

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**CARATERIZAÇÃO TÉRMICA DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS
EM XISTO E EM GRANITO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

MARTA LILIANA FARIA PEREIRA

Orientador

Professora Doutora Ana Cristina Briga de Sá Saldanha

(Professor Auxiliar da UTAD)

Co - Orientador

Professora Doutora Anabela Gonçalves Correia de Paiva

(Professor Associado da UTAD)

Composição do júri

Vila Real, 2015

Dissertação apresentada na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob orientação científica da Professora Doutora Ana Cristina Briga de Sá Saldanha, Professora Auxiliar, e co – orientação da Professora Doutora Anabela Gonçalves Correia de Paiva, Professora Associada, ambas do Departamento de Engenharias, da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

AGRADECIMENTOS

Às minhas orientadoras, Professora Ana Sá Saldanha e Professora Anabela Paiva, pelo acompanhamento, atenção e paciência, assim como pela motivação e pelos conhecimentos que me transmitiram.

À Senhora Professora Sandra Pereira Cunha pelo auxílio na análise dos resultados obtidos nos ensaios térmicos.

A todos os proprietários dos edifícios analisados por me terem permitido aceder aos mesmos, de forma a poder realizar todos os levantamentos e ensaios necessários.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais, pelo apoio e pela enorme dedicação que demonstraram ao longo da minha vida e do meu percurso académico, bem como aos meus irmãos por toda a disponibilidade e ajuda prestada.

Ao meu namorado Carlos por todo o suporte, incentivo, compreensão, por me ter ajudado e acompanhado no trabalho de campo e também pelos sacrifícios a que foi sujeito pela minha ausência.

Aos meus amigos, em particular à Daniela Ochoa, à Anabela Roca e à Vanessa Bastião, pela amizade incondicional e por terem estado sempre presentes no meu percurso académico.

A todos expresso aqui os meus agradecimentos.

RESUMO

Atualmente, as questões de ordem ambiental são objeto de grande preocupação, e por isso torna-se indispensável a adoção de soluções mais sustentáveis e mais eficientes na construção de edifícios novos e na reabilitação de edifícios tradicionais. De entre estas soluções, destaca-se o uso de técnicas bioclimáticas que incluem a adaptação dos edifícios ao clima e à envolvente em que se inserem e ainda o recurso a materiais locais. A integração correta destas soluções permite melhorar o desempenho térmico dos edifícios e, portanto, reduzir o consumo de energia e aumentar a sustentabilidade na construção. Os edifícios tradicionais existentes no Norte de Portugal são construídos em pedra de xisto e de granito. O estudo deste tipo de construções mostra-se de extrema importância para o conhecimento das soluções bioclimáticas utilizadas e da forma como estas influenciam o seu desempenho térmico. Este trabalho pretende contribuir para este conhecimento através da caracterização térmica das soluções construtivas adotadas em edifícios tradicionais de pedra de xisto e granito existentes em vários concelhos da região Norte de Portugal. A informação obtida neste trabalho permitiu identificar as soluções bioclimáticas existentes nestes edifícios. Destacam-se a elevada inércia térmica, elevada espessura e capacidade de armazenamento das paredes exteriores, a orientação preferencial dos envidraçados a sul, a reduzida área de vãos envidraçados, o uso de portadas e de elementos de sombreamento natural através de vegetação de folha caduca. Concluiu-se também que as técnicas bioclimáticas que caracterizam os edifícios de pedra de xisto e de granito são semelhantes, embora se observem algumas diferenças influenciadas pelo clima local, sendo elas, a orientação de fachadas e janelas, a superfície envidraçada e o uso de dispositivos de sombreamento. Procedeu-se também à determinação do coeficiente de transmissão térmica (U) das soluções de paredes exteriores de xisto e granito destes edifícios, por via analítica, e por via experimental. Verificou-se que os resultados obtidos através do cálculo analítico são mais elevados do que os obtidos experimentalmente. Este resultado deveu-se ao facto de no cálculo analítico não ter sido contabilizada a argamassa de assentamento das pedras. O trabalho de investigação desenvolvido permitiu o conhecimento das soluções construtivas adotadas nestes edifícios, bem como das suas características térmicas, o que poderá auxiliar em processos de reabilitação e também no incentivo ao uso de soluções bioclimáticas em edifícios novos.

Palavras-Chave: Construções tradicionais, xisto, granito, técnicas bioclimáticas, comportamento térmico, caracterização construtiva.

ABSTRACT

Nowadays, environmental issues are of great concern, so it is important to adopt more sustainable and efficient solutions in the construction of new buildings and in the rehabilitation of traditional buildings. Among these solutions, stands out the use of bioclimatic techniques, such as the adaptation of buildings to the local climate and environment and the use of local materials. The proper integration of these solutions leads to the improvement of buildings thermal performance and therefore, to the reduction of energy consumption and to the increase of sustainability in construction. The traditional buildings in northern Portugal are built with local materials such as schist, granite, wood and earth. The study of this type of buildings is extremely important for the knowledge of the used bioclimatic solutions and of the way they influence their thermal behavior. This work aims to contribute to the knowledge of these techniques, through the thermal characterization of the construction solutions adopted in the traditional schist and granite buildings built in several municipalities of northern Portugal. The information obtained in this research work enabled the identification of the bioclimatic solutions adopted in these buildings, such as the high thermal inertia and thickness of the exterior walls, the main glazed areas facing south, the reduced surface of glazed areas, the use of shutters and natural shading elements, such as deciduous vegetation. This work also leads to the conclusion that the bioclimatic techniques used in the schist and granite buildings are similar, although there are some differences due to the local climate, as follows, the orientation of facades and windows, the glazed surface and the use of shading devices. The thermal transmission coefficient (U) of the identified solutions in exterior walls was also determined, using analytical and experimental methods. The values of U obtained analytically were higher than those obtained experimentally. This was due to the fact that the analytical method did not take into account the influence of the earth/clay for laying the stones. This research work enable the knowledge of the construction solutions adopted in these traditional buildings, as well as their thermal characteristics, which may help in rehabilitation processes and also encouraging the use of bioclimatic solutions in new buildings.

Key Words: Traditional buildings, schist, granite, bioclimatic techniques, thermal behavior, constructive characterization.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Índice Geral	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas	xxiii
Listas de Abreviaturas e Símbolos.....	xxv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	3
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Metodologia	4
1.4. Organização do Trabalho.....	5
2. Construções em Xisto e em Granito.....	7
2.1. Introdução	9
2.2. Os Materiais: Xisto e Granito	10
2.2.1. Caracterização Geográfica.....	10
2.2.2. Caracterização Geológica	15
2.2.3. Propriedades Físicas e Mecânicas	17
2.2.3.1. Propriedades Físicas.....	17
2.2.3.1.1. Densidade e Porosidade.....	17
2.2.3.1.2. Condutibilidade Térmica	18
2.2.3.1.3. Capacidade Térmica	19

2.2.3.2.	Propriedades Mecânicas	20
2.2.3.2.1.	Resistência à Compressão	20
2.2.3.2.2.	Resistência à Flexão	21
2.3.	Aplicação do Xisto e do Granito	22
2.4.	Características Bioclimáticas	26
2.5.	Caracterização das Paredes Exteriores	30
2.6.	Conclusões	34
3.	Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal	37
3.1.	Introdução	39
3.2.	Caracterização da Amostra	39
3.3.	Metodologia	41
3.3.1.	Ficha de Levantamento	42
3.4.	Análise dos Resultados	49
3.4.1.	Edifícios de Xisto	50
3.4.2.	Edifícios de Granito	81
3.5.	Conclusões	105
4.	Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores em Xisto e Granito	111
4.1.	Introdução	113
4.2.	Metodologia	113
4.2.1.	Analítica	113
4.2.2.	Experimental	114
4.3.	Análise dos Resultados	117
4.3.1.	Análise dos Resultados Analíticos	117
4.3.1.1.	Paredes de Xisto	118

4.3.1.2. Paredes de Granito	123
4.3.2. Análise dos Resultados Experimentais.....	129
4.3.2.1. Caso de Estudo 1 – Parede de Xisto	129
4.3.2.2. Caso de Estudo 2- Parede de Granito	136
4.3.3. Conclusões.....	141
5. Conclusões e Trabalho Futuro	145
5.1. Conclusões	147
5.2. Trabalho Futuro.....	150
Referências Bibliográficas	151
Anexos.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Mapa litológico da Europa.....	10
Figura 2.2 – Carta geológica de Portugal Continental	11
Figura 2.3 – Zonas climáticas de inverno de Portugal Continental	12
Figura 2.4 – Zonas climáticas de verão de Portugal Continental.....	12
Figura 2.5 – Clima de Portugal Continental segundo a classificação de Koppen.....	13
Figura 2.6 – Representação gráfica das radiações globais anuais (Kcal/cm ²) e distribuídas por meses.....	14
Figura 2.7 – Representação gráfica da temperatura média diária do ar, distribuição por meses .	14
Figura 2.8 – Pedra de xisto	16
Figura 2.9 – Pedra de granito biotítico.....	17
Figura 2.10 – Pedra de granito moscovítico.....	17
Figura 2.11 – Pedra de granito de duas micas	17
Figura 2.12 – Castros	22
Figura 2.13 –Aqueduto de Segóvia.....	23
Figura 2.14 – Panteão romano.....	23
Figura 2.15 – Edifício em pedra de xisto em Conques, França	23
Figura 2.16 – Muralha construída em pedra de xisto na Irlanda do Norte	23
Figura 2.17 – Muros de suporte em pedra de xisto no Douro	24
Figura 2.18 – Muro de suporte em pedra de granito, localizado em Ribeira de Pena.....	24
Figura 2.19 – Revestimento em xisto.....	25
Figura 2.20 – Reservatório em xisto	25
Figura 2.21 – Decoração interior em granito.....	25
Figura 2.22 – Lareira em granito	25
Figura 2.23 – Aldeia de xisto, Cerdeira	25
Figura 2.24 – Aldeia de xisto, Talasnal.....	25
Figura 2.25 – Casa tradicional de alvenaria de pedra de granito, de varanda corrida na região Norte de Portugal	26
Figura 2.26 – Casa tradicional com cobertura em lousa, localizada numa aldeia de Mondim de Basto	28
Figura 2.27 – Casa tradicional que possui vegetação de folha caduca, videiras, localizada numa aldeia de Mondim de Basto	29
Figura 2.28 – Edifício tradicional de pedra de granito em Atei, Mondim de Basto	30
Figura 2.29 – Edifício tradicional de pedra de xisto em Cavernelhe, Mondim de Basto.....	30
Figura 2.30 – Parede de cantaria em pedra de granito	32
Figura 2.31 – Parede ordinária de pedra de xisto.....	32

Figura 2.32 – Parede ordinária de pedra de granito	32
Figura 2.33 – Parede de alvenaria de xisto em pedra seca	33
Figura 2.34 – Parede de alvenaria de granito em pedra seca.....	33
Figura 2.35 – Parede aparelhada de pedra de granito	33
Figura 2.36 – Vão de janela com ombreiras apoiadas sobre a soleira (V- Padieira ou verga, O – ombreira, L- Peitoril)	34
Figura 2.37 – Vão de janela com ombreiras apoiadas sobre a soleira.....	34
Figura 2.38 – Vão de portas com soleira entalada (V- Padieira ou verga, O – ombreira, L- Peitoril).....	34
Figura 2.39 – Vão de portas com soleira entalada	34
Figura 3.1 – Localização dos edifícios de pedra de xisto e granito	40
Figura 3.2 – Grupo 1 da ficha de levantamento – Localização	43
Figura 3.3 – Grupo 2 da ficha de levantamento – Características gerais do edifício.	44
Figura 3.4 – Grupo 3.1 da ficha de levantamento – Sistemas construtivos de paredes.....	45
Figura 3.5 – Grupo 3.2 da ficha de levantamento – Sistemas construtivos de pavimentos.....	46
Figura 3.6 – Grupo 3.3 da ficha de levantamento – Sistemas construtivos da Cobertura	47
Figura 3.7 – Grupo 3.4 da ficha de levantamento – Sistemas construtivos dos remates com fachada	47
Figura 3.8 – Grupo 4 da ficha de levantamento – Vãos	48
Figura 3.9 – Grupo 5 da ficha de levantamento – Elementos externos	48
Figura 3.10 – Grupo 6 da ficha de levantamento – Observações	49
Figura 3.11 – Grupo 7 da ficha de levantamento – Fotografias.....	49
Figura 3.12 – Edifício antigo de pedra de xisto, que foi submetido à reparação/alteração do revestimento da cobertura.	50
Figura 3.13 – Estado de conservação dos edifícios de pedra de xisto.....	51
Figura 3.14 – Edifício de pedra de xisto antigo não reabilitado	51
Figura 3.15 – Edifícios de pedra de xisto antigo em ruina	51
Figura 3.16 – Edifício de pedra de xisto com área inferior a 100m ² e volumetria paralelepipedica	52
Figura 3.17 – Área de implantação dos edifícios de pedra de xisto.....	52
Figura 3.18 – Edifício de pedra de xisto com um piso.....	53
Figura 3.19 – Edifício de pedra de xisto com dois pisos.....	53
Figura 3.20 – Tipo de utilização dos edifícios tradicionais de pedra de xisto	54
Figura 3.21 – Edifício de pedra de xisto com utilização Tipo I, habitação com abrigo de animais no rés-do-chão.....	54

Figura 3.22 – Edifício de pedra de xisto do Tipo IV, utilizado para armazenar produções agrícolas no primeiro piso e animais no rés-do-chão.....	55
Figura 3.23 – Edifício de pedra de xisto do Tipo II, armazém	55
Figura 3.24 – Edifício de pedra de xisto do Tipo III utilizado como habitação (primeiro andar) e armazém (rés-do-chão).....	55
Figura 3.25 – Relação entre o número de pisos e utilização do edifício de pedra de xisto	56
Figura 3.26 – Forma de agrupamento dos edifícios de pedra de xisto	56
Figura 3.27 – Edifícios tradicionais de pedra de xisto em banda	56
Figura 3.28 – Tipo de junta de assentamento nas faces exteriores da alvenaria de pedra de xisto	57
Figura 3.29 – Edifício de pedra de xisto com material de assentamento (barro/terra).....	58
Figura 3.30 – Edifício de pedra de xisto sem material de assentamento.....	58
Figura 3.31 – Edifício com diferentes tipos de juntas na face exterior e na face interior da alvenaria de pedra de xisto.	59
Figura 3.32 – Tipo de junta de assentamento na face interior da alvenaria de pedra de xisto.....	59
Figura 3.33 – Tipo de juntas de assentamento na face exterior das paredes exteriores, na zona de habitação dos edifícios do Tipo I.....	60
Figura 3.34 – Tipo de juntas de assentamento na face interior das paredes exteriores, na zona de habitação dos edifícios do Tipo I.....	60
Figura 3.35 – Espessura das paredes exteriores dos edifícios de pedra de xisto	61
Figura 3.36 – Paredes exteriores de um edifício de pedra de xisto.....	61
Figura 3.37 – Tipo de revestimento do pavimento do rés-do-chão.....	62
Figura 3.38 – Tipo de revestimento do pavimentos do primeiro andar.....	62
Figura 3.39 – Vista interior de um edifício com laje de esteira em madeira	63
Figura 3.40 – Vista interior de um edifício sem laje de esteira	63
Figura 3.41 – Número de águas da cobertura dos edifícios de pedra de xisto.....	63
Figura 3.42 – Edifício de pedra de xisto com cobertura de 2 águas	64
Figura 3.43 – Edifício de pedra de xisto com cobertura de 3 águas	64
Figura 3.44 – Edifício de pedra de xisto com cobertura de 4 águas.	64
Figura 3.45 – Vista do interior de um edifício de pedra de xisto com estrutura da cobertura de madeira.....	64
Figura 3.46 – Tipo de revestimento da cobertura dos edifícios de pedra de xisto.....	65
Figura 3.47 – Revestimento da cobertura em telha cerâmica	66
Figura 3.48– Revestimento da cobertura em ardósia	66
Figura 3.49 – Revestimento da cobertura em metal.....	66
Figura 3.50 – Revestimento da cobertura em colmo.....	66
Figura 3.51 – Edifício de pedra de xisto com cunhais em granito.....	67

Figura 3.52 – Edifício de pedra de xisto com cunhais em xisto	67
Figura 3.53 – Edifício de pedra de xisto com padieira e ombreiras em granito	67
Figura 3.54 – Edifício de pedra de xisto, com xisto como elemento da ombreira e de granito como elemento da padieira.....	67
Figura 3.55– Espessura das ombreiras e das padieiras nos edifícios de pedra de xisto	68
Figura 3.56 – Material utilizado nos beirais dos edifícios de pedra de xisto.....	68
Figura 3.57 – Material utilizado nos beirais dos edifícios de pedra de xisto.....	69
Figura 3.58 – Distribuição da espessura dos beirais dos edifícios de pedra de xisto	69
Figura 3.59 – Distribuição do número de janelas por orientação	70
Figura 3.60 – Áreas dos 28 vãos das janelas por orientação (m ²).....	70
Figura 3.61 – Edifício de pedra de xisto com maior orientação de vãos a oeste	71
Figura 3.62 – Localização do aglomerado de edifícios de pedra de xisto.....	71
Figura 3.63 – Distribuição do número de portas por orientação.....	72
Figura 3.64 – Áreas dos 18 vãos de portas por orientação (m ²)	72
Figura 3.65 – Tipo de material utilizado como caixilharia das janelas dos edifícios de pedra de xisto.....	72
Figura 3.66 – Tipo de proteção utilizado nas janelas dos edifícios de pedra de xisto.....	72
Figura 3.67 – Janela em madeira com portada interior, pertencente a um edifício de pedra de xisto.....	73
Figura 3.68 – Janela em PVC, pertencente a um edifício de pedra de xisto.....	73
Figura 3.69 – Escadas exteriores em pedra de granito	73
Figura 3.70 – Escadas exteriores em pedra de xisto	73
Figura 3.71 – Material utilizado na varanda/alpendre dos edifícios de pedra de xisto	74
Figura 3.72 – Material utilizado na chaminé dos edifícios de pedra de xisto.....	74
Figura 3.73 – Alpendre de madeira de um edifício de pedra de xisto.....	74
Figura 3.74 – Elementos de sombreamento natural usados em edifícios de pedra de xisto	75
Figura 3.75 – Edifícios de pedra de granito com diferentes estados de conservação	82
Figura 3.76 – Estado de conservação dos edifícios de pedra de granito	82
Figura 3.77– Área de implantação dos edifícios de pedra de granito	83
Figura 3.78 – Edifício de pedra de granito com um piso	83
Figura 3.79 – Edifício de pedra de granito com dois pisos	83
Figura 3.80 – Tipo de utilização dos edifícios tradicionais de pedra de granito.....	84
Figura 3.81 – Edifício tradicional de granito com utilização do Tipo V, habitação	85
Figura 3.82 – Edifício tradicional de granito com utilização do Tipo II, armazém	85
Figura 3.83 – Edifício tradicional de granito com utilização do Tipo IV, armazém e abrigo de animais.....	85

Figura 3.84 – Relação entre o número de pisos e a utilização do edifício de pedra de granito ..	86
Figura 3.85 – Forma de agrupamento dos edifícios de pedra de granito	86
Figura 3.86 – Edifícios de pedra de granito agrupados em banda	86
Figura 3.87 – Edifícios de pedra de granito isolado.....	87
Figura 3.88 – Número de panos das paredes exteriores de pedra de granito.....	88
Figura 3.89 – Pormenor de Parede exterior em pedra de granito com dois panos e enchimento.....	88
Figura 3.90 – Tipo de junta de assentamento na face exterior da alvenaria de pedra de granito.	88
Figura 3.91 – Exemplos de paredes com diferentes materiais de enchimento nas juntas de assentamento.....	89
Figura 3.92– Edifício com diferentes tipos juntas na face exterior e na face interior da alvenaria de pedra de granito.....	89
Figura 3.93 – Tipo de junta de assentamento na face interior da alvenaria de pedra de granito..	90
Figura 3.94 – Tipo de juntas de assentamento na face exterior das paredes exteriores, na zona de habitação dos edifícios do Tipo I, III e V	90
Figura 3.95– Tipo de juntas de assentamento na face interior das paredes exteriores, na zona de habitação dos edifícios do Tipo I, III e V	90
Figura 3.96 – Espessura das paredes exteriores dos edifícios de pedra de granito	91
Figura 3.97 – Estrutura do pavimento de um edifício de granito em madeira.....	92
Figura 3.98 – Estrutura do pavimento de um edifício de granito em blocos de betão	92
Figura 3.99 – Tipo de revestimento do pavimento do rés-do-chão.....	92
Figura 3.100 – Tipo de revestimento do pavimento do primeiro andar	92
Figura 3.101– Vista do interior de um edifício de pedra de granito com estrutura da cobertura de madeira.....	93
Figura 3.102 – Número de águas da cobertura dos edifícios de pedra de granito	93
Figura 3.103– Edifício de pedra de granito com cobertura de 2 águas	93
Figura 3.104 – Edifício de pedra de granito com cobertura de 3 águas	93
Figura 3.105– Edifício de pedra de granito com cobertura de 4 águas	94
Figura 3.106– Edifício de pedra de granito com cunhais em granito	94
Figura 3.107– Edifício de pedra de granito com ombreiras e padieira em granito	94
Figura 3.108 – Identificação da espessura medida no elemento da ombreira e da padieira de um edifício de pedra de granito	95
Figura 3.109– Material utilizado nos beirais dos edifícios de pedra de granito	95
Figura 3.110– Material utilizado nos beirais dos edifícios de pedra de granito	96
Figura 3.111– Edifício de pedra de granito com cornija em granito.....	96
Figura 3.112– Distribuição do número de janelas por orientação	97
Figura 3.113– Áreas dos 48 vãos de janelas por orientação (m ²)	97

Figura 3.114– Distribuição do número de portas por orientação.....	97
Figura 3.115– Áreas dos 34 vãos de portas por orientação (m ²)	97
Figura 3.116 – Janelas de edifícios de pedra de granito com caixilharia de diferentes materiais	98
Figura 3.117 – Portas de edifícios de pedra de granito com portas de diferentes materiais	98
Figura 3.118 – Edifício de pedra de granito com escadas em granito.....	99
Figura 3.119 – Edifício de pedra de granito com varanda de madeira.....	99
Figura 3.120 – Edifício de pedra de granito com chaminé de metal.....	99
Figura 4.1 – Sistema de medição de fluxo de calor	115
Figura 4.2– Termohigrómetro marca “Hanna instruments” modelo H191610C.....	116
Figura 4.3– Fachada orientada a oeste, edifício de pedra de xisto do caso de estudo 1.....	129
Figura 4.4 – Cobertura em lousa e em cerâmica, edifício de pedra de xisto do caso de estudo 1	130
Figura 4.5– Fachada orientada a Sul, edifício de pedra de xisto do caso de estudo 1.....	130
Figura 4.6– Corte esquemático da parede exterior do edifício de pedra de xisto do caso de estudo 1.....	131
Figura 4.7– Aparelhos de medição de fluxo de calor utilizados no ensaio	131
Figura 4.8– Pormenor da fixação dos aparelhos de medição de fluxo de calor na face interior da parede.....	131
Figura 4.9 – Valores de temperatura interior e exterior no período de 12 de abril de 2014 a 2 de maio de 2014	133
Figura 4.10 – Valores de temperatura interior e exterior e fluxos de calor no período de 12 de abril de 2014 a 2 de maio de 2014	134
Figura 4.11 – Valores de U_1 (n), U_2 (n), no período de 17 de abril de 2014 a 2 de maio de 2014	135
Figura 4.12– Fachada orientada a este, edifício de pedra de granito do caso de estudo 2	136
Figura 4.13– Pormenor de enchimento de uma parede do edifício de pedra de granito do caso de estudo 2	136
Figura 4.14– Fachada orientada a sul, edifício de pedra de granito do caso de estudo 2.....	137
Figura 4.15 – Cobertura e fachada orientada a norte, edifício de pedra de granito do caso de estudo 2	137
Figura 4.16 – Corte esquemático da parede exterior do edifício de pedra de granito do caso de estudo 2.....	137
Figura 4.17– Fixação dos aparelhos de medição de fluxo de calor no edifício de pedra de granito do caso de estudo 2.....	138
Figura 4.18 – Valores de temperatura interior e exterior no período de 21 de fevereiro de 2014 a 5 de março de 2014.....	139

Figura 4.19 – Valores de temperatura interior e exterior e fluxos de calor do HF1 e do HF2 no período de 21 de fevereiro de 2014 a 5 de março de 2014.....	140
Figura 4.20 –Valores de $U_1 (n)$, $U_2 (n)$, no período de 26 de fevereiro de 2014 a 5 de março de 2014	140

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Densidade e porosidade de diferentes rochas	18
Tabela 2.2 – Condutibilidade térmica de diferentes rochas.....	19
Tabela 2.3 – Calor específico de diferentes rochas.....	19
Tabela 2.4 – Resistência à compressão de diferentes rochas.....	21
Tabela 2.5 – Resistência à flexão de diferentes rochas	21
Tabela 2.6 – Designação de paredes de edifícios antigos de acordo com a natureza, dimensão, grau de aparelho e material ligante dos elementos constituintes	31
Tabela 3.1 – Número de edifícios analisados nos diferentes concelhos.....	41
Tabela 3.2 – Classificação dos diferentes usos encontrados nos edifícios de pedra de xisto	53
Tabela 3.3 – Classificação dos municípios segundo as NUTS III e respetivas zonas climáticas	76
Tabela 3.4 – Comparação entre os edifícios analisados nas NUTS III do Ave (concelho de Mondim de Basto), Douro (concelhos de Santa Marta de Penaguião, Vila Real e Régua) e Tâmega (concelho de Penafiel).	76
Tabela 3.5 – Classificação dos diferentes usos encontrados nos edifícios de pedra de granito...84	
Tabela 3.6 – Classificação dos municípios segundo as NUTS III e respetivas zonas climáticas	100
Tabela 3.7 – Comparação entre os edifícios analisados nas NUTS III do Ave (concelhos de Mondim de Basto), Douro (concelhos de Peso da Régua e Vila Real), Minho-Lima (Arcos de Valdevez), Cávado (concelho de Terras de Bouro) e Alto Trás-os-Montes (concelho de Ribeira de Pena).....	101
Tabela 4.1 – Valor da condutibilidade térmica dos materiais utilizados na composição das paredes exteriores	118
Tabela 4.2 – Resultados do cálculo analítico dos coeficientes de transmissão térmica de paredes exteriores de pedra de xisto	119
Tabela 4.3 – Coeficientes de transmissão térmica de paredes exteriores de pedra de xisto	120
Tabela 4.4 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de alvenaria ordinária (xisto)	122
Tabela 4.5 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de cantaria, de paredes simples de alvenaria aparelhada e de paredes simples de alvenaria de pedra seca (xisto)	122
Tabela 4.6 – Resultados do cálculo analítico dos coeficientes de transmissão térmica de paredes exteriores de pedra de granito.....	123
Tabela 4.7 – Coeficientes de transmissão térmica de paredes exteriores de pedra de granito...125	
Tabela 4.8 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de alvenaria ordinária (granito).....	126

Tabela 4.9 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de cantaria, de paredes simples de alvenaria aparelhada e de paredes simples de alvenaria de pedra seca (granito).....	126
Tabela 4.10 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de fachada sem isolamento térmico	127
Tabela 4.11 – Valor de U obtido na medição; variação entre o valor analítico, experimental e tabelado	135
Tabela 4.12 – Valor de U obtido na medição; variação entre o valor medido, calculado e tabelado.	141

LISTAS DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Abreviaturas / Símbolos	Designação
U	Coefficiente de transmissão térmica
U' médio	Coefficiente de transmissão térmica médio corrigido
U médio	Coefficiente de transmissão térmica médio não corrigido
U_1, U_2	Coefficientes de transmissão térmica não corrigidos, obtidos através de HF1 e HF2, respetivamente
U'_1, U'_2	Coefficientes de transmissão térmica corrigidos, obtidos através de HF1 e HF2, respetivamente
h_i, h_e	Condutância térmica superficial interior e exterior, respetivamente
λ	Condutibilidade térmica
Δ	Desvio
q_1, q_2	Fluxos de calor medidos através do HF1 e do HF2, respetivamente
PAX	Programa das Aldeias de Xisto
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
R_{si}, R_{se}	Resistência térmica superficial interior e exterior, respetivamente
SCRM	Subcomissão sobre a Sistemática de Rochas Metamórficas
T_i, T_e	Temperatura interior e exterior, respetivamente
UTAD	Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Desde tempos remotos que o homem tem feito construções de modo a proteger-se de perigos e de condições climáticas adversas. Nessa época, não existia o conceito de conforto térmico, mas existia uma noção, por via sensitiva, da relação existente entre o clima, a forma, o material de construção disponível no local e o bem-estar físico [1].

Materiais como o xisto e o granito foram utilizados ao longo dos tempos nas mais diversas construções. Estes dois materiais foram, e continuam a ser, utilizados para a construção de monumentos, barragens, pontes, muros de suporte, poços, lagares e habitações [2,3].

A utilização destes materiais foi variando ao longo do tempo, influenciada pela sua abundância local, pelas acessibilidades e pelo transporte disponível e, ainda, por fatores económicos. O uso destes materiais nas construções pode contribuir para a sustentabilidade na construção, uma vez que esta matéria-prima, quando existente no local da construção, diminui os custos associados ao seu transporte. Durante vários séculos, as construções estiveram estritamente relacionadas com os materiais regionais, existindo um padrão construtivo associado a cada região de Portugal. Atualmente, a uniformização das soluções construtivas resultante da evolução tecnológica, do aparecimento de novos materiais construtivos e da melhoria das acessibilidades, conduziu à descaracterização construtiva das diversas regiões, resultando, por vezes, na adoção de soluções construtivas desadequadas ao local e pouco integradas no meio envolvente.

As construções em pedra de xisto e de granito caracterizam grande parte do parque habitacional tradicional português. A pedra de xisto foi utilizada durante vários séculos na construção de habitações vernaculares nas regiões de Trás-os-Montes, Minho, Douro, Alentejo e Beiras, sendo esta última conhecida pelas numerosas aldeias de xisto. A pedra de granito predomina, também, nas construções vernaculares das regiões do Minho, Douro, Trás-os-Montes e Beiras. Em todas estas regiões se verifica a abundância natural destes materiais [4].

As diferenças que se verificam a nível geográfico e climático no território português provocam uma necessidade de adaptação às condições locais e, conseqüentemente, a

diferentes expressões da arquitetura vernacular. Esta necessidade de adaptação levou ao desenvolvimento de técnicas tradicionais com princípios bioclimáticos assentes numa construção sustentável [5].

