



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Caracterização das ligações metálicas na reabilitação de paredes de tabique em edifícios do centro histórico de Viseu

Mélanie Almeida Rodrigues

Dissertação

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de
Paulo Alexandre da Silveira Costeira Marques da Silva

Novembro de 2022



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Caracterização das ligações metálicas na reabilitação de paredes de tabique em edifícios do centro histórico de Viseu

Mélanie Almeida Rodrigues

Dissertação

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor Paulo Alexandre da Silveira Costeira Marques da
Silva

Novembro de 2022

AGRADECIMENTOS

Uma dissertação é o resultado final de um trabalho de investigação/pesquisa de um tema escolhido por nós ou sugerido pelo orientador escolhido. Para a realização desta dissertação, mesmo sendo um trabalho individual houve sempre algumas ajudas, pelo que agradeço por todo o apoio dado, incentivo e entre outras ajudas:

Aos meus pais, mesmo longe, foram um apoio fundamental.

À minha família e amigos pelo apoio prestado.

Ao professor José Padrão do Departamento de Engenharia Civil, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu por toda a ajuda prestada.

Ao professor Serafim Oliveira, do Departamento de Engenharia Mecânica, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, pelo tempo dispensado, a ajuda fundamental no laboratório, na elaboração dos ensaios realizados e também pela ajuda na análise dos resultados.

Ao professor José Salgueiro, do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu pela ajuda a interpretar os resultados do ensaio de tração, realizado anteriormente pelos meus colegas Carlos Fernandes e Rafael Pinto.

E por fim e não menos importante, ao meu orientador, professor Paulo Costeira, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.

Muito obrigada a todos.

RESUMO

Em Portugal, as paredes de tabique são uma das técnicas mais antigas e mais características da construção do património edificado antigo.

Na região de Viseu, as paredes de tabique, para além de serem utilizadas como elementos de compartimentação (o mais habitual em Portugal), também são utilizadas como elementos integrantes da estrutura principal dos edifícios, uma vez que possuem características resistentes.

O objetivo principal das investigações já realizadas nesta área é dar a conhecer as propriedades mecânicas dos materiais constituinte das paredes de tabique. No entanto, também é fundamental entender a forma como estes se interligam entre si e com os outros elementos estruturais principais dos edifícios, nomeadamente os pavimentos, a estrutura de cobertura e as paredes de alvenaria de pedra. Salienta-se aqui o importante papel dos ligadores metálicos na concretização dessas ligações. Estes ligadores metálicos apresentam distintas dimensões e formas consoante a sua função.

Nesta dissertação pretende-se apresentar a investigação realizada em diversos edifícios do centro histórico de Viseu. Assim, pormenorizam-se diversas soluções construtivas encontradas, associam-se as formas e dimensões dos ligadores à sua função e apresentam-se os resultados de uma campanha de ensaios laboratoriais realizados para definir algumas das suas propriedades físicas e químicas.

O conhecimento obtido permite uma melhor compreensão do comportamento estrutural global destes edifícios e do papel das paredes de tabique nesse mesmo comportamento.

No final, discutem-se os resultados e ensinamentos obtidos e apresentam-se recomendações para futuras obras de reabilitação realizadas neste tipo de edifícios.

Palavras-chave: Paredes de Tabique; Ligadores Metálicos; Ensaio Laboratoriais; Edifícios Antigos

ABSTRACT

In Portugal the “tabique” walls are one of the oldest and most characteristic techniques of old building construction.

In Viseu, the “tabique” walls are used with partition elements (most usual in Portugal), and as part of the main structure of the buildings since they have resistant characteristics. With the investigations already carried out, whose main objective was to know the mechanical properties of its constituent materials, it is also essential to understand how the “tabique” walls interconnect with each other and with the other main structural elements of the buildings, namely the floors and the stone masonry walls. According to their function, these metallic connectors have different dimensions and shapes.

This work intend to show the research carried in several buildings in the historic centre of Viseu. For that purpose, several constructive solutions found are detailed, the shapes and dimensions of the metallic connectors are associated with their function and the results of a laboratory tests carried out to present some of their physical and chemical properties.

The knowledge obtained allows a better understanding of the structural behaviour of these buildings and the role of the partition walls in this same behaviour.

At the end, the results learned are discussed and recommendations for future rehabilitation works carried out in this type of buildings are presented.

Keywords: “Tabique” Walls; Metallic Connectors; Laboratory Tests; Old buildings

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE QUADROS	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Organização do trabalho	3
2. Estado da arte	5
2.1 Construções de tabique em Portugal.....	6
2.2 Caracterização das construções de tabique em Viseu.....	9
2.3 Ligadores de paredes de tabique.....	11
3. Metodologia.....	15
3.1 Considerações iniciais	15
3.2 Descrição dos casos de estudo.....	16
3.2.1 Edifício 1 – Ed.1	16
3.2.2 Edifício 2 – Ed.2.....	19
3.2.3 Edifício 3 – Ed.3	20
3.3 Procedimentos.....	22
4. Ligadores metálicos.....	25
4.1 Caracterização das dimensões e suas funções	25
4.2 Caracterização experimental física e química	33
4.2.1 Ensaio de dureza de Vickers.....	33
4.2.2 Ataque químico e análise microestrutural	39
4.2.3 Análise da existência de impurezas nas amostras.....	42
5. Caracterização das Paredes de Tabique.....	45
5.1 Caracterização dos elementos constituintes de uma parede de tabique.....	45
5.2 Processo construtivo de uma parede de tabique	47
5.3 Recomendações para a reabilitação das paredes de tabique.....	54
6. Conclusão	57

6.1 Considerações finais	57
6.2 Desenvolvimentos futuros	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Abrigo pré-histórico em madeira de elementos vegetais, (Fonte: Lunatykas interiors, lunatykasinteriores.blogspot.com)	6
Figura 2: Edificações com utilização de paredes de madeira: a) em Vieira de Leiria (Oliveira E. Veiga, Galhano F., 1992) e b) no Pinhão	6
Figura 3: Paredes em madeira em edifícios pombalinos, Lisboa: a) paredes de tabique (Fonte: Pena A., 2008) e b) paredes de frontal (Fonte: Appleton J., 2003)	7
Figura 4: Esquema de uma parede de tabique	8
Figura 5: Exemplo de uma parede de tabique de um edifício situado em Viseu	9
Figura 6: Forjamento de ligadores metálicos (Fonte: CECI-2007)	11
Figura 7: Ligadores metálicos fabricados.....	12
Figura 8: Localização dos edifícios estudados (imagem retirada de https://maps.google.pt)	16
Figura 9: Fachada principal do Ed.1, setembro de 2009 (Fernandes C., 2016)	16
Figura 10: Frechal retirado do Ed.1, em castanho (Fernandes C., 2016)	17
Figura 11: Parede de tabique exterior com frechal em castanho do Ed.1 (Fernandes C., 2016)	17
Figura 12: Parede interior de tabique do Ed.1 (Fernandes C., 2016)	18
Figura 13: Pavimento em madeira maciça do Ed.1 (Fernandes C., 2016)	18
Figura 14: Utilização de telha cerâmica como revestimento exterior de uma parede de tabique do Ed.1 (Fernandes C., 2016)	18
Figura 15: Revestimento de argamassa de cimento do Ed.1 (Fernandes C., 2016)	19
Figura 16: Gaveto da Rua Dr. Luís Ferreira com a Rua Formosa.....	19
Figura 17: Gaveto da Rua Dr. Luís Ferreira com a Rua Direita.....	20
Figura 18: Parede de tabique preenchida e revestida integralmente com argamassa de terra e palha do Ed.2	20
Figura 19: Fachada principal do Ed.3 (Fernandes C., 2016).....	21
Figura 20: Parede exterior do Ed.3 em alvenaria de pedra (Fernandes C., 2016).....	21
Figura 21: Parede exterior do Ed.3 em tabique (Fernandes C., 2016)	21
Figura 22: Telha e argamassa como revestimento exterior do Ed.3 (Fernandes C., 2016).	22
Figura 23: Diferentes tipos de revestimentos utilizados nas paredes interiores de tabique do Ed.3 (Fernandes C., 2016).....	22
Figura 24: Ligadores metálicos de aderência do Ed.1, piso 1	26
Figura 25: Ligadores metálicos de fixação de revestimento (telha) do Ed.1, piso 3.....	26
Figura 26: Ligadores metálicos de ligação entre tábuas de madeira e ombreiras de portas do Ed.2.....	27
Figura 27: Ligadores metálicos de ligação entre tábuas de madeira e ombreiras, rodapés, etc. do Ed.2.....	27
Figura 28: Ligadores metálicos de ligação entre ripas e tábuas do Ed.2.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 29: Ligadores metálicos de fixação de fasquiado do Ed.1, piso 0	28
Figura 30: Ligadores metálicos de fixação de fasquiado do Ed.1, piso 1	28
Figura 31: Ligadores metálicos de fixação de fasquiado do Ed.1, piso 2	29
Figura 32: Ligadores metálicos de fixação de fasquiado do Ed.1, piso 3	29
Figura 33: Ligadores metálicos de fixação de fasquiado do Ed.3.....	29
Figura 34: Ligadores metálicos de ligação entre tábuas e vigas / frechais do Ed.2	30
Figura 35: Ligadores metálicos de ligação entre tábuas e frechais inferiores do Ed.2, piso 2	30
Figura 36: Ligadores metálicos de ligação entre tábuas e vigas / frechais do Ed.3	30
Figura 37: Ligadores metálicos de ligação de tábuas em paredes de tabique perpendiculares interiores e exteriores do Ed.2, piso 2	31
Figura 38: Ligadores metálicos de ligação de tábuas em paredes de tabique perpendiculares interiores do Ed.2	31
Figura 39: Esquematisação dos parâmetros dimensionais dos ligadores (Pinto R. 2013)..	32
Figura 40: Ensaio de dureza Vickers.....	34
Figura 41: Molde com as amostras com secção longitudinais – Molde 1.....	34
Figura 42: Molde das amostras com secção transversal – Molde 2	35
Figura 43: Lixadeira	35
Figura 44: Aparelho utilizado para o ensaio de microdureza de Vickers	35
Figura 45: Realização do ensaio de microdureza de Vickers.....	36
Figura 46: Imagem microscópica de uma indentação com inclusão.....	36
Figura 47: Imagem microscópica de uma indentação sem inclusão	37
Figura 48: Microscópio ótico metalográfico de reflexão ZEISS	39
Figura 49: Exemplo da lente utilizada.....	40
Figura 50: Vista ao microscópio da secção transversal.....	40
Figura 51: Vista ao microscópio da secção longitudinal.....	41
Figura 52: Vista ao microscópio da secção transversal após o ataque químico.....	41
Figura 53: Vista ao microscópio da secção longitudinal após o ataque químico.....	41
Figura 54: Fotografia da amostra 2a obtida através da visualização ao microscópio colocada no programa <i>IMAGE J</i>	42
Figura 55: Tratamento da imagem no <i>IMAGE J</i>	43
Figura 56: Seleção dos dados que se pretende obter	43
Figura 57: Forma como os resultados são obtidos através do programa <i>IMAGE J</i>	43
Figura 58: Distribuição geográfica das principais espécies florestais, Cortesia do ICFN (2013)	45
Figura 59: Exemplos de paredes de tabique (Fernandes C., 2016).....	46
Figura 60: Exemplos de paredes de tabique com tábuas na diagonal (Fernandes C., 2016)	46
Figura 61: Arranque de uma parede de tabique	47
Figura 62: Colocação das tábuas verticais / diagonais	48
Figura 63: Pormenor de ligação das tábuas verticais / diagonais ao frechal inferior.....	48
Figura 64: Colocação de ripas	49

Figura 65: Colocação da argamassa de enchimento.....	49
Figura 66: Exemplo de frechal tipo (a).....	50
Figura 67: Exemplo de frechal tipo (b)	50
Figura 68: Exemplo de frechal tipo (c).....	51
Figura 69: Pormenor de construção da estrutura resistente de um pavimento de madeira (piso superior) – colocação de frechal superior.....	51
Figura 70: Construção da estrutura resistente para piso superior.....	52
Figura 71: Construção da parede superior.....	53
Figura 72: Colocação de argamassa de revestimento.....	53
Figura 73: Tipos de ligadores utilizados em construções de madeira [adaptado de Rothlaas (2019 e 2020)]	56

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Resumo das dimensões dos ligadores metálicos	32
Quadro 2: Valores médios do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 1 (s/ inclusões) .	37
Quadro 3: Valores médios do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 1 (c/ inclusões) .	37
Quadro 4: Valores médios do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 2 (s/ inclusões) .	38
Quadro 5: Valores médios do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 2 (c/ inclusões) .	38
Quadro 6: Resultados obtidos no programa <i>IMAGE J</i>	44
Quadro 7: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L1, Piso 1 (Ed.1) .	65
Quadro 8: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L2, Piso 3 (Ed.1) .	65
Quadro 9: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L3 (Ed.2)	66
Quadro 10: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L4 (Ed.2)	66
Quadro 11: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L4 (Ed.2)	67
Quadro 12: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L5 (Ed.2)	67
Quadro 13: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L6, Piso 0 (Ed.1)	68
Quadro 14: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L6, Piso 1 (Ed.1)	68
Quadro 15: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L6, Piso 2 (Ed.1)	69
Quadro 16: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L6, Piso 3 (Ed.1)	69
Quadro 17: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L6 (Ed.3)	70
Quadro 18: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L7 (Ed.3)	71
Quadro 19: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L7, Piso 2 (Ed.2)	72
Quadro 20: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L7 (Ed.2)	72
Quadro 21: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L8, Piso 2 (Ed.1)	73
Quadro 22: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L8 (Ed.2)	73
Quadro 23: Valores do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 1 (sem inclusões)	75
Quadro 24: Valores do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 1 (com inclusões).....	75
Quadro 25: Valores do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 2 (sem inclusões)	75
Quadro 26: Valores do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 2 (com inclusões).....	76

1. Introdução

1.1 Enquadramento

As paredes de tabique são uma das técnicas construtivas mais antigas e tradicionais presentes no património arquitetónico de Portugal.

Em Viseu, as paredes de tabique para além de serem usadas como paredes divisórias ou de compartimentação (o mais comum em Portugal) são também elementos integrantes da estrutura principal dos edifícios, como se pode comprovar em Fernandes C. (2016).

Estas paredes desempenham funções estruturais importantes devido à sua organização espacial. Mesmo que recebam diretamente as cargas verticais, elas têm um papel importante no travamento geral das estruturas, mediante a sua interligação com as paredes de alvenaria e com a estrutura de madeira dos pavimentos e da cobertura, promovendo um comportamento em caixa (também conhecido por “*box behaviour*”).

As paredes de tabique eram construídas através da pregagem de um fasquiado sobre tábuas colocadas ao alto (ou em diagonal), sendo todo o conjunto preenchido e revestido em ambas as faces, por um reboco de argamassa terrosa (as mais antigas) ou de cal.

Nas construções onde eram utilizadas as paredes de tabique, as ligações metálicas podiam ser realizadas através de pregos / cavilhas ou de chapas metálicas. Eram aplicados na ligação entre os vários elementos de madeira, entre estes e os outros elementos estruturais (paredes de alvenaria, estrutura dos pavimentos e de cobertura), na fixação dos revestimentos exteriores, bem como para melhorar a aderência entre a argamassa e a estrutura de madeira. Os ligadores metálicos desempenhavam assim um importante papel na interligação entre os elementos que constituem estas paredes. Os pregos e/ou cavilhas (assim designados consoante a sua dimensão) eram sobretudo utilizados na ligação entre

os elementos constituintes das paredes de tabique e as chapas metálicas entre as paredes de alvenaria e as estruturas de pavimentos e/ou de coberturas.

Na investigação realizada observou-se que os ligadores metálicos podiam ser forjados ou fabricados. O termo fabricado aplica-se quando os ligadores resultam de um processo de produção normalizado, isto é, possuem todos a mesma forma, dimensão e propriedades. Os ligadores metálicos forjados eram moldados a quente ou a frio com a finalidade de lhes dar forma. Eram produzidos à mão, de forma artesanal. Já os ligadores metálicos fabricados surgem após um processo de fabrico bastante mais simples, que consistia em cortar em vários pedaços peças metálicas para posteriormente serem unidas através da solda. Era um processo uniforme e realizado com o auxílio de máquinas.

1.2 Objetivos

A realização desta dissertação tem como principal objetivo o estudo e a caracterização dos ligadores metálicos utilizados em paredes de tabique. Ao longo dos últimos anos, vários estudos têm sido realizados ao nível da caracterização construtiva e dos materiais que constituem as paredes de tabique. No entanto, quase nenhum estudo se dedicou em exclusivo à caracterização geométrica e material, bem como à determinação das propriedades físicas dos ligadores metálicos.

As paredes de tabique são uma técnica construtiva bastante antiga, muito comum em Portugal. No entanto, com a utilização do betão armado como principal material estrutural, ela caiu em desuso. Estas paredes apresentam características muito diversas ao nível da sua constituição, dos materiais usados, das suas ligações internas e da sua ligação com outros elementos estruturais, bem como do seu contributo para o comportamento geral das estruturas onde estão inseridas.

Neste contexto identificam-se os objetivos deste trabalho:

- O estudo e caracterização das paredes de tabique existentes no centro histórico de Viseu;
- A realização de uma campanha de inspeção e recolha de ligadores metálicos em edifícios situados no centro histórico de Viseu;
- A elaboração de pormenores construtivos relativos à construção de paredes de tabique, com enfoque na localização e aplicação de ligadores metálicos;
- A caracterização da forma e dimensões das diversas ligações metálicas (pregos e chapas metálicas) e a realização de ensaios em laboratório para a determinação de algumas propriedades físicas e químicas deste tipo de ligadores;
- A elaboração de recomendações sobre a reabilitação e aplicação de ligadores metálicos para futuras obras de reabilitação onde existam paredes de tabique.

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho foi dividido em seis capítulos.

No capítulo 1 apresenta-se uma breve introdução do tema e estabelecem-se os objetivos pretendidos.

No capítulo 2 é apresentado o estado da arte, em que é referida a investigação já realizada sobre este tema.

A metodologia seguida para a concretização dos objetivos propostos é apresentada no capítulo 3, onde também são identificados e caracterizados os edifícios em estudo e os procedimentos que serão efetuados para a caracterização dos ligadores metálicos.

O capítulo 4 resume a caracterização dos ligadores metálicos, forma e dimensões, e se descreve a campanha de ensaios laboratoriais realizada para a determinação de algumas propriedades físicas e químicas (ensaio de microdureza de Vickers, ataque químico e análise microestrutural). No final, discutem-se os resultados obtidos nos ensaios realizados.

No capítulo 5 caracterizam-se as paredes de tabique, mais concretamente o seu processo construtivo, a caracterização geométrica dos ligadores metálicos aí utilizados e apresentam-se recomendações para futuras obras de reabilitação realizadas neste tipo de edifícios, mais concretamente, sobre as ligações e os elementos de ligação.

Para finalizar, no capítulo 6, apresentam-se as conclusões obtidas e alguns trabalhos que futuramente seria interessante serem desenvolvidos.

2. Estado da arte

“Desde o aparecimento do Homem, a técnica e a arte de trabalhar a madeira tem evoluído, começando por um processo manual e primitivo, até à vasta e engenhosa indústria moderna. A madeira esteve sempre ao alcance do Homem desde os tempos remotos. A imaginação e a criatividade deste permitiram-lhe tirar proveito para a execução de variados objetos, produtos e abrigos, através da mescla de troncos e ramos com as peles dos animais caçados. O elemento vegetal foi um dos primeiros materiais a ser utilizado pela Humanidade, para sua defesa, aquecimento, preparação de alimentos, iluminação, primeiras formas de habitação e primeiras embarcações.” (P. Lourenço e J. Branco, 2012)

A construção em Portugal tem evoluído muito. Como noutros locais, as primeiras construções foram realizadas com recursos provenientes da natureza, tais como a pedra, o saibro e a argila (material terroso), a madeira e os metais, entre outros.

A madeira foi um dos primeiros materiais utilizados pelo Homem. Não só para se aquecer, na preparação de alimentos e na iluminação, mas também para a construção de armas de caça, das primeiras embarcações e da sua própria habitação, ver Figura 1. Neste último caso, ela era utilizada em diversas situações, conforme a necessidade e de acordo com a espécie de madeira e recursos existentes no local. A madeira era utilizada em bruto ou combinada com outros elementos construtivos como a palha, o barro, o ferro e a pedra, entre outros.



Figura 1: Abrigo pré-histórico em madeira de elementos vegetais, (Fonte: Lunatykas interiors, lunatykasinteriores.blogspot.com)

2.1 Construções de tabique em Portugal

Em Portugal a madeira sempre foi um elemento bastante abundante. Por isso, ela surge associada a diversos processos construtivos relativos à construção de edificações. Pode-se observar a sua utilização ao nível da estrutura dos pavimentos, sob a forma de vigas e de soalho (aqui como revestimento), da estrutura de cobertura e em paredes, quer exteriores quer interiores. Em ambos os casos, constata-se a sua utilização como um simples tabuado pregado na face visível (Figura 2a) ou como esqueleto ou tabuado vertical, onde é pregado um ripado, sendo o conjunto revestido com argamassa escondendo a madeira (sobretudo para proteção contra a humidade) - as paredes de tabique (Figura 2b).



a)



b)

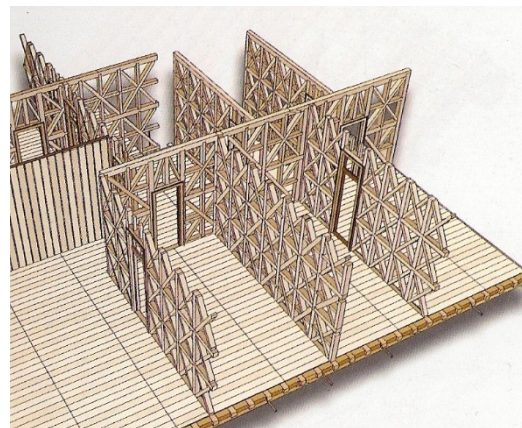
Figura 2: Edificações com utilização de paredes de madeira: a) em Vieira de Leiria (Oliveira E. Veiga, Galhano F., 1992) e b) no Pinhão

As paredes de tabique surgiram em Portugal no século XVII tendo atingido o seu apogeu no século XIX (Cardoso, 2013). A partir de meados do século XX, esta técnica construtiva caiu em desuso, em Portugal, com a crescente utilização de estruturas em betão armado e a falta de mão-de-obra especializada. No entanto, acompanhando o crescente interesse do setor imobiliário para com o mercado da reabilitação do património edificado existente, sobretudo nos centros históricos das cidades e vilas de Portugal, torna-se essencial conhecer melhor a técnica de construção de paredes de tabique, uma vez que ela faz parte do sistema de construção tradicional do nosso país, nomeadamente o existente no centro histórico de Viseu.

A técnica de construção de paredes de tabique encontra-se disseminada por todo o país. No entanto, possui maior incidência na região Norte e na região Centro, onde há maiores florestas. As paredes de tabique, na maior parte das situações, estão associadas à compartimentação de espaços (Figura 3a) e, por isso, sem capacidade resistente, ao contrário de outras técnicas construtivas em que os elementos de madeira tinham funções assumidamente resistentes, como por exemplo as paredes de frontal (Figura 3b) e também associadas à construção Pombalina.



a)



b)

Figura 3: Paredes em madeira em edifícios pombalinos, Lisboa: a) paredes de tabique (Fonte: Pena A., 2008) e b) paredes de frontal (Fonte: Appleton J., 2003)

Na região de Viseu, bem como noutras regiões, as paredes de tabique tinham uma função resistente. Diversas campanhas de inspeção, como por exemplo a de Fernandes C. (2016), permitiram verificar que as vigas de pavimento se apoiavam em paredes de tabique (interiores e exteriores). Este facto pode ter explicação na maior dimensão em planta das edificações da região, o que condicionava as secções dos elementos resistentes dos pavimentos devido à necessidade de existirem vãos maiores. Em contraponto, por exemplo, com as edificações da cidade do Porto em que a largura das casas era bem menor, o que permitia que as vigas de pavimento se apoiassem nas paredes meeiras. Já na cidade de Lisboa, o próprio sistema de construção Pombalino hierarquizava as tipologias de paredes. A existência de paredes de frontal (resistentes) fazia com que as paredes de tabique tivessem apenas a função de paredes divisórias.

Na Figura 4 apresenta-se um corte esquemático de uma parede de tabique. A madeira é o seu elemento principal, aqui utilizada na forma de tábuas (verticais e diagonais) e ripas. Nele se pode verificar que o principal elemento das paredes resistentes eram as tábuas verticais. Por vezes existiam tábuas diagonais. As ripas, também designadas por fasquio ou por ripas de fasquio, eram dispostas segundo a direção horizontal e tinham duas funções. Por um lado, uniam (através de uma ligação mecânica realizada por intermédio de pregos) as diversas tábuas verticais, e, por outro, ajudavam a melhorar a aderência da argamassa de enchimento/revestimento à estrutura. A argamassa de enchimento e de revestimento era feita à base de um material terroso de origem local e tinha como principal função a proteção dos elementos de madeira em relação à presença de água (humidade) e à ação do fogo. Finalmente a ligação entre os diversos elementos de madeira era realizada através de ligadores metálicos. As tábuas verticais, que eram o principal elemento resistente deste sistema construtivo, estavam ligadas ao exterior (ao nível dos pavimentos) através de vigas de madeira, designadas de frechal (inferior e superior em função da sua localização). Esses frechais eram de secção retangular e podiam apresentar sulcos para permitir uma melhor ligação com as tábuas verticais / diagonais.

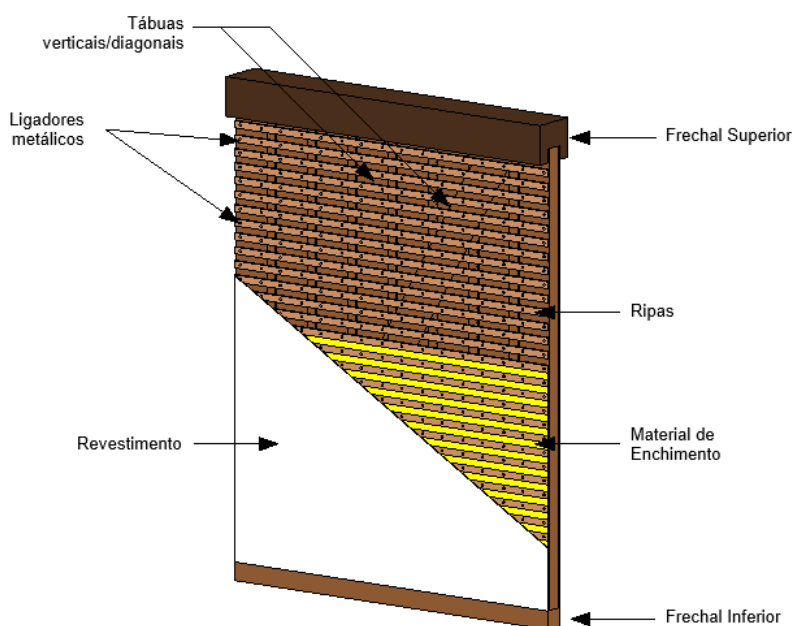


Figura 4: Esquema de uma parede de tabique

Tal como Padrão *et al.* (2020) refere, a técnica construtiva das paredes de tabique sofreu evolução ao longo do tempo. Assim, a secção dos elementos verticais passou de secções quadradas e espaçadas para as tábuas quase justapostas umas às outras, ver Figura 5. As ripas que no início eram retangulares e espaçadas passaram a ter secção trapezoidal e menos espaçadas. Inicialmente, à argamassa de origem terrosa era adicionada palha para melhorar a coesão. Posteriormente, a palha foi substituída por cal, com a mesma função.



Figura 5: Exemplo de uma parede de tabique de um edifício situado em Viseu

A pesquisa bibliográfica inicial permitiu concluir que existe pouca investigação realizada sobre esta técnica construtiva e que grande parte desta investigação foi feita nos últimos dez anos.

2.2 Caracterização das construções de tabique em Viseu

Sobre as paredes de tabique de edifícios existentes na cidade de Viseu destacam-se as seguintes dissertações de mestrado: Pinto R. (2013), Domingues F. (2014), Godinho V. (2014), Cunha J. (2016) e Fernandes C. (2016).

A dissertação de Pinto R. (2013) foi a primeira a ter como principal objetivo a caracterização das paredes de tabique do centro histórico de Viseu. Em diversos edifícios da cidade, observou e selecionou amostras representativas de paredes de tabique e estudou os seus elementos constituintes, nomeadamente a madeira, as argamassas e os elementos de ligação. Procedeu a uma análise experimental das mesmas, de modo a conhecer e caracterizar as suas principais propriedades mecânicas. Posteriormente foram realizados ensaios de flexão em paredes de tabique à escala real. Tendo por base os resultados obtidos, propôs o desenvolvimento de um modelo numérico das paredes de tabique com o objetivo de simular o seu comportamento estrutural.

Domingues F. (2014), tirando partido de um protocolo existente entre o Departamento de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia de Viseu (ESTGV) e a Viseu Novo SRU – Sociedade de Reabilitação Urbana, estudou dois edifícios do centro histórico de Viseu dos quais se recolheu o máximo de informação possível, especialmente a nível do levantamento geométrico, do seu estado de conservação e das ligações existentes entre os diversos panos de parede. Realizou um conjunto de ensaios não destrutivos *in situ*, nomeadamente o ensaio dinâmico que permitiu avaliar a resposta estrutural das paredes

de tabique e o georadar que permitiu definir a estrutura da parede existente sem retirar o seu revestimento, para posteriormente determinar a sua resposta estrutural. No final também realizou a modelação numérica de paredes de tabique. Nessa modelação numérica utilizou os resultados obtidos no ensaio dinâmico e também a caracterização dos materiais constituintes das paredes de tabique para melhor calibrar os modelos.

A dissertação desenvolvida por Godinho V. (2014) caracterizou as argamassas utilizadas no enchimento e revestimento das paredes de tabique existentes no centro histórico de Viseu. Através do seu estudo *in situ* e da recolha de amostras em diversos edifícios aí situados, procedeu à realização de ensaios laboratoriais, designadamente a análise granulométrica, limites de consistência, equivalente de areia, azul metileno e o ensaio de compressão.

Cunha J. (2016) efetuou a “Caracterização do património edificado do centro histórico de Viseu”. Através da realização de diversas fichas de caracterização do edificado, e do seu posterior preenchimento aquando das visitas de inspeção, procedeu a uma caracterização exaustiva dos edifícios existentes, em particular dos seus materiais constituintes, bem como das técnicas de construção utilizadas à época. Avaliou ainda os principais problemas do edificado local, identificou a sua origem e propôs ações para os resolver.

Por fim, Fernandes C. (2016) realizou uma dissertação cujo principal objetivo foi dar a conhecer alguns edifícios localizados no Centro Histórico de Viseu, incidindo sobretudo nas paredes de tabique e na sua interação com a restante estrutura. O conhecimento adquirido baseou-se numa inspeção exaustiva a quatro edifícios, todos eles em contexto de obra. De modo a adquirir informação revelante, realizou medições exaustivas, reportagens fotográficas, fez a pormenorização a duas e três dimensões de aspetos construtivos considerados importantes, recolheu materiais e ensaiou-os, *in situ* e em laboratório.

Também na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) foram desenvolvidos estudos sobre as paredes de tabique (nomeadamente as situadas nessa zona geográfica do Norte de Portugal), dos quais resultou a publicação de diversos artigos científicos como por exemplo os apresentados por Pinto, J. *et al.* (2010), Cardoso, R. *et al.* (2011), Gonçalves, C. *et al.* (2017) e Pinto J. *et al.* (2014). Todos se centram na descrição da técnica de construção, na caracterização dos seus materiais constituintes e com algum detalhe e pormenorização construtiva.

A tese de doutoramento desenvolvida por Cardoso, R. (2013), após uma inspeção a edifícios com paredes de tabique situados na região, faz uma exaustiva descrição da técnica construtiva com alguma pormenorização, depois caracteriza os materiais aplicados (madeira, material de enchimento e revestimento e ligadores metálicos) e no

final desenvolve modelos numéricos capazes de simular o comportamento estrutural das paredes de tabique.

Ainda entre os estudos elaborados nesta área, destacam-se os trabalhos desenvolvidos na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto na caracterização das paredes de tabique desta cidade e sobretudo da caracterização do seu comportamento estrutural sob a ação de forças de compressão e de corte. Os trabalhos desenvolvidos por Pires, A. (2013) e por Amorim M. *et al.* (2018) são exemplo disso mesmo.

2.3 Ligadores de paredes de tabique

Por definição, um ligador metálico é uma haste de metal, com uma das pontas afiada e a outra achatada, designada por cabeça. É utilizado para unir objetos, sendo preferencialmente aplicado na ligação de elementos em madeira.

Os primeiros ligadores eram feitos de madeira e surgiram há aproximadamente 5000 anos na Mesopotâmia, CECI (2007). Com a descoberta do ferro, elemento de grande importância para a construção, estes ligadores passaram a ser executados neste material. Um ligador metálico forjado é um ligador realizado em oficina particular e é moldado a quente ou a frio com a finalidade de lhe dar uma forma, surgindo assim a expressão ferro forjado ou batido, como se ilustra na Figura 6.



Figura 6: Forjamento de ligadores metálicos (Fonte: CECI-2007)

Antigamente, os ligadores metálicos eram todos forjados. No entanto, com a evolução da tecnologia, surgiram os ligadores metálicos fabricados, que são mais vantajosos: não necessitam de mão de obra especializada, apresentam maior rendimento de produção e maior controlo de qualidade. Face a estas vantagens, os ligadores metálicos forjados foram caindo em desuso, em detrimento dos ligadores metálicos fabricados. A arte de forjar está quase restrita aos técnicos de conservação e restauro do património cultural (Fernandes C., 2016).

Atualmente utilizam-se os ligadores metálicos fabricados, como se observa na Figura 7. Não só devido às vantagens anteriormente apresentadas, mas também porque o processo de fabrico é bastante mais simples, isto é, estes ligadores são feitos através de cortes em vários pedaços que posteriormente são unidos através da solda, ao contrário dos ligadores metálicos forjados que eram cortados e posteriormente unidos através de samblagens, tarugos ou cravos. Devido a este processo, era quase impossível garantir que os ligadores possuíssem dimensões idênticas. Por outro lado, este processo artesanal não permitia o controlo do processo de fabrico. Por outras palavras, era muito difícil que as peças possuíssem as mesmas propriedades mecânicas (Fernandes C., 2016).

Uma das mais-valias dos ligadores metálicos fabricados é a sua dimensão. O controlo de qualidade permite que todos os ligadores possuam dimensão e propriedades mecânicas uniformes, enquanto nos ligadores metálicos forjados era difícil conseguir obter dois ligadores com as mesmas propriedades.



Figura 7: Ligadores metálicos fabricados

A recolha bibliográfica permitiu evidenciar a lacuna existente sobre a caracterização destes ligadores metálicos, principal objetivo desta dissertação e uma das motivações principais. Estes ligadores foram estudados por Pinto R. (2013), por Fernandes C. (2016), e por Padrão J. *et al.* (2020), todos ligados à caracterização do edificado antigo de Viseu. Com efeito, através de ações de inspeção aí realizadas, estudaram o modo como eles eram aplicados, as suas dimensões e formas geométricas. Recolheram amostras dos ligadores metálicos e realizaram testes laboratoriais (ensaio de tração, dureza de Vickers e análise micro estrutural). Isto permitiu caracterizar algumas das principais propriedades dos ligadores, como por exemplo, a sua tensão de rotura.

Saliente-se também o trabalho desenvolvido na Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), com especial destaque para os artigos científicos publicados por Pinto J. *et al.* (2010), Gonçalves C. *et al.* (2017), e Pinto J. *et al.* (2014) e para a citada tese de doutoramento de Cardoso, R. (2013). Os artigos focam-se sobretudo na descrição dos ligadores metálicos quando utilizados na união de elementos de madeira em paredes de tabique, com a recolha e posterior levantamento dimensional. Na tese de doutoramento,

Cardoso R. (2013) procede a um levantamento mais exaustivo dos ligadores metálicos e agrupa-os por função (onde são utilizados). Posteriormente, realiza alguns ensaios laboratoriais para caracterizar as suas propriedades mecânicas.

3. Metodologia

3.1 Considerações iniciais

Apesar da investigação desenvolvida sobre este tipo de estruturas, observa-se, na atualidade, que a reabilitação de paredes de tabique não é muito frequente, tendo sido em alguns casos feita a preservação de alguns panos de paredes de tabique, como forma de evidenciar esta técnica de construção ao invés de manter a sua função estrutural.

Assim, nessas situações é recorrente a substituição, nas paredes de tabique, de alguns elementos de madeira degradados, por novos elementos e a substituição / reforço das ligações destas paredes aos pavimentos e às paredes de alvenaria de pedra.

Para que se possam elaborar algumas recomendações para a intervenção de conservação ou reforço destas paredes, será necessário conhecer o melhor possível os diversos componentes que as compõem, em particular, os ligadores que frequentemente eram utilizados. As questões que se colocam são: como se caracterizam estes elementos? Quais as dimensões que habitualmente possuem e que são necessárias? Quais as propriedades físicas e químicas que é necessário conhecer? Quais os tipos de ligações que se devem executar?

Os ligadores metálicos desempenham um importante papel nas paredes de tabique. Eles são os conectores entre a maior parte dos elementos.

Este capítulo pretende esclarecer a metodologia adotada para se dar resposta a estas questões.

Inicialmente identificam-se os edifícios considerados neste estudo, onde se recolheram os ligadores metálicos, e faz-se a sua descrição e caracterização das paredes de tabique existentes. Depois, descrevem-se os procedimentos realizados para a caracterização das propriedades desses ligadores e os procedimentos a executar para que possa propor algumas recomendações para a reabilitação destas paredes.

3.2 Descrição dos casos de estudo

Para a realização deste trabalho foram seleccionados três edifícios. Esses edifícios localizam-se no Centro Histórico de Viseu e todos possuíam paredes de tabique. Na Figura 8, apresenta-se uma perspectiva aérea do Centro Histórico de Viseu, com a localização e identificação dos edifícios.

De seguida é feita uma breve descrição de cada um, suportada com imagens que pretendem ilustrar o seu sistema construtivo.



Figura 8: Localização dos edifícios estudados (imagem retirada de <https://maps.google.pt>)

3.2.1 Edifício 1 – Ed.1

O edifício 1 (Ed.1), localizado no Largo S. Teotónio / Travessa das Escadinhas n.ºs 24 e 25 foi construído no século XIX, sendo constituído por um sistema misto de alvenaria de pedra de granito e madeira, Fernandes, C. (2016). Na Figura 9 mostra-se a sua fachada principal e parte da sua envolvente.



Figura 9: Fachada principal do Ed.1, setembro de 2009 (Fernandes C., 2016)

Este edifício era constituído por cinco pisos, sendo um deles situado abaixo da cota de soleira e os restantes acima, que se destinavam a habitação. Este edifício sofreu obras de reabilitação onde parte significativa do seu sistema construtivo foi demolido, apenas permanecendo as paredes de alvenaria de pedra exterior. As paredes exteriores dos pisos -1, 0 e 1 são constituídas por alvenaria de pedra de granito e as restantes (pisos 2 e 3) eram de tabique, mas foram demolidas. Nas paredes exteriores de tabique, a madeira utilizada nos frechais era de qualidade superior (castanho) à utilizada quer nas tábuas e ripas, quer nos frechais das paredes interiores (pinho). Nas Figuras 10 e 11 podemos observar um exemplo de frechal e uma parede exterior com frechal (castanho), respetivamente.



Figura 10: Frechal retirado do Ed.1, em castanho (Fernandes C., 2016)

As paredes interiores de tabique do Ed.1, Figura 12, para além de serem de compartimentação, desempenhavam um papel de grande importância na estabilidade estrutural do edifício, uma vez que grande parte delas serviam de suporte à estrutura dos pavimentos (constituídos por vigamentos de madeira maciça como se ilustra na Figura 13). De um modo geral, as paredes de tabique deste edifício apresentavam um processo construtivo (tipo e dimensões dos elementos) bastante similar.



Figura 11: Parede de tabique exterior com frechal em castanho do Ed.1 (Fernandes C., 2016)



Figura 12: Parede interior de tabique do Ed.1 (Fernandes C., 2016)



Figura 13: Pavimento em madeira maciça do Ed.1 (Fernandes C., 2016)

O revestimento exterior deste edifício era constituído por diversos materiais, podendo encontrar-se telhas fixas às tabuas costaneiras por pregagem (Figura 14) ou uma argamassa terrosa. Existia uma zona com argamassa cimentícia (Figura 15), aplicada diretamente sobre o tabique.



Figura 14: Utilização de telha cerâmica como revestimento exterior de uma parede de tabique do Ed.1 (Fernandes C., 2016)



Figura 15: Revestimento de argamassa de cimento do Ed.1 (Fernandes C., 2016)

Nas paredes interiores o revestimento era realizado com recurso a argamassa terrosa (com a aplicação de argamassa cimentícia em alguns locais que terão sido alvo de obras de reabilitação). O acabamento final consistia numa aplicação de pintura, na aplicação de papel de parede ou na aplicação de material cerâmico (zonas húmidas), consoante os locais e épocas de construção.

3.2.2 Edifício 2 – Ed.2

Na construção do edifício 2 (Ed.2), localizado no gaveto da Rua Formosa com a Rua Direita e a Rua Dr. Luís Ferreira (Figuras 16 e 17), foi utilizado um processo construtivo semelhante ao do Ed.1, isto é, uma construção mista de alvenaria de pedra de granito e madeira. Este edifício é constituído por 4 pisos (r/chão e 3 pisos elevados, sendo o último um sótão). Era destinado a comércio, no r/chão, e a habitação/serviços nos pisos superiores.



Figura 16: Gaveto da Rua Dr. Luís Ferreira com a Rua Formosa



Figura 17: Gaveto da Rua Dr. Luís Ferreira com a Rua Direita

As paredes exteriores são constituídas por alvenaria de pedra de granito e, no sótão, por paredes tabique. As paredes interiores são paredes de tabique, com exceção da zona da caixa de escadas que é em alvenaria de pedra de granito.

O revestimento deste edifício era realizado com argamassas tradicionais, terrosas com adição de cal e com adição de palha (Figura 18), e pintadas ou revestidas a papel.



Figura 18: Parede de tabique preenchida e revestida integralmente com argamassa de terra e palha do Ed.2

3.2.3 Edifício 3 – Ed.3

Por fim, o edifício 3 (Ed.3), localizado na Praça D. Duarte n.^{os} 11 a 13 (Figura 19) é constituído por cinco pisos, quatro acima do solo. O r/chão destinava-se a comércio e os pisos superiores a habitação.

As paredes exteriores deste edifício, visíveis nas Figuras 20 e 21, eram constituídas predominantemente por alvenaria de pedra de granito, observando-se algumas zonas com alvenaria de tijolo cerâmico maciço e com paredes de tabique.

As paredes de tabique eram revestidas interiormente com uma argamassa tradicional que apresentava uma cor clara e palha. Na face exterior, em alguns locais, era utilizada a telha cerâmica (Figura 22), que servia de revestimento às paredes argamassadas.

As paredes interiores de tabique, Figura 23, eram revestidas, na sua maioria, por argamassas terrosas pintadas. Observaram-se também algumas revestidas com argamassa de tipo argiloso.



Figura 19: Fachada principal do Ed.3 (Fernandes C., 2016)



Figura 20: Parede exterior do Ed.3 em alvenaria de pedra (Fernandes C., 2016)



Figura 21: Parede exterior do Ed.3 em tabique (Fernandes C., 2016)



Figura 22: Telha e argamassa como revestimento exterior do Ed.3 (Fernandes C., 2016)



a)



b)



c)



d)

Figura 23: Diferentes tipos de revestimentos utilizados nas paredes interiores de tabique do Ed.3 (Fernandes C., 2016)

3.3 Procedimentos

Para a realização deste estudo foi necessário analisar algumas amostras de ligadores metálicos recolhidos nos três edifícios (Ed.1, Ed.2 e Ed.3). Em grande parte, esses ligadores metálicos já tinham sido recolhidos pelo colega R. Pinto que anteriormente realizou campanhas de inspeção e diagnóstico *in situ*, encontrando-se guardados no Laboratório de Materiais de Construção da ESTGV.

A primeira etapa consiste na caracterização dos ligadores, organizando-os de acordo com a sua função / tipo de ligação, localização e dimensão. Em seguida, serão realizados ensaios laboratoriais, nomeadamente, o ensaio de dureza de Vickers e a sua microdureza, o ensaio de ataque químico e a análise microestrutural.

Na segunda etapa, serão caracterizadas as diversas ligações existentes nestes tipos de estruturas, recorrendo à descrição do processo construtivo das paredes de tabique, acompanhada sempre que possível de ilustrações das ligações mais frequentes.

Estas duas etapas do trabalho são essenciais para a compreensão das ligações e dos ligadores existentes, permitindo, no final, a apresentação de algumas recomendações para a sua reabilitação.

4. Ligadores metálicos

Como foi referido, os ligadores metálicos pertencem a três edifícios localizados no centro histórico da cidade de Viseu, nomeadamente ao edifício localizado no Largo S. Teotónio / Travessa das Escadinhas n.ºs 24 e 25 (Ed.1), ao edifício do Gaveto da Rua Formosa com a Rua Direita e a Rua Dr. Luís Ferreira (Ed.2) e ao edifício localizado na Praça D. Duarte n.ºs 11 a 13 (Ed.3).

Da recolha efetuada, observou-se que os ligadores metálicos utilizados possuem características distintas, ao nível da sua forma geométrica e de construção. Por exemplo, uns possuem uma secção constante e outros uma secção variável. No entanto, a maioria apresenta uma secção variável, atribuída ao facto de serem forjados e, por consequência, mais antigos.

Neste capítulo resumem-se os aspetos mais relevantes da caracterização que foi realizada aos ligadores metálicos que se encontravam armazenados no Laboratório de Materiais de Construção da ESTGV.

4.1 Caracterização das dimensões e suas funções

Ao longo das campanhas de inspeção realizadas aos três edifícios do centro histórico da cidade de Viseu foram recolhidos diversos ligadores metálicos. Estes edifícios eram característicos do património arquitetónico local, pelo que se consideraram como representativos da arquitetura vernácula da região.

Verificou-se que os ligadores metálicos recolhidos através de campanhas de inspeção desempenhavam um papel relevante no comportamento global das paredes de tabique e do próprio edifício.

Salienta-se a sua diversidade de tamanhos e formatos. As inspeções efetuadas revelaram ainda a variedade da sua aplicação na ligação entre os diversos elementos estruturais. Estes ligadores metálicos desempenhavam diversas funções, tais como, ligação entre ripas e tábuas, fixação do fasquiado, ligação entre tábuas e ombreiras ou rodapés, ligação entre tábuas de madeiras e vigas ou frechais, ligação entre tábuas em paredes de tabique perpendiculares interiores, contribuição para o aumento da aderência entre a estrutura de madeira e o revestimento, fixação da telha cerâmica à estrutura de madeira, entre outras. Nas Figuras 24 a 38, apresentam-se os ligadores organizados de acordo com a sua função / tipo de ligação, localização (sempre que foi possível inclui-se o piso onde foram recolhidos) e dimensão, acompanhados com imagens para melhor esclarecimento.

i) Ligadores utilizados para melhorar a aderência entre os elementos – L1

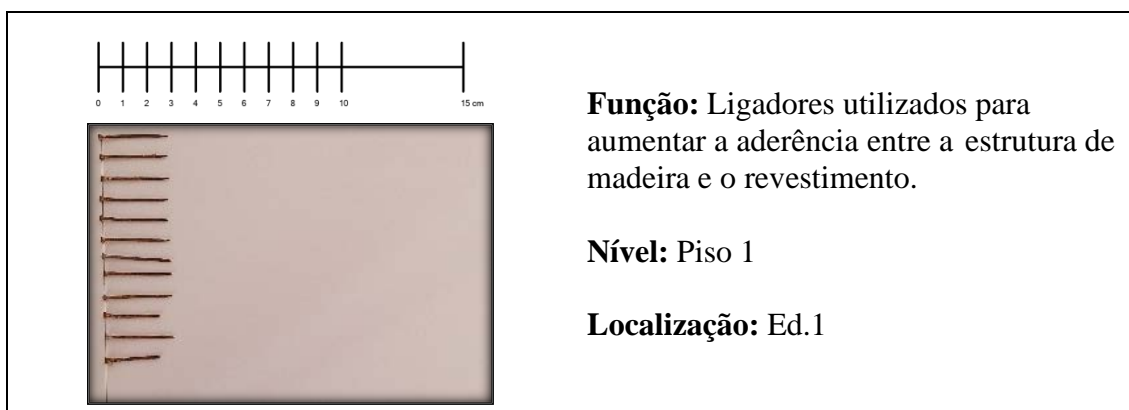


Figura 24: Ligadores metálicos de aderência do Ed.1, piso 1

ii) Ligadores utilizados para a fixação de revestimento (telha) – L2

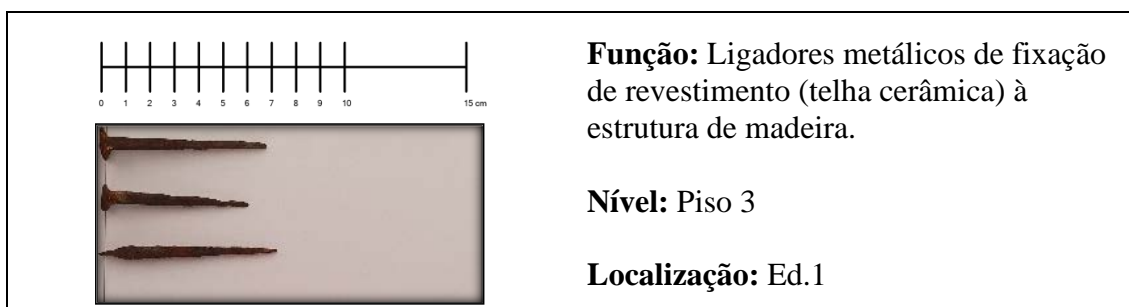


Figura 25: Ligadores metálicos de fixação de revestimento (telha) do Ed.1, piso 3

iii) **Ligadores utilizados na ligação entre tábuas de madeira e ombreiras – L3**



Figura 26: Ligadores metálicos de ligação entre tábuas de madeira e ombreiras de portas do Ed.2

iv) **Ligadores utilizados para ligações secundárias – L4**

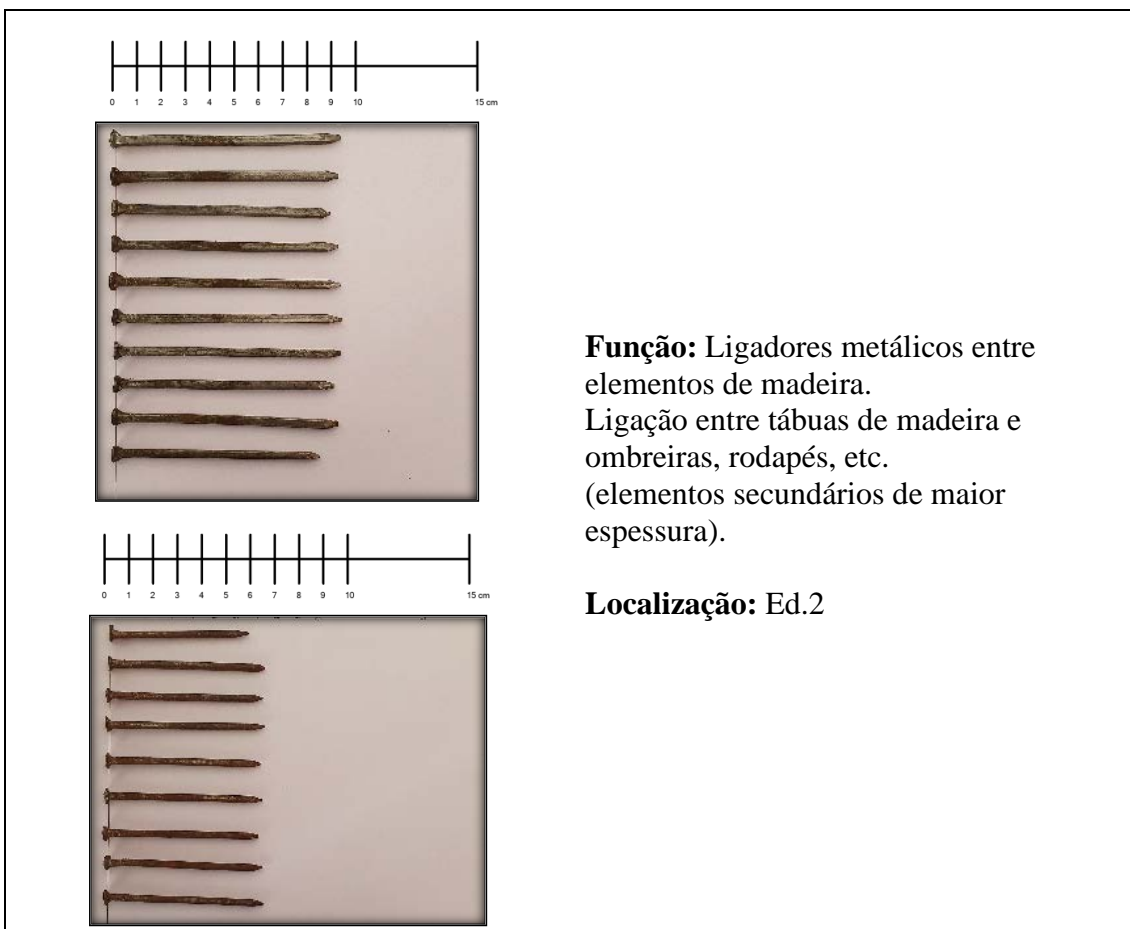


Figura 27: Ligadores metálicos de ligação entre tábuas de madeira e ombreiras, rodapés, etc. do Ed.2

v) **Ligadores utilizados para ligações entre ripas e tábuas de madeira – L5**

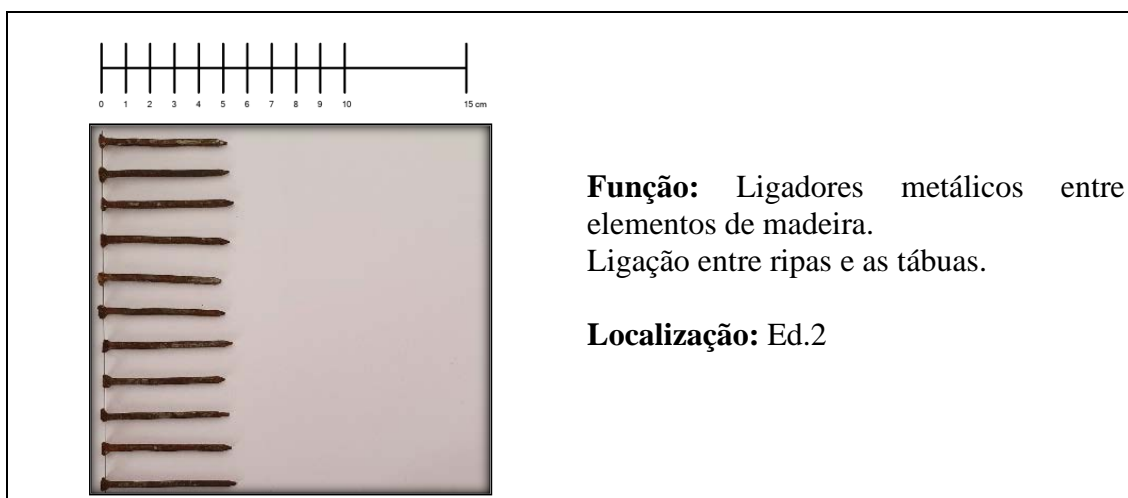


Figura 28: Ligadores metálicos de ligação entre ripas e tábuas do Ed.2

vi) **Ligadores utilizados para fixação de fasquiado – L6**

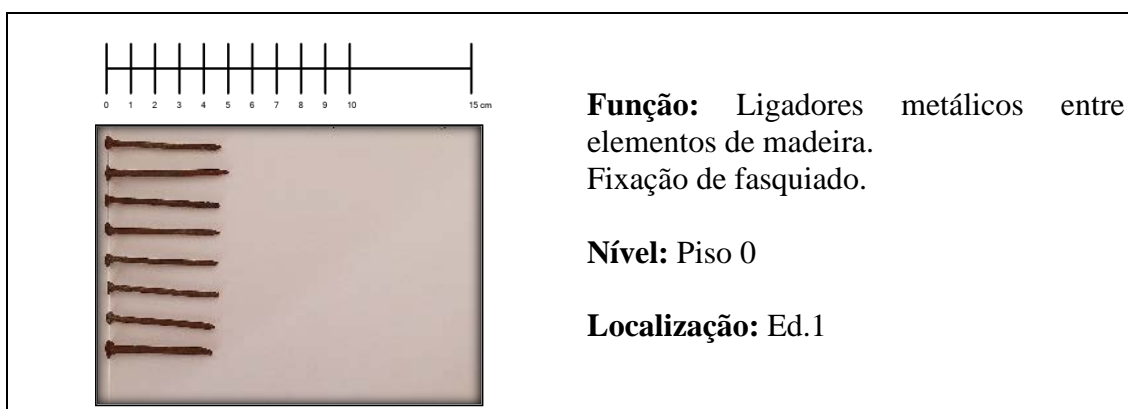


Figura 29: Ligadores metálicos de fixação de fasquiado do Ed.1, piso 0



Figura 30: Ligadores metálicos de fixação de fasquiado do Ed.1, piso 1



Figura 31: Ligadores metálicos de fixação de fasquiado do Ed.1, piso 2

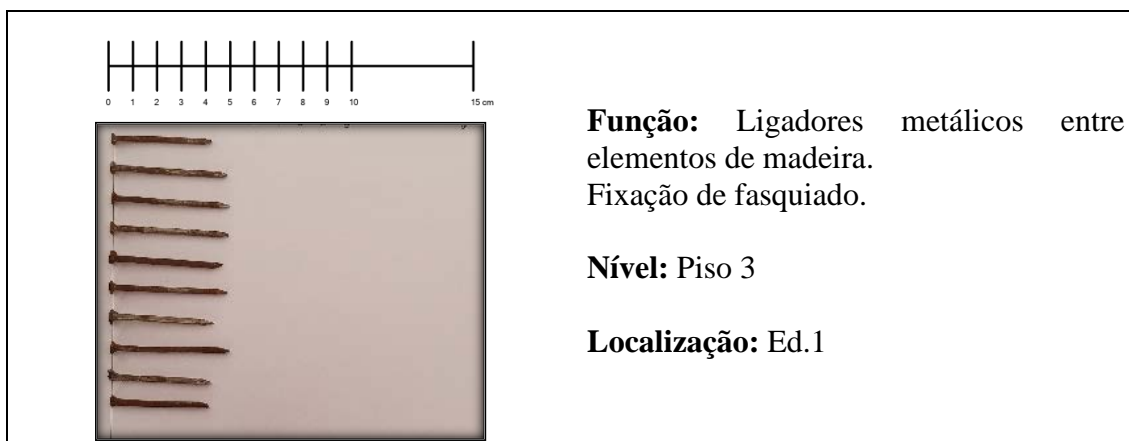


Figura 32: Ligadores metálicos de fixação de fasquiado do Ed.1, piso 3

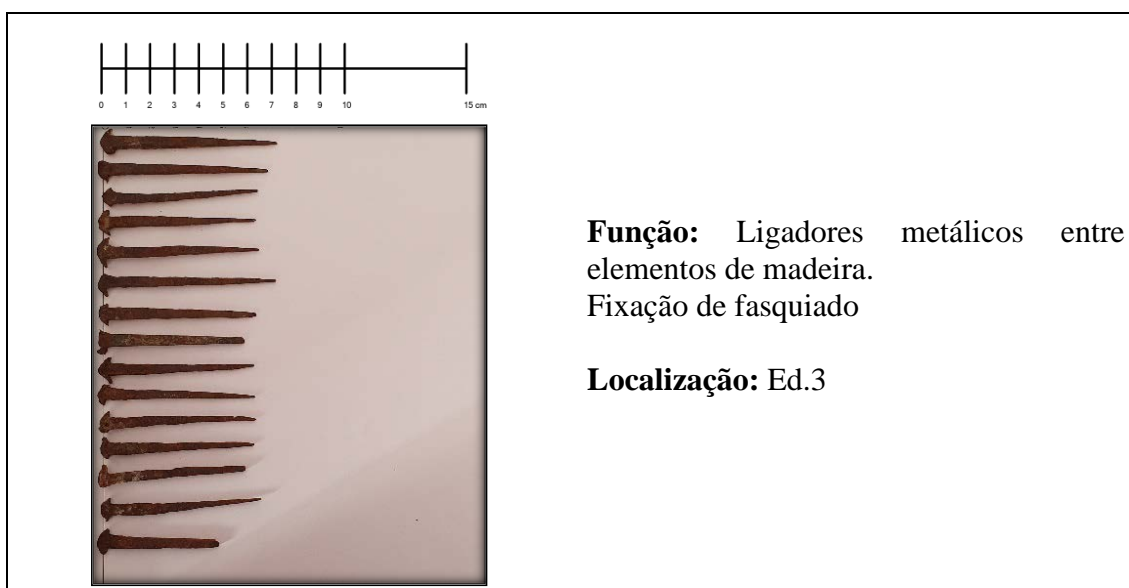


Figura 33: Ligadores metálicos de fixação de fasquiado do Ed.3

vii) Ligadores utilizados para ligações entre tábuas e vigas / frechais – L7

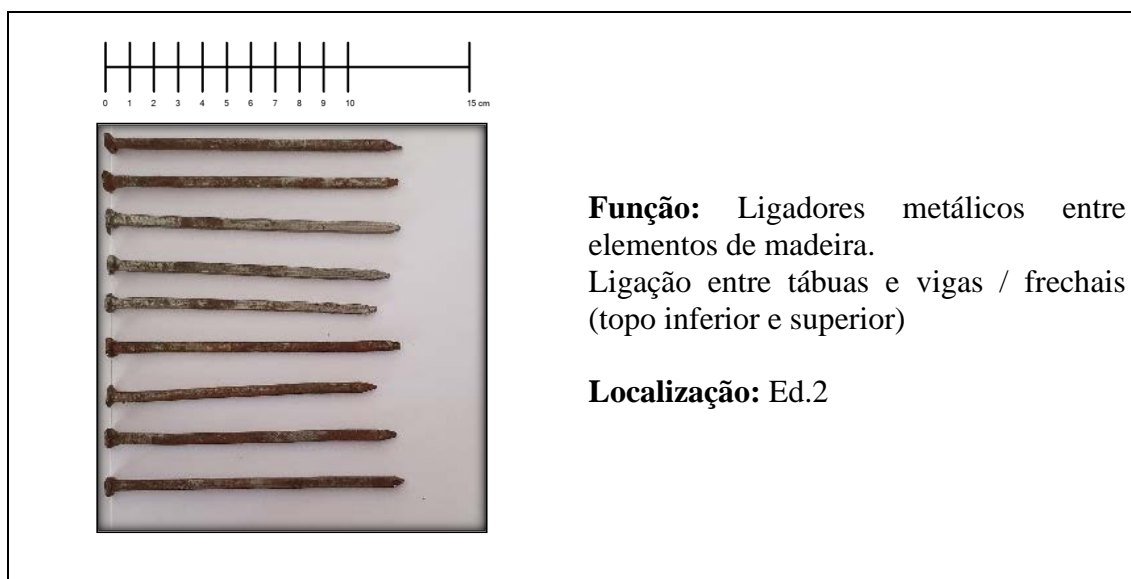


Figura 34: Ligadores metálicos de ligação entre tábuas e vigas / frechais do Ed.2



Figura 35: Ligadores metálicos de ligação entre tábuas e frechais inferiores do Ed.2, piso 2



Figura 36: Ligadores metálicos de ligação entre tábuas e vigas / frechais do Ed.3

viii) **Ligadores utilizados para ligações entre tábuas em paredes de tabique perpendiculares – L8**



Figura 37: Ligadores metálicos de ligação de tábuas em paredes de tabique perpendiculares interiores e exteriores do Ed.2, piso 2



Figura 38: Ligadores metálicos de ligação de tábuas em paredes de tabique perpendiculares interiores do Ed.2

As dimensões dos ligadores metálicos apresentados nas figuras anteriores (Figura 24 a 38) podem ser consultadas no Apêndice A, nos Quadros 7 a 22. Estes quadros apresentam as dimensões de todos os ligadores metálicos.

No Quadro 1 apresentam-se os diversos ligadores organizados de acordo com a sua função, local onde foram encontrados, n.º de amostras recolhidas, origem de fabrico e a sua geometria. Neste caso apresentam-se as suas dimensões médias e analisa-se a sua homogeneidade. Este quadro complementa as informações fornecidas nas Figuras 28 a 38. Na Figura 39 ilustram-se os parâmetros (dimensões dos ligadores metálicos) analisados: o seu comprimento (L), a dimensão da cabeça (C) (quadrada ou circular) e a secção transversal (D) numa direção, tendo-se efetuado a medição da dimensão D em três pontos (logo após a cabeça, a meio e na extremidade).

Para a medição dos ligadores metálicos foi utilizado um paquímetro. Para cada parâmetro foram efetuadas 3 medições e em seguida efetuada uma média.

Existem alguns casos em que a amostragem é pequena (inferior a 5), no entanto optou-se pela sua realização por uma questão de coerência.

4 – LIGADORES METÁLICOS

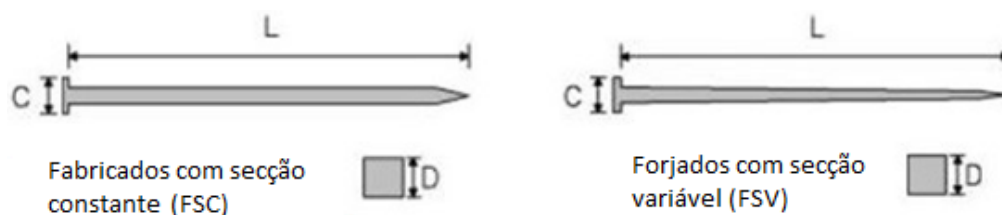


Figura 39: Esquemática dos parâmetros dimensionais dos ligadores (Pinto R. 2013)

Quadro 1: Resumo das dimensões dos ligadores metálicos

Tipo de Ligação	Edifício	Nível	Nº de Amostras	Tipo Fabrico	Dimensões Gerais								
					Comprimento L (cm)			Dimensão da Cabeça C (cm)			Secção Transversal D (cm)		
					Média	D.P. ¹	C.V. ² (%)	Média	D.P. ¹	C.V. ² (%)	Média	D.P. ¹	C.V. ² (%)
L1	Ed.1	Piso 1	13	FSC	2,44	0,18	7,54	0,22	0,01	4,26	0,10	0,01	9,79
L2	Ed.1	Piso 3	3	FSV	6,41	0,68	10,58	1,11	0,11	9,60	0,36	0,06	17,66
L3	Ed.2	-	9	FSC	8,11	0,14	1,68	0,66	0,06	8,99	0,33	0,02	5,94
L4	Ed.2	-	10	FSC	8,98	0,29	3,22	0,70	0,04	5,89	0,36	0,02	5,16
	Ed.2	-	9	FSC	6,67	0,25	3,70	0,68	0,05	7,55	0,31	0,01	3,43
L5	Ed.2	-	11	FSC	4,62	0,14	3,04	0,49	0,03	7,11	0,22	0,01	5,79
L6	Ed.1	Piso 0	15	FSC	4,61	0,38	8,30	0,57	0,07	11,98	0,23	0,01	6,23
	Ed.1	Piso 1	11	FSC	4,19	0,67	15,90	0,50	0,06	12,15	0,21	0,01	5,10
	Ed.1	Piso 2	17	FSC	4,11	0,32	7,73	0,57	0,08	13,69	0,23	0,00	5,83
	Ed.1	Piso 3	8	FSC	4,56	0,24	5,17	0,54	0,04	7,01	0,22	0,02	8,88
	Ed.3	-	15	FSV	6,02	0,39	6,53	0,42	0,10	23,96	0,42	0,04	8,66
L7	Ed.3	-	15	FSV	9,47	0,67	9,97	0,60	0,09	15,56	0,54	0,05	9,34
								0,13	11,04	0,41	0,05	11,91	
	Ed.2	Piso 2	3	FSV	6,32	0,60	9,50	0,69	-	-	0,35	0,10	27,00
	Ed.2	-	9	FSC	10,93	0,42	3,88	0,76	0,05	6,62	0,41	0,02	4,72
L8	Ed.1	Piso 2	1	FSV	17,75	-	-	1,76	-	-	0,73	-	-
	Ed.2	-	3	FSC	15,24	0,45	2,98	1,06	0,08	7,60	0,54	0,01	2,15

¹ D.P. -Desvio Padrão; ² C.V. - Coeficiente de variação;

Analisando os valores apresentados no Quadro 1, pode verificar-se que nos ligadores metálicos forjados de secção variável (FSV) optou-se, em alguns casos, por incluir duas dimensões, tanto para a secção transversal (D) como para a dimensão da cabeça (C). Isto deve-se ao facto de os ligadores metálicos forjados apresentarem uma secção variável.

Neste caso apresentam-se os valores médios da secção maior e da secção menor. No parâmetro C (dimensão da cabeça do ligador), e como a mesma não é redonda, mas sim retangular, apresentam-se as suas dimensões.

Como seria de esperar, os ligadores metálicos forjados apresentam uma maior variabilidade das dimensões do que os ligadores metálicos fabricados, pois resultam de um processo de fabrico manual.

Nos ligadores metálicos forjados foi efetuada a medição do ponto com maior secção e do ponto com menor secção, tanto para a dimensão da cabeça (C) como para a dimensão transversal (D). Já nos ligadores metálicos fabricados que têm secção constante apenas foi medido a dimensão da cabeça (C) e a dimensão transversal (D) numa direção.

4.2 Caracterização experimental física e química

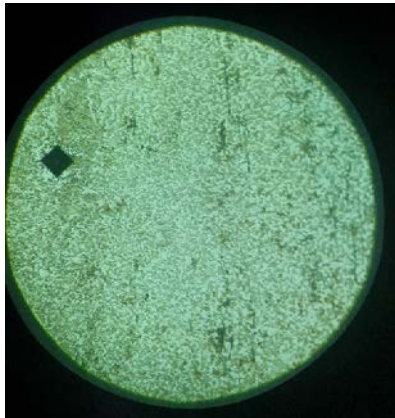
Os ensaios experimentais realizados nos ligadores metálicos são importantes, pois através destes é possível quantificar grandezas relativas às suas propriedades físicas e químicas e assim ficar a conhecer melhor a forma como os elementos constituintes das paredes de tabique se interligam entre si.

Os ensaios laboratoriais realizados aos ligadores metálicos foram: o ensaio de dureza de Vickers e a sua microdureza e também os ensaios do ataque químico e da análise microestrutural. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica e Materiais do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viseu.

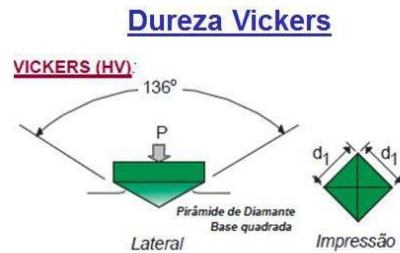
4.2.1 Ensaio de dureza de Vickers

A dureza de um material pode ser definida como a capacidade que um material possui para resistir a uma indentação (deformação permanente), Figura 40-a, quando se encontra em contacto com o indentador sob carga.

O ensaio de microdureza de Vickers envolve o mesmo procedimento prático que o ensaio de dureza de Vickers, só que utiliza cargas menores que 1 kgf. O número de dureza de Vickers (HV) é obtido 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 em pirâmide reta de base quadrangular e com um ângulo de 136°, como se observa na Figura 40-b. Este ensaio está normalizado pela NP 711-1 [1990].



a) Exemplo de uma indentação



$$HV = \frac{F}{\frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}} \Rightarrow HV = \frac{F \times 2 \sin 68^\circ}{d^2} \Rightarrow HV = \frac{1,8544 F}{d^2}$$

b) Cálculo do HV (Imagem retirada de Ensaio de dureza Vickers - LABTESTE)

Figura 40: Ensaio de dureza Vickers

4.2.1.1 Preparação das amostras e realização dos ensaios

Para a realização deste ensaio foram utilizados os moldes que Fernandes C. (2016) preparou. Estes moldes são amostras dos ligadores metálicos (secção transversal e secção longitudinal) imersos em resina epoxídica. Foi usado um dos moldes obtidos através de um corte longitudinal aos ligadores, que contém 7 amostras, molde 1 (Figura 41), correspondentes às extremidades dos provetes ensaiados à tração (secções que não foram sujeitas a esforços de tração) e também o molde correspondente a um corte segundo a secção transversal dos ligadores e que contém duas amostras, molde 2 (Figura 42).

Os ligadores metálicos utilizados são forjados, isto por serem elementos recolhidos dos edifícios em estudos e estes já terem alguma idade.



Figura 41: Molde com as amostras com secção longitudinais – Molde 1

Para a realização deste ensaio foi necessário lixar as amostras com oito lixas de diferentes diâmetros, começando por uma lixa de diâmetro maior (Gift 80/P80) e acabando numa de diâmetro menor (1200/4000). Para o efeito utilizou-se uma lixadeira (Figura 43). Quando se trocava de lixa também se trocava a direção de lixamento das amostras. Em

seguida, utilizou-se um microdurómetro (Figuras 44 e 45) e realizaram-se dez indentações em cada amostra, cinco em zonas sem inclusões e cinco em zonas com inclusões. As indentações efetuadas foram distribuídas uniformemente pela área da respetiva amostra com o objetivo de determinar o número de Vickers. Tendo em consideração a heterogeneidade dos ligadores metálicos ensaiados, optou-se por determinar a dureza na direção longitudinal e na direção transversal com e sem inclusões.



Figura 42: Molde das amostras com secção transversal – Molde 2

O número de Vickers foi obtido através da medição da distância entre as arestas de um polígono em forma de pirâmide provocado pela indentação.

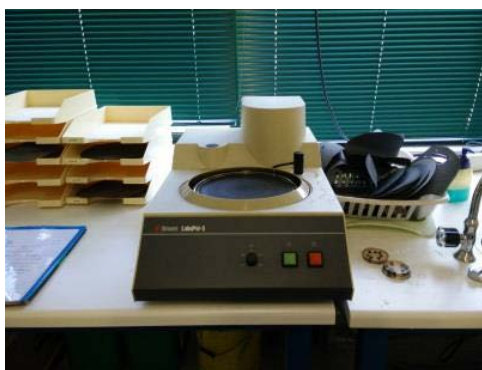


Figura 43: Lixadeira



Figura 44: Aparelho utilizado para o ensaio de microdureza de Vickers

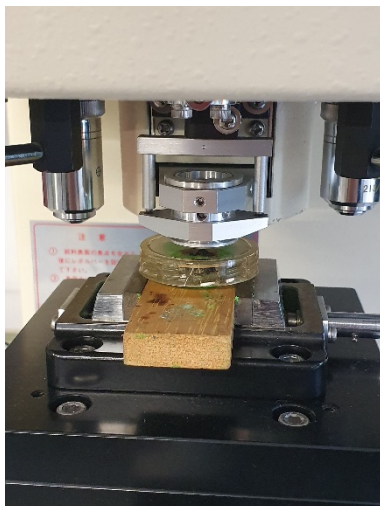


Figura 45: Realização do ensaio de microdureza de Vickers

4.2.1.2 Apresentação e análise dos resultados

Nas Figuras 46 e 47 podemos observar um exemplo de uma indentação com inclusão e uma indentação sem inclusão, respetivamente. As indentações efetuadas foram distribuídas uniformemente pela área da respetiva amostra com o objetivo de determinar o número de Vickers. Tendo em consideração a heterogeneidade dos ligadores metálicos ensaiados, optou-se por determinar a dureza na direção longitudinal e na direção transversal com e sem inclusões. O facto de se realizar o ensaio em zonas com e sem inclusões tem por objetivo verificar se a dureza do ligador metálico é idêntica, percebendo assim se a presença das mesmas pode influenciar os resultados, por exemplo, no ensaio de tração.

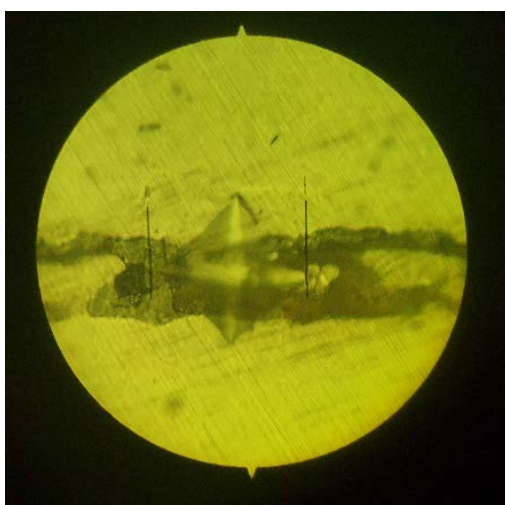


Figura 46: Imagem microscópica de uma indentação com inclusão

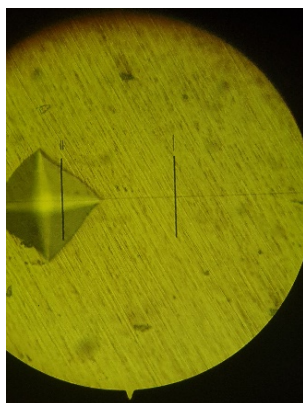


Figura 47: Imagem microscópica de uma indentação sem inclusão

Nos Quadros 2 a 5 são apresentados os valores tratados do ensaio de microdureza de Vickers, em que HV é a dureza de Vickers, os valores obtidos podem ser consultados no Apêndice B, nos Quadros 23 a 26.

Quadro 2: Valores médios do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 1 (s/ inclusões)

Indentação	[HV] Média	[HV] Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
1	161,00	19,03	11,82
2	159,60	6,83	4,28
3	145,40	28,64	19,70
4	124,00	22,83	18,41
5	169,20	27,11	16,02
6	130,80	9,50	7,26
7	157,60	14,37	9,12
Média	149,66	18,33	12,37

Quadro 3: Valores médios do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 1 (c/ inclusões)

Indentação	[HV] Média	[HV] Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
1	168,40	17,47	10,37
2	175,00	35,31	20,18
3	132,20	17,78	13,45
4	137,20	6,68	4,87
5	178,80	14,92	8,34
6	139,40	30,49	21,87
7	168,80	3,71	2,20
Média	157,11	18,05	11,61

Quadro 4: Valores médios do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 2 (s/ inclusões)

Indentação	[HV] Média	[HV] Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
1	194,60	8,24	4,23
2	169,40	18,42	10,88
Média	182,00	13,33	7,55

Quadro 5: Valores médios do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 2 (c/ inclusões)

Indentação	[HV] Média	[HV] Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
1	200,20	11,74	5,86
2	160,60	24,24	15,09
Média	180,40	17,99	10,48

Na direção longitudinal (Quadros 2 e 3), o molde 1 apresenta um número de Vickers (HV) superior, tanto nas zonas com inclusões como nas zonas sem inclusões. Nesta direção, o número de Vickers mais homogêneo foi obtido na zona sem inclusões, no entanto era esperado que acontecesse o contrário, devido às zonas com inclusões serem zonas mais duras como atrás foi referido. Este resultado poderá ser justificado por não se saber ao certo a que parte do ligador metálico pertence a nossa amostra, (poderá ser de uma secção inicial, média ou final) e, por ser um material forjado, as respetivas durezas serem diferentes (material heterogêneo).

Analisando os Quadros 4 e 5, verificamos que, na direção transversal, o número de Vickers é ligeiramente superior na zona que contém inclusões comparativamente à zona sem inclusões, sendo também possível verificar que nas zonas com inclusões a dureza de Vickers é ligeiramente mais homogênea. Nas zonas com inclusões, os valores de dureza são superiores, porque estas são óxidos. Existindo vários tipos de óxidos, no entanto, no nosso caso como se trata de um material forjado, o mais provável é ser um óxido de ferro. Desta forma, as inclusões são mais duras e por isso o valor obtido é maior em relação às zonas sem inclusões.

Comparando os resultados obtidos por Pinto R. (2013) e por Fernandes C. (2016), verifica-se que estes se encontram dentro da gama de valores apresentados. Com efeito, Fernandes C. (2016) obteve no seu edifício 1 valores médios do número de Vickers de 149 e 163 (em secção transversal e longitudinal, respetivamente) com valores de coeficiente de variação na ordem dos 7%. No seu edifício 3 valores médios do número de Vickers de 138 e 155 (em secção transversal e longitudinal, respetivamente) com valores de coeficiente de variação na ordem dos 12%. Já Pinto R. (2013) obteve no seu estudo valores médios do número de Vickers de 140, com um coeficiente de variação na ordem dos 22% (valor elevado).

4.2.2 Ataque químico e análise microestrutural

O ataque químico e a análise microestrutural são métodos complementares de análise. São importantes para a compreensão do comportamento mecânico dos ligadores metálicos em relação às suas características microestruturais e também para se poder interpretar a sua dureza e relacioná-la com o tipo de material existente.

Esta análise é obtida através da microscopia ótica ou eletrônica. Sempre que a microscopia ótica for insuficiente deve utilizar-se a microscopia eletrônica, sendo esta a mais aconselhada porque a ampliação e a profundidade da análise são de melhor qualidade.

4.2.2.1 Preparação das amostras e realização dos ensaios

Para a realização do ensaio de ataque químico e a análise microestrutural utilizaram-se os moldes preparados para o ensaio de Microdureza de Vickers.

Para a realização deste ensaio não existe um procedimento normalizado, no entanto é efetuado através da experiência adquirida em laboratório.

Inicialmente, por os moldes terem sido utilizados no ensaio anterior, estes foram novamente preparados (polidos), numa lixadeira recorrendo a oito lixas de diferentes diâmetros, começando por uma lixa de maior diâmetro (Gift 80/P80) e acabando na lixa de menor diâmetro (1200/4000). Depois de lixados, os moldes foram colocados no microscópio ótico metalográfico de reflexão ZEISS (Figura 48) onde foram observadas as superfícies com uma ampliação de 5 a 50 vezes. A superfície das amostras foi fotografada. Estas fotografias servem para se verificar a quantidade de inclusões que existe na amostra.

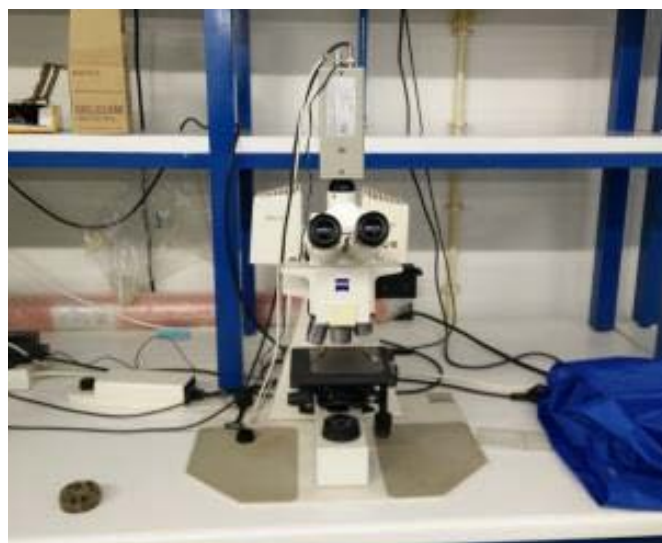


Figura 48: Microscópio ótico metalográfico de reflexão ZEISS

No final da análise microestrutural foi efetuado o ensaio de ataque químico. Para a realização deste ensaio foi necessário polir o molde com um lubrificante (ácido nítrico 2 ml e etanol 98 ml, designado por NF9). Em seguida lavou-se muito bem o molde com detergente, para ser retirada a gordura do lubrificante e depois aplicou-se uma solução de ácido nítrico e etanol nos elementos metálicos, deixando-a atuar durante alguns segundos. Após a conclusão do ensaio de ataque químico, as amostras foram observadas novamente no microscópio ótico metalográfico de reflexão, ver Figura 49. Através de uma câmara fotográfica foi possível a recolha de imagens das várias ampliações utilizadas na observação das amostras.

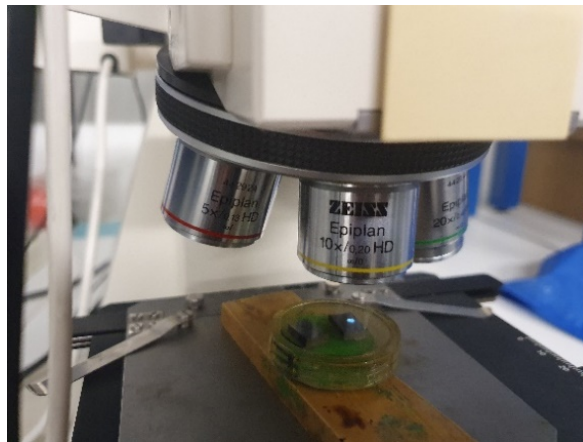


Figura 49: Exemplo da lente utilizada

4.2.2.2 Apresentação e análise de resultados

Com o auxílio destes dois ensaios foi possível verificar, utilizando o microscópio, as diferenças entre as amostras, segundo um corte longitudinal e um corte transversal.

Nas Figuras 50 e 51 é possível observar as amostras com uma ampliação de 5 vezes.



Figura 50: Vista ao microscópio da secção transversal

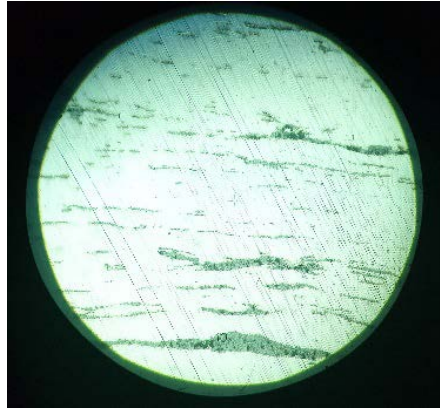


Figura 51: Vista ao microscópio da secção longitudinal

Relativamente ao molde que corresponde às amostras da secção transversal, é possível verificar um padrão constante na direção das fibras, coincidente com a forma como a peça foi batida no seu processo de fabrico, sendo também visíveis algumas zonas onde o ensaio de microdureza de Vickers foi realizado.

No ensaio de ataque químico foi possível verificar as zonas da peça onde a superfície foi descarbonizada, ver Figura 52. Também é possível verificar as zonas com defeitos internos que tendem a prolongar-se ao longo da direção longitudinal, visíveis na Figura 53.

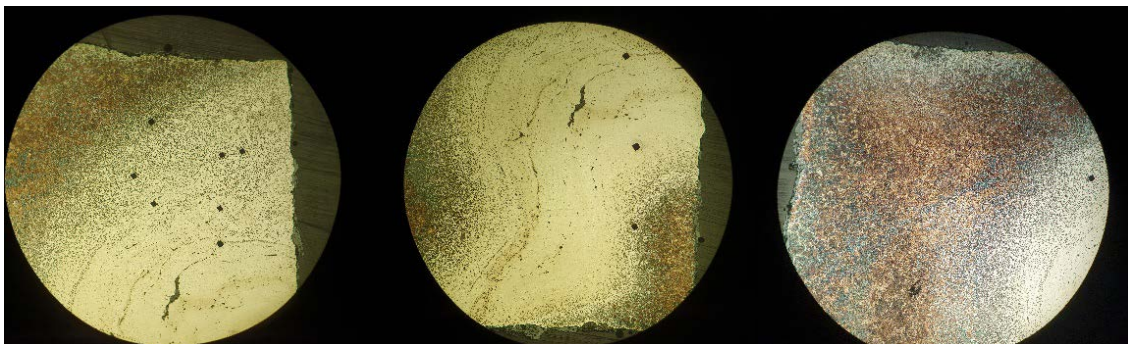


Figura 52: Vista ao microscópio da secção transversal após o ataque químico

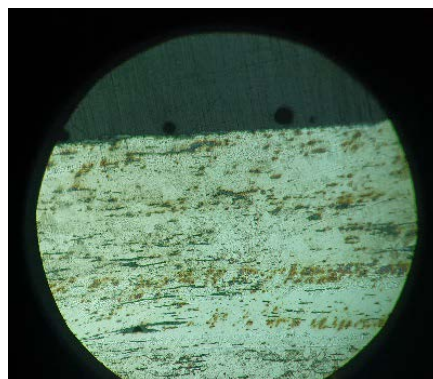


Figura 53: Vista ao microscópio da secção longitudinal após o ataque químico

O molde que corresponde às amostras da secção longitudinal também apresenta um padrão constante na direção das fibras. Contudo, nesta direção as inclusões são mais

numerosas e de maior dimensão. Com o ataque químico foi possível verificar as zonas da peça onde a superfície foi descarbonizada. O facto de se verificar que a peça só descarboniza à superfície justifica-se pelo facto de ser forjada a quente, isto é, a altas temperaturas, logo a difusão do carbono é maior, libertando-se carbono a partir da superfície para a atmosfera.

Comparando estes resultados com os resultados obtidos por Pinto R. (2013) e por Fernandes C. (2016) verifica-se que as amostras estudadas apresentam um aspeto menos constante e com um maior número de defeitos condizente com o facto de se tratar de amostras de aço forjado.

4.2.3 Análise da existência de impurezas nas amostras

Com o objetivo de se verificar, a nível microscópico, se existiam algumas impurezas nas amostras, foi efetuado um estudo complementar para se determinar a percentagem de impurezas que cada amostra contém. Para o realizar recorreu-se ao programa *IMAGE J*, que é um *software* gratuito. É um programa que contabiliza os diferentes *pixels* existentes na imagem. Para tal converteu-se a imagem para monocromático, para que a interpretação fosse mais fácil, nomeadamente na contabilização das impurezas existentes em cada amostra. Em seguida, apresenta-se um exemplo de como se procedeu para utilizar o programa *IMAGE J*, com uma breve explicação e com os valores das impurezas obtidos para todas as imagens.

Para iniciar a contagem dos *pixels* no citado programa principiou-se por inserir a fotografia obtida através da visualização ao microscópio, Figura 54. Foi utilizado o molde 1 utilizado anteriormente, em que este contém sete amostras. Por cada amostra foram realizadas quatro fotografias com o objetivo de mostrar toda a secção, (julga-se que este número é suficiente para definir toda a área estudada), exceto para a amostra 6 em que se realizaram nove fotografias para definir a área total.

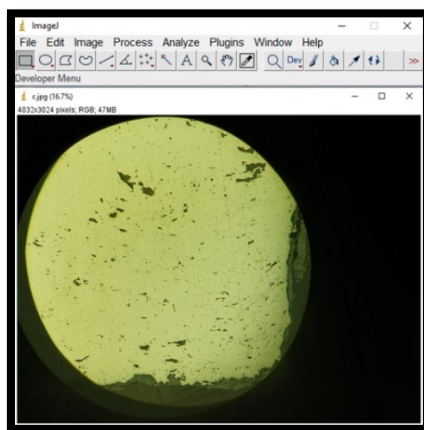


Figura 54: Fotografia da amostra 2a obtida através da visualização ao microscópio colocada no programa *IMAGE J*

Em seguida, selecionou-se o máximo possível da área da amostra, convertendo a imagem em 8 bits (imagem a preto e branco), como demonstrado na Figura 55.

Posteriormente, recorreu-se à análise das partículas, Figura 56, através da seleção do que se pretendia.

Neste caso, como se converte a imagem em preto e branco, sendo o preto a parte das impurezas, obtiveram-se os resultados pretendidos, diretamente, ver Figura 57.

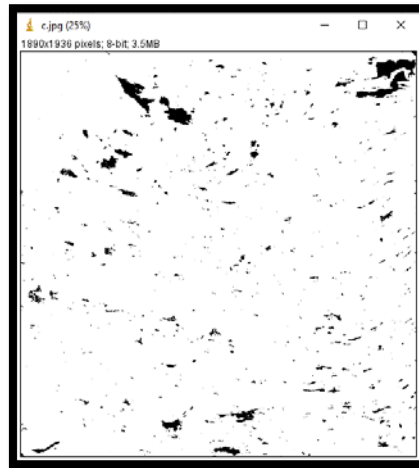


Figura 55: Tratamento da imagem no *IMAGE J*

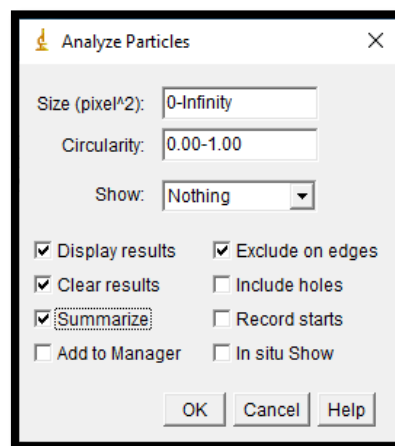


Figura 56: Seleção dos dados que se pretende obter

Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area
c.jpg	112	1067	9.527	4.010

Figura 57: Forma como os resultados são obtidos através do programa *IMAGE J*

No final do processo realizado em toda a amostra, calcula-se a média da percentagem das impurezas. Neste caso, os *pixels* e a área pretendida (toda), obtendo-se os resultados apresentados no Quadro 6.

Quadro 6: Resultados obtidos no programa *IMAGE J*

Amostra		Impurezas (%)	Média (%)
1	1a	4,01	4,31
	1b	5,09	
	1c	4,72	
	1d	3,42	
2	2a	4,92	3,89
	2b	3,48	
	2c	3,52	
	2d	3,62	
3	3a	1,64	2,55
	3b	3,57	
	3c	3,65	
	3d	1,33	
4	4a	1,47	1,43
	4b	1,21	
	4c	1,64	
	4d	1,41	
5	5a	1,94	1,75
	5b	1,43	
	5c	1,99	
	5d	1,62	
6	6a	3,77	1,88
	6b	2,76	
	6c	1,91	
	6d	2,35	
	6e	1,07	
	6f	0,55	
	6g	1,84	
	6h	1,13	
	6i	1,53	
7	7a	1,64	1,07
	7b	0,7	
	7c	0,49	
	7d	1,44	

Conclui-se que as amostras analisadas apresentam uma percentagem baixa de impurezas (menor que 5%), sendo um aspeto positivo, indicando assim que as amostras utilizadas contêm uma percentagem muito baixa de materiais que poderiam comprometer a sua resistência.

5. Caracterização das Paredes de Tabique

5.1 Caracterização dos elementos constituintes de uma parede de tabique

As paredes de tabique eram mais utilizadas como paredes interiores, no entanto também eram utilizadas como paredes exteriores sobretudo nos últimos pisos do edifício. Sendo a madeira o principal constituinte das paredes de tabique, esta variava consoante a zona do país (Figura 58). Na zona de Viseu a madeira mais comum é o pinheiro bravo.

As paredes de tabique constituídas por tábuas (verticais ou diagonais) e por ripas, em que estes elementos têm dimensões variadas consoante as necessidades e com a madeira existente.

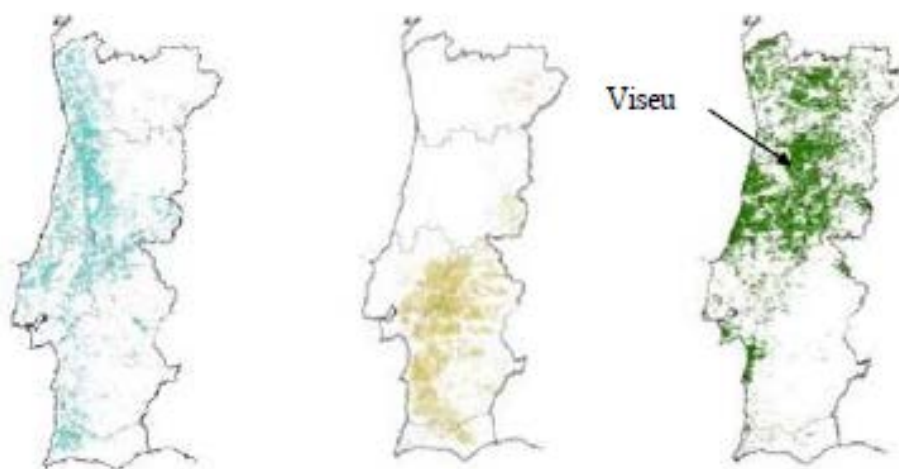


Figura 58: Distribuição geográfica das principais espécies florestais, Cortesia do ICFN (2013)

De acordo com Fernandes C. (2016), foi possível observar vários tipos de técnicas de construção de paredes de tabique, algumas sem aberturas, mas a maior parte com aberturas para portas ou janelas. Na Figura 59 podemos observar uma parede de tabique com uma abertura e uma outra sem abertura. As paredes de tabique apresentavam uma grande diversidade, quer no seu processo construtivo quer nas características geométricas dos seus elementos, podendo esta diversidade ser justificada pelas matérias-primas à disposição do construtor há data da sua construção, pelas ferramentas existentes na época e pelo poder económico do dono de obra. As paredes de tabique podem ser simples ou duplas e consistem, fundamentalmente, na colocação de tábuas ao alto (uma ou duas camadas, que levam à sua classificação) com folgas variáveis preenchidas por argamassas de enchimento e de revestimento. Normalmente a argamassa de revestimento possuía uma construção mais cuidada. Eram realizadas com materiais terrosos com adição de palha ou cal, de acordo com a sua época de construção. Observa-se que em alguns exemplares foram colocadas tábuas diagonais que teriam uma função de travamento do conjunto. Em alguns casos foram encontradas paredes duplas, em que uma das fiadas era constituída também por tábuas diagonais. Na Figura 60 podemos observar alguns exemplos de paredes de tabique com tábuas na diagonal.

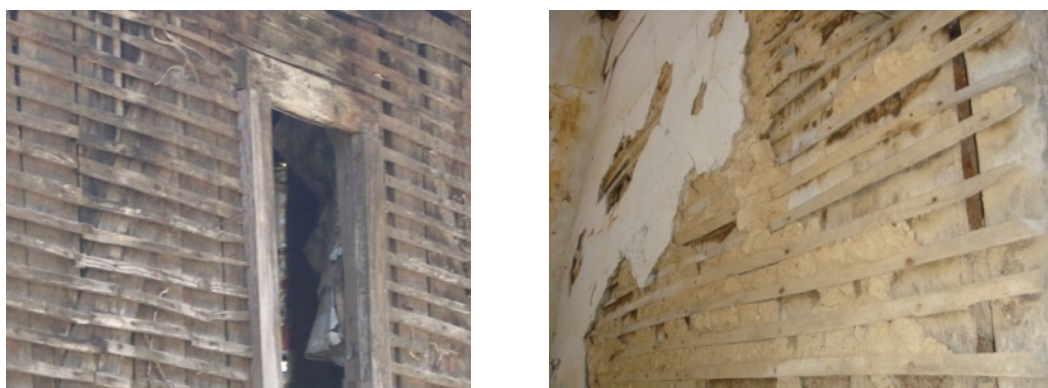


Figura 59: Exemplos de paredes de tabique (Fernandes C., 2016)



Figura 60: Exemplos de paredes de tabique com tábuas na diagonal (Fernandes C., 2016)

5.2 Processo construtivo de uma parede de tabique

Neste subcapítulo pretende-se descrever o processo construtivo das paredes de tabique. O seu conhecimento é essencial aquando da realização de obras de reabilitação. Através da descrição do processo construtivo é possível perceber a forma como os elementos das paredes se interligam entre si, bem como com a restante estrutura, nomeadamente com a estrutura dos pavimentos.

Para a descrição do processo construtivo das paredes optou-se por recorrer a imagens com auxílio de um pequeno texto explicativo.

i) Arranque da parede

O arranque de uma parede de tabique era efetuado em cima de uma parede de alvenaria de pedra (de granito na região de Viseu). No arranque da parede era colocada uma viga de madeira maciça (frechal inferior) que era fixada à alvenaria através de ligadores metálicos. Desta forma evitava-se o contacto direto da madeira com o solo, como se pode verificar na Figura 61.

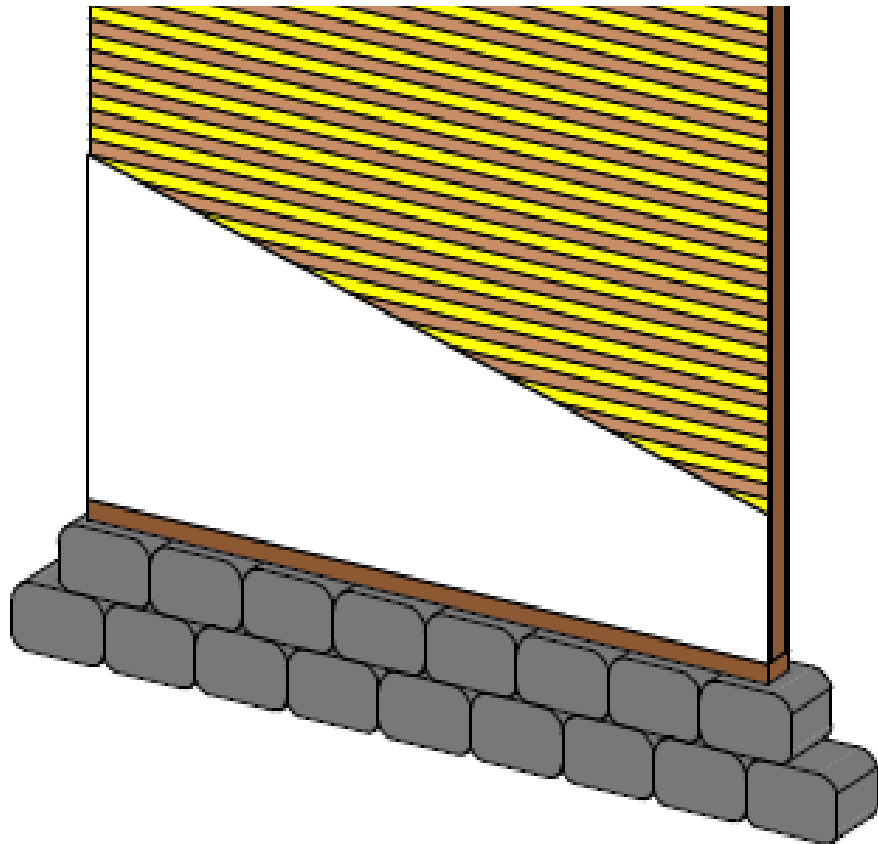


Figura 61: Arranque de uma parede de tabique

ii) Colocação de tábuas verticais e diagonais

As duas formas mais comuns de construção das paredes simples é a colocação de tábuas verticais ou com a inclusão de tábuas diagonais, ver Figuras 62-a e 62-b.

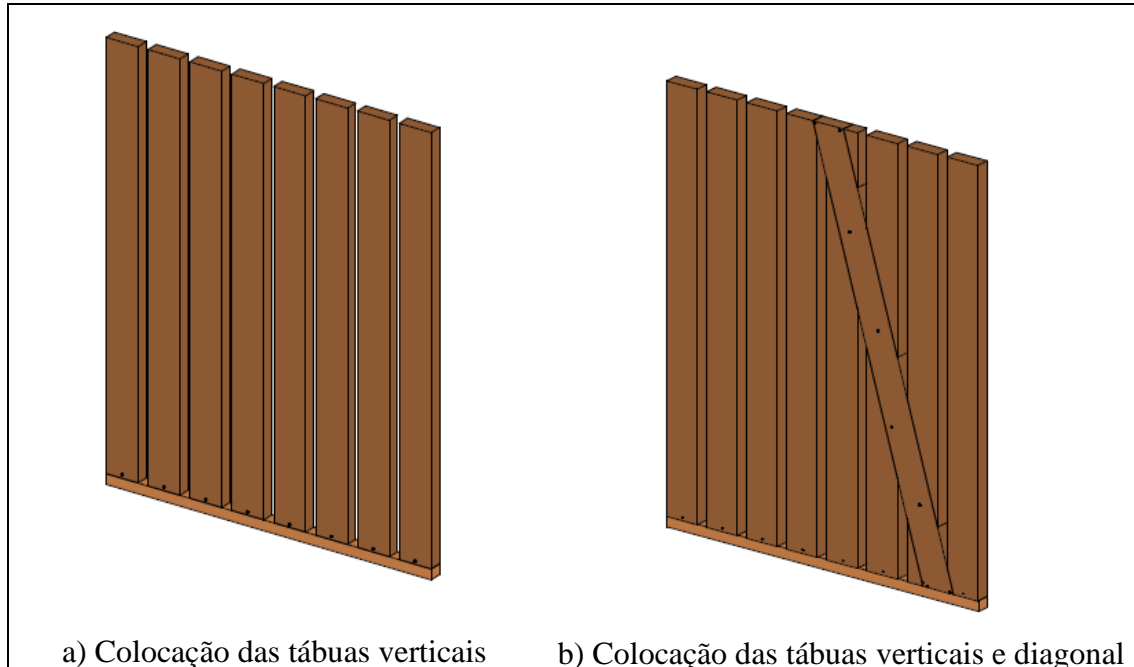


Figura 62: Colocação das tábuas verticais / diagonais

Estas tábuas eram pregadas à viga inferior, ver Figura 63. No caso de existirem tábuas diagonais, estas eram as primeiras a ser colocadas. Em seguida, colocavam-se as tábuas verticais, sendo interrompidas no local onde se cruzavam com a tábua diagonal. As tábuas verticais eram pregadas à(s) tábua(s) diagonal(is).

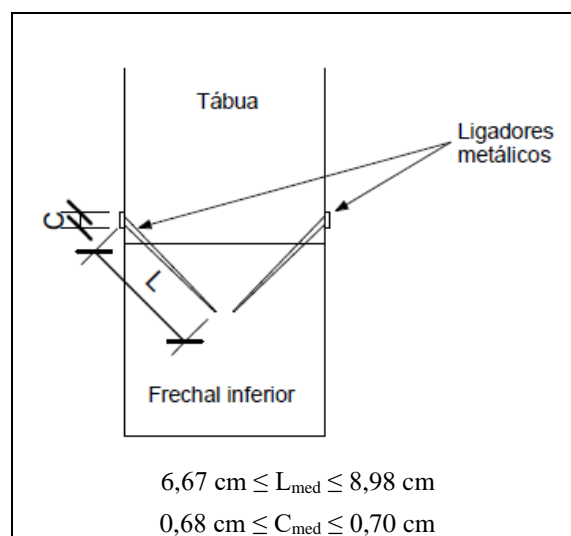


Figura 63: Pormenor de ligação das tábuas verticais / diagonais ao frechal inferior

iii) Colocação de ripas

As ripas eram colocadas na direção perpendicular às tábuas principais e eram pregadas diretamente a estas (Figura 64-a e 64-b). Essa ligação era efetuada com um ou dois pregos, em função da largura das tábuas.

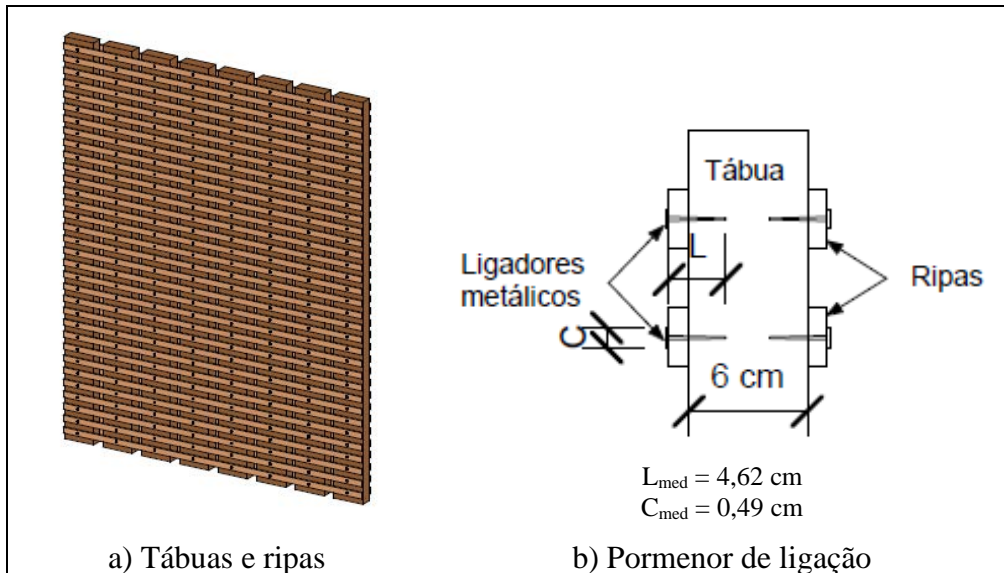


Figura 64: Colocação de ripas

iv) Colocação do material de enchimento

Após a colocação das ripas era necessário preencher os espaços entre os diversos elementos de madeira. Isso era conseguido através da colocação de uma argamassa de enchimento, normalmente de terra, com adição de palha ou cal, consoante a época de construção de constituição mais tosca (com a presença de materiais mais grossos até pequenas pedras), ver Figura 65.

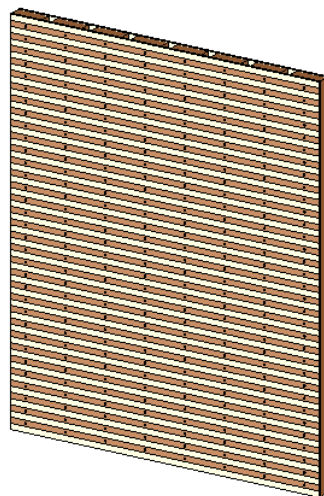


Figura 65: Colocação da argamassa de enchimento

v) Colocação de frechal superior

Para se efetuar a ligação entre as paredes de tabique e a estrutura de um pavimento vigado de madeira maciça, era colocada uma viga em madeira, designada de frechal. Da inspeção realizada foram encontrados vários tipos de frechais superiores. O mais comum era construído com um rasgo para facilitar o encaixe das tábuas verticais e diagonais da parede de tabique no piso inferior.

Existem, assim, alguns tipos de frechais, a saber:

- (a) frechal com rasgo contínuo central, em que a ligação é concretizada através de ligadores metálicos pregados na horizontal em ambos os lados do frechal (ver Figura 66-a e 66-b);

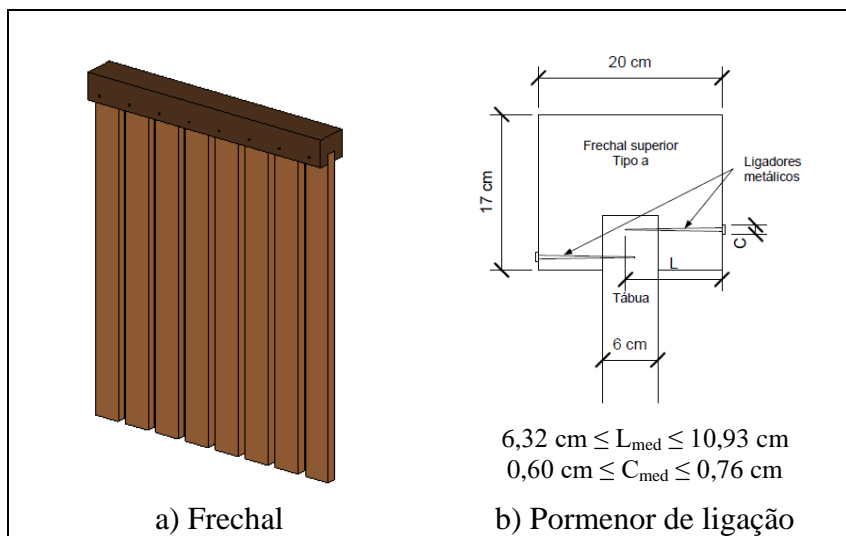


Figura 66: Exemplo de frechal tipo (a)

- (b) frechal com entalhe lateral, em que a ligação entre tábuas e frechal também é pregada na horizontal, mas somente com ligadores metálicos de um dos lados (o maior) (Figura 67-a e 67-b);

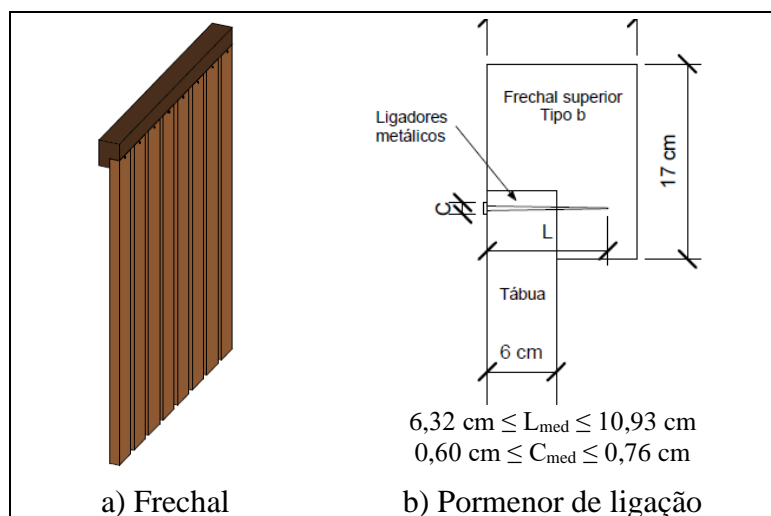


Figura 67: Exemplo de frechal tipo (b)

- (c) frechal de secção retangular, sem rasgo, em que a ligação entre as tábuas e o frechal é feita por ligadores metálicos pregados na diagonal (Figura 68-a e 68-b).

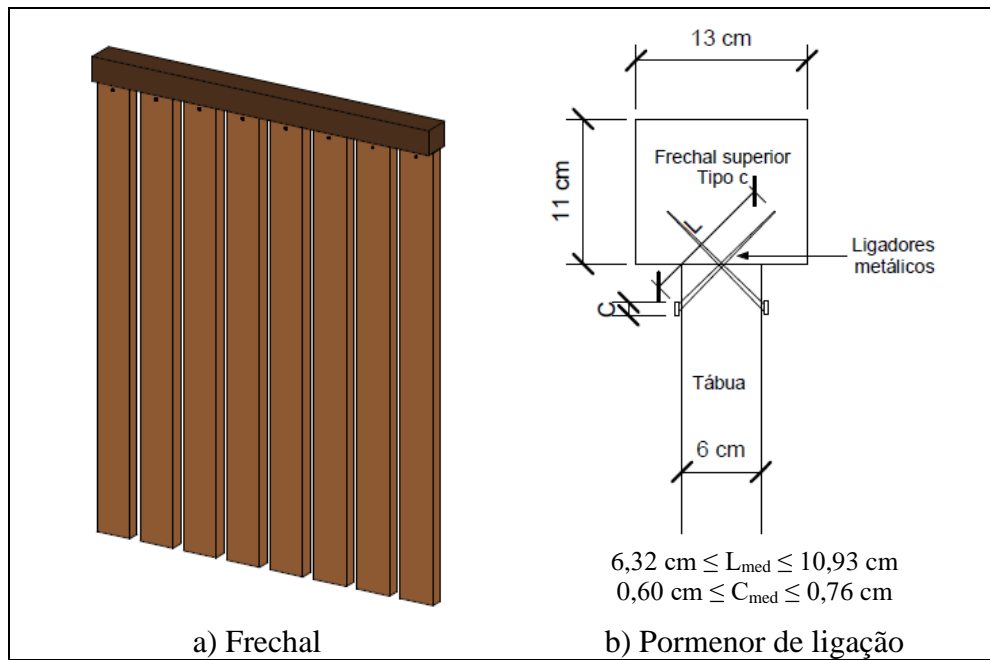


Figura 68: Exemplo de frechal tipo (c)

Posteriormente à colocação da argamassa de enchimento era colocado o frechal superior, como se ilustra na Figura 69.

Esta ligação era efetuada através de pregagem, como já foi descrito.

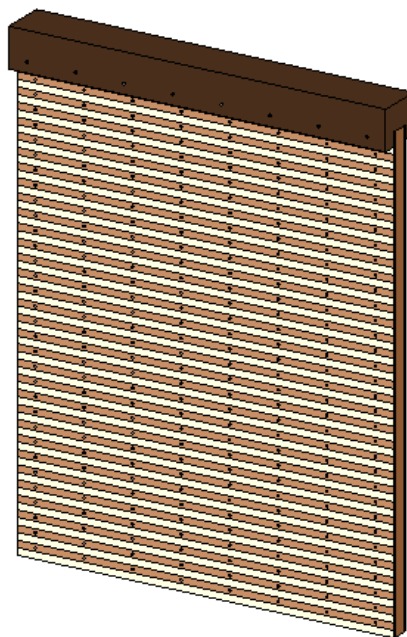


Figura 69: Pormenor de construção da estrutura resistente de um pavimento de madeira (piso superior) – colocação de frechal superior

vi) Construção do pavimento

Para construir a estrutura dos pavimentos superiores eram colocadas vigas em madeira maciça, em geral na direção perpendicular da parede de tabique, ver Figura 70-a. Estas vigas eram ligadas à parede de tabique, através da pregagem de ligadores metálicos (normalmente de maior dimensão), como se ilustra na Figura 70-b. Elas eram o suporte do soalho.

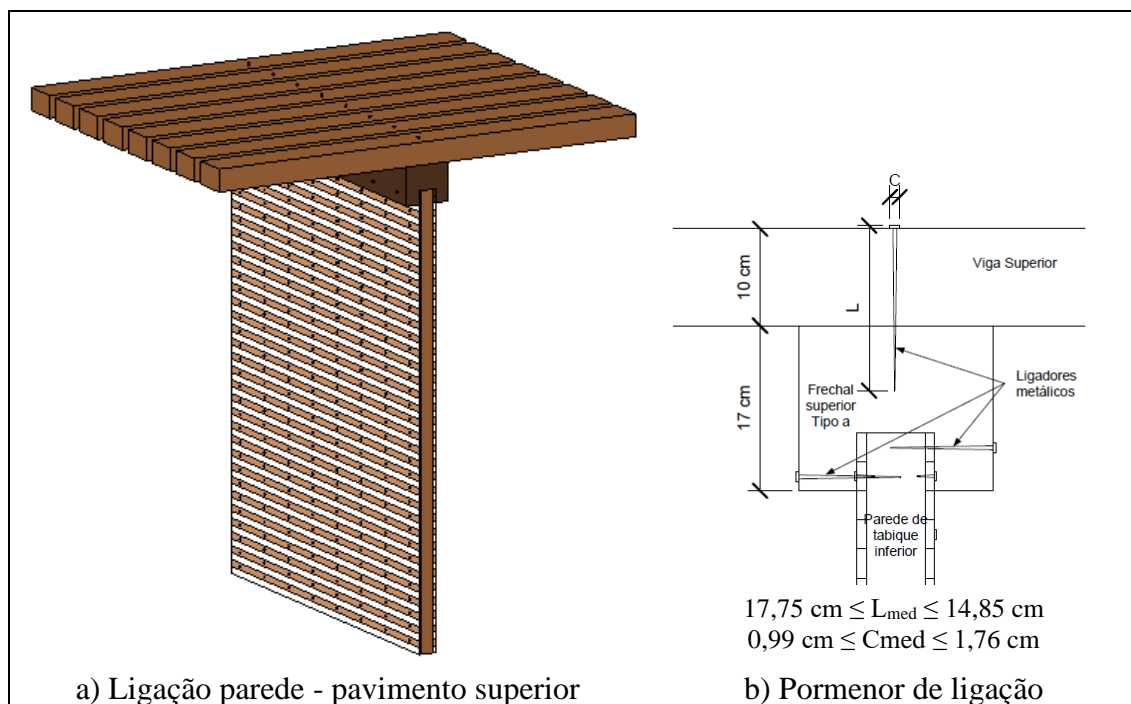


Figura 70: Construção da estrutura resistente para piso superior

vii) Arranque da parede superior

Para efetuar a parede superior é colocada uma viga (frechal) no arranque da parede e, posteriormente, as tábuas verticais. Estas tábuas eram pregadas à viga, na diagonal, como se pode ver na Figura 71-a e 71-b.

viii) Colocação de argamassa de revestimento

No final era colocada uma argamassa de revestimento, que envolvia toda a estrutura de madeira, concedendo-lhe uma proteção contra a humidade. O revestimento final, era constituído por uma camada de revestimento mais fina, à base de cal, que podia ser posteriormente pintada ou revestida com material cerâmico, papel de parede, entre outros, Figura 72.

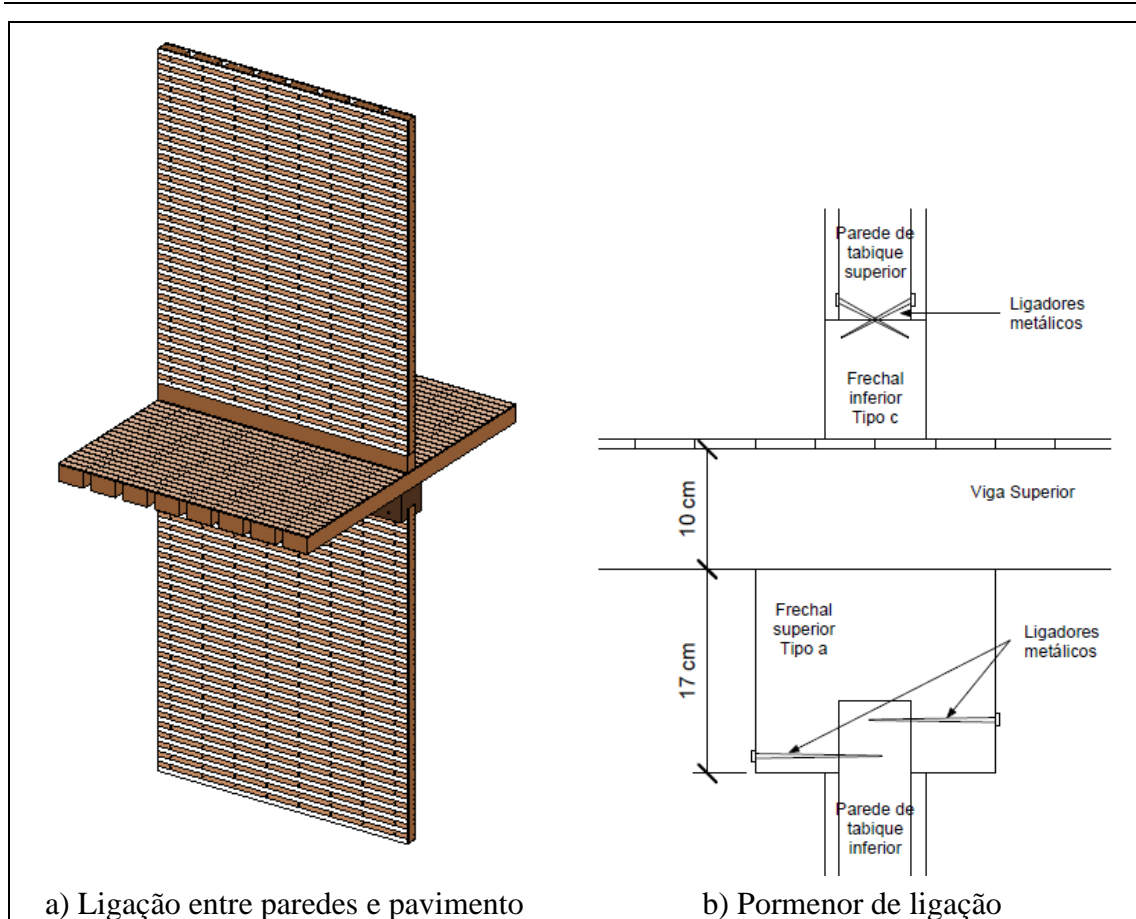


Figura 71: Construção da parede superior

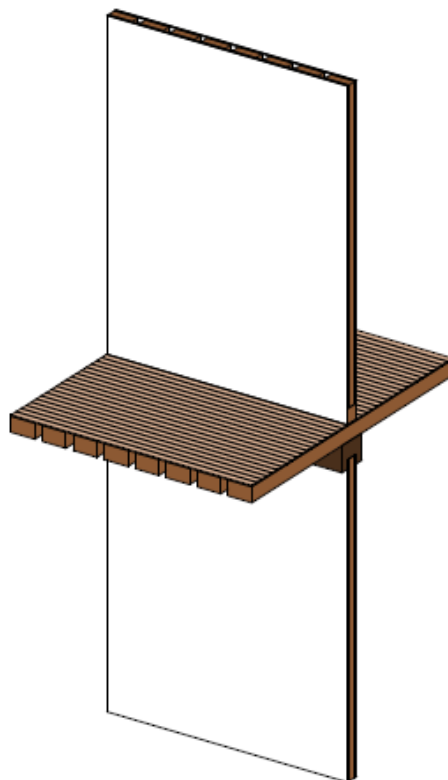


Figura 72: Colocação de argamassa de revestimento

5.3 Recomendações para a reabilitação das paredes de tabique

Segundo Appleton J. (2003), quando se refere à reabilitação de edifícios antigos, pressupõe-se que se esteja a falar no conjunto de ações destinadas a corrigir as anomalias existentes, com o objetivo de manter a edificação no estado em que se encontrava antes da sua ocorrência. A este objetivo inicial, acresce muitas vezes a oportunidade de melhorar o desempenho local ou geral dos edifícios (por exemplo, a nível estrutural, do desempenho térmico, acústico, etc.).

Assim, sendo as paredes de tabique compostas por elementos de madeira maciça, por argamassas de enchimento e revestimento e por ligadores metálicos, qualquer ação de reabilitação deve ser pensada em função do estado desses mesmos elementos. Outro aspeto importante tem a ver com a escolha dos materiais a utilizar. Segundo as regras de boa construção (sobretudo nas obras de reabilitação de edifícios antigos) eles devem ser duráveis, compatíveis com os elementos de base (originais) e nos casos onde é possível isso acontecer, devem ser reversíveis. Também é necessário referir que, em muitos casos, as paredes de tabique existentes na cidade de Viseu desempenham um papel importante a nível do comportamento estrutural dos edifícios, pelo que é fundamental que qualquer ação de reabilitação aí desenvolvida respeite a sua função e não altere os princípios de base, como por exemplo, o tipo de ligações entre os seus elementos e entre estes e a restante estrutura (com o pavimento, com as paredes de alvenaria, etc.).

A reabilitação das paredes de tabique, infelizmente, não é prática comum em Portugal. Muitas vezes esta questão está associada à falta de conhecimento sobre os materiais aplicados e suas propriedades mecânicas, bem como sobre o seu processo construtivo. Outro aspeto a salientar é a ausência de mão-de-obra especializada. Tudo isto faz com que o dono de obra e a sua equipa projetista optem por uma ação conservadora que, muitas vezes, se traduz pela destruição das paredes de tabique e a sua substituição por outro tipo de solução (paredes de alvenaria em tijolo cerâmico ou paredes de gesso cartonado, para referir o caso de elementos de compartimentação).

O processo de reabilitação deve ser iniciado por uma ação de inspeção e diagnóstico cuidada, muitas vezes recorrendo-se à abertura de janelas de inspeção / sondagens essenciais para a determinação das características construtivas dos elementos.

Deste modo, em relação à estrutura de madeira, é conhecido que a sua degradação está associada à presença de humidade e a sua subsequente destruição por organismos xilófagos (fungos de podridão, caruncho, térmitas, etc.). Outro aspeto comum é a degradação das ligações entre os diversos elementos de madeira e entre estes e a restante estrutura.

Assim, nos casos limites em que a madeira se apresenta muito degradada e, por isso, incapaz de apresentar propriedades físicas e mecânicas desejáveis, a opção mais correta é a sua eliminação e a posterior substituição ou reconstituição com elementos com a mesma secção. Também é fundamental que a espécie de madeira seja igual à existente. No caso de Viseu, as espécies de madeira mais comuns são o pinho bravo (*pinus pinaster*), a mais prevalente, e o castanho (*castanea sativa*). Refira-se que é essencial que a madeira a colocar de novo esteja seca. Também será importante o seu tratamento com produtos impregnantes com o objetivo de prevenir a presença de organismos xilófagos.

Os elementos de madeira novos devem ser ligados aos existentes através de ligadores metálicos (pregos, parafusos ou chapas metálicas). Segundo Appleton J. (2003), o critério sobre qual o tipo de ligação e seu dimensionamento deve ser feita de modo que a sua resistência deve ser, pelo menos, igual à das peças de madeira que se destinam a ligar. Saliente-se que existem hoje diversas empresas especializadas neste tipo de ligadores metálicos, como por exemplo a Rothoblaas, que apresenta catálogos e até programas de dimensionamento muito úteis para este tipo de ligações.

Nos ligadores metálicos, um dos principais problemas das paredes de tabique, onde, apesar de existirem algumas chapas metálicas, os pregos são os elementos mais comuns, é a sua corrosão, que no limite faz com que a sua secção resistente praticamente desapareça. Neste caso, a sua substituição por novos ligadores metálicos é essencial. O cuidado em escolher elementos metálicos resistentes à corrosão (inox, por exemplo) é essencial. Ainda dentro das ações a desenvolver, como atrás foi dito, deve-se aproveitar a reabilitação das paredes de tabique melhorando as suas ligações. Dentro das diversas ligações saliente-se a ligação entre paredes de tabique ortogonais entre si (ao nível das tábuas verticais, que são o seu elemento resistente mais importante). Por outro lado, e não menos importante, o reforço da ligação das paredes de tabique com a estrutura de pavimento e de cobertura (normalmente em madeira maciça) e com as paredes de alvenaria de pedra de granito (a pedra mais comum em Viseu), que normalmente constituem-se como paredes de fachada. Também aqui os fabricantes como a Rothoblaas apresentam soluções muito diversas como, por exemplo, chapas tipo cantoneira, chapas unidirecionais, etc. Na Figura 73 esquematiza-se algumas das soluções de ligação entre elementos de madeira que podem ser adaptados na reabilitação das paredes de tabique, estando identificados com círculos vermelhos os mais adequados a este tipo de estruturas.

A opção mais comum nas obras de reabilitação em que se mantêm as paredes de tabique é retirar as argamassas de enchimento e de revestimento. Grande parte das vezes a principal razão é que essas argamassas eram feitas à base de terra / saibro, às quais eram adicionadas fibras vegetais (palha), nas mais antigas, ou cal, nas mais recentes. Essas argamassas eram, por isso, muito pouco coesas. No entanto, os elementos de madeira apresentavam boa durabilidade, como demonstram os estudos de Pinto, R. (2013) e de

5 – CARACTERIZAÇÃO DAS PAREDES DE TABIQUE

Fernandes, C. (2016), e, por isso, reforçam a ideia de que as argamassas desempenham um papel essencial na sua conservação.

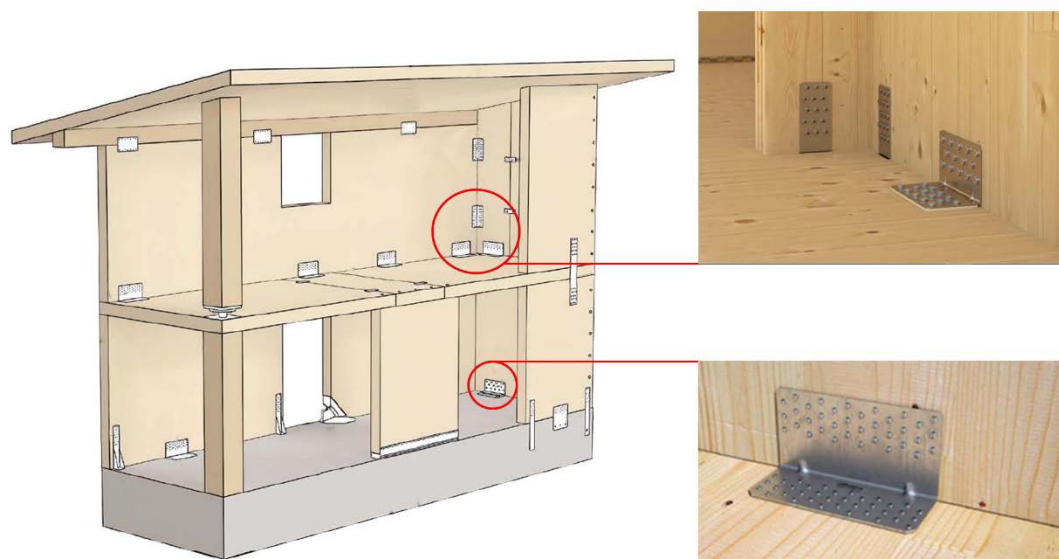


Figura 73: Tipos de ligadores utilizados em construções de madeira [adaptado de Rotholaas (2019 e 2020)]

Assim, se se optar por retirar as argamassas, elas devem ser substituídas por outras novas, mas que mantenham, pelo menos, as mesmas propriedades, como por exemplo as propriedades físicas, químicas e mecânicas. Outro aspeto fundamental é a sua compatibilidade com os elementos de madeira. O incremento da ligação entre a madeira e a argamassa é muito importante. Por isso, a existência de ripas de fasquio de seção trapezoidal, a endentagem da superfície da madeira e a pregagem de pequenos ligadores metálicos é comum e deve ser implementada. Saliente-se de novo que se a madeira não estiver devidamente seca poderá potenciar a sua instabilidade dimensional. A argamassa de cal e areia/saibro, possui uma baixa retração pelo que é um bom elemento para melhorar a eficácia entre a madeira e a argamassa.

Saliente-se que a utilização de argamassas feitas á base de cimento não é indicada pois para além de ter pior compatibilidade e por ter uma retração elevada, o que potencia a fissuração generalizada dos rebocos. Uma solução interessante será a introdução na argamassa de revestimento de malhas em aço galvanizado ou eletrossoldado (tipo redes de galinheiro ou equivalente) ou em fibras de vidro, devidamente pregadas aos elementos de madeira. Esta malha poderá melhorar o comportamento mecânico da parede de tabique e absorvendo os efeitos de retração quando se utilizam argamassas cimentícias ou bastardas (saibro adicionado com cimento).

Na fase de acabamento da parede deverá ser executada uma camada de granulometria mais fina que as argamassas anteriores. Estas argamassas deverão ser depois protegidas com pinturas altamente respiráveis, por exemplo, com soluções siloxânicas ou puramente minerais, à base de silicatos de potássio. No entanto, se se desejar manter um efeito da argamassa visível poderá aplicar-se um produto hidrofóbico.

6. Conclusão

6.1 Considerações finais

Com a realização deste trabalho foi possível investigar diversos edifícios do centro histórico de Viseu (3 no total), mais especificamente em relação aos ligadores metálicos encontrados nos vários tipos de ligações das paredes de tabique. Apresentam-se em seguida as principais conclusões que resultam deste trabalho.

No capítulo 3 efetuou-se uma breve apresentação sobre as paredes de tabique que constituem os edifícios estudados. Os edifícios apresentam um sistema construtivo idêntico. Estes edifícios eram constituídos por paredes exteriores de alvenaria de pedra de granito nos pisos inferiores e nos últimos pisos estas eram em tabique. As suas paredes interiores eram todas em tabique. As paredes interiores de tabique apresentavam tipologias construtivas distintas.

O capítulo 4 foi dedicado ao estudo dos ligadores metálicos. Em função das amostras de ligadores recolhidas nos três edifícios, foram apresentados quadros resumo com as suas dimensões e com as funções que desempenhavam. Foi possível associar essas dimensões e formas aos diversos locais onde foram aplicados. De salientar que quanto maior era a importância da função do ligador metálico, maior seria a sua dimensão.

Os ligadores metálicos de maiores dimensões eram utilizados na ligação entre paredes de tabique ou entre a ligação de parede de tabique e os frechais (inferiores e superiores). Enquanto as ligações de menor importância, como as ligações secundárias ripas / tábuas verticais, apresentavam ligadores metálicos de menores dimensões.

No mesmo capítulo foram explicados os ensaios realizados e foram apresentados os resultados obtidos nos ensaios de microdureza de Vickers, de ataque químico e de análise microestrutural.

Com os resultados obtidos nos ensaios confirma-se que os ligadores metálicos são de aço forjado. Estes ligadores podem apresentar algumas diferenças ao nível da sua constituição, formato ou mesmo na sua dimensão.

O ensaio de microdureza permitiu obter valores de HV entre 124 e 169 para as amostras do Molde 1 (obtidos através de um corte longitudinal aos ligadores), sem inclusões, e entre 132 e 179, com inclusões. De salientar que o coeficiente de variação foi em alguns casos superior a 20, demonstrando uma grande variabilidade dos resultados. Por sua vez, os valores e HV obtidos para as amostras do Molde 2 (através de corte segundo a secção transversal dos ligadores) situaram-se no intervalo 169 a 182, sem inclusões, e no intervalo 160 a 200, com inclusões. Os coeficientes de variação obtidos foram menores, mas mesmo assim, registaram-se valores superiores a 10.

Comparando os resultados obtidos com os de Pinto R. (2013) e de Fernandes C. (2016), verifica-se que estes se encontram dentro da mesma gama de valores.

Relativamente à existência ou não de inclusões, conclui-se que os valores de HV foram ligeiramente superiores nas amostras com inclusões.

Saliente-se, ainda, que no caso de ligadores metálicos forjados será recomendável o uso de maior número de amostras para a sua caracterização, atendendo à maior variabilidade das suas propriedades.

Com a ajuda dos ensaios de ataque químico e de análise microestrutural foi possível observar, microscopicamente, os ligadores metálicos e verificar que estes apresentavam deficiências no seu processo construtivo (continham inclusões). Com o auxílio do ataque químico verificou-se que os ligadores metálicos possuíam zonas descarbonizadas à superfície.

As amostras dos ligadores metálicos foram também analisadas para avaliar o nível de impurezas que continham. Para este estudo recorreu-se ao programa IMAGE J e verificou-se que apresentavam uma percentagem muito baixa de impurezas, entre 1% e 4,3%.

No capítulo 5 procedeu-se à caracterização das paredes de tabique, nomeadamente dos elementos constituintes e do seu processo construtivo, incluindo os tipos de ligação entre elementos. Assim, foi apresentado um esquema evolutivo das diferentes fases que compõem a construção das paredes de tabique com a indicação das principais características dos ligadores metálicos (dimensão da cabeça e comprimento) frequentemente utilizados nas ligações das paredes.

Por fim apresentam-se algumas recomendações para a reabilitação das paredes de tabique:

- Qualquer ação de reabilitação deve ser pensada em função do estado dos elementos de madeira maciça, da argamassa de enchimento, do revestimento e dos ligadores metálicos;
- A escolha dos materiais a utilizar deve ter por base que estes devem ser duráveis, compatíveis com os elementos de base (originais) e, nos casos onde for possível, devem ser reversíveis;

-
- Qualquer ação de reabilitação desenvolvida deve respeitar a função dos constituintes das paredes, não alterando os princípios de base, como por exemplo, o tipo de ligações entre os seus elementos e entre estes e a restante estrutura (com o pavimento, com as paredes de alvenaria, etc.);
 - O processo de reabilitação deve ser iniciado por uma ação de inspeção e diagnóstico cuidada, muitas vezes recorrendo-se à abertura de janelas de inspeção / sondagens essenciais para a determinação das características construtivas dos elementos;
 - Nos casos em que a madeira se apresenta muito degradada e, por isso, incapaz de apresentar propriedades físicas e mecânicas desejáveis, a opção mais correta é a sua eliminação e a posterior substituição ou reconstituição com elementos com a mesma secção e com a mesma espécie de madeira;
 - É essencial que a madeira a colocar de novo esteja seca. Também será importante o seu tratamento com produtos impregnantes com o objetivo de prevenir a presença de organismos xilófagos;
 - Os elementos de madeira novos devem ser ligados aos existentes através de ligadores metálicos (pregos, parafusos ou chapas metálicas) com resistência igual, ou superior, à das peças de madeira que se destinam a ligar. Estes ligadores devem ser resistentes à corrosão (inox, por exemplo);
 - Deve-se aproveitar a reabilitação das paredes de tabique melhorando as suas ligações, designadamente, a ligação entre paredes de tabique ortogonais entre si (ao nível das tábuas verticais, que são o seu elemento resistente mais importante), a ligação das paredes de tabique com a estrutura do pavimento e da cobertura e com as paredes de alvenaria de pedra, que normalmente constituem-se como paredes de fachada;
 - A opção mais comum nas obras de reabilitação em que se mantêm as paredes de tabique é retirar as argamassas de enchimento e de revestimento. Assim, se se optar por retirar as argamassas, elas devem ser substituídas por outras novas, mas que mantenham, pelo menos, as mesmas propriedades e que sejam compatíveis com os elementos de madeira (argamassas feitas á base de cimento não são indicadas);
 - O incremento da ligação entre a madeira e a argamassa é muito importante (a argamassa de cal e areia/saibro, possui uma baixa retração pelo que é um bom elemento). Por isso, a existência de ripas de fasquio de seção trapezoidal, a endentagem da superfície da madeira e a pregagem de pequenos ligadores metálicos é comum e deve ser implementada.
 - Uma solução interessante será a introdução na argamassa de revestimento de malhas em aço galvanizado ou eletrossoldado (tipo redes de galinheiro ou equivalente) ou em fibras de vidro, devidamente pregadas aos elementos de madeira;
 - O acabamento da parede deverá ser executado com uma camada de granulometria mais fina que as argamassas anteriores. Estas argamassas deverão ser depois

protegidas com pinturas altamente respiráveis. No entanto, se se desejar manter um efeito da argamassa visível poderá aplicar-se um produto hidrofóbico.

Esta dissertação é mais um contributo para o estudo das ligações metálicas presentes nas paredes de tabique. O maior conhecimento da sua geometria, da localização das mesmas e das suas propriedades físicas e químicas constitui uma ferramenta muito útil na mitigação do risco de se efetuarem obras de reabilitação deficientes.

6.2 Desenvolvimentos futuros

Após a conclusão deste trabalho, em trabalhos de investigação posteriores seria importante:

- Realizar uma base de dados sobre as paredes de tabique, com o objetivo de reunir toda a informação possível, por exemplo caracterização geométrica (de todos os elementos), pormenorização construtiva e principais propriedades físicas, químicas e mecânicas, com enfoque neste caso nos ligadores metálicos. Este tipo de base de dados seria um auxiliar precioso para o desenvolvimento de trabalhos futuros de investigação e para toda a comunidade ligada à reabilitação do edificado antigo;
- Aprofundar o estudo de cada material utilizado numa parede de tabique e o papel que esta desempenha no comportamento global do edifício, através da realização de campanhas de inspeção e recolha de amostras para a realização de ensaios laboratoriais;
- Realizar ensaios a paredes de tabique completas (com revestimentos e com todos os ligadores metálicos), simulando o seu comportamento global, por forma a aferir de forma concreta a forma como este tipo de estruturas responde a solicitações reais, por exemplo recorrendo a ensaios de compressão paralelos às fibras (direção das tábuas verticais) e ensaios de compressão / corte;
- Fazer simulações numéricas sobre o comportamento das paredes de tabique, utilizando programas de cálculo avançados com base, por exemplo, em elementos finitos.

Em todos os casos o enfoque seria no papel dos ligadores metálicos no conjunto do sistema construtivo (paredes de tabique).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Appleton, J. (2003). “*Reabilitação de edifícios antigos. Patologias e técnicas de intervenção*”. Edições Orion. ISBN: 972-8620-03-9. Lisboa.

Cardoso, R.; Paiva, A.; Murta, A.; Varum, H.; Nunes, L.; Ramos, L. (2011). *Building details of a tabique dwelling in Trás-os-Montes e Alto Douro region*. International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, Portugal.

Cardoso, R. (2013). *Construção de tabique: Construção sustentável*. Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

Cardoso, R.; Pinto, J.; Paiva, A.; Lanzinha, J. (2015) *Tipologias Estruturais e Modelação Numérica de Paredes de Tabique na Região Vinhateira do Alto Douro*. Proceedings of CONPAT 2015. XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção. XV Congresso de Controlo de Qualidade na Construção. Construção 2015: Congresso Luso-Africano da Construção. Instituto Superior Técnico (IST).

CECI (2007), acedido o em 24 de agosto, 2020, de http://ct.ceci-br.org/ceci/br/pesquisa-ceci/estudos/oficios-tradicionais/ferro-a-forja.html?fbclid=IwAR1Nb_Yks83i6hCZ6UJI0iZo3W5KjGTXOBBFvneRjWixDjpGijhtOHjPEw

Cunha, J. (2016). *Caracterização do património edificado do centro histórico de Viseu*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Viseu, Portugal.

Domingues, F. (2014). *Caracterização do comportamento estrutural das paredes de tabique*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Tecnologia de e Gestão de Viseu, Viseu, Portugal.

Ensaio de dureza Vickers – LABTESTE, acedido em 5 de dezembro, 2021 de <https://www.labteste.com.br/ensaio-dureza-vickers>

Fernandes, C. (2016). *Avaliação experimental do comportamento mecânico de paredes de tabique*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Viseu, Portugal.

Gonçalves, C. Pinto, J., Vieira, J., Silva, P., Paiva, A., Ramos, L., Tavares, P., Fernandes, F., Varum, H. (2017). *Tabique construction in the Municipalities Association of the Terra*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Quente Transmontana. Congresso Latest Trends on Cultural Heritage and Tourism, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

Lourenço, P. e Branco, J. (2012). *Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI*. IRISE, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

Mafalda Amorim, Bruno Quelhas da Silva & João Miranda Guedes (2018). *Experimental assessment of in-plane mechanical behavior of tabique walls*. International Journal of Architectural Heritage, DOI: 10.080/15583058.2018.1442514.

Morar na pré-história. Acedido em 25 de setembro, 2020, de Lunatykas interiors (lunatykasinteriores.blogspot.com)

National Institutes Of Health – Image J. IMAGE J. Disponível em: <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>. Recuperado em 16 de abril de 2020

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

NP EN 10 002-1 (1990). *Materiais metálicos – Ensaio de tração. Parte 1: Método de ensaio (à temperatura ambiente)*. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

Oliveira E. Veiga, Galhano F. (1992). “*Arquitetura tradicional Portuguesa*”. Publicações D. Quixote. ISBN: 972-20-0959-1. Lisboa.

Padrão, J.; Guedes, J.; Pinto, J.; Arêde, A. (2020). *As paredes de tabique em Viseu – Detalhes construtivos e caracterização material*. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas. Ed. LNEC. Série III. n.º 14, pag.71-84. ISSN 2183-8488.

Padrão, J.; Pinto, R. (2014). *Caracterização experimental das paredes de tabique do centro histórico de Viseu*. 9th International Masonry Conference 2014, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

Pena, A. (2008). *Análise do Comportamento Sísmico de um Edifício Pombalino*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Pinto, J.; Varum, H.; Cruz, D.; Sousa, D.; Morais, P.; Tavares, P.; Lousada, J.; Silava, P.; Vieira, J. (2010). *Tabique Construction Characterization in Douro North Valley, Portugal: A First Step to Preserve this Architectural Heritage*. Trás-os-Montes e Alto Douro University

Pinto, J.; Gülay, G.; Vieira, J.; Meltem, V.; Varum, H.; Engin Bal, I.; Costa, A. (2014). *Save the Tabique Construction*. Artigo escolar “Building Pathology and Rehabilitatio”, Universidade de Aveiro, Portugal.

Pinto, R. (2013). *Caracterização das paredes de tabique do centro histórico de Viseu; estudo numérico*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Tecnologia de e Gestão de Viseu, Viseu, Portugal.

Pires, A. (2013). “*Análise de paredes de tabique e de medidas de reforço estrutural; Estudo numérico*.”. Dissertação para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em engenharia civil — especialização em estruturas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.

Rotholaas (2019). “*Catálogo de chapas e conectores para madeira*”. Cortaccia BZ, Italia.

Rotholaas (2020). “*Catálogo de chapas e conectores para madeira*”. Cortaccia BZ, Italia.

Vantyne, C. (2008). *Correlation of Yield Strength and Tensile Strength with Hardness for Steels*. Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 17, pp. 888-893.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÊNDICE A – DIMENSÕES DOS LIGADORES METÁLICOS

Quadro 7: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L1, Piso 1 (Ed.1)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção constante (C)	2,52	0,22	0,11
2			2,53	0,21	0,12
3			2,50	0,22	0,09
4			2,54	0,22	0,10
5			2,51	0,23	0,11
6			2,49	0,23	0,10
7			2,53	0,23	0,10
8			2,51	0,22	0,11
9			2,50	0,22	0,09
10			2,51	0,20	0,11
11			2,49	0,21	0,09
12			2,00	0,21	0,11
13			2,05	0,21	0,11
Média (cm):			2,44	0,22	0,10
Máximo (cm):			2,54	0,23	0,12
Mínimo (cm):			2,00	0,20	0,09
Desvio Padrão (cm):			0,18	0,01	0,01
Coeficiente de variação:			7,54%	4,26%	9,79%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

Quadro 8: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L2, Piso 3 (Ed.1)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção variável (V)	6,49	1,18	0,30
2			5,70	1,03	0,36
3			7,05	S.D.	0,42
Média (cm):			6,41	1,11	0,36
Máximo (cm):			7,05	1,18	0,42
Mínimo (cm):			5,70	1,03	0,30
Desvio Padrão (cm):			0,68	0,11	0,06
Coeficiente de variação:			10,58%	9,60%	17,66%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada; S.D. – Sem dados.

Quadro 9: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L3 (Ed.2)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção constante (C)	8,20	0,65	0,34
2			7,89	0,79	0,32
3			8,07	0,67	0,32
4			8,01	0,61	0,33
5			7,99	0,63	0,34
6			8,29	0,64	0,33
7			8,29	0,60	0,38
8			8,13	0,66	0,32
9			8,10	S.D.	0,33
Média (cm):			8,11	0,66	0,33
Máximo (cm):			8,29	0,79	0,38
Mínimo (cm):			7,89	0,60	0,32
Desvio Padrão (cm):			0,14	0,06	0,02
Coeficiente de variação:			1,68%	8,99%	5,94%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada; S.D. – Sem dados.

Quadro 10: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L4 (Ed.2)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção constante (C)	9,21	0,71	0,35
2			8,85	0,69	0,38
3			9,21	0,71	0,35
4			9,05	0,69	0,39
5			9,21	0,76	0,37
6			8,74	0,65	0,36
7			8,29	0,66	0,33
8			9,08	0,77	0,38
9			9,15	0,73	0,35
10			9,01	0,66	0,37
Média (cm):			8,98	0,70	0,36
Máximo (cm):			9,21	0,77	0,39
Mínimo (cm):			8,29	0,65	0,33
Desvio Padrão (cm):			0,29	0,04	0,02
Coeficiente de variação:			3,22%	5,89%	5,16%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

Quadro 11: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L4 (Ed.2)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção constante (C)	6,72	0,61	0,31
2			6,72	0,65	0,31
3			6,82	0,76	0,31
4			6,83	0,72	0,33
5			6,75	0,66	0,32
6			6,74	0,71	0,32
7			6,78	0,67	0,30
8			6,63	0,61	0,31
9			6,03	0,71	0,30
Média (cm):			6,67	0,68	0,31
Máximo (cm):			6,83	0,76	0,33
Mínimo (cm):			6,03	0,61	0,30
Desvio Padrão (cm):			0,25	0,05	0,01
Coeficiente de variação:			3,70%	7,55%	3,43%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

Quadro 12: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L5 (Ed.2)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção constante (C)	4,80	0,49	0,24
2			4,71	0,51	0,21
3			4,55	0,49	0,21
4			4,61	0,49	0,22
5			4,41	0,49	0,23
6			4,69	0,49	0,22
7			4,40	0,39	0,21
8			4,62	0,49	0,24
9			4,61	0,51	0,24
10			4,85	0,52	0,21
11			4,59	0,51	0,22
Média (cm):			4,62	0,49	0,22
Máximo (cm):			4,85	0,52	0,24
Mínimo (cm):			4,40	0,39	0,21
Desvio Padrão (cm):			0,14	0,03	0,01
Coeficiente de variação:			3,04%	7,11%	5,79%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

Quadro 13: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L6, Piso 0 (Ed.1)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção constante (C)	4,23	0,56	0,21
2			4,12	0,56	0,21
3			4,24	0,54	0,22
4			4,30	0,49	0,22
5			4,90	0,63	0,24
6			4,79	0,61	0,23
7			5,07	0,64	0,24
8			5,01	0,61	0,24
9			4,96	0,41	0,25
10			5,07	0,62	0,22
11			5,02	0,57	0,24
12			4,76	0,53	0,26
13			4,27	0,66	0,25
14			4,29	0,66	0,24
15			4,16	0,53	0,22
Média (cm):			4,61	0,57	0,23
Máximo (cm):			5,07	0,66	0,26
Mínimo (cm):			4,12	0,41	0,21
Desvio Padrão (cm):			0,38	0,07	0,01
Coeficiente de variação:			8,30%	11,98%	6,23%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

Quadro 14: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L6, Piso 1 (Ed.1)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção constante (C)	4,55	0,49	0,22
2			4,43	0,50	0,21
3			2,54	0,44	0,19
4			4,91	0,65	0,21
5			4,31	0,51	0,23
6			4,53	0,49	0,21
7			3,86	0,46	0,21
8			4,46	0,50	0,22
9			4,49	0,51	0,21
10			3,79	0,43	0,21
11			3,89	S.D.	0,23
Média (cm):			4,19	0,50	0,21
Máximo (cm):			4,91	0,65	0,23
Mínimo (cm):			2,54	0,43	0,19
Desvio Padrão (cm):			0,67	0,06	0,01
Coeficiente de variação:			15,90%	12,15%	5,10%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada; S.D. – Sem dados.

Quadro 15: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L6, Piso 2 (Ed.1)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção variável (V)	4,22	0,73	0,23
2			4,29	0,55	0,23
3			4,22	0,64	0,23
4			4,29	0,55	0,24
5			3,78	0,58	0,23
6			4,27	0,50	0,24
7			3,38	0,55	0,21
8			4,44	0,58	0,23
9			4,16	0,74	0,27
10			4,16	0,54	0,23
11			4,26	0,55	0,22
12			4,25	0,54	0,24
13			3,79	0,43	0,22
14			4,39	0,58	0,23
15			3,43	0,51	0,22
16			4,34	0,50	0,22
17			4,19	0,60	0,22
Média (cm):			4,11	0,57	0,23
Máximo (cm):			4,44	0,74	0,27
Mínimo (cm):			3,38	0,43	0,21
Desvio Padrão (cm):			0,32	0,08	0,01
Coeficiente de variação:			7,73%	13,69%	5,83%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

Quadro 16: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L6, Piso 3 (Ed.1)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção constante (C)	4,49	0,51	0,21
2			4,60	0,51	0,26
3			5,00	0,59	0,25
4			4,35	0,52	0,23
5			4,50	0,55	0,22
6			4,21	0,60	0,21
7			4,69	0,55	0,22
8			4,60	0,50	0,21
Média (cm):			4,56	0,54	0,22
Máximo (cm):			5,00	0,60	0,26
Mínimo (cm):			4,21	0,50	0,21
Desvio Padrão (cm):			0,24	0,04	0,02
Coeficiente de variação:			5,17%	7,01%	8,88%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

Quadro 17: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L6 (Ed.3)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais						
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)		Secção Transversal (**) D (cm)			
						Direção 1		Direção 2	
						Máx.	Méd.	Máx.	Méd.
1	Manufaturado (M)	Secção variável (V)	5,94	0,36	0,98	0,41	0,34	0,31	0,24
2			6,75	0,30	0,95	0,46	0,41	0,31	0,27
3			6,02	0,33	0,90	0,41	0,33	0,27	0,24
4			5,95	0,31	0,71	0,40	0,29	0,40	0,23
5			5,94	0,47	0,83	0,46	0,36	0,27	0,25
6			5,89	0,39	0,80	0,45	0,34	0,28	0,24
7			6,78	0,31	0,88	0,41	0,33	0,21	0,23
8			5,76	0,49	0,81	0,43	0,37	0,29	0,27
9			6,49	0,40	0,81	0,41	0,33	0,27	0,25
10			5,80	0,53	1,03	0,44	0,35	0,30	0,26
11			6,07	0,57	1,15	0,33	0,32	0,21	0,23
12			5,53	0,59	0,92	0,46	0,38	0,28	0,25
13			5,90	0,45	0,79	0,40	0,32	0,26	0,22
15			5,50	0,86		0,38	0,34	0,38	0,34
Média (cm):			6,02	0,42	0,89	0,42	0,34	0,29	0,25
Máximo (cm):			6,78	0,59	1,15	0,46	0,41	0,40	0,34
Mínimo (cm):			5,50	0,30	0,71	0,33	0,29	0,21	0,22
Desvio Padrão (cm):			0,39	0,10	0,12	0,04	0,03	0,05	0,03
Coeficiente de variação:			6,53%	23,96%	13,26%	8,66%	8,75%	18,28%	11,76%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

Quadro 18: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L7 (Ed.3)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais						
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)		Secção Transversal (**) D (cm)			
						Direção 1		Direção 2	
						Máx.	Méd.	Máx.	Méd.
1	Manufaturado (M)	Secção variável (V)	8,06	0,56	1,31	0,55	0,48	0,40	0,36
2			9,51	0,77	1,34	0,63	0,48	0,34	0,31
3			8,66	0,54	1,17	0,45	0,42	0,45	0,39
4			10,51	0,62	1,06	0,56	0,48	0,37	0,33
5			9,69	0,74	1,34	0,49	0,38	0,43	0,38
6			10,37	0,60	1,41	0,61	0,46	0,36	0,32
7			9,89	0,61	0,99	0,48	0,42	0,44	0,40
8			9,88	0,70	1,23	0,58	0,48	0,39	0,35
9			9,51	0,50	1,25	0,54	0,44	0,51	0,43
10			9,67	0,65	1,16	0,49	0,42	0,42	0,33
11			7,88	0,48	1,11	0,55	0,51	0,44	0,40
12			10,17	0,49	1,17	0,51	0,43	0,48	0,42
13			10,70	0,49	1,13	0,53	0,43	0,37	0,32
14			9,83	0,54	0,95	0,58	0,47	0,36	0,31
15			7,78	0,64	1,16	0,51	0,47	0,38	0,36
Média (cm):			9,47	0,60	1,19	0,54	0,45	0,41	0,36
Máximo (cm):			10,70	0,77	1,41	0,63	0,51	0,51	0,43
Mínimo (cm):			7,78	0,48	0,95	0,45	0,38	0,34	0,31
Desvio Padrão (cm):			0,94	0,09	0,13	0,05	0,04	0,05	0,04
Coeficiente de variação:			9,97%	15,56%	11,04%	9,34%	7,84%	11,91%	11,15%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

Quadro 19: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L7, Piso 2 (Ed.2)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção variável(V)	6,31	S.D.	0,33
2			6,92	0,69	0,46
3			5,72	S.D.	0,27
Média (cm):			6,32	0,69	0,35
Máximo (cm):			6,92	0,69	0,46
Mínimo (cm):			5,72	0,69	0,27
Desvio Padrão (cm):			0,60	-	0,10
Coeficiente de variação:			9,50%	-	27,00%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada; S.D. – Sem dados.

Quadro 20: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L7 (Ed.2)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção constante (C)	11,05	0,72	0,46
2			11,18	0,71	0,41
3			11,18	0,75	0,42
4			10,79	0,74	0,41
5			11,16	0,77	0,41
6			11,31	0,75	0,42
7			11,25	0,75	0,39
8			10,27	0,73	0,39
9			10,19	0,88	0,41
Média (cm):			10,93	0,76	0,41
Máximo (cm):			11,31	0,88	0,46
Mínimo (cm):			10,19	0,71	0,39
Desvio Padrão (cm):			0,42	0,05	0,02
Coeficiente de variação:			3,88%	6,62%	4,72%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

Quadro 21: Dimensões dos ligadores metálicos referentes à ligação L8, Piso 2 (Ed.1)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões Gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção variável (V)	17,75	1,76	0,73

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

Quadro 22: Dimensões dos ligadores metálicos relativamente à ligação L8 (Ed.2)

Amostra	Origem	Tipo Secção	Dimensões gerais		
			Comprimento L (cm)	Dimensão da Cabeça (*) C (cm)	Secção Transversal (**) D (cm)
1	Manufaturado (M)	Secção constante (C)	15,74	1,05	0,55
2			15,14	1,15	0,53
3			14,85	0,99	0,53
Média (cm):			15,24	1,06	0,54
Máximo (cm):			15,74	1,15	0,55
Mínimo (cm):			14,85	0,99	0,53
Desvio Padrão (cm):			0,45	0,08	0,01
Coeficiente de variação:			2,98%	7,60%	2,15%

(*) – Aproximadamente redonda; (**) – Quadrada.

APÊNDICE B – ENSAIO DE VICKERS

Quadro 23: Valores do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 1 (sem inclusões)

Indentação	Molde 1 - sem inclusões					[HV] Média	[HV] Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5			
1	127	174	160	183	161	161,00	19,03	11,82
2	154	151	164	159	170	159,60	6,83	4,28
3	201	120	129	139	138	145,40	28,64	19,70
4	105	112	149	154	100	124,00	22,83	18,41
5	118	169	176	194	189	169,20	27,11	16,02
6	146	133	124	118	133	130,80	9,50	7,26
7	149	166	152	140	181	157,60	14,37	9,12

Quadro 24: Valores do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 1 (com inclusões)

Indentação	Molde 1 - com inclusões					[HV] Média	[HV] Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5			
1	172	183	190	153	144	168,40	17,47	10,37
2	112	193	161	203	206	175,00	35,31	20,18
3	117	127	155	151	111	132,20	17,78	13,45
4	132	131	134	149	140	137,20	6,68	4,87
5	170	161	205	183	175	178,80	14,92	8,34
6	179	96	168	121	133	139,40	30,49	21,87
7	171	167	174	163	169	168,80	3,71	2,20

Quadro 25: Valores do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 2 (sem inclusões)

Indentação	Molde 2 - sem inclusões					[HV] Média	[HV] Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5			
1	200	188	191	208	186	194,60	8,24	4,23
2	174	153	203	163	154	169,40	18,42	10,88

APÊNDICE B

Quadro 26: Valores do ensaio de microdureza de Vickers, Molde 2 (com inclusões)

Indentação	Molde 2 - com inclusões					[HV] Média	[HV] Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5			
1	216	180	202	205	198	200,20	11,74	5,86
2	138	173	202	151	139	160,60	24,24	15,09