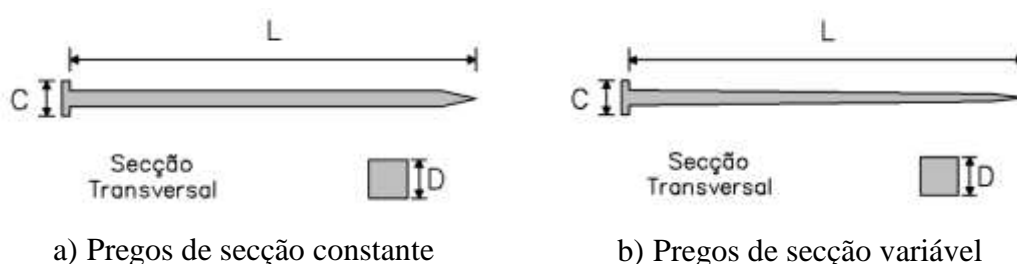


Figura 4-38: Esquema dos pregos

Na Tabela 4-17 apresenta-se, de forma resumida, as dimensões obtidas na caracterização geométrica das amostras de pregos estudados.

Tabela 4-17: Caracterização dos grupos das amostras de pregos

Id.	L (cm)	D (mm)	C (mm)	Secção Transversal
Ed.1	A	18	6,0	Quadrada constante
	B	12,5	4,5	
	C	10,5	3,5	
	D	7,5	3,0	
	E	5,0	2,5	
	F	4,5	2,0	
Ed.2	G	11,5	4,0	Quadrada variável
	H	11,0	4,0	
	I	8,0	3,5	Quadrada constante
	J	7,5	3,0	
	K	5,0	2,0	
	L	4,5	2,0	

É possível concluir que a quase totalidade dos pregos estudados têm uma secção transversal quadrada constante e que somente uma das amostras apresenta uma secção quadrada variável. Também é possível concluir que pelo menos numa situação encontraram-se pregos com exatamente as mesmas dimensões, em ambas as construções estudadas.

4.2.3.2 Descrição dos ensaios realizados

Após uma revisão bibliográfica, concluiu-se sobre um conjunto de ensaios que normalmente são realizados na caracterização dos pregos, quando aplicados neste contexto, nomeadamente, a caracterização da liga metálica através de análise metalográfica, mais concretamente a análise e caracterização da microestrutura, através de microscopia ótica e de microscopia eletrónica de varrimento, SEM (Scanning Electron Microscope) e a determinação da composição química, através de espectroscopia de energia dispersiva, EDS (Energy Dispersive Spectroscopy). Os ensaios mecânicos normalmente realizados, consistem em determinar o número de dureza de Vickers (HV), através do ensaio de microdureza Vickers.

Neste trabalho de investigação, foram realizados ensaios mecânicos e análises metalográficas. Ambos decorreram no laboratório de resistência dos materiais, no Departamento de Engenharia Mecânica, da ESTGV-IPV. Os ensaios mecânicos consistiram na realização de ensaios à tração e de ensaios de microdureza Vickers. Enquanto as análises metalográficas, consistiram na análise da microestrutura dos pregos através de microscopia ótica. Cada uma das amostras estudadas corresponde a um prego de cada grupo descrito anteriormente, com a respetiva designação.

Devido a restrições de ordem económica, não foi possível realizar alguns dos ensaios previstos, tais como, análises metalográficas recorrendo à microscopia eletrónica de varrimento, SEM (Scanning Electron Microscope) e, na determinação da composição química, a espectroscopia de energia dispersiva, EDS (Energy Dispersive Spectroscopy). Apesar de não serem ensaios preponderantes para caracterizar este tipo de elementos, seriam certamente uma mais-valia, caso pudessem ter sido realizados.

4.2.3.2.1 Ensaio de tração

O ensaio de tração consiste em aplicar a um determinado material esforços crescentes na sua direção axial, levando-o a alongar até atingir a rotura. Através deste ensaio é possível obter uma curva com a relação existente entre a tensão e a extensão do provete ao longo do ensaio. Para além disso, ainda é possível com os dados obtidos, determinar o módulo de elasticidade do determinado material.

Assim, o ensaio consiste em fixar o provete em duas amarras e, de seguida na aplicação de uma força ao provete mediante o deslocamento de um dos travessões. O ensaio é realizado

num intervalo de tempo reduzido, em que o travessão móvel se desloca a uma velocidade constante.

4.2.3.2.2 Ensaio de microdureza *Vickers*

A dureza de um material pode ser definida como a capacidade que um material possui para resistir a uma indentação ou a uma deformação permanente quando se encontra em contacto com um indentador sob carga.

O ensaio de microdureza de *Vickers*, consiste em determinar o número de dureza de *Vickers* (HV), através da média aritmética da leitura do comprimento das duas diagonais da impressão. Essa impressão é consequência direta da carga aplicada pelo indentador em diamante com a forma de uma pirâmide reta de base quadrangular e com um ângulo de abertura de 136°. Este ensaio encontra-se regulamentado na norma portuguesa NP 711-1 [1990].

4.2.3.2.3 Análise microestrutural

A análise microestrutural representa um método complementar muito importante na compreensão do comportamento mecânico das ligas metálicas e da sua relação com as características microestruturais.

Essa análise pode ocorrer através de microscopia ótica e eletrónica. O recurso à microscopia eletrónica é mais indicado sempre que a ampliação e profundidade da análise se tornem insuficientes na microscopia ótica.

4.2.3.3 Preparação das amostras e realização dos ensaios

Após a recolha das amostras de pregos anteriormente descritos, procedeu-se à preparação dos mesmos, para que posteriormente fosse possível realizar os ensaios pretendidos. Nas subsecções seguintes encontram-se descritas essas etapas, acompanhadas de suporte fotográfico que servem de apoio à descrição realizada.

4.2.3.3.1 Ensaio de tração

A realização do ensaio de tração foi efetuada apenas nos pregos denominados por “A”. Esta restrição é devida à necessidade das amostras terem dimensão suficiente, em comprimento, para ser possível a colocação do extensómetro. Como tal, só foi viável a realização do ensaio nos pregos de maior dimensão.

Uma vez que os exemplares de pregos recolhidos e analisados possuíam aproximadamente 100 anos, optou-se por estudar também um prego corrente (novo), com as mesmas características geométricas dos antigos, para servir como elemento de comparação em relação ao comportamento.

Em relação ao ensaio propriamente dito, a preparação consistiu inicialmente em escolher os pregos que apresentavam uma menor deformação em relação ao seu formato inicial. Porém, e de forma a ter todas as amostras o mais indeformadas possível, ainda foram endireitadas num torno de bancada, como se exemplifica na Figura 4-39.a). Seguidamente, e para se finalizar a preparação das amostras, procedeu-se ao corte da cabeça dos pregos, com o recurso a uma máquina de corte (Figura 4-39.b)), de modo a tornar mais fácil a colocação das amostras nas amarras na máquina de ensaio.



a) Torno de bancada



b) Máquina de corte

Figura 4-39: Equipamento utilizado no endireitar e corte das amostras de pregos

A realização do ensaio consistiu em fixar cada uma das amostras às amarras da máquina de ensaio e de seguida colocar o extensómetro nas amostras (Figura 4-40.a)). O ensaio iniciou-se de seguida. Após a rotura de cada uma das amostras, os resultados foram obtidos de forma direta, através do sistema de aquisição de dados (Figura 4-40.b)).



a) Máquina universal de tração, INSTRON 4206



b) Sistema de aquisição de dados

Figura 4-40: Equipamento utilizado no ensaio de tração

4.2.3.3.2 Ensaio de microdureza *Vickers*

O ensaio de microdureza de *Vickers* foi realizado de acordo com a norma NP 711-1 [1990], referente a ensaios de dureza em materiais metálicos.

No processo de preparação das amostras, cada um dos pregos foi cortado transversalmente com o recurso a uma máquina de corte (Figura 4-41.a)), de modo a obter-se amostras com um comprimento de aproximadamente 1,0 cm (Figura 4-41.b)). Convém salientar que durante a operação de corte teve-se o especial cuidado em arrefecer o disco, de forma a minimizar as alterações de dureza provocadas pelo seu aquecimento. Posteriormente, lixou-se a superfície das amostras utilizando uma máquina de pratos rotativos (Figura 4-41.c)). Foram usadas várias lixas com granulometria decrescente, de forma a tornar a superfície de ensaio lisa, plana e isenta de óxidos.



a) Máquina de corte



b) Amostras cortadas



c) Lixadeira

Figura 4-41: Equipamento utilizado no corte, e lixagem das amostras de pregos

O ensaio propriamente dito, consistiu na utilização de um microdurómetro (Figura 4-42) para a visualização e medição das diagonais das impressões resultantes da aplicação da carga do penetrador em diamante. A carga aplicada foi de 10 kgf, durante um período de 15 segundos, em cada uma das amostras ensaiadas.



Figura 4-42: Microdurómetro, SHIMADZU HMV-2000

4.2.3.3.3 Análise microestrutural

A preparação das amostras para a análise microestrutural, consistiu inicialmente, em obter amostras com uma secção plana e polida.

As amostras foram posteriormente colocadas num apalpador e através de um microscópio ótico metalográfico de reflexão foram observadas as suas superfícies com ampliações de 5 a

50 vezes (Figura 4-43). Simultaneamente, recorrendo a uma câmara que se encontra ligada ao microscópio ótico tiraram-se fotografias à superfície das amostras, que depois foram transmitidas para um monitor que lhe está ligado.



Figura 4-43: Microscópio metalográfico de reflexão, ZEISS

4.2.3.4 Apresentação dos resultados

Terminada a descrição da preparação e realização de cada um dos ensaios, apresentam-se os resultados obtidos. Esta segue a mesma ordem pela qual os ensaios foram anteriormente descritos.

4.2.3.4.1 Ensaio de tração

Neste ensaio foram estudados um total de quatro pregos. Três dos quais são os pregos denominados de “A” referentes ao caso de estudo Ed.1, e um outro corrente (novo).

Os resultados obtidos no ensaio de tração encontram-se ilustrados no Gráfico 4-7. Observa-se a interação existente entre a tensão aplicada a cada amostra e a extensão resultante.

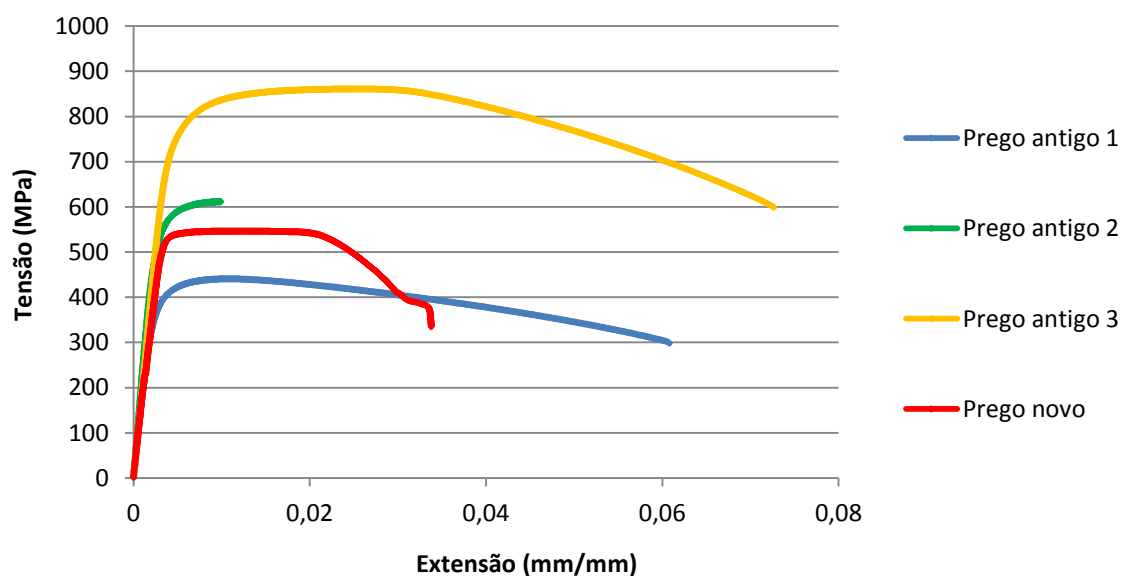


Gráfico 4-7: Diagrama Tensão (σ) vs Extensão (ϵ)

Na Tabela 4-18 apresenta-se uma síntese dos valores obtidos, para todas as amostras ensaiadas.

Tabela 4-18: Síntese dos valores obtidos no ensaio de tração

Id.	Módulo de elasticidade (GPa)	Tensão de rotura à tração (MPa)
Prego antigo	1	204
	2	227
	3	197
Prego novo	190	546,28

Atendendo ao facto dos resultados obtidos para o módulo de elasticidade rondarem os 200 GPa, é possível aferir que os pregos ensaiados são constituídos por uma liga metálica de aço.

Relativamente aos valores de tensão de rotura, observa-se que existe uma grande disparidade nos valores obtidos. Porém, constata-se que a tensão de rotura do prego novo se encontra num valor intermédio dos restantes obtidos. O que pode significar que os pregos mais antigos, ao serem produzidos sem grande controlo, possuem uma maior variabilidade do material utilizado.

4.2.3.4.2 Ensaio de microdureza *Vickers*

Os resultados obtidos nos ensaios experimentais de microdureza à superfície de cada uma das doze amostras de pregos, encontram-se na Tabela 4-19. Para se obter o resultado final, foram processados, em cada uma das amostras, cinco números de dureza, em pontos distintos. Seguidamente, retirou-se o valor máximo e mínimo de cada uma das amostras e efetuou-se uma média aritmética com os três valores restantes.

Tabela 4-19: Número de dureza de Vickers

Id.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
HV10	134	164	138	113	133	150	87	133	136	138	131	228

Relativamente aos resultados apresentados, verifica-se que o número da dureza de Vickers varia entre 87 HV10 e 228 HV10. O que demonstra uma grande dispersão nos resultados obtidos, consequência de uma grande variabilidade do material, facto consistente com os resultados discutidos no ponto anterior.

Comparativamente com outros trabalhos apresentados nesta área, é possível referir que os valores obtidos neste trabalho de investigação se encontram abaixo dos obtidos por Cardoso (2013), Gonçalves (2010) e Martinho (2010), nas respetivas investigações.

4.2.3.4.3 Análise microestrutural

A análise microestrutural foi realizada com recurso a um microscópio ótico, com ampliações de 5 a 50 vezes, que permitiu concluir que as amostras eram semelhantes no que se refere às dimensões dos grãos e na presença de duas fases, a ferrite e a perlite.

As imagens relativas à análise microestrutural ao prego “A”, no sentido longitudinal e transversal estão apresentadas na Figura 4-44. Sendo possível na Figura 4-44.b) visualizar o alongamento dos grãos no sentido longitudinal ao prego, enquanto na Figura 4-44.a) já não se verifica esse alongamento.

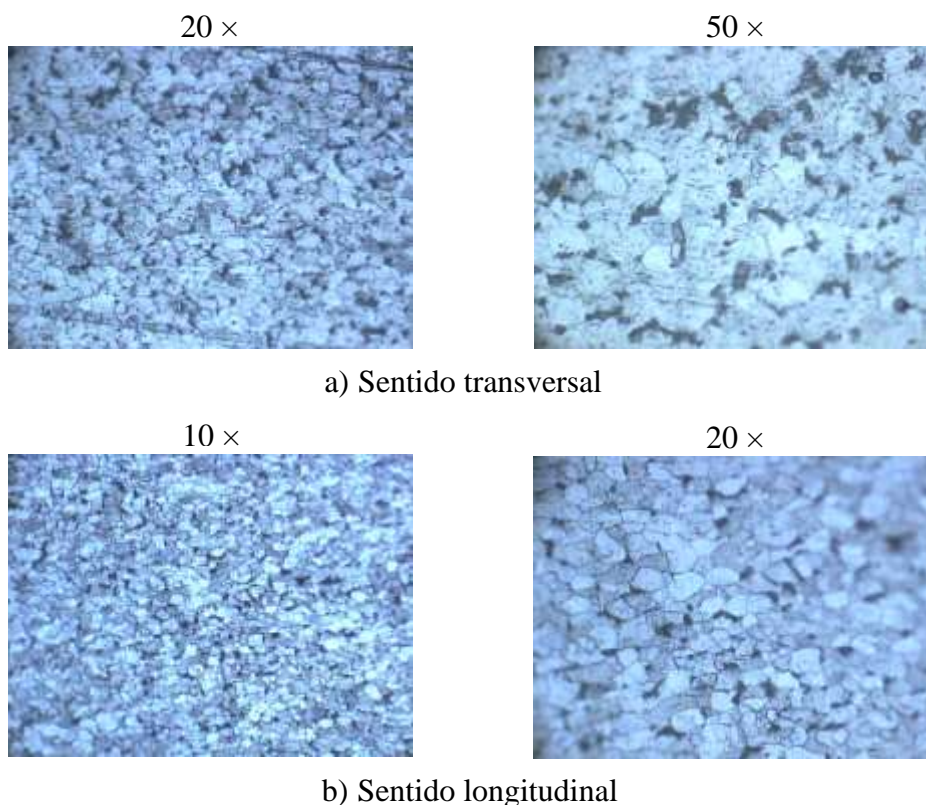


Figura 4-44: Imagens da microestrutura da superfície das amostras dos pregos recolhidos

4.2.3.5 Análise e discussão dos resultados

No decorrer deste subcapítulo foram abordados um conjunto de ensaios experimentais que permitiram o estudo e a caracterização dos conectores metálicos de ligação, que se encontram presentes nas paredes de tabique dos casos em estudo.

Constatou-se que os pregos estudados apresentam uma grande variação em termos de dimensões e de secção transversal, em função do local onde se encontravam aplicados.

Através dos resultados obtidos é possível aferir que os pregos estudados são constituídos por uma liga metálica de aço.

Relativamente aos ensaios de microdureza de Vickers, os resultados obtidos indicam que os pregos estudados apresentam um número de dureza compreendido entre 87 HV10 e 228 HV10, ou seja, tal dispersão de resultados obtidos é consequência de uma grande variabilidade do material.

4.3 Ensaio termográfico

Para além dos ensaios já descritos, que foram realizados, com o intuito de estudar e caracterizar os materiais provenientes dos edifícios em estudo, foi ainda realizado um outro estudo a elementos construtivos de tabique. Com efeito foram realizados ensaios termográficos que neste contexto tiveram como objetivo demonstrar a sua potencialidade na deteção de elementos construtivos em construções (neste caso, paredes de tabique), sem ser necessário remover o seu revestimento exterior.

Seguidamente apresenta-se os resultados da realização do ensaio de termografia aplicado a edifícios com elementos construtivos de tabique do centro histórico de Viseu. A aplicação deste ensaio não incidiu sobre os edifícios em estudo, uma vez que o objetivo deste ensaio requeria que os edifícios ainda estivessem em perfeito estado de utilização, e nos edifícios em estudo, o material de enchimento e de revestimento já tinha sido removido.

Nesse contexto, e paralelamente ao restante trabalho realizado, surge este subcapítulo independente, que pretende demonstrar as mais-valias deste método de ensaio em estruturas de tabique, nos casos em que não se pretenda remover o revestimento, permitindo localizar de forma rápida e concreta esses elementos construtivos, bem como a complementaridade em relação aos ensaios atrás descritos.

4.3.1 Descrição do ensaio

O ensaio de termografia constitui um ensaio expedito e não destrutivo, sendo na atualidade amplamente utilizado nos mais variados contextos, como por exemplo em trabalhos de peritagem e de avaliação do desempenho térmico dos vários elementos construtivos quando aplicados em obra.

O princípio da termografia consiste, de forma resumida, na medição da distribuição da temperatura superficial de um elemento ensaiado, sempre que este esteja sujeito a tensões térmicas, geralmente calor (Teixeira, 2013). Esta técnica permite uma visualização artificial da luz dentro do espectro infravermelho, zona de trabalho da termografia, onde é produzida a radiação térmica dos objetos.

Por sua vez, a recolha das imagens térmicas resulta da utilização de uma câmara de termografia (Figura 4-45), que capta e mede a quantidade de radiação térmica ou infravermelha emitida por qualquer corpo.



Figura 4-45: Câmara termográfica ThermaCAM E300

Este ensaio possui um vasto campo de aplicação, nas mais diversas áreas, uma vez que possui uma enorme panóplia de vantagens e que aliado aos progressos alcançados nesta área, têm tornado este ensaio muito útil. Pode ser realizado sem existir a necessidade de contacto com o objeto em estudo, isto é, é um ensaio não destrutivo. É um ensaio com um tempo de resposta rápido, que recolhe uma grande quantidade de dados em pouco tempo, com uma enorme precisão de medida. Em contrapartida, constata-se que no caso de serem ínfimas as variações ocorridas na distribuição da temperatura superficial, a sua deteção pode ser impercetível. Também nos casos em que o material de revestimento possui uma espessura elevada, torna mais difícil a deteção dos diferentes elementos.

4.3.1.1 Casos de estudo

Antes de se partir para o centro histórico com o equipamento de realização do ensaio, foi feita uma inspeção visual ao local, com o intuito de avaliar quais os edifícios com fachadas que seriam adequadas ao ensaio.

A limitação do estudo a paredes exteriores teve por base ser a escolha mais viável, uma vez que ensaiar paredes interiores havia, por um lado, a necessidade de ultrapassar muita burocracia, uma vez que era necessário saber quais os donos dos imóveis e, posteriormente, obter autorização dos mesmos para entrar nos imóveis, o que implicaria um maior dispêndio de tempo, por outro lado, ainda havia a necessidade de “pré-aquecer” as paredes a ensaiar, de forma a poder ser realizado o ensaio.

Ao longo de todo o trabalho de campo foram obtidos resultados visíveis em seis edifícios, sendo que cinco deles são referentes a fachadas exteriores em tabique. Como curiosidade apresenta-se um outro caso estudado, o de um edifício tipo gaioleiro. Na Figura 4-46, é possível observar a localização geográfica das diversas fachadas em estudo e as respetivas coordenadas GPS.



Id.	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
CE.1	40° 39' 45.490" N	7° 54' 43.301" W
CE.2	40° 39' 45.162" N	7° 54' 42.898" W
CE.3	40° 39' 34.693" N	7° 54' 37.163" W
CE.4	40° 39' 31.799" N	7° 54' 46.962" W
CE.5	40° 39' 30.071" N	7° 54' 45.871" W
CE.6	40° 39' 34.085" N	7° 54' 42.772" W

Figura 4-46: Localização geográfica dos pontos das fachadas em estudo e as respetivas coordenadas GPS (<http://maps.google.com>, visualizado em [07/08/2013])

No entanto, para exemplificar as vantagens deste tipo de ensaio, serão somente apresentados três dos casos de estudo, sendo dois referentes às fachadas em tabique (CE.1 e CE.3) e o outro referente à fachada do edifício tipo gaioleiro (CE.6), os restantes resultados encontram-se em apêndice.

4.3.1.2 Apresentação dos resultados

Os termogramas apresentados seguidamente, são o resultado dos ensaios realizados e de um tratamento no *software* FLIR tools, de modo a ajustar e tornar mais perceptíveis os resultados obtidos pela câmara termográfica.

A realização dos ensaios ocorreu durante o dia 26 de junho de 2013, em dois períodos distintos. Como tal, consequência dessa dispersão temporal entre as duas tentativas, refere-se desde já que a temperatura máxima registada ao longo do dia foi de 31°C e a mínima de 16°C.

A primeira tentativa ocorreu durante a tarde, entre o período das 17 horas às 19 horas, sendo que esta demonstrou-se uma tentativa frustrada. A coloração observada na câmara termográfica era basicamente uniforme ao longo das paredes, o que significava que as paredes apresentavam uma temperatura superficial muito próxima, e portanto a quantidade de calor irradiado e a respetiva medição feita pela câmara termográfica eram bastante idênticas.

Devido à inexistência dos resultados pretendidos, foi realizada uma segunda tentativa após o pôr do sol, nesse mesmo dia, entre o período das 22 horas às 24 horas, conseguindo-se, desta forma, obter resultados visíveis. A adoção deste horário para realizar a segunda tentativa deveu-se ao facto de se saber que a madeira possui um coeficiente térmico bastante reduzido e por isso conserva bem o calor incidente durante o dia, enquanto o revestimento exterior, após o pôr do sol começa a dissipar a energia mais rapidamente, criando-se portanto aí uma possibilidade de observar um diferencial de fluxo térmico suficiente para ser detetado pelo equipamento.

As fotos apresentadas e os respetivos termogramas não correspondem ao mesmo período do dia, uma vez que as fotos foram tiradas durante o dia e, como foi referido, os termogramas só foram obtidos durante a noite.

- Caso de estudo 1 (CE.1)

Na Figura 4-47 apresenta-se o edifício e o termograma obtido na fachada principal do CE.1, no qual é possível observar com alguma nitidez a disposição do fasquiado.



Figura 4-47: Fachada principal do CE.1 e o respetivo termograma obtido

Ao realizar-se o ensaio a uma distância mais próxima da parede e através de um ângulo diferente, como apresentado na Figura 4-48, constata-se que por vezes é possível observar os restantes elementos de madeira, nomeadamente a disposição das tábuas verticais.

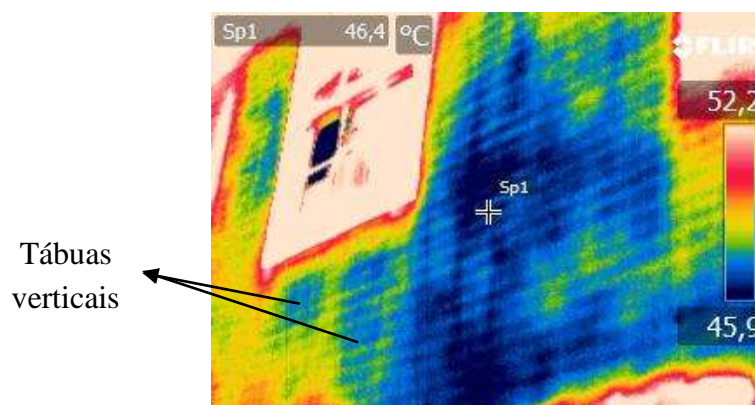


Figura 4-48: Termograma do pormenor da fachada principal do CE.1

Ainda dentro do mesmo caso de estudo, foi possível analisar uma das paredes laterais com a câmara termográfica. Através dos resultados obtidos no termograma (Figura 4-49) é possível aferir zonas onde muito provavelmente existe levantamento do revestimento exterior. Essas zonas são aquelas em que é possível observar uma coloração uniforme de azul mais escuro, ou seja, locais de temperaturas inferiores e onde não é perceptível a continuidade do fasquiado.

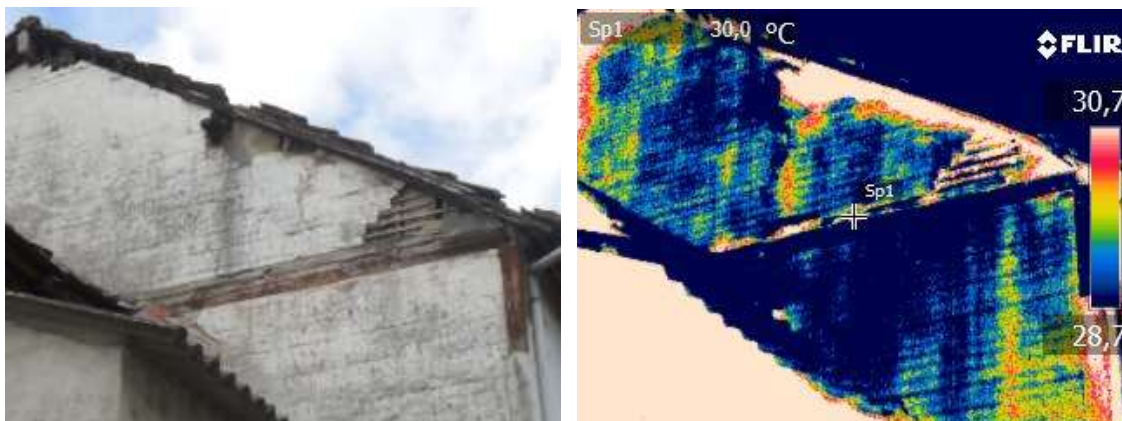


Figura 4-49: Fachada lateral do CE.1 e o respetivo termograma obtido

- Caso de estudo 3 (CE.3)

Analogamente, apresenta-se na Figura 4-50 a fachada principal e o respetivo termograma de um outro caso de estudo. A fachada principal apresentava um aparente bom estado de conservação, porém a fachada lateral, com revestimento final em telha canudo, aparentava estar um pouco degradada. Neste termograma é possível observar, ao nível do 2º piso, a presença de paredes exteriores em tabique. Lateralmente, devido à presença de um revestimento final em telha canudo, a obtenção de resultados tornou-se inexecutável.

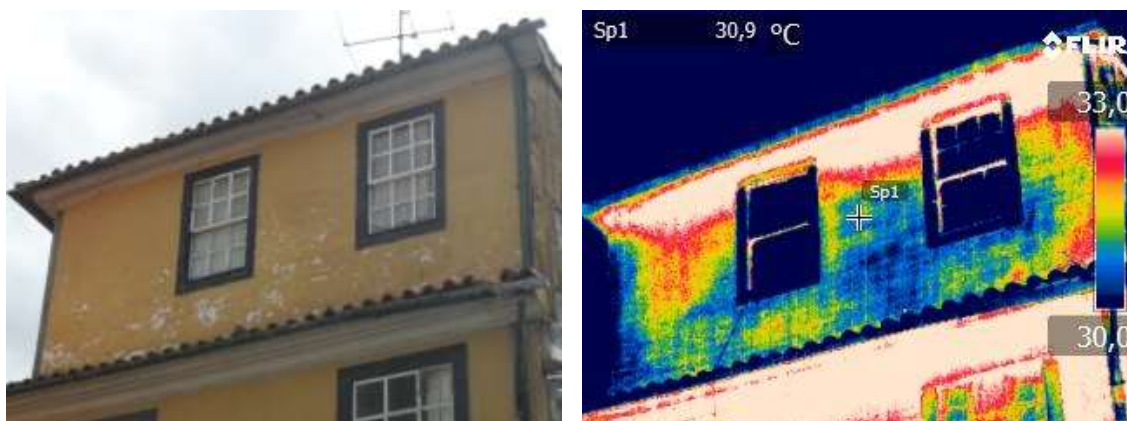


Figura 4-50: Fachada principal do CE.3 e o respetivo termograma obtido

Neste ensaio a obtenção do termograma não traduz de forma tão explícita a existência do fasquiado, sendo que para isso contribuiu fortemente o facto de se estar a realizar o ensaio a

alguma distância da parede, o que levou a que as disparidades térmicas existentes fossem dissimuladas.

- Caso de estudo 6 (CE.6)

Apesar de os edifícios tipo gaioleiros não fazerem parte do tema de estudo deste trabalho, achou-se curioso e relevante indexar os termogramas obtidos num edifício do centro histórico, os quais se encontram apresentados na Figura 4-51, onde é possível observar-se com toda a nitidez as cruces de santo André. Refira-se que não é comum surgir nesta zona este tipo de construção.

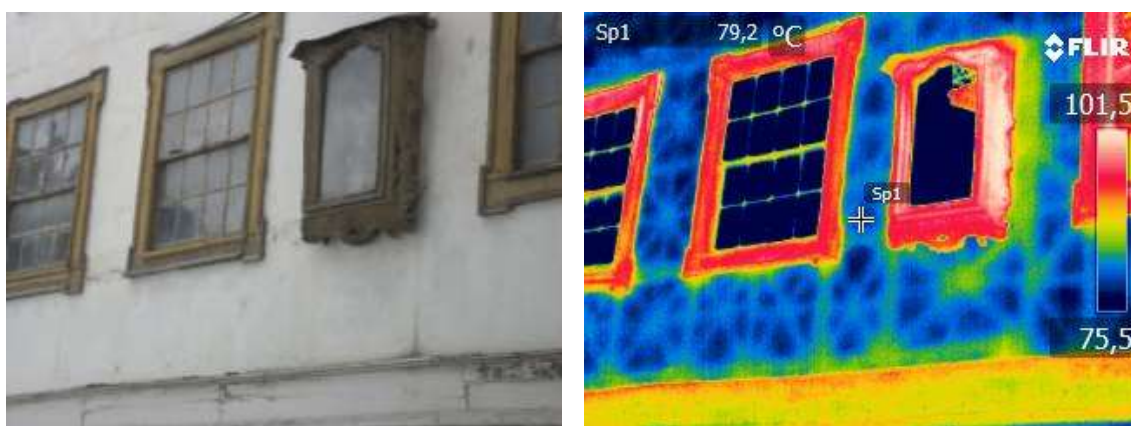


Figura 4-51: Fachada principal do CE.6 e o respetivo termograma obtido

Comparativamente com os termogramas obtidos nas paredes de tabique anteriormente descritas, é possível referir que a visualização destas é bastante mais rápida e de fácil interpretação, contribuindo para isso a maior espessura dos barotes utilizados, comparativamente com o fasquiado das paredes de tabique.

4.3.2 Análise e discussão dos resultados

Ao longo deste subcapítulo foi abordada a técnica de termografia e as suas aplicações na obtenção de termogramas que permitam uma expedita deteção da disposição dos elementos de madeira que constituem uma parede de tabique.

Face aos resultados expostos é possível concluir que a utilização deste ensaio traduz-se em resultados viáveis, sempre que se pretenda a obtenção de um resultado rápido e sem necessidade de ser intrusivo.

Neste contexto e para uma adequada deteção e visualização dos vários elementos de madeira, a realização do ensaio depende de vários fatores, tais como, da necessidade de existir um pré-

aquecimento do elemento, do tipo e espessura do revestimento exterior e da distância a que se realiza o ensaio.

Por fim, e uma vez que neste trabalho de investigação somente foi conseguido observar paredes exteriores, pensa-se ser importante em trabalhos futuros realizar o mesmo ensaio em paredes interiores. O que por um lado deverá ser mais fácil, devido ao revestimento interior possuir normalmente menor espessura, mas por outro lado, de forma a criar uma diferença térmica deverá ser necessário pré-aquecer a mesma com recurso a um meio mecânico de aquecimento.

4.4 Considerações finais

Ressalva-se desde já, que devido à extensão deste capítulo, grande parte das conclusões já foram elaboradas ao longo do mesmo.

Inicialmente foi descrito, individualmente, cada um dos casos de estudo, assim como foram apresentados os respetivos pormenores construtivos considerados mais relevantes. Esses pormenores são referentes à ligação existente entre as paredes de tabique e os elementos de suporte (pavimento superior e inferior) e a ligação existente entre as paredes interiores, e entre estas e as paredes exteriores. Convém salientar que este tipo de informação toma particular importância aquando da tomada de decisões nas tentativas para efetuar uma correta modelação numérica.

Posteriormente, foram realizados ensaios de caracterização experimental a cada um dos materiais aplicados na construção em tabique. Neste caso, convém referir que apesar de a maioria dos ensaios realizados, nomeadamente ao material de enchimento e aos conectores metálicos, já serem realizados com alguma frequência, os ensaios de caracterização realizados à madeira, são uma novidade neste tipo de estudo, uma vez que até à data estes eram omissos nos trabalhos de investigação anteriormente elaborados.

A espécie de madeira encontrada, foi o pinho (*pinus pinaster*). No que diz respeito aos resultados obtidos nos ensaios experimentais, foi possível constatar que após muitos anos de utilização numa parede de tabique, este elemento consegue preservar boa parte das suas características intrínsecas.

Relativamente ao material de enchimento e de revestimento aplicado nas paredes de tabique, verificou-se que este pode ser composto simplesmente por terra ou então pode ser uma argamassa terrosa bastarda, sendo que a sua composição é variada, dependendo bastante do tipo de solo existente no local.

No que diz respeito aos conectores utilizados para fixar os vários elementos de madeira entre si, foi possível constatar, que existe uma enorme disparidade em termos de secção transversal. Os ensaios experimentais realizados permitiram concluir que os pregos são constituídos por uma liga metálica de aço.

Por último, a utilização do ensaio da termografia aplicado neste contexto demonstrou que este pode ter bastante utilidade na definição dos materiais constituintes de uma parede, que se encontram por detrás do revestimento e na disposição de cada um dos elementos de madeira.

5. Avaliação da capacidade resistente de paredes de tabique

Ao longo deste capítulo descrever-se-á a realização dos ensaios à flexão realizados a três panos de parede de tabique à escala real. Os ensaios foram realizados nas instalações da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), com recurso a duas paredes provenientes de Ed.1 e uma outra parede proveniente do caso de estudo utilizado por Teixeira (2013) no seu trabalho de investigação.

O objetivo inicial deste trabalho experimental consistia em ensaiar todas as paredes que foram recolhidas ao longo do trabalho de campo, nomeadamente, as paredes provenientes de Ed.1 e Ed.2. No entanto, devido à dificuldade encontrada em providenciar transporte para as paredes recolhidas, optou-se, numa primeira fase, por ensaiar uma parede que a UTAD possuía. Só que posteriormente, ainda dentro dos prazos de realização deste trabalho de investigação, foi possível transportar e ensaiar duas das paredes recolhidas durante o trabalho de campo.

Não foi possível realizar outro tipo de ensaios, devido às restrições impostas pelas dimensões do pórtico metálico de reação e à inexistência de uma parede de reação, nomeadamente, ensaios de compressão e ensaios dinâmicos.

A realização deste tipo de ensaios experimentais requer que sejam previamente pensados, no sentido de adequar o modelo de ensaio às condições reais. Para tal foi necessário definir as estratégias de ensaio, nomeadamente, a escolha e aquisição de acessórios de fixação e a calibração dos equipamentos utilizados, entre outras tarefas.

Os resultados experimentais obtidos neste ensaio, após serem tratados, irão servir como elemento de avaliação e validação dos modelos numéricos do estudo das paredes de tabique que se irá abordar no capítulo seguinte.

5.1 Descrição das paredes a ensaiar

Este subcapítulo pretende descrever com pormenor as paredes adotadas para a realização dos ensaios em laboratório. Tal como já foi referido, uma das paredes foi obtida por Teixeira (2013) aquando do seu trabalho de campo, no âmbito da sua dissertação de mestrado e as outras duas são referentes ao caso de estudo Ed.1.

Começará por se descrever o edifício de onde é proveniente a parede obtida por Teixeira (2013), com a finalidade de se conhecer a sua proveniência e, posteriormente, caracterizá-la geometricamente. Em relação às paredes provenientes de Ed.1 e dado que, no capítulo 4 já foi descrito o edifício, serão somente caracterizadas geometricamente as paredes em questão.

Tendo por base a ordem cronológica pela qual as paredes foram ensaiadas, e com o intuito de facilitar a sua designação, de agora em diante a parede de tabique simples oriunda do trabalho de campo do Teixeira (2013), passará a ser designada como Parede 1, e a parede simples e dupla, provenientes de Ed.1, passaram a ser designadas como Paredes 2 e Parede 3, respetivamente.

5.1.1 Parede 1

A parede a ensaiar é proveniente de uma habitação unifamiliar (Figura 5-1.a)) localizada na rua da Costa Grande de Cima, na freguesia da Madalena, concelho de Amarante, distrito do Porto. As coordenadas GPS deste edifício são, Latitude: 41° 16'22.94"N e Longitude: 8° 4'0.60"W (Teixeira, 2013).

Este edifício é datado dos finais do século XIX, início do século XX. Aquando dos trabalhos de demolição parcial a que o edifício foi sujeito, altura em que se obteve a parede de tabique, este era constituído por três pisos (semicave, rés do chão e águas-furtadas). Todas as paredes interiores existentes no edifício, tanto ao nível das águas-furtadas como ao nível do rés do chão, eram em tabique (Teixeira, 2013).

A parede a ensaiar é proveniente do piso do rés do chão. Na Figura 5-1.b) é possível observar a ausência de ripado na zona da parede que estava restringida pelos respetivos pavimentos do rés do chão (parte inferior da imagem) e das águas-furtadas (parte superior da imagem).



a) Edifício usado como caso de estudo por Teixeira (2013)



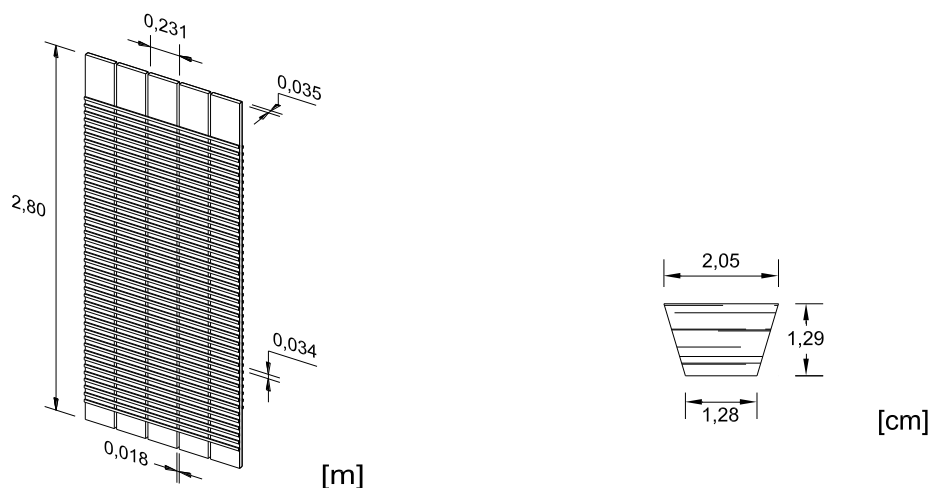
b) Parede de tabique recolhida para realizar o ensaio experimental

Figura 5-1: Parede de tabique recolhida para realizar o ensaio experimental e respetivo edifício de onde foi obtida

Aquando da realização do ensaio experimental, a referida parede já não possuía o material de enchimento e o respetivo acabamento final. Contudo, tendo por base anteriores trabalhos já realizados sobre esta parede, é possível aferir alguns desses dados, nomeadamente o tipo de material de enchimento, o acabamento final e a espessura que estas possuíam. Segundo Teixeira (2013) a generalidade das paredes de tabique existentes no edifício tinham uma espessura de aproximadamente 10,0 cm e possuíam um acabamento final do tipo caiado, tal como era habitual nos edifícios daquela época. Segundo um trabalho académico elaborado pelos alunos de Engenharia Civil da UTAD, é possível afirmar que o material de enchimento consistia numa argamassa do tipo terrosa bastarda (saibro e cal aérea).

Tendo por base o pano de parede em estudo, e após uma análise geométrica rigorosa obtiveram-se os valores médios para os vários elementos constituintes da parede de tabique (Figura 5-2). Estes valores, apesar de distintos, são semelhantes aos apresentados por Teixeira (2013) para a generalidade das paredes interiores de tabique existentes no edifício.

As tábuas tinham cerca de 23,1 cm de largura, 3,5 cm de espessura e um comprimento de 2,8 m (um pouco superior ao pé-direito). O espaçamento existente entre as tábuas verticais era de 1,8 cm (Figura 5-2.a)). Contudo e contrariamente ao que foi referido por Teixeira (2013), o ripado não possui uma secção retangular, mas sim uma secção trapezoidal, tal como é apresentada na Figura 5-2.b). Tem de dimensões de base maior 2,05 cm e de base menor 1,28 cm, de espessura 1,29 cm e o espaçamento entre si era de 3,4 cm.



a) Detalhe construtivo da parede de tabique

b) Detalhe construtivo das ripas com secção transversal trapezoidal

Figura 5-2: Dimensões dos vários constituintes da parede de tabique ensaiada, Parede 1

Nenhum dos elementos referidos anteriormente possui uma secção transversal constante ao longo do seu desenvolvimento, portanto os valores apresentados são valores médios aproximados.

Através da observação visual dos cortes histológicos dos vários elementos de madeira, foi possível identificar a espécie da madeira como sendo pinho bravo (*Pinus pinaster*). Enquanto os conectores metálicos utilizados para ligar o fasquio às tábuas verticais, era concretizado através de pregos metálicos. Em termos genéricos, as ripas eram pregadas a cada uma das tábuas através de um único prego, que se encontrava colocado, aproximadamente, no eixo das mesmas.

Através de uma análise visual rigorosa, constatou-se que na zona junto às extremidades da parede existia uma zona degradada, fruto de ataque de agentes xilófagos. É também visível a ausência de parte do ripado numa das faces da parede junto a uma das extremidades, consequência muito provavelmente da extração feita aquando da sua recolha. A reflexão sobre a influência deste tipo de questões deve ser tida em conta na análise final dos resultados, o que pode tornar a sua análise mais complexa. A única forma de entender a influência destes aspetos no comportamento estrutural destas estruturas é realizar uma campanha de ensaios, abrangendo diferentes panos de parede de tabique, com disposições construtivas distintas.

Por fim, constatou-se que as emendas do fasquio se encontravam desalinhadas verticalmente entre si, como se ilustra na Figura 5-3. Este pormenor técnico vem de encontro a algumas normas descritas na EN 1995-1-1 [2004], concretamente no que se refere à capacidade de carga de sistemas em que os elementos horizontais podem desempenhar a função de um sistema de distribuição de forças. Por exemplo, quando as ripas são uniformes e sempre que

possuam o mesmo espaçamento entre si, que estejam ligadas de forma contínua a mais do que um elemento principal e que as emendas se encontrem desalinhadas verticalmente entre si.



Figura 5-3: Desalinhamento das emendas das ripas de uma parede de tabique

5.1.2 Parede 2

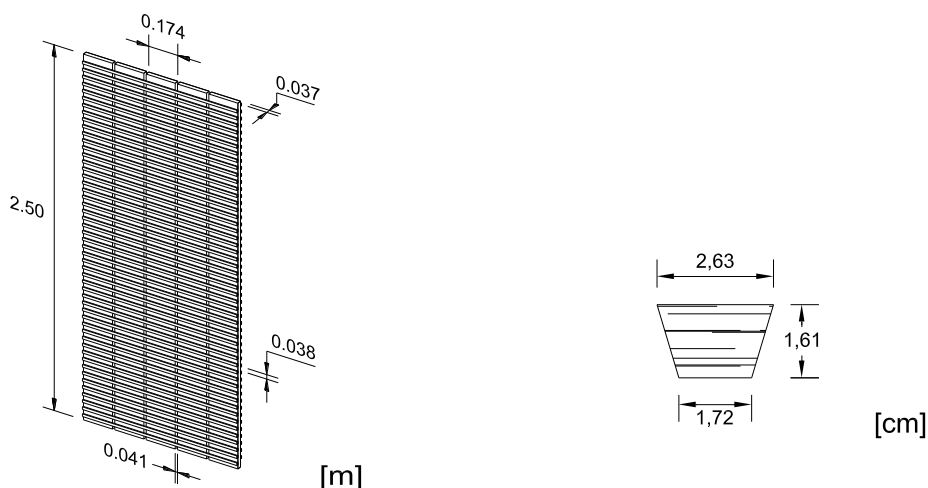
Na Figura 5-4 apresenta-se a parede de tabique simples, oriunda do Ed.1, e que aqui se designa de Parede 2.



Figura 5-4: Parede de tabique simples

No que se refere ao pano de parede em questão, foi realizada uma rigorosa análise geométrica a cada um dos elementos de madeira, obtendo-se os respetivos valores médios (Figura 5-5).

Em termos globais, a parede apresentava 2,5 m de comprimento e 1,25 m de largura. As tábuas tinham cerca de 17,4 cm de largura, 3,7 cm de espessura e um espaçamento entre tábuas verticais de 4,1 cm (Figura 5-5.a)). O ripado de secção trapezoidal, tal como é apresentada na Figura 5-5.b), tinha 2,63 cm de base maior, 1,72 cm de base menor, 1,61 cm de espessura e 3,8 cm de espaçamento entre si.



a) Detalhe construtivo da parede de tabique

b) Detalhe construtivo das ripas com secção transversal trapezoidal

Figura 5-5: Dimensões dos vários constituintes da parede de tabique ensaiada, Parede 2

No que se refere aos conectores metálicos utilizados para ligar o fasquio às tábuas verticais, observou-se que esta ligação era concretizada através da utilização, em termos médios, de um prego por cada ligação entre as ripas e o eixo das tábuas.

Através de uma rigorosa análise visual, constatou-se que apesar de não ser visível uma degradação diferenciada muito acentuada, a zona junto à extremidade inferior da parede apresentava alguma degradação, fruto de ataque de agentes xilófagos. Dado que este pano de parede foi obtido na zona da caixa de escadas, é visível na Figura 5-4 a ausência de parte do ripado que se encontrava na ligação existente à escadaria. Também aqui se verificou que o ripado possuía emendas desalinhasadas verticalmente entre si.

5.1.3 Parede 3

Na Figura 5-6 apresenta-se a parede de tabique dupla, oriunda do Ed.1, e que aqui se designa de Parede 3.



Figura 5-6: Parede de tabique dupla

Tendo por base o pano de parede em questão, e após uma rigorosa análise geométrica realizada a cada um dos elementos de madeira, obtiveram-se os seguintes valores médios para a parede de tabique (Figura 5-7).

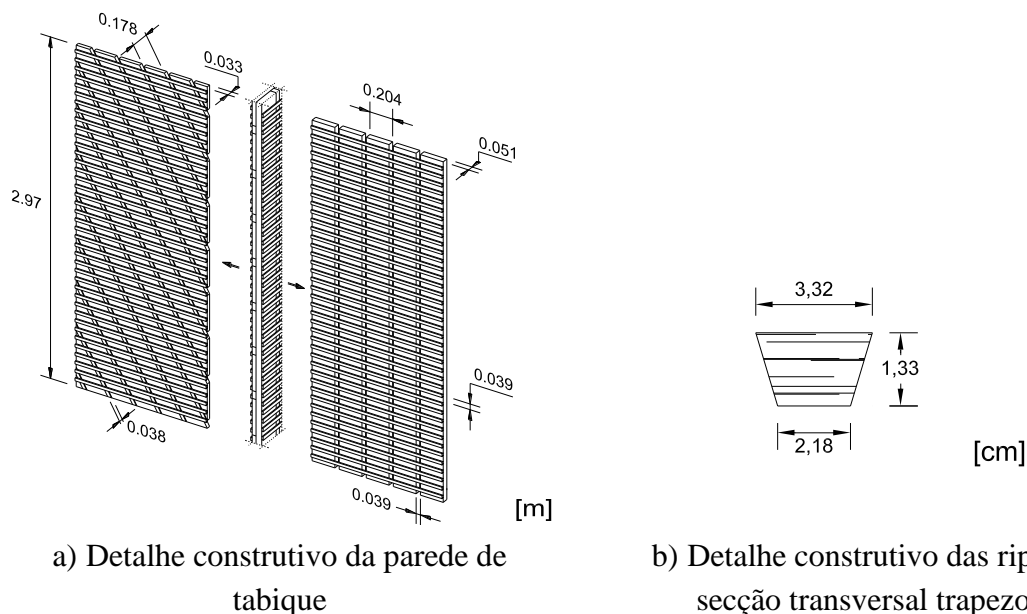


Figura 5-7: Dimensões dos vários constituintes da parede de tabique ensaiada, Parede 3

Em termos globais a parede apresentava 2,97 cm de altura e 1,17 cm de largura. Relativamente às tábuas que se encontravam dispostas na diagonal, estas tinham cerca de 17,8 cm de largura, 3,28 cm de espessura e um espaçamento entre si de 3,8 cm. Enquanto as tábuas dispostas na vertical, tinham cerca de 20,36 cm de largura, 5,12 cm de espessura e um espaçamento entre si de 3,85 cm (Figura 5-7.a)). O ripado, de secção trapezoidal, tal como é apresentada na Figura 5-7.b), apresentava 3,32 cm de base maior, 2,18 cm de base menor, 1,33 cm de espessura e 3,9 cm de espaçamento entre si.

No que se refere aos conectores metálicos utilizados para ligar o fasquio às tábuas verticais, também neste pano de parede se verificou que este era concretizado, em termos médios, através da utilização de um prego por cada ligação entre as ripas e o eixo das tábuas.

Por último, e através de uma análise visual, verificou-se que este pano de parede não apresentava qualquer tipo de degradação diferenciada, encontrando-se em muito bom estado de conservação. Relativamente às emendas do ripado, também aqui se verificou que este possuía, na sua maioria, emendas desalinhasadas verticalmente entre si.

5.2 Ensaio à flexão em três pontos

Ao longo deste subcapítulo será abordada a preparação de cada uma das paredes de tabique para a realização do ensaio de flexão em três pontos, bem como será descrita a sua execução. Tal como já foi referido inicialmente, todo o processo de preparação do ensaio decorreu nas instalações da UTAD.

Apresentar-se-á individualmente a preparação e realização dos ensaios realizados à Parede 1 e à Parede 2 e 3, respetivamente. Esta separação deve-se ao facto dos ensaios terem sido realizados em dias distintos, e porque a preparação dos ensaios diferiu em alguns aspetos. Uma vez que parte dos procedimentos de ensaio são idênticos, a descrição da preparação e realização dos ensaios da Parede 2 e 3 será feita de forma sintética.

5.2.1 Preparação e realização do ensaio (Parede 1)

A parede de tabique foi ensaiada no dia 26 de julho de 2013. Antes de se realizar o ensaio propriamente dito, foi necessário planear o modo como se iria conceber e montar todo o esquema de ensaio, desde o sistema de apoios da parede, tentando simular experimentalmente as condições existentes no próprio edifício, à colocação dos transdutores de deslocamentos do tipo LVDTs (linear variable differential transformer), bem como o tipo de fixação destes à parede de tabique.

Para a realização do ensaio optou-se por utilizar um atuador com 300 kN de capacidade de carga, que foi previamente calibrado, e uma velocidade da aplicação da carga do atuador de 2 mm/minuto.

Na adoção do modelo de ensaio foi necessário colocar o atuador sobre um cubo de aço, de modo a este ter curso para efetuar o ensaio. Com o intuito de minimizar as possíveis oscilações decorrentes do ensaio, foi colocado ainda outro cubo de aço ao lado do anteriormente referido, com o objetivo de contribuir para o travamento do atuador. Após a calibração do atuador, procedeu-se à montagem dos dois apoios necessários para a colocação da parede. Cada um dos apoios consistiu em posicionar uma viga sobre dois cubos, todos elementos de aço, colocados em cada uma das extremidades da parede. Após estarem posicionados e nivelados, procedeu-se ao aparafusamento dos dois cubos à viga, de modo a evitar qualquer movimento de translação indesejado entre eles. Os apoios foram localizados de modo a que fosse garantido que o atuador ficasse posicionado a meio vão da parede de tabique.

Ao longo da preparação do ensaio procedeu-se a duas grandes simplificações. Uma delas refere-se aos apoios, dado que a parede foi simplesmente apoiada sobre o sistema montado, não existindo qualquer tipo de travamento (Figura 5-8.a)). Esta simplificação não reflete o que

acontece na realidade, uma vez que estas quando aplicadas em obra possuem algum travamento, pelo facto de estarem restringidas nos topos inferior e superior pelos pavimentos, e fixos com os conectores metálicos. Já com a parede colocada sobre os apoios, procedeu-se a outra simplificação que consistiu na colocação de um bloco de madeira a meio vão, exatamente debaixo do atuador, de modo a que a carga concentrada imposta pelo atuador fosse distribuída pelo bloco e deste modo simulasse uma carga distribuída a meio vão (Figura 5-8.b)).

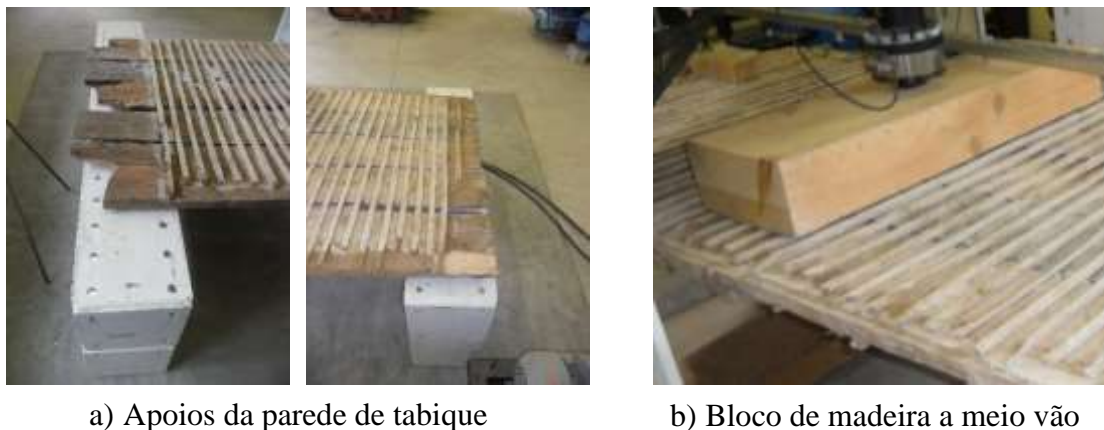


Figura 5-8: Simplificações realizadas ao longo da preparação do ensaio

Durante a preparação do ensaio e com objetivo de minimizar o incremento prévio de flexão resultante do peso próprio da parede de tabique, foi criado a meio vão da parede de tabique um suporte em madeira (Figura 5-9), que foi retirado antes de se dar início ao ensaio.



Figura 5-9: Apoio criado a meio vão durante a preparação do ensaio

Foi necessário adaptar o esquema de ensaio ao limitado número de LVDTs existentes. Uma vez que à data do ensaio, só se dispunha de quatro LVDTs, a disposição adotada consistiu em colocá-los nas extremidades, a meio vão e a 1/6 do comprimento total, medido a partir do meio vão. A disposição dos LVDTs e as respetivas distâncias entre eles encontra-se ilustrada na Figura 5-10, onde também é possível observar a designação atribuída a cada um dos quatro LVDTs. A disposição adotada para cada um dos LVDTs teve como objetivo tentar definir da

melhor forma a deformada resultante do ensaio. Refira-se que devido à existência do atuador a meio vão, aliado à necessidade de colocar a calha ao longo da parede para segurar os LVDTs, estes não ficaram posicionados exatamente a meio da largura da parede de tabique.

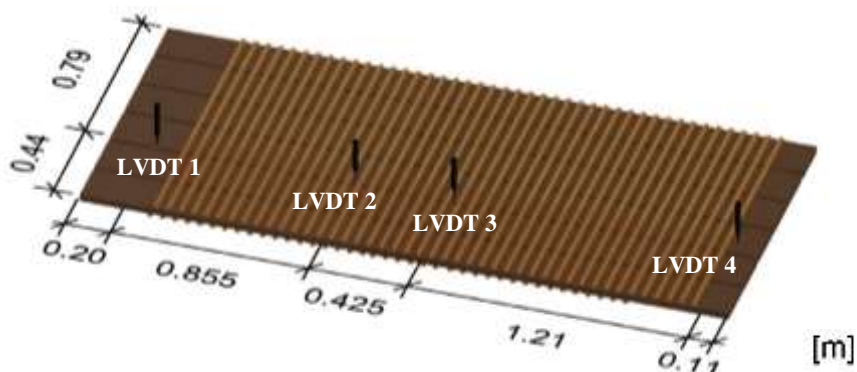


Figura 5-10: Posição adotada para a colocação dos LVDTs (Parede 1)

Os LVDTs são sensores através dos quais é possível obter medições do deslocamento linear. Para obter essas medições eles têm que estar fixos a um referencial exterior à peça onde se pretende obter os deslocamentos. Tendo por base essa necessidade foram utilizados uns tripés (elemento V na Figura 5-12), que possuíam um varão roscado de 16 mm de diâmetro que, por sua vez, serviam de suporte a uma calha (elemento III na Figura 5-12) utilizada para fixar as abraçadeiras que suportavam todos os LVDTs utilizados. Na Tabela 5-1 encontram-se apresentados os respetivos campos de leitura dos LVDTs utilizados.

Tabela 5-1: Campo de aplicação dos LVDTs

LVDT	1	2	3	4
Campo de medida (mm)	±5	±50	±50	±5

Uma vez que durante a realização do ensaio só se dispunha de quatro LVDTs, a escolha passou por colocar os de menor campo de aplicação nas extremidades da parede, uma vez que era previsível que essas seriam as zonas onde os deslocamentos resultantes da aplicação da carga seriam menores, enquanto os de maior campo de aplicação foram colocados nas zonas onde era previsível que os deslocamentos fossem superiores.

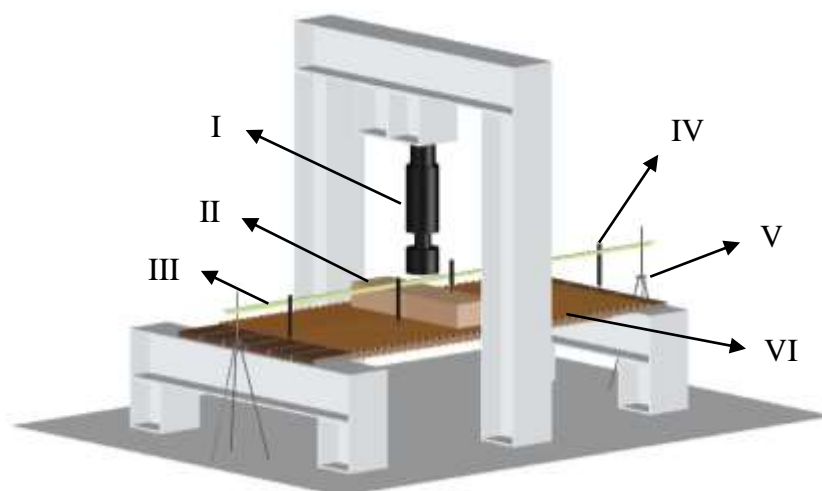
Na Figura 5-11, é possível observar as posições e soluções de fixação de todos os LVDTs utilizados. Tal como é visível na Figura 5-11.a) e Figura 5-11.d), nos LVDTs utilizados junto aos apoios foi necessário criar uma solução que permitisse aos LVDTs de menor campo de aplicação ganhar algum curso para obter resultados. Essa solução consistiu em fixar pedaços de madeira nas extremidades da parede.



Figura 5-11: LVDTs utilizados (Parede 1)

Tal como aconteceu com o atuador, também os LVDTs, antes da sua fixação, foram previamente calibrados. A calibração consistiu em gerar pequenos deslocamentos a cada um dos LVDTs (aproximadamente 5,0 mm) e fazer corresponder a esses deslocamentos uma determinada leitura de voltagem, sendo assim possível estabelecer uma relação linear entre o deslocamento obtido no LVDT e a respetiva voltagem.

Após estas opções aqui descritas de montagem e preparação do ensaio, procedeu-se ao ensaio experimental. Na Figura 5-12, ilustra-se um esboço do esquema de ensaio adotado para realizar o ensaio.



Legenda: I - Atuador de 300 kN; II - Bloco de madeira; III - Calha; IV - LVDT;
V - Tripé; VI - Parede de tabique.

Figura 5-12: Esboço do esquema de ensaio adotado (Parede 1)

Algumas etapas do decorrer da evolução do ensaio podem ser observadas na Figura 5-13, na qual se constata facilmente a evolução da deformada da parede, resultante do aumento de carga atuante ao longo do ensaio. Na fase inicial do ensaio, apresentada na Figura 5-13.a)

observa-se a ausência de qualquer deformada. Enquanto na Figura 5-13.b), é possível observar a deformada máxima atingida durante o ensaio.

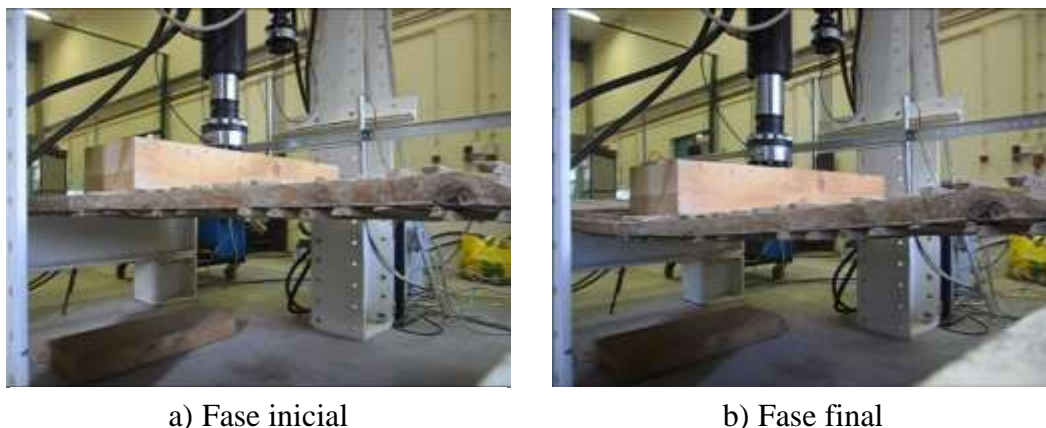


Figura 5-13: Sequência do ensaio (Parede 1)

5.2.2 Preparação e realização do ensaio (Parede 2 e 3)

As Paredes 2 e 3 de tabique foram ensaiadas no dia 27 de novembro de 2013. Para a realização destes ensaios foi preponderante a prática adquirida no anterior ensaio. Este ganho de experiência permitiu planejar com maior facilidade o modo como se iria conceber e montar todo o esquema de ensaio e reaproveitar o sistema de fixação dos LVDTs utilizado na parede de tabique anteriormente ensaiada.

Também neste ensaio se optou por utilizar um atuador com 300 kN de capacidade de carga, que foi previamente calibrado. Relativamente à velocidade da aplicação da carga do atuador optou-se por utilizar uma velocidade de 4 mm/minuto. Em comparação com o ensaio anterior esta velocidade de aplicação de carga é superior, uma vez que se optou por ensaiar a parede até ao máximo curso que o atuador permitisse (200 mm). Por isso aumentou-se a velocidade da aplicação da carga, para encurtar o tempo de ensaio.

A adoção do modelo de ensaio foi igual nestas duas paredes, mas parcialmente diferente da adotada no ensaio anterior. Esta mudança refere-se essencialmente ao tipo de apoios criados, uma vez que se tornou mais fácil montar, desta forma, o modelo de ensaio. Nestes ensaios, o atuador, encontrava-se fixo ao pórtico existente. Após o que se procedeu à montagem dos dois apoios necessários para a colocação da parede. Um dos apoios foi materializado através da colocação de uma viga sobre quatro cubos (colocados dois em cada uma das extremidades da viga). E o outro apoio consistiu em colocar duas vigas sobrepostas sobre dois cubos (colocados cada um nas extremidades da viga). Após estarem todos os elementos posicionados e nivelados, procedeu-se ao aparafusamento de todos os elementos entre si, de modo a evitar qualquer movimento de translação indesejado entre eles. Em função do

comprimento de cada uma das paredes a ensaiar, afastaram-se os apoios, de modo a que fosse garantido que o atuador ficasse posicionado a meio vão da parede de tabique depois de esta ser colocada sobre os apoios.

Tal como já tinha acontecido no ensaio anterior, também neste se procedeu às mesmas simplificações anteriormente descritas.

Seguidamente, e para ambos os ensaios foi necessário adaptar o esquema de ensaio ao limitado número de LVDTs existentes, sendo conveniente referir que só se dispunha de LVDTs com um campo de aplicação de ± 5 mm e de ± 50 mm. Uma vez que o objetivo na realização do ensaio a estas paredes era o de as ensaiar até ao máximo que o atuador permitisse, optou-se por não utilizar os LVDTs de menor campo de aplicação, pois rapidamente atingiriam o máximo do seu curso e portanto deixariam de obter dados. Como só se dispunha de dois LVDTs que permitiam um campo de medida de ± 50 mm, a disposição adotada consistiu em colocá-los de forma simétrica, aproximadamente à distância de $1/6$ do comprimento da parede, a partir do centro. De modo a complementar os resultados obtidos, optou-se por incluir os resultados dos deslocamentos obtidos pelo atuador (o próprio instrumento fornece essa informação), obtendo-se desta forma os deslocamentos a meio vão.

A disposição dos LVDTs e as respetivas distâncias entre si encontra-se ilustrada na Figura 5-14, onde também é possível observar a designação atribuída a cada um dos LVDTs. Devido ao reduzido número de LVDTs disponíveis, a disposição adotada para cada um deles teve como objetivo tentar definir da melhor forma a deformada resultante do ensaio. Também nestes ensaios, devido à existência do atuador a meio vão, e à necessidade de colocar a calha ao longo da parede para segurar os LVDTs, estes não ficaram posicionados exatamente a meio da largura de cada uma das paredes de tabique.

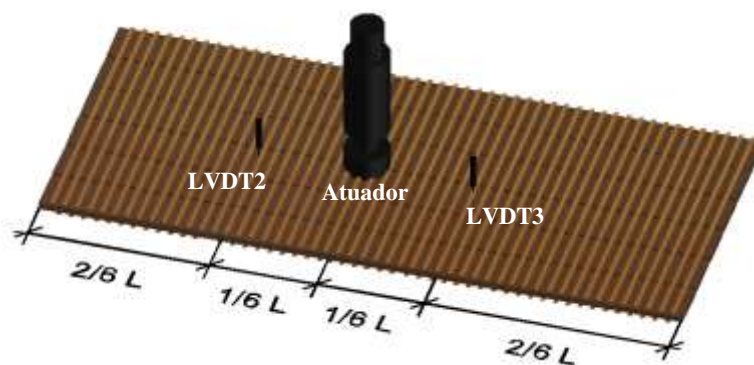


Figura 5-14: Posição adotada para a colocação dos LVDTs (Parede 2 e 3)

Na Tabela 5-2 encontram-se apresentados os respetivos campos de leitura dos LVDTs utilizados. Do mesmo modo como aconteceu com o atuador, também os LVDTs foram calibrados antes da sua fixação.

Tabela 5-2: Campo de aplicação dos LVDTs

LVDT	2	3
Campo de medida (mm)	±50	±50

Na Figura 5-15, é possível observar as posições e soluções de fixação de todos os LVDTs utilizados.

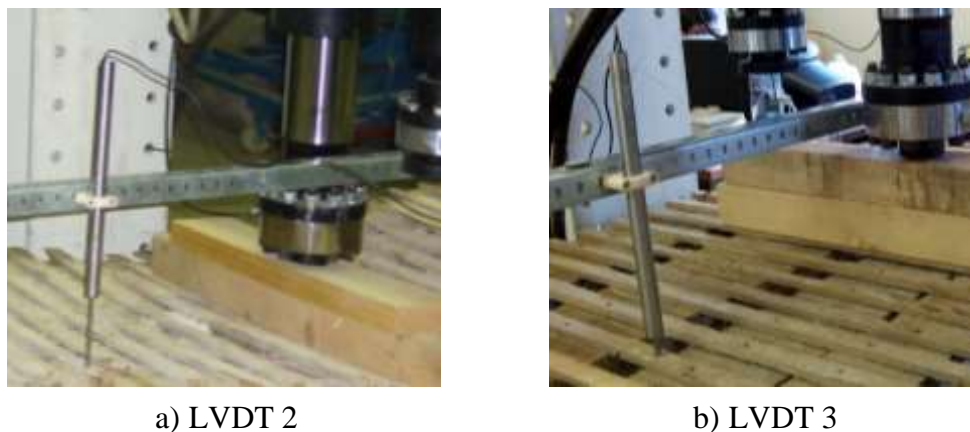
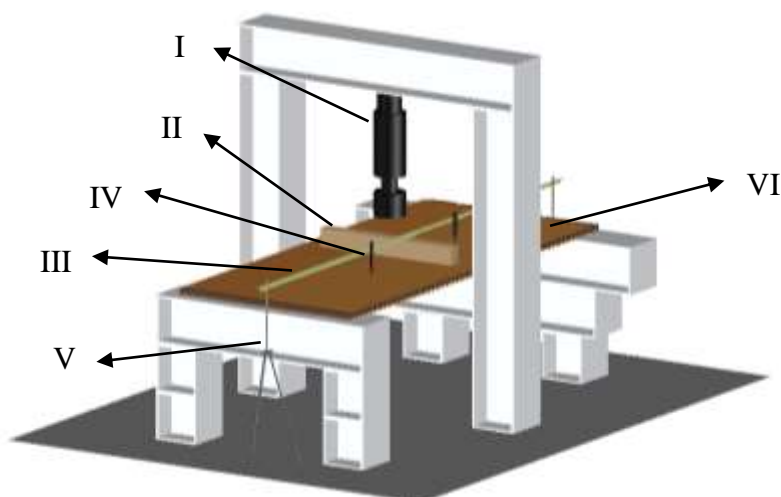


Figura 5-15: LVDTs utilizados (Parede 2 e 3)

Depois de terminar todas as etapas prévias e necessárias para a realização dos ensaios, procedeu-se ao ensaio. Na Figura 5-16 ilustra-se um esboço do esquema de ensaio adotado para realizar o ensaio de ambas as paredes de tabique (Parede 2 e Parede 3).



Legenda: I - Atuador de 300 kN; II - Bloco de madeira; III - Calha; IV - LVDT; V - Tripé; VI – Parede de tabique.

Figura 5-16: Esboço do esquema de ensaio adotado (Parede 2 e 3)

Na Figura 5-17 e Figura 5-18 apresentam-se algumas das etapas da evolução da deformada ao longo do ensaio para Parede 2 e Parede 3, respetivamente, resultante do incremento de carga. A fase inicial do ensaio encontra-se ilustrada na Figura 5-17.a) e Figura 5-18.a), observando-se a ausência de qualquer deformada. Enquanto na Figura 5-17.b) e na Figura 5-18.b), observa-se a deformada máxima atingida durante o ensaio.

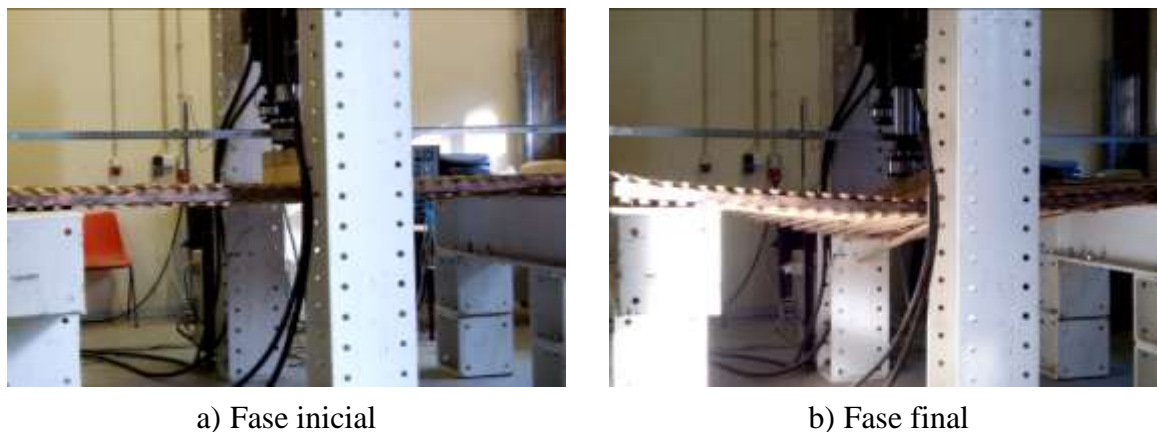


Figura 5-17: Sequência do ensaio (Parede 2)

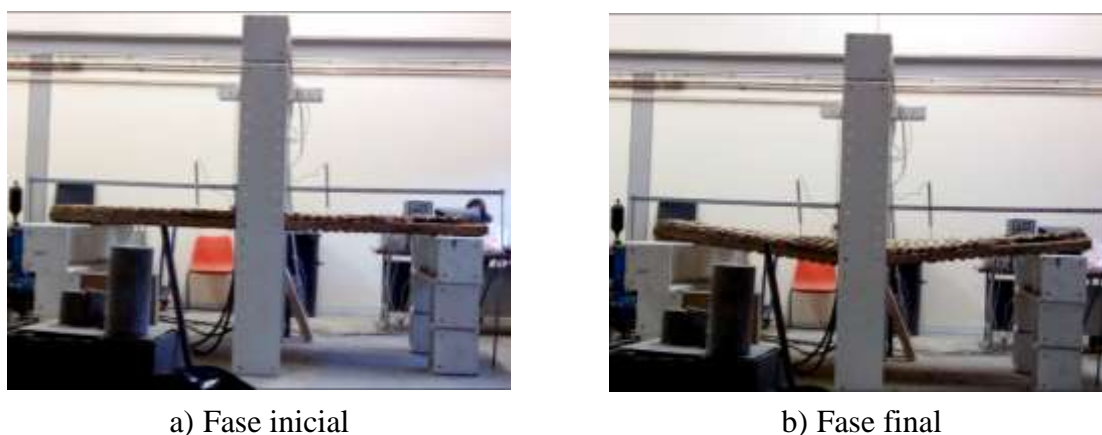


Figura 5-18: Sequência do ensaio (Parede 3)

5.3 Apresentação e análise dos resultados

Após a preparação e descrição de cada um dos ensaios experimentais realizados em laboratório, segue-se a apresentação dos resultados obtidos. Os resultados serão apresentados pela mesma ordem pela qual os ensaios foram realizados e descritos anteriormente.

Convém salientar que todo o desenrolar do ensaio foi controlado e captado por um sistema de aquisição de dados, o que permitiu monitorizar o atuador e simultaneamente processar todos dados obtidos no decorrer do ensaio através de um *software* específico. De modo a obterem-se

os resultados dos ensaios, todos os LVDTs foram ligados a duas caixas de aquisição, que por sua vez se encontravam ligadas ao computador do sistema de aquisição de dados. As caixas utilizadas encontram-se ilustradas na Figura 5-19.



Legenda: I - Entrada dos cabos dos LVDTs; II - Caixa de aquisição;
III - Saída para o computador.

Figura 5-19: Caixa de ligação dos LVDTs

Em função dos dados obtidos pelo atuador e pelos LVDTs utilizados foi possível elaborar alguns gráficos que demonstram o comportamento da parede ensaiada.

5.3.1 Parede 1

Após a realização do ensaio constatou-se que não foi atingida a rotura de nenhum dos elementos de madeira constituintes da parede. No entanto, também não era esse o objetivo deste ensaio, cuja finalidade era perceber o seu comportamento quando sujeita a uma força aplicada a meio vão. Sendo a parede de tabique um elemento bastante esbelto, era já previsível que esta possuísse uma grande capacidade de deformação.

Com o decorrer do ensaio, foi visível o desprender de pequenos pedaços do material de enchimento que ainda restavam na parede e também foram audíveis sons que, muito possivelmente, eram provenientes do reajustamento e despregar entre as ripas e as tábuas verticais.

Todavia, após o término do ensaio e de aliviar a carga que o atuador estava a incidir sobre a parede verificou-se que esta recuperou na totalidade a sua posição inicial (Figura 5-20), para além disso, também não foi visível o aparecimento de qualquer fissura nos seus elementos constituintes, ou seja, apresentou um comportamento elástico.



Figura 5-20: Ausência de deformada após o término da aplicação da carga (Parede 1)

O Gráfico 5-1 traduz a interação existente entre a força aplicada e os deslocamentos obtidos ao longo do ensaio, para cada um dos LVDTs usados. Através de uma análise mais cuidada é possível aferir que os LVDTs 2 e 3, tal como já era esperado, apresentam um comportamento linear. Enquanto nos apoios observa-se duas situações distintas. No LVDT 1 observa-se que desde o início a parede se encontrava completamente assente no apoio e portanto começou logo a “levantar” com um comportamento linear até ao momento em que o LVDT deixou de ter curso para continuar a recolher dados. No apoio onde estava colocado o LVDT 4, verificou-se que, aquando do início do ensaio, este apoio não se encontrava assente, como tal, começou primeiramente por “assentar” e só depois é teve a reação de “subida”, de forma linear. Convém salientar que esta era a zona que não possuía ripado na parte inferior, o que certamente teve influência, no sentido em que começou por se ajustar ao apoio e só depois é que começou a desempenhar a devida reação.

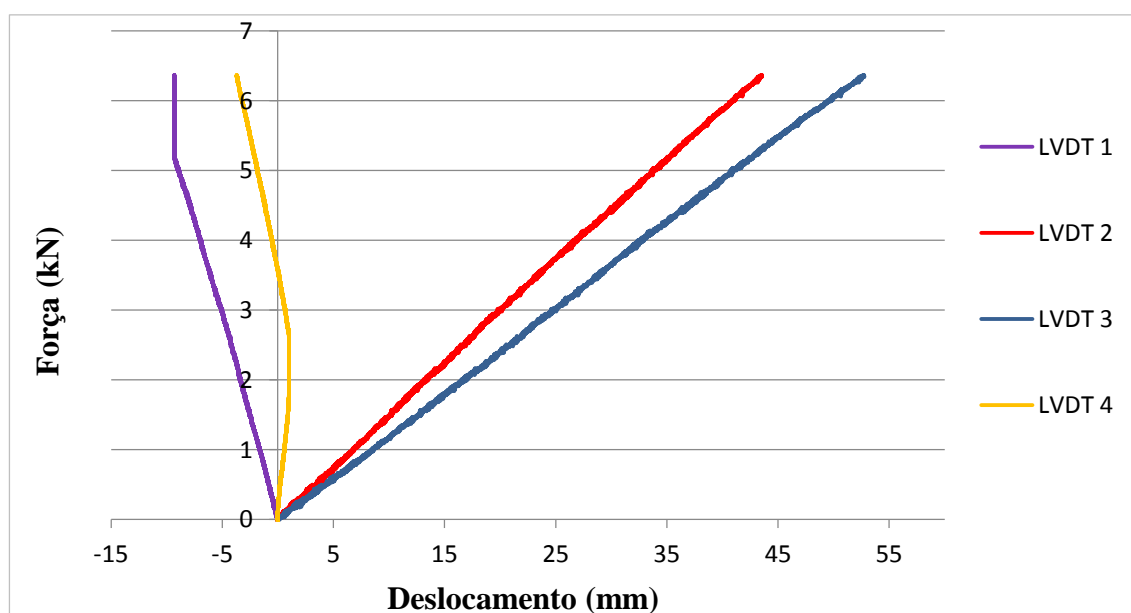


Gráfico 5-1: Força-Deslocamento dos LVDTs (Parede 1)

Paralelamente, o Gráfico 5-2 traduz a evolução da deformada da parede de tabique ao longo do ensaio de flexão em três pontos. Com o intuito de se perceber como ocorreu a evolução da deformada ao longo do incremento de carga, traçaram-se as curvas resultantes das leituras feitas por todos os LVDTs para três momentos distintos do ensaio correspondentes ao instante em que a célula de carga do atuador registava as forças de 1,0 kN, 3,0 kN e 5,0 kN, respetivamente.

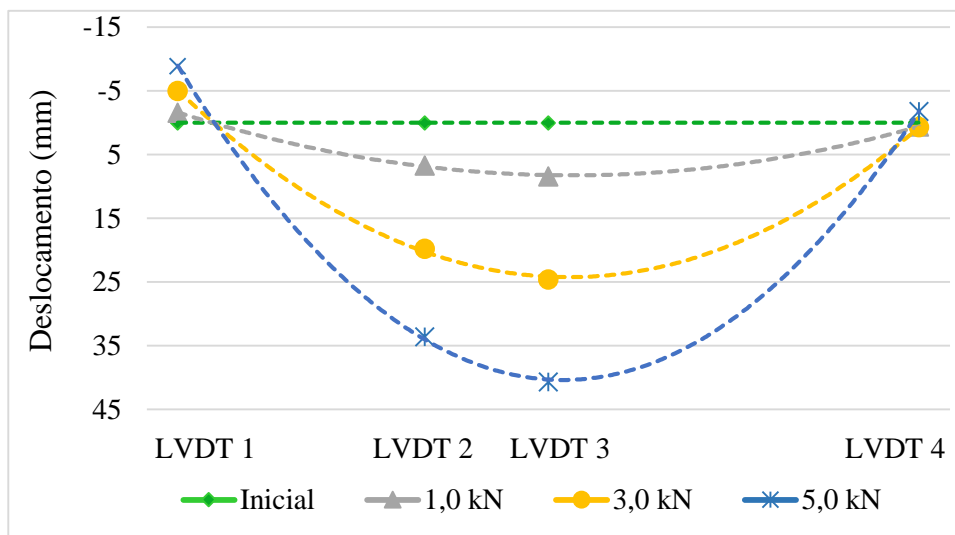


Gráfico 5-2: Deslocamento-Posição dos LVDTs (Parede 1)

Como se pode observar através de uma análise a este gráfico, verifica-se que a flecha aumenta à medida que foi aplicada a carga.

Na Tabela 5-3, apresenta-se o valor obtido para o módulo de elasticidade da Parede 1. Esta propriedade foi calculada com recurso aos resultados provenientes do ensaio à Parede 1, através da razão entre a tensão exercida e a deformação sofrida pelo material.

Tabela 5-3: Módulo de Elasticidade da Parede 1

Parede 1	
$E_{0,mean}$ (GPa)	3,721

5.3.2 Parede 2

Ao longo do ensaio, e como consequência do acréscimo de deformada, um dos primeiros sinais observados foi o desprendimento de restos do material de enchimento que ainda restavam na parede.

Seguidamente tornaram-se audíveis sons, resultantes inicialmente do reajuste e despregar entre as ripas e as tábuas verticais. Com o progredir da carga aplicada, passou para um som mais intenso sempre que alguma das tábuas atingia a rotura.

Após a conclusão do ensaio e depois de aliviar a carga que o atuador estava a incidir sobre a parede, observou-se que todas as tábuas verticais atingiram a rotura, sendo que em algumas a rotura foi somente parcial (Figura 5-21.b)). Consequência dessa rotura, é visível na Figura 5-21.a) a deformada final. Pelo facto de todas as tábuas verticais terem atingido a rotura, pelo menos de forma parcial, a parede só recuperou parcialmente a sua posição inicial. A deformada mais acentuada, ocorreu lateralmente, no local onde não existia ripado.



a) Deformada final

b) Rotura das tábuas verticais

Figura 5-21: Deformada final após o término da aplicação da carga (Parede 2)

A interação existente entre a força aplicada e o deslocamento ao longo do decorrer do ensaio, em cada um dos LVDTs usados, encontra-se apresentado no Gráfico 5-3.

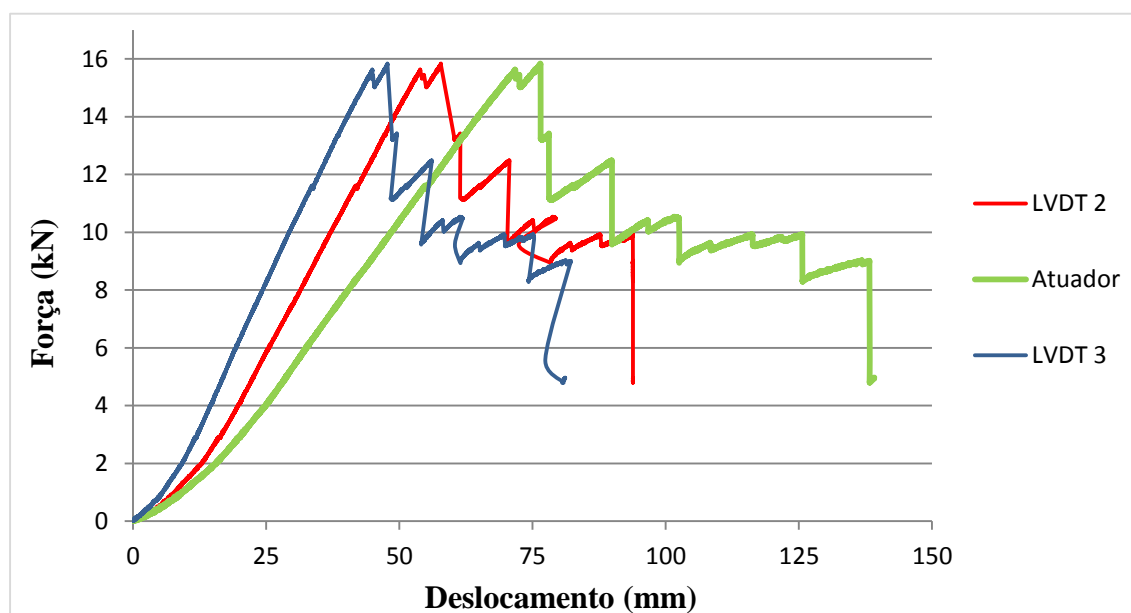


Gráfico 5-3: Força-Deslocamento dos LVDTs (Parede 2)

Efetuada uma análise ao gráfico é possível aferir que os deslocamentos medidos pelo atuador são sempre superiores aos medidos pelos outros dois LVDTs, como já seria expectável. Porém, e uma vez que o LVDT 2 e o LVDT 3 se encontravam igualmente distanciados do meio vão, seria de esperar que os deslocamentos obtidos fossem iguais, caso o pano de parede fosse homogéneo. No entanto, e tal como já foi referido aquando da descrição da parede, numa das faces a parede estava parcialmente desprovida do ripado, como tal é facilmente explicado o facto de essa zona estar mais frágil e portanto apresentar deslocamentos superiores para a mesma carga aplicada.

No gráfico, a cada um dos “picos” e respetiva descida brusca, é facilmente explicado como sendo, a altura em que cada uma das tábuas verticais entrou em rotura (total ou parcial). Foi visível durante o ensaio, que a primeira tábua a entrar em rotura foi a tábua lateral, que se encontrava na zona isenta de ripado. É também visível uma curvatura inicial, para cada uma das representações feitas pelos dados obtidos pelos LVDTs, que talvez possa ser justificada pela acomodação inicial do conjunto (equipamento, amostra de parede de tabique, apoios e pórtico de reação).

A força máxima aplicada à parede foi de 15,6 kN, para um deslocamento a meio vão de 71,77 mm. No final do ensaio a força aplicada era de 4,97 kN, para um deslocamento a meio vão de 139,16 mm.

Dado que neste ensaio não foram utilizados LVDTs nas extremidades, tornou-se inviável representar um gráfico, tal como tinha acontecido para a Parede 1, que traduzisse a evolução da deformada da parede de tabique ao longo do ensaio para vários momentos distintos do ensaio.

Na Tabela 5-4, apresenta-se o valor obtido para o módulo de elasticidade da Parede 2. Esta propriedade foi calculada com recurso aos resultados provenientes do ensaio à Parede 2, através da razão entre a tensão exercida e a deformação sofrida pelo material.

Tabela 5-4: Módulo de Elasticidade da Parede 2

Parede 2	
$E_{0,mean}$ (GPa)	5,926

Ao comparar este valor com o obtido para a madeira, enquanto elemento independente, como foi apresentado em 4.2.1.6.1, verifica-se que este apresenta um módulo de elasticidade mais baixo. Por um lado, é necessário ter em consideração que a parede é constituída, para além da madeira, por conectores metálicos, e que só por isso já seria previsível obter um módulo distinto. Por outro lado, como foi referido este pano de parede já se encontrava parcialmente degradado. Em contrapartida, os elementos de madeira que foram utilizados nos ensaios de

caracterização do material, estavam isentos de qualquer degradação. Por isso, é facilmente explicada esta diminuição do módulo de elasticidade.

5.3.3 Parede 3

Tal como aconteceu em todos os ensaios anteriores, a primeira consequência visível do incremento da deformada, foi o desprendimento de restos do material de enchimento.

Ao longo do ensaio, e como consequência do reajuste e desprendimento das ripas às tábuas verticais, e posteriormente, da rotura das tábuas verticais, foram escutados sinais sonoros, de forma pontual, que correspondiam a cada uma das situações.

Depois de se terminar o ensaio e de aliviar a carga que o atuador estava a aplicar sobre a parede, verificou-se que esta não recuperou na totalidade a sua posição inicial, apresentando uma deformada residual (Figura 5-22.a)). Relativamente às tábuas verticais, constatou-se que para além de nem todas atingirem a rotura, onde esta ocorreu só foi de forma parcial (Figura 5-22.b)).



a) Deformada final



b) Rotura das tábuas

Figura 5-22: Deformada final após o término da aplicação da carga (Parede 3)

Apresenta-se o Gráfico 5-4, que representa a interação existente entre a força aplicada e o conseqüente deslocamento ao longo do decorrer do ensaio para cada um dos LVDTs usados, para o ensaio da Parede 3.

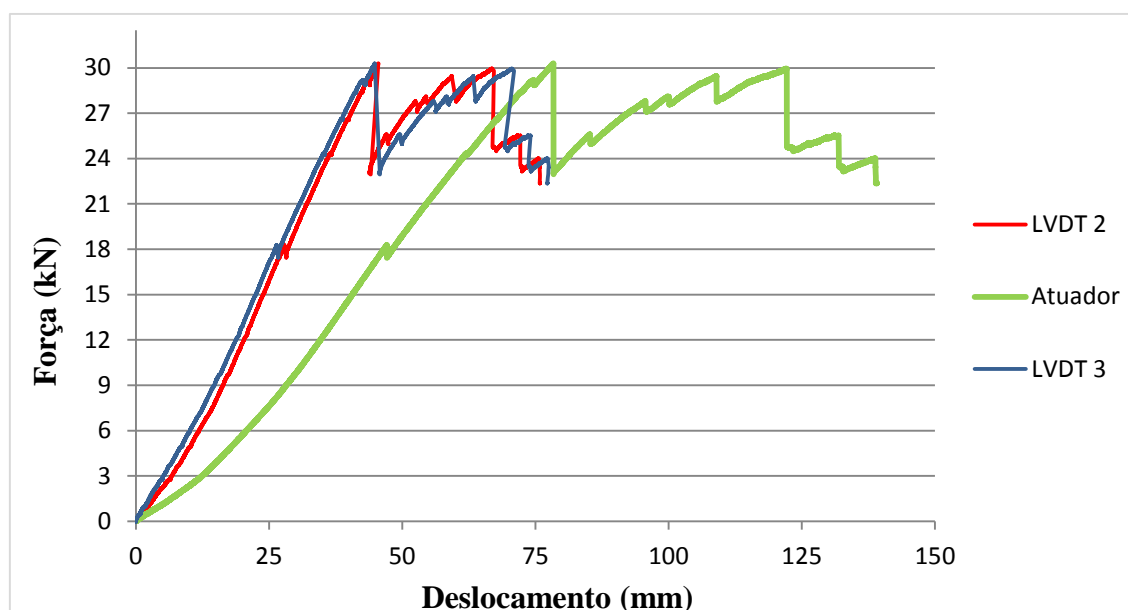


Gráfico 5-4: Força-Deslocamento dos LVDTs (Parede 3)

Analisando o gráfico é possível concluir de forma direta que os resultados obtidos para os LVDT 2 e 3, são bastante semelhantes, o que traduz aquilo que seria expectável, pois encontram-se à mesma distância da aplicação da carga. Tal resultado serve como reforço da ideia de que este pano de parede era bastante homogéneo.

Também aqui, é possível associar a cada um dos “picos”, o instante em que uma determinada tábua vertical da parede entrava em rotura.

A força máxima aplicada à parede dupla de tabique foi de 30,3 kN, para um deslocamento a meio vão de 78,39 mm. Sendo que no final do ensaio a força aplicada era de 18,0 kN, para um deslocamento a meio vão de 165,33 mm.

Na Tabela 5-5, apresenta-se o valor obtido para o módulo de elasticidade da Parede 3. Esta propriedade foi calculada com recurso aos resultados provenientes do ensaio à Parede 3, através da razão entre a tensão exercida e a deformação sofrida pelo material.

Tabela 5-5: Módulo de Elasticidade da Parede 3

Parede 3	
$E_{0,mean}$ (GPa)	10,84

Ao comparar este valor com o obtido para a madeira, enquanto elemento independente, como foi apresentado em 4.2.1.6.1, verifica-se que este apresenta um módulo de elasticidade mais elevado. Como fator que influenciou fortemente este acréscimo no módulo de elasticidade,

refira-se a elevada espessura que este elemento apresenta, fruto da disposição construtiva que apresenta, tabuado duplo com tábuas justapostas, dispostas na vertical e na diagonal.

5.4 Considerações finais

Neste capítulo foram descritas todas as etapas seguidas na realização do ensaio de flexão em três pontos a paredes de tabique. Foi feita a descrição de cada parede de tabique ensaiada, a sua preparação e respetiva realização do ensaio de flexão em três pontos. Obtiveram-se um conjunto de resultados que depois de tratados foram apresentados.

De um modo geral, e tendo por base a experiência adquirida ao longo deste ensaio, é possível referir que apesar de todos os esforços no sentido de uma boa preparação do ensaio surgem sempre fatores inesperados que atrasam o desenrolar dos trabalhos e que muitas vezes requerem alguma imaginação para os ultrapassar. No que se refere à realização deste ensaio salienta-se a necessidade de providenciar algumas peças de apoio ao ensaio, assim como a calha metálica. Porém e para além disso, ainda houve a necessidade de colocar o bloco de madeira a meio vão para simular um corpo rígido que distribuísse a carga por toda a zona de meio vão. A impossibilidade de simular corretamente os apoios existentes em obra, é um fator que influencia negativamente os resultados obtidos no ensaio.

Observou-se que com o decorrer do aumento da deformada em cada uma das paredes de tabique, esta era acompanhada do desprendimento de pequenos pedaços do material de enchimento que ainda permaneciam nas paredes, seguido da audição de alguns sons. Este facto revela que em situações que seja previsível a rotura de uma parede de tabique devido a esforços de encurvadura, esta acontece de forma progressiva, antecedida da ocorrência de grandes deformações, e consequentemente pelo desprendimento do revestimento final e do material de enchimento, aliado a sinais sonoros provenientes do reajuste e desprendimento entre as ripas e as tábuas verticais. A observação atempada destas particularidades num contexto real será de extrema importância, permitindo tomar medidas de reforço e com isso minimizar possíveis prejuízos materiais e ou até mesmo o colapso da estrutura.

Tendo por base os resultados obtidos, é possível concluir que sendo as paredes de tabique um elemento em que a estrutura resistente é de madeira, na sua globalidade bastante esbelto, permite que estas atinjam deformações bastante grandes, sem com isso atingir a rotura. Comprovando-se que devido ao facto da madeira ser um material com comportamento elástico e com grande ductilidade, desde que a estrutura permaneça no regime elástico, esta pode ser sujeita a esforços de encurvadura, conseguindo, após a remoção de tais esforços, recuperar a sua posição inicial. Esta capacidade em recuperar a sua posição inicial, leva a acreditar que este tipo de estruturas, e muito contrariamente ao que frequentemente acontece, sempre que não se apresente degradada, pode ser reutilizada, o que constitui uma mais-valia.

6. Proposta de modelação numérica de paredes de tabique

A utilização de modelos numéricos representa uma enorme vantagem no contexto atual, uma vez que estes possibilitam obter de forma expedita uma simulação aproximada do comportamento de qualquer estrutura. Enquadrado nesse objetivo surge o presente capítulo, com o qual se pretende, através dos dados experimentais obtidos no capítulo 5, encontrar e validar um modelo numérico que seja capaz de simular o comportamento estrutural de paredes de tabique.

Com vista a alcançar os objetivos pretendidos neste capítulo, será descrito o modelo numérico adotado, com a mesma geometria, disposição espacial e o mesmo caso de carga do que aquele que foi adotado na realização dos ensaios experimentais. Posteriormente, será validado o modelo numérico adotado, através da comparação dos resultados obtidos com os alcançados nos ensaios experimentais.

Para efetuar este estudo, recorreu-se ao programa de cálculo automático SAP2000 [SAP 2000, versão 12]. A escolha deste programa em detrimento de outro qualquer, teve como justificação o facto de este ser uma ferramenta de cálculo muito utilizada no desenvolvimento de elementos estruturais, que se baseia no método dos elementos finitos.

6.1 Modelo numérico proposto

Tal como já foi referido anteriormente, e de modo a validar o modelo numérico adotado, será utilizada a mesma geometria e dimensões dos vários elementos, assim como as respetivas condições de apoio, para o mesmo caso de carga aplicada às paredes ensaiadas experimentalmente. Dado que as características geométricas das referidas paredes já foram descritas no capítulo 5, proceder-se-á somente à descrição dos modelos numéricos adotados para simular numericamente cada uma das paredes.

Convém referir que, também nos modelos adotados, não foi tida em conta a presença de material de enchimento.

O modelo numérico adotado para validar a simulação do comportamento estrutural das referidas paredes de tabique, foi aquele que se pensa ser o mais realista, apesar da sua complexidade. A cada um dos modelos estudados foi atribuída a mesma designação que já tinha sido dada a cada uma das paredes ensaiadas à flexão, ou seja, Parede 1, 2 e 3, respetivamente.

Nos modelos adotados, todos os elementos representados, tábuas, ripas e pregos, foram modeladas como sendo elementos tipo Frame (biblioteca do SAP 2000). Este permite modelar peças lineares e tem 6 graus de liberdade por nó (3 translações e 3 rotações).

Foram definidos um conjunto de parâmetros transversais a todos os modelos adotados. Nenhuma das tábuas possui qualquer tipo de restrição nas suas extremidades, encontrando-se simplesmente apoiada, a uma distância de 30 cm (largura dos perfis metálicos onde se encontravam apoiadas as paredes durante o ensaio experimental) de cada uma das extremidades, traduzindo a ligação existente no ensaio experimental. As ripas de madeira encontram-se colocadas de forma excêntrica em cada uma das faces das tábuas verticais, ou seja, de forma aproximada ao que acontece na realidade. Porém, e apesar de não corresponder à realidade, mas por uma questão de simplificação, foi adotada uma secção transversal retangular em detrimento de uma trapezoidal. Ao longo das tábuas verticais, em ambas as faces, dispostos de forma perpendicular em relação ao eixo longitudinal das tábuas verticais de madeira, são modelados pregos. Estes foram modelados como tendo uma rigidez axial e à flexão muito alta, e uma rigidez à torção muito baixa. A secção transversal adotada, foi de dimensões $3 \times 3 \text{ mm}^2$, tendo por base os dados obtidos na caracterização geométrica dos pregos feita ao longo da subsecção 4.2.3.1.

No que se refere ao modelo da Parede 3, a única divergência reside no facto de este modelo corresponder a uma parede dupla de tabique, que possui tabuado duplo, na vertical e diagonal. Optou-se por definir que estes dois conjuntos de tábuas se encontravam rigidamente ligados entre si nos locais em que os seus eixos se interseam.

Relativamente às propriedades mecânicas consideradas nos três modelos, ocorreram situações distintas. Em cada um deles, foi inicialmente inserido no programa, para o módulo de elasticidade da madeira, os valores apresentados na Tabela 5-3, Tabela 5-4 e Tabela 5-5, respetivamente. Ou seja, o módulo de elasticidade correspondente a cada uma das paredes ensaiadas. Posteriormente e com o objetivo de aproximar os resultados obtidos no programa de cálculo automático, com os do ensaio experimental, foi-se ajustando o valor do módulo de elasticidade da madeira até se chegar a um valor que permitiu, em cada um dos modelos, traduzir o real comportamento das estruturas (ensaio experimental). O módulo de elasticidade da madeira correspondente a cada um dos modelos adotados, foi: 7,5; 8,5 e 11,0 GPa, para os modelos da Parede 1, 2 e 3, respetivamente.

No Apêndice 2 apresentam-se detalhadamente as propriedades geométricas e mecânicas relativas à secção de cada um dos elementos considerados nos modelos da Parede 1, 2 e 3. As propriedades apresentadas são, a área da secção transversal, os momentos de inércia e os raios de giração relativamente aos eixos principais de inércia.

O modelo Parede 1 foi o primeiro modelo analisado. Este modelo é constituído por 5 tábuas verticais, 81 ripas de madeira (44 na face superior e 37 na face inferior). O modelo é composto por 992 nós, dos quais 10 estão sujeitos a condições de apoio que restringem o movimento na direção pretendida, ou seja, na direção z.

O modelo Parede 2 é constituído por 5 tábuas verticais, 74 ripas de madeira, das quais 38 na face superior e 35 na face inferior (sendo que 12 não possuem o comprimento total da parede). O modelo é composto por 852 nós, dos quais 10 estão sujeitos a condições de apoio que restringem o movimento na direção z.

O modelo Parede 3 é o último modelo analisado. É constituído por 5 tábuas verticais, 11 tábuas dispostas na diagonal e 40 ripas de madeira em cada uma das faces. O modelo é composto por 1037 nós, dos quais 10 estão sujeitos a condições de apoio que restringem o movimento na direção z.

Na Figura 6-1 são apresentadas vistas 3D de cada um dos modelos numéricos estudados, retiradas do programa de cálculo automático.

Convém realçar que, de modo a tornar os modelos numéricos o mais aproximados da realidade, na definição de cada um dos modelos foi tida em conta a ausência de ripado, sempre que acontecia em cada um dos exemplos reais.

A simulação da carga aplicada durante o ensaio foi realizada através da aplicação de uma carga uniformemente distribuída ao longo das ripas superiores que se encontravam dentro da

área de influência do barrote de madeira que existia a meio vão aquando da realização dos ensaios (conforme descrito no ponto 5.2 da presente dissertação).

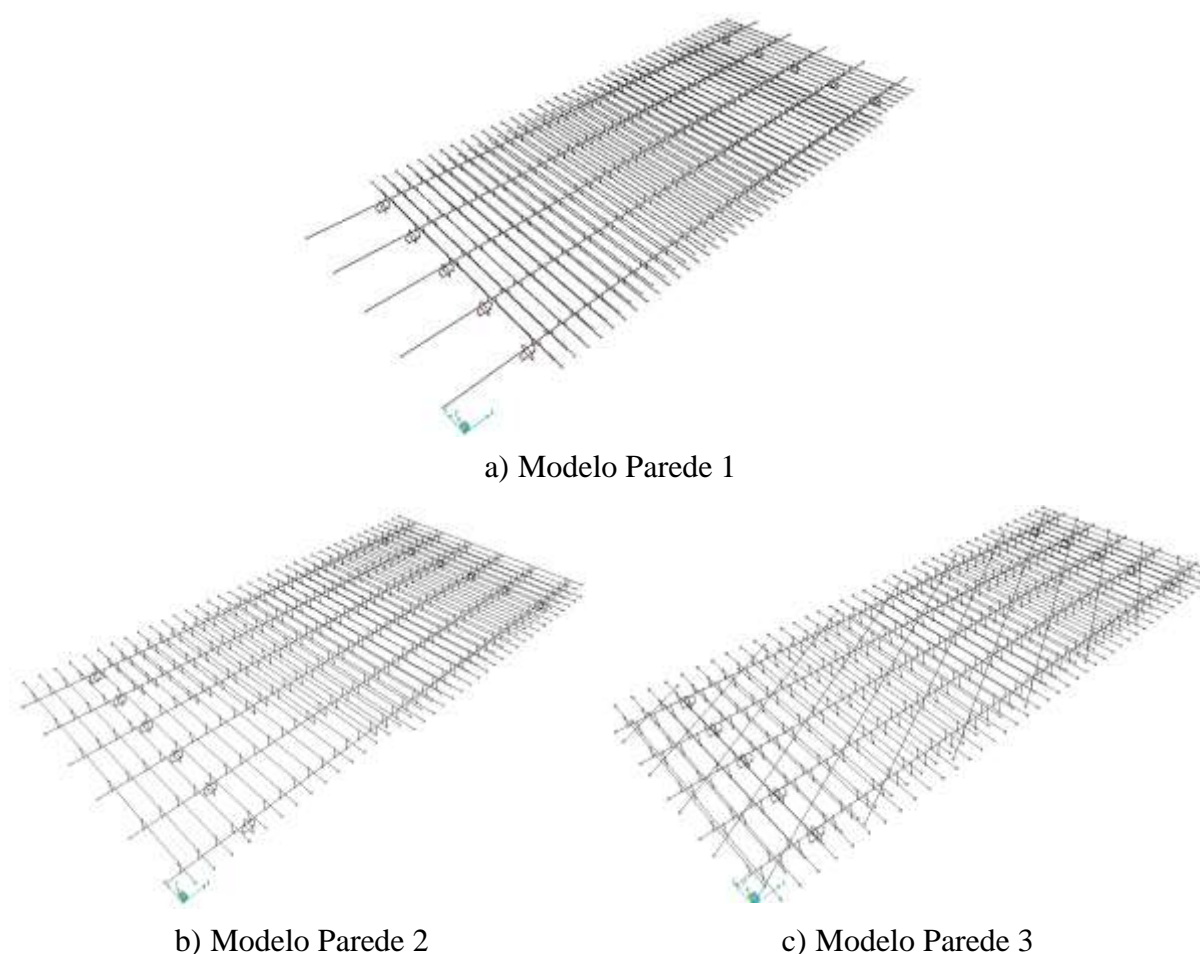


Figura 6-1: Modelos numéricos adotados

6.2 Apresentação e análise dos resultados

Em cada um dos modelos foram aplicadas cargas sucessivas, com diferentes valores, nas ripas superiores que se localizavam na zona de influência da carga aplicada a meio vão, para obter resultados que permitissem ser comparados com os obtidos durante o ensaio experimental.

Os resultados obtidos na modelação numérica realizada, encontram-se apresentados nos Gráfico 6-1, Gráfico 6-2 e no Gráfico 6-3, onde se encontram também os resultados obtidos para cada um dos LVDTs no respetivo ensaio experimental, permitindo deste modo, validar cada um dos modelos adotados, para a Parede 1, 2 e 3, respetivamente.

No Gráfico 6-1 apresenta-se o conjunto de respostas obtidas através da utilização do modelo da Parede 1.

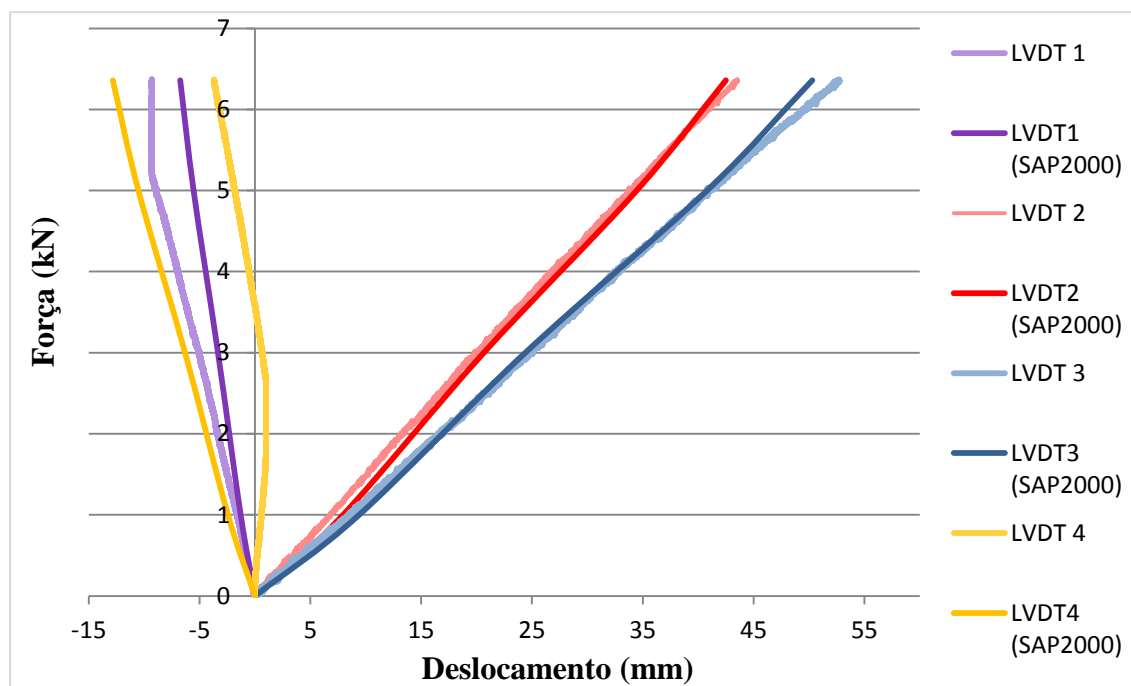


Gráfico 6-1: Força-Deslocamento dos LVDTs, SAP2000 vs real (Parede 1)

Analisando os resultados obtidos no Gráfico 6-1, verifica-se que os LVDTs que se encontravam a meio vão e a 1/6 do vão (a partir do centro), apresentam resultados bastante semelhantes, observando-se que as curvas estão sobrepostas. Nos apoios, constata-se que existe uma maior discrepância de valores, o que era previsível, dado que, como já se tinha comprovado anteriormente, um dos apoios não se encontrava plenamente apoiado aquando do início do ensaio.

No que se refere ao modelo da Parede 2, cujos resultados se encontram apresentados no Gráfico 6-2, é possível concluir que, à exceção da parte inicial do ensaio em que se verifica o reajuste da parede, no seu global conseguiu-se obter resultados bastante próximos com aqueles que foram obtidos durante o ensaio experimental. Contudo, convém salientar o facto de ao se ter simulado no modelo numérico a ausência de ripado na zona onde, na realidade, também não existia na parede ensaiada, permitiu obter resultados similares aqueles que foram obtidos no ensaio experimental, isto é, comportamento estrutural distinto por não ser uma estrutura simétrica.

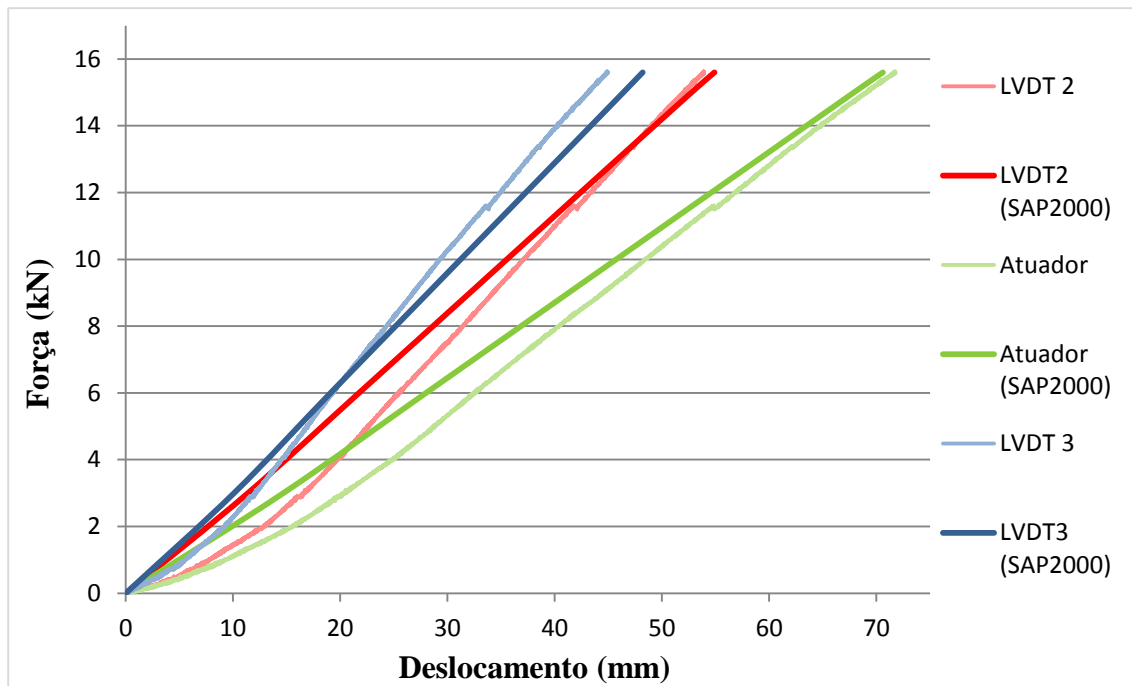


Gráfico 6-2: Força-Deslocamento dos LVDTs, SAP2000 vs real (Parede 2)

Por último, e no que se refere ao modelo da Parede 3, que se encontra apresentado no Gráfico 6-3, é possível de um modo geral retirar as mesmas conclusões que já foram mencionadas para o Gráfico 6-2, referente à Parede 2.

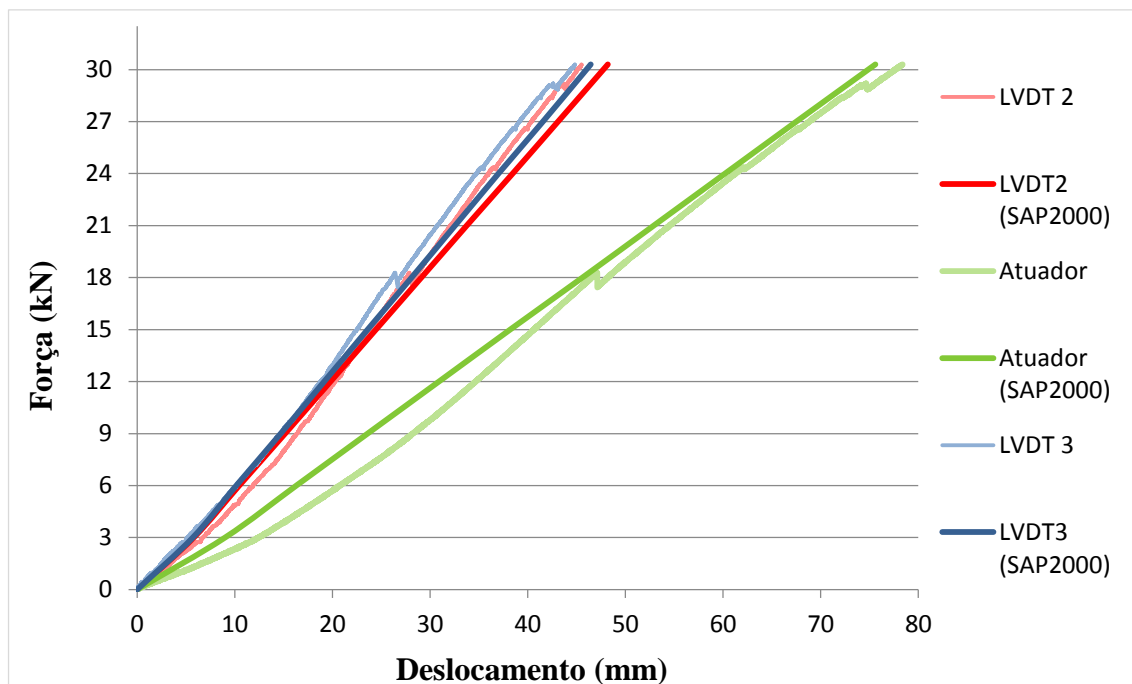


Gráfico 6-3: Força-Deslocamento dos LVDTs, SAP2000 vs real (Parede 3)

6.3 Considerações finais

Apesar de curto e bastante sucinto, este capítulo permitiu concluir que o modelo numérico proposto traduz com bastante proximidade o que aconteceu na realidade, aquando dos ensaios experimentais. As diferenças encontradas são facilmente explicadas se tivermos em conta o facto de nos modelos adotados não se ter tido em conta o estado de degradação da madeira, as distintas secções transversais das barras, a existência de defeitos na madeira, o facto de as estruturas não se encontrarem perfeitamente planas, a ausência de perfeita simetria na aplicação de carga, as condições de apoio não serem exatamente as mesmas, a ligação pregada ser muito complexa de modelar numericamente, a calibração do equipamento e o tratamento dos dados, entre outros fatores.

O modelo apresentado é uma base de trabalho para outros estudos mais aprofundados que permitam chegar a uma simulação, com eficácia e simplicidade, das paredes de tabique em construções existentes.

A realização de uma campanha alargada de ensaios experimentais, quer em número, quer na obtenção de elementos distintos, com diversas situações de carga, permitirá refinar o modelo proposto.

7. Conclusões e desenvolvimentos futuros

7.1 Considerações finais

Através da revisão bibliográfica efetuada neste trabalho, confirmou-se que em Portugal existe um vasto património construído com elementos de tabique, sendo que a sua incidência é mais acentuada na zona norte do país. De entre os elementos de tabique, as paredes são o tipo de estrutura mais comum.

Constatou-se a nível nacional e internacional a inexistência de regulamentação que seja especificamente direcionada para este tipo de construção. Acresce a carência de publicações científicas que abordem este tema, tendo em conta que esta é uma técnica construtiva bastante dispersa pelo mundo.

A realização deste trabalho incidiu essencialmente no estudo e caracterização das paredes de tabique do centro histórico de Viseu, onde se verificou a existência de uma grande quantidade e variedade deste tipo de elementos.

Tendo por base o estudo efetuado aos edifícios em análise, atestou-se que habitualmente o sistema estrutural principal dos edifícios assenta, total ou parcialmente, em paredes resistentes de alvenaria de pedra, sendo que, aquando da aplicação de tabique como paredes exteriores, esta só acontece nos pisos superiores. No interior dos edifícios comprovou-se ser frequente a utilização de paredes de tabique, com função de compartimentação e, em casos mais pontuais, com função estrutural. Constatou-se a existência de duas tipologias diferentes de soluções estruturais de paredes de tabique, as de tabique simples (tabuado único e mais comum) e de tabique duplo (duplo tabuado, em casos pontuais).

Através da observação dos pormenores construtivos existentes nos edifícios em análise, verificou-se que existem diversos fatores que influenciam o resultado final da construção em tabique, implicando uma maior ou menor qualidade construtiva, entre os quais se salienta, a época de construção, o conhecimento empírico do construtor e a capacidade financeira do promotor da obra. Esses pormenores construtivos eram executados de modo a efetivar uma melhor ligação entre as ditas paredes e os respetivos pavimentos (superior e inferior), entre elas e as paredes de alvenaria resistente e até entre elas. Em função da importância desta informação, foram realizadas peças desenhadas, com os pormenores construtivos considerados relevantes.

Os ensaios de caracterização experimental de cada um dos materiais constituintes de um elemento de tabique, permitiram o estudo das propriedades das diversas amostras, obtidas a partir de cada um dos casos de estudo, tendo-se chegado a conclusões relevantes.

No que se refere à madeira aplicada como estrutura resistente, o estudo permite concluir que a espécie de madeira utilizada na construção de tabique é o pinho bravo (*pinus pinaster*). De uma forma geral, comprovou-se através de todos os ensaios realizados, nomeadamente, à flexão estática, à compressão axial e à dureza, que a madeira preserva boa parte das suas características físicas e mecânicas ao longo do tempo.

Relativamente ao material de enchimento, concluiu-se que este apresenta uma curva granulométrica extensa, e é geralmente uma areia siltosa. Aferiu-se também que possui uma plasticidade pouco vincada, e que foi encontrada na sua composição, compostos de cálcio e matéria orgânica.

Os conectores metálicos estudados apresentavam em termos de geometria uma grande variabilidade dimensional de secção transversal, em função do local onde se encontravam aplicados. Os ensaios laboratoriais permitiram caracterizar os pregos como sendo constituídos por uma liga metálica de aço. Tanto o ensaio de tração como o ensaio de Vickers permitiu constatar a existência de uma grande variabilidade do material, em função da diversidade de resultados obtidos.

Da aplicação da técnica da termografia, conclui-se que este método permite, com facilidade, obter termogramas que possibilitam uma expedita deteção da disposição dos elementos de madeira que constituem uma parede de tabique. É um ensaio que apresenta resultados de forma rápida e é não destrutivo.

A realização de ensaios experimentais à estrutura de madeira (incluindo conectores) a paredes de tabique à escala real, demonstrou que estas, por serem elementos bastante esbeltos, atingem grandes deformações, sem com isso atingir a rotura. Observa-se que, dentro do regime elástico estes elementos recuperam, na sua totalidade, a sua posição inicial. Este facto

sugere que, desde que um elemento construtivo em tabique não se apresente degradado pode ser reutilizado, constituindo uma mais-valia, nomeadamente pelo seu papel no comportamento global das estruturas. Durante a realização dos ensaios observou-se que, aquando do acréscimo da deformada, esta era acompanhada do desprendimento de pequenos pedaços do material de enchimento que ainda permaneciam nas paredes, seguido da audição de alguns sons, resultado do desprendimento e do reajuste entre as ripas e as tábuas. Aliado a isso, e de forma visível, verificou-se que a existência de ripado tem influência no sentido de mobilizar todas as tábuas em simultâneo.

A realização dos ensaios experimentais, anteriormente referidos, foram de extrema importância para efetuar uma proposta de modelação adequada, permitindo calibrar e validar os modelos de cálculo apresentados. Os resultados numéricos obtidos representam, de forma aproximada, o que se verificou experimentalmente e que a discrepância entre os resultados obtidos é facilmente explicada por diversos fatores, entre os quais, o estado de degradação da madeira, a existência de barras com secções distintas, os defeitos existentes na madeira, as condições de apoio e ao facto de a ligação pregada ser muito complexa de modelar, entre outras.

Por último, convém salientar que todo o trabalho de campo desenvolvido ao longo desta investigação requereu alguma complexidade. Acrescida de limitações de carácter financeiro e temporal, que dificultaram a sua realização, mas que foram ultrapassadas de modo a chegar ao objetivo final desta dissertação: a caracterização e o estudo das paredes de tabique do centro histórico de Viseu.

7.2 Desenvolvimentos futuros

Através da experiência adquirida ao longo deste trabalho de investigação, é possível enumerar um conjunto sugestões que possam servir como informação para o desenvolvimento de futuros trabalhos neste contexto, nomeadamente:

- Continuar a ser dada importância ao estudo e caracterização de cada um dos materiais que constituem uma parede de tabique, recolhidos em outros locais, com o intuito de alargar e aprofundar o conhecimento dos mesmos, quando aplicados nesta técnica construtiva. Não se deve menosprezar os ensaios aos elementos de madeira, como tem acontecido, visto que estes desempenham um papel fulcral no comportamento da estrutura, nomeadamente na sua capacidade resistente;
- Proceder-se a um estudo mais detalhado de vários pormenores construtivos, uma vez que são de extrema importância, nomeadamente, na compreensão do real comportamento das paredes. A sua importância tem um papel decisivo quando se

pretende realizar uma modelação numérica. Aliado a isso, deve ser feito um levantamento alargado, no sentido de avaliar e conhecer quais são as maiores vulnerabilidades que afetam este sistema construtivo;

- Aprofundar o estudo das propriedades de uma parede de tabique, no que se refere ao comportamento térmico, acústico e ao fogo;
- Realizar-se uma alargada campanha de ensaios experimentais (quer em número, quer procurando abranger elementos construtivos distintos). Se não for possível em tamanho real, tentar utilizar modelos de escala reduzida, nomeadamente estudando outros casos de carga diferentes, a saber: paredes sujeitas a ações no seu plano, ações horizontais atuantes no plano da estrutura e ações transversais ao plano da estrutura, respetivamente, de modo a compreender melhor o seu comportamento real e permitindo calibrar e validar, quer o modelo numérico de cálculo proposto, quer outros modelos que têm vindo a ser realizados;
- Realização de ensaios a paredes de tabique completa, isto é, com o material de enchimento e revestimento final;
- Proceder-se à realização de ensaios com várias situações de reforço;
- Efetuar-se uma simulação numérica que inclua a participação do reboco, de modo a compreender qual a sua influência em diferentes casos de carga. Efetuar uma modelação mais abrangente no sentido de incluir a globalidade das paredes interiores e exteriores de uma habitação, de forma a avaliar o comportamento global da estrutura e o contributo que estas desempenham nas construções, quando sujeitas a vários tipos de solicitações;
- Desenvolver um modelo numérico de cálculo automático, que permita simular de forma simples e eficaz, as paredes de tabique em construções existentes.

REFERÊNCIAS

- Alexandria, S. (2006). *Arquitetura e construção com terra no Piauí: Investigação, caracterização e análise* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Piauí, Teresina, Brasil.
- Almeida, J. (2012). Mechanical characterization of traditional adobe masonry elements (Dissertação de Mestrado). Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- Azevedo, H. (2010). *Reforço de estruturas de alvenaria de Pedra, Taipa e Adobe como elementos de madeira maciça* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Branco, J. (2013). Casas de madeira. Da tradição aos novos desafios. In P. Lourenço, J.M. Branco, & L. Nunes (eds), *Seminário Casas de Madeira* (75-86). Lisboa: LNEC. Recuperado em 12 maio, 2013, de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/23748>
- Brites, R. (2011). *Avaliação de segurança das estruturas antigas de madeira* (Tese de Doutoramento). Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- Cachim, P. (2007). *Construções em Madeira: a madeira como material de construção*. Porto: Publindústria.
- Cardoso, R. (2013). *Construção de tabique: Construção sustentável* (Tese de Doutoramento). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.
- Cardoso, R., Damião, C., Paiva, A., Pinto, L., & Varum, H. (2011). Caso de estudo de aferição do potencial da aplicação de terra local na reabilitação de construções de Tabique. In *Construcción com tierra. Tecnología y Arquitectura. VII Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/2011*. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid (131-140). Recuperado em 27 abril, 2013, de http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/2011_9788469481073_p131-140_cardoso.pdf
- Carvalho, A. (1996) *Madeiras Portuguesas - Estrutura anatómica. Propriedades. Utilizações* (Volume 1 e 2). Lisboa: Instituto Florestal.
- Carvalho, I. (2006). *A construção com terra em Portugal*. Recuperado em 27 março, 2013, de http://www.centrodaterra.org/uploads/media/A_construcao_com_terra_em_Portugal.pdf
- Carvalho, J. (2009). *Construções em tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

Carvalho, R. (2008). Técnicas de construção no alto Douro: O Tabique. *In Architectura D'ouro*. Recuperado em 2 maio, 2013, de <http://arquitecturadouro.blogspot.pt/2008/01/tnicas-de-construo-no-alto-douro-o.html>

Cepeda, A. (2009). *Construções de tabique existentes na Associação de Municípios do Alto Tâmega* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

Cóias, V. (2007) *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos, Alvenaria/Madeira Técnicas Pouco Intrusivas*. 2ª ed. Lisboa: Argumentum.

Correia, M. (2006). Universalidade e Diversidade da Arquitectura de Terra. *In Terra: Forma de Construir. Arquitectura, Antropologia*. (12-19). Porto: FLUP.

Cyted (2003) *Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra*. Salvador: PROTERRA/ CYTED

Despacho n.º 14574/2012 de 12 de Novembro. (2012). Diário da República, 2.ª série. N.º 218 (12-11-12), 36827. Recuperado em 17 abril, 2013, de <http://dre.pt/pdf2sdip/2012/11/218000000/3682736827.pdf>

E 196 (1966). *Solos - Análise granulométrica*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

E 239 (1970). *Solos Análise granulométrica por peneiração húmida*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

EN 338 (2003). *Structural timber – Strength classes*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 408 (2003). *Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 1995-1-1 (2004) *Eurocode 5: Design of Timber Structure part 1.1: General: Common rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

Fernandes M. (2006) Técnicas de construção em terra. *In 10ª mesa redonda de Primavera* (20-25). Porto: FLUP.

Fernandes, M. (2007). Os Adobes e alvenaria de Adobe em Portugal. *In V Seminário Arquitectura de Terra em Portugal*. Aveiro.

FLIR tools

REFERÊNCIAS

Flórido, F. (2010). *Tipificação de soluções de reabilitação de paredes de madeira em edifícios antigos* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Gazzola, P., Lemaire, R., Bassegoda-Nonell, J., Benavente, L., Boskovic, D., Daifuku, H.,... & Zbiss, M. (1964). Carta de Veneza: Sobre a conservação e restauro de monumentos e dos sítios. In *IIº Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos de Monumentos Históricos*. Veneza, 25 a 31 de Maio. Recuperado em 28 março, 2013, de <http://www.igespar.pt/media/uploads/cc/CartadeVeneza.pdf>

Gonçalves, C. (2010). *Construção de Tabique da Associação de Municípios da Terra Quente Transmontana (AMTQT)* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

Gonzalez, J. (2006). *Muros de madera: efecto de los diagonales y/o placa de revestimiento para absorber esfuerzos sísmicos* (Dissertação de Mestrado). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Construcción Civil. Chile.

Google Maps. Disponível: <https://maps.google.pt/>

Houben, H., & Guillaud, H. (1989). *Traité de Construction en Terre*. Marseille: Editions Parenthèses

ICNF (2013). *IFN6 : Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares*. [pdf]. Lisboa: Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.

INE (2011). Censos 2011 – Resultados Provisórios. Instituto Nacional de Estatística.

ISO 3350 (1975). *Wood – Determination of static hardness*. International Organization for Standardization (ISO)

Jalali, S., & Eires, R. (2008). *Inovações científicas de construção em terra crua*. Recuperado em 8 março, 2013, de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/9104>

Joffroy, T. (Ed.). (2012) *World heritage: inventory of earthen architecture* [S.l.]: World Heritage Earthen Architecture Programme.

Jorge F., Fernandes M., Correia M. (2005). *Arquitetura de Terra em Portugal*. 1ª Edição, Lisboa: Argumentum

López, M., Bommer, J., & Méndez, P. (2004). The seismic performance of bahareque dwellings in El Salvador. In *13º WCEE*, Canadá.

Lourenço, P. (2002). *Arquitetura de terra: Uma visão de futuro* [S.l.]. Companhia de Arquitetura e Design. Recuperado em 7 julho, 2013, de <https://www.planetaCAD.com/>

Martinho, J. (2010). *Construção de Tabique na Associação de Municípios da Terra Fria do Nordeste Transmontano (AMTFNT)* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

Martins, S. (2009). *Estruturas de madeira – inspeção e diagnóstico: aplicação em caso de estudo* (Dissertação de Mestrado). Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

Meireles, H., & Bento, R. (2010). *Comportamento cíclico de paredes de frontal pombalino*. In Sísmica 2010 - 8º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica. Aveiro, 20 a 23 outubro.

Minke G. (2006). *Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Birkhäuser: Publishers of Architecture, Basel-Berlin-Boston.

NP 83 (1965). *Solos – Determinação da densidade das partículas*. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

NP 143 (1969). *Solos – Determinação dos limites de consistência*. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

NP 614 (1973). *Madeiras – Determinação do teor em água*. Lisboa: IGPAI – repartição de normalização.

NP 616 (1973). *Madeiras – Determinação da massa volúmica*. Lisboa: IGPAI – repartição de normalização.

NP 617 (1973). *Madeiras – Determinação da dureza*. Lisboa: IGPAI – repartição de normalização.

NP 618 (1973). *Madeiras – Ensaio de compressão axial*. Lisboa: IGPAI – repartição de normalização.

NP 619 (1973). *Madeiras – Ensaio de flexão estática*. Lisboa: IGPAI – repartição de normalização.

NP 711-1 (1990). *Materiais metálicos – Ensaio de dureza. Ensaio Vickers*. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

NP 4305 (1995). *Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas. Classificação visual*. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

Pinto, J.; Varum, H.; Cruz, D.; Sousa, D.; Morais, P.; Tavares... & Vieira, J. (2010, fevereiro). Characterization of Traditional Tabique Constructions in Douro North Valley Region - *Journal WSEAS Transactions on Environment and Development*, 2 (6), 105-114.

Pinto, J., Gülay, G., Vieira, J., Meltem, V., Varum, H., Bal, I.E., & Costa, A. (2014). Save the tabique construction. In A. Costa, J. Miranda, & H. Varum (eds), *Structural Rehabilitation of Buildings: Building Pathology and Rehabilitation: vol.2* (157-185). Berlim: Springer.

REFERÊNCIAS

Recuperado em 14 junho, 2013, de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-39686-1_6#page-1

Pires, A. (2013). *Análise de paredes de tabique e de medidas de reforço estrutural; estudo numérico* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Rodrigues, A. (2006). *História breve da engenharia civil – Pilar da civilização ocidental*. Porto: Ordem dos Engenheiros Região Norte.

SAP2000

Silva, P. (2005). *As ferramentas de E-learning no ensino de pontes* (Dissertação de Mestrado). Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

Teixeira, M. (2013). *Estudo do potencial de reutilização de elementos estruturais de madeira antiga* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

Torgal, F.P., & Jalali, S. (2009). Construção em Terra: Algumas considerações sobre a seleção de solos. In *Conferência Engenharia'2009,10, Covilhã, Portugal, 2009 – “Engenharia'2009: Inovação e Desenvolvimento: actas”*. [S.I.: s.n., 2009]. Recuperado em 19 maio, 2013, de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10454>

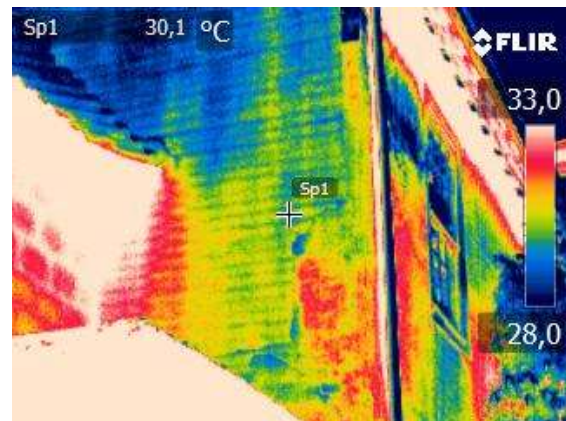
UNESCO World Heritage Centre. (2007). World Heritage Earthen Architecture Programme (WHEAP). Recuperado em 7 maio, 2013, de <http://whc.unesco.org/en/earthen-architecture/>

Wikipédia. Disponível: <http://pt.wikipedia.org/>

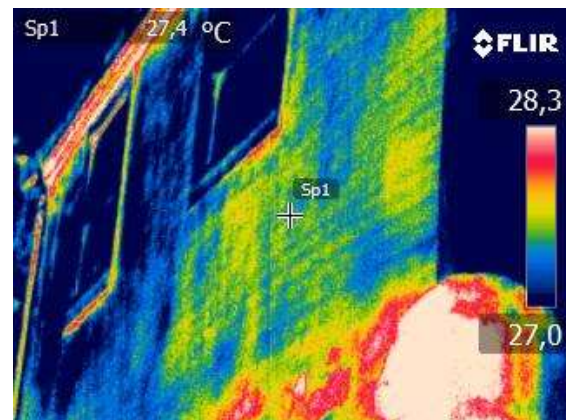
APÊNDICE 1 – Termogramas

No presente Apêndice, são apresentados os restantes resultados obtidos durante o ensaio de termografia.

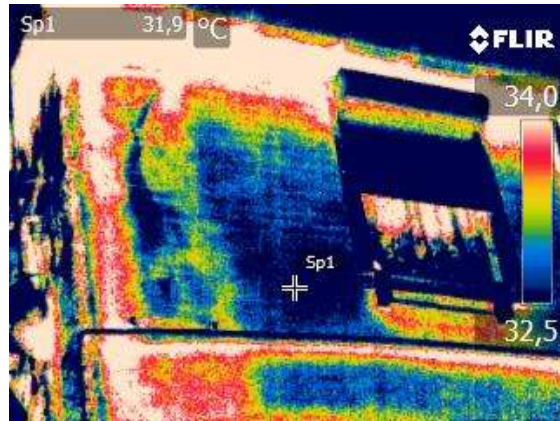
- Caso de estudo 1 (CE.1)



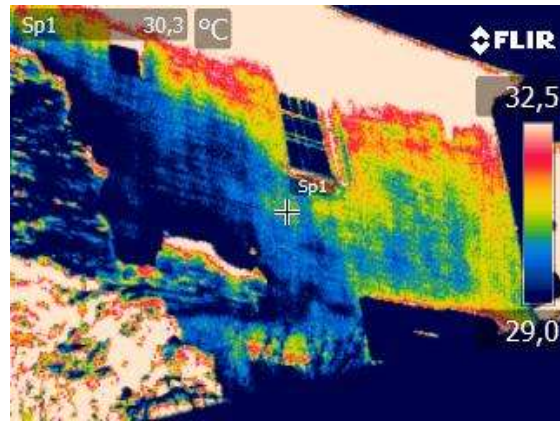
- Caso de estudo 2 (CE.2)



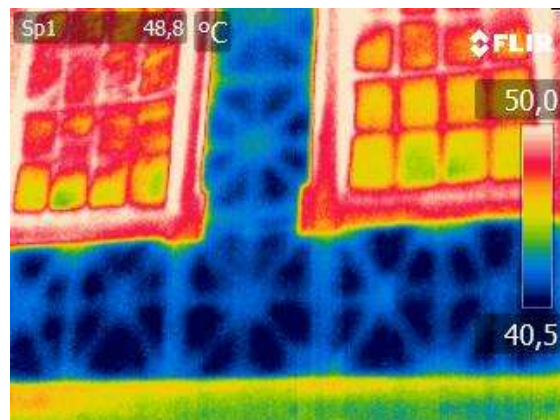
- Caso de estudo 4 (CE.4)



- Caso de estudo 5 (CE.5)



- Caso de estudo 6 (CE.6)



APÊNDICE 2 – Propriedades geométricas e mecânicas

No presente Apêndice são apresentadas as propriedades geométricas e mecânicas relativas à secção transversal de cada um dos elementos introduzidos no programa de análise estrutural, nomeadamente, a área, os momentos de inércia e os raios de giração em torno de cada um dos eixos principais centrais de inércia.

- Parede 1

Tabela A-1: Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das tábuas verticais

Propriedade	Valores
Área	$8,085 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
Momento de inércia segundo xx	$8,253 \times 10^{-7} \text{ m}^4$
Momento de inércia segundo yy	$3,595 \times 10^{-5} \text{ m}^4$
Raio de giração segundo xx	0,0101 m
Raio de giração segundo yy	0,0667 m

Tabela A-2: Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das ripas

Propriedade	Valores
Área	$2,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Momento de inércia segundo xx	$3,662 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
Momento de inércia segundo yy	$8,667 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
Raio de giração segundo xx	$3,753 \times 10^{-3} \text{ m}$
Raio de giração segundo yy	$5,774 \times 10^{-3} \text{ m}$

Tabela A-3: Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal dos pregos

Propriedade	Valores
Área	$9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$
Momento de inércia segundo xx	$6,75 \times 10^{-12} \text{ m}^4$
Momento de inércia segundo yy	$6,75 \times 10^{-12} \text{ m}^4$
Raio de giração segundo xx	$8,66 \times 10^{-4} \text{ m}$
Raio de giração segundo yy	$8,66 \times 10^{-4} \text{ m}$

Tabela A-4: Propriedades mecânicas e físicas do aço dos pregos

$E_{0,05}$ (GPa)	ν	ρ_{mean} (kN/m ³)
206	0,3	76,97

- Parede 2

Tabela A-5: Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das tábuas verticais

Propriedade	Valores
Área	$6,438 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
Momento de inércia segundo xx	$7,345 \times 10^{-7} \text{ m}^4$
Momento de inércia segundo yy	$1,624 \times 10^{-5} \text{ m}^4$
Raio de giração segundo xx	0,0107 m
Raio de giração segundo yy	0,0502 m

Tabela A-6: Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das ripas

Propriedade	Valores
Área	$3,393 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Momento de inércia segundo xx	$4,705 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
Momento de inércia segundo yy	$1,956 \times 10^{-8} \text{ m}^4$
Raio de giração segundo xx	$3,724 \times 10^{-3} \text{ m}$
Raio de giração segundo yy	$7,592 \times 10^{-3} \text{ m}$

Tabela A-7: Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal dos pregos

Propriedade	Valores
Área	$9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$
Momento de inércia segundo xx	$6,75 \times 10^{-12} \text{ m}^4$
Momento de inércia segundo yy	$6,75 \times 10^{-12} \text{ m}^4$
Raio de giração segundo xx	$8,66 \times 10^{-4} \text{ m}$
Raio de giração segundo yy	$8,66 \times 10^{-4} \text{ m}$

Tabela A-8: Propriedades mecânicas e físicas do aço dos pregos

$E_{0,05}$ (GPa)	ν	ρ_{mean} (kN/m ³)
206	0,3	76,97

- Parede 3

Tabela A-9: Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das tábuas verticais

Propriedade	Valores
Área	0,0104 m ²
Momento de inércia segundo xx	$2,255 \times 10^{-6}$ m ⁴
Momento de inércia segundo yy	$3,608 \times 10^{-5}$ m ⁴
Raio de giração segundo xx	0,0147 m
Raio de giração segundo yy	0,0589 m

Tabela A-10: Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das tábuas dispostas na diagonal

Propriedade	Valores
Área	$5,874 \times 10^{-3}$ m ²
Momento de inércia segundo xx	$5,331 \times 10^{-7}$ m ⁴
Momento de inércia segundo yy	$1,551 \times 10^{-5}$ m ⁴
Raio de giração segundo xx	$9,526 \times 10^{-3}$ m
Raio de giração segundo yy	0,0514 m

Tabela A-11: Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal das ripas

Propriedade	Valores
Área	$4,416 \times 10^{-4}$ m ²
Momento de inércia segundo xx	$6,509 \times 10^{-9}$ m ⁴
Momento de inércia segundo yy	$4,056 \times 10^{-8}$ m ⁴
Raio de giração segundo xx	$3,839 \times 10^{-3}$ m
Raio de giração segundo yy	$9,584 \times 10^{-3}$ m

Tabela A-12: Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal dos pregos

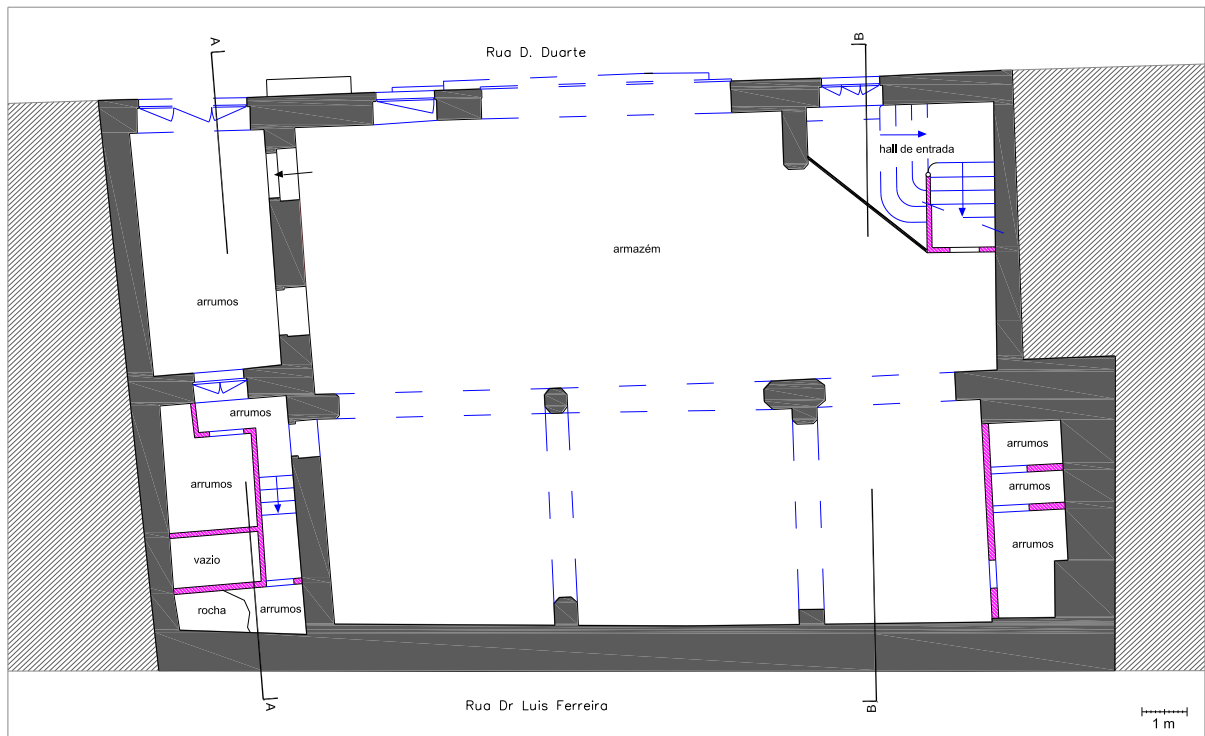
Propriedade	Valores
Área	$9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$
Momento de inércia segundo xx	$6,75 \times 10^{-12} \text{ m}^4$
Momento de inércia segundo yy	$6,75 \times 10^{-12} \text{ m}^4$
Raio de giração segundo xx	$8,66 \times 10^{-4} \text{ m}$
Raio de giração segundo yy	$8,66 \times 10^{-4} \text{ m}$

Tabela A-8: Propriedades mecânicas e físicas do aço dos pregos

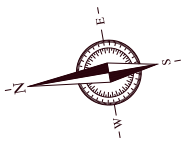
$E_{0,05}$ (GPa)	ν	ρ_{mean} (kN/m ³)
206	0,3	76,97

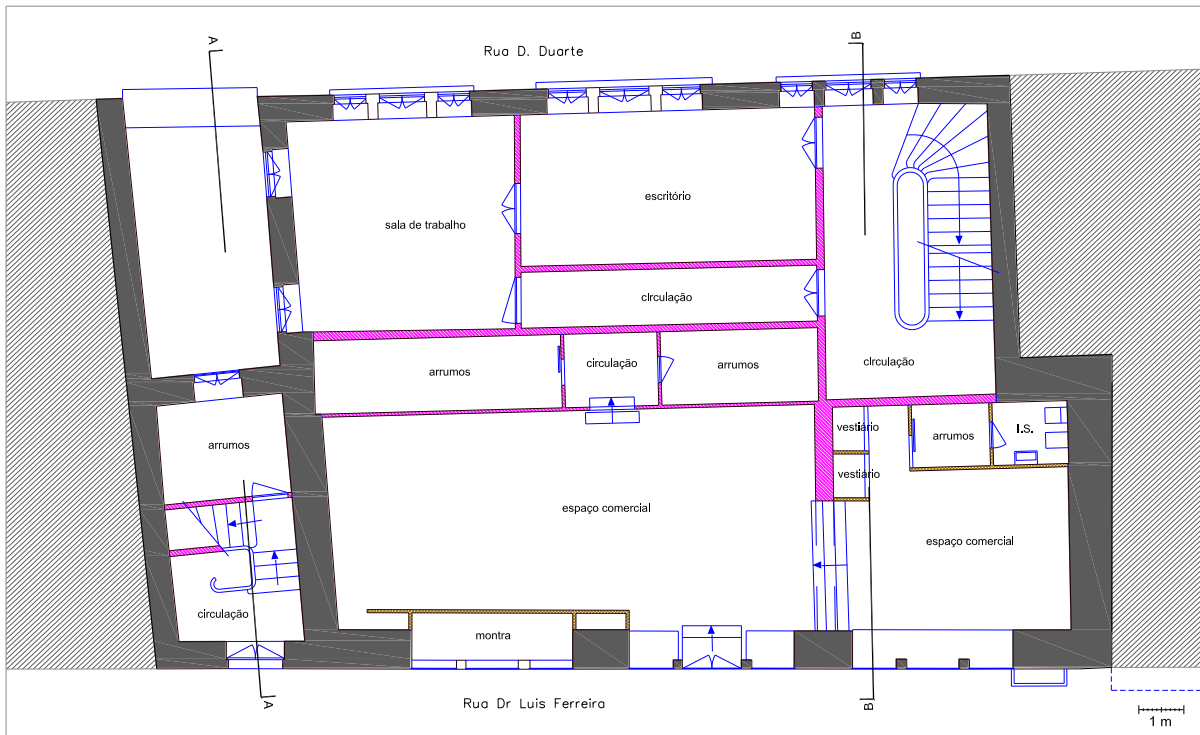
ANEXO 1 – Peças desenhadas do caso de estudo Ed.1

No presente Anexo apresentam-se as peças desenhadas referentes ao caso de estudo Ed.1.

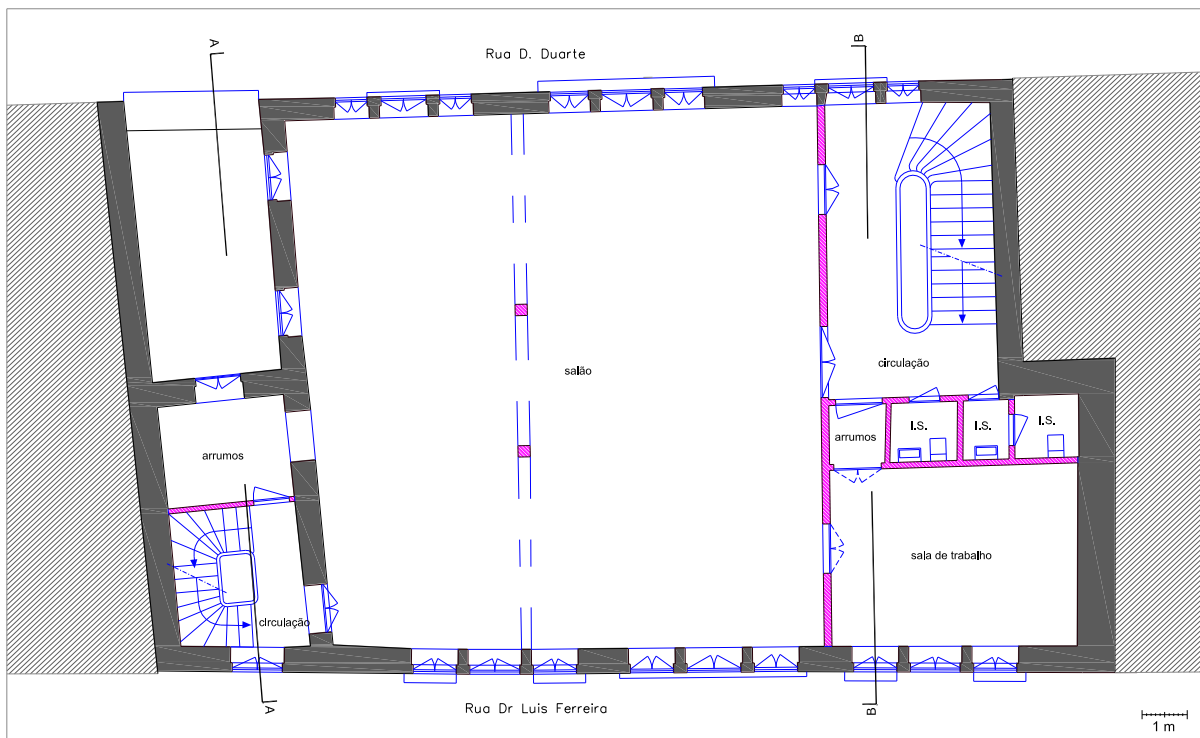


Planta da Cave

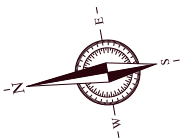


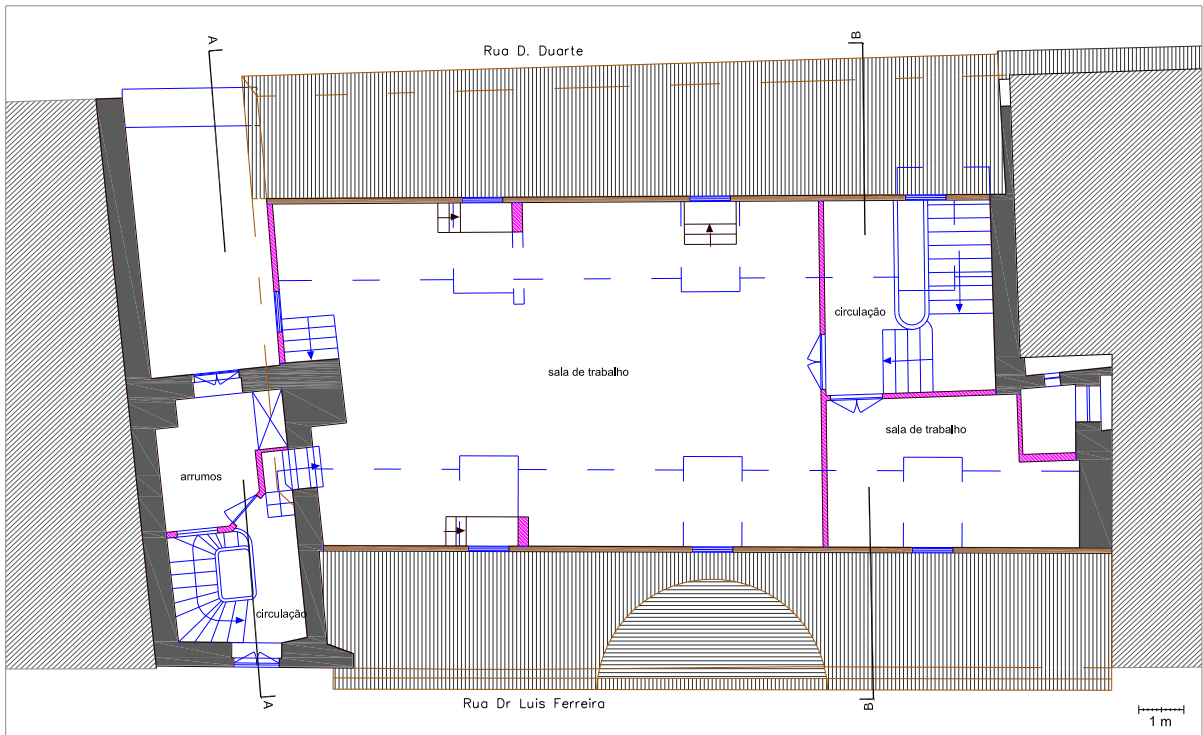


Planta do Rés do Chão

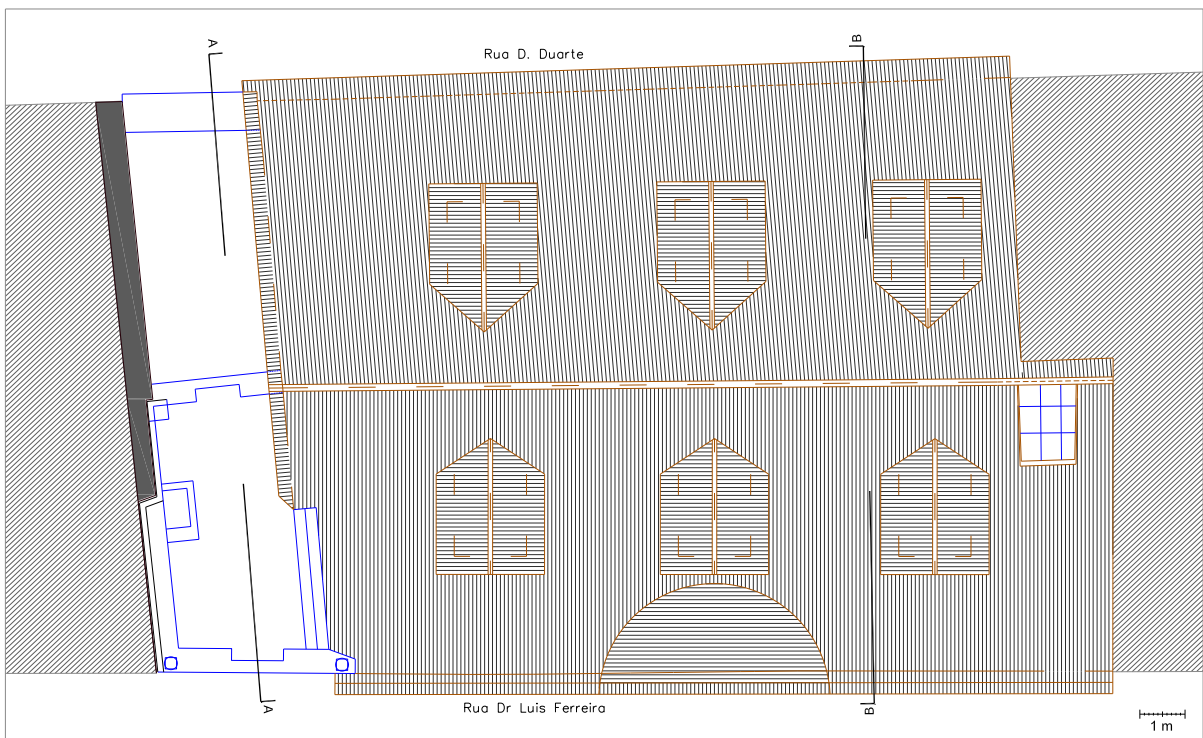


Planta do 1º Piso

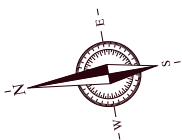


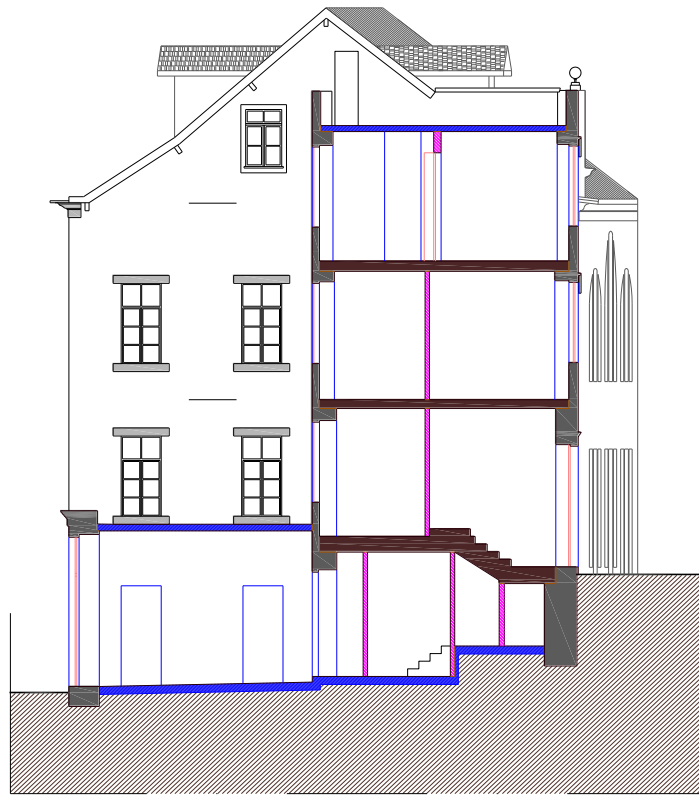


Planta do 2º Piso

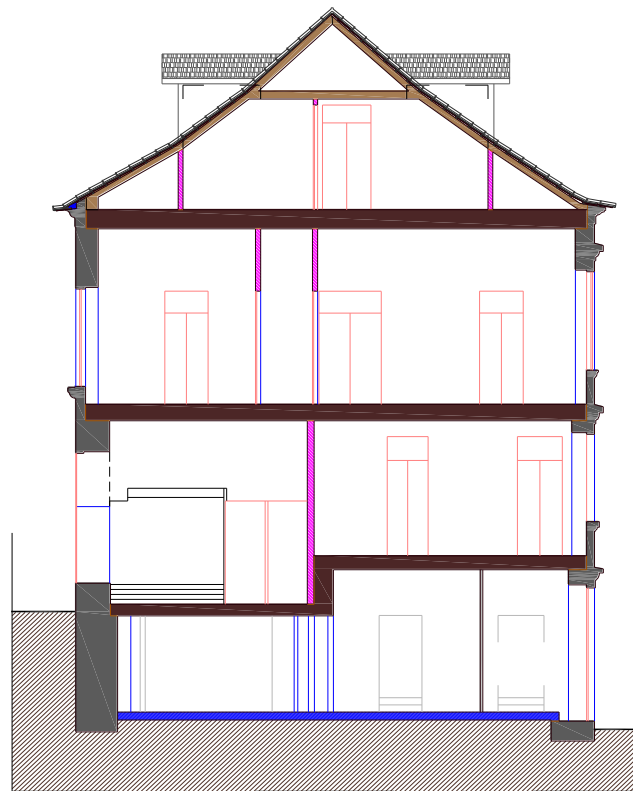


Planta da Cobertura





Corte AA



Corte BB



Alçado Principal



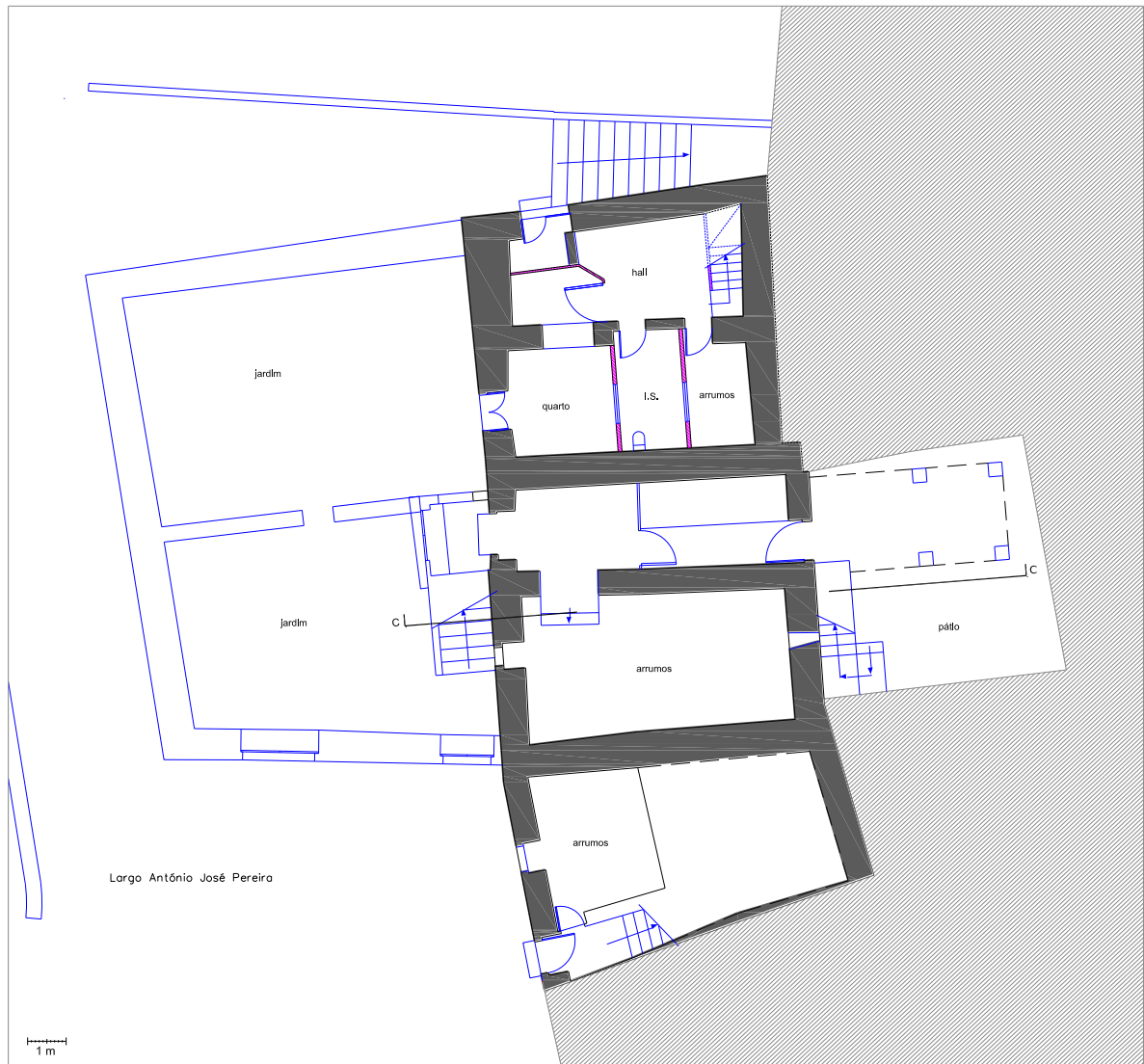
Alçado Posterior

Legenda:

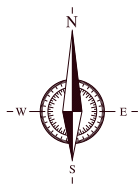
	Alvenaria de granito
	Parede de tabique
	Estrutura do pavimento
	Estrutura da cobertura
	Gesso cartonado
	Edifício contíguo

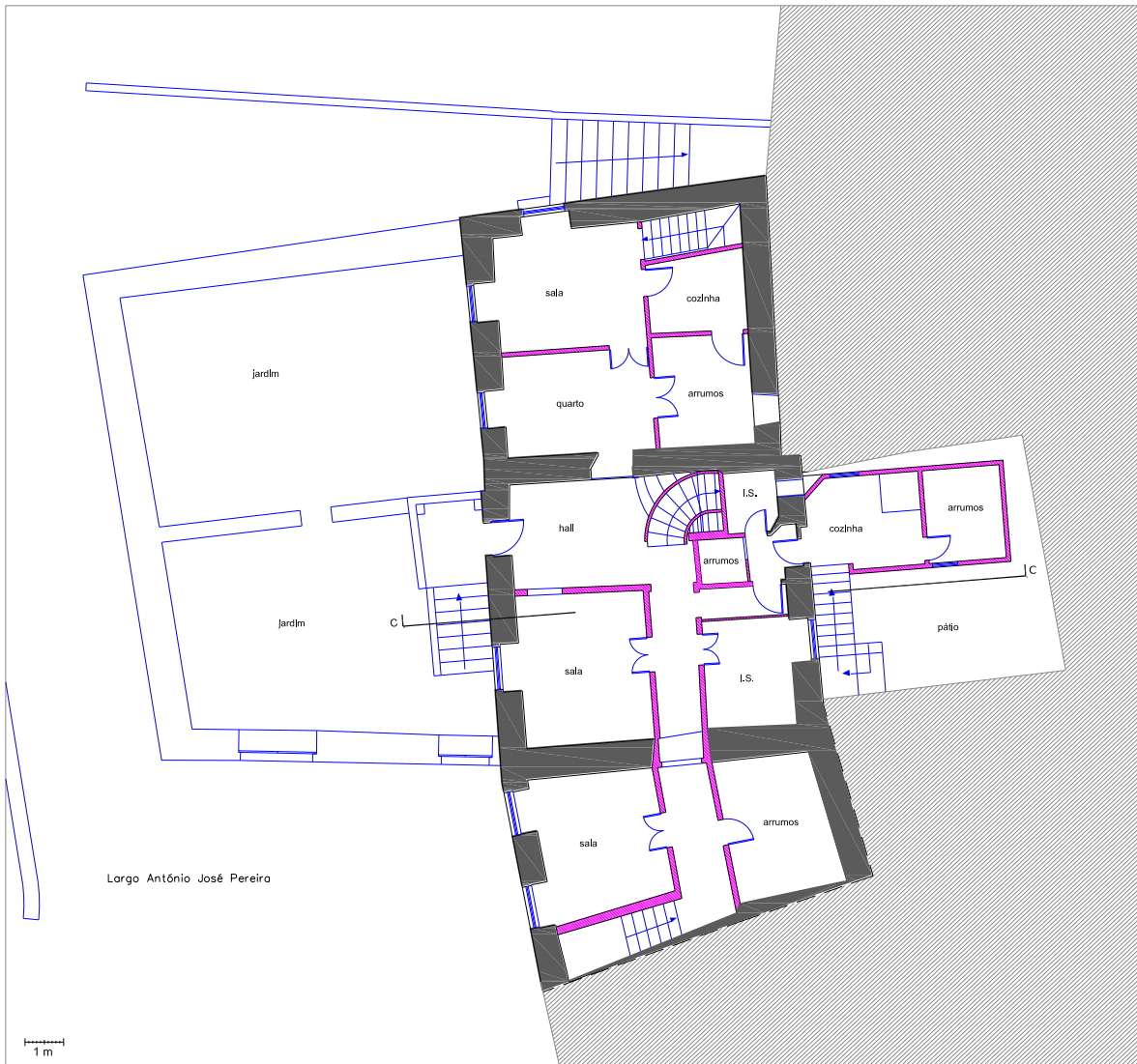
ANEXO 2 – Peças desenhadas do caso de estudo Ed.2

No presente Anexo apresentam-se as peças desenhadas referentes ao caso de estudo Ed.2.

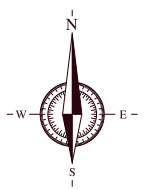


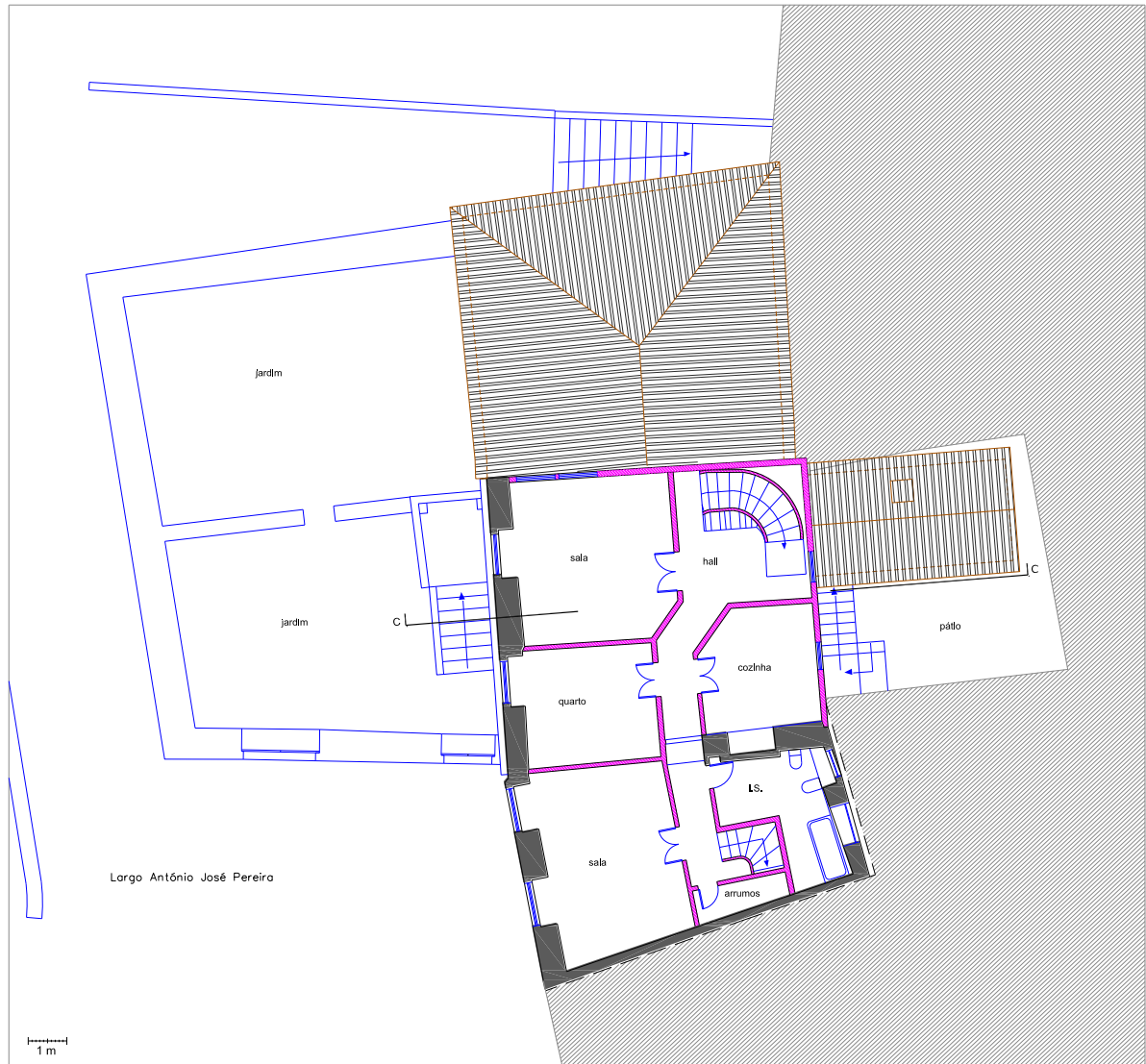
Planta do Rés do chão



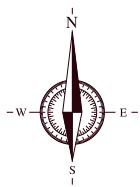


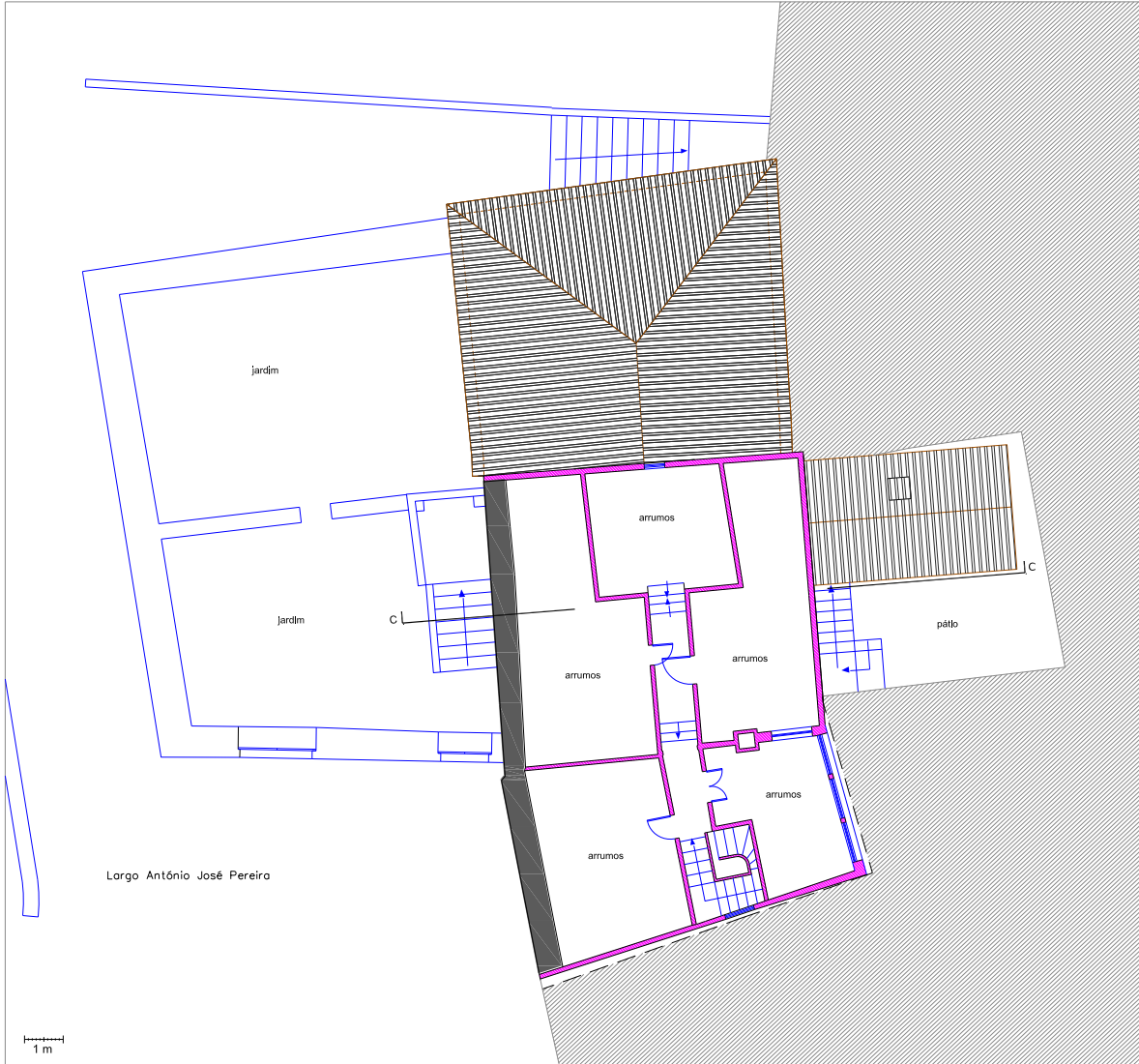
Planta do 1º Piso



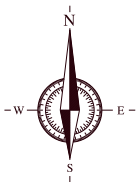


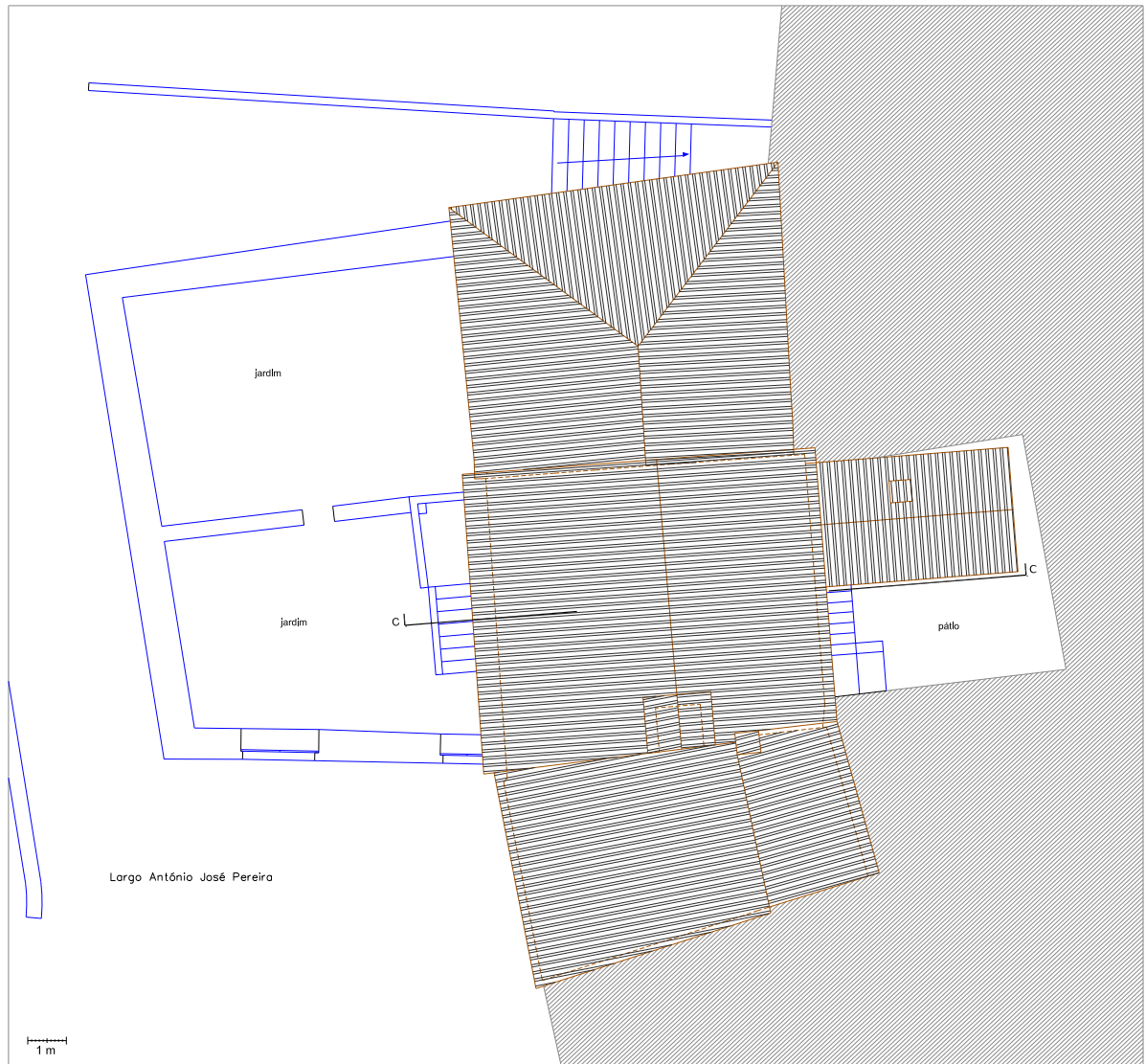
Planta do 2º Piso





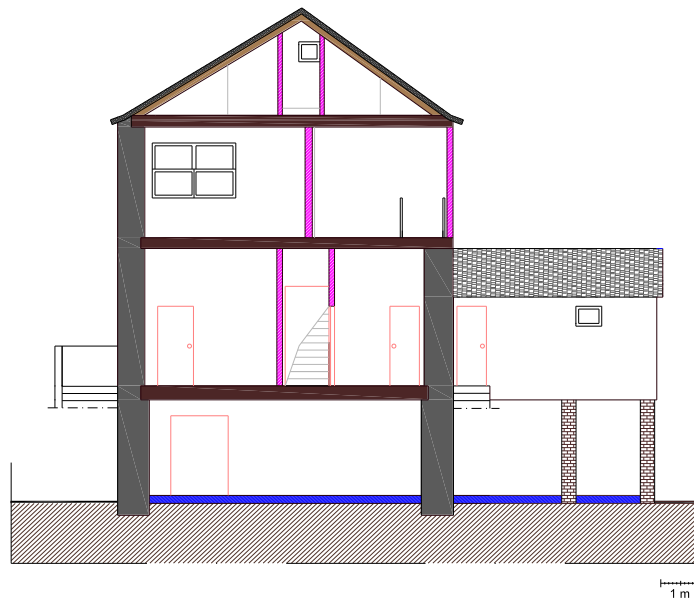
Planta do Sótão





Planta da Cobertura





Corte CC

Legenda:

	Alvenaria de granito
	Parede de tabique
	Estrutura do pavimento
	Estrutura da cobertura
	Edifício contíguo