Numa altura em que as preocupações com o consumo de energia e com as conseqüentes emissões de gases de efeito de estufa exigem a adoção de soluções construtivas mais sustentáveis e mais eficientes a nível energético [6], mostra-se necessário perceber quais as soluções construtivas que caracterizam estes edifícios tradicionais e qual o seu desempenho a nível térmico. A integração dos edifícios na paisagem, a sua adequação ao terreno de implantação e às características climáticas do local são alguns dos fatores decisivos que devem ser analisados na conceção do edifício. Os materiais e as espessuras adotados nos diversos elementos da envolvente do edifício, as áreas de envidraçados por orientação solar, a sua relação com a área opaca de fachada e os sombreamentos e dispositivos de oclusão utilizados são características construtivas e arquitetónicas que influenciam o desempenho térmico dos edifícios [7].

Assim, o conhecimento e a caracterização das construções vernaculares são essenciais para que se possam integrar, simultaneamente, técnicas construtivas tradicionais e modernas. Esta caracterização contribuirá, também, para a adoção de soluções de intervenção mais adequadas em operações de reabilitação.

1.2. Objetivos

O objetivo desta dissertação consiste na caracterização térmica de soluções construtivas utilizadas em edifícios construídos em pedra de xisto e de granito, localizados na região Norte de Portugal. Esta caracterização será efetuada ao nível da caracterização construtiva destes edifícios, das soluções bioclimáticas utilizadas e da determinação do coeficiente de transmissão térmica de soluções construtivas de paredes exteriores.

1.3. Metodologia

Para a caracterização térmica das soluções construtivas em xisto e em granito foi fundamental a elaboração de pesquisa e revisão bibliográfica relacionadas com a temática em estudo, a fim de se recolher toda a informação necessária e possível para o desenvolvimento deste trabalho. Esta consistiu na recolha de informação, em especial aquela que se refere à posterior utilização destes materiais na construção e às suas

propriedades e, ainda, às técnicas construtivas utilizadas em edifícios tradicionais de pedra de xisto e granito tendo em vista a caracterização térmica deste tipo de edifícios.

Numa segunda fase, foi realizado um exaustivo trabalho de campo através de várias visitas a diferentes freguesias dos concelhos de Ribeira de Pena e Mondim de Basto (distrito de Vila Real), de modo a localizar e estudar os edifícios tradicionais de pedra de xisto e granito. Este processo de levantamento foi acompanhado de recolha de material fotográfico para melhor identificar as especificidades deste tipo de edifícios.

Em seguida, foi elaborada uma análise comparativa efetuada entre os dados recolhidos no trabalho de campo, os dados referentes a outros estudos realizados anteriormente nos concelhos de Arcos de Valdevez (distrito de Viana do Castelo), Terras de Bouro (distrito de Braga), Régua (distrito de Vila Real), Vila Real, Penafiel (distrito do Porto), e em Santa Marta de Penaguião (distrito de Vila Real). Esta tarefa foi fundamental para aumentar a amostra deste tipo de edifícios e para um melhor conhecimento das suas características construtivas que podem influenciar o seu desempenho térmico.

Depois de reunida e analisada a informação obtida, efetuou-se a caracterização das diferentes soluções construtivas de paredes exteriores dos edifícios analisados e procedeu-se posteriormente ao cálculo analítico dos coeficientes de transmissão térmica deste elemento construtivo, representativo deste tipo de edifícios. Foram também realizados dois ensaios “in situ” para determinação do coeficiente de transmissão térmica de duas soluções construtivas de paredes exteriores. Os valores dos coeficientes de transmissão térmica determinado para as paredes exteriores construídas em pedra de xisto e de granito, por via analítica e por via experimental, foram posteriormente comparados.

1.4. Organização do Trabalho

De modo a facilitar a compreensão do presente trabalho de investigação, segue-se uma breve descrição dos conteúdos relativos aos cinco capítulos que integram este trabalho. No primeiro capítulo é apresentado o enquadramento do tema a desenvolver neste trabalho, os objetivos e a metodologia utilizada.

No segundo capítulo é apresentada uma caracterização geográfica, geológica, física e mecânica das pedras de xisto e de granito, assim como as suas aplicações ao longo dos

tempos na construção. Neste capítulo são também apresentados princípios bioclimáticos que fazem parte da arquitetura tradicional.

No terceiro capítulo é efetuada a caracterização das construções em xisto e em granito, em termos construtivos e arquitetónicos, baseada na informação recolhida aquando do trabalho de campo. É posteriormente efetuada a comparação entre os resultados obtidos neste trabalho com outros já desenvolvidos neste âmbito.

No quarto capítulo é efetuada a caracterização térmica de soluções construtivas de paredes exteriores de xisto e de granito, através do cálculo dos coeficientes de transmissão térmica (U), por via analítica. Por via experimental, foi determinado o U para uma parede de xisto e outra de granito.

No quinto e último capítulo são apresentadas as principais conclusões deste trabalho de investigação, bem como sugestões de trabalhos futuros considerados relevantes nesta linha de investigação.

2. CONSTRUÇÕES EM XISTO E EM GRANITO

2.1. Introdução

Em diversos países da Europa encontram-se construções tradicionais em xisto e em granito, função da geologia local e da disponibilidade de afloramentos de rochas com propriedades físicas e mecânicas apropriadas.

O património existente constitui uma referência histórica, cultural e arquitetónica de extrema importância, fornecendo elementos essenciais para o conhecimento e compreensão da evolução da capacidade humana de adaptação ao meio envolvente desde os primórdios da História, sendo, por isso, de fundamental a sua preservação [8]. Em Portugal, as construções tradicionais de alvenaria de xisto e de granito estão espalhadas de norte a sul do território podendo variar a tipologia e sistema construtivo utilizado, reflexo do ambiente em que estão inseridas.

Neste capítulo, apresenta-se um enquadramento geográfico e geológico do xisto e do granito. A caracterização geográfica permite conhecer melhor a localização de afloramentos destas rochas a nível europeu. A caracterização geológica, bem como a caracterização física e mecânica destas rochas, têm como objetivo conhecer as propriedades que possam influenciar o desempenho térmico e estrutural dos edifícios. O conhecimento destas propriedades é crucial para o desenvolvimento de soluções de conservação e reabilitação adequadas [8].

Para melhor conhecer a aplicação destes materiais ao longo do tempo é efetuado um enquadramento histórico das construções tradicionais em xisto e granito. Será dado especial ênfase as paredes exteriores, dado ser o elemento construtivo representativo deste tipo de edifícios tradicionais de pedra. Por outro lado, este elemento construtivo será alvo de análise no Capítulo 4.

Estas construções tradicionais apresentam, na sua forma, características arquitetónicas resultante de condicionalismos climáticos, geográficos, geológicos, económicos e sociais dos locais onde se inserem. A adaptação destas construções a um território e a um clima específico era efetuado através da utilização de técnicas passivas muito simples, mas que se podiam revelar bastante satisfatórias. Estas medidas potenciavam o aproveitamento dos fatores climáticos de forma a maximizar as condições de conforto interior nas construções.

Será também apresentada uma breve descrição destas características bioclimáticas, que serão posteriormente analisadas no Capítulo 3.

2.2. Os Materiais: Xisto e Granito

2.2.1. Caracterização Geográfica

A Europa é um continente onde é possível, em diferentes locais, encontrar rochas pré-câmbricas e paleozoicas, como é o exemplo do xisto, do granito, do mármore, dos gneisses e dos quartzitos. Países como Portugal, Espanha, Noruega, Suécia, Escócia e França apresentam uma grande quantidade de rochas pré-câmbricas e paleozoicas, tal como se pode observar no mapa litológico da Europa apresentado na Figura 2.1 [9].

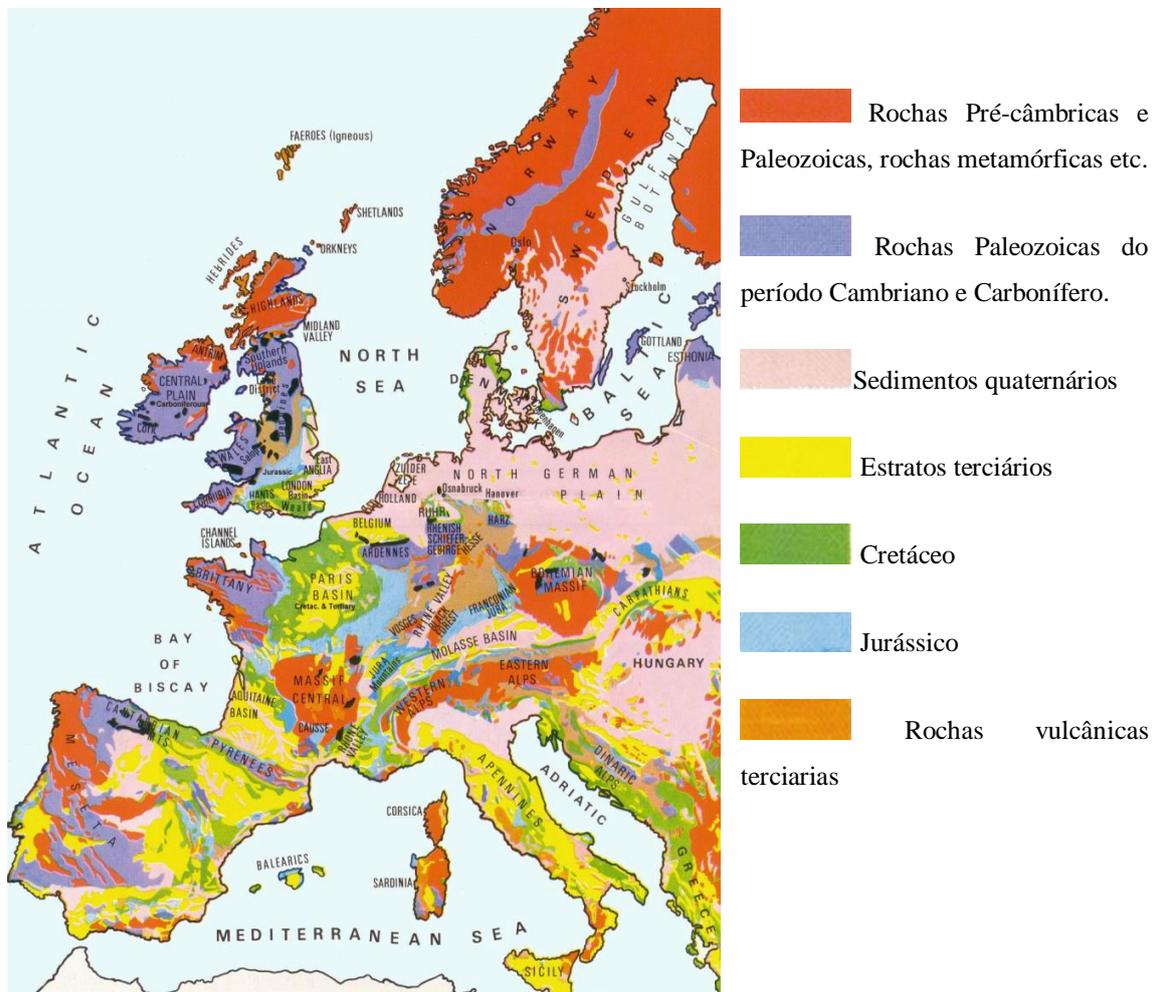


Figura 2.1 – Mapa litológico da Europa [9]

Portugal possui, a nível morfoestrutural, 3 áreas distintas com diferentes estruturas e naturezas litológicas. O maciço antigo que é constituído pelas rochas pré-câmbricas e paleozoicas corresponde à maior área morfoestrutural portuguesa. Este maciço, como se

Capítulo 2 – Construções em Xisto e em Granito

pode ver na Figura 2.1, tem origem em Espanha e abrange várias regiões portuguesas, entre elas, as regiões do Minho, Douro e Trás-os-Montes e a grande parte das Beiras e Alentejo [10].

Para melhor ilustrar a constituição geológica de Portugal, na Figura 2.2 apresenta-se a carta geológica de Portugal Continental onde se pode observar, identificado com a cor verde, os locais de afloramento de xisto, mármore e quartzito. As zonas indicadas com a cor rosa claro representam os locais de afloramento de granito.

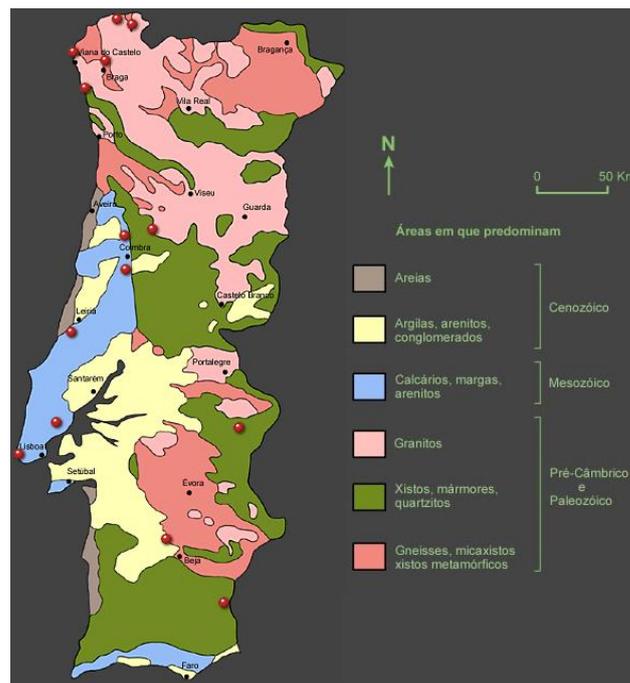


Figura 2.2 – Carta geológica de Portugal Continental [4]

A distribuição geográfica destas rochas influencia os materiais utilizados nas construções locais. O Homem está em constante interação com o meio ambiente, alterando-o e sendo alterado por ele. Da mesma forma, um edifício também é influenciado pelo ambiente onde se insere. O clima local, a envolvente e as questões económicas, sociais e culturais moldam-no [11,12]. Estes condicionalismos locais materializam-se em diferentes modos de construir, o que leva à existência de uma arquitetura tradicional diferenciada, em diferentes zonas geográficas e climáticas, como resultado de terem sido usadas diferentes técnicas, nos diferentes locais, na tentativa de adaptar as construções ao meio envolvente.

As condições climáticas são então responsáveis pela manifestação de diferenciadas técnicas locais, sendo por isso de importante conhecimento pois, uma correta adaptação de um edifício ao clima e ao local irá contribuir para um maior conforto térmico e uma construção mais eficiente e sustentável.

Em Portugal, os parâmetros para zonamento climático encontram-se publicados no Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação REH [13]. Este zonamento baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, em que cada município pertence a uma das 30 NUTS III.

Em conjunto com este zonamento são consideradas três zonas climáticas de inverno (I1,I2,I3), representadas na Figura 2.3, e três zonas climáticas de verão (V1,V2,V3), representadas na Figura 2.4. Estas zonas são determinadas com base em parâmetros climáticos locais e ajustados à altitude local.

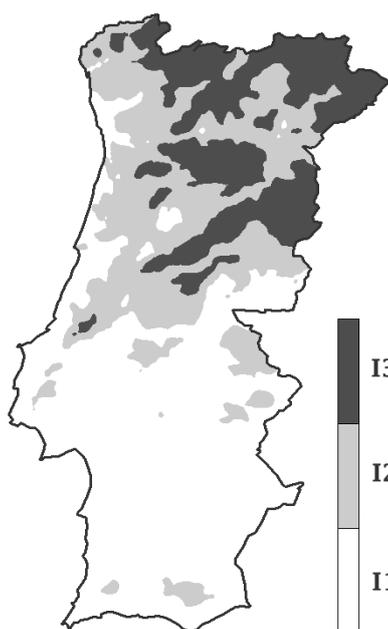


Figura 2.3 – Zonas climáticas de inverno de Portugal Continental [13]

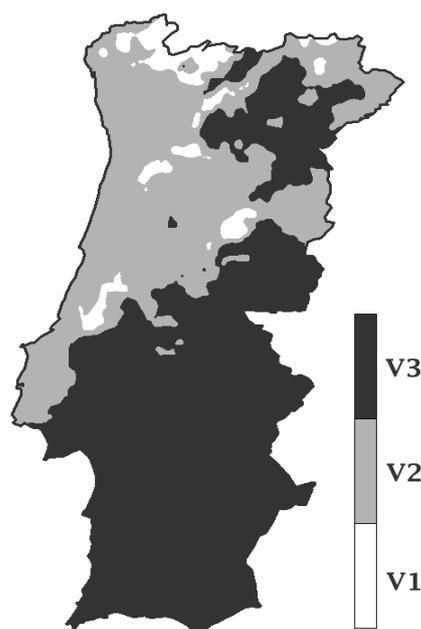


Figura 2.4 – Zonas climáticas de verão de Portugal Continental [13]

Para além da classificação definida no REH, existe ainda a classificação segundo Koppen. Segundo esta classificação, Portugal divide-se em duas regiões: uma de clima temperado, com inverno chuvoso e verão seco e quente (Csa) e outra, de clima temperado, com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente (Csb), Figura 2.5 [14].

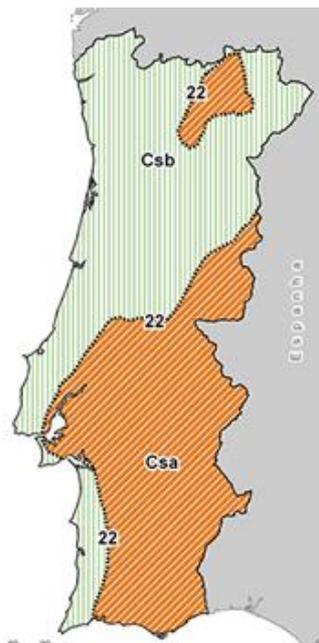


Figura 2.5 – Clima de Portugal Continental segundo a classificação de Koppen [14]

O clima de Portugal apresenta-se, assim, como um clima temperado. O facto de Portugal ser caracterizado por um clima ameno leva a que o recurso a soluções passivas, nomeadamente a correta orientação dos vãos, contribua para a obtenção do conforto térmico nos edifícios. Assim, conseguem-se maiores poupanças de energia, reduzindo-se a utilização de aparelhos de climatização.

O desempenho térmico do edifício e do conforto no seu interior são função, para além das características construtivas do edifício, das variáveis climáticas que caracterizam o ambiente exterior, ou seja, a temperatura do ar exterior e a radiação solar. A representação gráfica, das temperaturas médias diárias distribuídas pelos meses do ano e da radiação solar anual, apresentada nas figuras 2.6 e 2.7, respetivamente, permitem constatar a variabilidade das condições climáticas em Portugal. Esta informação é essencial para a definição de soluções passivas a integrar no edifício, bem como para o cálculo das necessidades energéticas.

A temperatura do ar é determinante na obtenção de fluxos energéticos através da envolvente do edifício. Os fluxos energéticos do interior para o exterior do edifício ocorrem maioritariamente no período de inverno, correspondendo a perdas térmicas, enquanto no verão estes fluxos têm tendência a inverter o sentido e a ocorrerem situações de ganhos térmicos. Para que o edifício apresente um bom desempenho térmico é essencial que estes fluxos de calor ocorridos através da envolvente sejam

minimizados. A intensidade de radiação solar que caracteriza o local de implantação do edifício apresenta também um papel determinante no conforto térmico do edifício. No inverno, pode constituir uma fonte de calor que contribui para o aumento da temperatura interior e no verão constitui uma fonte de calor a evitar, pois será responsável pelo aumento da temperatura no interior do edifício [15].

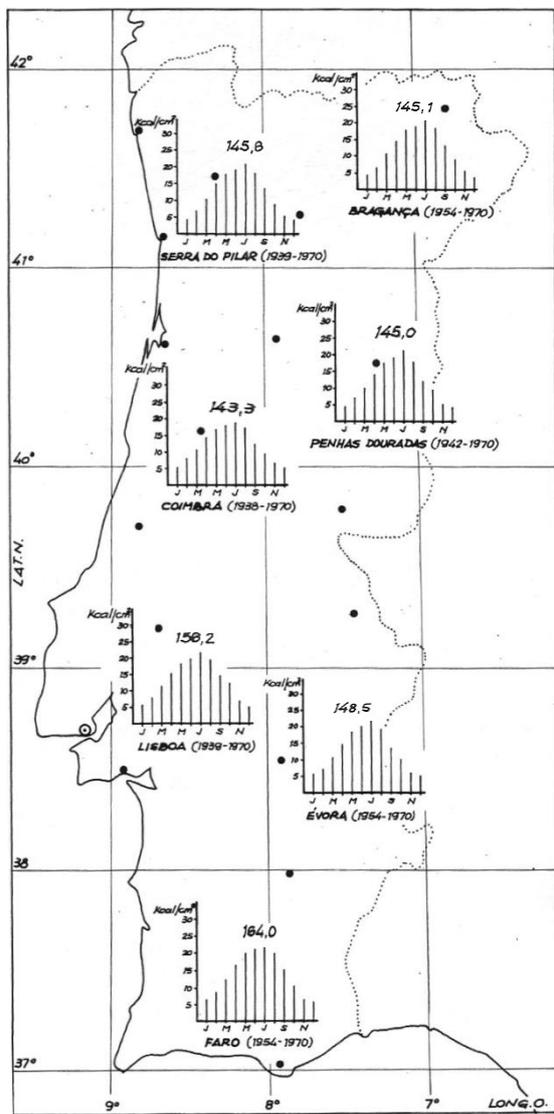


Figura 2.6 – Representação gráfica das radiações globais anuais (Kcal/cm^2) e distribuídas por meses

[1]

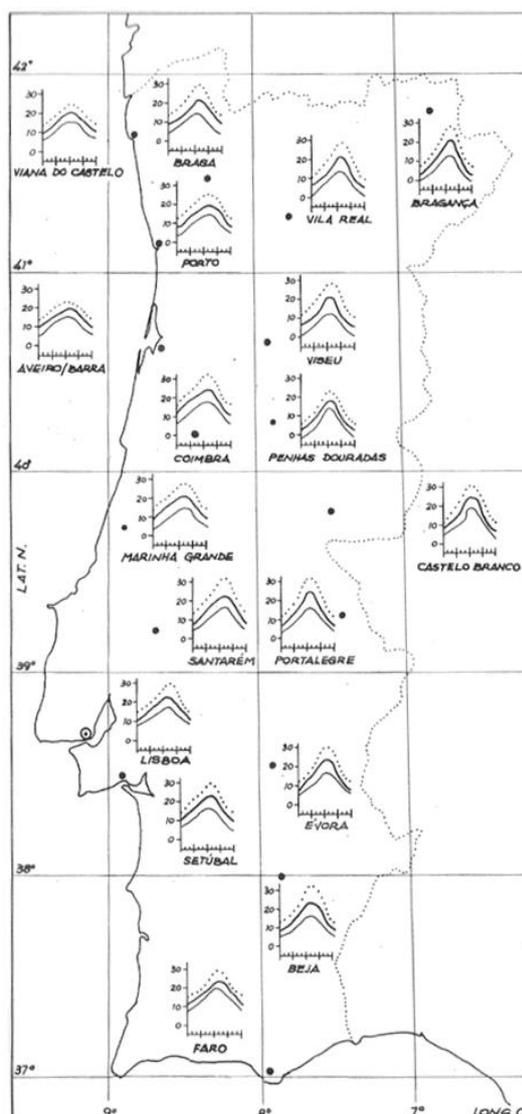
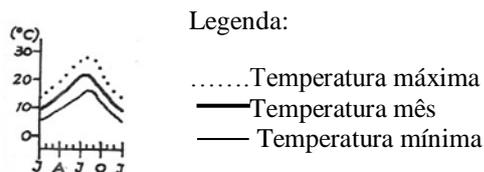


Figura 2.7 – Representação gráfica da temperatura média diária do ar, distribuição por meses [1]



Pela análise da Figura 2.6 pode verificar-se que Portugal Continental apresente valores de radiação solar anual superiores a 140 Kcal/cm². No que respeita à temperatura, Figura 2.7, esta varia de local para local e é influenciada por diversos fatores tais como: a latitude, a altitude, a topografia e a proximidade em relação ao oceano. A zona norte do país é caracterizada por um diferencial de temperatura elevado nos diferentes meses, ao longo do ano. As características climáticas anteriormente referidas demonstram o elevado potencial do país no que respeita ao aproveitamento de energia solar nomeadamente, através da introdução de soluções solares passivas na envolvente dos edifícios e de energias renováveis.

A existência de diferentes litologias e de diferentes características climáticas nas diferentes regiões do território Português ajudam a entender a razão pela qual são usadas diferentes soluções construtivas, nomeadamente no que respeita às construções em xisto e em granito. A obtenção de uma construção durável e confortável a nível térmico depende, para além dos fatores acima referidos, de fatores relacionados com a geologia e as propriedades físicas e mecânicas das rochas utilizadas.

2.2.2. Caracterização Geológica

As rochas são geralmente classificadas de acordo com os processos da sua formação. Pelas suas origens, as rochas são classificadas como ígneas ou magmáticas, sedimentares e metamórficas. O xisto é uma rocha metamórfica que pode ter várias composições e que se caracteriza por ter uma xistosidade bem desenvolvida. A xistosidade é definida pela Subcomissão sobre a Sistemática de Rochas Metamórficas (SCRM), como a "orientação preferencial dos minerais enquanto grãos ou agregados de grãos produzidos por processos metamórficos". Assim, de acordo com a SCMR, as rochas metamórficas que possuem uma xistosidade bem desenvolvida são designadas de xisto [16].

O xisto, Figura 2.8, é uma rocha cuja xistosidade permite visualizar a olho nu as suas camadas minerais. Os planos de xistosidade devem-se ao facto de os minerais lamelares (filossicatos) serem bem orientados paralelamente, o que provoca a fácil desagregação da rocha segundo esse plano [17]. O xisto distingue-se das outras rochas metamórficas pelo tamanho dos cristais e pela sua estrutura ser mais enrugada e irregular.



Figura 2.8 – Pedra de xisto [18]

O xisto apresenta planos de anisotropia. A anisotropia define-se como a condição de variabilidade de propriedades físicas e mecânicas, de um corpo rochoso ou mineral, segundo direções diferentes, tais como, a variação do módulo de deformabilidade, a variação da resistência à compressão simples nas rochas com xistosidade e a variação da velocidade de propagação de ondas sísmicas em massas rochosas estratificadas segundo direções diferentes. A origem metamórfica destas rochas tem um papel preponderante no comportamento físico-químico e mecânico do xisto [8].

O metamorfismo regional está relacionado com o metamorfismo que resulta de processos de deformação ao longo de longas áreas sob pressão litostática. A ação da pressão diminui a granulação das rochas, fragmentando os seus cristais e transformando a rocha num elemento plano. A existência de xistos com diferentes composições mineralógicas advém das variações de pressão, temperatura e da rocha em que o metamorfismo ocorreu.

Por sua vez, o granito é uma rocha magmática intrusiva, ácida, com textura fanerítica (minerais visíveis a olho nu), geralmente de cor clara, constituída essencialmente por quartzo e feldspato (que podem chegar a ocupar cerca de 85% a 95% da composição da rocha), podendo também conter biotite, moscovite e anfíbolos. As rochas magmáticas, da qual faz parte o granito, podem apresentar uma grande diversidade de aspetos resultantes das diferentes condições da sua génese e também da diversidade de magmas que as originam [19].

Devido à sua origem natural, o granito pode apresentar diferentes aparências visuais e o seu conteúdo mineralógico pode diferir significativamente. Existem diversas variedades de granitos que se distinguem segundo a natureza ou proporção relativa dos seus constituintes, tais como os granitos biotíticos (Figura 2.9), que incluem quartzo, biotite

e feldspato, granitos moscovíticos (Figura 2.10) e granitos de duas micas (Figura 2.11) [20].

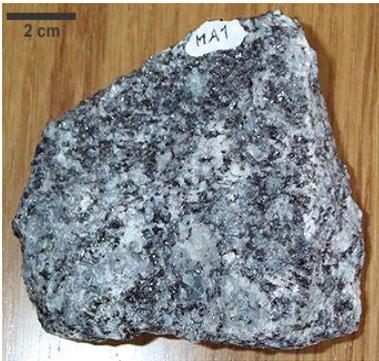


Figura 2.9 – Pedra de granito biotítico [21]



Figura 2.10 – Pedra de granito moscovítico [22]



Figura 2.11 – Pedra de granito de duas micas [23]

No sentido de otimizar a utilização do xisto e do granito é importante conhecer as suas propriedades físicas e mecânicas e a deterioração que esta pode sofrer ao longo do tempo. Este conhecimento permitirá prever a evolução do seu comportamento sob condições diversas [2].

2.2.3. Propriedades Físicas e Mecânicas

2.2.3.1. Propriedades Físicas

2.2.3.1.1. Densidade e Porosidade

A densidade e a porosidade são duas características físicas das rochas que estão relacionadas com a absorção de água. A densidade relaciona o volume de um material com a sua massa, sendo a densidade aparente aquela que normalmente caracteriza os materiais de construção. A quantidade de vazios é avaliada pela porosidade que é a razão entre o volume de vazios de uma amostra de rocha e o seu volume total. As discontinuidades mostram os defeitos ou vazios existentes no meio contínuo formado pelos minerais constituintes da matriz rochosa [2]. A tabela 2.1 apresenta os valores de densidade e porosidade para diferentes rochas.

A porosidade e a densidade encontram-se referenciadas num intervalo, pois resultam de diferentes ensaios em rochas que tiveram o mesmo processo de formação, mas que por apresentarem valores diferentes características relacionadas com a sua formação e com a idade, a sua constituição pode apresentar valores diferentes.

Tabela 2.1- Densidade e porosidade de diferentes rochas [8]

Tipo de rocha	Densidade (kg/ m ³)	Porosidade %
Xisto	[2510-2880]	[0,30-2,30]
Granito	[2600-2800]	[0,40-1,50]
Basalto	[2900-3000]	[0,30-2,30]
Arenito	[1300-3600]	[0,50-40,00]
Calcário	[2600-2800]	[0,60-2,00]
Mármore	[2700-2800]	[0,50-3,00]

A porosidade é uma das características que revela informações quanto à estanquidade de uma rocha. A estanquidade à penetração da água da chuva é um requisito de grande importância por exemplo, para as alvenarias das fachadas, por forma a manter a salubridade e a habitabilidade do edifício.

Comparando os valores da densidade da pedra de xisto e do granito com as restantes pedras, verifica-se que são de gamas de valores idênticos aos do mármore e do calcário. No que diz respeito à porosidade, a pedra de xisto e de granito, juntamente com o basalto, apresentam valores mais baixos, sendo todas as outras mais porosas. A porosidade é utilizada para avaliar a quantidade de vazios presentes nas rochas e que são responsáveis pela deformação e rutura das mesmas [8]. Sendo assim, o xisto e o granito, por serem rochas que apresentam valores baixos de porosidade, são menos suscetíveis a deformações e conseqüentemente a estados de rotura, quando comparadas com outras rochas utilizadas na construção.

2.2.3.1.2. Condutibilidade Térmica

A condutibilidade térmica (λ) é definida como a quantidade de calor que atravessa 1m² de um material com uma espessura de 1m, durante 1 hora, com uma diferença de 1°C entre as superfícies opostas. O valor de λ é influenciado pela existência de cavidades ocupadas por ar.

A condutibilidade térmica permite conhecer o comportamento térmico do material no que diz respeito à transferência de calor. Na Tabela 2.2 são apresentados os valores de λ para diferentes tipos de rochas. A condutibilidade térmica da pedra de xisto e de granito revela-se elevada em comparação com outras rochas mais porosas, como o basalto, mas apresenta valores inferiores quando comparado com o mármore. Por possuírem um maior valor de condutibilidade térmica, conduzem energia térmica com mais facilidade.

Tabela 2.2- Condutibilidade térmica de diferentes rochas [24]

Material	Condutibilidade térmica, valor de cálculo, (λ) (W/m°C)
Granito	2,80
Xisto	2,20
Basalto	1,10
Traquito, andesito	1,10
Mármore	3,50

2.2.3.1.3. Capacidade Térmica

A capacidade que um corpo possui para armazenar calor chama-se capacidade térmica ou massa térmica. A capacidade térmica (C_t) de um elemento construtivo é obtida a partir da expressão 2.1:

$$C_t = m \cdot c \text{ [Kcal/°C]} \quad (2.1)$$

Com:

m – massa superficial do elemento construtivo [kg];

c – calor específico [Kcal/kg°C].

O calor específico (c) é a energia produzida, aumentando em uma unidade de temperatura uma unidade de massa. Na Tabela 2.3 apresentam-se os valores de calor específico do xisto e do granito e de outras rochas de uso corrente na construção. As pedras de xisto e de granito são, entre as rochas apresentadas na Tabela 2.3, as que possuem maior valor de calor específico e por isso apresentam maior capacidade de armazenamento de calor. A capacidade de armazenamento térmico das rochas é também influenciada de forma significativa pelo teor de humidade existente no material.

Tabela 2.3 - Calor específico de diferentes rochas [25]

Tipo de rochas	Calor específico (c) (Kcal/kg°C)
Xisto	0,26
Granito	0,28
Basalto	0,215
Arenito	0,185
Calcário	0,21

A massa térmica de uma fachada é um aspeto que poderá ser tão ou mais importante que a capacidade de isolamento das mesmas, se se tiver em conta as características do clima em Portugal [26]. A massa térmica dos elementos construídos em pedra de xisto e de

granito tem um papel relevante no conforto térmico dos edifícios. A elevada inércia destes elementos proporciona uma maior capacidade de armazenamento de calor que será libertado gradualmente ao longo do tempo. A capacidade de armazenamento e de devolução de calor de um material é uma propriedade que pode ser potenciada para obter calor de forma gratuita no interior de um edifício, reduzindo assim o consumo de energia no aquecimento. Esta propriedade pode ainda ser potenciada como sistema solar passivo de ganho indireto, nomeadamente através da introdução de paredes de Trombe e de estufas na envolvente do edifício.

2.2.3.2. Propriedades Mecânicas

No que respeita às propriedades mecânicas dos materiais em estudo, importa salientar a resistência à compressão e à flexão, tendo em conta a função resistente das alvenarias que caracteriza os edifícios de pedra de xisto e de granito.

2.2.3.2.1. Resistência à Compressão

A maior parte dos materiais, quando sujeitos a esforços, atinge o seu limite de deformação, decompondo-se em duas ou mais unidades. Neste caso, diz-se que se atingiu a rutura do material. A rutura não é provocada sempre para a mesma carga, dado que, para a maioria dos materiais de construção, o passar do tempo vai limitando a capacidade de carga de um elemento.

A resistência mecânica corresponde à capacidade que um material apresenta para suportar esforços, externos ou internos, sem entrar em rutura e sem se deformar excessivamente. O ensaio de resistência à compressão uniaxial é corrente na determinação das características mecânicas das rochas [8].

Na Tabela 2.4 apresentam-se os valores da resistência à compressão para diferentes rochas. A discrepância de valores apresentada no intervalo de resistência à compressão, deve-se também ao facto referido anteriormente, de que estes valores resultam de diversos ensaios em rochas que tiveram o mesmo processo de formação, mas que por terem diferentes características relacionadas com a sua composição e com o seu estado de conservação.

A gama de valores de resistência à compressão, representada na Tabela 2.4, para diferentes rochas, mostra que a pedra de xisto e de granito têm uma gama de resistência

mecânica idênticas, sendo em conjunto com o basalto, as rochas com maior resistência à compressão.

Tabela 2.4- Resistência à compressão de diferentes rochas [26]

Tipo de rochas	Resistência à compressão (MPa)
Xisto	[31.00 – 221.00]
Granito	[26.00 – 159.80]
Basalto	[40.00 – 413.00]
Arenito	[22.00 – 82.00]
Calcário	[15.60 – 96.40]
Mármore	[48.90 – 65.70]

O xisto e o granito são duas rochas utilizadas na execução de alvenarias de paredes resistentes que contribuem de forma decisiva para a estabilidade de um edifício, formando elementos rígidos e pesados com capacidade de resistência à compressão

2.2.3.2.2. Resistência à Flexão

Os edifícios antigos construídos em pedra de xisto e de granito apresentam elementos de pedra mais resistentes nas zonas do edifício sujeitas a maior esforços de compressão e de flexão, nomeadamente nos cunhais e nas ombreiras e padieiras dos vãos de janelas e portas. É portanto de extrema importância conhecer o comportamento deste tipo de elementos quando sujeitos a estes esforços para que se possa atuar de forma mais adequada em situações de reforço estrutural destes edifícios. Na Tabela 2.5 são apresentados os valores da resistência à flexão de diferentes rochas.

Tabela 2.5- Resistência à flexão de diferentes rochas [27]

Tipo de rocha	Resistência à flexão (MPa)
Xisto	[32.66-56.89]
Granito	[8.43-16.97]
Mármore	[7.94-16.67]
Calcário	[4.90-13.04]

Da análise da Tabela 2.5 verifica-se que a pedra de xisto apresenta valores de resistência à flexão bastante mais elevados do que o granito. O granito apresenta valores da mesma ordem de grandeza do mármore. Os valores apresentados na Tabela 2.5 referem-se a rochas ornamentais ou seja que são utilizadas como material de construção com funções essencialmente decorativas. As capacidades estruturantes que lhes estão associadas são aproveitadas apenas pontualmente ou de modo secundário.

2.3. Aplicação do Xisto e do Granito

Como já se referiu anteriormente, diversas são as variáveis que condicionam o uso da pedra de xisto e de granito nas construções tradicionais. Por um lado, a disponibilidade local destes materiais e, por outro lado, as características físicas e mecânicas que daí decorrem. Apresentadas anteriormente estas variáveis, importa agora perceber de que forma estas são consideradas nos diferentes tipos de construções. Nesta secção pretende-se apresentar, de uma forma geral, as características construtivas das construções de xisto e de granito. Será dada especial atenção aos princípios bioclimáticos que influenciam o desempenho térmico de edifícios construídos em pedra de xisto e de granito, com pormenor nas paredes exteriores, elemento caracterizador destes edifícios. As características aqui apresentadas serão posteriormente consideradas na análise dos edifícios de xisto e de granito existentes na região norte de Portugal e que se apresentará no Capítulo 3.

A existência de construções em alvenaria de pedra está difundida por toda a Europa, em centros históricos e urbanos e em diferentes tipos de edifícios com estruturas totalmente distintas. A pedra de granito encontra-se empregue em diversas construções feitas ao longo do tempo. Uma das mais antigas expressões do emprego da pedra de granito no noroeste da Península Ibérica são os “castros”, Figura 2.12. Os “castros” surgiram no primeiro milénio antes de Cristo e representam um conjunto de povoados fortificados. O granito permitiu construir núcleos de povoamento indígena, claramente defensivos e com estruturas arquitetónicas de planta predominantemente circular [28].



Figura 2.12 – Castros [29]

As construções em pedra de granito têm marcado uma presença indelével ao longo da história. O aqueduto de Segóvia em Espanha, Figura 2.13, construído nos séculos I e II

antes de Cristo, é uma construção romana, em blocos de granito, que não estão ligados por qualquer argamassa e que se encontra em ótimo estado de conservação. O panteão romano, Figura 2.14, é um templo romano cuja entrada tem um pórtico com 16 colunas de granito.



Figura 2.13 – Aqueduto de Segóvia, Espanha [30]



Figura 2.14 – Panteão romano [31]

O xisto tem também sido usado como um material construtivo ao longo dos séculos em muitas partes da Europa. Na Grécia antiga, foi usado em edifícios e monumentos históricos, com vários exemplos existentes na área de Knossos e Karthaia, e é amplamente utilizado até agora [32].

Em outros locais europeus, existem construções feitas com pedra de xisto, como se pode observar nas Figuras 2.15 e 2.16, que representam respetivamente um edifício localizado em França e uma muralha construída em pedra de xisto na Irlanda do Norte.



Figura 2.15 – Edifício em pedra de xisto em Conques, França [33]



Figura 2.16 – Muralha construída em pedra de xisto na Irlanda do Norte [34]

Tradicionalmente, o xisto e o granito eram extraídos de pedreiras, sem nenhum tipo de tratamento, sendo os seus blocos de pedra sobrepostos, originando habitações e as demais dependências utilitárias, assim como muros de vedação (Figura 2.17 e Figura 2.18), calçadas, moinhos, azenhas, lagares e pontes [3].



Figura 2.17 – Muros de suporte em pedra de xisto no Douro [35]

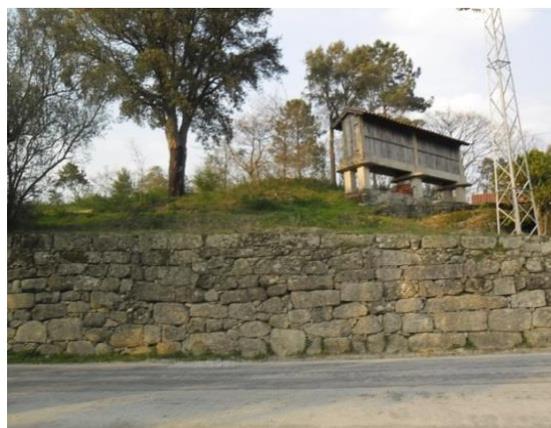


Figura 2.18 – Muro de suporte em pedra de granito, localizado em Ribeira de Pena

Estas e muitas outras construções feitas com estes materiais, tais como, castelos, templos religiosos e palácios, chegaram até aos dias de hoje, o que demonstra a durabilidade que caracteriza os materiais utilizados. É possível encontrar, em razoável estado de conservação, uma grande diversidade de edifícios, resultante dos diferentes materiais e técnicas construtivas utilizadas, do custo dos materiais e transporte e das tradições regionais de cada país [36].

A utilização da pedra como material estrutural passa a ser menos utilizada com o aparecimento do movimento moderno. Este facto deve-se, entre outros fatores, ao uso de técnicas construtivas industrializadas e por isso mais ligeiras, com a utilização do aço, do vidro e do betão armado. A adoção destas novas técnicas não foi aplicada em todos os locais. No contexto rural, verifica-se que aí ainda se usam materiais e sistemas construtivos vernaculares, pelo menos em zonas onde a pedra é um material [26].

Apesar de atualmente a pedra de xisto e granito ser pouco utilizada na construção de edifícios como elemento estrutural verifica-se que estes materiais continuam a ser amplamente utilizados nos mais diversos tipos de acabamentos (Figura 2.19 e 2.20) de alvenarias interiores ou exteriores, nos muros de suporte, na decoração de interiores e exteriores (Figura 2.21), nomeadamente em colunas, balaustres e lareiras (Figura 2.22).



Figura 2.19 – Revestimento em xisto



Figura 2.20 – Reservatório em xisto



Figura 2.21 – Decoração interior em granito [37]



Figura 2.22 – Lareira em granito [38]

Para além da aplicação destes materiais em novas construções, são também utilizados na reabilitação de edifícios antigos, construídos maioritariamente em xisto e em granito e em que o objetivo é manter as características originais desse tipo de construções. Com vista a preservar o património rural em Portugal foram lançados alguns programas com vista a reabilitação de diversas aldeias, Figura 2.23 e 2.24, tais como o Programa das Aldeias Históricas de Portugal (PAH) e o Programa das Aldeias de Xisto (PAX). Estes programas têm como objetivos a requalificação de um conjunto de aldeias, a recuperação de tradições, a valorização dos lugares e memórias, bem como do imenso património construído [39].



Figura 2.23 – Aldeia de xisto, Cerdeira [40]



Figura 2.24 – Aldeia de xisto, Talasnal [41]

2.4. Características Bioclimáticas

A arquitetura tradicional representa uma expressão cultural das comunidades, influenciada pelas condições sociais, ambientais e económicas. Esta representa uma forma tradicional e natural segundo a qual as comunidades habitavam, e era baseada na repetição de soluções que foram sendo aprimoradas ao longo de sucessivas gerações de construtores [42]. Estes fatores introduziram uma diferenciação regional pela utilização de materiais e técnicas locais, pela adaptação ao clima local, às condições económicas de cada família e aos costumes locais (Figura 2.25). Este tipo de arquitetura assenta, também, no princípio de proporcionar aos utilizadores dos edifícios condições de conforto e saúde [43].



Figura 2.25 – Casa tradicional de alvenaria de pedra de granito, de varanda corrida na região Norte de Portugal [28]

As soluções usadas nas construções antigas eram baseadas em princípios passivos onde o aproveitamento térmico era maximizado de forma natural, sem o recurso a equipamentos. Um sistema solar passivo para aquecimento ou arrefecimento pode ser definido como aquele em que as trocas de energia térmica se fazem por meios naturais. O uso passivo da energia solar, como um contributo para cobrir as necessidades energéticas de um edifício, alia um conjunto de medidas, tais como, a localização, forma e orientação do edifício, o tratamento e isolamento das aberturas, a relação com os espaços exteriores, o tipo de vegetação circundante, a organização do espaço interior e a definição de elementos de sombreamento [1].

O sol é uma fonte de calor que importa compreender na sua interação com os edifícios, quer em termos de valores de intensidade de radiação solar, quer em termos da sua posição ao longo do ano. A posição do sol ao longo do ano e do dia tem uma grande influência no que respeita à definição da localização das fachadas envidraçadas num edifício, à sua dimensão e ao tipo de vidro aplicado. A escolha da orientação das fachadas de um edifício, durante a fase de projeto num clima como o Português, deve privilegiar a orientação a sul. Esta é a orientação que permite a melhor otimização dos ganhos solares ao longo de todo o ano. A orientação a sul, dada a diferente inclinação dos raios solares no verão e inverno, permite maximizar a entrada de radiação solar nos espaços interiores, através dos vãos envidraçados. No inverno, os ganhos solares diretos obtidos são vantajosos para o aquecimento do ambiente interior. No entanto, no verão não são desejáveis. Neste caso, os envidraçados devem ser munidas de dispositivos de sombreamento evitem situações de sobreaquecimento através do controlo da entrada de luminosidade e de radiação solar.

As fachadas orientadas a nascente e a poente são as que merecem maior atenção ao longo do ano. No inverno, uma fachada orientada a nascente e a poente recebe pouca radiação e no verão a intensidade de radiação solar que incide é bastante elevada, o que nesta estação é indesejável. Estas fachadas são responsáveis por grandes cargas térmicas nos edifícios, pelo que se torna necessário instalar sistemas de sombreamento exterior para controlar ou eliminar a entrada de radiação solar no edifício, embora a orientação a poente seja mais gravosa do que a nascente. O dimensionamento dos vãos orientados a nascente e a poente deve ser conservador, uma vez que nestas orientações não se verifica uma grande diferença do ângulo de incidência para a orientação nas diferentes estações. Nestas orientações, a proteção pelo exterior dos vãos envidraçados deve ser equacionada logo na fase de projeto. Os vãos orientados a norte são áreas que nunca têm ganhos energéticos e que no inverno são fonte calor. Assim a superfície de envidraçada deve ser reduzida, podendo ser apenas considerada para possibilitar a iluminação natural dos espaços. Nos quadrantes norte, nascente e poente é desejável que as aberturas de vãos sejam de menores dimensões [44].

O simples facto de os edifícios e dos vãos envidraçados apresentarem uma correta orientação constituem uma solução passiva de aproveitamento da energia solar, o que pode contribuir para a obtenção de conforto interior em climas como o de Portugal.

Estas construções quando localizadas em regiões com invernos rigorosos caracterizam-se pelo reduzido número e dimensão dos vãos abertos para o exterior. Uma outra forma de aproveitamento solar passivo é o aumento da inércia térmica de um edifício e que pode ser conseguido através do aumento da espessura das paredes, da utilização de materiais mais densos e com maior capacidade de armazenamento ou através do recurso a construções enterradas. A elevada espessura e a elevada capacidade de armazenamento de calor das paredes de pedra origina uma forte inércia térmica, e por sua vez, um atraso na transmissão de calor [26].

Para além das paredes exteriores de massa elevada que caracterizam os edifícios tradicionais de xisto e de granito, outras soluções construtivas são usadas no sentido de melhorar o comportamento do edifício perante as condições climáticas do local.

A arquitetura tradicional apresenta vários elementos caracterizadores destes tipos de soluções, sendo as coberturas inclinadas revestidas a telha cerâmica um deles. Em algumas regiões, a lousa, Figura 2.26, é também um material muito utilizado nestas construções, não só pela facilidade de obtenção do material, mas também para suprir as condições adversas do inverno. Embora menos utilizada que a telha cerâmica, é uma marca do engenho popular e caracterizadora de algumas aldeias. As coberturas tradicionais garantem a proteção do edifício contra as chuvas, o vento e a neve. A cobertura em telha apresenta uma elevada capacidade de armazenamento de calor e de permeabilidade ao ar [43].



Figura 2.26 – Casa tradicional com cobertura em lousa, localizada numa aldeia de Mondim de Basto

As varandas, os alpendres e as galerias constituem, também, elementos caracterizadores da arquitetura tradicional. Estes elementos eram estrategicamente integrados na envolvente por forma a exercerem a função de atenuadores climáticos, contribuindo em grande medida para a regulação das diferenças de temperaturas entre o exterior e o interior. A cobertura destes espaços servia para provocar sombreamento nas fachadas no verão e permitia no inverno a incidência dos raios solares e a possibilidade das pessoas poderem desfrutar do exterior sem sair de casa. As varandas são um elemento externo que permite a redução de perdas de calor para o exterior [5].

O uso de vegetação é também frequente nas construções vernaculares e revela-se de enorme importância na regularização e equilíbrio das condições climáticas extremas. As características e espécies de vegetação, o tipo e densidade das folhas, o posicionamento no terreno são, entre outros, fatores que podem influenciar o clima. A vegetação de folha persistente e densa permite formar uma barreira protetora aos ventos dominantes e por outro lado a de folha caduca, Figura 2.27, apresenta um maior contributo na regulação anual da quantidade de radiação solar incidente nas fachadas, que se pretende máxima no inverno e nula no verão, gerando, para além disso o efeito de arrefecimento pela libertação de água por evapotranspiração [1].



Figura 2.27 – Casa tradicional que possui vegetação de folha caduca, videiras, localizada numa aldeia de Mondim de Basto

Para além do uso destas estratégias de conforto térmico, era também comum decorrente da presença dos animais nos edifícios. As construções tradicionais nortenhas em xisto, Figura 2.28, e em granito, Figura 2.29, congregam na sua arquitetura os princípios bioclimáticos referidos neste ponto. Estas construções são na sua maioria com dois andares. Os dois andares eram separados por soalho, sendo que as vigas de madeira que

suportavam o soalho interior apoiavam diretamente na alvenaria, tal como o vigamento estrutural de madeira da cobertura. Estes eram funcionalmente distintos com varanda e escada exterior. O rés-do-chão era usado, normalmente, para colocação de lojas de animais ou arrecadações. O calor libertado pelos animais contribuía para o aquecimento do piso superior no inverno. Grande parte das construções não dispunha de chaminé para que o calor emitido pela lareira fosse todo ele aproveitado para aquecimento. Por outro lado, as construções possuíam reduzidos pés direitos o que permitia aquecer rapidamente o volume de ar disponível.



Figura 2.28 – Edifício tradicional de pedra de granito em Atei, Mondim de Basto



Figura 2.29 – Edifício tradicional de pedra de xisto em Cavernelhe, Mondim de Basto

2.5. Caracterização das Paredes Exteriores

As paredes exteriores são elementos representativos dos edifícios construídos em pedra de xisto e de granito. Neste sentido, a sua caracterização relativamente ao sistema

construtivo utilizado, nomeadamente espessura, materiais utilizados e forma de aparelhamento, é importante para o conhecimento destes edifícios tradicionais. Nesta secção será efetuada a revisão destas características, o que auxiliará posteriormente no levantamento das características arquitetónicas e construtivas dos edifícios analisados neste trabalho e posteriormente na análise dos resultados.

Devido à falta de transporte eficaz e aos reduzidos recursos económicos das populações, os materiais utilizados nas paredes pesadas das habitações tradicionais estavam relacionados com a disponibilidade local de matérias-primas e mão-de-obra. Deste modo, os materiais utilizados nas construções correspondiam diretamente às características litológicas do solo, pelo que a sua distribuição pelo território nacional correspondia à apresentada na carta geológica da Figura 2.7 referida anteriormente.

Estes fatores foram determinantes nas técnicas construtivas utilizadas nas paredes exteriores, influenciando a espessura das paredes, o tamanho dos blocos de pedra utilizados, o tipo de assentamento e material de enchimento das juntas, levando a diferentes designações de paredes tradicionais de pedra tradicionais que variam em função de o material utilizado ser o xisto ou o granito.

Na Tabela 2.6 referem-se as designações de paredes tradicionais de acordo com a natureza, dimensão, grau de aparelho e material ligante dos elementos constituintes.

Tabela 2.6- Designação de paredes de edifícios antigos de acordo com a natureza, dimensão, grau de aparelho e material ligante dos elementos constituintes [45]

Designação	Natureza e características dos materiais utilizados nas paredes
Parede de cantaria	Pedras de cantaria com as faces devidamente aparelhadas, assentes em argamassa, ou apenas sobrepostas e justapostas
Paredes mistas	Alvenaria e cantaria; alvenaria e tijolo; alvenaria com armação de tijolo; etc...
Alvenaria de pedra aparelhada	Pedras irregulares aparelhadas numa das faces, assentes em argamassa ordinária
Alvenaria ordinária	Pedras toscas, de forma e dimensões irregulares, e ligadas com argamassa ordinária
Alvenaria hidráulica	Pedras ligadas com argamassa hidráulica
Alvenaria refractária	Pedras ligadas com argamassa refractária
Alvenaria de pedra seca	Pedras assentes por justaposição, apenas travadas entre si, sem qualquer tipo de argamassa

As paredes de cantaria possuíam aparelhamento geométrico, fazendo para tal uso de pedras com o formato próximo do paralelepípedo. Este tipo de paredes são praticamente inexistentes no que se refere às alvenarias de xisto, surgindo apenas em paredes de granito, Figura 2.30.

As paredes de alvenaria ordinária estão presentes na maior parte dos edifícios construídos em Portugal até meados do século XX. As paredes são constituídas por pedras de dimensões médias e são ligadas entre si por argamassa de cal ou até por terra, dada a relativa abundância destes materiais. As alvenarias ordinárias estão presentes em edifícios tradicionais de pedra de xisto, Figura 2.31, e de pedra de granito, Figura 2.32.

As construções que se situavam em zonas rurais possuíam maioritariamente paredes de alvenaria de pedra seca. As paredes de alvenarias de pedra seca são semelhantes às de alvenarias ordinárias, distinguindo-se pelo facto de não usarem na sua construção qualquer tipo de argamassa para o assentamento das unidades de xisto, Figura 2.33 e de granito, Figura 2.34.

As paredes de alvenaria aparelhada, Figura 2.35, são constituídas por pedras irregulares aparelhadas numa das faces e assentes em argamassa, implicando um trabalho de seleção de pedras de melhor aspeto e de maiores dimensões. Neste tipo de paredes as pedras de maiores dimensões e mais resistentes eram colocadas junto aos vãos e aos cunhais para melhorar o travamento das paredes.



Figura 2.30 – Parede de cantaria em pedra de granito



Figura 2.31 – Parede ordinária de pedra de xisto



Figura 2.32 – Parede ordinária de pedra de granito



Figura 2.33 – Parede de alvenaria de xisto em pedra seca

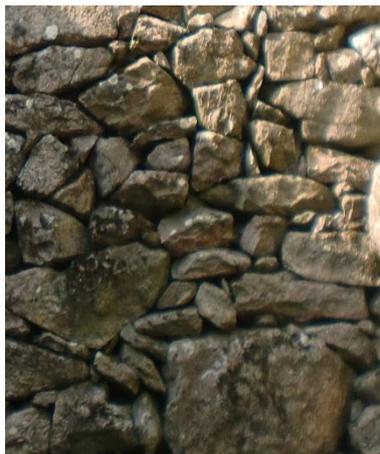


Figura 2.34 – Parede de alvenaria de granito em pedra seca



Figura 2.35 – Parede aparelhada de pedra de granito

Ao longo dos tempos, as paredes principais dos edifícios de pedra natural têm sofrido algumas variações ao nível da sua construção. Até meados do século XX, as construções apresentavam paredes simples. A elevada espessura que se verificava em construções tradicionais, superior a 0,40 m, deve-se, não apenas ao facto destas paredes serem resistentes, mas também à necessidade de fornecerem uma suficiente capacidade de isolamento térmico [26].

Outro elemento importante na caracterização das paredes das habitações tradicionais é o tipo de vãos correspondentes às portas e janelas. Estas aberturas eram devidamente localizadas e contornadas por elementos verticais e horizontais designadas por peitoril, ombreiras e padieira. A padieira pode apoiar sobre as ombreiras, e estas na soleira, Figura 2.36 e Figura 2.37, ou então apoiam diretamente na parede, e nesta situação a soleira diz-se entalada, Figura 2.38 e Figura 2.39. Devido a pequena resistência da pedra à flexão, as padieiras tinham de ser salvaguardadas através de arcos que transferiam as cargas existentes sobre os vãos para os nembos (porção de parede compreendida entre dois vãos consecutivos) onde apoiavam. As paredes de alvenaria de pedra natural apresentam um inegável valor estético, cultural e de integração urbana. Estas paredes têm durabilidade elevada, elevada inércia térmica e um bom isolamento aos ruídos aéreos. Em contra partida, o facto de apresentarem uma elevada espessura, reduz o aproveitamento da área habitável, apresenta um elevado peso próprio que conduz a maiores solicitações gravíticas e sísmicas e a um elevado custo, tanto de mão-de-obra como de material [45].

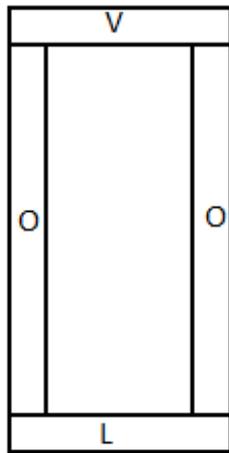


Figura 2.36 - Vão de janela com ombreiras apoiadas sobre a soleira (V- Padieira ou verga, O – ombreira, L- Peitoril) adaptado de [45]



Figura 2.37 - Vão de janela com ombreiras apoiadas sobre o Peitoril

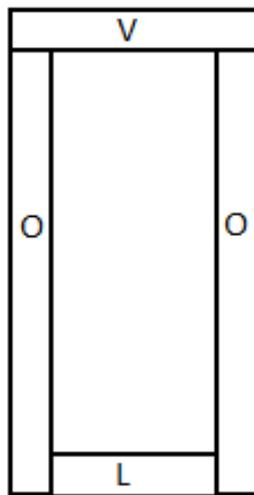


Figura 2.38 - Vão de portas com soleira entalada (V- Padieira ou verga, O – ombreira, L- Peitoril) adaptado de [45]



Figura 2.39 - Vão de portas com soleira entalada

2.6. Conclusões

Os materiais existentes na região e as características climáticas, económicas e sociais de cada local influenciaram as construções em Portugal durante vários séculos. O uso dos diferentes materiais era feito de forma a otimizar os recursos disponíveis e a tornar as construções mais confortáveis.

A arquitetura tradicional de xisto e de granito agrega na sua definição as diferentes manifestações arquitetónicas específicas de cada lugar, podendo, assim, considerar-se que existem várias soluções para atingir uma construção sustentável. Se na atualidade for possível olhar para trás para analisar e compreender o que se pode transportar para a atualidade, validando essas soluções de modo a credibilizar a sua utilização, poder-se-á usar esses ensinamentos de forma a conseguir ter na atualidade uma construção que siga os parâmetros de sustentabilidade.

A arquitetura tradicional emprega vários princípios bioclimáticos passíveis de serem adotadas na construção atual, e que podem contribuir para o aumento da sustentabilidade dos edifícios. Entre elas enumera-se a correta orientação das construções e das superfícies envidraçadas para potenciar os ganhos solares no inverno, o uso de sombreamentos para minimizar os ganhos no verão, nomeadamente através do recurso a vegetação e o recurso a alpendres e galerias localizadas na envolvente do edifício que também contribuem para o conforto do ambiente interior do edifício.

Atualmente, em Portugal, ainda se constrói dando pouca atenção aos aspetos bioclimáticos. As soluções de climatização são concebidos muitas vezes à posteriori, de forma a remediar problemas já existentes e não constituem soluções ótimas e sustentáveis. A arquitetura encontra-se em constante mudança, mas os desafios que agora se colocam implicam alterações mais significativas. A redução das emissões de CO₂ é uma prioridade. A redução do consumo de energia nos edifícios através da adoção de soluções construtivas mais sustentáveis. A necessidade de redução do consumo energético torna pertinente olhar as estratégias adotadas, em tempos em que a energia nem sempre estava disponível e onde os construtores tinham de experimentar e estudar outros modos de conseguir otimizar o conforto do ambiente interior dos edifícios.

A informação reunida neste capítulo servirá de base à caracterização construtiva e arquitetónica pormenorizada dos edifícios tradicionais de xisto e de granito da região norte de Portugal a desenvolver nos capítulos seguintes deste trabalho de investigação.

3. CARACTERIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM XISTO E GRANITO NO NORTE DE PORTUGAL

3.1. Introdução

Neste capítulo apresenta-se a caracterização de edifícios de xisto e granito existentes no norte de Portugal. Para isso foi realizado trabalho de campo que consistiu no levantamento detalhado das características construtivas e arquitetónicas de um número representativo de edifícios, construídos à base de pedra de xisto e de granito, tendo sido realizado posteriormente o tratamento e análise dos resultados obtidos. Este trabalho insere-se numa linha de investigação da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) que pretende caracterizar as construções antigas tradicionais, tendo já sido desenvolvidos alguns trabalhos de caracterização de edifícios construídos em pedra de xisto e granito [46- 48]. O trabalho aqui apresentado pretende dar continuidade a essa investigação e caracterizar estes edifícios no que respeita às soluções arquitetónicas adotadas, nomeadamente em termos de volumetria, orientação, uso e tipologia e as soluções construtivas utilizadas no que respeita a materiais, espessuras e técnicas bioclimáticas utilizadas e outras que possam contribuir para a melhoria do desempenho térmico destes edifícios.

Para além da caracterização das soluções construtivas e arquitetónicas deste tipo de edifícios, é também efetuada uma síntese dos resultados obtidos nos trabalhos de investigação acima referidos. Os resultados obtidos no trabalho aqui apresentado serão comparados com os obtidos anteriormente para melhor compreender as especificidades dos edifícios analisados, as semelhanças e as diferenças no que respeita aos materiais e técnicas construtivas utilizadas nas diversas localidades estudadas.

3.2. Caracterização da Amostra

Uma vez que o autor deste trabalho de investigação é natural do distrito de Vila Real, decidiu-se fazer a recolha de informação neste concelho por questões de facilidade de deslocação e de cedência de informação pelos proprietários dos edifícios analisados.

Na Figura 3.1 estão representados os concelhos onde se situam os edifícios construídos em xisto e granito que foram alvo de análise comparativa. Nos concelhos que estão assinalados com um círculo de cor verde, concelho de Mondim de Basto e concelho de Ribeira de Pena, foram realizados os levantamentos do presente trabalho de investigação. Os concelhos que estão assinalados com círculo de cor laranja, concelhos

de Vila Real, Peso da Régua, Santa Marta de Penaguião e Penafiel, foram estudados edifícios de pedra de xisto por Lourenço, et al [47]. Nos concelhos de Arcos de Valdevez e Terras do Bouro, assinalados com o círculo laranja, foram estudados edifícios de pedra de granito por Gomes, et al [48], e nos concelhos de Vila Real e Peso da Régua, foram estudados edifícios de pedra de granito por Torre, et al [46].



- Legenda:
- Localização dos edifícios analisados no presente trabalho de investigação
 - Localização dos edifícios analisados em trabalhos de investigação anteriores

Figura 3.1 – Localização dos edifícios de pedra de xisto e granito (adaptado de [49])

Os edifícios que nesta dissertação são alvo de estudo, e que pertencem aos diferentes municípios do Norte de Portugal, estão quantificados na Tabela 3.1. No presente trabalho foram analisados 30 edifícios, dos quais 13 em xisto e 17 em granito. Em trabalhos anteriores foram estudados 82 edifícios, dos quais 30 em xisto e 52 em granito.

Tabela 3.1 – Número de edifícios analisados nos diferentes concelhos

Concelho	Número de edifícios de pedra de xisto	Número de edifícios de pedra de granito
Ribeira de Pena	0	10
Mondim de Basto	13	7
Vila Real	10	23
Peso da Régua	8	4
Santa Marta de Penaguião	2	0
Penafiel	10	0
Terras de Bouro	0	13
Arcos de Valdevez	0	12

3.3. Metodologia

Para efetuar a caracterização de edifícios construídos em pedra de xisto e de granito, recorreu-se, numa primeira fase, a trabalho de campo. Para facilitar a recolha de informação foi elaborada uma ficha de levantamento, tendo por base a ficha de levantamento já desenvolvida por Lourenço, et al [47], que já tinha tido por base as fichas desenvolvidas em trabalhos de investigação anteriores.

A ficha de levantamento é um documento que se pretende que seja abrangente em termos de informação e de fácil aplicação durante o trabalho de campo, tendo sido, por isso, sujeita a um processo de otimização.

A ficha de levantamento elaborada foi posteriormente testada em alguns edifícios para se verificar a sua aplicabilidade e otimizada de forma a enquadrar o maior número possível de aspetos construtivos dos edifícios analisados. A ficha de levantamento é constituída por diferentes grupos que incluem a análise de diferentes aspetos, tais como localização e características gerais do edifício, sistemas construtivos e materiais utilizados e caracterização de vãos de janelas e portas, e cuja descrição detalhada será apresentada na secção seguinte. Efetuado o levantamento, procedeu-se à organização dos dados recolhidos com recurso ao *software* Excel para sistematizar a informação recolhida e facilitar a análise dos resultados obtidos.

3.3.1. Ficha de Levantamento

A ficha de levantamento é composta por sete grupos distintivos e que a seguir se indicam:

1. Localização
2. Características gerais do edifício
3. Sistemas construtivos
4. Vãos exteriores
5. Elementos externos
6. Observações
7. Fotografias

O Grupo 1 refere-se à indicação da localização do edifício estudado, Figura 3.2, sendo incluída uma fotografia identificativa do edifício e a sua localização através do *Google Earth*. São também indicados o distrito, o concelho, a localidade, altitude e a zona climática. Neste grupo da ficha de levantamento introduziram-se dois novos elementos que não faziam parte das fichas elaboradas anteriormente, ou seja, a altitude e zona climática. O conhecimento da zona climática e da altitude serve para aplicação/verificação dos requisitos de qualidade térmica da envolvente, estando estas exigências definidas no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) [13], o que também permitirá no futuro analisar a influência das condições climáticas no desempenho térmico do edifício.

O registo efetuado no Grupo 1 é importante para permitir identificar o edifício e possibilitar uma análise das características do edifício, função da sua localização e da zona climática a que pertence.

Ficha de levantamento		
1	Localização	
	Fotografia Google Earth	Fotografia do Edifício
	1.1 .	Distrito
	1.2.	Concelho
	1.3.	Localidade
	1.4	Altitude
1.5.	Zona climática	

Figura 3.2 – Grupo 1 da ficha de levantamento – Localização

O Grupo 2 da ficha de levantamento refere-se às características do edifício, Figura 3.3, onde são registadas as características gerais do edifício, tais como, o ano de construção, cuja informação apenas é possível obter junto do proprietário ou através de alguma inscrição feita no edifício, a área de implantação, o número de andares, o estado de conservação do edifício, o tipo de utilização, a forma de agrupamento do edifício e a sua tipologia. Neste grupo da ficha de levantamento foram adicionados dois itens identificativos do tipo de edifício, relativamente aqueles que faziam parte das fichas anteriores, sendo eles, antigo em ruína e antigo que foi submetido a pequenas operações de reparação. Os edifícios classificados como antigos em ruína são aqueles em que se verifica a existência de danos que podem por em causa a estabilidade do edifício. Os edifícios classificados como antigos não reabilitados são todos aqueles que não foram sujeitos a nenhum tipo de reabilitação, mas que não estão em ruína. Os edifícios em que existiram algumas operações de melhoria, sem intervenção significativa na sua totalidade, foram classificados como edifícios antigos que foram submetidos a pequenas operações de reparação.

O tipo de uso dado a cada andar, a tipologia e a forma de agrupamento são informações relativas à organização dos espaços interiores do edifício e à sua organização exterior. Este registo torna-se importante, uma vez que se verificou em trabalhos de investigação anteriores [46- 48] que os edifícios eram, na sua maioria, constituídos por dois pisos,

Capítulo 3 - Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal

sendo o piso térreo destinado a arrecadações, comércio, adegas e alojamento de animais que ajudavam a aquecer os espaços habitáveis situados no piso superior.

2 Características gerais do edifício				
2.1.	Ano de construção			
2.2.	Área de implantação			
2.3.	Número de andares	Acima do solo		
		Abaixo do Solo		
2.4.	Edifício	Assinalar a opção a que corresponde		
		Novo		
		Antigo submetido a pequenas reparações		
		Antigo em ruína		
		Antigo reabilitado		
2.5.	Uso	Assinalar as opções a que corresponde		
		Habitação		
		Comércio		
		Armazém		
		Abrigo de animais		
2.6.	Forma de agrupamento do edifício	Assinalar a opção a que corresponde		
		Isolada		
		Em banda		
		Geminada		
2.7.	Tipologia (número de divisões)		Exterior	Interior
		Quartos		
		I.S.		
		Cozinha		
		Sala		
	Não observável			

Figura 3.3 – Grupo 2 da ficha de levantamento – Características gerais do edifício

O Grupo 3 da ficha de levantamento refere-se aos sistemas construtivos do edifício. Neste grupo são registadas as soluções construtivas realizadas no edifício analisado, quer seja novo, antigo ou reabilitado. O conhecimento destas soluções é fundamental para a realização de intervenções de reabilitação térmica nos edifícios, com vista à melhoria das condições de habitabilidade das mesmas, aproveitando as técnicas tradicionais que, complementadas com técnicas atuais, poderão contribuir para o cumprimento dos requisitos atuais.

Este grupo encontra-se subdividido em 4 subgrupos, que se apresentam nas Figuras 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7. Estes subgrupos incidem designadamente nas características das paredes, dos pavimentos, da cobertura e dos remates com fachada.

Capítulo 3 - Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal

No grupo 3.1 - Paredes, Figura 3.4, caracteriza-se o tipo de material utilizado nas paredes, o aparelhamento das alvenarias, a sua espessura, o tipo de juntas, revestimentos e a existência ou não de isolamento térmico. Serão caracterizadas as paredes exteriores e as paredes interiores que constituem os edifícios analisados. A caracterização será efetuada com elevado detalhe, uma vez que no Capítulo 4 deste trabalho se pretende estimar o comportamento térmico de paredes exteriores através da determinação do coeficiente de transmissão térmica.

3 Sistemas construtivos				
3.1 Paredes				
3.1.1.	Material (número correspondente ao andar- R/Chão, 1º,2º...)	Xisto	Parede Interior	
		Granito	Parede exterior	
		Tabique		
		Madeira		
		Outro		
3.1.2.	Tipo de Alvenarias	Aparelhada		
		Ordinária	Parede exterior	
		Número de panos	1 pano	
			2 panos	
3.1.2.1.	Material de enchimento	2 panos c/enchimento		
3.1.2.2.	Espessura (m)	Andar	Parede Exterior	
		R/chão	Parede Interior	
		1º Andar		
		2º Andar		
		3º Andar		
3.1.3.	Juntas	Terra	Parede exterior, face exterior	
		Seca	Parede exterior, face interior	
		Argamassa de cal		
		Argamassa de cimento		
		Outro		
3.1.4.	Revestimento (número correspondente ao andar - R/Chão, 1º,2º..)	Ardósia	Parede exterior, face exterior	
		Cerâmica	Parede exterior, face interior	
		Argamassa de Cal		
		Pinturas		
		Outro		
3.1.5.	Isolamento	Assinalar a opção a que corresponde		
		Sim		
3.1.5.1.	Localização do isolamento	Andar	Parede exterior, face exterior	
		R/chão	Parede exterior, face interior	
		1º Andar		
		2º Andar		
		3º Andar		
3.1.5.2.	Material do isolamento	Assinalar o andar a que corresponde		
		XPS		
		EPS		
		Lã de rocha		
		Cortiça		
		Espuma Rígida poli-isocianurato		
		Espuma Rígida de poliuretano		
		Outro		
3.1.5.3.	Espessura do isolamento	Andar	Parede Exterior	
		R/chão	Parede Interior	
		1º Andar		
		2º Andar		
		3º Andar		

Figura 3.4 – Grupo 3.1 da ficha de levantamento – Sistemas construtivos de paredes

Capítulo 3 - Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal

No grupo 3.2 - Pavimentos, Figura 3.5, caracteriza-se o tipo de estrutura, o revestimento e a existência ou não de isolamento térmico. A escolha do material utilizado nos pavimentos das construções tradicionais é influenciada pela disponibilidade local dos materiais e pelo tipo de utilização atribuída a cada piso. As soluções construtivas adotadas para os pavimentos terão influência na transferência de calor e, consequentemente, no comportamento térmico do edifício.

3.2.	Pavimentos				
	3.2.1.	Tipo de estrutura		Andar	
			Madeira		
			Betão		
	3.2.2.	Revestimento		Andar	
			Madeira		
			Terra batida		
			Enrocamento de pedra		
			Betão		
			Ladrilhos cerâmicos		
			Sem revestimento		
	3.2.3.	Isolamento	Assinalar a opção a que corresponde		
			Sim		
			Não		
	3.2.3.1.	Localização do isolamento		Andar	Localização
			R/chão		
			1º Andar		
			2º Andar		
			3º Andar		
	3.2.3.2.	Material de isolamento	Assinalar o andar a que corresponde		
XPS					
EPS					
Lã de rocha					
Cortiça					
Espuma Rígida poli-isocianurato					
Espuma Rígida de poliuretano					
	Outro				
3.2.3.3.	Espessura do isolamento		Andar	Espessura	
		R/chão			
		1º Andar			
		2º Andar			
		3º Andar			

Figura 3.5 – Grupo 3.2 da ficha de levantamento – Sistemas construtivos de pavimentos

No grupo 3.3 - Cobertura, Figura 3.6, caracteriza-se o tipo de cobertura, o número de águas, o tipo de estrutura e o tipo de revestimento exterior. As soluções adotadas nas coberturas, no que respeita à conceção estrutural e aos materiais de revestimento, são importantes para analisar a adaptação deste tipo de edifícios ao clima.

3.3. Cobertura			
3.3.1.	Tipo de cobertura	Plana	
		Inclinada	Com laje de esteira
		Sem laje de esteira	
3.3.1.1.	Número de águas		
3.3.2.	Estrutura	Madeira	
		Betão (ripado)	
		Laje de Betão	
3.3.3.	Revestimento	Assinalar o piso a que corresponde	
		Telha canudo	
		Ardósia	
		Telha aba e canudo	
		Zinco	
		Telha marselha	
		Painéis Sandwich	
		Outros _____	
3.2.4.	Isolamento	Assinalar a opção a que corresponde	
		Sim	Não
3.2.4.1.	Localização do isolamento		
3.2.4.2.	Material de isolamento	Assinalar o andar a que corresponde	
		XPS	
		EPS	
		Lã de rocha	
		Cortiça	
		Espuma Rígida poli-isocianurato	
		Espuma Rígida de poliuretano	
Outro _____			
3.2.4.3.	Espessura do isolamento		

Figura 3.6 – Grupo 3.3 da ficha de levantamento – Sistemas construtivos da Cobertura

No grupo 3.4 – Remates com fachada, Figura 3.7, caracterizam-se os diferentes tipos de remates segundo o material, as suas dimensões e orientação. A dimensão e a orientação dos remates são dois elementos introduzidos neste grupo da ficha de levantamento que não eram abordados nas fichas de levantamento que serviram de base. A medição das dimensões da padieira e da ombreira refere-se à parte exterior dos vãos, que representa a zona do vão que pode provocar sombreamento nos envidraçados. O levantamento destas características permitirá analisar a forma como nos edifícios estudados se efetua a proteção dos vãos de janelas e portas à ação dos agentes climáticos.

3.4. Remates com fachada								
		Assinalar a opção a que corresponde						
Remate	Material	Madeira	Xisto	Granito	Betão	Outro _____	Dimensões	Orientação
Cunhais								
Padieira								
Ombreira								
Beiral								
Cornija								

Figura 3.7 – Grupo 3.4 da ficha de levantamento – Sistemas construtivos dos remates com fachada

Capítulo 3 - Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal

O Grupo 4 da ficha de levantamento refere-se à caracterização dos vãos, Figura 3.8, no que respeita à sua orientação, ao material utilizado nas caixilharias, ao tipo de vidro e à protecção solar utilizada. Introduziu-se neste grupo da ficha de levantamento um novo elemento que não fazia parte das fichas que serviram de base, referente a área dos vãos de janelas e portas. Esta informação possibilita saber se, aquando da construção destes edifícios, houve a preocupação em colocar menores/maiores áreas de vãos envidraçados, consoante a orientação.

Vãos											
4.1. N° de portas/ janelas											
Assinalar o número de elementos correspondentes a cada orientação											
Vão	Orientação	Norte	Área (m2)	Sul	Este	Área (m2)	Oeste	Área (m2)			
	Janelas										
	Portas										
4.2. Caracterização dos vãos											
Assinalar a opção a que corresponde											
		Caixilharia				Vidro		Protecção			
Vão	Material	Alumínio	PVC	Medeira	Outro	Simples	Duplo	Estores	Portadas	Nada	Outros
	Portas										
	Janelas										

Figura 3.8 – Grupo 4 da ficha de levantamento – Vãos

O Grupo 5 da ficha de levantamento é referente a elementos existentes no exterior do edifício, tais como varandas, chaminés e elementos de sombreamento natural, Figura 3.9, onde são registadas as informações relativas às suas características. A importância do seu estudo advém do facto de serem elementos característicos das construções tradicionais e de funcionarem como elementos capazes de melhorar o conforto térmico dos edifícios.

5 Elementos externos										
5.1. Assinalar a opção a que corresponde										
Elemento	Material	Madeira	Betão	Metais	Xisto	Granito	Outro	Não existe		
	Escadas									
	Alpendre / Varanda									
	Chaminé									
5.2.		Orientação do Alpendre/ Varanda (m)								
5.3.		Dimensões do Alpendre/ Varanda (m)								
5.4.		Elementos de sombreamento natural				Existem				
						Não existem				
Assinalar as opções a que corresponde										
Orientação					Tipo de Vegetação					
Norte		Sul	Este	Oeste						

Figura 3.9 – Grupo 5 da ficha de levantamento – Elementos externos

O Grupo 6 destina-se a observações ou comentários adicionais que possam complementar toda a informação registada nos restantes grupos da ficha de levantamento, Figura 3.10.

6	Observações

Figura 3.10 – Grupo 6 da ficha de levantamento – Observações

Por último, no Grupo 7, designado Fotografias, Figura 3.11, poderão ser colocadas todas as fotografias do edifício que sejam necessárias para a sua caracterização e permitindo uma análise posterior do edifício.

7	Fotografias

Figura 3.11 – Grupo 7 da ficha de levantamento – Fotografias

3.4. Análise dos Resultados

Nesta secção pretende-se apresentar a análise dos resultados decorrentes do levantamento efetuado para os edifícios construídos em pedra de xisto e de granito alvo de caracterização neste trabalho. Foram analisados 13 edifícios construídos em pedra de xisto no concelho de Mondim de Basto, 13 edifícios em pedra de granito analisados no concelho de Mondim de Basto e 7 edifícios de pedra de granito analisados no concelho de Ribeira de Pena. Após esta caracterização proceder-se-á à comparação dos resultados obtidos neste trabalho com os obtidos em trabalhos de investigação anteriores. Esta análise conjunta permitirá obter uma amostra mais significativa das soluções construtivas e arquitetónicas que caracterizam os edifícios tradicionais de xisto e de granito. A análise arquitetónica e construtiva destes será focada nas características dos

edifícios que poderão influenciar o seu desempenho térmico, nomeadamente nas técnicas bioclimáticas adotadas.

3.4.1. Edifícios de Xisto

3.4.1.1. Características Gerais

Os edifícios de xisto analisados no concelho de Mondim de Basto foram construídos no ao século XIX e início do século XX. No que respeita ao seu estado de conservação, 53,8% foram submetidos a pequenas reparações, as quais na sua maioria foram efetuadas ao nível do revestimento da cobertura, Figura 3.12, da estrutura da cobertura e do revestimento do pavimento e das paredes. Nenhum dos edifícios analisados correspondia a construções recentes ou tinham sido reabilitados.



Figura 3.12 – Edifício antigo de pedra de xisto que foi submetido à reparação/alteração do revestimento da cobertura

Na Figura 3.13 pode observar-se que, dos edifícios estudados 7,7% encontrava-se em ruína e 38,5% eram edifícios não reabilitados, Figura 3.14. Porém apresentavam um estado razoável de conservação.

O facto de os edifícios analisados não terem sofrido intervenções de reabilitação significativas permitiu identificar com maior detalhe as características construtivas deste tipo de edifícios, nomeadamente no que respeita aos materiais e espessuras dos constituintes dos diferentes elementos construtivos.

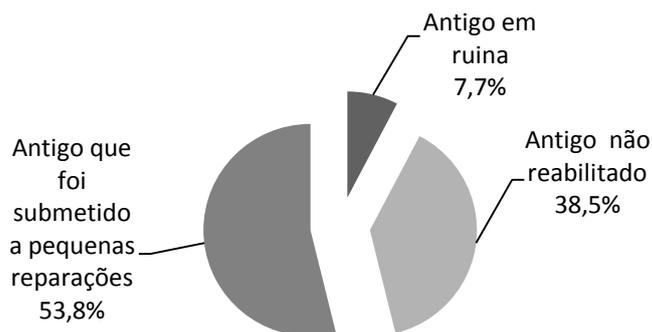


Figura 3.13 - Estado de conservação dos edifícios de pedra de xisto



Figura 3.14 – Edifício de pedra de xisto antigo não reabilitado

A análise de edifícios em ruína, Figura 3.15, contribui também para uma melhor caracterização das paredes exteriores no que respeita à espessura e materiais de enchimento e preenchimento de juntas.



Figura 3.15 – Edifícios de pedra de xisto antigo em ruína

A volumetria, a área de implantação e o número de pisos em que estes edifícios se desenvolvem são alguns dos fatores influenciadores do seu comportamento térmico. A análise dos edifícios estudados permitiu concluir que a volumetria era, regra geral, de pequena dimensão e paralelepípedica, Figura 3.16, o que contribuía para reduzir as perdas energéticas destes edifícios. Edifícios mais compactos têm menores perdas energéticas visto terem menor contacto com o exterior e consequentemente menores perdas através de pontes térmicas lineares.



Figura 3.16 – Edifício de pedra de xisto com área inferior a 100 m² e volumetria paralelepípedica

Também foi medida a área de implantação que resulta da intersecção do edifício com o terreno. Desta medição não fazem parte os corpos suspensos, como por exemplo as varandas, pois, estes não ocupam área de terreno. Na Figura 3.17 está representado o número de edifícios estudados distribuídos por intervalos de valores de área. A área de implantação dos edifícios estudados é bastante variável, mas na sua maioria, 84,6% dos edifícios, têm uma área inferior a 100 m² sendo o intervalo mais frequente, 38,5%, [50;75]. As áreas superiores a 100 m² representam apenas 15,4 % dos edifícios.

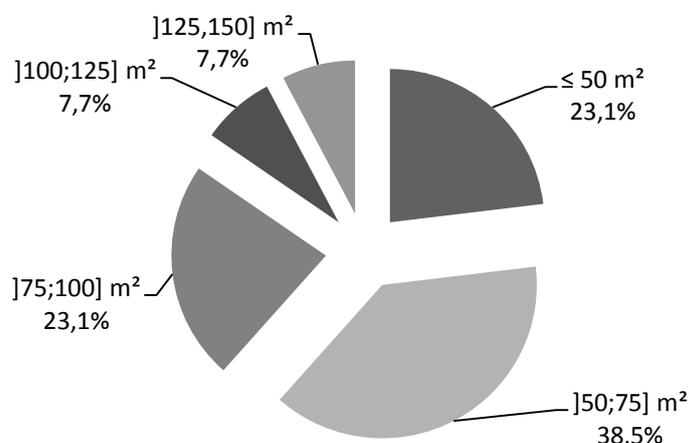


Figura 3.17 - Área de implantação dos edifícios de pedra de xisto

Relativamente ao número de pisos, estes edifícios são constituídos por um ou dois pisos, sendo o mais comum encontrar-se edifícios com dois pisos, 92,3%. Os restantes edifícios analisados têm apenas um piso, (7,7%). Nas Figuras 3.18 e 3.19 pode visualizar-se um exemplo de um edifício tradicional de pedra de xisto com um e outros com dois pisos, respetivamente.



Figura 3.18 - Edifício de pedra de xisto com um piso



Figura 3.19 - Edifício de pedra de xisto com dois pisos

O número de pisos destes edifícios está relacionado com a utilização que lhes era atribuída, função da atividade desenvolvida pelos utilizadores. O facto de estes estarem intimamente ligados à atividade agrícola e à criação de gado é determinante para o uso dos espaços.

Assim, no que diz respeito ao uso, concluiu-se que existiam quatro tipos de usos dos edifícios tradicionais de pedra de xisto estudados. Para facilitar, posteriormente, a análise destes resultados com outros obtidos, elaborou-se a Tabela 3.2, onde são classificados os diferentes usos encontrados.

Tabela 3.2 – Classificação dos diferentes usos encontrados nos edifícios de pedra de xisto

Uso do edifício	Classificação
Habitação com abrigo de animais no rés-do-chão	Tipo I
Armazém	Tipo II
Habitação com armazém no rés-do-chão	Tipo III
Armazém e abrigo para animais	Tipo IV

Como se pode verificar na representação gráfica da Figura 3.20, a maioria dos edifícios estudados, 53,9 %, são do Tipo I e correspondem a habitações com abrigo de animais no rés-do-chão. O segundo uso mais verificado é do Tipo IV, relativo a armazém e abrigo para animais, com 30,8%, seguindo-se o tipo II (armazém) e tipo III (habitação com armazém no rés-do-chão), com 7,7 %, cada.

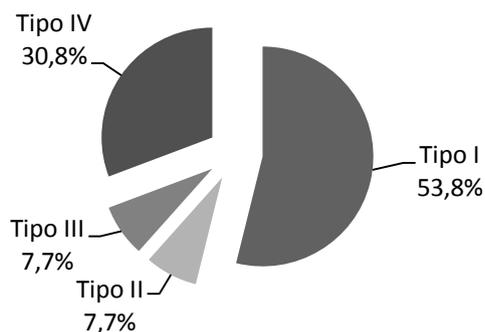


Figura 3.20 – Tipo de utilização dos edifícios tradicionais de pedra de xisto

Analisando estes resultados, conclui-se que a maior parte dos edifícios servem para habitação e abrigo de animais, o que faz com que o calor proveniente da presença dos animais no piso inferior, usualmente gado bovino, possa ser usufruído pelo piso superior. Na Figura 3.21 pode observa-se um edifício do Tipo I em que o primeiro andar é usado como habitação e o rés-do-chão como abrigo de animais.



Figura 3.21 – Edifícios de pedra de xisto com utilização Tipo I, habitação com abrigo de animais no rés-do-chão

A utilização do Tipo IV, armazém e abrigo de animais, surge como a segunda utilização do edifício mais frequente. Isto pode acontecer devido ao facto de todos estes edifícios analisados se encontrarem em locais rurais, perto de campos de cultivo e, na sua maioria, junto às casas de habitação dos seus proprietários. A proximidade destes leva a que os proprietários optem por aí guardarem as suas produções agrícolas e ferramentas de trabalho no campo, no primeiro andar, e os animais, no rés-do-chão, Figura 3.22.



Figura 3.22 – Edifício de pedra de xisto do Tipo IV, utilizado para armazenar produções agrícolas no primeiro piso e animais no rés-do-chão

Os usos do Tipo II e do Tipo III, Figura 3.23 e 3.24, foram identificados na mesma percentagem, em 7,7 % dos edifícios estudados. Os edifícios do Tipo II são utilizados para arrumos de produções e ferramentas agrícolas. Nos edifícios do Tipo III, o primeiro andar é usado para habitação e o rés-do-chão é usado para arrumos de máquinas, produções agrícolas ou garagem.



Figura 3.23 -Edifício de pedra de xisto do Tipo II, armazém



Figura 3.24 - Edifício de pedra de xisto do Tipo III, utilizado como habitação (primeiro andar) e armazém (rés-do-chão)

Com o objetivo de se estabelecer a relação entre o número de andares e a utilização do edifício, relacionaram-se estas duas características, como se pode ver na Figura 3.25.

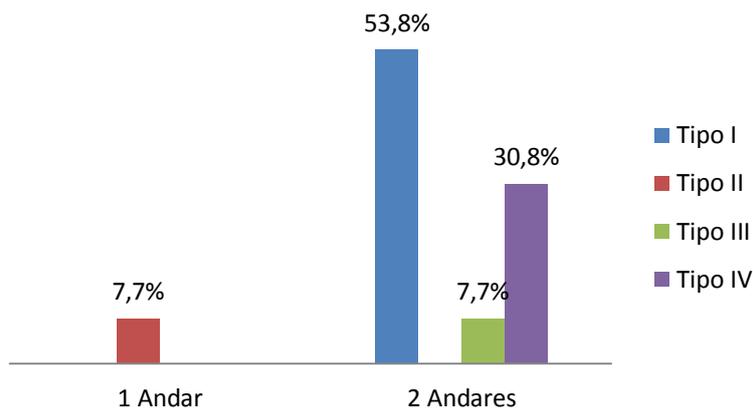


Figura 3.25 – Relação entre o número de pisos e utilização do edifício de pedra de xisto

Os 7,7 % dos edifícios que possuem um piso são utilizados na sua totalidade como Tipo II. Dos 97,3% dos edifícios com dois pisos, 53,8% são utilizados como Tipo I (habitação no primeiro piso e abrigo de animais no rés-do-chão), 30,8 % são utilizados como tipo IV (armazém e abrigo de animais) e 7,7% como Tipo III (habitação com armazém no rés-do-chão).

O agrupamento dos edifícios é uma característica que também influencia a transferência de calor através da sua envolvente, pelo que, os factos de estes edifícios serem construídos de forma isolada ou contígua com outros edifícios, deve também ser abordado.

Na Figura 3.26 está representada a distribuição dos edifícios pelas diferentes formas de agrupamento já referidas. Nos edifícios analisados verifica-se que estes se encontram isolados em 53,8% dos casos. Os edifícios em banda, Figura 3.27, representam os restantes 46,2% dos edifícios analisados.



Figura 3.26 – Forma de agrupamento dos edifícios de pedra de xisto



Figura 3.27 – Edifícios de pedra de xisto agrupados em banda

As construções isoladas encontram-se mais afastadas dos núcleos do centro da localidade ou então junto a terrenos agrícolas. Os edifícios em banda são predominantes no centro das localidades e esta organização permite a redução de perdas térmicas através da envolvente exterior dos edifícios.

3.4.1.2. Sistemas Construtivos das Paredes Exteriores

No que diz respeito ao tipo de alvenarias verifica-se que as paredes das construções em xisto são ordinárias em termos de aparelhamento, constituídas por pedras de forma e dimensão irregulares.

Os edifícios estão essencialmente construídos em terrenos agrícolas e florestais. A face exterior das alvenarias de pedra predominantes nesta zona são as de alvenaria de pedra seca, representando 53,8 % das construções, Figura 3.28. As paredes exteriores são maioritariamente constituídas por pedras irregulares de tamanho pequeno, acasteladas sem recorrer a argamassas de assentamento. Também se pode verificar que existem algumas paredes cujo assentamento foi feito com barro/terra, 30,8%, com argamassa de cal, 7,7 %, e com argamassa de cimento, 7,7 %.

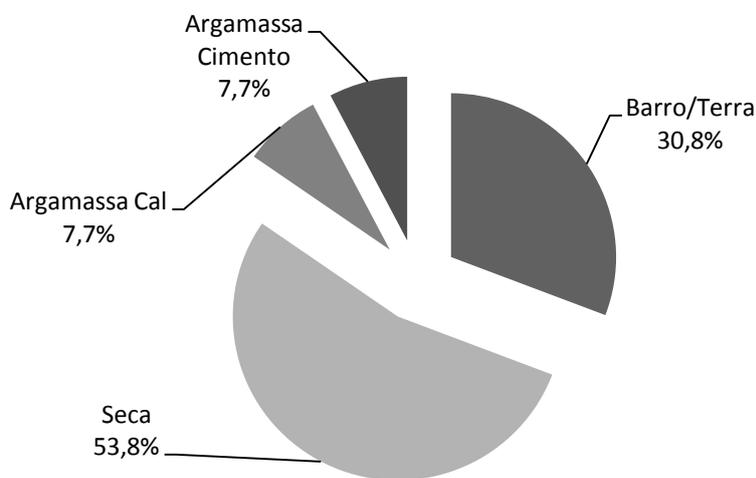


Figura 3.28 – Tipo de junta de assentamento nas faces exteriores da alvenaria de pedra de xisto

Nas Figuras 3.29 e 3.30 é possível observar alguns exemplos dos edifícios analisados, cuja construção das paredes exteriores foi feita com e sem recurso a material de assentamento.



Figura 3.29 - Edifícios de pedra de xisto com material de assentamento (barro/terra)



Figura 3.30 - Edifícios de pedra de xisto sem material de assentamento

Também foi efetuada a análise do tipo de juntas adotadas na face interior das paredes exteriores. Esta análise foi feita, uma vez que se verificou que grande parte dos edifícios estudados do tipo I e III, em que existia uma parte habitável, os espaços apresentavam pelo interior um enchimento ou guarnição da alvenaria com material terroso e pelo exterior as pedras eram justapostas com junta seca. Este facto poderia ser para proteger a parte habitada dos agentes climáticos, principalmente da chuva e da entrada de ar.

Na Figura 3.31 é possível observar um edifício do tipo I (habitação com abrigo de animais), com juntas diferentes na face interior e na face exterior da parede exterior.



a) Juntas com enchimento de um material terroso pelo interior do edifício

b) Junta seca pelo exterior do edifício

Figura 3.31 - Edifício com diferentes tipos de juntas na face exterior e na face interior da alvenaria de pedra de xisto

Como se pode ver na Figura 3.32, onde está representada graficamente a distribuição do tipo de junta de assentamento da face interior das paredes exteriores do edifício, 61,5% das construções possuem barro/terra nas juntas de assentamento, 15,4% junta seca, 7,7% argamassa de cal e 15,4% argamassa de cimento. A argamassa de cimento foi encontrada nos edifícios que sofreram pequenas operações de reabilitação.

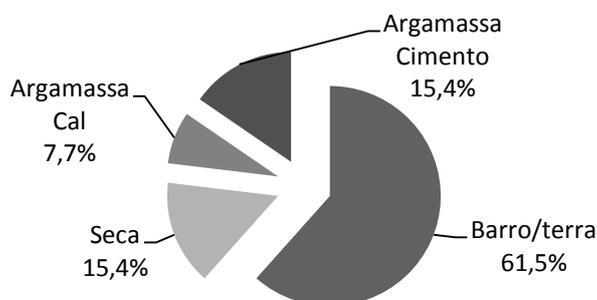


Figura 3.32 – Tipo de junta de assentamento na face interior da alvenaria de pedra de xisto

No sentido de se perceber a justificação associada à opção de usar junta aberta ou junta fechada, relacionou-se o tipo de utilização do edifício com o tipo de assentamento, pois, aquando da visita a estas construções pôde-se verificar que, em muitas delas, apenas os pisos ou os locais utilizados para habitação possuíam enchimento e os restantes junta seca. Isto revela a intenção de melhorar o comportamento térmico destas paredes apenas em certos espaços em que é necessário um determinado conforto térmico.

Procedeu-se também à análise do material utilizado nas juntas de assentamento para os pisos dos edifícios utilizados para habitação. Foram analisados os materiais utilizados na face interior e exterior das paredes exteriores.

Na Figura 3.33 e 3.34 podem observar-se os resultados obtidos para os edifícios do Tipo I (habitação com abrigo de animais no rés-do-chão), correspondente ao piso de habitação.

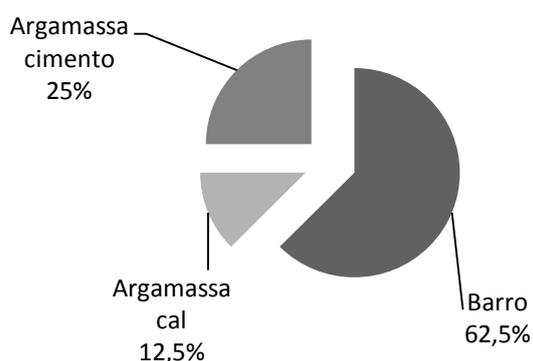


Figura 3.33 – Tipo de juntas de assentamento na face interior das paredes exteriores, na zona de habitação dos edifícios do Tipo I.

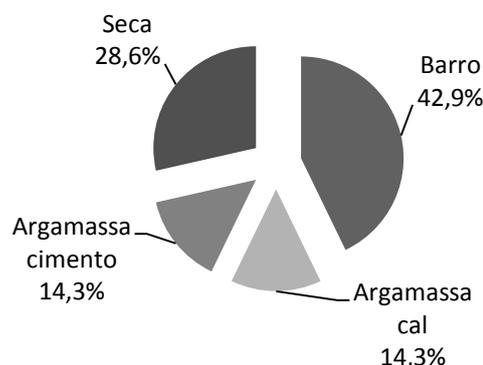


Figura 3.34 – Tipo de juntas de assentamento na face exterior das paredes exteriores, na zona de habitação dos edifícios do Tipo I

Os edifícios do Tipo II (armazém) e do Tipo IV (armazém e abrigo de animais) possuem paredes exteriores na sua maioria de junta seca, na face interior e exterior. Isto pode dever-se ao simples facto de que, para as funções a que estes tipos de edifícios do se destinam, o conforto térmico não é relevante.

Uma das características predominantes das construções em pedra de xisto e de granito é a elevada espessura das paredes exteriores. Da análise destas construções apurou-se que as paredes exteriores possuem espessura elevada que varia entre os 0,50 e os 0,80 m, Figura 3.35. As espessuras mais frequentes variam entre 0,60 e 0,70 m e observam-se em 46,2% dos casos. Verificou-se também uma elevada percentagem de edifícios com paredes de espessuras entre os 0,50 e os 0,60 m, 30,8%, verificando-se que a espessura média das paredes exteriores (Figura 3.36) é de 0,62 m, com um desvio padrão de 0,08 m e um coeficiente de variação de 13%.

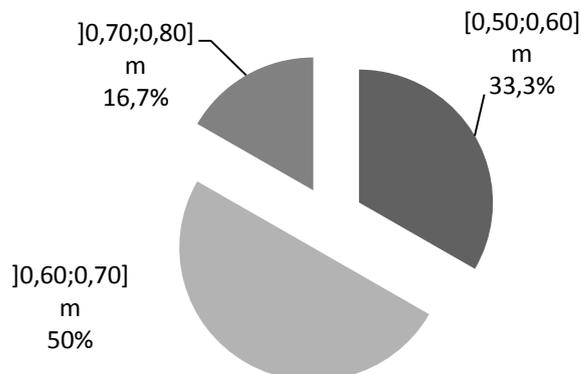


Figura 3.35 – Espessura das paredes exteriores dos edifícios de pedra de xisto



Figura 3.36 – Paredes exteriores de um edifício de pedra de xisto

A elevada espessura destas paredes resistentes deve-se ao facto destas paredes precisarem de um peso elevado para serem capazes de mobilizar forças estabilizantes que irão equilibrar forças horizontais derrubantes e deslizantes devidas, por exemplo, ao impulso de terras ou de elementos estruturais, ao vento e aos sismos. A elevada espessura destas paredes contribuirá para a proteção do interior do edifício em relação à água da chuva e para a obtenção de temperaturas mais estáveis no interior dos seus espaços devido à sua elevada inércia térmica.

Foi também incluído nesta ficha de levantamento, um critério de análise relativo à existência ou não de isolamento térmico nas paredes exteriores. No entanto, este parâmetro não foi preenchido dado que os edifícios analisados eram construções antigas e na sua maioria não habitadas, não havendo, portanto, a preocupação em melhorar o conforto térmico dos mesmos. No entanto, este parâmetro pode ser considerado em trabalhos futuros correspondentes à análise de edifícios tradicionais reabilitados.

3.4.1.3. Sistemas Construtivos de Pavimentos

A análise dos pavimentos destes edifícios permitiu concluir que estes eram, na sua maioria construídos em estrutura de madeira, sendo que, em apenas 7,7% dos casos, os pavimentos eram construídos em estrutura de betão armado. Segundo informação

recolhida junto dos proprietários, os pavimentos dos edifícios com estrutura em betão armado eram originalmente construídos em madeira e a sua substituição decorreu de operações de reabilitação.

Os pavimentos do rés-do-chão são na sua grande maioria em terra batida, 92,3%. Os restantes edifícios têm revestimento em madeira, 7,3%, Figura 3.37. Face às percentagens obtidas, conclui-se que não é habitual revestir-se o rés-do-chão com madeira, sendo que esta só se encontra presente em edifícios do tipo II, constituídos por um único piso. Nesse caso, o soalho está assente sobre barrotes diretamente apoiados na terra.

Nos edifícios com dois pisos constata-se que, ao nível do primeiro andar, a madeira é usada preferencialmente como material do pavimento, 91,7%. Também foram identificados alguns casos em que esse pavimento é constituído por betão armado revestido a ladrilhos cerâmicos, 8,3%, Figura 3.38.

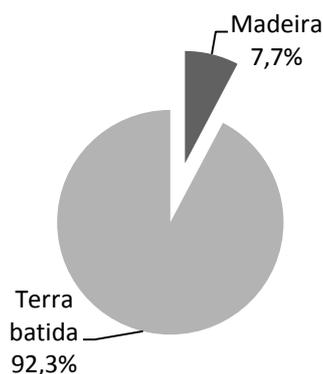


Figura 3.37 – Tipo de revestimento do pavimento do rés-do-chão

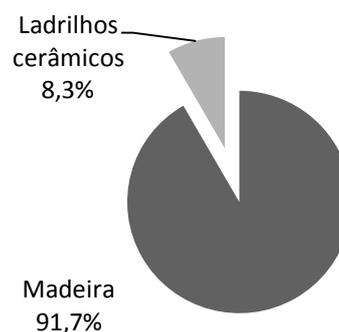


Figura 3.38 – Tipo de revestimento do pavimento do primeiro andar

3.4.1.4. Sistemas Construtivos da Cobertura

No que respeita às soluções construtivas da cobertura, verifica-se que todos os edifícios estudados apresentam cobertura do tipo inclinado.

De entre os edifícios com cobertura inclinada, uma minoria, 23,1%, possuía laje de esteira horizontal em madeira, Figura 3.39. Os restantes 76,9% dos casos não possuíam qualquer elemento de separação entre a cobertura inclinada e os espaços interiores do edifício, Figura 3.40. Esta solução pode ter como justificação o facto de se garantir que

o fumo libertado pela lareira, usada para o aquecimento dos espaços interiores, fosse depois dissipado pelas aberturas existentes entre as telhas.



Figura 3.39 – Vista interior de um edifício com laje de esteira em madeira



Figura 3.40 – Vista interior de um edifício sem laje de esteira horizontal

Através da Figura 3.41 é possível perceber que as coberturas mais comuns dos edifícios tradicionais de xisto do concelho de Mondim de Basto são coberturas de duas águas, 69,2%, existindo também com 3 e 4 águas em 7,7 % e 23,1% dos casos, respetivamente.

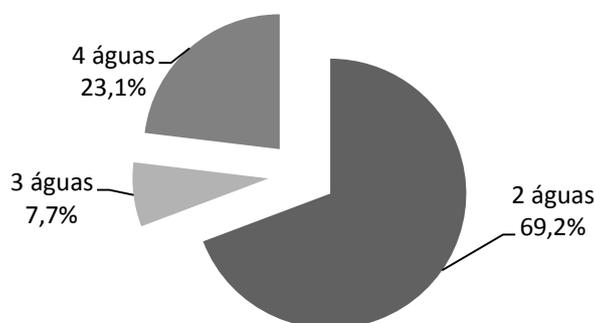


Figura 3.41 – Número de águas da cobertura dos edifícios de pedra de xisto

As coberturas de duas águas foram observadas em edifícios de reduzidas dimensões ou em casas em banda, e as coberturas com quatro águas encontram-se especialmente em casas isoladas de maiores dimensões. Verifica-se também que as coberturas apresentam inclinações elevadas para garantir uma proteção mais eficiente à água da chuva, como se pode observar nas Figuras 3.42, 3.43 e 3.44, contribuindo assim para a redução de infiltrações e ocorrência de humidade nos edifícios.



Figura 3.42 – Edifício de pedra de xisto com cobertura de 2 águas



Figura 3.43 – Edifício de pedra de xisto com cobertura de 3 águas



Figura 3.44 – Edifício de pedra de xisto com cobertura de 4 águas

Em relação ao tipo de estrutura da cobertura, verificou-se que a função estrutural na cobertura é desempenhada totalmente pela estrutura de madeira onde assenta o revestimento, Figura 3.45.



Figura 3.45 – Vista do interior de um edifício de pedra de xisto com estrutura da cobertura de madeira

Capítulo 3 - Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal

Os dados recolhidos indicam que 30,8% dos edifícios tradicionais de pedra de xisto estudados têm como revestimento exterior da cobertura telha cerâmica (telha aba canudo e telha marseille). Em 30,8% dos casos, verifica-se a existência de revestimento exterior em ardósia. O revestimento em ardósia é um dos revestimentos característicos da região em análise, uma vez que este é também um material predominante no local. A existência de revestimento em telha cerâmica decorre de operações de reabilitação de coberturas, em substituição de ardósias e também de colmo. É possível que no passado, em alguns dos edifícios analisados, a cobertura tenha sido revestida com colmo antes de ter sido substituída por ardósias e mais recentemente por telhas cerâmicas. O uso de coberturas de telha cerâmica e de metal é uma estratégia atual para a melhoria da estanquidade das coberturas. Convém no entanto referir que a ardósia é uma variedade de xisto corretamente aplicada no revestimento de coberturas que apresenta características únicas de impermeabilização e resistência aos agentes climáticos. Enquanto as telhas cerâmicas podem absorver 12% do seu peso em água a ardósia absorve entre 4% a 6% do seu peso de água, apresentando portanto uma impermeabilização superior à do telhado cerâmico. Como se trata de um material leve, implica que a sua utilização nas coberturas esteja associada a coberturas de maior inclinação. Foram identificados também revestimentos com chapas metálicas em 30,7% dos casos e colmo em 7,7% dos casos. Os resultados apresentam-se na Figura 3.46.

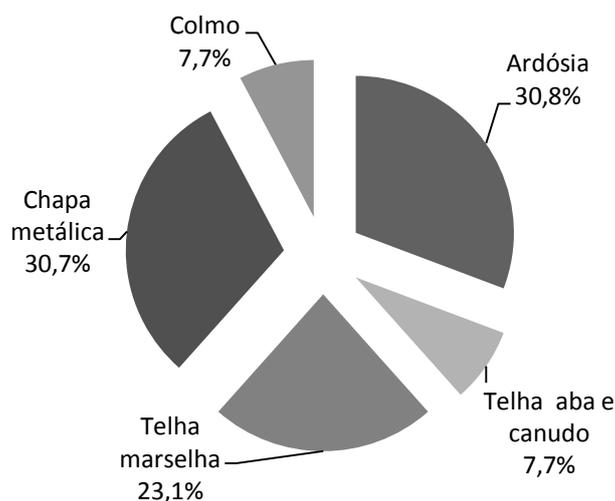


Figura 3.46 – Tipo de revestimento da cobertura dos edifícios de pedra de xisto

Em seguida, pode visualizar-se nas Figuras 3.47, 3.48, 3.49 e 3.50 exemplos de diferentes tipos de revestimentos das coberturas dos edifícios estudados.



Figura 3.47 – Revestimento da cobertura em telha cerâmica



Figura 3.48 – Revestimento da cobertura em ardósia

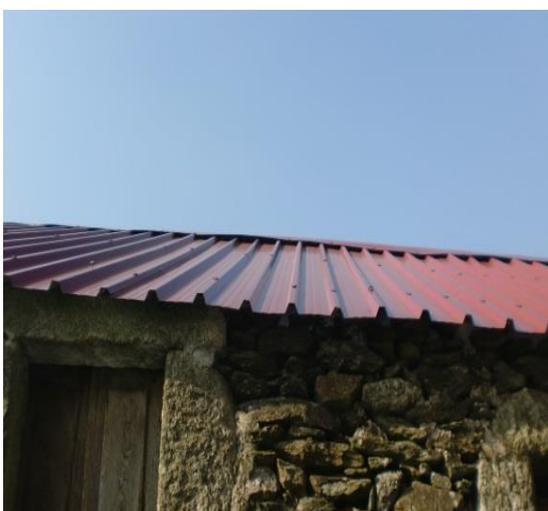


Figura 3.49 – Revestimento da cobertura em metal



Figura 3.50 – Revestimento da cobertura em colmo

3.4.1.5. Remates com Fachada

No que se refere aos remates com fachada foram analisados os seguintes elementos construtivos: cunhais, padieiras, ombreiras e beirais.

Os edifícios tradicionais de pedra de xisto estudados apresentam o uso de dois materiais como solução nos cunhais. O xisto é utilizado na maior parte dos casos, 53,8 %, e o granito em 46,2% dos casos. Os cunhais caracterizam-se por possuírem pedras de maiores dimensões do que as pedras dos panos de parede, Figura 3.51 e 3.52., dada a capacidade resistente que caracteriza estes elementos de extremidade.



Figura 3.51 - Edifício de pedra de xisto com cunhais em granito



Figura 3.52 – Edifício de pedra de xisto com cunhais em xisto

Esta disposição das pedras nos cunhais garante a ligação entre os dois panos verticais, proporcionando um maior travamento entre eles e possibilitando um correto funcionamento estrutural do edifício.

No caso das ombreiras e padieiras, o principal material utilizado nos edifícios tradicionais de pedra de xisto é o granito. Em todos os edifícios analisados, as padieiras dos edifícios estudados são em granito e as ombreiras são também maioritariamente em granito, 84,6%, existindo apenas 15,4% em xisto. Na Figura 3.53 e 3.54, apresentam-se dois exemplos de edifícios com os diferentes materiais utilizados nos elementos de padieira e de ombreira.



Figura 3.53 – Edifício de pedra de xisto com padieira e ombreiras em granito



Figura 3.54 – Edifício de pedra de xisto, com xisto como elemento da ombreira e peitoril e de granito como elemento da padieira

Na Figura 3.55 apresentam-se os intervalos de valores da espessura medida nas ombreiras e padieiras. Como apresentam os mesmos intervalos de espessuras, a

distribuição gráfica é igual para os dois elementos. Esta espessura não representa todo o elemento, mas sim a parte exterior que provoca sombreamento nos vãos das portas e das janelas.

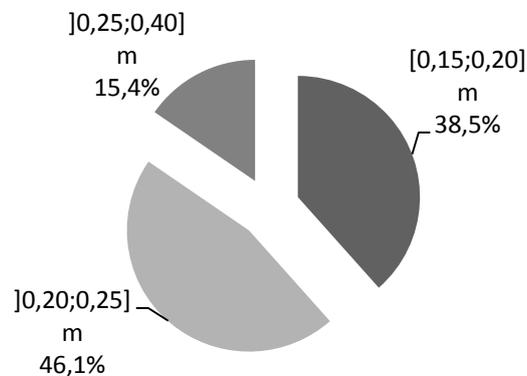


Figura 3.55 – Espessura das ombreiras e das padieiras nos edifícios de pedra de xisto

A maioria dos edifícios estudados (84,6%) possui ombreiras e padieiras com espessura compreendida entre 0,15 e 0,25 m. A espessura mínima, verificada nestes edifícios tradicionais de xisto, é idêntica à espessura máxima que habitualmente caracteriza os edifícios mais recentes e que corresponde a 0,15 m. Os valores de espessura dos contornos dos vãos demonstra que estes elementos podem contribuir de forma significativa para o sombreamento dos vãos, podendo conduzir à redução dos ganhos solares quando não são desejáveis.

A maioria dos edifícios, 84,6%, apresenta beirais, Figura 3.56. Quando presente, este elemento é maioritariamente em xisto, 61,4%, existindo também em granito, 7,7% e em outros materiais (telha e metal), 15,4%.

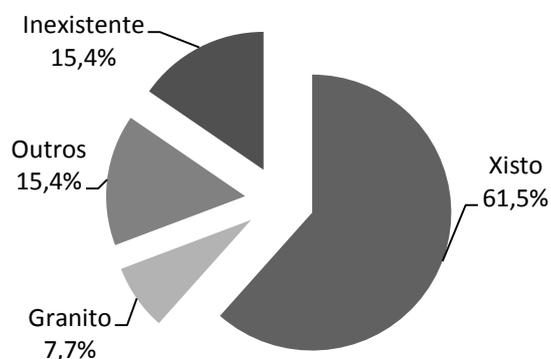


Figura 3.56 – Material utilizado nos beirais dos edifícios de pedra de xisto

Na Figura 3.57 apresentam-se três exemplos de edifícios com os diferentes materiais utilizados nos beirais.

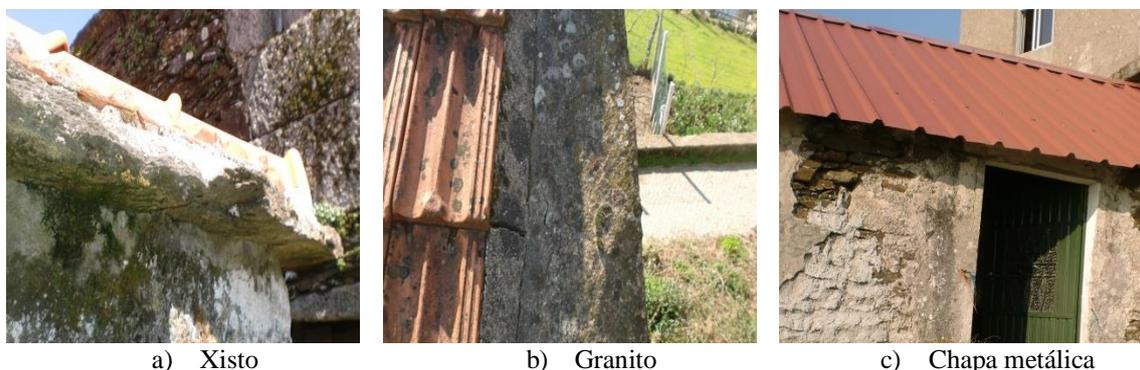


Figura 3.57 – Material utilizado nos beirais dos edifícios de pedra de xisto

Em 11 dos edifícios estudados houve a possibilidade de medir a dimensão dos beirais, tendo-se constatado que a sua largura varia entre 0,10 e 0,35 m, Figura 3.58. O uso dos beirais deve estar relacionado com a preocupação em proteger a fachada das escorrências das águas pluviais vindas do telhado, funcionando também como elemento de sombreamento.

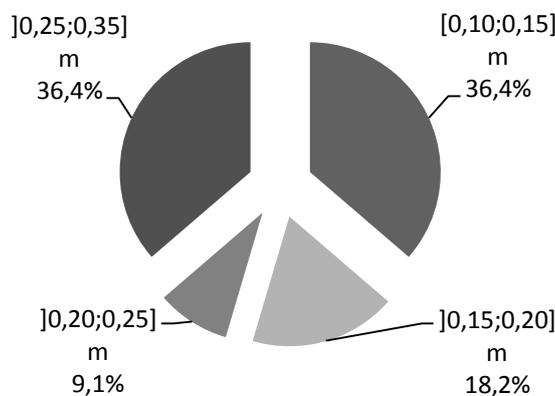


Figura 3.58 – Distribuição da espessura dos beirais dos edifícios de pedra de xisto

3.4.1.6. Vãos de Janelas e Portas

Os vãos de janelas e de portas representam as aberturas nas paredes exteriores e a relação entre o edifício e o exterior. A análise da orientação de janelas e portas, a área, o material utilizado e as proteções solares utilizadas permite perceber se existia uma preocupação na conceção dos edifícios tradicionais e de que forma estas características se relacionam com o clima e a topografia local. Relativamente aos vãos das janelas (28

vãos), apurou-se que a sua orientação e área se distribuem de acordo com a informação disponibilizada nas Figura 3.59 e 3.60, respetivamente.

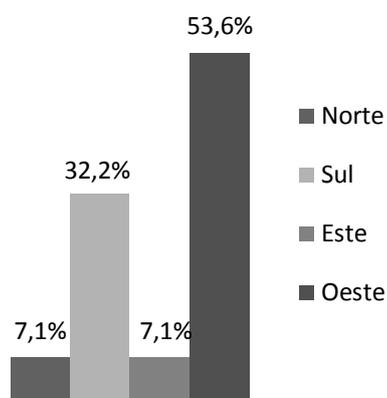


Figura 3.59 – Distribuição do número de janelas por orientação

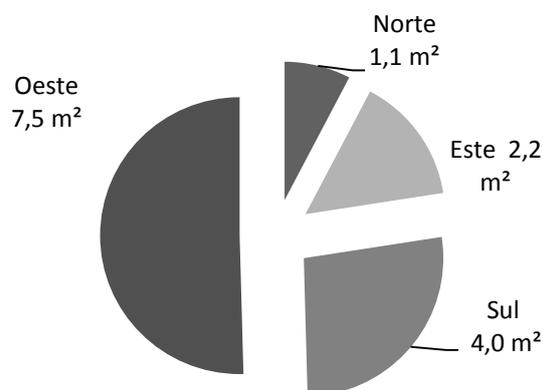


Figura 3.60 – Áreas dos 28 vãos de janelas por orientação (m²)

Da análise da Figura 3.59 sobressai que a maioria dos edifícios estudados têm as janelas orientadas preferencialmente para a direção oeste, 53,6% e para sul, 32,2%. A preferência desta orientação revela que a exposição solar destes edifícios foi pensada de modo a ser possível proteger os vãos dos ventos de norte e a conseguir ganhos solares no inverno até ao pôr-do-sol. Porém, os raios solares provenientes de nascente (este) e de poente (oeste) são muito intensos durante o verão e ocorrem ao fim da tarde quando o edifício devia começar a arrefecer dado que a temperatura exterior começa a baixar, sendo por isso necessário o uso de dispositivos de proteção tais como portadas, que correspondem ao dispositivo de proteção mais utilizado nos edifícios estudados. As áreas envidraçadas mais elevadas encontram-se, também, orientadas a oeste (poente) com 7,5 m² e a sul com 4,0 m², Figura 3.60. As janelas orientadas a norte existem em menor percentagem, 7,1%, representando apenas 1,1 m² de área. A existência de áreas envidraçadas orientadas a norte tem grande influência no balanço energético do edifício, dado a existência de perdas através da envolvente.

Dos edifícios tradicionais estudados apurou-se, também, que os vãos das janelas possuem uma área média de 0,53 m², com um desvio padrão de 0,21 e um coeficiente de variação de 39,7%. Na Figura 3.61 é possível ver um edifício em que a norte e a sul não existem janelas existindo apenas na orientação a oeste sendo que a fachada este está enterrada.



Figura 3.61 – Edifício de pedra de xisto com maior orientação de vãos a oeste

Os resultados obtidos revelam que houve preocupação em minimizar as perdas energéticas, verificando-se o uso de reduzidos números de vãos envidraçados e de dimensões reduzidas orientados a norte. O facto de existir maior área de vãos orientados a oeste e não a sul, como seria de prever, deve-se ao relevo do terreno onde estes edifícios tradicionais se localizam e também ao facto dos edifícios serem construídos em aglomerados, sendo nesta situação, as fachada sul e norte as fachadas preferenciais para a união dos edifícios. Os edifícios analisados encontravam-se numa encosta orientada para oeste, sendo esta orientação também privilegiada por uma melhor paisagem, Figura 3.62.



Figura 3.62 – Localização do aglomerado de edifícios de pedra de xisto

Em relação aos vãos das portas (18 aberturas de vão), apurou-se que a sua orientação e área se distribui de acordo com a informação apresentada na Figura 3.63 e 3.64, respetivamente.

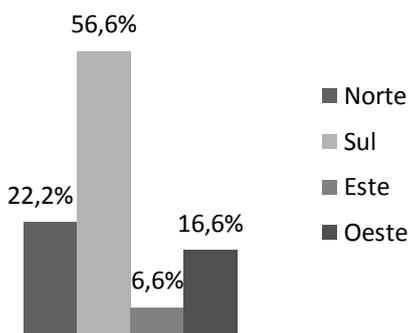


Figura 3.63 – Distribuição do número de portas por orientação

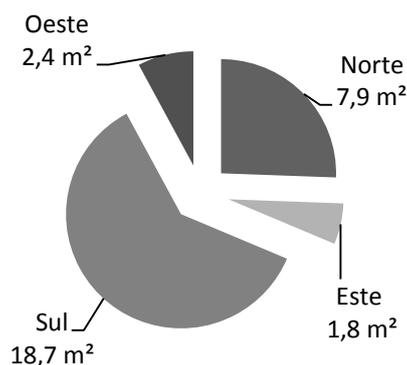


Figura 3.64 – Áreas dos 18 vãos de portas por orientação (m²)

Pode verificar-se que os vãos das portas estão orientados preferencialmente para a direção sul, 56,6%, e representam uma área de 18,7 m². A orientação destas não apresenta a mesma relevância que os envidraçados das janelas, dado que são opacas e, na maioria dos edifícios analisados, apenas existe uma porta principal em madeira. Em 85,6 % dos edifícios as portas são de madeira e em 15,4% são de ferro.

Relativamente à caracterização dos envidraçados das janelas, constata-se que os vidros são simples, com caixilharia, na sua maioria, em madeira, 66,7%, e com proteção através do uso de portadas interiores, 62,5%. Nas Figuras 3.65 e 3.66 apresenta-se a distribuição dos tipos de materiais utilizados na caixilharia e proteção solar utilizada nas janelas.

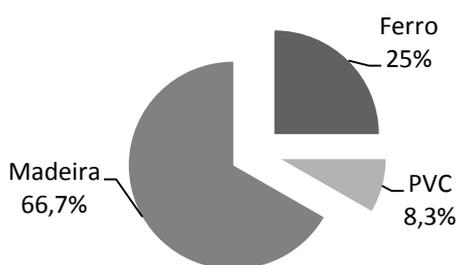


Figura 3.65 – Tipo de material utilizado como caixilharia das janelas dos edifícios de pedra de xisto



Figura 3.66 – Tipo de proteção utilizado nas janelas dos edifícios de pedra de xisto

O uso de portadas, Figuras 3.67 e 3.68, irá permitir aos habitantes destes edifícios, durante o dia, controlar o grau de luminosidade e a quantidade de raios solares que

penetra na habitação e, durante a noite, reduzir as perdas de calor para o exterior.



Figura 3.67 – Janela em madeira com portada interior, pertencente a um edifício de pedra de xisto



Figura 3.68 – Janela em PVC, pertencente a um edifício de pedra de xisto

3.4.1.7. Elementos Externos

Os elementos externos analisados, ou seja, escadas, varandas/alpendres, chaminés e elementos de sombreamento natural, fazem parte integrante de alguns edifícios tradicionais e podem trazer equilíbrio térmico para o ambiente interior do edifício.

No que respeita à existência de escadas, estas estão presentes em 77,0% dos edifícios estudados, sendo este o elemento que garante a acessibilidade ao primeiro andar. Dos edifícios que possuem escadas, verifica-se que o material mais utilizado neste elemento é o granito em 60% dos edifícios analisados, Figura 3.69, seguido do xisto em 40%, Figura 3.70.



Figura 3.69 – Escadas exteriores em pedra de granito



Figura 3.70 – Escadas exteriores em pedra de xisto

A existência de varandas/alpendres e chaminés é pouco representativa nos edifícios analisados. No entanto, existem alguns edifícios em que se visualizaram estes elementos exteriores. As varandas estão presentes em 30,8 % dos edifícios estudados, sendo de madeira em 15,4% e de betão em 15,4%, Figura 3.71. As varandas em betão eram no seu estado original em madeira, segundo informação recolhida junto dos proprietários destes edifícios. No que se refere à existência de chaminé e ao material utilizado para a sua construção, Figura 3.72, verifica-se que, em apenas dois edifícios, este elemento está presente, sendo uma em xisto e outra em betão. Em 84,6 % dos edifícios não existe chaminé, sendo a extração do fumo feita pelas aberturas existentes entre as telhas da cobertura.

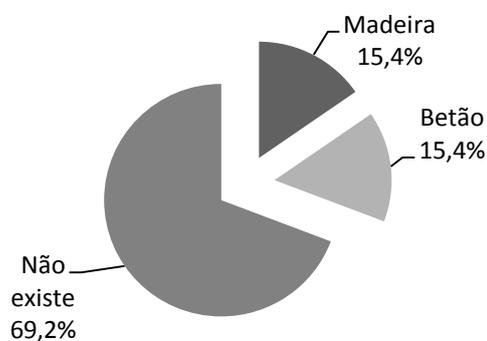


Figura 3.71 – Material utilizado na varanda/alpendre dos edifícios de pedra de xisto

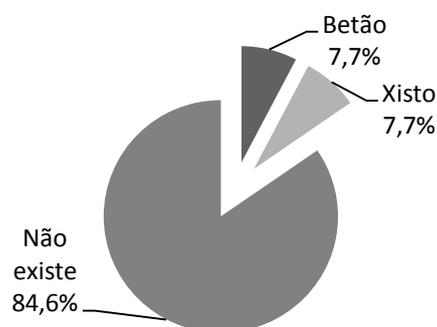


Figura 3.72 – Material utilizado na chaminé dos edifícios de pedra de xisto

As varandas/alpendres, Figura 3.73, estão presentes em quatro edifícios, sendo que três delas se encontram orientadas para sul e uma delas para este. A orientação a sul permite receber, durante o período de inverno, o maior número de horas de sol e também se encontra protegida dos ventos dominantes. Este elemento constituiu um espaço de atenuação de perdas de calor.



a) Vista do interior de um alpendre



b) Vista do exterior de um alpendre

Figura 3.73 – Alpendre de madeira de um edifício de pedra de xisto

Em conjunto com as varandas, os elementos de sombreamento natural funcionam como elementos que atenuam as perdas de calor no período de inverno e diminuem os ganhos solares diretos no período de verão através da envolvente. No que se refere aos elementos de sombreamento natural, Figura 3.74, verifica-se que, em seis edifícios tradicionais de pedra de xisto, este elemento está presente, sendo que, em quatro deles, estes elementos são videiras e em dois deles são heras. As videiras são plantas de folha caduca que se encontram localizadas nas fachadas orientadas a sul e que contribuem, principalmente no verão, para causar sombreamento no edifício. As heras são plantas de folha persistente que se encontram localizadas nas fachadas orientadas a norte, protegendo-a dos ventos dominantes e melhorando o seu isolamento. Também se verifica a existência de heras na fachada orientada a sul, que irá proporcionar no verão o arrefecimento dos espaços através de evapotranspiração.



a) Heras localizadas na fachada a norte

b) Videiras localizadas na fachada a sul

Figura 3.74 – Elementos de sombreamento natural usados em edifícios de pedra de xisto

3.4.1.8. Análise Comparativa

Neste ponto pretende-se apresentar uma análise comparativa entre os resultados obtidos neste trabalho e os obtidos no trabalho de investigação realizado por Lourenço et al [47], acerca da caracterização de edifícios de pedra de xisto localizados noutras regiões. Assim, os edifícios localizados no concelho de Mondim de Basto aqui analisados serão comparados com os edifícios localizados nos concelhos de Penafiel, Vila Real, Peso da Régua e Santa Marta de Penaguião. Esta análise permitirá obter uma caracterização dos elementos construtivos, localizados na região Norte, mas em três zonas diferentes

Capítulo 3 - Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal

(NUTS III). Os concelhos de Vila Real, Peso da Régua e Santa Marta de Penaguião localizam-se na NUT III Douro, o concelho de Mondim de Basto na NUT III Ave e Penafiel na NUT III Tâmega. Na Tabela 3.3 apresentam-se as classificações dos municípios segundo a NUTS III, bem como as zonas climáticas de Inverno e Verão, definidas de acordo com o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, REH [13]. Os edifícios analisados situam-se nas zonas climáticas de inverno I1 e I2 e de verão V2 e V3. Como já foi referido anteriormente, de acordo com esta classificação, o índice 1 corresponde a invernos menos rigorosos e o índice 3 a verões mais rigorosos. No Capítulo 2, na Figura 2.7, que representa a distribuição da temperatura média diária do ar, pode observar-se que o distrito de Vila Real tem uma temperatura máxima anual, durante a estação de verão, de cerca de 30°C e uma mínima de 0°C durante a estação de inverno. O distrito do Porto tem uma temperatura máxima anual de cerca 25°C e uma mínima de 5° C. Logo, os concelhos localizados no distrito de Vila Real (concelhos de Mondim de Basto, Peso da Régua e Santa Marta de Penaguião) têm verões e invernos mais rigorosos do que os localizados no distrito do Porto (Penafiel) que possuem temperaturas mais amenas e constantes durante o ano.

Tabela 3.3 – Classificação dos municípios segundo as NUTS III e respetivas zonas climáticas

Municípios	NUT III	Zona climática de Inverno	Zona climática de Verão
Mondim de Basto	Ave	I2	V2
Peso da Régua	Douro	I1	V3
Vila Real	Douro	I2	V3
Santa Marta de Penaguião	Douro	I1	V3
Penafiel	Tâmega	I2	V2

Na Tabela 3.4 é apresentada uma análise comparativa que sintetiza toda a informação recolhida no presente trabalho de investigação e em outro realizado anteriormente por Lourenço, Rocha e Pina [47], de forma a identificar as diferenças e as semelhanças entre os edifícios das diferentes NUTS III.

Tabela 3.4 – Comparação entre soluções construtivas e arquitetónicas dos edifícios analisados nas NUTS III do Ave (concelho de Mondim de Basto), Douro (concelhos de Santa Marta de Penaguião, Vila Real e Régua) e Tâmega (concelho de Penafiel)

Soluções construtivas e arquitetónicas	NUTS III		
	Ave	Douro	Tâmega
A maioria dos edifícios analisados está no seu estado original		✓	
A maioria dos edifícios analisados já foi sujeita a pequenas reparações	✓		

Capítulo 3 - Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal

Soluções construtivas e arquitetónicas	NUTS III		
	Ave	Douro	Tâmega
A maioria dos edifícios analisados já foi sujeito a reabilitação			✓
Edifícios utilizados maioritariamente só para habitação		✓	✓
Edifícios utilizados maioritariamente para habitação com abrigo de animais	✓		
Edifícios encontram-se maioritariamente isolados no que se refere ao agrupamento destes	✓	✓	✓
Edifícios maioritariamente com dois pisos	✓	✓	
Edifícios maioritariamente com um piso			✓
Edifícios maioritariamente com paredes de alvenaria ordinária	✓		
Edifícios maioritariamente com paredes de alvenaria aparelhada		✓	✓
As espessuras das paredes maioritariamente no intervalo entre os 0,70 e os 0,90 m		✓	✓
As espessuras das paredes maioritariamente no intervalo entre os 0,50 e os 0,70 m	✓		
Junta de assentamento das paredes exteriores com barro/terra ou argamassa de cal		✓	
Junta de assentamento das paredes exteriores seca	✓		✓
Estrutura do pavimento do primeiro andar maioritariamente em madeira	✓	✓	✓
Cobertura inclinada	✓	✓	✓
Cobertura maioritariamente com quatro águas		✓	✓
Cobertura maioritariamente com duas águas	✓		
Revestimento da cobertura maioritariamente em ardósia ou telha cerâmica	✓		
Revestimento da cobertura em telha cerâmica		✓	✓
Estrutura da cobertura maioritariamente em madeira	✓	✓	✓
Edifícios maioritariamente com cunhais em xisto	✓		✓
Edifícios maioritariamente com cunhais em granito		✓	
Ombreiras e padieiras maioritariamente em granito	✓	✓	✓
Beiral construído em xisto	✓		✓
Beiral construído em telha		✓	
Orientação preferencial dos vãos das janelas para sul		✓	
Orientação preferencial dos vãos das janelas para oeste	✓		
Orientação preferencial dos vãos das janelas para este			✓
Janelas com vidro simples e caixilharia em madeira	✓	✓	✓
Portas opacas em madeira	✓	✓	✓
Proteção solar dos envidraçados por portadas interiores	✓	✓	
Proteção solar dos envidraçados por cortinados			✓
Mais de 50% dos edifícios não possuem chaminé	✓	✓	✓
Mais de 50% dos edifícios possuem escadas exteriores em xisto ou em granito	✓		✓

A análise dos resultados obtidos nos diferentes trabalhos de investigação evidencia a existência de algumas diferenças nas soluções construtivas adotadas neste tipo de

edifícios. Estas especificidades devem-se ao facto de estes edifícios estarem localizados em zonas climáticas distintas e por isso com necessidades térmicas distintas. Os edifícios localizados na zona do Douro são edifícios que na sua maioria ainda se encontram no seu estado original. Já os edifícios localizados na zona do Ave e do Tâmega são edifícios que já foram sujeitos a algumas reparações para a melhoria do conforto dos edifícios e reparação de danos que estes terão sofrido ao longo dos tempos, visto serem todos edifícios antigos. Apresenta-se ainda que um elevado número de edifícios localizados no Tâmega sofreram intervenções de reabilitação, mantendo as características construtivas dos edifícios.

Os edifícios estudados no Ave são utilizados maioritariamente para habitação no primeiro andar e abrigo de animais no rés-do-chão, 53,8%, e no Douro e Tâmega estes são utilizados maioritariamente apenas para habitação, 43,3%.

Constata-se que os edifícios existentes nas três NUTS III consideradas, são na sua maioria construídas isoladas, verificando-se que no Ave e no Douro, estes possuem na sua maioria dois pisos e no Tâmega um piso. Na análise comparativa foi também incluído um outro trabalho de investigação realizado por Teixeira [50] sobre edifícios tradicionais de pedra de xisto localizados no Peso da Régua, mas que não consta da Tabela 3.4, uma vez que neste trabalho não foram analisadas as mesmas características nos edifícios. Segundo este trabalho de investigação dos edifícios estudados localizados no Peso da Régua a maioria desenvolve-se em dois pisos, 52,9%, o que reforça os resultados obtidos na NUTS III do Douro. Relativamente às restantes NUTS do Ave e Tâmega, não existem trabalhos de investigação cuja análise permita verificar se os resultados vão de encontro aos resultados obtidos no presente trabalho.

Relativamente à solução construtiva adotada para as paredes exteriores, verifica-se que no Tâmega e no Douro a maioria das paredes são de alvenaria aparelhada, 96,7%, e com uma espessura predominante no intervalo de 0,70 e 0,90 m. No Ave, as paredes exteriores são em alvenaria ordinária, 92,7%, e com uma espessura predominante no intervalo entre os 0,50 e os 0,70 m. Constata-se ainda, acerca do aparelhamento das pedras das paredes exteriores, que os edifícios localizados no Tâmega, 100%, e no Ave, 53,8%, se caracterizam por ter uma sobreposição das pedras de xisto sem o recurso a um material de assentamento, ou seja, são aparelhadas em junta seca. No Douro, as

juntas de assentamento são maioritariamente fechadas, preenchidas com barro/terra, 45%, ou argamassa cal, 45%. Estes resultados vão de encontro aos obtidos por Teixeira [50]. Neste trabalho verificou-se que as espessuras das paredes exteriores estão compreendidos, maioritariamente no intervalo de espessuras, entre os 0,60 e os 0,90 m e o recurso a juntas fechadas através do uso de material terroso, 55,6%, o que vai de encontro aos valores obtidos no Douro. Verifica-se portanto que os edifícios analisados nas diferentes regiões apresentam elevadas espessuras de paredes exteriores e consequentemente com elevada inércia térmica. Conclui-se também que o uso de terra, outro material disponível localmente, é geralmente utilizado para preenchimento das juntas de assentamento. Dadas as propriedades térmicas da terra, a inclusão deste material na envolvente exterior contribui para a melhoria do desempenho térmico das paredes exteriores, para além de servir de material de enchimento.

No que respeita à cobertura dos edifícios, a maioria dos edifícios analisados pertencente à NUT III Ave apresenta duas águas, 69,2%, e na zona do Tâmega e do Douro quatro águas, 60%. O revestimento da cobertura nos edifícios analisados do Douro e do Tâmega o revestimento é em telha cerâmica e no Ave é em ardósia, 30,8%, ou telha cerâmica, 30,8%. A estrutura da cobertura é em madeira. Os edifícios estudados por Teixeira [50], localizados no Peso da Régua, apresentam cobertura inclinada com 2 águas, revestida com telha cerâmica e estrutura em madeira. Os resultados obtidos, em relação ao número de águas, não vão de encontro aos obtidos na NUT III Douro. Isto pode dever-se ao facto de aí os edifícios serem maioritariamente utilizados para habitação, possuindo maiores áreas, e os edifícios estudados por Teixeira, no Peso da Régua, serem maioritariamente para arrumos, apresentando, assim, mais reduzidas áreas.

No que respeita aos remates com fachada, verifica-se que em 70% dos edifícios de pedra de xisto estudados na NUT III Tâmega e 54,8% na NUT III Ave possuem cunhais em xisto. Destaca-se também os beirais, em pedra de xisto, sendo que no Tâmega, predominam em 80% dos edifícios e no Ave 61,5%. Os edifícios localizados na NUT III Douro têm cunhais em granito, 56,3%, e o beiral, quando presente, é em telha cerâmica, 50%. Nas diferentes NUTS III analisadas as ombreiras e padieiras são maioritariamente construídas em granito. Verifica-se que os edifícios analisados apresentam alternância no que respeita ao material a usar nos cunhais. A escolha entre o

xisto e o granito pode dever-se por um lado à disponibilidade de blocos de dimensões superiores no material dominante no edifício e por outro lado à dimensão do edifício e consequentemente ao aumento da capacidade resistente destes elementos estruturais.

O uso de coberturas inclinadas e de beirais mostra uma preocupação em proteger a fachada das escorrências das águas pluviais, visto que o clima da região Norte de Portugal é caracterizado por ter um inverno chuvoso. Por outro lado, as dimensões dos beirais podem também criar algum efeito de sombreamento na fachada.

Relativamente às janelas dos edifícios em pedra de xisto analisados estas caracterizam-se por terem vidros simples e a caixilharia em madeira. A orientação das janelas é outro dos aspetos analisados e de extrema importância para o comportamento térmico do edifício. No Douro, os vãos dos edifícios analisados estão orientados preferencialmente para sul, 41,4%, no Ave estão orientados para oeste, 53,6%, e no Tâmega para este, 34,0%. Os concelhos localizados na NUT III Douro pertencem à zona climática de verão, V3, e à zona climática de inverno, I1 e I2, o que justifica uma maior área de envidraçados orientados a sul, dado ser esta a melhor orientação para não receber radiação solar excessiva no verão e ter mais ganhos solares no inverno. Os edifícios localizados nas NUT III Tâmega e Ave pertencem à zona climática de verão, V2, menos rigorosa em relação às temperaturas de verão. Verifica-se que os edifícios estudados nestas regiões possuem maioritariamente os vãos orientados a este e a oeste que correspondem às orientações que recebe maior insolação no verão. Estes concelhos pertencem à zona climática de inverno I2 e o Ave à zona climática I2. As orientações dos vãos, a este e a oeste, irão permitir receber iluminação e insolação desde o nascer do sol até ao pôr-do-sol.

Constatou-se, aquando do levantamento efetuado em Mondim de Basto, que o valor médio da área das janelas é de $0,53 \text{ m}^2$, com um desvio padrão de 0,21 e um coeficiente de variação de 39,7%. No trabalho de investigação realizado no Peso da Régua, por Teixeira [50], apurou-se que o valor médio da área das janelas é de $1,08 \text{ m}^2$, com um desvio padrão de 0,56 e um coeficiente de variação de 51,9%. As janelas de pequenas dimensões da zona do Ave que pertencente à zona climática de verão, V2, e do Douro, pertencente à zona climática de verão, V3, revelam uma grande preocupação com as condições de Verão, sendo o problema de inverno também resolvido, dado que as

reduzidas dimensões dos vãos implicam menores perdas de calor por condução.

A proteção solar dos envidraçados dos edifícios estudados é feita por portadas interiores na zona do Ave, 62,5%, e no Douro, 55%. Na zona do Tâmega a proteção solar é, maioritariamente, feita por cortinados, 50%. Os dispositivos de sombreamento referidos permitem controlar a quantidade de calor e luz solar que atinge o interior do edifício embora as portadas sejam mais eficientes em termos da transmissão de calor. As portas que foram encontradas nos levantamentos são opacas em madeira.

No que se refere aos elementos externos, verifica-se a existência de varandas/alpendres, em alguns dos edifícios analisados, sendo que, no Ave representam 30,8% dos edifícios observados, no Douro 46,2% e no Tâmega 40%. O edifício de pedra de xisto analisado nos diferentes concelhos, na sua maioria, não possuem chaminé, e os que possuem deve-se ao facto de serem edifícios sujeitos a operações de reabilitação, em que este elemento foi introduzido. Os elementos de sombreamento natural não foram comparados, pois, não existem dados em outros trabalhos que o permitissem fazer.

No entanto, sabe-se que, dado que estes edifícios se localizam em zonas rurais cuja principal atividade era a agricultura, o recurso a ramadas e a bardos de videiras para sombreamento era uma solução recorrente.

3.4.2. Edifícios de Granito

De forma análoga ao que foi apresentado anteriormente para os edifícios tradicionais de xisto estudados, são apresentados nesta secção os resultados obtidos para os edifícios tradicionais de granito analisados. Depois dos levantamentos realizados, foi feito o tratamento dos dados recolhidos no local e da informação fornecida pelos proprietários.

3.4.2.1. Características Gerais

Tal como no levantamento dos edifícios tradicionais de pedra de xisto, os edifícios de pedra de granito foram analisados segundo os mesmos critérios. Como já se referiu anteriormente, foram utilizados quatro classificações distintas sendo elas: antigo em ruína, antigo não reabilitado, antigo reabilitado e antigo submetido a pequenas operações de reparação. Na Figura 3.75 apresentam-se algumas imagens representativas de cada um dos estados de conservação encontrados nos edifícios analisados.



Figura 3.75 – Edifícios de pedra de granito com diferentes estados de conservação

Na Figura 3.76 é visível que um elevado número de edifícios se encontram não rehabilitados, 41,2%, e em ruína, 11,8%. Esta situação demonstra que é possível existir nesta região um elevado número de edifícios a necessitar de serem rehabilitados. Verifica-se que 29,4% dos edifícios analisados, sofreram operações de reabilitação.

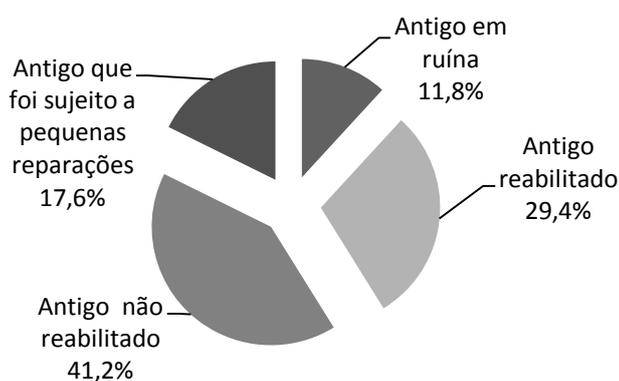


Figura 3.76 – Estado de conservação dos edifícios de pedra de granito

Relativamente à área de implantação dos edifícios estudados, Figura 3.77, apurou-se que a maioria destes possui áreas inferiores a 100 m², 64,7%. Como se pode observar, estes edifícios caracterizam-se por serem maioritariamente de pequena dimensão e de volumetria paralelepípedica, tal como se verificou nos edifícios de pedra de xisto

estudados. A reduzida dimensão destes edifícios permite que haja menores necessidades de aquecimento e de arrefecimento e a forma volumétrica contribui também para a redução de pedras pela envolvente através das pontes térmicas lineares.

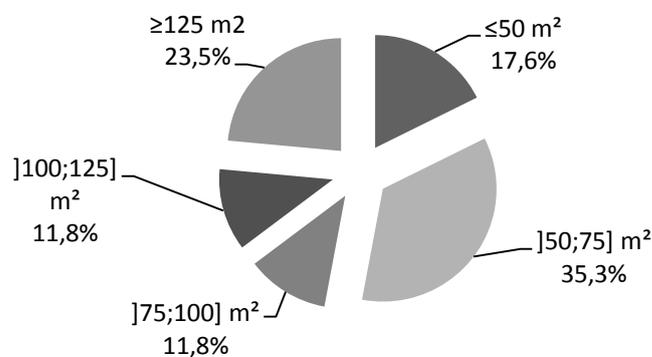


Figura 3.77 – Área de implantação dos edifícios de pedra de granito

Em relação ao número de pisos, uma característica que também influenciará o comportamento térmico do edifício, a solução mais comum refere-se a edifícios com dois pisos, 82,4%. Os restantes edifícios, 17,6%, têm apenas um piso. Verifica-se que, tanto os edifícios tradicionais de pedra de granito como os edifícios de pedra de xisto são maioritariamente de dois pisos. Esta situação pode dever-se ao facto de o mesmo edifícios servir duas funções: por um lado, a habitação e, por outro lado, a atividade de subsistência desenvolvida pelas populações rurais e que se relaciona com a agricultura e com a criação de animais.

Nas Figuras 3.78 e 3.79 pode visualizar-se dois edifícios de um e dois pisos, respetivamente.



Figura 3.78 – Edifício de pedra de granito com um piso



Figura 3.79 – Edifício de pedra de granito com dois pisos

O trabalho de campo efetuado permitiu concluir que os edifícios de xisto e de granito apresentam o mesmo tipo utilização, tendo sido identificado um uso distinto nos edifícios de granito destinado exclusivamente à habitação. Na tabela 3.5 estão classificados todos os usos encontrados.

Tabela 3.5 – Classificação dos diferentes usos encontrados nos edifícios de pedra de granito

Uso do edifício	Classificação
Habitação com abrigo de animais no rés-do-chão	Tipo I
Armazém	Tipo II
Habitação com armazém no rés-do-chão	Tipo III
Armazém e abrigo de animais	Tipo IV
Habitação	Tipo V

Do levantamento efetuado concluiu-se que dos edifícios estudados, 41,2% destes são do Tipo III que corresponde a edifícios de habitação com armazém, 23,5% são do Tipo I relativo a habitação com abrigo de animais, 17,6% são do tipo V, habitação, 11,8% são do Tipo IV, armazém e abrigo de animais e 5,9 % são utilizados para armazém, Tipo II, tal como se pode observar na Figura 3.80.

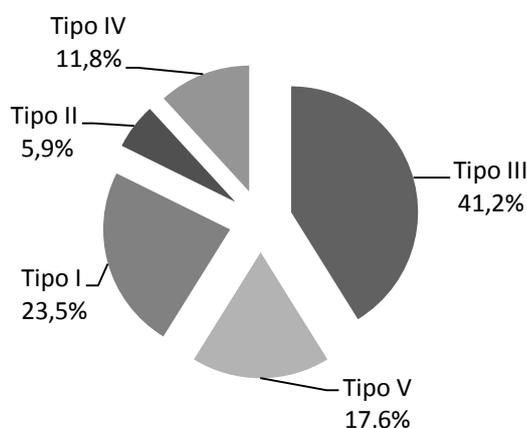


Figura 3.80 – Tipo de utilização dos edifícios tradicionais de pedra de granito

Analisando estes resultados, conclui-se que a maior parte dos edifícios serve para habitação com armazém, Tipo III, e para habitação com abrigo de animais, Tipo I. O uso da habitação com armazém é o mais frequente e isto pode dever-se como já se referiu anteriormente ao facto de estes locais estarem ligados à atividade agrícola e o rés-do-chão serviria de local de armazenagem desses produtos. No caso dos edifícios de xisto, o uso mais frequente foi o de habitação com abrigo de animais no rés-do-chão,

sendo este, também, resultado das necessidades da localização do edifício e das atividades desenvolvidas pelos seus proprietários. Devido à proximidade das regiões, estas não variam muito nas características climáticas, como se poderá verificar à adiante, através da análise da Tabela 3.6, logo o facto de os edifícios do xisto serem maioritariamente Tipo I e os de granito serem maioritariamente Tipo III não se deve à influência do clima.

Na Figura 3.81 apresenta-se um exemplo de um edifício com utilização do tipo V, habitação, que foi identificado em 17,6% dos casos.



Figura 3.81 – Edifício de pedra de granito com utilização do Tipo V, habitação

A utilização do edifício Tipo II, 5,9%, Figura 3.82, e do Tipo IV, 11,8%, surge como a utilização do edifício menos observada neste levantamento. Os edifícios de armazém com abrigo de animais são de dois pisos, ficando o rés-do-chão, Figura 3.83, reservado aos animais e o primeiro andar para guardar produções e ferramentas agrícolas.



Figura 3.82 – Edifício de pedra de granito do Tipo II, armazém



Figura 3.83 – Edifício pedra de granito do Tipo IV, armazém e abrigo de animais

Paralelamente analisou-se a relação entre o número de andares e a utilização do edifício, cujos resultados são apresentados na Figura 3.84. Pode verificar-se que 17,6% dos edifícios possuem um piso e estes são destinados à utilização do Tipo II (armazém) e do Tipo V (habitação). A maior parte dos edifícios estudados possuem dois pisos, 82,4%, e estes são destinados a uma utilização do Tipo III (habitação com armazém no rés-do-chão), 41,2%, do Tipo I (habitação com abrigo de animais no rés-do-chão), 23,5%, do Tipo IV (armazém e abrigo de animais), 11,8%, e uma percentagem residual de edifícios é destinado a uma utilização do Tipo V (habitação), 5,9%.

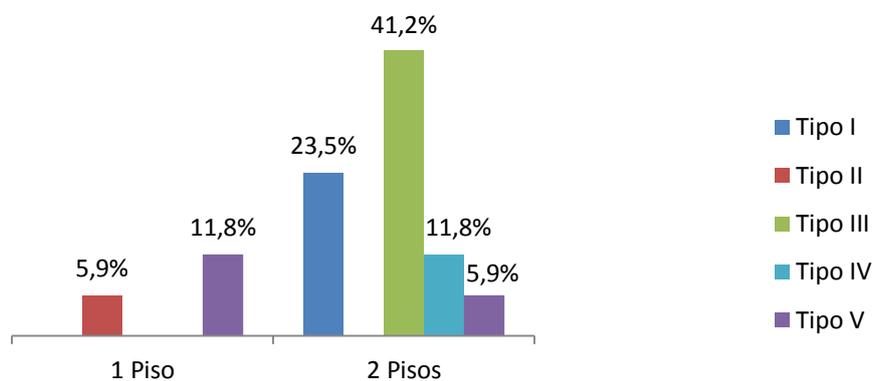


Figura 3.84 – Relação entre o número de pisos e a utilização do edifício de pedra de granito

No que respeita à análise da forma de agrupamento destes edifícios, Figura 3.85, verifica-se que a maioria corresponde a edifícios em banda, 52,9%, Figura 3.86 e os restantes 47,1% dos edifícios são isolados, Figura 3.87.



Figura 3.85 – Forma de agrupamento dos edifícios de pedra de granito



Figura 3.86 – Edifícios de pedra de granito agrupados em banda



Figura 3.87 – Edifícios de pedra de granito isolado

À semelhança do verificado nos edifícios de xisto, os edifícios encontram-se maioritariamente em banda no centro da localidade, sendo esta portanto uma forma típica de organização das aldeias. Esta organização urbana proporciona a redução das perdas térmicas através da envolvente dos edifícios, contribuindo para a melhoria do conforto interior dos edifícios.

3.4.2.2. Sistemas Construtivos das Paredes Exteriores

Em 52,9% dos edifícios estudados, verificou-se que as paredes de pedra de granito são aparelhadas numa das faces e os restantes 47,1% são paredes em pedra tosca, de forma e dimensões irregulares.

Na Figura 3.88 é possível observar que em 47,1% dos edifícios as paredes têm dois panos de alvenaria de pedra de granito, sendo que 11,8 % possuem um material de enchimento constituído, aparentemente, por terra e por pedras de granito de reduzidas dimensões, Figura 3.89. Verifique-se que as paredes com dois panos são maioritariamente constituídos por um pano exterior em alvenaria aparelhada e um pano interior em alvenaria ordinária.

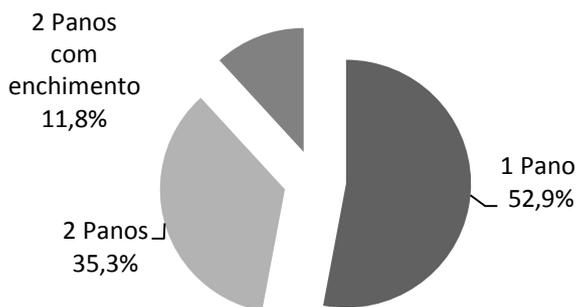


Figura 3.88 – Número de panos das paredes exteriores de pedra de granito



Figura 3.89 – Pormenor de parede exterior em pedra de granito com dois panos e enchimento

O resultado obtido relativo ao tipo de assentamento das pedras de granito, Figura 3.90, revela que, aparentemente, na face exterior das paredes de alvenaria, as pedras assentam maioritariamente em junta seca, 64,7. Em 23,5% dos edifícios, as paredes apresentam um enchimento com argamassa de cimento, e em 5,9% de argamassa cal. A existência de um material terroso encontrou-se em 5,9% dos casos.

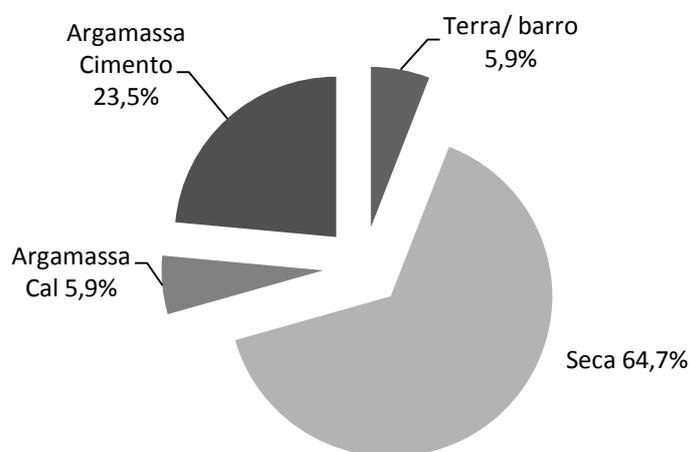


Figura 3.90 – Tipo de junta de assentamento na face exterior da alvenaria de pedra de granito

Os resultados obtidos permitem concluir que a maioria dos edifícios de pedra de granito e de xisto apresentam juntas de assentamento secas. Esta situação pode dever-se à antiguidade dos edifícios e à escassez de materiais para assentamento.

Nas Figuras 3.91 é possível observar alguns exemplos de edifícios de granito estudados com diferentes materiais de enchimento ou sem ele.



Figura 3.91 – Exemplos de paredes com diferentes materiais de enchimento nas juntas de assentamento

Através do estudo destes edifícios, observou-se que existem paredes que, na face exterior, apresentam blocos de pedras assentes em junta seca e, na face interior, apresentam um enchimento de um material terroso ou à base de argamassa. Na Figura 3.92 é possível observar um edifício com juntas distintas na face interior e na face exterior.

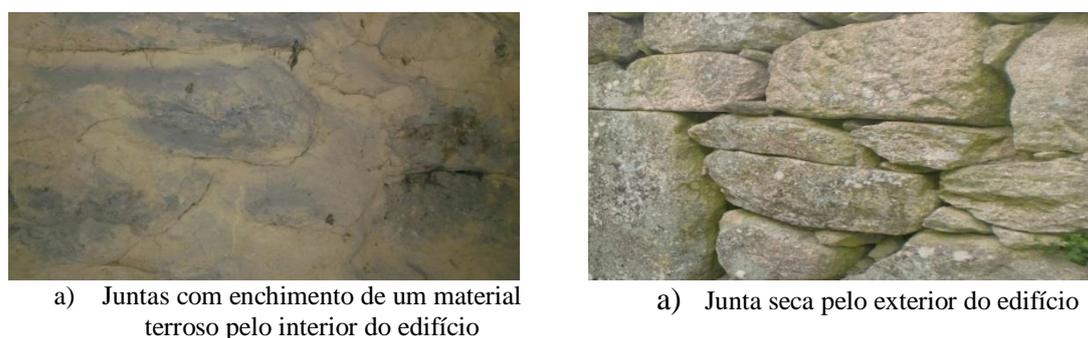


Figura 3.92 - Edifício com diferentes tipos juntas na face exterior e na face interior da alvenaria de pedra de granito

Ainda relativamente à face interior das paredes de alvenaria, Figura 3.93, observou-se que a maioria dos edifícios possui junta fechada, 84,6%. Entre as paredes com junta

fechada existem juntas com argamassa de cimento, 30,7 %, com terra, 30,8% e ainda com argamassa de cal 23,1%. Em 15,4% dos casos, a face interior permanece com junta seca.

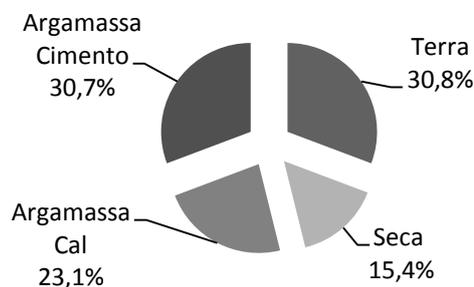


Figura 3.93 – Tipo de junta de assentamento na face interior da alvenaria de pedra de granito

Paralelamente procedeu-se à análise do material de enchimento, utilizado nas juntas de assentamento na parte exterior das paredes dos pisos de habitação, no sentido de verificar se existiu alguma preocupação em que estas juntas fossem fechadas com algum material. Nas Figura 3.94 e 3.95 podem observar-se os resultados obtidos para os edifícios com utilização do Tipo I (habitação com abrigo de animais no rés-do-chão), III (habitação com armazém no rés-do-chão) e V (habitação), na zona de habitação.

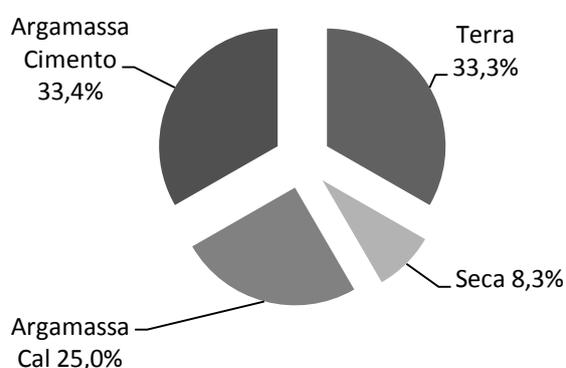


Figura 3.94 – Tipo de juntas de assentamento na face interior das paredes exteriores, na zona de habitação dos edifícios do Tipo I, III e V

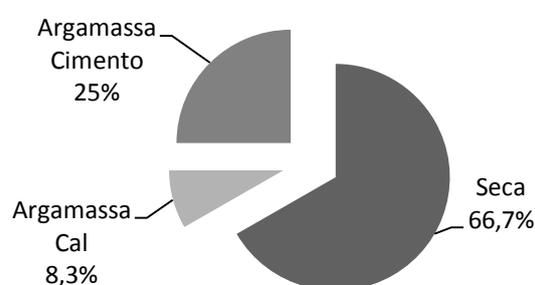


Figura 3.95 – Tipo de juntas de assentamento na face exterior das paredes exteriores, na zona de habitação dos edifícios do Tipo I, III e V

Estes resultados mostram que, no caso dos edifícios em que alguns espaços são destinados à habitação, houve preocupação em preencher a junta da face interior das paredes exteriores em 66,7% dos edifícios, permanecendo apenas 8,3% ainda com junta seca, tal como se verificou nos edifícios construídos em xisto. Apenas 33,3% das faces exteriores das paredes possuem juntas preenchidas com argamassa. A predominância de

juntas preenchidas com argamassa pela face interior das paredes pode estar relacionada com a intenção de melhorar o conforto interior do edifício, reduzindo as infiltrações.

Ainda em relação às paredes destes edifícios foi possível apurar se estas possuem uma elevada espessura, estando esta compreendida no intervalo entre os 0,50 e os 0,90 m, Figura 3.96. As espessuras mais frequentes, 70,6%, encontram-se no intervalo entre os 0,60 e os 0,70 m e no intervalo entre os 0,80 e os 0,90 m. Também se verificou que as paredes exteriores possuem uma espessura média de 0,74 m, com um desvio padrão de 0,09 m e um coeficiente de variação de 12%.

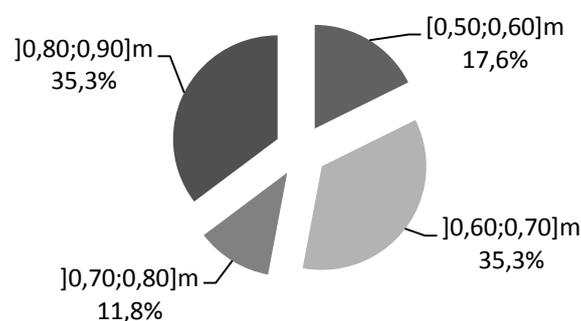


Figura 3.96 – Espessura das paredes exteriores dos edifícios de pedra de granito

Em comparação com as paredes exteriores que caracterizam os edifícios de xisto estudados surge um novo intervalo de variação de espessuras que corresponde a um intervalo superior, ou seja entre os 0,80 e os 0,90 m e que é identificado em 35,3% dos edifícios. Como já foi referido anteriormente, trata-se de paredes resistentes que contribuem de forma decisiva para a estabilidade do edifício. Paralelamente a sua elevada inércia e capacidade de armazenamento de calor contribui para a manutenção do calor no interior do edifício no inverno e para o atraso na devolução de calor ao interior do edifício no verão. Combinada esta característica com o elevado grau de ventilação natural resultante do uso de coberturas ventiladas poderá contribuir para melhorar o conforto no interior.

3.4.2.3. Sistemas Construtivos dos Pavimentos

Em relação à estrutura do pavimento esta é, na sua grande maioria, construída em madeira, Figura 3.97, correspondendo a 73,2% dos casos. Os restantes edifícios apresentam estrutura de betão, Figura 3.98, em 26,8% dos casos. Face às percentagens

avaliadas, conclui-se que a última solução é pontual, e resulta de edifícios que já foram submetidos a alterações e reparações a nível da estrutura do primeiro andar. Estes resultados são semelhantes aos obtidos para os edifícios de xisto.



Figura 3.97 – Estrutura do pavimento de um edifício de granito em madeira



Figura 3.98 – Estrutura do pavimento de um edifício de granito em blocos de betão

O revestimento do pavimento no rés-do-chão e no primeiro andar diferem, sendo que, no rés-do-chão o pavimento é, na sua grande maioria, em terra batida, 75%, ou em enrocamento de pedra, 18,8%, existindo uma percentagem residual em betonilha, 6,2%, Figura 3.99. Ao nível do primeiro andar, constata-se que a madeira é usada, preferencialmente, como material de revestimento de pavimento visível, em 84,6% dos casos. Também se encontraram alguns edifícios em que o pavimento é revestido com ladrilhos cerâmicos, 15,4%, Figura 3.100.

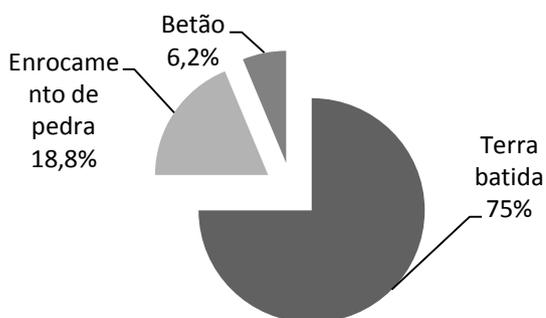


Figura 3.99 – Tipo de revestimento do pavimento do rés-do-chão

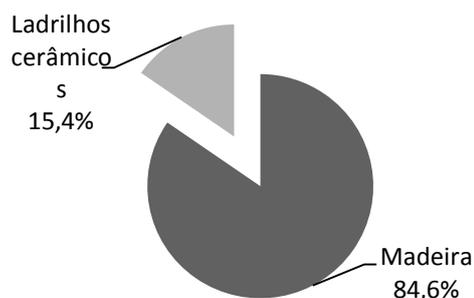


Figura 3.100 – Tipo de revestimento do pavimento do primeiro andar

3.4.2.4. Sistemas Construtivos da Cobertura

Em relação à cobertura, verificou-se que a solução construtiva mais frequente corresponde a coberturas inclinadas, sem laje de esteira horizontal, 62,5%, com

estrutura em madeira, Figura 3.101. À semelhança do verificado para os edifícios de xisto, o recurso a estrutura de madeira em coberturas inclinadas origina coberturas ventiladas.



Figura 3.101 – Vista interior de um edifício de pedra de granito com estrutura da cobertura de madeira

Através da Figura 3.102, é possível verificar que as coberturas mais comuns são de duas e três águas, com uma distribuição de 43,8% e de 31,2%, respetivamente. Em 25,0% dos casos encontraram-se coberturas com quatro águas.

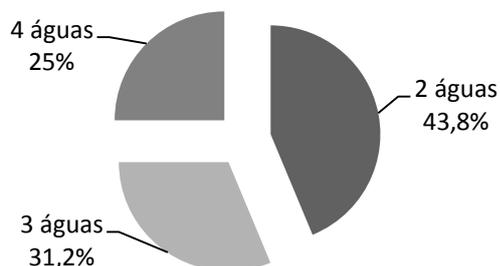


Figura 3.102 – Número de águas da cobertura dos edifícios de pedra de granito

Nas Figuras 3.103, 3.104, 3.105, pode observar-se um exemplo de cada tipo de cobertura, com número de águas distintas.



Figura 3.103 - Edifício de pedra de granito com cobertura de 2 águas



Figura 3.104 - Edifício de pedra de granito com cobertura de 3 águas



Figura 3.105 - Edifício de pedra de granito com cobertura de 4 águas

Relativamente ao tipo de revestimento exterior da cobertura dos edifícios de pedra de granito estudados, os dados recolhidos indicam que a totalidade dos edifícios apresenta como revestimento da cobertura a telha cerâmica. Como os edifícios de pedra de granito se localizavam em zonas em que a ardósia não era um elemento abundante, naturalmente os telhados não possuíam este elemento como material de revestimento, contrariamente ao verificado nos edifícios de xisto analisados.

3.4.2.5. Remates com Fachada

Relativamente aos remates com fachada, foi igualmente analisada a existência de: cunhais, padieiras, ombreiras, beirais e cornijas.

No que diz respeito ao material mais utilizado nos cunhais, nas padieiras e nas ombreiras dos edifícios analisadas, Figura 3.106 e 3.107, observou-se que o granito é o material utilizado em todos eles. Sendo este material abundante nos locais analisados, é utilizado com abundância nos elementos construtivos destes edifícios, dada a sua elevada resistência que o caracteriza e o facto de se poder obter facilmente em blocos de diversas dimensões.



Figura 3.106 – Edifício de pedra de granito com cunhais em granito



Figura 3.107 – Edifício de pedra de granito com ombreiras e padieira em granito

Capítulo 3 - Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal

Como se verificou em alguns dos edifícios de xisto analisados, o granito era utilizado nos contornos dos vãos e nos cunhais. Na Figura 3.108 está representada, com a seta de cor vermelha, a espessura medida nas ombreiras e padieiras.



Figura 3.108 – Identificação da espessura medida no elemento da ombreira e da padieira de um edifício de pedra de granito

As espessuras medidas nestes dois elementos estão compreendidas entre os 0,15 e os 0,40 m. O valor dominante encontra-se compreendido no intervalo entre 0,15 e os 0,25 m. O mesmo se verifica nos edifícios de xisto que possuem maioritariamente espessuras compreendidas entre 0,15 e 0,25 m.

Em relação aos beirais, este elemento está presente na maioria destes edifícios, 81,3%, como se pode ver na Figura 3.109. Este elemento, quando presente, é maioritariamente constituído pelo prolongamento da telha da cobertura, 68,8%, mas, também, existe em granito, 6,3 % e em madeira, 6,1%.

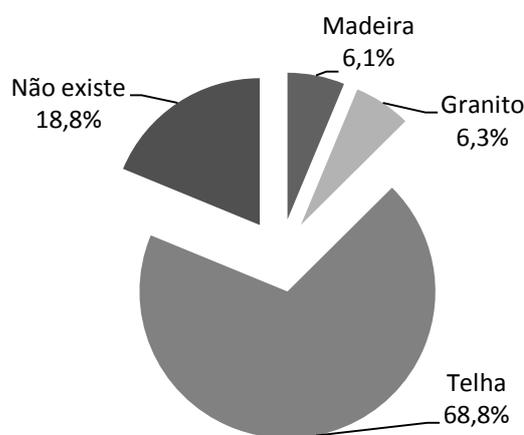


Figura 3.109 – Material utilizado nos beirais dos edifícios de pedra de granito

Na Figura 3.110 apresentam-se três figuras de edifícios com beirais construídos com os três materiais diferentes encontrados.

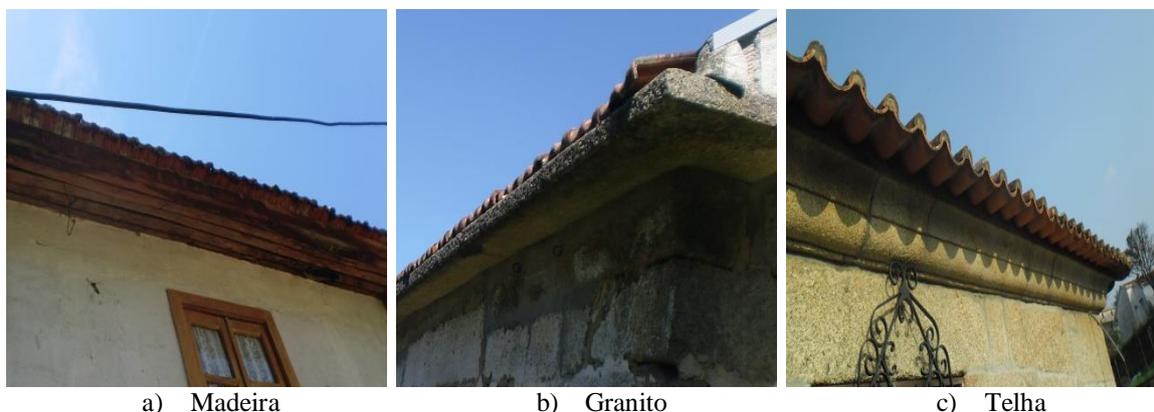


Figura 3.110 – Material utilizado nos beirais dos edifícios de pedra de granito

Nos 13 edifícios em que houve possibilidade de medir a dimensão desse elemento construtivo, constatou-se que esta largura varia entre os 0,30 e 0,40 m, em 76,8% dos casos, o que demonstra, que nestes edifícios, tal como nos de xisto, há uma preocupação em proteger a fachada das escorrências das águas da chuva vindas do telhado. Comparativamente, os edifícios de xisto possuem beirais com espessuras menores, que como se viu anteriormente variam entre 0,10 e 0,35 m sendo a maior predominância no intervalo de 0,25 a 0,35 m.

Em grande parte dos edifícios analisados não existe cornija, 76,5%, sendo os restantes, 23,5%, correspondentes a cornijas em granito, Figura 3.111.

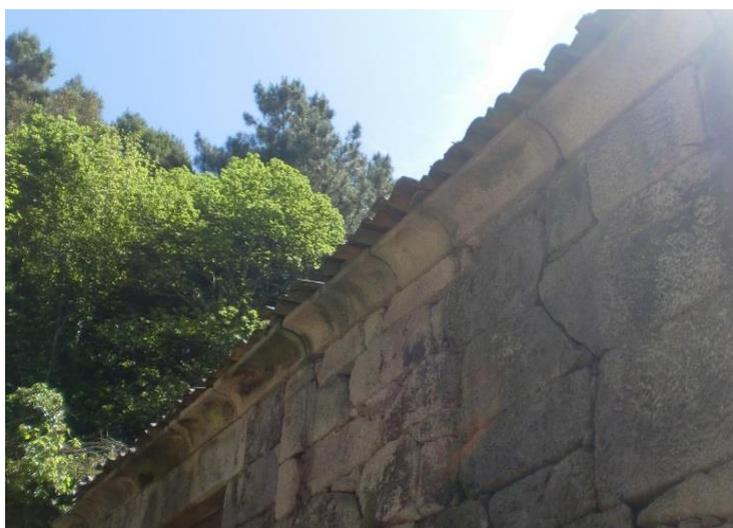


Figura 3.111 - Edifício de pedra de granito com cornija em granito

3.4.2.6. Vãos de Janelas e Portas

Relativamente à orientação das janelas, e considerando as 41 aberturas de vão identificadas, apresenta-se nas Figuras 3.108 e 3.109, a orientação e área, respetivamente.

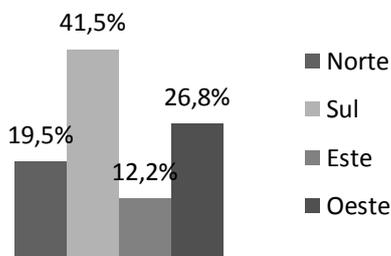


Figura 3.112 – Distribuição do número de janelas por orientação

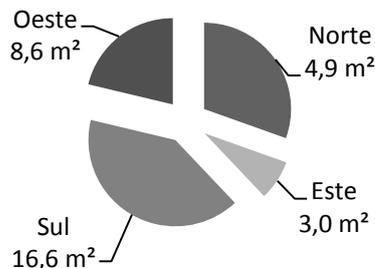


Figura 3.113 - Áreas dos 41 vãos de janelas por orientação (m²)

Através da análise da Figura 3.112 sobressai que a maioria dos edifícios estudados, 41,5%, apresenta as janelas orientadas preferencialmente a sul permitindo obter ganhos solares no inverno, que contribuem para a melhoria do conforto dos espaços interiores dos edifícios. As orientações com menor área de aberturas são a norte e este, com uma distribuição de 19,5% e 12,3%, respetivamente. A Sul foram medidos 16,6 m² de aberturas, 8,6 m² a oeste, 4,9 m² a norte e 3,0 m² a este. Estes valores demonstram que os vãos apresentam as orientações preferenciais que podem contribuir para a melhoria do conforto interior.

Estes vãos têm uma área média de 0,81 m², com um desvio padrão de 0,30 e um coeficiente de variação de 37,3%. Em relação à orientação das portas (34 aberturas de vão), verificou-se que a orientação e a área das aberturas de vão de porta se distribuem de acordo com a informação disponibilizada na Figura 3.114 e 3.115, respetivamente.

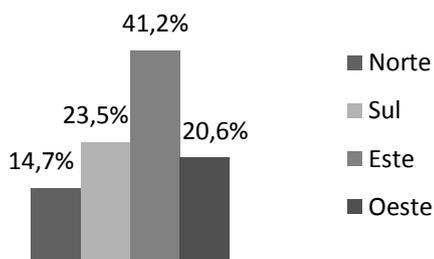


Figura 3.114 - Distribuição do número de portas por orientação

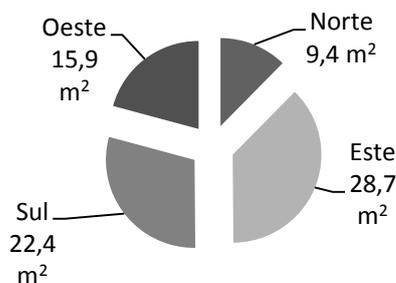


Figura 3.115 - Áreas dos 34 vãos de portas por orientação (m²)

Capítulo 3 - Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal

No que diz respeito às portas, verificou-se que estas estão preferencialmente orientadas a este, 41,2%, perfazendo uma área total de 28,7 m². A orientação destas aberturas não apresenta a mesma relevância, dado que são opacas e a sua dimensão depende do fim a que se destina o edifício.

Cerca de 29,5% das janelas analisadas já não possuíam vidros. Nas janelas em que ainda foi possível observar a presença de vidros verificou-se que estes simples, e que a caixilharia era em madeira, 64,7%, ou em ferro, 5,9%. A proteção dos envidraçados é inexistente em 68,8% dos edifícios analisados mas, quando existente apresenta-se sob forma de portada, 25%, ou de cortinados, 6,2%. As portas apresentam caixilharia e corpo de madeira em 80% dos edifícios e os restantes 20% apresentam caixilharia e corpo em PVC.

Nas Figuras 3.116 e 3.117 pode-se visualizar exemplos de edifícios com portas e com janelas de diferentes tipos de material de caixilharia ou corpo.



a) Madeira



b) Ferro

Figura 3.116 – Janelas de edifícios de pedra de granito com caixilharia de diferentes materiais



a) Madeira



b) PVC

Figura 3.117 – Portas de edifícios de pedra de granito com portas de diferentes materiais

3.4.2.7. Elementos Externos

A existência de escadas, alpendres/varandas e chaminés é pouco representativa nos edifícios analisados. No entanto, existem alguns edifícios em que se visualizaram estes elementos exteriores.

Relativamente à presença de escadas exteriores observou-se que em 70,6% dos edifícios analisados este elemento está presente, Figura 3.118. Este elemento pode ser em granito, 58,8%, ou em betão, 5,9%. As varandas, Figura 3.119, estão presentes em 31,3% dos edifícios estudados, sendo de madeira em 18,8% e de betão em 12,5%. A orientação das varandas, dos cinco edifícios de pedra de granito que possuíam este elemento, ficava para oeste (dois edifícios), este (dois edifícios) e sul (um edifício).



Figura 3.118 – Edifício de pedra de granito com escadas em granito



Figura 3.119 – Edifício de pedra de granito com varanda de madeira

No que se refere à existência de chaminé, verificou-se que este elemento, Figura 3.120, está presente em 31,25% dos edifícios estudados, sendo 80% em betão e 20 % em metal. As chaminés em betão foram integradas, em algumas coberturas, mais recentemente, uma vez que a existência de chaminés era escassa em coberturas antigas e estas não eram completamente estanques, permitindo a ventilação e a saída de fumos proveniente da lareira que era utilizada para cozinhar e para aquecer os espaços interiores.



Figura 3.120 – Edifício de pedra de granito com chaminé de metal

No que se refere aos elementos de sombreamento natural contrariamente ao verificado nos edifícios de xisto o recurso a vegetação como elemento de sombreamento em nenhum dos edifícios de pedra de granito observados.

3.4.2.8. Análise Comparativa

À semelhança do que foi feito para os edifícios de xisto, neste ponto será apresentada uma análise comparativa entre os resultados obtidos neste trabalho de investigação com os obtidos noutros trabalhos de investigação sobre edifícios de pedra de granito, localizados noutras regiões. Os edifícios que foram aqui analisados, pertencentes aos concelhos de Mondim de Basto e de Ribeira de Pena, serão comparados com os edifícios localizados nos concelhos de Vila Real, Peso da Régua, Arcos de Valdevez e Terras de Bouro. Esta análise permitirá obter uma caracterização de elementos construtivos localizados na região Norte, em cinco NUTS III. Os concelhos de Vila Real e do Peso da Régua pertencem à NUTS III Douro, o concelho de Mondim de Basto localiza-se na NUTS III Ave, o concelho de Ribeira de Pena na NUTS III Alto Trás-os-Montes, o concelho de Arcos de Valdevez na NUTS III Minho-Lima e o concelho de Terras de Bouro na NUTS III Cávado. Na Tabela 3.6 apresenta-se a classificação destes municípios segundo a NUTS III [13], bem como a zona climática de inverno e verão a que pertencem.

Tabela 3.6 – Classificação dos municípios segundo as NUTS III e respetivas zonas climáticas

Municípios	NUT III	Zona climática de Inverno	Zona climática de Verão
Mondim de Basto	Ave	I2	V2
Ribeira de Pena	Alto Trás-os-Montes	I2	V3
Peso da Régua	Douro	I1	V3
Vila Real	Douro	I2	V3
Arcos de Valdevez	Minho - Lima	I2	V2
Terras de Bouro	Cávado	I2	V2

Os edifícios analisados situam-se nas zonas climáticas de inverno I1 e I2 e de verão V2 e V3. De acordo com a, Figura 2.7, acrescentam-se os dados relativos à distribuição de temperatura média do ar para as regiões que surgem na análise dos edifícios de granito. O distrito de Vila Real a que pertencem os municípios de Mondim de Basto, Ribeira de Pena e Peso da Régua, tem uma temperatura máxima, durante a estação de verão, de cerca de 30°C e uma mínima de 0°C. O distrito do Braga, a que pertencem os

Capítulo 3 - Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal

municípios de Arcos de Valdevez e de Terras de Bouro apresentam uma temperatura máxima anual de cerca de 30°C e uma mínima de 5° C. Logo os verões e os invernos dos concelhos localizados no distrito de Vila Real são mais rigorosos que os localizados no distrito de Braga que possui menor amplitude de temperaturas anuais. Importa verificar se esta diferença nas condições climáticas influencia as soluções adotadas nos edifícios de granito aqui considerados.

Na Tabela 3.7 é apresentada uma análise comparativa que sintetiza a informação recolhida no presente trabalho de investigação e em outros já realizados anteriormente por Fernandes, et al [46], e por Gomes, et al [48]. Os resultados referentes a algumas das características analisadas neste trabalho de investigação não serão compradas com os obtidos neste trabalho uma vez que foram consideradas características diferentes nas fichas de levantamento utilizadas.

Tabela 3.7 – Comparação entre soluções construtivas e arquitetónicas dos edifícios analisados nas NUTS III do Ave (concelhos de Mondim de Basto), Douro (concelhos de Peso da Régua e Vila Real), Minho-Lima (Arcos de Valdevez), Cávado (concelho de Terras de Bouro) e Alto Trás-os-Montes (concelho de Ribeira de Pena)

Soluções construtivas e arquitetónicas	NUTS III				
	Ave	Alto Trás-os-Montes	Douro	Minho – Lima	Cávado
A maioria dos edifícios analisados está no seu estado original	✓	✓	✓		
A maioria dos edifícios analisados já foi sujeita a reabilitação				✓	✓
Edifícios utilizados maioritariamente para habitação			✓	✓	✓
Edifícios utilizados maioritariamente para habitação com abrigo de animais ou com armazém		✓			
Edifícios utilizados maioritariamente para habitação com armazém	✓				
Edifícios encontram-se maioritariamente isolados no que se refere ao agrupamento	✓			✓	✓
Edifícios maioritariamente com dois andares	✓	✓	✓	✓	✓
Edifícios maioritariamente com paredes de alvenaria sem aparelhamento			✓	✓	✓
Edifícios maioritariamente com paredes de alvenaria aparelhada	✓	✓			

Capítulo 3 - Caracterização de Edifícios em Xisto e Granito no Norte de Portugal

Soluções construtivas e arquitetónicas	NUTS III				
	Ave	Alto Trás-os-Montes	Douro	Minho – Lima	Cávado
As espessuras das paredes maioritariamente variam entre os 0,60 e os 0,90 m	✓	✓			
As espessuras das paredes maioritariamente variam entre os 0,50 e os 0,70 m			✓	✓	✓
Junta de assentamento das paredes exteriores seca	✓	✓			
Cobertura inclinada	✓	✓	✓	✓	✓
Cobertura maioritariamente com quatro águas	✓			✓	
Cobertura maioritariamente com duas águas		✓	✓		✓
Revestimento da cobertura em telha cerâmica	✓	✓	✓	✓	✓
Beiral construído em madeira					✓
Beiral construído em telha	✓	✓		✓	
Orientação preferencial dos vãos das janelas para Sul	✓			✓	✓
Orientação preferencial dos vãos das janelas para Norte		✓			
Orientação preferencial dos vãos das janelas para Este			✓		
Janelas com vidro simples e caixilharia em madeira	✓	✓	✓	✓	✓
Proteção solar dos envidraçados por portadas					✓
Portas opacas com caixilharia em madeira	✓	✓		✓	✓
Abundância de varandas/alpendres representando pelo menos 50% dos edifícios analisados				✓	
Mais de 50% dos edifícios não possuem chaminé	✓	✓			
Mais de 50% dos edifícios possuem escadas exteriores em granito ou em betão	✓				✓

Através desta análise constatou-se que os edifícios de pedra de granito, localizados em diferentes concelhos e zonas climáticas apresentam semelhanças e diferenças no que respeita às soluções construtivas adotadas.

Os edifícios localizados na NUT III do Minho – Lima e do Cávado já foram sujeitos a reabilitação e os edifícios localizados na NUT III Alto Trás-os-Montes, Ave e Douro encontram-se, na sua maioria, no estado original. O fato de alguns edifícios serem reabilitados não significa que estas possuem soluções construtivas diferentes, pois a maioria destes edifícios preserva muitas soluções construtivas e arquitetónicas originais.

Relativamente ao uso dos edifícios de pedra de granito nestas regiões, verifica-se que os edifícios localizados na NUT III Douro, 78%, Minho – Lima, 83,3%, e Cávado, 84,6%, são utilizados maioritariamente para habitação. Os edifícios localizados na NUT III do Alto Trás-os-Montes, 50%, são utilizados maioritariamente para habitação com abrigo de animais ou com armazém, e os edifícios localizados na NUT III do Ave, 71,4%, são utilizados na sua maioria para habitação com armazém. Os diferentes usos são reflexo das necessidades dos habitantes dos edifícios, ou seja, como os edifícios localizados nas NUTS III Ave e Alto Trás-os-Montes se encontram em centros rurais, perto de campos agrícolas, os seus habitantes acabam por usar os edifícios não só para habitação, como, também, para guardar as suas ferramentas de trabalho, as suas produções agrícolas e para o abrigo dos seus animais.

Os edifícios de pedra de granito analisados são na maioria de dois andares, e no que se refere ao seu agrupamento verifica-se que nas NUTS III Ave, 57,1%, Minho – Lima, 100%, e Cávado, 84,6%, estes estão isolados. Na zona do Alto Trás-os-Montes, a maioria dos edifícios, 50%, encontram-se em banda.

Relativamente às soluções construtivas adotadas nas paredes exteriores, verifica-se que os edifícios localizados no Douro, Minho – Lima e Cávado apresentam paredes de alvenaria de pedra sem aparelhamento, com juntas preenchidas com argamassa de cimento e com espessuras compreendidas entre os 0,50 e os 0,70 m. Os edifícios localizados no Ave e no Alto Trás-os-Montes têm, maioritariamente, paredes de alvenaria de pedra aparelhada, com espessuras compreendidas entre os 0,60 e os 0,80 m e com junta seca.

Em relação às soluções construtivas usadas na cobertura dos edifícios tradicionais de pedra de granito analisados em todos estes concelhos, é possível verificar que estes têm uma cobertura inclinada revestida com telha cerâmica. Na NUTS III do Ave, 42,9%, e

do Minho – Lima, 100%, as coberturas apresentam quatro águas e no Cávado, no Alto Trás-os-Montes, 55,6%, e no Douro, 51,9%, duas águas.

No que respeita aos beirais, na NUTS III Ave, no Alto Trás-os-Montes, e no Minho – Lima estes resultam do prolongamento da telha cerâmica que reveste a cobertura em 66,7%, 71,4%, 75%, respetivamente. Os edifícios localizados no Cávado, 69,2%, têm maioritariamente beirais de madeira. As coberturas inclinadas e os beirais permitem a proteção das paredes exteriores da escorrência de águas pluviais, sendo que, como foi referido anteriormente, o clima da região Norte de Portugal é caracterizado por ter um inverno chuvoso.

Relativamente aos vãos de janela, verifica-se que os edifícios analisados, localizados em diferentes concelhos e zonas climáticas, têm orientações preferenciais diferentes. No Ave, 72,2%, Minho – Lima, 34%, e Cávado, 43%, os vãos de janela estão orientados preferencialmente a sul. No Alto Trás-os-Montes os vãos estão orientados preferencialmente a norte, 34,8%, e no Douro, 47,5%, estão orientados para este. A orientação preferencial a norte dos vãos de janela dos edifícios localizados na NUT III Alto Trás-os-Montes vai contra os princípios bioclimáticos, uma vez que a norte os ganhos energéticos serão mínimos tanto no verão como no inverno. Esta orientação deve ao facto destes edifícios estarem localizados numa encosta orientada a norte. Neste caso, a topografia do terreno limitou a orientação dos vãos envidraçados contribuindo para o não aproveitamento das diferentes orientações. Verificou-se, também, que estes edifícios se encontram, maioritariamente, em banda, tendo como separação as fachadas este/oeste sendo estas as fachadas mais problemáticas esta união irá permitir na estação aquecimento uma menor exposição ao sol das fachadas este/oeste e ao vento predominante de este/oeste na estação de inverno. Estes edifícios encontram-se localizados num clima com verões muito quentes e invernos rigorosos.

A maioria dos envidraçados apresenta caixilharia em madeira e de vidro simples. A maioria dos edifícios localizados no Cávado, 68,2%, possuem proteção solar dos envidraçados através de portadas. Já a maioria dos edifícios localizados no Ave, 87,5%, Alto Trás-os-Montes, 50%, e Minho – Lima, 50%, não possuem nenhum dispositivo de proteção dos envidraçados, mas provavelmente teriam tido portadas que acabaram por

desaparecer com o passar dos anos. As portas são maioritariamente opacas, com caixilharia e corpo em madeira.

No que se refere aos elementos externos destes edifícios verifica-se que somente os edifícios localizados no Minho - Lima apresentam a existência de varandas/alpendres. Verificando-se que nos restantes edifícios, em mais de 50% dos casos, localizados nas NUTS III, a existência deste elemento não é representativa. A existência destes elementos nestes edifícios será uma vantagem dada a zona climática em que estes se localizam, uma vez que poderiam funcionar como um atenuante climático entre o clima interior e exterior do edifício, quer no inverno, quer no verão.

Os edifícios localizados no Ave e no Alto Trás-os-Montes não possuem, na sua maioria, chaminé. A existência de escada exterior em granito ou betão verifica-se, maioritariamente, nos edifícios localizados no Ave, 85,7%, e no Cávado, 69,2%.

Relativamente aos elementos de sombreamento natural não foi possível fazer qualquer tipo de análise comparativa uma vez que os trabalhos desenvolvidos anteriormente não consideravam este critério na análise.

3.5. Conclusões

As construções tradicionais em pedra de xisto e em pedra de granito apresentam diversificadas atividades funcionais e soluções construtivas. Estas podem ser utilizadas como habitação, armazém, habitação com armazém, armazém e abrigo de animais e habitação com abrigo de animais. Estes usos diversificados demonstram a elevada capacidade de adaptabilidade destes edifícios e a sua perenidade, tendo em conta que a maioria dos edifícios observados ainda continuam em uso, praticamente com o mesmo uso para que foram concebidos. O facto de estes edifícios estarem intimamente ligados à atividade agrícola e à criação de gado é fator determinante para o uso dos espaços.

A maioria dos edifícios tradicionais de pedra de xisto e de granito alvo de levantamento no presente trabalho de investigação possuem dois andares, sendo que, os de pedra de xisto se encontram, maioritariamente, isolados e os edifícios em pedra de granito encontram-se, maioritariamente, em banda. O tipo de agrupamento influencia as perdas térmicas do edifício, sendo que os edifícios em banda apresentam têm menores perdas de calor através da envolvente.

Pode, também, salientar-se a diversidade de aparelhamentos das paredes exteriores. Os edifícios de pedra de xisto analisados apresentam, na sua maioria, parede simples de alvenaria de pedra ordinária e com juntas de assentamento seca. Quando existente, o material de assentamento mais utilizado é o barro. Os edifícios de pedra de granito apresentam, na sua maioria, parede simples de alvenaria de pedra aparelhada e com junta de assentamento seca. A argamassa cal é o material de assentamento mais utilizado. O sistema construtivo adotado nas paredes de alvenaria de xisto e de granito destes edifícios tradicionais foi influenciado pela disponibilidade local de recursos materiais e pelos recursos económicos dos seus proprietários. O tamanho da pedra influencia o seu modo de colocação e o tipo de argamassa utilizada. Verificou-se que em todos os edifícios de pedra de xisto utilizados para habitação existiu uma necessidade do uso de um material de enchimento ou revestimento e isto deve-se ao facto de estas paredes serem constituídas por pedras irregulares, de pequena dimensão, conduzindo à existência de vazios entre si aquando do seu aparelhamento. As paredes de alvenaria de granito possuem pedras de maiores dimensões, com formas mais regulares, conduzindo à redução de espaços vazios entre si. O preenchimento destes vazios irá proteger o interior dos edifícios dos agentes climatéricos e diminuir as perdas de calor.

A análise da existência ou não de enchimento nas juntas de assentamento das pedras de xisto, com o tipo de utilização do edifício, leva a crer que as soluções construtivas adotadas estão relacionadas com a preocupação em criar condições de conforto no interior do edifício, nomeadamente através da redução de infiltrações através das paredes exteriores.

Uma das principais características dos edifícios de xisto e de granito é a sua forte inércia térmica decorrente da elevada espessura das paredes exteriores. A inércia térmica constitui um dos elementos chave das tecnologias passivas pois pode ser usada para reduzir as necessidades de aquecimento e de arrefecimento durante o dia e ao longo das diferentes estações do ano, de tal forma que permita o controlo das flutuações de temperatura. O recurso a elementos de massa elevada, como é o caso específico das paredes exteriores, contribui para a redução das oscilações de temperatura no interior do compartimento. Para além de estas contribuírem de forma decisiva para a estabilidade

do edifício, a sua elevada inércia permite também o armazenamento de calor e sua devolução gradual ao interior do edifício.

Os diferentes revestimentos de pavimentos, presentes num mesmo edifício com dois pisos, são reflexo dos diferentes usos atribuídos, sendo que o pavimento dos espaços para habitação é, habitualmente, revestido com soalho de madeira e o pavimento dos espaços para arrumos e abrigo de animais é em terra batida.

Nas coberturas dos edifícios tradicionais de pedra de xisto e de granito verificou-se que estas são, na sua maioria, inclinadas sem laje de esteira. Também se observou que as coberturas são constituídas, maioritariamente, por duas e quatro águas. Por sua vez, a estrutura da cobertura é em madeira e com um revestimento de telha cerâmica na sua totalidade no caso de edifícios de granito e em telha cerâmica ou ardósia na maioria dos edifícios de xisto.

O material mais usado nos cunhais, ombreiras e padieiras é o granito, no entanto no edifícios em xisto muitas vezes é utilizado o xisto, embora tendo menor resistência que o granito. Na sua maioria, os edifícios possuem beiras que podem ser em xisto, nos edifícios de pedra de xisto, ou em telha, nos edifícios de pedra de granito.

A orientação do edifício e conseqüentemente das superfícies opacas e envidraçadas é outro dos aspetos fundamentais para aumentar os ganhos e reduzir as perdas de calor. A captação de energia solar num país como Portugal, caracterizado por elevados valores de radiação solar, deve ser potenciada e otimizada em função da zona climática. As superfícies envidraçadas surgem como a solução mais comum de aproveitamento solar passivo de ganho direto mas que implica determinados cuidados. É de extrema importância conhecer os diferentes percursos do sol ao longo do dia e ao longo do ano no sentido de aproveitar da melhor forma os ganhos solares quando é necessário e de restringir a sua entrada no edifício quando não é desejável. Relativamente aos edifícios de xisto, verificou-se que, contrariamente ao que seria esperado, a maioria dos edifícios em xisto estudados apresenta os envidraçados orientados preferencialmente a oeste, devido ao relevo local e apresentam áreas reduzidas. As aberturas de vão de janela, dos edifícios de granito encontram-se, preferencialmente, orientadas a sul e no geral também apresentam áreas reduzidas, ainda que em média sejam ligeiramente superiores às verificadas no xisto. Relativamente à caixilharia das aberturas, na maioria das portas

e das janelas dos edifícios analisados em xisto e em granito, apresentam caixilharia e corpo de madeira. A proteção dos envidraçados, quando presente, é feita por portadas de madeira ou por cortinados. A reduzida dimensão dos vãos de janelas irá permitir ventilar o edifício e, ao mesmo tempo, impedir que ocorram elevadas perdas térmicas através da área envidraçada, bem como entrada excessiva de radiação solar no verão.

Elementos externos como varandas alpendres fazem parte integrante de alguns dos edifícios tradicionais de xisto analisados e podem contribuir para o equilíbrio térmico do ambiente interior do edifício. Estes elementos eram habitualmente orientados a Sul, o que permitia o aumento dos ganhos solares durante o inverno e a sua redução durante o verão decorrente do sombreamento criado. As varandas são elementos de transição entre o interior e o exterior do edifício, funcionando como atenuador de diferenças térmicas, espaço de lazer e, em alguns, casos como um compartimento de arrumos.

No que se refere à presença de elementos de sombreamento natural, esta não é muito representativa nos edifícios analisados, mas quando estão presentes, estes elementos são ramadas de videiras e heras. As videiras são plantas de folha caduca que se encontram nas fachadas orientadas a sul e que contribuem, principalmente no verão, para causar sombreamento no edifício. As heras são plantas de folha persistente que se encontram localizadas nas fachadas orientadas a norte, protegendo-a dos ventos dominantes e melhorando o seu isolamento. Também se verifica a existência de heras na fachada orientada a sul, que irá proporcionar no verão o arrefecimento dos espaços através de evapotranspiração. Este sistema de sombreamento, desde que corretamente selecionada e localizada pode durante o Verão, bloquear a radiação solar e reduzir a energia despendida para arrefecimento. Durante o Inverno, permite aumentar os ganhos solares e portanto diminuir as necessidades de aquecimento. As árvores de folha caduca são um exemplo do tipo de vegetação particularmente benéfica nesta situação. O sombreamento proporcionado pelas árvores permite a redução da luz difusa refletida pelo céu e por superfícies adjacentes, influenciando as trocas de calor entre o edifício e o meio envolvente.

Este sistema de sombreamento, desde que corretamente selecionada e localizada, pode durante o Verão, bloquear a radiação solar e reduzir a energia despendida para arrefecimento. Durante o Inverno, permite aumentar os ganhos solares e portanto diminuir as necessidades de aquecimento. As árvores de folha caduca são um exemplo

do tipo de vegetação particularmente benéfica nesta situação. O sombreamento proporcionado pelas árvores permite a redução da luz difusa refletida pelo céu e por superfícies adjacentes, influenciando as trocas de calor entre o edifício e o meio envolvente.

Considera-se que, através do levantamento de características construtivas e arquitetónicas de edifícios tradicionais de pedra de xisto e de pedra de granito, e da reunião desta informação com a obtida noutros trabalhos de investigação, se contribuiu para o aumento do conhecimento deste tipo de construções, com ênfase nas características capazes de influenciar o seu desempenho térmico.

Esta caracterização poderá posteriormente auxiliar na definição de soluções de reabilitação mais adequadas a este tipo de construções e incentivar a integração de algumas das soluções que caracterizam os edifícios tradicionais em edifícios novos.

4. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DE PAREDES EXTERIORES EM XISTO E GRANITO

4.1. Introdução

Neste capítulo pretende-se estimar o coeficiente de transmissão térmica (U) de paredes exteriores de edifícios construídos em pedra de xisto e de granito. O coeficiente de transmissão de térmica define as perdas de calor através de um elemento construtivo, por unidade de diferença de temperatura, entre o interior e o exterior, e por unidade de área. A determinação deste parâmetro térmico será efetuada recorrendo ao cálculo analítico e a trabalho experimental. As metodologias utilizadas na sua determinação serão também apresentadas. O cálculo do coeficiente de transmissão térmica será efetuado para todas as soluções construtivas das paredes exteriores dos edifícios estudados. Além do cálculo do U destas soluções construtivas, será também efetuada a análise do U de outras soluções construtivas, calculado por Lourenço, et al [47], Gomes, e tal [48] e Torre, et al [46], apresentadas em trabalhos de investigação realizados anteriormente. A junção dos resultados obtidos neste trabalho de investigação, com os obtidos noutros trabalhos antecessores, contribuirá para o aumento do conhecimento nesta área.

Para além do cálculo analítico, procedeu-se também à determinação do valor de U “in situ” para uma parede de alvenaria de pedra de xisto e uma parede de alvenaria de pedra de granito de edifícios localizados no concelho de Mondim de Basto.

Os valores obtidos para o parâmetro térmico U, por via analítica e por via experimental, foram, posteriormente, comparados com os valores tabelados em bibliografia na área, publicada pelo LNEC [13].

4.2. Metodologia

4.2.1. Analítica

A determinação do coeficiente de transmissão térmica pode ser efetuada analiticamente pela expressão (4.1) presente na norma EN ISO 6946 [51], cujos parâmetros que a integram são indicados de seguida:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_i + R_{se}} \quad (4.1)$$

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Sendo:

$U \rightarrow$ Coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$];

$R_{si} = \frac{1}{h_i} \rightarrow$ Resistência térmica superficial interior [$\text{m}^2\text{°C}/\text{W}$];

$R_{se} = \frac{1}{h_e} \rightarrow$ Resistência térmica superficial exterior [$\text{m}^2\text{°C}/\text{W}$];

h_i e $h_e \rightarrow$ Coeficientes de transferência de calor por convecção e radiação junto à superfície interior e exterior, respetivamente [$\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$];

$R_i \rightarrow$ Resistência térmica da camada i [$\text{m}^2 \text{°C}/\text{W}$];

$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i}$ em que:

$e_i \rightarrow$ Espessura do elemento i [m];

$\lambda_i \rightarrow$ Condutibilidade térmica do elemento i [$\text{W}/\text{m} \text{°C}$]

A expressão (4.1) foi aplicada para cada uma das soluções de paredes exteriores de xisto e de granito estudados, sendo os valores de R_{si} , R_{se} , λ_i , e R_i retirados de publicações do LNEC [78, 79].

4.2.2. Experimental

A metodologia experimental aplicada neste trabalho já foi utilizada com sucesso em outros trabalhos de investigação desenvolvidos por Pereira [52] e por Ribeiro [53]. Esta consiste na realização de ensaios “in situ” em elementos construtivos utilizando um sistema de medição de fluxo de calor e dois termo-higrómetros. Os equipamentos utilizados neste ensaio pertencem ao Laboratório de Física de Edifícios, do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD).

O sistema de medição de fluxo de calor é constituído por dois termofluxímetros, quatro sensores de temperatura superficial e um datalogger que regista os dados recolhidos pelos termofluxímetros e pelos sensores de temperatura superficial. Os dois termo-higrómetros foram utilizados para medir as condições climáticas dos ambientes interiores e exterior. Foram medidos os valores da temperatura do ar e da humidade relativa.

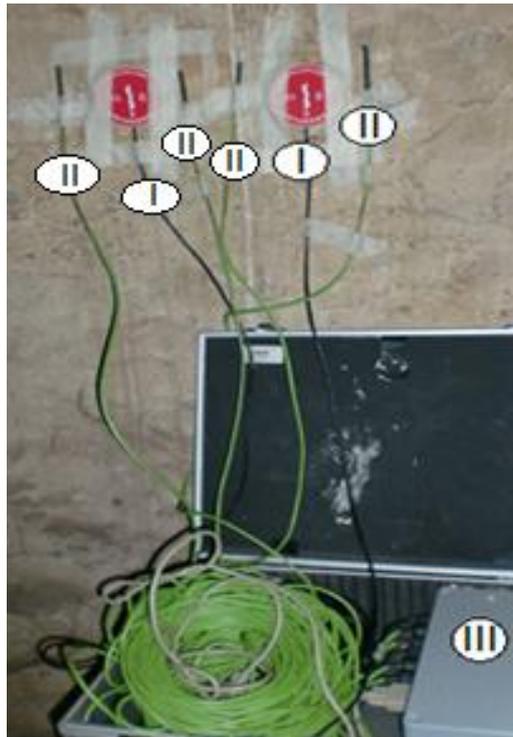


Figura 4.1 Sistema de medição de fluxo de calor

Legenda: I - Termofluxímetro, II – Sensores de temperatura superficial, III – Datalogger

O termofluxímetro (HF) é um aparelho que permite fazer a medição do fluxo de calor que se propaga através de um determinado elemento, quando sujeito a um diferencial de temperatura, o qual gera um sinal elétrico diretamente relacionado com o fluxo de calor. O termofluxímetro utilizado, Figura 4.1, é de gradiente transversal, que como o próprio nome indica, mede a diferença de temperatura num plano transversal ao plano de medição do fluxo de calor. Estes aparelhos são constituídos por placas finas de espessura reduzida, que são fixadas na superfície onde se pretende fazer a medição do fluxo de calor transferido [54]. Os sensores de temperatura superficial são transdutores de temperatura que transmitem um sinal elétrico em função da temperatura superficial do elemento construtivo.

Os termo-higrómetros, Figura 4.2, utilizados são os HI91610 da Hanna Instruments, que têm a capacidade de armazenar as medições em intervalos, selecionáveis, desde 1 a 180 minutos. No estudo efetuado, a configuração esteve programada para 10 minutos. Os dados da temperatura ambiente e humidade relativa foram obtidos por meio de sondas externas, ligadas ao medidor por fio condutor de cobre. Toda a informação processada e registada é posteriormente descarregada através do transmissor HI9200 para um

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

computador. A transmissão de dados entre o medidor e o transmissor faz-se por infravermelhos [55].

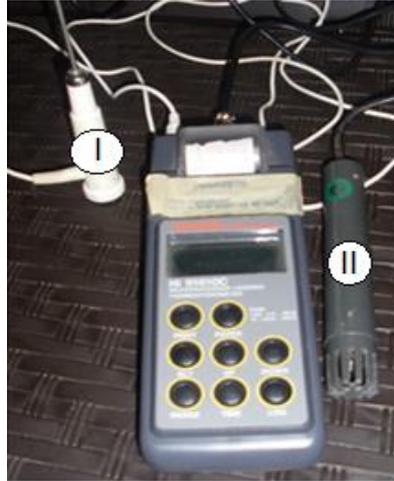


Figura 4.2 – Termo-higrómetro marca “Hanna instruments” modelo H191610C

Legenda: I – Sonda de temperatura ambiental; II – Sonda de humidade relativa

Os edifícios analisados são constituídos por paredes exteriores com inércia térmica forte. Assim, para a determinação do valor de U é necessário efectuar medições do fluxo de calor e de temperatura durante vários dias, de forma a garantir que a influência do armazenamento de calor no elemento estudado é anulada. Um período de medição de 14 dias é normalmente considerado apropriado para soluções construtivas com inércia média ou forte. Este foi, portanto, o período de ensaio considerado para a realização dos ensaios, dado que as paredes de xisto e de granito analisadas são, como já foi referido, caracterizadas por inércia elevada. Para efetuar a recolha dos dados foi necessário retirar os dados do termofluxímetro dos termo-higrómetros. O procedimento de recolha de dados passa por efetuar uma ligação física, através de um cabo entre o datalogger e o computador com programas específicos [52].

Segundo a norma internacional ISO 9869 [54], para a análise dos dados podem ser aplicados dois métodos, o método médio e o método dinâmico. Os dados obtidos nos ensaios através do termofluxímetro e dos termo-higrómetros são analisados pelo método médio. O método médio permite obter o valor do coeficiente de transmissão térmica, dividindo a densidade média da variação de fluxo térmico pela diferença de temperatura média ao longo do período de tempo de realização do ensaio considerado necessário para a obtenção de resultados.

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Tendo em conta o acima referido, e assumindo que o índice j indica o número da leitura num determinado instante, num total de n leituras registadas ao longo do ensaio, obtém-se uma estimativa do coeficiente de transmissão térmica, U , através da seguinte expressão:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (T_{i_j} - T_{e_j})} \quad (4.2)$$

Em que:

q_j – Fluxo de calor no instante j ;

T_{i_j} – Temperatura interior no instante j ;

T_{e_j} – Temperatura exterior no instante j .

Como o sistema de medição de fluxo de calor é constituído por dois termofluxímetros, é possível obter dois valores para o fluxo de calor, q_1 e q_2 , e como tal, dois valores do coeficiente de transmissão térmica, U_1 e U_2 . É, assim, necessário calcular o valor de, $U_{médio}$, que corresponde à média aritmética de U_1 e U_2 , através da aplicação da seguinte expressão:

$$U_{médio}(n) = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad (4.3)$$

A fórmula de cálculo do valor de $U_{médio}$ foi utilizada para o cálculo do U_{final} , através da média aritmética dos dois últimos valores de U_1 e U_2 . Os cálculos foram efetuados de acordo com o procedimento adotado por Pereira [52], recorrendo a uma folha de cálculo em Excel.

4.3. Análise dos Resultados

Neste ponto da secção serão apresentados os resultados obtidos relativos à determinação do coeficiente de transmissão térmica, por via analítica e por via experimental.

4.3.1. Análise dos Resultados Analíticos

Neste ponto é efetuada a caracterização térmica das soluções construtivas de paredes exteriores de todos os edifícios alvo de estudo no trabalho de campo através da determinação dos valores do coeficiente de transmissão térmica. Para isso foram usados os valores tabelados da condutibilidade térmica (λ), dos materiais constituintes das

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

paredes em estudo publicados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), nomeadamente no ITE 50 [56] e no ITE 18 [57], e que se indicam na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valor da condutibilidade térmica dos materiais utilizados na composição das paredes exteriores

Material	Condutibilidade térmica λ (W/m °C)
Xisto	2,2
Granito	2,8
Terra	1,05
Argamassa e rebocos tradicionais	1,3
Argamassa e rebocos de cal e areia	0,8

Os valores das resistências térmicas superficiais necessárias para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica das diferentes soluções de paredes exteriores foram retirados do ITE 50 [56]. Para elementos em que o sentido do fluxo de calor é horizontal, o valor da resistência superficial exterior (R_{se}) é de $0,04 \text{ m}^2\text{°C/W}$ e o valor da resistência superficial interior (R_{si}) é de $0,13 \text{ m}^2\text{°C/W}$.

4.3.1.1 Paredes de Xisto

Na Tabela 4.2 é apresentada uma descrição sumária e possível da constituição das paredes exteriores de pedra de xisto analisadas, bem como o valor do coeficiente de transmissão térmica obtido por via analítica. Para o cálculo do valor de U não foi contabilizado o efeito das juntas de assentamento, sempre que o material de assentamento existia numa quantidade reduzida relativamente aos blocos de pedra. Nas soluções construtivas de paredes em que a terra ou o barro eram utilizados como material de revestimento, bem como material de enchimento no interior da parede com elevada predominância, a sua existência foi considerada para a determinação do valor de U .

A título de exemplo, apresenta-se de seguida o cálculo do coeficiente de transmissão térmica de uma parede simples de xisto com 0,60 m de espessura, constante da Tabela 4.2.

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{\text{xisto}} + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,60}{2,2} + 0,04} = 2,26 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Tabela 4.2 – Resultados do cálculo analítico dos coeficientes de transmissão térmica de paredes exteriores de pedra de xisto

Constituição da parede exterior	Coeficiente de transmissão térmica da parede exterior, U (W/m ² °C)
Parede simples ordinária, de pedra de xisto assente em argamassa de cimento, revestida por argamassa de cimento na face exterior e por barro/terra na face interior, com 0,50 m de espessura	2,42
Parede simples ordinária de xisto assente em argamassa de cal, revestida a argamassa de cal pelo exterior, com 0,50 m de espessura	2,42
Parede simples ordinária, de pedra de xisto assente em barro/terra, com 0,55 m de espessura	2,38
Parede simples de pedra seca de xisto, com 0,60 m de espessura	2,26
Parede simples ordinária, de pedra de xisto assente em barro/terra, revestida com argamassa de cimento, com 0,60 m de espessura	2,23
Parede simples ordinária, de pedra de xisto assente em argamassa de cal, revestida por argamassa de cal, com 0,65 m de espessura	2,08
Parede simples ordinária, de pedra de xisto assente em barro/terra, revestida com barro/terra na face interior, com 0,70 m de espessura	2,03
Parede simples ordinária, de pedra de xisto assente em argamassa de cal, revestida por argamassa de cal, com 0,75 m de espessura	1,88
Parede simples de pedra seca de xisto, com 0,80 m de espessura	1,87
Parede simples ordinária, de pedra de xisto assente em barro/terra, revestida com argamassa de cimento, com 0,90 m	1,68

*Parede de xisto alvo de análise experimental mais à frente neste capítulo.

Da análise da Tabela 4.2 pode verificar-se que, como seria de esperar, um aumento da espessura da parede representa uma diminuição do valor do coeficiente de transmissão térmica, ou seja, provoca uma diminuição da transferência de calor através deste elemento construtivo. No caso de uma parede simples ordinária, de pedra de xisto assente com argamassa de cal, e revestida por argamassa de cal, se aumentar a espessura de 0,65 m para 0,75 m (0,10 m), o U diminui de 2,08 W/m²°C para 1,88 W/m²°C, apresentando uma variação de 0,20 W/m²°C.

O valor do coeficiente de transmissão térmica para as paredes exteriores analisadas varia entre 1,68W/m²°C e 2,42W/m²°C. Foi analisada uma parede por edifício, apresentando-se na Tabela 4.2 as diferentes soluções encontradas. Verificou-se que em

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

grande parte dos edifícios, as soluções construtivas das paredes exteriores eram semelhantes. