

Tese para obtenção do grau de Doutor em
Engenharia Civil
(3º ciclos de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Jorge Tiago Queirós da Silva Pinto
Professor Auxiliar da Escola de
Ciências e Tecnologia da Universidade
de Trás-os-Montes e Alto Douro

Coorientadora: Prof.^a Doutora Anabela Gonçalves Correia de Paiva
Professora Associada da Escola de
Ciências e Tecnologia da Universidade
de Trás-os-Montes e Alto Douro

Coorientador: Prof. Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha
Professor Auxiliar da Faculdade de
Engenharia da Universidade
da Beira Interior

Aos meus Pais, aos meus irmãos e à minha namorada, Cláudia.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Jorge Tiago Pinto, a Professora Anabela Paiva e ao Professor João Lanzinha, o meu agradecimento pelo apoio e pela valiosa orientação na definição do âmbito e da estrutura deste trabalho. Em particular ao Professor Tiago Pinto pela sua enorme disponibilidade, motivação e paciência ao longo deste trabalho. À Professora Anabela Paiva pelo apoio prestado e por ter autorizado a utilização dos laboratórios de Engenharia Civil da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Ao Professor João Lanzinha pelas valiosas sugestões e por ter sugerido a utilização do Centro de Ótica da UBI e do Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Eletromecânica da UBI.

À Dr.^a Lisete Fernandes, da Unidade de Microscopia Eletrónica da UTAD, pela ajuda na realização dos ensaios de análise química (SEM/EDS) e de difração de raios X, das amostras de material de enchimento das construções de tabique.

À Dr.^a Ana Gomes, do Centro de Ótica da UBI, pela colaboração na realização dos ensaios de análise química (SEM/EDS) e de difração de raios X das amostras de pregos das construções de tabique.

Ao Professor José Lousada, do Departamento das Ciências Florestais da UTAD, pela ajuda prestada na identificação das espécies de madeira das amostras das construções.

À Eng.^a Conceição Damião, do Laboratório de Geotecnia da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Oliveira do Hospital do Instituto Politécnico de Coimbra, pela ajuda e apoio na realização dos ensaios de caracterização do material de enchimento das construções de tabique.

À Professora Paula Luísa Braga, do Departamento de Engenharia Mecânica da UTAD, pelo apoio prestado na realização dos ensaios metalográficos sobre as amostras dos pregos das construções de tabique.

Ao Professor Abílio Silva, do Departamento de Engenharia Eletromecânica da Faculdade de Engenharia da UBI, pela disponibilidade e colaboração prestada na realização dos ensaios de determinação da microdureza da liga que constitui as amostras dos pregos.

À Câmara Municipal de Lamego, em particular ao Engenheiro Luís Guedes pelas informações cedidas.

A todas as pessoas que permitiram visitar os seus edifícios de tabique, recolher amostras de diversos materiais, fotografias e pormenores construtivos, que foram elementos essenciais na realização deste trabalho.

Finalmente, à minha família e à minha namorada Cláudia, pelo incentivo à realização deste trabalho.

RESUMO

A região de Trás-os-Montes e Alto Douro e em particular o concelho de Lamego apresentam um imenso e valioso património de construções de tabique. Esta técnica de construção, que se encontra em desuso em Portugal desde o início do século XX, testemunha uma técnica de construção que recorre essencialmente a materiais naturais e locais, tais como a terra e a madeira, podendo definir-se como um processo construtivo sustentável. O facto de as construções de tabique apresentarem um avançado estado de degradação e de existir ainda uma escassez de estudos científicos nesta área justificou a realização desta tese.

O principal objetivo deste trabalho de investigação consistiu em estudar e caracterizar as construções de tabique existentes no concelho de Lamego, de forma a incentivar a sua reabilitação, bem como promover a utilização desta técnica construtiva em edifícios novos.

Para atingir este objetivo foi efetuado um vasto trabalho de campo que resultou num registo fotográfico, na análise e catalogação de edifícios de tabique, num estudo das suas principais características e da tipologia da estrutura interna das paredes de tabique e ainda na recolha de amostras dos materiais de construção. Foram ainda determinadas as dimensões dos elementos de tabique, e dos seus constituintes, ou seja, dos elementos de madeira que constituem a estrutura das paredes de tabique e dos pregos utilizados na conexão dos elementos de madeira, entre outras. Com base nestes dados foram elaborados desenhos de pormenor relativos a este tipo de paredes e à conexão entre os seus elementos de madeira. Os resultados demonstraram que os edifícios de tabique têm características diferentes nos aglomerados urbanos e rurais, que os elementos de madeira apresentam uma grande variedade de tipologias e de dimensões e que a conexão entre os elementos de madeira é do tipo apoio rotulado.

Foi ainda realizado um estudo experimental de identificação e caracterização dos materiais utilizados na construção de tabique: o material de enchimento, a madeira e os pregos. Para o efeito, foram realizados ensaios normalizados e expeditos de caracterização da granulometria e plasticidade, análises SEM/EDS, ensaios de difração de raios X, ensaios de dureza Vickers, análises metalográficas e observações macroscópicas e microscópicas de cortes histológicos de amostras de madeira. Os resultados indicam que as espécies de madeira utilizadas são o pinho bravo e o castanho, que o material de enchimento é constituído por um silte arenoso e que os pregos são essencialmente constituídos por ferro.

Também se efetuou uma análise numérica das paredes de tabique onde se desenvolveram e propuseram modelos numéricos de simulação do seu comportamento estrutural. Este estudo permitiu verificar, entre outros, que as ripas de madeira do fasquio das paredes de tabique, em determinadas condições, definem um sistema de distribuição de carga concordante com o Eurocódigo 5.

Palavras-chave: Construção em tabique, caracterização de materiais, materiais naturais, estruturas compósitas madeira-terra.

ABSTRACT

The region of Trás-os-Montes e Alto Douro and in particular the municipality of Lamego have an immense and valuable heritage of tabique buildings. This construction technique, which has fallen into disuse in Portugal since the beginning of the XX century, witnessed a construction practice that uses natural and local materials, such as land and timber. Therefore, it can be defined as a sustainable constructive process. The fact that tabique construction submit an advanced state of disrepair and that there is still a dearth of scientific studies in this area justified the realization of this thesis.

The main objective of this research was to study and characterize the tabique buildings in the municipality of Lamego, in order to encourage their rehabilitation, as well as the constructive use of this technique in new buildings.

To achieve this goal, a vast field work was made that resulted in a detailed photographic recording, an analysis and cataloging of tabique buildings, a study of its main characteristics and the type of tabique wall internal structure and also in the collection of samples of building materials. The dimensions of partition elements, and its constituents, namely the wood elements, which constitute the structure of partition walls, and the nails used in the connection of the wood elements, among others, were also determined. Based on these data, detailed drawings related to the walls and the connection between the wood elements were elaborated. The results, clearly demonstrate that tabique buildings have different characteristics in rural and urban areas, the wooden feature a wide variety of types and sizes and the connection between the timber elements is of the swivel type.

In the scope of this thesis, it was further conducted an experimental identification and characterization of the materials used in the construction of partition walls: the filling material, wood and nails. For this purpose, assays were performed and normalized expedient characterization of particule syze and plastification, SEM/EDS analyses, X-ray diffraction, Vickers hardness test, metallographic analyses, and macroscopic and microscopic observations of histological sections samples of wood. The results indicated that the main species of wood used are *Pinus pinaster* and *castanea sativa mill*, the mortar is an earth-based material composed of silt, sand and clay, and the nails are mainly made of iron.

A numerical analysis of the partition walls was performed, where numerical models to simulate the structural behavior of the tabique walls were developed and proposed as an important framework for future studies in this area. This study showed, inter alia, that the internal wood structure of tabique walls, under certain conditions, defines a system of load distribution consistent with Eurocode 5.

Key-words: Tabique construction, material characterization, raw materials, composite timber-earth structures.

ÍNDICE

Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Justificação do tema proposto e objetivos	3
1.3 Metodologia	5
1.4 Estrutura e organização da tese.....	6
Capítulo 2 A construção de terra	9
2.1 Objetivos	9
2.2 Introdução.....	10
2.3 A construção de terra no mundo - passado e presente.....	10
2.4 Principais técnicas construtivas	15
2.4.1 O adobe ou adobo	15
2.4.1.1 O adobe no mundo	16
2.4.1.2 O adobe em Portugal	17
2.4.1.3 A técnica de construir em adobe.....	18
2.4.1.4 Principais inconvenientes do adobe	20
2.4.2 A taipa	21
2.4.2.1 A taipa no mundo	21
2.4.2.2 A taipa em Portugal	23
2.4.2.3 Características construtivas da taipa.....	24
2.4.2.4 Inconvenientes da construção em taipa.....	26
2.4.3 O tabique.....	26
2.4.3.1 O tabique no mundo	27
2.4.3.2 O tabique em Portugal	28
2.4.3.3 Principais características das construções de tabique	29
2.5 Porquê construir com terra	30
2.6 Organizações que promovem a construção de terra.....	31
2.6.1 ICCROM	31
2.6.2 Grupo CRATerre - Ensag	32
2.6.3 PROTERRA.....	32
2.6.4 ICOMOS	32
2.6.5 Associação Centro da Terra.....	33
2.6.6 UNESCO	33
2.7 Normas para a construção de terra	33
2.8 Considerações finais.....	35

Capítulo 3 Caracterização das construções de tabique do concelho de Lamego	37
3.1 Objetivos	37
3.2 Introdução	38
3.3 Motivação deste estudo	39
3.4 Caracterização do concelho de Lamego	40
3.4.1 Localização administrativa e geográfica	40
3.4.2 Demografia	41
3.4.3 Economia	42
3.4.4 Morfologia, geologia e clima	42
3.4.5 Ocupação do solo	43
3.4.6 Breve história da cidade de Lamego.	44
3.4.6.1 Origem e povoamento	44
3.4.6.2 Evolução da cidade após a reconquista cristã	44
3.4.7 O património cultural da cidade	45
3.4.8 Lamego, património mundial da UNESCO	46
3.5 As construções de tabique no concelho de Lamego	47
3.5.1 As construções de tabique nas freguesias de Lamego	47
3.5.2 As construções de tabique na cidade de Lamego	49
3.5.2.1 O centro histórico da cidade e as suas construções de tabique	49
3.5.2.2 Licenciamento de obras de construção de tabique	50
3.6 Caraterização das construções de tabique do concelho de Lamego	53
3.6.1 Metodologias e ferramentas utilizadas na caracterização das construções	54
3.6.1.1 Metodologia de realização do trabalho de campo	54
3.6.1.2 Metodologia de estudo estatístico e de identificação das amostras	55
3.6.1.3 Ficha de levantamento das construções de tabique	56
3.6.2 Resultados do trabalho de campo e do estudo estatístico	58
3.6.2.1 Tipo de utilização	58
3.6.2.2 Número de pisos	60
3.6.2.3 Função dos elementos de tabique	62
3.6.2.4 Paredes exteriores e interiores	63
3.6.2.4.1 Paredes exteriores	63
3.6.2.4.2 Paredes interiores	65
3.6.2.5 Modelos de disposição das paredes exteriores de tabique	66
3.6.2.6 Revestimento exterior e interior das paredes de tabique	69
3.6.2.6.1 Revestimento exterior	69
3.6.2.6.2 Revestimento interior	72
3.6.2.7 Material de enchimento	73
3.6.2.8 Ano de construção	75

3.6.2.9 Estado de conservação	76
3.6.2.10 Obras de conservação, de restauro ou de reabilitação	81
3.7 Considerações finais	83
Capítulo 4 Materiais de construção e detalhes construtivos.....	87
4.1 Objetivos	87
4.2 Introdução	87
4.3 Descrição das paredes de tabique	88
4.3.1 Tipologias de paredes.....	89
4.3.1.1 Paredes exteriores	89
4.3.1.2 Paredes interiores.....	94
4.3.2 Dimensões das paredes	96
4.3.2.1 Dimensões globais.....	96
4.3.2.2 Dimensões dos elementos constituintes de paredes	98
4.4 Análise detalhada do sistema construtivo de um edifício	103
4.4.1 Localização e descrição do edifício de tabique	103
4.4.2 Descrição do sistema estrutural global	104
4.4.3 Pormenores construtivos	107
4.4.3.1 Cobertura e sótão	107
4.4.3.2 Paredes de tabique	109
4.4.3.3 Pavimentos	115
4.4.4 Estado de conservação	117
4.4.5 Sequência construtiva	118
4.5 Materiais das paredes de tabique	120
4.5.1 Material de enchimento e de revestimento.....	121
4.5.2 Estrutura	121
4.5.2.1 Ripas do fasquio	121
4.5.2.2 Tábuas e prumos	123
4.5.2.3 Preparação das amostras e observações macro e microscópicas	124
4.5.2.4 Resultados da identificação da espécie de madeira das amostras	124
4.5.3 Pregos.....	126
4.5.3.1 Amostras	126
4.5.3.2 Preparação das amostras	128
4.5.3.3 Os ensaios de análise microestrutural e da microdureza	129
4.5.3.4 Resultados dos ensaios de caracterização das amostras dos pregos	131
4.6 Considerações finais	136
Capítulo 5 Caracterização experimental e classificação da terra utilizada na construção	139
5.1 Objetivos	139
5.2 Introdução	139

5.3 Contexto	140
5.3.1 Os ensaios	141
5.3.1.1 Granulometria	141
5.3.1.1.1 Ensaio de peneiração e de sedimentação	142
5.3.1.1.2 Ensaio de avaliação qualitativa da granulometria	143
5.3.1.2 Plasticidade	143
5.3.1.2.1 Determinação dos Limites de <i>Atterberg</i>	144
5.3.1.2.2 Ensaio de avaliação qualitativa da plasticidade	145
5.3.1.3 Composição química e mineralógica elementares	145
5.3.1.3.1 Ensaio de microscopia eletrónica de varrimento e de difração de raios X	146
5.3.1.3.2 Ensaio de avaliação qualitativa da composição química e mineralógica	146
5.3.2 Classificação da terra	146
5.3.2.1 Sistema unificado de classificação da terra	146
5.3.2.2 Classificação alternativa da terra	147
5.3.3 Aptidão da terra a ser utilizada na construção	147
5.4 Caracterização e identificação da terra utilizada nas construções de tabique	150
5.4.1 Apresentação das amostras	151
5.4.2 Preparação das amostras e realização dos ensaios	157
5.4.2.1 Análise granulométrica	157
5.4.2.2 Plasticidade	159
5.4.2.3 Composição química elementar	162
5.4.2.4 Composição mineralógica elementar	163
5.4.3 Apresentação dos resultados	164
5.4.3.1 Análise granulométrica	165
5.4.3.2 Plasticidade	171
5.4.3.3 Composição química e mineralógica elementares	175
5.4.4 Estudo adicional e resultados	179
5.4.5 Análise e discussão dos resultados	180
5.4.6 Proposta de ensaios a usar na caracterização da terra utilizada no tabique	183
5.4.7 Proposta de fuso granulométrico para a terra a usar na construção de tabique	185
5.5 Considerações finais	186
Capítulo 6 Proposta de modelação numérica de paredes de tabique	187
6.1 Objetivos	187
6.2 Introdução	188
6.3 Generalidades	189
6.3.1 Instabilidade e conceitos fundamentais	189
6.3.2 O programa de cálculo automático adotado	192
6.3.2.1 O método dos elementos finitos	192
6.3.2.2 A matriz de rigidez de uma barra comprimida	193

6.3.3 O Eurocódigo 5 (EC5).....	194
6.3.3.1 Propriedades dos materiais.....	194
6.3.3.2 Resistência à compressão.....	196
6.3.4 Correlação entre a curva de resistência do EC5 e a curva de resistência obtida através do SAP 2000.....	197
6.4 Modelação numérica de paredes de tabique.....	200
6.4.1 Estudo de uma tábuia de madeira isolada.....	201
6.4.1.1 Descrição do modelo de cálculo.....	201
6.4.1.2 Validação da aplicação SAP 2000.....	202
6.4.1.3 Verificação da capacidade resistente da tábuia.....	203
6.4.2 Parede de tabique estudada.....	204
6.4.2.1 Modelos numéricos propostos.....	205
6.4.2.2 Previsão da carga crítica de Euler e estudo do contributo estrutural das ripas do fasquio.....	209
6.4.2.3 Comportamento a ações horizontais.....	215
6.4.2.3.1 Ações horizontais atuantes no plano da parede.....	215
6.4.2.3.2 Ações horizontais atuantes transversalmente à parede.....	220
6.5 Estudo paramétrico.....	224
6.5.1 Espécie de madeira.....	224
6.5.2 Largura das tábuas e afastamento entre tábuas.....	228
6.5.3 Dimensões das ripas e afastamento entre ripas do fasquio.....	229
6.6 Considerações finais.....	230
Capitulo 7 Conclusões e trabalho futuro	233
Referências bibliográficas	239
Anexos	259

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1 - Construções de terra na antiguidade, [Trindade, 2008].....	11
Figura 2.2 - Áreas de construção de Terra, [http://craterre.org , acessado em 04/03/2010].	11
Figura 2.3 - Construção de terra na América	12
Figura 2.4 - Construção de terra na Ásia	12
Figura 2.5 - Construção de terra na África	12
Figura 2.6 - Construção de terra na Europa, [Doat & Schneegans, 2005 e Spence, 2007].....	13
Figura 2.7 - Distribuição geográfica em Portugal continental das principais técnicas tradicionais, [Jorge <i>et al.</i> , 2005]	14
Figura 2.8 - Construção de terra no Mundo na modernidade	15
Figura 2.9 - O bloco de adobe, [Doat <i>et al.</i> , 1979]	15
Figura 2.10 - Produção e emprego de adobe	15
Figura 2.11 - O adobe na antiguidade, [Minke, 2006]	16
Figura 2.12 - Grandes construções de adobe	16
Figura 2.13 - Cúpula de adobe, Gernot Minke, 1993, Kassel, Alemanha, [Minke, 2007].....	17
Figura 2.14 - Construções de adobe em Aveiro, [Varum <i>et al.</i> , 2006]	18
Figura 2.15 - Colapso de construções de adobe, sismo de Bam, 26 de Dezembro 2003, Irão, [Isik, 2006]	20
Figura 2.16 - Reforço dos cantos, [Minke, 2006]	21
Figura 2.17 - Execução da taipa.....	21
Figura 2.18 - Grandes construções em Taipa no Mundo.....	22
Figura 2.19 - Edifícios de Taipa na Europa, [Minke, 2006]	22
Figura 2.20 - Construções em taipa na Europa	23
Figura 2.21 - Edifícios de taipa nos Estados Unidos e Austrália, [Murta, 2009 e Hall & Djerbib, 2004-b].....	23
Figura 2.22 - Construções de taipa em Portugal, [Doat & Schneegans, 2005]	24
Figura 2.23 - Construções contemporâneas de taipa em Portugal, [Gomes <i>et al.</i> , 2008-a]....	24
Figura 2.24 - Estrutura de madeira do tabique.....	27
Figura 2.25 - Construções de tabique no mundo	27
Figura 2.26 - Tabique na Europa	28
Figura 2.27 - Construções de tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro	29
Figura 2.28 - Parede de tabique, [Segurado, 1909].....	29
Figura 2.29 - Esquema de paredes de tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro	30

Capítulo 3

Figura 3.1 - Construções de tabique em Lamego, [http://www.cm-lamego.pt , acessado em 01/02/2011]	39
Figura 3.2 - Pinturas a óleo, [http://davincigallery.net , acessado em 04/08/2010].....	39

Figura 3.3 - O concelho de Lamego.....	41
Figura 3.4 - Património cultural de Lamego	46
Figura 3.5 - Região demarcada do Douro e região vinhateira do Alto Douro [Andresen <i>et al.</i> , 2004]	47
Figura 3.6 - Construções de tabique nas freguesias do concelho de Lamego, parte I.....	47
Figura 3.7 - Construções de tabique nas freguesias do concelho de Lamego, parte II	48
Figura 3.8 - Construções de tabique no Centro Histórico da Cidade de Lamego,	50
Figura 3.9 - Edifício com mansardas de tabique [Arquivo Municipal de Lamego]	51
Figura 3.10 - Obra de demolição e de reconstrução de um edifício de tabique.....	52
Figura 3.11 - Edifício de tabique antes de ser demolido	52
Figura 3.12 - Distribuição geográfica da localização das construções de tabique estudadas, [http://googlemaps.pt, acessado em 02/01/2012]	55
Figura 3.13 - Amostras estudadas.....	56
Figura 3.14 - Ficha de levantamento adotada.....	57
Figura 3.15 - Tipo de utilização	59
Figura 3.16 - Percentagem de edifícios de tabique <i>versus</i> utilização	59
Figura 3.17 - Número de pisos dos edifícios de tabique	61
Figura 3.18 - Frequência relativa dos edifícios de tabique <i>versus</i> número de pisos.....	61
Figura 3.19 - Outras funções dos elementos de tabique.....	62
Figura 3.20 - Fasquiado.....	63
Figura 3.21 - Paredes exteriores, solução A	63
Figura 3.22 - Paredes exteriores, solução B	64
Figura 3.23 - Percentagem de edifícios de tabique <i>versus</i> tipo de parede exterior	64
Figura 3.24 - Paredes interiores dos edifícios de tabique	66
Figura 3.25 - Exemplos de edifícios referentes aos modelos de disposição de paredes exteriores	66
Figura 3.26 - Esquema do modelo de disposição A	67
Figura 3.27 - Esquema do modelo de disposição B	67
Figura 3.28 - Esquema do modelo de disposição C	68
Figura 3.29 - Mansarda na cobertura.....	68
Figura 3.30 - Tipos de revestimento exterior de paredes de tabique	69
Figura 3.31 - Revestimento exterior pintado	70
Figura 3.32 - Revestimento exterior misto.....	71
Figura 3.33 - Percentagem de edifícios de tabique <i>versus</i> tipo de revestimento exterior	71
Figura 3.34 - Revestimento interior das paredes de tabique	72
Figura 3.35 - Tipos de revestimento interior não convencionais das paredes de tabique	73
Figura 3.36 - Revestimento interior diferenciado de paredes de tabique	73
Figura 3.37 - Materiais incorporados ao material de enchimento.....	74
Figura 3.38 - Inscrição relativa ao ano de construção	75
Figura 3.39 - Ano de construção de edifícios de tabique	76

Figura 3.40 - Escala de conservação, [Pinto <i>et al.</i> , 2010-a]	77
Figura 3.41 - Mecanismo de degradação.....	78
Figura 3.42 - Estado de conservação: Perfeito	78
Figura 3.43 - Estado de conservação: Bom	79
Figura 3.44 - Estado de conservação: Degradado	79
Figura 3.45 - Estado de conservação: Muito degradado.....	79
Figura 3.46 - Estado de conservação: Ruína	80
Figura 3.47 - Ocorrência dos estados de conservação.....	80
Figura 3.48 - Edifícios de tabique rehabilitados	81
Figura 3.49 - Esquema de reabilitação de paredes de tabique	82
Figura 3.50 - Reabilitação de uma mansarda	82
Figura 3.51 - Frequência relativa de ocorrência de obras de conservação, restauro ou reabilitação	83

Capítulo 4

Figura 4.1 - Tipologias da estrutura de madeira das paredes exteriores de tabique	90
Figura 4.2 - Esquema de uma parede exterior de tabique da tipologia A	91
Figura 4.3 - Esquema de uma parede exterior de tabique da tipologia B	92
Figura 4.4 - Esquema de uma parede exterior de tabique da tipologia C	93
Figura 4.5 - Estrutura de madeira das paredes interiores de tabique.....	94
Figura 4.6 - Esquema da solução estrutural de madeira de uma parede interior da tipologia A	95
Figura 4.7 - Esquema da solução estrutural de madeira de uma parede interior de tabique da tipologia B.....	96
Figura 4.8 - Exemplo das estruturas de madeira de uma parede de tabique consideradas mais representativas.....	98
Figura 4.9 - Construção de tabique de referência	104
Figura 4.10 - Construção de tabique de referência.....	105
Figura 4.11 - Planta do rés-do-chão	106
Figura 4.12 - Planta do andar.....	106
Figura 4.13 - Solução do sistema estrutural de madeira da cobertura.....	108
Figura 4.14 - Pormenor construtivo da ligação da estrutura da cobertura à parede exterior e ao pavimento, detalhe IV	108
Figura 4.15 - Solução do sistema estrutural da parede interior ao nível da cobertura	109
Figura 4.16 - Solução do sistema estrutural da parede de tabique da empena ao nível da cobertura.....	109
Figura 4.17 - Paredes de tabique	110
Figura 4.18 - Detalhe construtivo da parede interior do edifício de referência.....	111
Figura 4.19 - Detalhe construtivo da parede exterior do edifício de referência	111

Figura 4.20 - Tipo de secção transversal e dimensões das ripas de uma parede exterior de tabique	112
Figura 4.21 - Desalinhamento das emendas das ripas de uma parede exterior de tabique ...	112
Figura 4.22 - Ligação de canto de uma parede exterior com uma parede interior	113
Figura 4.23 - Ligação de canto entre duas paredes exteriores	113
Figura 4.24 - Ligação de tábuas ao frechal e conexão de canto de paredes exteriores	114
Figura 4.25 - Conexão entre tábua vertical e frechal	114
Figura 4.26 - Ligação entre frechais ortogonais e conexão destes à parede de alvenaria.....	114
Figura 4.27 - Ligação entre uma parede interior de tabique e o teto do andar, detalhe V ...	115
Figura 4.28 - Ligação entre a parede interior de tabique e o pavimento do andar, detalhe VII	115
Figura 4.29 - Pavimento do andar	116
Figura 4.30 - Proposta da sequência construtiva. Parte I	118
Figura 4.31 - Proposta da sequência construtiva. Parte II.....	119
Figura 4.32 - Proposta da sequência construtiva. Parte III	119
Figura 4.33 - Paredes de tabique	121
Figura 4.34 - Amostras de ripas de madeira	122
Figura 4.35 - Secções transversais das ripas	122
Figura 4.36 - Amostras de tábuas e de prumos de madeira	123
Figura 4.37 - Secções transversais das tábuas e dos prumos de madeira.....	123
Figura 4.38 - Equipamento utilizado na identificação das espécies de madeira	124
Figura 4.39 - Conexão entre elementos	126
Figura 4.40 - Pregos recolhidos durante o trabalho de campo	127
Figura 4.41 - Esquema dos pregos	127
Figura 4.42 - Equipamento utilizado no corte, montagem e lixagem das amostras de pregos	129
Figura 4.43 - Equipamento utilizado no polimento e na limpeza das amostras de pregos	129
Figura 4.44 - Equipamento utilizado na análise microscópica	130
Figura 4.45 - Equipamento utilizado nas análises SEM/EDS e no ensaio de microdureza <i>Vickers</i>	130
Figura 4.46 - Imagens da microestrutura da superfície das amostras dos pregos recolhidos, parte I.....	131
Figura 4.47 - Imagens da microestrutura da superfície das amostras dos pregos recolhidos, parte II.....	132
Figura 4.48 - Imagens da microestrutura da superfície das amostras de pregos atuais.....	133
Figura 4.49 - Imagens SEM da microestrutura da superfície das amostras dos pregos	135

Capítulo 5

Figura 5.1 - Curva granulométrica	143
Figura 5.2 - Estados de consistência da terra [Neves <i>et al.</i> , 2009]	144

Figura 5.3 - Fusos granulométricos recomendados para diferentes técnicas construtivas, [Cyted, 2003 e Delgado & Guerrero, 2007]	149
Figura 5.4 - Construções de tabique estudadas	151
Figura 5.5 - Localização das construções de tabique estudadas no lugar de São Gião [http://maps.google.com, acessado em 04/04/2011]	152
Figura 5.6 - Localização geográfica dos pontos de recolha das amostras de terra local.....	152
Figura 5.7 - Locais de extração das amostras de terra local.....	153
Figura 5.8 - Localização dos pontos de extração das amostras de material de enchimento recolhidas na construção C1	154
Figura 5.9 - Localização dos pontos de recolha das amostras nos elementos PIA, PIB e PE...	156
Figura 5.10 - Amostras recolhidas	156
Figura 5.11 - Ensaio de peneiração	157
Figura 5.12 - Ensaio de sedimentação	158
Figura 5.13 - Equipamento utilizado nos ensaios de avaliação qualitativa da granulometria.	158
Figura 5.14 - Ensaios de caracterização granulométrica das amostras C2, C3, C4, C5, C6 e C7	159
Figura 5.15 - Ensaio da lavagem das mãos	159
Figura 5.16 - Determinação do limite de liquidez	160
Figura 5.17 - Determinação do limite de liquidez da amostra C2.....	160
Figura 5.18 - Fases da determinação do limite de plasticidade	161
Figura 5.19 - Preparação de amostras para o ensaio do brilho, da queda de bola, da aderência e da exsudação.....	161
Figura 5.20 - Ensaio do brilho, da queda de bola, da aderência e da exsudação	162
Figura 5.21 - Ensaio da resistência seca, do cordão e da fita	162
Figura 5.22 - Análise SEM/EDS.....	163
Figura 5.23 - Equipamento para análises por difração de raios X.....	164
Figura 5.24 - Ensaio do ácido	164
Figura 5.25 - Curvas granulométricas das amostras C1Ai.....	165
Figura 5.26 - Curvas granulométricas das amostras Ci	165
Figura 5.27 - Curvas granulométricas das amostras SLi.....	166
Figura 5.28 - Curvas granulométricas das amostras da terra de enchimento (C1Ai e Ci) e de terra local (SLi).....	167
Figura 5.29 - Adequabilidade da terra de acordo com [Cyted, 2003]	169
Figura 5.30 - Determinação do limite de plasticidade (LP)	171
Figura 5.31 - Ensaio da aderência e da resistência seca.....	173
Figura 5.32 - Ensaio da fita	174
Figura 5.33 - Microestrutura das amostras	177
Figura 5.34 - Ensaio do ácido	178
Figura 5.35 - Origem local da terra, freguesia de Sande	181
Figura 5.36 - Proposta de fuso granulométrico para a construção de tabique.....	185

Figura 5.37 - Fuso granulométrico proposto e fuso proposto por [Cyted, 2003]	185
--	-----

Capítulo 6

Figura 6.1 - Equilíbrio de uma esfera sobre uma superfície	189
Figura 6.2 - O problema de Euler	191
Figura 6.3 - Modos de encurvadura	192
Figura 6.4 - Teoria de Euler e curva de instabilidade do EC5	199
Figura 6.5 - Modelo de cálculo estrutural de uma tábua vertical isolada	201
Figura 6.6 - Modos de encurvadura do modelo estrutural	203
Figura 6.7 - Modelo de cálculo da parede de tabique a modelar numericamente	204
Figura 6.8 - Modelo numérico A	207
Figura 6.9 - Modelo numérico B	207
Figura 6.10 - Modelo numérico C	208
Figura 6.11 - Configuração das deformadas, do 1º modo de encurvadura, do modelo numérico A	210
Figura 6.12 - Configuração das deformadas, do 1º modo de encurvadura, do modelo numérico B	210
Figura 6.13 - Configuração das deformadas de encurvadura do modelo numérico C	211
Figura 6.14 - Carga de encurvadura vs modo de encurvadura	213
Figura 6.15 - Instabilidade global lateral	215
Figura 6.16 - Elementos <i>Shell</i> do submodelo A1	216
Figura 6.17 - Pormenores da malha de elementos finitos dos submodelos numéricos C1 e C2	217
Figura 6.18 - Parede deformada do submodelo numérico A1	218
Figura 6.19 - Campo de tensões resultante da aplicação do submodelo numérico A1	218
Figura 6.20 - Estrutura deformada obtida através da aplicação dos submodelos numéricos C1 e C2	219
Figura 6.21 - Campo de tensões resultante da aplicação do submodelo numérico C2	220
Figura 6.22 - Malha de elementos finitos dos modelos numéricos A e C	221
Figura 6.23 - Deformada da parede quando sujeita à pressão (ampliação de 100x)	222
Figura 6.24 - Deformada da parede quando sujeito a uma força horizontal atuante transversalmente (ampliação 30x)	223
Figura 6.25 - Carga crítica vs Espécie de madeira, resultante da aplicação do modelo numérico A	226
Figura 6.26 - Deslocamento horizontal vs Espécie de madeira	227
Figura 6.27 - Deslocamento transversal (direção y) vs Espécie de madeira	227
Figura 6.28 - Deslocamento transversal vs Largura das tábuas	228
Figura 6.29 - Carga crítica vs Tipos de fasquio	230

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 2.1 - Constituintes da taipa, [Doat <i>et al.</i> , 1979].....	25
Tabela 2.2 - Normas para a construção de terra.....	35

Capítulo 3

Tabela 3.1 - Dados da população residente, [INE, 1993, INE, 2002 e INE, 2011].....	41
Tabela 3.2 - Ocupação do solo no concelho de Lamego [www.Florestis.pt em 09/10/2011]..	43
Tabela 3.3 - Coordenadas GPS das construções de tabique	49
Tabela 3.4 - Principais patologias e a escala de conservação	77

Capítulo 4

Tabela 4.1 - Dimensões globais de algumas paredes de tabique	97
Tabela 4.2 - Dimensões dos elementos de madeira das paredes de tabique interiores.....	99
Tabela 4.3 - Dimensões dos elementos de madeira das paredes de tabique exteriores	100
Tabela 4.4 - Valores médios, mínimos e máximas das dimensões da Tabela 4.3.....	101
Tabela 4.5 - Relação entre elementos construtivos e materiais.	120
Tabela 4.6 - Identificação das espécies de madeira das amostras das ripas.....	125
Tabela 4.7 - Identificação da espécie de madeira das amostras de tábuas e prumos.....	125
Tabela 4.8 - Caracterização dos grupos das amostras de pregos.....	128
Tabela 4.9 - Análise química elementar (% mássica)	132
Tabela 4.10 - Número de dureza <i>Vickers</i>	134

Capítulo 5

Tabela 5.1 - Nomenclatura dos constituintes da terra [E-219, 1968]	143
Tabela 5.2 - Ensaio de avaliação da plasticidade da terra	145
Tabela 5.3 - Classificação da terra segundo o CRATerre [Neves <i>et al.</i> , 2009]	147
Tabela 5.4 - Índice de plasticidade da terra [Minke, 2006]	147
Tabela 5.5 - Recomendações para a proporção das diferentes frações, [Delgado & Guerrero, 2007, Doat <i>et al.</i> , 1979, Quagliarini <i>et al.</i> , 2010 e Cyted, 2003]	148
Tabela 5.6 - Valores adequados do limite de liquidez (LL) e do índice de plasticidade (IP) ..	149
Tabela 5.7 - Classificação USCS para construção de tabique	150
Tabela 5.8 - Classificação do tipo de terra e adequação da técnica, adaptado de [CEPED, 1984]	150
Tabela 5.9 - Coordenadas GPS das construções e dos pontos de extração da terra local	153
Tabela 5.10 - Nomenclatura utilizada na designação das amostras	155
Tabela 5.11 - Densidade das partículas das amostras (g/cm ³).....	167
Tabela 5.12 - Valores médios da composição granulométrica das amostras	168
Tabela 5.13 - Resultados do ensaio de identificação táctil e visual	169

Tabela 5.14 - Resultados do ensaio de caracterização por tamanhos das partículas.....	170
Tabela 5.15 - Resultados do ensaio visual por peneiração expedita	170
Tabela 5.16 - Resultados do ensaio da mordidela e da lavagem das mãos.....	170
Tabela 5.17 - Determinação do limite de liquidez (LL) [NP 143-1969].....	171
Tabela 5.18 - Determinação do limite de plasticidade (LP) [NP 143-1969]	172
Tabela 5.19 - Plasticidade das amostras de terra das construções de tabique e da terra local	172
Tabela 5.20 - Resultados dos ensaios do brilho e da queda de bola.....	173
Tabela 5.21 - Resultados do ensaio da aderência e do ensaio da resistência seca	174
Tabela 5.22 - Resultados do ensaio do cordão e da fita	175
Tabela 5.23 - Resultados da análise SEM/EDS	176
Tabela 5.24 - Composição mineralógica da terra das construções	177
Tabela 5.25 - Resultados do ensaio do ácido	178
Tabela 5.26 - Resultados dos ensaios da cor e do cheiro	179
Tabela 5.27 - Resultados da análise SEM/EDS do estudo complementar	180
Tabela 5.28 - Valores médios da composição granulométrica das amostras	181
Tabela 5.29 - Ensaio de identificação e de caracterização do material terra do tabique - Textura	183
Tabela 5.30 - Ensaio de identificação e de caracterização do material terra do tabique - Propriedades.....	184

Capítulo 6

Tabela 6.1 - Fator de modificação, k_{mod} , [EN 1995-1-1, 2004].....	194
Tabela 6.2 - Classe de duração das ações, [EN 1995-1-1, 2004]	195
Tabela 6.3 - Classes de serviço, [EN 1995-1-1, 2004]	195
Tabela 6.4 - Propriedades mecânicas e físicas da classe de resistência C18 da madeira de pinho nacional [EN338, 2003]	198
Tabela 6.5 - Propriedades geométricas e mecânicas da secção transversal da tábua	202
Tabela 6.6 - Validação dos resultados numéricos.....	203
Tabela 6.7 - Carga de encurvadura dos modelos para a rigidez real do frechal superior	214
Tabela 6.8 - Características mecânicas e físicas de madeiras nacionais usadas em estruturas, [Carvalho, 1996] e [Benoit, 1997]	225
Tabela 6.9 - Propriedades mecânicas e físicas das classes de resistência C24 e D30 [EN338, 2003].....	225
Tabela 6.10 - Características geométricas dos fasquios	229

LISTA DE ACRÓNIMOS

a.C. - Antes de Cristo
ABNT- Associação brasileira de normas técnicas
ASTM - American society for testing materials
BTC - Bloco de terra comprimida
Cdt - Associação centro da terra
CRATERRE-EAG - Centre international de la construction en terre
CYTED - Programa ibero-americano de ciência e tecnologia para o desenvolvimento
d.C. - Depois de Cristo
DGEMN - Direção geral dos edifícios e monumentos nacionais
DRX - Difração de raio-X
EC5 - Eurocódigo 5, norma EN 1995-1-1 [2004]
EDS - Energy dispersive spectroscopy
ESTGOH - Escola superior de tecnologia e gestão de Oliveira do Hospital
FCG - Fundação Calouste Gulbenkian
GPS - Global positioning system
HV - Número de dureza *Vickers*
ICCROM - Centro internacional de estudos para a conservação e restauro de bens culturais
ICOMOS - Conselho internacional dos monumentos e dos sítios
IPC - Instituto politécnico de Coimbra
IPPAR - Instituto português do património arquitetónico
LL - Limite de liquidez
LNEC - Laboratório nacional de engenharia civil
LP - Limite de plasticidade
NP - Norma portuguesa
NUTS - Nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos
SAP - Structural analysis program
SEM - Scanning electron microscope
UBI - Universidade da Beira Interior
UM - Unidade de microscopia
UNESCO - Organização das nações unidas para a educação ciência e cultura
USCS - Unified soil Classification System
UTAD - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

SÍMBOLOS

Símbolos matemáticos

[] Matriz

{ } Vetor

Letras gregas

β_c Coeficiente que depende do tipo de madeira

γ_M Coeficiente parcial de segurança

λ Esbelteza da peça linear

$\lambda_{rel,y}$ Esbelteza relativa em relação ao eixo y

$\lambda_{rel,z}$ Esbelteza relativa em relação ao eixo z

λ_y Esbelteza em relação ao eixo y

λ_z Esbelteza em relação ao eixo z

ν Coeficiente de Poisson

ρ_k Densidade característica da madeira

ρ_{mean} Densidade média da madeira

σ_{ced} Tensão de cedência

$\sigma_{c,0,d}$ Tensão de cálculo à compressão paralela às fibras

σ_{cr} Tensão crítica

$\sigma_{m,d}$ Tensão de cálculo à flexão

$\sigma_{m,y,d}$ Tensão de cálculo à flexão em relação ao eixo y

$\sigma_{m,z,d}$ Tensão de cálculo à flexão em relação ao eixo z

Ω Área da secção transversal

Letras latinas

b Largura da secção

C_c Coeficiente de correlação

d Vetor dos deslocamentos

E Módulo de elasticidade longitudinal

E_d Módulo de elasticidade longitudinal de cálculo

E_{mean} Módulo de elasticidade longitudinal médio

$E_{0,05}$ Percentil de 5 % do módulo de elasticidade paralelo às fibras

F_{sd}	Força horizontal localizada no plano da parede
f	Vetor das forças atuantes
$f_{c,0,d}$	Tensão resistente de cálculo à compressão
$f_{c,0,k}$	Tensão resistente característica à compressão paralela às fibras
$f_{m,k}$	Resistência à flexão média na direção paralela às fibras
$f_{m,d}$	Resistência de cálculo à flexão na direção paralela às fibras
$f_{m,y,d}$	Tensão resistente à flexão em relação ao eixo principal de inércia y
$f_{m,z,d}$	Tensão resistente à flexão em relação ao eixo principal de inércia z
$f_{t,0,k}$	Tensão resistente característica à tração na direção paralela às fibras
$f_{v,k}$	Tensão resistente característica ao corte
G_d	Módulo de distorção de cálculo
G_{mean}	Módulo de distorção médio
h	Altura da secção
I	Momento de inércia em relação aos eixos principais centrais de inércia
i	Raio de giração em relação aos eixos principais centrais de inércia
i_y	Raio de giração em relação ao eixo y
i_z	Raio de giração em relação ao eixo z
K	Matriz de rigidez da estrutura
k_{sys}	Fator de carga partilhada
k_h	Coeficiente que depende da altura da secção fletida
k_{mod}	Fator de modificação
k_m	Coeficiente que depende do tipo de secção
k_y	Coeficiente em relação ao eixo y
k_z	Coeficiente em relação ao eixo z
$k_{c,y}$	Coeficiente de encurvadura em relação ao eixo y
$k_{c,z}$	Coeficiente de encurvadura em relação ao eixo z
l	Comprimento de encurvadura
M_{sd}	Momento fletor atuante
n	Número inteiro
N_{EC5}	Esforço axial de com o Eurocódigo 5
$N_{EC5,d}$	Esforço axial de cálculo de acordo com o Eurocódigo 5
P	Esforço axial atuante
P_{cr}	Carga crítica
PH_{sd}	Força com direção perpendicular ao plano da parede
P_{sd}	Força vertical

p_{sd}	Carga uniformemente distribuída vertical
$p_{s,d}$	Pressão uniformemente distribuída com direção horizontal
X_d	Valor de cálculo
X_k	Valor característico
y	Coordenada da deformação transversal
z	Abcissa do eixo da peça linear

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

De acordo com alguns autores, Filemio [2009] e Galán-Marín *et al.* [2010], a construção de terra é uma técnica construtiva que remonta ao período neolítico. Os primeiros vestígios de construções de terra localizam-se no Médio Oriente, na cidade de Jericó, e datam de há cerca de 10 mil anos. O material terra terá sido utilizado por diversos povos ao longo de vários milénios, tais como os povos da antiga Mesopotâmia e do antigo Egito, os fenícios na costa Ocidental do Mar Mediterrâneo, as civilizações grega e romana, e os povos da América Central e Latina. A Muralha da China e as Pirâmides de Saqqarah no Egito são exemplos de construções de terra. Estima-se que no início dos anos oitenta do século passado um terço da população mundial, espalhada pelos cinco continentes, habitava em edifícios de terra que eram construídos com recurso a tecnologias de terra diferenciadas [Dethier, 1983 e Minke, 2006]. Nos países em vias de desenvolvimento, estima-se que cerca de 50 % da população rural e 20 % da população urbana habite neste tipo de construções [Houben & Guillaud, 1995] e [Guillaud, 2009]. De facto, nos dias de hoje, nas mais diversas regiões do globo terrestre, excetuando a Antártida, a terra é um dos recursos mais utilizado na construção de edifícios de habitação, traduzindo deste modo a identidade, a história, a cultura e a forma de vida dos povos.

A construção de terra apresenta inúmeras vantagens que justificam a sua existência. A terra é um material natural, abundante, facilmente acessível e que necessita de equipamentos e de tecnologias simples no seu processo de preparação [Olotuah, 2002 e Filemio, 2009]. A terra pode ser escavada, empilhada, moldada, prensada, apilada, recortada e extrudida. A terra é reciclável, ecológica, sustentável e energeticamente eficiente. Estes atributos aplicam-se nas

fases de preparação, de construção, de utilização, de manutenção e na fase de demolição. Por sua vez, as suas propriedades materiais contribuem para a obtenção de um conforto térmico desejado e de uma solução construtiva que regule a humidade relativa interior [Figueiredo & Casbur, 2006 e Parisi *et al.*, 2006].

Face à relevância do património construído de terra, existem importantes organizações nacionais e internacionais que se dedicam ao estudo, à preservação, à divulgação, à promoção e à reabilitação de construção de terra. O ICCROM (Centro Internacional de Estudos para a Conservação e Restauro de Bens Culturais), o grupo CRATerre, o *Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento* - CYTED que criou o projeto de investigação PROTERRA, o ICOMOS (Conselho Internacional dos Monumentos e dos Sítios), a Associação Centro da Terra e a UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) são alguns exemplos dessas organizações.

São conhecidas múltiplas técnicas de construção de terra. No entanto, destacam-se três técnicas particularmente difundidas tanto no mundo como em Portugal. Essas técnicas construtivas de terra são o adobe, a taipa e o tabique. A técnica construtiva de adobe baseia-se na pré-fabricação de blocos de terra argilosa, que são moldados em adobeiras e secos naturalmente. Esta técnica foi muito utilizada pelos Romanos. Em Portugal, o concelho de Aveiro será talvez o mais rico neste tipo de património de terra tal como referido por Varum *et al.* [2005] e por Martins & Varum [2006]. Por sua vez, a taipa é uma técnica construtiva monolítica de paredes resistentes de terra, que consiste no apiloamento da terra humedecida dentro de uma cofragem de madeira, as taipas. A grande Muralha da China, que data do século III a.C., foi construída com terra compactada e forrada exteriormente com pedras naturais. Em Portugal, esta técnica construtiva representa um sistema construtivo milenar que perdurou até aos anos 50 e 60 do século XX. A taipa era a técnica construtiva mais utilizada no Alentejo, no Algarve e no Ribatejo. O castelo de Paderne, construído nos séculos XI e XII, e os castelos de Silves, de Alcácer do Sal, de Salir, de Juromenha e de Moura exemplificam a arquitetura militar islâmica em taipa [Correia, 2005, Beirão, 2005, Bastos, 2005 e Beirão *et al.*, 2007]. Paralelamente, o tabique é uma técnica construtiva que consiste em construir uma estrutura resistente de madeira e preencher os vazios deixados entre os elementos de madeira com terra. De acordo com Dethier [1986] e Minke [2006], esta técnica construtiva remonta também ao período neolítico e poderá ser mais antiga do que a taipa e o adobe. Em Portugal, o tabique é uma das técnicas construtivas da arquitetura vernácula portuguesa e é caracterizada por ser económica e simples. Podem encontrar-se vestígios desta técnica construtiva em praticamente todo o território nacional. Todavia, no Norte do país, no qual se integra a região de Trás-os-Montes e Alto Douro, dispõe-se de um vasto espólio de construções de tabique. Esta técnica construtiva foi muito relevante até cerca de 1930, altura em que se deu a introdução massiva do betão armado. De acordo com Pinto *et al.* [2009 e 2010-a] e a propósito da construção de tabique da região de Trás-os-Montes e Alto

Douro, um elemento construtivo de tabique, como por exemplo uma parede, é construído através da pregagem de um fasquio, ripas de madeira geralmente finas e dispostas horizontalmente em ambas as faces de um conjunto de tábuas de madeira colocadas de forma regular na vertical, sendo este sistema estrutural revestido por terra ou por uma argamassa bastarda terrosa. De acordo com Pinto *et al.* [2011 e 2010-b], o material de enchimento e de revestimento aplicado desempenha um papel importante na preservação do elemento construtivo de tabique.

É importante referir que desde 2008, se tem vindo a realizar um trabalho de investigação dedicado ao estudo da construção de tabique existente em toda a região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Até à data e de forma resumida, esse trabalho de investigação tem-se focado basicamente em averiguar a existência de forma generalizada deste tipo de construção na região, em proceder a um levantamento de aspetos técnicos relativos a este tipo de construção específicos desta região, em identificar e em caracterizar experimentalmente os materiais de construção mais correntemente aplicados. Deste modo, as seis Associações de Municípios da região de Trás-os-Montes e Alto Douro foram estudadas de forma autónoma e aleatória em termos temporais. Através deste trabalho, já foi possível provar que existe construção de tabique em toda a região embora a sua incidência seja mais acentuada nos Municípios localizados na zona Sul desta região. Verificou-se também, que a solução mais típica de construção de tabique é referente a um edifício de habitação com um ou dois pisos e cujo rés-do-chão é muitas vezes destinado a arrumos ou comércio. Por sua vez, o elemento construtivo de tabique mais relevante é o relativo a paredes. Estas podem ser interiores ou exteriores. Um esforço adicional de recolha de informação relativamente a paredes de tabique também foi realizado nesse trabalho de investigação. Contudo, ainda não foi possível estudar aprofundadamente inúmeros aspetos técnicos importantes para o conhecimento desta técnica construtiva. Desenvolver um registo devidamente documentado sobre os aspetos construtivos de tabique é uma tarefa que ainda carece ser continuada. A proposta de soluções de reabilitação e de reforço é outra tarefa que ainda necessita de muito trabalho de investigação. O estudo aprofundado de avaliação do ciclo de vida deste tipo de construção também necessita de ser desenvolvido, de forma a ser possível perceber com rigor técnico a mais-valia deste tipo de construção em relação às construções atuais, em termos de sustentabilidade. É precisamente no seguimento desse trabalho de investigação que esta tese de doutoramento se enquadra.

1.2 Justificação do tema proposto e objetivos

Muito do património de tabique existente na região de Trás-os-Montes e Alto Douro apresenta um estado de degradação avançado devido essencialmente ao facto de estar vetado ao abandono e de não haver processos de manutenção regulares. É necessário implementar medidas urgentes capazes de contribuir para a conservação e para a reabilitação deste

património no sentido de conseguir que esta riqueza material e cultural possa ser transmitida para as gerações vindouras. Paralelamente, este tipo de construção tradicional tem a interessante particularidade de utilizar essencialmente materiais naturais e locais tais como, a pedra, a madeira e a terra, conferindo-lhe uma relevância significativa no contexto da sustentabilidade. A forma inteligente como estes materiais são combinados entre si e aplicados em obra, as técnicas construtivas simples que são usadas e o reduzido equipamento necessário, são outros fatores que reforçam a ideia de que a construção de tabique possa ter um interesse adicional na perspetiva da construção sustentável. Havendo um conhecimento científico mais aprofundado sobre a temática do tabique, haverá certamente um leque de ferramentas que poderão auxiliar na resolução dos problemas referidos anteriormente. Inovação tecnológica poderá advir do conhecimento desta técnica e a proposta de novas soluções construtivas poderá tornar-se realidade. Todos estes factos aliados à existência de poucos trabalhos científicos neste contexto e, em particular, que incidam nesta região, são motivos que justificam a realização deste trabalho de investigação.

Este trabalho de investigação foi desenvolvido com o intuito de dar continuidade à aquisição de conhecimentos técnicos sobre o tabique e de os disponibilizar para a comunidade, de dar continuidade à criação de uma base de dados fidedigna, de valorizar este tipo de construção perante todos os agentes e de promover a relevância da sua manutenção. Neste contexto, e baseado na experiência adquirida na realização de todo o trabalho de investigação desenvolvido anteriormente, achou-se fundamental restringir ainda mais o espectro territorial a estudar, de forma a ser possível efetuar um estudo mais detalhado, exaustivo e completo. Deste modo, o concelho de Lamego foi a área selecionada. O facto do concelho de Lamego estar integrado na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, de estar integrado na Associação de Municípios do Vale do Douro Sul (ser das mais localizadas a Sul), de apresentar um rico património construído de tabique (quer em quantidade, quer em diversidade), de pertencer ao Alto Douro Vinhateiro que foi classificado como património mundial da humanidade e, também, por questões logísticas, foram as principais razões que motivaram a escolha deste concelho. Este trabalho tem também uma importância acrescida atendendo a que permitiu estabelecer uma ponte entre todo o trabalho desenvolvido no passado sobre o tabique existente na região de Trás-os-Montes e Alto Douro e porque foi permitindo o estabelecimento de paralelismos e discrepâncias entre os vários resultados obtidos.

Face ao exposto, desenvolveu-se um trabalho investigação cujos objetivos foram os seguintes:

- Contribuir para a valorização e a promoção da construção de tabique na comunidade científica, na comunidade técnica e no público em geral, de forma a incentivar a preservação deste património;
- Enquadrar a construção de tabique existente no concelho de Lamego, na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, nas técnicas construtivas de terra existentes no Mundo;

- Analisar e catalogar este tipo de construção do ponto de vista das suas principais características, tais como o uso, o número de pisos, o revestimento exterior, o estado de degradação e a existência de obras de conservação, restauro ou de reabilitação. Complementar esta análise com a realização de um estudo estatístico sobre estas características. Criar bases de dados, relativas às dimensões dos elementos de madeira da estrutura das paredes de tabique, às dimensões e tipologias dos pregos utilizados na conexão dos elementos de madeira e das tipologias da estrutura interna das paredes de tabique, entre outras;
- Caracterizar e classificar os principais materiais utilizados nas construções de tabique. Averiguar as qualidades de sustentabilidade da construção de tabique e demonstrar que esta técnica poderá servir de modelo de referência para o estudo de novas técnicas construtivas ou produtos tecnológicos de cariz ambiental;
- Investigar modelos de cálculo que permitam simular o comportamento mecânico das paredes de tabique quando atuadas por forças verticais e horizontais que traduzam a sobrecarga de utilização, a ação dos sismos e do vento. Simultaneamente averiguar o contributo das ripas de madeira do fasquio e do material de enchimento na capacidade resistente das paredes de tabique.

1.3 Metodologia

Por sua vez, a metodologia necessária à realização deste trabalho de investigação foi de âmbito transversal, no contexto da Engenharia Civil, e consistiu nas tarefas seguintes:

- Efetuar uma revisão bibliográfica abrangente nas várias temáticas identificadas, recolher elementos em instituições públicas (Biblioteca, Câmara e Arquivo Municipal) e recolher testemunhos juntos de técnico do município, proprietário e empresas de construções de tabique;
- Realizar um intenso trabalho de campo com vista a proceder a um levantamento rigoroso do edificado onde existam elementos construtivos de tabique, no concelho de Lamego. Este levantamento incluiu: a recolha de informação acerca de diversas características técnicas que definem as construções de tabique, a avaliação do seu estado de conservação, a identificação de pormenores construtivos específicos do tabique, a recolha de amostras de material para posterior estudo experimental e a elaboração de um registo fotográfico, entre outras;
- Realizar um trabalho experimental em laboratório usando as amostras de materiais recolhidas durante o trabalho de campo de forma a identificar e caracterizar os materiais usados. Esta informação é importantíssima porque auxiliou na modelação numérica realizada neste trabalho e permitirá auxiliar futuros trabalhos de reabilitação;
- Modelar numericamente uma parede de tabique através de vários modelos de cálculo, usando um programa de cálculo automático capaz de efetuar uma análise de elementos

finitos. Através desta modelação numérica pretende-se perceber adequadamente o comportamento das paredes de tabique, avaliar a sua capacidade resistente às ações verticais e horizontais e auscultar a influência das ripas de madeira na sua capacidade resistente. Nesta modelação numérica efetuou-se um estudo paramétrico das particularidades das paredes de tabique, tal como as espécies de madeira utilizadas, a largura e o espaçamento das tábuas verticais e as dimensões e afastamento das ripas do fasquio.

1.4 Estrutura e organização da tese

Esta tese de doutoramento está estruturada em sete capítulos. Em seguida apresenta-se de forma sumária o conteúdo de cada capítulo.

No Capítulo 1 refere-se o enquadramento deste trabalho de investigação, justifica-se o tema escolhido, indicam-se os principais objetivos deste trabalho, a metodologia utilizada e a forma como este documento está organizado.

No Capítulo 2 efetuou-se uma breve retrospectiva sobre a construção de terra onde algumas obras emblemáticas de terra são evidenciadas. Também se deu um destaque especial às principais técnicas construtivas de terra (o adobe, a taipa e o tabique). Fez-se uma primeira descrição das construções de tabique existentes em Portugal e na região de Trás-os-Montes e Alto Douro. As vantagens inerentes à construção de terra foram também alvo de destaque neste capítulo. Simultaneamente, algumas das principais instituições e organismos mundiais que promovem e divulgam a construção de terra foram também identificados. Assim como, alguns documentos normativos de referência sobre construção de terra.

A caracterização dos edifícios de tabique existentes no concelho de Lamego é realizada no Capítulo 3. Apresenta-se ainda a análise da informação recolhida durante o trabalho de campo.

O estudo experimental exaustivo de identificação e de caracterização dos materiais de construção específicos de edifícios de tabique existentes no concelho de Lamego é apresentado e descrito detalhadamente no Capítulo 4 desta tese. Neste capítulo, também se identificam as principais tipologias da estrutura de madeira adotadas na construção de paredes de tabique. Todo este trabalho foi complementado com a elaboração de vários detalhes construtivos alusivos ao tabique e com a proposta de uma possível sequência construtiva de um edifício de habitação tradicional de tabique.

O estudo experimental de identificação e de caracterização do material de enchimento aplicado nas paredes das construções de tabique foi continuado no Capítulo 5, por se ter considerado importante realizar um conjunto expressivo e complementar de ensaios

expeditos em relação aos ensaios correntemente utilizados neste contexto. Deste modo, foi possível propor um fuso granulométrico representativo do material terra utilizado nas construções de tabique de Lamego e também propor um conjunto de ensaios considerados adequados para a identificação e para a caracterização do material de enchimento das paredes de tabique.

O Capítulo 6 está centrado no estudo do comportamento estrutural de paredes de tabique. Neste capítulo alguns modelos numéricos de complexidade crescente capazes de simularem o comportamento estrutural de paredes de tabique foram estudados, analisados e propostos, utilizando o método dos elementos finitos. Aspectos técnicos relativos ao fasquio, ao modo como este liga à superestrutura de madeira e a contribuição do material de enchimento para a capacidade resistente do elemento construtivo foram investigados e contemplados nos modelos numéricos propostos. Neste capítulo também se apresenta um estudo paramétrico, que poderá dar um importante contributo em futuros trabalhos de reabilitação de construção de tabique.

Finalmente, no Capítulo 7, são apresentadas as principais conclusões obtidas no decorrer deste trabalho de investigação e propostas de trabalho futuro.

Capítulo 2

A construção de terra

2.1 Objetivos

Os objetivos deste capítulo são:

- Realizar uma retrospectiva da construção de terra no mundo e em Portugal, apresentando alguns dos vestígios arquitetónicos de construções de terra;
- Descrever as três principais técnicas de construção de terra no mundo: o adobe, a taipa e o tabique e efetuar uma primeira descrição do elemento de tabique e do tipo de edifício de tabique que caracteriza a região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Em simultâneo indicar os principais inconvenientes da construção de terra;
- Focar os principais aspetos que motivam a construção de terra e as principais organizações que promovem esta atividade;
- Apresentar as principais normas e regulamentos existentes para a construção de terra.

2.2 Introdução

Na primeira parte deste capítulo, e com base no trabalho de revisão bibliográfica efetua-se uma descrição no tempo e no espaço de algumas das grandes construções de terra e apresentam-se fotografias ilustrativas dessas construções.

Segue-se, a definição e a descrição das três principais técnicas de construção utilizadas no mundo e também em Portugal: o adobe a taipa e o tabique e apresentam-se algumas das desvantagens associadas a cada uma dessas técnicas de construção. Efetua-se também uma primeira referência ao elemento de tabique que caracteriza a região de Trás-os-Montes e Alto Douro, complementada com um esquema representativo e apresenta-se uma descrição do tipo de edifício de tabique mais frequente nessa região.

Na parte final deste capítulo indicam-se os principais aspetos que motivam a construção de terra, enunciam-se as vantagens deste tipo de construção e referem-se projetos atuais de construção de terra. Depois, enunciam-se descrevem-se as principais associações internacionais e nacionais que têm desenvolvido ações conducentes ao reconhecimento e à promoção deste património. Por fim, aborda-se a temática da necessidade da regulamentação da construção de terra e referem-se algumas lacunas encontradas ao nível da regulamentação. Indicam-se as normas e regulamentos existentes a nível mundial para este tipo de construção e os países onde estas se aplicam.

2.3 A construção de terra no mundo - passado e presente

Diversos autores, tais como Filemio [2009] e Galán-Marín *et al.* [2010] sugerem que os primeiros vestígios de construção de terra datam de há cerca de dez mil anos, período neolítico, e terão surgido na região do Médio Oriente na cidade de Jericó, como se ilustra na Figura 2.1-a). De acordo com estes autores a construção de terra estará intimamente ligada ao início das sociedades agrícolas e portanto à necessidade de construir habitações duráveis. De acordo com Filemio [2009] a construção de terra iniciou-se ao longo das planícies junto dos grandes rios Eufrates e Tigre no Iraque, Nilo no Egito, Jordão em Israel/Palestina e Jordânia, Indo na Índia e Paquistão e Huang He na China, locais onde a terra é rica em argila e em depósitos aluvionares excelentes para a construção de terra.

Segundo Torgal & Jalali [2009], o material terra foi utilizado por diversos povos ao longo de vários milénios. Citam-se a título de exemplo os povos da antiga Mesopotâmia e do antigo Egito, os Fenícios na costa Ocidental do Mar Mediterrâneo, as civilizações Grega e Romana e os povos da América Central e Latina. Esta matéria-prima foi usada para edificar tanto pequenas construções como monumentos de grande importância militar e religiosa, tais como alguns troços da Muralha da China ou a cidade de Tebas Pirâmides no Egito, esta última ilustrada na Figura 2.1-b).



a) Cidade de Jericó, Israel/Palestina, 8300 a.C.



b) Cidade de Tebas no Egito

Figura 2.1 - Construções de terra na antiguidade, [Trindade, 2008]

Estima-se que no início dos anos oitenta do século passado um terço da população mundial espalhada pelos cinco continentes vivia em edifícios de terra, construídos com diversas tecnologias [Dethier, 1983 e Minke, 2006]. Nos países em vias de desenvolvimento, metade da população rural e 20 % da população urbana vivem nestas construções [Houben & Guillaud, 1995 e Guillaud, 2009]. De facto, nos dias de hoje, nas mais diversas regiões do globo terrestre, excetuando a Antártida, a terra é um dos recursos mais utilizados nas habitações existentes como se mostra na Figura 2.2, traduzindo assim a identidade, a história, a cultura e a forma de vida das suas populações.



Figura 2.2 - Áreas de construção de Terra, [http://craterre.org, acessado em 04/03/2010]

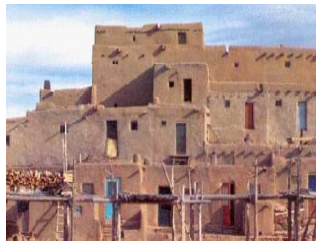
A construção com materiais naturais está ligada a diferentes técnicas de construção e estima-se que existam no mundo cerca de vinte técnicas construtivas tradicionais de construção de terra. Vários autores consideram que o adobe, a taipa e o tabique são as três principais [Minke, 2004 e Fernandes, 2006-b].

No continente Americano podem encontrar-se construções de terra em todos os países. No Peru, estima-se que cerca de metade das casas sejam construídas com terra [Gutiérrez *et al.*, 2003]. Na Figura 2.3 apresentam-se fotografias de algumas construções de terra no Peru, no México e na Guatemala. No Brasil, as técnicas construtivas do período colonial eram geralmente primitivas, sem apuro tecnológico, as paredes eram de tabique, adobe ou taipa e

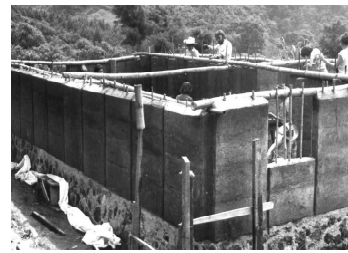
nas residências mais importantes empregava-se a pedra, o barro e a cal [Cyted, 2004, Carvalho *et al.* 2009 e Félix & Mello, 2007].



a) Peru, [Tavera *et al.*, 2009]



b) México, [Carvalho, 2009]



c) Guatemala, [Minke, 2011]

Figura 2.3 - Construção de terra na América

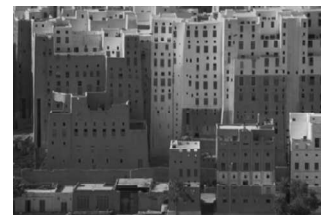
No continente asiático são vários os vestígios de construção de terra, na China e no Irão e ilustrados nas Figuras 2.4-a) e 2.4-b). As duas cidades que mais se destacam são Shibam, situada no Iêmen do Sul, (Figura 2.4-c)) também conhecida como “Manhattan do deserto” onde muitos prédios têm até 8 pisos, e Sana´a, no Iêmen do Norte, ambas reconhecidas como património mundial da humanidade pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura). Na Índia 70 % das casas são de terra [Houben & Guillaud, 1996].



a) China, [Carvalho, 2009]



b) Irão, [Minke, 2001]



c) Shibam, [Carvalho, 2009]

Figura 2.4 - Construção de terra na Ásia

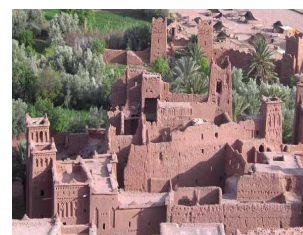
Em África, duas cidades destacam-se pelas suas construções de terra. São elas Timbuktu e Djénné no Mali (Figura 2.5-a)), ambas reconhecidas como património mundial da humanidade em 1988. Para além do Mali, também na Somália e em Marrocos a construção de terra é uma presença constante como se mostra nas Figuras 2.5-b) e 2.5-c).



a) Mali, [Carvalho, 2009]



b) Somália, [Trindade, 2008]



c) Marrocos, [Murta, 2009]

Figura 2.5 - Construção de terra na África

Em França, 15 % da população rural vive em casas de taipa. Só na região de Isère, estima-se que 75 % do património rural edificado seja de taipa. Na região francesa da Alsace-Lorraine, as estruturas são constituídas por madeira com enchimento de terra, denominada *colombage*. Em Inglaterra, na região de Devon, destaca-se a terra empilhada, *cob*, o tabique um pouco mais a norte e a taipa em Wessex [Maniatidis & Walker, 2003], (Figura 2.6-a)). Na Roménia existe também muita construção em tabique na região da Valáquia e da Moldávia e na República Checa, a região da Morávia também possui estruturas edificadas com terra. O mesmo sucede na Espanha e na Turquia como se ilustra nas Figuras 2.6-b) e 2.6-c), para além da Suécia, da Bulgária e da Grécia.



a) Inglaterra



b) Espanha



c) Turquia

Figura 2.6 - Construção de terra na Europa, [Doat & Schneegans, 2005 e Spence, 2007]

Na península Ibérica, a construção de terra terá surgido por influência de diversos povos, tais como os fenícios, cartagineses e romanos, e terá sido aprofundada pelos muçulmanos, tendo sido maior a influência por parte destes últimos e através dos quais sobrevive ainda até hoje um vasto património [Dethier, 1986 e Torgal & Jalali, 2009]. Em Espanha, na região de Castilla y León existe um vasto património construído com terra [Guerra & Sandoval, 2010]. Segundo Delgado & Guerrero [2006] os sistemas construtivos mais utilizados eram o adobe, seguido da taipa e do tabique. De acordo com Filemio [2009] em Portugal o património vernacular construído é também muito vasto.

No sul de Portugal, os vestígios de estruturas habitacionais, silos e fornos, remontam ao ano de 5500 a.C. O uso da terra na produção de adobes está também documentado, a partir do calcolítico, no sul de Portugal, no Monte da Tumba, no Torrão, distrito de Setúbal e no Alto do Outeiro em Baleizão, distrito de Beja [Bruno, 2007 e Gomes *et al.*, 2008-a]. De facto, em Portugal, as construções de terra abundam de sul a norte do país e é possível distinguir três tipos de construção de terra: a taipa, principalmente no sul, o adobe junto aos estuários do Tejo e do Sado e no litoral centro, e o tabique distribuído nalgumas localidades do centro e norte contando com uma forte implementação na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, como demonstram os trabalhos de Varum *et al.* [2005], Martins & Varum [2006] e de Murta [2009]. Estas construções são muito variadas, desde edifícios rurais, geralmente de pequenas dimensões, até edifícios urbanos de maior porte, passando por muros, poços de água, igrejas, armazéns e castelos. Na Figura 2.7, apresentam-se as áreas de influência de cada um

daqueles métodos construtivos em Portugal continental. Na ilha de Porto Santo, na Madeira, também se podem encontrar muitos exemplos da utilização de terra em coberturas, nos chamados “tetos de salão” [Mestre, 2005].

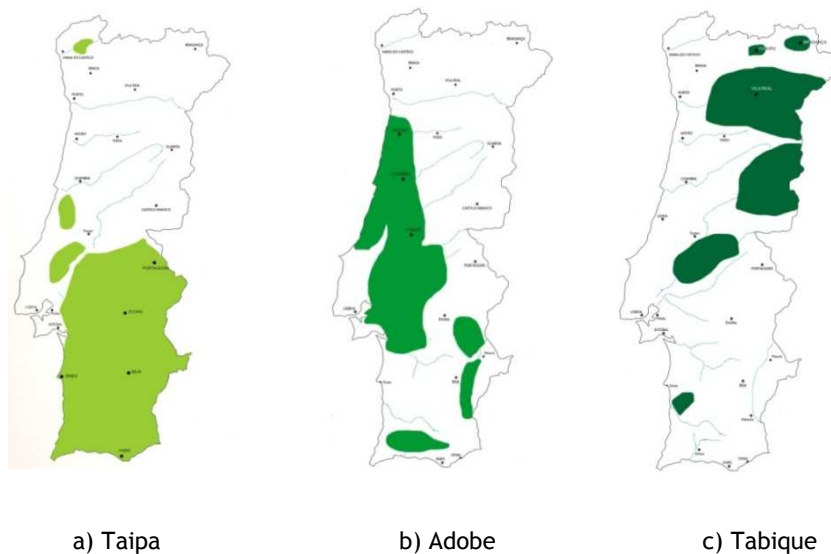


Figura 2.7 - Distribuição geográfica em Portugal continental das principais técnicas tradicionais, [Jorge *et al.*, 2005]

Com a chegada da Revolução Industrial, no século XVIII, aperfeiçoaram-se os materiais e as técnicas de construção incorporando-lhes matérias-primas industrializadas e métodos construtivos baseados na utilização de máquinas e na produção em larga escala. Naquele século surgem os materiais como o cimento Portland cuja primeira patente data de 1824, o aço, os cerâmicos, o alumínio, entre outros, trazendo consigo o esquecimento dos materiais tradicionais, levando ao abandono das técnicas tradicionais antes utilizadas e acarretando o total desconhecimento por parte das novas gerações do uso dos materiais naturais [Delgado & Guerrero, 2007]. No entanto, sempre que crises violentas interromperam a produção daqueles materiais, os arquitetos e construtores recorreram novamente à terra, como aconteceu na Europa durante e depois das duas grandes guerras. Nesse período, milhares de casas de terra foram construídos, como ocorreu na Alemanha durante 1920 e depois em 1940. Após 1940, alguns dos grandes arquitetos, tais como Frank Lloyd Wright (1867-1959) nos Estados Unidos da América e Le Corbusier (1887-1965) em França, desenharam vários projetos de construção de terra.

Nos nossos dias, um pouco por todo o mundo, assiste-se ao renascimento da arquitetura de terra, como na Austrália Figura 2.8-a), onde se têm construído nas últimas décadas um grande número de edifícios deste tipo [Maniatidis & Walker, 2003]. O mesmo sucede no continente europeu e americano, onde a construção de terra é alvo de um novo olhar, ilustrado pelas construções modernas da Figura 2.8.



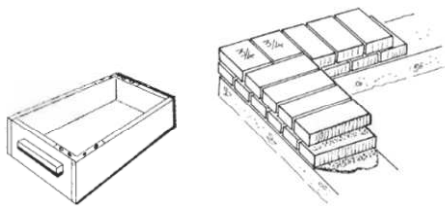
a) Austrália, [Carvalho, 2009] b) Portugal, [Murta, 2009-a] c) Argentina, [Murta, 2009-a]

Figura 2.8 - Construção de terra no Mundo na modernidade

2.4 Principais técnicas construtivas

2.4.1 O adobe ou adobo

O adobe é um pequeno bloco de forma regular de argamassa de barro ordinário amassado com areia e palha, colocado sem compactação numa forma de madeira, denominada adobeira, como se ilustra na Figura 2.9, normalmente construída no local.



a) Molde e blocos de adobe aparelhados, Peru

b) Rainha egípcia Hatchepsout, XV a.C., a moldar um bloco de adobe

Figura 2.9 - O bloco de adobe, [Doat *et al.*, 1979]

Depois de retirado da adobeira o adobe é seco ao sol durante aproximadamente quinze dias, (Figura 2.10-a)), permitindo assim a realização de elementos construtivos resistentes tais como paredes ou arcos, ilustrados na Figura 2.10-b), [Doat *et al.*, 1979, Houben & Guillaud, 1995 e Minke, 2006].



a) Produção de adobe na Índia, [Filemio, 2009]

b) Reconstrução do convento La Purisima Mission, 1935, Califórnia, EUA, [Craig, 2006]

Figura 2.10 - Produção e emprego de adobe

A génese do nome tem origem no termo Egípcio *thobe*, que significa tijolo seco ao sol, ao qual sucedeu em Árabe o termo *ottob*. Já a designação do termo adobe parece ter surgido na península ibérica com a chegada das técnicas construtivas de terra trazidas pelos Romanos vindos do norte e pelos Árabes vindos do sul. Estas técnicas seguiram depois para a América e África [Fernandes, 2005 e Fonseca, 2007-a].

2.4.1.1 O adobe no mundo

A técnica de construção em adobe é muito antiga e encontra-se difundida por todo o mundo. De acordo com Quagliarini *et al.* [2010] na Mesopotâmia, considerada o berço das primeiras cidades, existem construções deste tipo que datam do ano 10.000 a.C. e no atual Turquemenistão datam de um período compreendido entre 8000 e 6000 a.C. [Torgal & Jalali, 2009]. Na aldeia de Jericó, uma das mais antigas fixações humanas de que se tem registo, existem edificações de adobe que datam de 8300 a.C. [Mendonça, 2007]. O Templo de Ramsés II, em Gourná no Egito, apresentado na Figura 2.11-a), foi construído há 3300 anos, a Figura 2.11-b) ilustra a reconstrução de um muro em adobe, em Heuneberg na Alemanha, que data do século VI a.C [Minke, 2006].



a) Templo de Ramsés II, Gourná, Egito. 1300 a.C., Índia



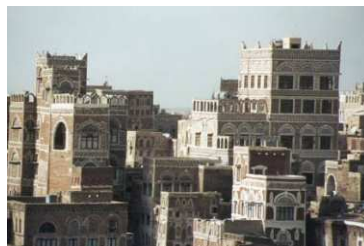
b) Reconstrução de muro em adobe, Heuneberg, Alemanha, VI a.C, Europa

Figura 2.11 - O adobe na antiguidade, [Minke, 2006]

Na Figura 2.12-a) pode ver-se Arg é Bam no Irão, a maior construção de adobe do mundo, considerada no património mundial da UNESCO em 2004 [Minke, 2006]. Também em adobe, a cidade de Sana´a no Iémen do Norte. (Figura 2.12-b). Do Pacífico ao Índico, em paredes, arcos, cúpulas ou abóbadas, a arquitetura em adobe é uma presença constante com séculos de existência [Fernandes, 2005 e Carvalho *et al.*, 2009].



a) Arg é Bam no Irão, [Carvalho, 2009]



b) Cidade de Sana´a no Iémen, [Trindade, 2008]

Figura 2.12 - Grandes construções de adobe

Ainda recentemente, no Laboratório de Investigação de Construções Experimentais da Universidade de Kassel na Alemanha, foi desenvolvido por Gernot Minke (Arquiteto e Professor da Universidade de Kassel) um método para construir cúpulas de adobe de grandes dimensões sem cofragem. A secção da cúpula é otimizada através de um programa de cálculo automático e torna possível a construção de cúpulas de treze metros de diâmetro com apenas trinta centímetros de espessura (Figura 2.13) [Minke, 2007].



Figura 2.13 - Cúpula de adobe, Gernot Minke, 1993, Kassel, Alemanha, [Minke, 2007]

2.4.1.2 O adobe em Portugal

Em Portugal, as construções em adobe surgem nos vales, junto aos rios e no litoral centro. É nestas zonas que predominam os solos de aluviões, ricos em minerais, areias e siltes, a terra ideal para a manufatura do adobe. Os edifícios construídos com estes blocos de terra localizam-se numa faixa mais ou menos retangular que se estende desde o Algarve até ao norte e abrange os distritos de Setúbal, Évora, Portalegre, Santarém, Leiria, Coimbra e Aveiro [Fernandes, 2005, Font, 2005, Varum *et al.*, 2006, Fernandes, 2007 e Trindade, 2008]. No concelho de Alcácer do Sal, no Monte da Tumba, foi identificada uma habitação de planta circular com adobes sobre uma fundação de pedra do início do calcolítico e no concelho de Avis foram identificadas sessenta e cinco construções em adobe [Bruno, 2007 e Fonseca, 2007-b].

De acordo com Varum *et al.* [2005] e Martins & Varum [2006], a construção em adobe no distrito de Aveiro foi uma técnica muito utilizada até meados do século XX. Com efeito, atualmente e segundo dados da Câmara Municipal de Aveiro, cerca de 25 % das construções existentes na cidade de Aveiro são de adobe. Este número sobe para 40 % se referido a todo o distrito. A construção em adobe percorre a história do crescimento urbano e da edificação em Aveiro, onde o adobe pode ser encontrado nas mais variadas construções existentes, desde edifícios rurais, geralmente de pequenas dimensões, a edifícios urbanos de maior porte como igrejas ou armazéns e ainda em muros e poços de água, como se ilustra nas Figuras 2.14-a) e 2.14-b). Inúmeros edifícios de elevado valor histórico e patrimonial foram ali construídos em adobe, como por exemplo alguns edifícios em estilo *Arte Nova*, apresentados na Figura 2.14-c).

A técnica do adobe foi desaparecendo durante as décadas de 60 e 70 com o advento dos materiais industriais como o betão e o aço [Fernandes, 2006-a, Varum *et al.*, 2008 e Figueiredo *et al.*, 2009].



Figura 2.14 - Construções de adobe em Aveiro, [Varum *et al.*, 2006]

2.4.1.3 A técnica de construir em adobe

A forma de construir em adobe é simples e semelhante à colocação de tijolos convencionais formando uma alvenaria. O assentamento dos adobes é realizado com argamassa também à base de terra a fim de se obter um melhor comportamento na conexão entre os materiais, obtendo-se desta forma o mesmo nível de retração e evitando-se o aparecimento de fissuras ou o destacamento do material [Torgal & Jalali, 2009]. A alvenaria de adobe pode ser executada com diferentes espessuras, a meia vez, a uma vez, a uma vez e meia ou a duas vezes, e sempre com as juntas desencontradas.

As dimensões dos blocos de terra apresentam uma grande diversidade em função da época e do lugar em que foram feitos. Para os Romanos, as dimensões médias eram de 46 cm de comprimento por 31 cm de largura e 13 cm de espessura. No concelho de Aveiro eram de $0.30 \times 0.45 \times 0.15 \text{ m}^3$ quando utilizados em casas e $0.20 \times 0.45 \times 0.15 \text{ m}^3$ quando utilizados na construção de muros [Varum *et al.*, 2008].

As adobeiras têm geralmente a forma paralelepípedica, mas também podem ser cónicas, cilíndricas ou trapezoidais. No território nacional estas são maioritariamente paralelepípedicas, variando por vezes entre a secção retangular e a quadrada e da forma cúbica à achatada. Nas construções de poços, o adobe era manufaturado em moldes

ligeiramente arredondados de modo a vencerem a curvatura das paredes desses poços [Fernandes, 2005 e 2007].

A técnica de construção em adobe requer o uso de solos plásticos e argilosos e exige algum consumo de água. Por essas razões é sobretudo utilizada nas proximidades de linhas de água. Uma vez que este material é facilmente degradado pela água a construção em adobe é tradicionalmente executada sobre fundações de alvenaria de pedra ordinária geralmente em xisto, cerca de sessenta centímetros acima do solo, o que permite também impedir o aparecimento de humidades ascendentes através do fenómeno de capilaridade. Para a manufatura do adobe, de acordo com Doat *et al.* [1979], a granulometria ideal de um solo deverá ser de 55 % a 75 % de inertes, sendo a porção restante composta por 10 % a 28 % de siltes e de 15 % a 18 % de argila. Os solos com substancial percentagem de areias e siltes e uma quantidade controlada de argila são à partida os mais indicados para construção em adobe, a fração de argila não deve ultrapassar 20 % para evitar a retração do material e posteriores fissuras [Fernandes, 2005 e Quagliarini *et al.*, 2010]. Considera-se ainda que poderá existir matéria orgânica mas nunca numa percentagem superior a 3 % [Doat *et al.*, 1979]. Nem sempre estas condições se aplicaram no território Português pelo que quando o teor de argila nos solos oscila entre os 4 % e os 10 %, como no caso das regiões de Aveiro, Gandaresa e Bairrada, adiciona-se à terra arenosa cal aérea, melhorando desta forma quatro a cinco vezes a sua resistência mecânica [Fernandes, 2005]. Quando o adobe era composto por cal e areia, logo de melhor consistência, era possível utilizá-lo na construção de poços de água para a rega agrícola, como os existentes na freguesia de Fermentelos, concelho de Águeda ou na freguesia de Valongo no concelho de Avis [Fonseca, 2007-a e Fernandes, 2006-a]. Já quando o teor em argila é superior a 18 %, misturam-se à terra fibras vegetais, em geral palha moída, que diminuem os efeitos nefastos da retração e confere à mistura de terra uma estrutura interior com melhorias ao nível da resistência mecânica [Quagliarini *et al.*, 2010 e Ngowi, 1997]. Esta estabilização com fibras observa-se em inúmeras construções dos vales do rio Tejo, Sado e nalgumas zonas da Estremadura, Algarve e Ribatejo [Fernandes, 2005].

Os Romanos utilizavam a terra natural como material de construção [Adam, 1984] e o próprio Vitruvius afirma nos seus escritos, *Os Dez Livros de Arquitetura*, que a terra pode ser utilizada como material de construção desde que seja “cretosa” [Vitruvius, 1960], propriedade que é garantida pela presença de argila, dado que a coesão é a propriedade mais importante que a terra deve possuir para fins construtivos [Houben & Guillaud, 1995]. Vitruvius sugere que os blocos de terra deveriam ser produzidos durante a Primavera ou o Outono porque nessas estações do ano o sol é menos intenso e assim o processo de secagem é mais gradual, o que impede o aparecimento de fendas provocadas pela retração dos blocos. Se houvesse necessidade de os produzir no verão ou no inverno seria necessário adotar algumas precauções, como por exemplo cobri-los com palha húmida para evitar uma secagem demasiada rápida ou adicionar areia à terra de forma a reduzir a fração de argila presente e a

consequente retração. Já os Romanos adicionavam fibras vegetais como a palha ou ervas secas para diminuir a retração já que estas têm alguma resistência à tração [Hall & Djerbib, 2004].

As paredes de adobe podem ficar com os adobes à vista, sem acabamento superficial, ou podem ser rebocadas com uma argamassa à base de terra. No entanto, com a intenção de o proteger das ações atmosféricas, principalmente da água, o adobe só deverá ser rebocado e tratado com rebocos à base de cal apagada ou por intermédio de uma caiação direta sobre ele [Fernandes, 2005, Mendonça, 2007 e Quintana *et al.*, 2008]. O revestimento da arquitetura portuguesa em adobe é na sua maioria rebocada, com acabamentos que variam desde a simples caiação à decoração exuberante e colorida, como as ilustradas na Figura 2.14. A aplicação de revestimentos torna esta técnica dificilmente identificável mas, no entanto, reconhecível porque este tratamento se cinge exclusivamente às fachadas principais, ficando normalmente as restantes sem qualquer tipo de revestimento [Fernandes, 2005].

2.4.1.4 Principais inconvenientes do adobe

Como principal inconveniente das construções de adobe cita-se a vulnerabilidade à ação sísmica e em regra às forças horizontais. De facto, as paredes de adobe são pesadas e desenvolvem por isso forças sísmicas elevadas. Para além desta particularidade, o adobe tem uma limitada resistência à tração e apresenta um comportamento frágil [Figueiredo *et al.*, 2009]. O sismo de treze de Janeiro de 2001 em El Salvador matou 1100 pessoas, mais de 150000 habitações de adobe foram danificadas ou colapsaram e mais de 1600000 pessoas foram afetadas [Dowling, 2004]. O sismo de Bam (Figura 2.15), no Irão, a 26 de Dezembro de 2003, provocou 32000 mortes em grande parte devido ao colapso de casas de adobe [Spence, 2007].



Figura 2.15 - Colapso de construções de adobe, sismo de Bam, 26 de Dezembro 2003, Irão, [Isik, 2006]

Para fazer face a esta vulnerabilidade, passaram em muitos casos a ser introduzidos elementos de reforço na ligação entre os cantos das paredes, como esquematizado na Figura 2.16. Quando eram realizadas com terra mais arenosa, como a existente em Pataias, concelho da Nazaré, procurava-se travar a alvenaria de adobe, entre cada fiada horizontal, com

pedaços de telha, ou então utilizava-se uma argamassa forte de cal e areia [Torgal & Jalali, 2009].

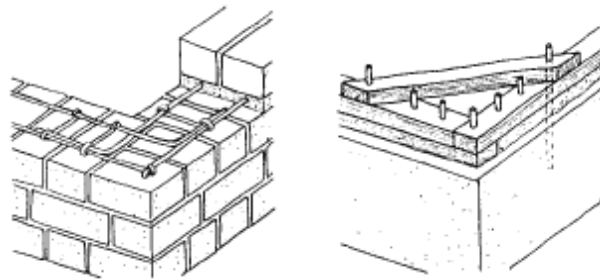


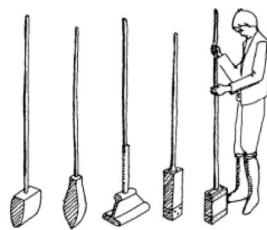
Figura 2.16 - Reforço dos cantos, [Minke, 2006]

2.4.2 A taipa

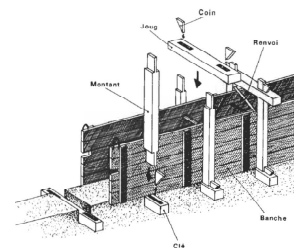
Denominada taipa em Portugal, originária da palavra árabe *tabiya*, *tapial* em Espanha, *pisé* em França, *rammed-earth* em Inglaterra, *stampflehm* na Alemanha e *taipa de pilão* no Brasil [Minke, 2006 e Torgal & Jalali, 2009], a taipa é uma técnica de construção monolítica de paredes resistentes de terra argilosa que consiste no apiloamento (Figura 2.17-a)), através de um processo manual ou mecânico com maço/pilão (Figura 2.17-b)), de terra previamente humedecida e colocada dentro de cofragens, os taipais (Figura 2.17-c)). Esta terra é compactada em camadas de aproximadamente dez centímetros de espessura e cinquenta de largura até preencher todo o volume do taipal; este é posteriormente removido e reerguido para a camada seguinte. A parede de terra assim obtida tem uma densidade e dureza semelhante à da pedra [Doat *et al.*, 1979, Maniatidis & Walker, 2003, Doat & Schneegans, 2005 e Jaquin *et al.*, 2006].



a) Paredes, Amesbury, UK, [Maniatidis & Walker, 2003]



b) Pilão, [Doat *et al.*, 1979]



c) Taipais, [Doat *et al.*, 1979]

Figura 2.17 - Execução da taipa

2.4.2.1 A taipa no mundo

Existem vestígios de construção em taipa um pouco por todo o mundo; na Assíria estes datam de 5000 anos a.C.; a grande muralha da China, que data do século III a.C., foi construída com terra compactada e posteriormente forrada com pedras naturais (Figura 2.18-a)) e o mosteiro de Basgo no Tibete é totalmente de taipa e pedra (Figura 2.18-b)). Os escritos antigos de Pliny

(Gaius Plinius Secundus 79-23 a.C., filósofo e naturalista romano) relatam que em Espanha existiam fortes em taipa no ano 100 a.C. [Jaquin *et al.*, 2006 e Minke, 2006].



a) Grande muralha da china, [Murta, 2009]



b) Mosteiro, Tibete, [Hurd, 2009]

Figura 2.18 - Grandes construções em Taipa no Mundo

Os maiores centros de taipa incluem o norte de África, Austrália, América do Norte e Sul, China e Europa onde se destacam a França, a Alemanha, a Espanha e Portugal [Maniatidis & Walker, 2003 e Jaquin *et al.*, 2007].

No Japão, o templo de Horyuji possui paredes de taipa construídas há 1300 anos e em Marrocos e no México a taipa tem uma forte presença. Na Figura 2.19-a) apresenta-se uma construção de taipa com 250 anos, no estado de São Paulo no Brasil. A mais antiga casa em taipa da Alemanha data de 1795 situando-se em Melford (Figura 2.19-b)), e o edifício em taipa mais alto da Europa, construído por volta de 1828, situa-se em Weilburg na Alemanha (Figura 2.19-c)) [Doat *et al.*, 1979 e Minke, 2006].



a) S. Paulo, Brasil



b) Melford, Alemanha



c) Weilburg, Alemanha

Figura 2.19 - Edifícios de Taipa na Europa, [Minke, 2006]

Em França, pode encontrar-se um vasto património de casas rurais, castelos, mansões, escolas, igrejas, hospitais e edifícios urbanos de taipa que datam do século XV ao século XIX e início do século XX (Figura 2.20-a)). Na região de Rhone-Alpes, até aos finais dos anos 40, 90 % do património rural era de taipa e na cidade de Lyon, existem alguns edifícios com mais de 300 anos ainda habitados. François Cointereaux (1740-1830), natural de Lyon, arquiteto e empreendedor francês, apresentou-se ao longo da vida como Professor de Escola de Arquitetura Rural Pública e publica em 1793 os famosos *Cahiers d'École d'Architecture Rural*, nos quais valoriza o método construtivo da taipa e desenha um novo processo de

construir em taipa, tornando-se famoso com a tradução do seu livro em várias línguas [Doat *et al.*, 1979, Fernandes, 2008 e Doat & Schneegans, 2005].



a) Beaugard, Ain, início do século XIX, [Doat & Schneegans, 2005] b) Casa Luís Salazar, Urueña, Valladolid, [Delgado & Guerrero, 2006]

Figura 2.20 - Construções em taipa na Europa

A Espanha, também é rica em construção de taipa, nomeadamente nas províncias de Castela e Leão, Aragão e Castela da Mancha (Figura 2.20-b)) [Beirão, 2005, Font, 2005, Delgado & Guerrero, 2006, Minke, 2006, Jaquin *et al.*, 2007 e Olea *et al.*, 2009].

A taipa também foi utilizada em Itália, na planície de Marengo e Toscana [Fernandes, 2008]. Mais recentemente, tem sido utilizada na Austrália, Alemanha, Suíça, Áustria e nos Estados Unidos da América onde uma arquitetura contemporânea de taipa está a nascer e a proliferar (Figuras 2.21).



a) The Miller Residence, EUA b) Igreja Sir Thomas More R.C., Austrália

Figura 2.21 - Edifícios de taipa nos Estados Unidos e Austrália, [Murta, 2009 e Hall & Djerbib, 2004-b]

2.4.2.2 A taipa em Portugal

As invasões árabes no Norte de África e na Península Ibérica há aproximadamente 900 anos deixaram vestígios de construção em taipa em Portugal. O castelo de Paderne, apresentado na Figura 2.22-a), erguido entre os séculos XI e XII, e os castelos de Silves, Alcácer do Sal, Salir, Juromenha e o de Moura exemplificam a arquitetura militar islâmica em taipa [Bruno, 2005, Quitério, 2006 e Martins & Correia, 2007].

A construção em taipa representa um sistema de construção milenar que perdurou entre nós até aos anos 50 e 60 do século XX. A taipa era a técnica construtiva mais utilizada no

Alentejo, Algarve e Ribatejo (Figura 2.22-b) e 2.22-c)) [Rocha, 2005, Correia, 2005, Beirão *et al.*, 2007], apesar de existirem bolsas na região Alentejana onde se utilizava o adobe ou a alvenaria de pedra. A utilização de taipa foi identificada a sul das serras de Monchique e do Caldeirão, em Abrantes e Santarém, na zona de Pombal e, pontualmente, na região de Castelo Branco. A construção em taipa também aparece em bolsas isoladas, como na freguesia de Lanheses no concelho de Viana do Castelo [Correia, 2005].



a) Castelo de Paderne, Algarve



b) Palácio Ducal de Vila Viçosa



c) Alter do Chão, Algarve

Figura 2.22 - Construções de taipa em Portugal, [Doat & Schneegans, 2005]

A partir da década de 90 do século XX, depois de um interregno que se iniciou na década de 50, é considerável a quantidade de arquitetos que optam pela taipa no Alentejo litoral (Figura 2.23), baixo Alentejo e Algarve [Beirão, 2005, Bastos, 2005 e Beirão *et al.*, 2007], em virtude de um renovado interesse pela construção de terra também partilhado por novos investidores com preocupações ambientais e que procuram habitações mais saudáveis e confortáveis. No ano de 1993 concretiza-se no litoral alentejano o projeto de um ateliê de pintura em taipa e, nos dias de hoje, constroem-se ali habitações unifamiliares com paredes de taipa [Bastos, 2005].



a) Litoral alentejano



b) Litoral Alentejano, Odemira

Figura 2.23 - Construções contemporâneas de taipa em Portugal, [Gomes *et al.*, 2008-a]

2.4.2.3 Características construtivas da taipa

A taipa é um método construtivo que requer pouca água, ao contrário do adobe, daí que esta técnica se encontra com mais frequência em locais onde a água não abunda e a madeira e a pedra são menos frequentes [Doat *et al.*, 1979 e Rocha, 2005]. Esta é a razão pela qual a taipa surge no território português com mais predominância na zona meridional do Alentejo.

Em princípio, a terra de qualquer jazida pode ser usada para a construção de paredes, mas os solos ideais são as areias argilosas ou as argilas arenosas. O traço necessário à boa execução de uma massa de taipa é determinado empiricamente na região, pela experiência antiga da aplicação do material. Na Tabela 2.1, indicam-se as frações recomendadas por Doat *et al.* [1979]. De acordo com Jaquin *et al.* [2006], não deverá haver qualquer matéria orgânica na terra, tal como ramos ou pedaços de madeira, uma vez que estes elementos podem apodrecer e serem propícios ao aparecimento de fungos.

Tabela 2.1 - Constituintes da taipa, [Doat *et al.*, 1979]

	Agregados (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Fração	0 - 15	40 - 50	35 - 20	15 - 25

Esta técnica de construção requer alguma perícia e formação na área, uma vez que se deve ter atenção no fabrico do molde, na seleção da terra, no teor de humidade de compactação, no modo de compactar, nos cuidados a ter nos remates da cobertura para evitar a penetração de água, na execução de fundações em alvenaria de pedra a fim de evitar a ascensão da humidade pelas paredes [Rocha, 2005]. Em Portugal, a construção de paredes de taipa era realizada em camadas de cinquenta centímetros de altura, quarenta a cinquenta e cinco centímetros de largura e dois metros de comprimento [Correia, 2005 e Fonseca, 2007-b]. A seleção do material de cofragem e dimensões dependem da textura que se pretende obter na parede de taipa. O processo de apiloamento requer rapidez para que a compactação seja realizada com a terra na humidade correta, para se obter a coesão desejada. Recentemente, com o uso das novas tecnologias, desenvolveu-se a taipa mecanizada [Torgal & Jalali, 2009] realizada segundo os mesmos moldes que a taipa tradicional, diferindo apenas na qualidade e dimensões da cofragem e no meio de compactação que consiste num compactador pneumático, um pouco à semelhança dos compactadores utilizados na compactação de pavimentos e que deste modo permite uma otimização do tempo de construção [Beirão, 2005].

As paredes em taipa tradicional apresentam muitas vezes a incorporação de outros materiais como reforço, quando a terra não tem as propriedades desejadas para a estabilidade das paredes. Entre estes materiais encontra-se o tijolo cerâmico maciço, a pedra, a cortiça e as fibras [Ngowi, 1997]. As juntas entre blocos de taipa podem ser verticais e desencontradas ou mesmo inclinadas para melhorar o travamento dos mesmos [Doat *et al.*, 1979 e Fonseca, 2007-a]. Entre cada fiada horizontal de taipa era comum colocar uma camada de argamassa de cal [Beirão, 2005]. O revestimento exterior torna-se importantíssimo para prevenir a deterioração das paredes [Fonseca, 2007-b]. As paredes construídas em climas húmidos devem ter saliências nas coberturas; estas saliências são muito importantes pois servem para proteger a taipa da água da chuva e prevenir a consequente erosão das paredes.

De acordo com Bahar *et al.* [2003] o teor em água ótimo da taipa situa-se entre 9.5 % e 11.0 % [Jayasinghe & Kamaladasa, 2007]. A norma neozelandesa NZS 4298 [1998] recomenda que na construção em taipa o teor em água deve estar contido num intervalo limitado por um mínimo de 3 % abaixo do teor de água ótimo e um máximo de 5 % acima [Hall & Djerbib, 2004-b]. A adição de cal apagada em pó, numa percentagem de 6 % a 8 %, misturada com terra antes de ser introduzida nas cofragens, é uma garantia de otimização do desempenho do material [Hall & Djerbib, 2004-a, Beirão, 2005, Jayasinghe & Kamaladasa, 2007 e Bui *et al.*, 2009]. De acordo com Galán-Marín *et al.* [2010], a adição de fibras, tais como a lã de ovelha, aumenta a sua resistência à compressão em 37 %.

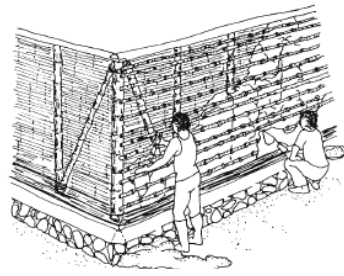
2.4.2.4 Inconvenientes da construção em taipa

A taipa tem como inconvenientes o facto de ser facilmente atacada por roedores e ter, à semelhança do adobe, um mau comportamento à ação dos sismos e de forças horizontais, pelo que não é indicada para a construção de grandes edifícios. A execução deste tipo de construção necessita de muita mão-de-obra. É também necessário tomar precauções especiais para manter a água afastada das construções.

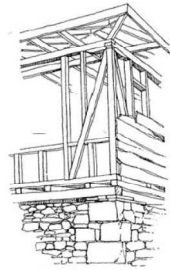
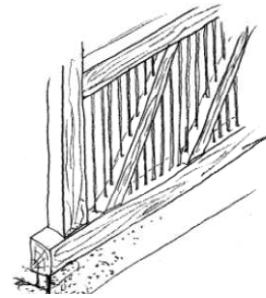
Por razões estéticas ou simplesmente para haver menos pó, aplicam-se revestimentos nas paredes. No entanto, é necessário evitar a aplicação de revestimentos impermeáveis, à base de cimento, uma vez que sendo a taipa um material que respira, isto é, que absorve e restitui a humidade do ambiente, a aplicação de revestimentos impermeáveis impede a evacuação da humidade da taipa assim como faz ascender a água por capilaridade desde as fundações, ao longo das paredes, levando, a longo prazo, a graves problemas estruturais. Por estas razões deve-se privilegiar a utilização de revestimentos à base de cal levemente hidráulica ou de terra [Correia, 2005].

2.4.3 O tabique

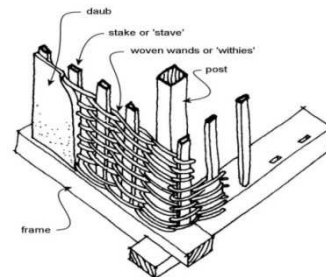
Tabique em Portugal, *pau-a-pique* no Brasil, *torchis* na França, *wattle and daub* no Reino Unido e nos Estados Unidos da América, *quincha* na Argentina, Chile, Perú e Espanha, *bahajareque* na Colômbia, Venezuela e Salvador, *cuje* em Cuba, *tsuchikabe* no Japão ou ainda *lehmbewurf* na Alemanha [Houben & Guillaud, 1995, Aedo & Olmos, 2003, Araújo, 2005, Álvarez, 2006, Minke, 2006, Félix *et al.*, 2007 e Hassel *et al.*, 2009]. O tabique enquadra-se nas técnicas construtivas de arquitetura de terra e é considerado como o primeiro material compósito da história, por ser composto por uma matriz plástica, a terra, e uma estrutura resistente de madeira. Esta técnica é utilizada principalmente na construção de paredes, as quais são constituídas por elementos de madeira colocados na posição vertical, horizontal ou inclinada, preenchendo com terra os espaços vazios existentes entre os elementos de madeira, como ilustrado na Figura 2.24.



a) [Minke, 2006]



b) [Bal I. E. & Vatan M., 2009]



c) [Essex County Council, 1999]

Figura 2.24 - Estrutura de madeira do tabique

A terra utilizada é de origem argilosa ou siltosa e pode ser misturada com palha ou outras fibras vegetais locais [Essex County Council, 1999, Minke, 2006, Dewulf, 2007 e Pinto *et al.*, 2010-a]. Em países como a Índia, o Japão, a Indonésia, as Filipinas e a Colômbia, a madeira é substituída pelo bambu [Araújo, 2005 e Hassel *et al.*, 2009].

2.4.3.1 O tabique no mundo

Sabe-se que o tabique é utilizado desde o período neolítico. Esta técnica de construção, atualmente abandonada na Europa, foi utilizada na América e Ásia, nos climas tropicais, subtropicais e moderados do mundo, como se mostra na Figura 2.25. Esta técnica construtiva é provavelmente mais antiga do que a taipa ou o adobe [Dethier, 1986 e Minke, 2006]. De acordo com Mendonça [2005], no Brasil, por exemplo, o tabique, aí designado por o *pau a pique* é um sistema construtivo muito difundido.



a) Penajóia, Lamego, Portugal,
N 41° 08.763' / W 7° 50.177'



b) São Salvador, [Langenbach, 2003]



c) Kyoto, Japão
[Le Bris, 2001]

Figura 2.25 - Construções de tabique no mundo

Na Europa, o tabique conheceu o seu apogeu na idade média e manteve-se nos países de língua germânica até ao século XVIII. Em França, o tabique está presente nas regiões da Alsace, da Picardie, da Normandie, da Lande, de Bresse e da Lorraine [Dewulf, 2007] (Figura 2.26-a)).



a) França

[Trindade, 2008]



b) Espanha

[Delgado & Guerrero, 2006]



c) Turquia

[Bal I. E. & Vatan M., 2009]

Figura 2.26 - Tabique na Europa

Em Inglaterra existem provas da existência de tabique desde a idade do aço 1800 a.C. e existem milhares de casas construídas de acordo com esta técnica até ao século XVIII [Essex County Council, 1999 e Graham, 2004]. Em Espanha, de acordo com Delgado & Guerrero [2006] existe um vasto património de arquitetura de tabique, ilustrado na Figura 2.26-b). Podem ainda encontrar-se diversos testemunhos da construção em tabique na Bélgica, Turquia (Figura 2.26-c)) e Eslováquia [Dişkaya, 2007].

2.4.3.2 O tabique em Portugal

O tabique é uma das técnicas construtivas da arquitetura vernácula portuguesa, caracterizando-se por ser económica e simples [Carvalho *et al.*, 2008-b]. Em Portugal o tabique tem as suas origens entre o século XVII e início do século XIX [Araújo, 2005] e podem encontrar-se vestígios deste tipo de construção em todo o território Português. Na Beira Alta e Beira Baixa, no Ribatejo e Alentejo encontram-se inúmeros exemplos de construções que incorporam elementos de tabique. A construção Pombalina também incorpora elementos de tabique [Flórido, 2010]. Todavia, o norte do país e, em especial, a região de Trás-os-Montes e Alto Douro, no nordeste de Portugal, apresenta um vasto e valioso espólio de construções de tabique, como o mostram os trabalhos de Martinho *et al.* [2009], Cepeda *et al.* [2010] e de Gonçalves *et al.* [2010-a]. Nesta região esta técnica construtiva foi muito relevante até aos inícios do século XX, altura em que se deu a introdução massiva do betão armado, cerca de 1930 [Cóias, 2007 e Martinho *et al.*, 2009].

Vários investigadores da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro e também da Universidade de Aveiro têm vindo, desde o ano de 2008, a estudar as construções de tabique existentes na região nordeste de Portugal. Destacam-se os trabalhos de Carvalho [2009],

Cardoso *et al.* [2010] e Pinto *et al.* [2010-a]. Na Figura 2.27 mostram-se alguns exemplos dessas construções.



Vila Real, [Pinto *et al.*, 2010-a]

Vila Nova de Foz Côa, [Carvalho, 2009]

Figura 2.27 - Construções de tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro

2.4.3.3 Principais características das construções de tabique

A técnica do tabique não obedece, *a priori*, a princípios rígidos definidos. A estrutura base consiste numa estrutura de madeira que cria uma trama com uma função essencialmente resistente e que é preenchida com um compósito de argila, água e, por vezes, fibras vegetais ou cal [Cytel, 2003]. Nos exemplos de construção deste tipo que perduram até aos dias de hoje é evidente a existência de uma grande variabilidade tanto na matéria-prima utilizada nos elementos estruturais de madeira como na sua disposição. O material de enchimento e de revestimento também apresenta uma grande diversidade. A variabilidade é fundamentada pelos recursos financeiros, pelo acesso à matéria-prima e pelas condições climáticas da região. Mesmo em regiões de características semelhantes, ou até na mesma localidade, é possível identificar construções de tabique com particularidades distintas, através da análise das Figuras 2.24 e 2.28, [Cytel, 2003, Minke, 2006, Teixeira, 2004 e Segurado, 1909].

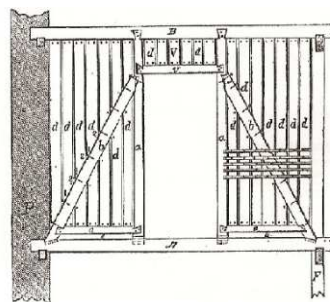
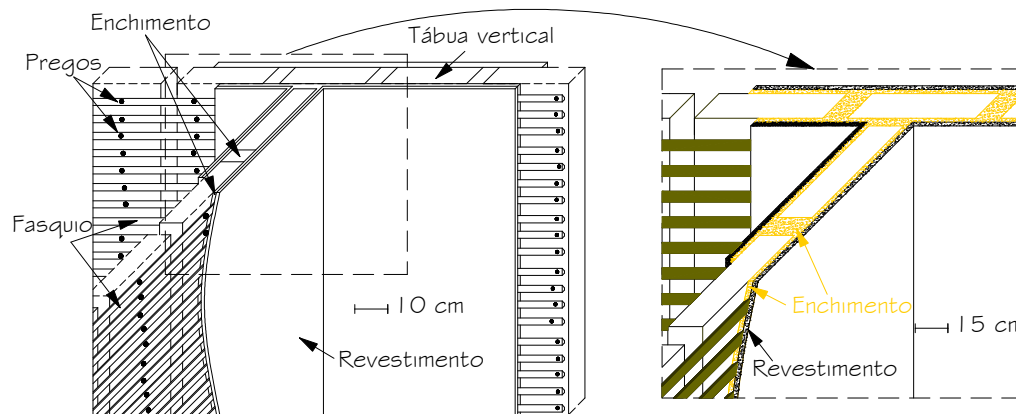


Figura 2.28 - Parede de tabique, [Segurado, 1909]

De acordo com Pinto *et al.* [2009 e 2010-a], e a propósito da construção de tabique da região de Trás-os-Montes e Alto Douro, um elemento construtivo de tabique, como por exemplo uma parede, é construído através da pregagem de um fasquio, ripas de madeira geralmente finas e colocadas na horizontal, sobre tábuas de madeira colocadas na vertical, em ambas as faces (Figura 2.29-a)).



a) Elemento de tabique

b) Enchimento e revestimento

Figura 2.29 - Esquema de paredes de tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro

Esta estrutura de madeira é por sua vez preenchida em ambas as faces por uma argamassa de revestimento (Figura 2.29-b)) à base de terra que pode conter um ligante do tipo cal.

Este revestimento basicamente natural confere à construção boas qualidades térmicas e acústicas e, desempenha um papel fundamental de proteção da estrutura de madeira em relação ao ataque dos agentes biológicos e em relação ao fogo.

O tipo de edifício de tabique mais frequente na região nordeste de Portugal caracteriza-se essencialmente por ter dois pisos: um piso térreo destinado ao abrigo do gado, à guarda de alfaias e produtos agrícolas, e um andar no piso superior para habitação. Por vezes, o piso térreo também é utilizado como espaço de comércio. Na grande maioria destas construções as paredes do rés-do-chão são em alvenaria de pedra e as paredes exteriores e interiores do andar são de tabique. Outra solução consiste em ter todas as paredes exteriores em alvenaria de pedra e somente as paredes interiores em tabique. Relativamente ao revestimento exterior as paredes de tabique podem ser rebocadas com uma argamassa a base de cal ou revestidas com telhas cerâmicas, soletos de ardósia ou chapas de zinco [Carvalho *et al.*, 2008-b, Martinho *et al.*, 2009, Cepeda *et al.*, 2010 e Gonçalves *et al.*, 2010-a].

2.5 Porquê construir com terra

Se até aos inícios do século XX a construção de terra era apreciada pelo seu carácter confortável, protetor, puro e consonante com o local de construção, posteriormente, deixou de o ser, passando a ser um sinónimo de pobreza. No entanto, mais recentemente, tem havido uma mudança radical na atitude, tanto dos utilizadores como dos agentes decisores, relativamente ao uso deste material, previamente olhado com desconfiança, em virtude de possuir um leque interessante de vantagens. Esta mudança tem sido confirmada em várias conferências internacionais, bem como através da realização de grandes projetos como a

construção de um centro habitacional único na nova cidade de 'Isle d'Abeau, em Villefontaine, perto da cidade de Lyon, em França, e ainda pelos trabalhos de vários investigadores, tais como Morel *et al.* [2001] e Murta [2009-b].

Na realidade, as vantagens da utilização da terra como material de construção são muitas. A terra é um material natural, abundante, facilmente acessível e sendo necessário para a sua construção o recurso equipamentos e técnicas simples. A terra pode ser escavada, empilhada, modelada, prensada, apiloadada, recortada e extrudida. A terra pode servir de enchimento e de recobrimento. A terra é reciclável, não poluente, ecológica, sustentável e energeticamente eficiente [Figueiredo & Casbur, 2006 e Parisi *et al.*, 2006], tanto na fase de preparação, de construção, de utilização e manutenção, como na fase de demolição.

Todas estas vantagens e características conferem atualmente à terra um destaque que parece revelar que a construção de terra poderá ser uma alternativa interessante em relação à construção corrente [Gramajo & Moeykens, 2009 e Murta *et al.*, 2009]. Por outro lado, convém destacar que nos países em vias de desenvolvimento, a necessidade de habitação continua a ser uma prioridade e muitas vezes só pode ser alcançada com o recurso aos materiais locais e sem o recurso a equipamentos muito sofisticados [Olotuah, 2002 e Filemio, 2009].

2.6 Organizações que promovem a construção de terra

Desde a crise internacional da energia e da economia decorrida em 1972 que se impôs uma reflexão urgente no setor da construção, tanto dos países desenvolvidos, como dos subdesenvolvidos. Constatou-se que materiais como o cimento, o betão, o aço ou o tijolo, pela sua natureza, consomem demasiada energia, tornando-os menos atrativos. Daí surge a necessidade de se utilizarem materiais menos dispendiosos energeticamente. Em consequência, variadíssimos grupos de trabalho têm surgido um pouco por todo o mundo com o objetivo principal de se dedicarem à construção e à arquitetura de terra. Em seguida apresentam-se as entidades que têm demonstrado maior dedicação e trabalho nesta área.

2.6.1 ICCROM

O ICCROM (Centro Internacional de Estudos para a Conservação e Restauro de Bens Culturais) é um organismo internacional intergovernamental, criado em 1959, que se dedica à conservação do legado cultural, nomeadamente do património de terra [ICCROM, 2005]. O ICCROM conta atualmente com 129 países como membros e está sediado em Roma. Este organismo tem como finalidade analisar a problemática da conservação do património construído numa ótica técnico-científica, reunir e divulgar informação, coordenar trabalhos de investigação, dar formação a técnicos e promover a elaboração de normas de restauro.

2.6.2 Grupo CRATerre - Ensag

O grupo CRATerre foi criado em 1979 por um pequeno grupo de estudantes da Escola Nacional de Arquitetura de Grenoble e tornou-se num laboratório internacional de investigação da construção de terra da referida escola. Este laboratório trabalha na arquitetura de terra e conta com uma equipa de profissionais especializados na construção de terra. O seu objetivo é, em primeiro lugar, estudar a globalidade das técnicas de construção de terra de forma científica, modernizá-las e torná-las operacionais tendo em conta as necessidades do presente e futuro; em segundo lugar, participar diretamente em projetos de investigação sobre construção de terra, na Europa e nos outros continentes e, por fim, preencher um vazio no campo da formação, oferecendo cursos especializados a nível universitário.

Hoje em dia, o grupo CRATerre conta com cerca de trinta pessoas de diversas nacionalidades e áreas do saber, desde a arquitetura à antropologia, passando pela sociologia, engenharia e arqueologia; entre outras ações específicas o CRATerre participa em França numa ação de valorização da taipa mantendo ligações científicas e culturais com 48 concelhos do norte de Isère, porta dos Alpes, em França. O CRATerre tem desenvolvido normas técnicas para a construção em blocos de terra comprimida, doravante denominados BTC [Maniatidis & Walker, 2003 e Delgado & Guerrero, 2006].

2.6.3 PROTERRA

Em 2001, o *Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento* - CYTED criou o projeto de investigação PROTERRA. Este projeto fundamentou-se na necessidade de promover a terra como material de construção, atuando como um projeto internacional e multilateral de cooperação técnica que promove a transferência da tecnologia da construção de terra aos setores produtivos e às políticas sociais dos países Ibero-Americanos. Em 2006, o projeto PROTERRA do CYTED finaliza e cria-se a rede Ibero-Americana PROTERRA, da qual fazem parte Portugal e Espanha, mantendo as mesmas linhas de ação do projeto inicial. Atualmente, o PROTERRA coordenada discussões sobre procedimentos de ensaios e de parâmetros para a qualificação de produtos como o adobe e o BTC. As atividades são desenvolvidas por especialistas provenientes de diversas universidades, centros de investigação, e empresas públicas e privadas dedicadas ao estudo e à aplicação da terra como material de construção, à elaboração de normas e manuais de construção de terra, à publicação especializada sobre o tema e à informação e à difusão da tecnologia de construção de terra [Delgado & Guerrero, 2006, Neves, 2006 e Neves *et al.*, 2009].

2.6.4 ICOMOS

O ICOMOS (Conselho Internacional dos monumentos e dos sítios) foi fundado em 1965, em Varsóvia, na sequência do 2º Congresso de Arquitetos e Técnicos de Monumentos Históricos.

Neste congresso foi elaborada a Carta Internacional sobre a Conservação e o Restauro de Monumentos e Sítios, *Carta de Veneza*, que é o documento fundamental do ICOMOS. Este conselho tem sede em Paris e congrega atualmente cerca de 7000 membros agrupados em mais de 120 comissões nacionais. O ICOMOS é o principal consultor da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) em matéria de conservação e proteção do património. Este organismo procura colaborar na solução de problemas advindos da conservação e restauro da arquitetura de terra.

De acordo com o ICOMOS, é fundamental manter a continuidade dos sistemas tradicionais de construção, assim como os ofícios e as técnicas associadas ao património vernacular, como expressão do mesmo e essenciais para o restauro de tais estruturas. Tais técnicas devem ser conservadas e legadas às gerações futuras, mediante a educação e a formação de artesãos e construtores. A Comissão Nacional Portuguesa ICOMOS-Portugal foi formalmente criada em Dezembro de 1982 [ICOMOS, 2002].

2.6.5 Associação Centro da Terra

A Associação Centro da Terra é uma associação científica cultural e profissional, sem fins lucrativos, para o estudo, a documentação, a difusão e a promoção da arquitetura e da construção de terra em Portugal. Foi constituída em Novembro de 2002 e conta actualmente com cerca de 80 associados. A Associação Centro da Terra combina a preocupação pela conservação e salvaguarda do património existente, com o interesse pela introdução da terra na arquitetura contemporânea, seja estimulando projetos de investigação e experimentação, seja organizando eventos práticos e encontros entre especialistas e interessados nessa temática. Esta Associação, acreditando nas potencialidades que a terra oferece como material de construção e aliando saberes tradicionais e tecnologias contemporâneas, pretende uma construção futura mais sustentável e adaptada às exigências do clima [Pereira *et al.*, 2006].

2.6.6 UNESCO

Recentemente, a UNESCO tem exercido um papel preponderante na defesa da construção de terra propondo a classificação como património da Humanidade de várias construções e cidades em terra. Mais de uma centena de bens culturais construídos em terra encontram-se inscritos no Património Mundial da UNESCO (Figura 2.2) [Delgado & Guerrero, 2006].

2.7 Normas para a construção de terra

A metodologia de dimensionamento de construções de terra é evidentemente e em primeiro lugar uma função da técnica construtiva utilizada. Tanto o adobe como a taipa requerem um material rígido quando seco mas que seja moldável para poder ser manuseado durante a fase

de construção. Estas duas técnicas de construção consistem na justaposição de materiais com espessuras significativas para aumentar a resistência à compressão do material, resultando em sistemas pesados com a predominância do sólido sobre o vazio. A grande espessura das paredes permite que as forças atuantes na estrutura sejam verticalizadas em direção ao solo, reduzindo assim os esforços de flexão. Para estas estruturas, a teoria da elasticidade em meio contínuo e a isotropia podem ser consideradas válidas. Por outro lado tanto o adobe como a taipa requerem fundações em pedra para evitar a ascensão da água, para além do reforço dos cantos de forma a diminuir o risco de danos nestas zonas mais sensíveis. É ainda essencial ter uma cobertura leve e manter as janelas e portas com pequenas dimensões e afastadas dos cantos do edifício.

As paredes de tabique são obtidas através da combinação de materiais, a terra e a madeira, com funções distintas; a madeira tem uma função resistente, enquanto a terra tem essencialmente uma função de enchimento e de revestimento. Daí, resultam edifícios cuja resistência depende da geometria da estrutura e não apenas da resistência do material, em virtude de os elementos estruturais estarem submetidos a esforços de compressão elevados. Para além disso, quando existem ligações por pregos, estas devem de ser corretamente dimensionadas.

A revisão bibliográfica efetuada permitiu concluir que alguns países como a Nova Zelândia e a França já possuem normas e regulamentos específicos sobre a construção de terra há algum tempo. As normas e regulamentos existentes para a construção de terra destinam-se exclusivamente às construções que utilizam apenas a terra, sem a combinação de outro material, como é o caso das construções de tabique. Na Tabela 2.2 indicam-se as normas e regulamentos existentes nos vários continentes bem como as técnicas construtivas contempladas nas mesmas.

Verifica-se que em Portugal não existe atualmente nenhuma norma que regule o dimensionamento e as boas práticas construtivas relativamente a qualquer destas três técnicas construtivas que usam terra.

De acordo com Houben & Guillaud [1995], outros países como a Índia, Tanzânia, Moçambique, Marrocos, Tunísia, Kénia, Costa do Marfim, México, Brasil, Turquia e Costa Rica também tem normas que regulam a construção de terra.

Tabela 2.2 - Normas para a construção de terra.

Continentes	País	Normas e regulamentos	Técnica construtiva
Oceânia	Nova Zelândia	Standards New Zealand. NZS 4297:1998. Engineering design of earth buildings, [NZS 4297, 1998] Standards New Zealand. NZS 4298:1998. Materials and workmanship for earth buildings, [NZS 4298, 1998] Standards New Zealand. NZS 4299:1998. Earth buildings not requiring specific design, [NZS 4299, 1998]	Taipa, adobe e BTC
	Austrália	The Australian earth building handbook*, [Standards Australia and Walker P., 2002]	Taipa, adobe e BTC
Europa	Espanha	Bases para el diseño y construcción con tapial*, [MOPT, 1992]	Taipa, adobe e BTC
	Alemanha	The Lehmbau Regeln*, [Lehmbau Regeln, 1999]	Taipa e adobe BTC
	França	CRATerre, blocs de terre comprimée, normes*, [CRATerre-EAG & CDI, 1998] Compressed earth blocks for walls and partitions: [AFNOR XP P13-901, 2001]	BTC
América	Estados Unidos	Adobe and rammed earth building design and construction*, [McHenry PG, 1984]. 2003 New Mexico Earthen Building Materials code [NMAC 14.7.4. 2004]	Taipa e adobe BTC
	Perú	Norma Técnica Edificación NTE E 0.80 Adobe, [NTE E 080, 2000]	Adobe
	Zimbabwe	Standards Association Zimbabwe. Standard Code of Practice for Rammed Earth Structures, [SAZS 724, 2001]	Taipa
África	Africa regional	Blocs de terre comprimée, normes. Série technologies n.º 11 [CRATerre-EAG & CDI, 1998]	BTC

* Documentos normativos sem força de Lei

2.8 Considerações finais

Este capítulo é o fruto de uma revisão bibliográfica cuidada sobre o tema da construção de terra. Desta revisão tiram-se as conclusões seguintes:

- A terra é um material que foi adotado na construção em todas as épocas desde o período neolítico. Este material foi utilizado numa grande variedade de construções tais como habitações, arcos, cúpulas, palácios, pontes, aquedutos e mesmo em cidades inteiras.
- As três técnicas mais expressivas da construção de terra no mundo, o adobe a taipa e o tabique, encontram-se também disseminadas no território português. A justificação pela opção de utilização destas técnicas de construção é ditada por condições climatéricas, sociais e económicas.

- A bibliografia e os estudos científicos relativos à construção de tabique são ainda extremamente escassos ao contrário daquilo que acontece para a taipa e o adobe.
- Existem diversas associações internacionais e nacionais que protegem o património construído em terra e em simultâneo o estudam, o promovem e o divulgam.
- A construção de terra é o fruto de uma sabedoria coletiva.
- As normas e os regulamentos de construção de terra apenas existem nalguns países e apenas para algumas técnicas construtivas: a taipa, o adobe e os blocos de terra comprimida. Em Portugal, a regulamentação da construção de terra é inexistente apesar de haver um extenso e riquíssimo património de terra que urge ser preservado.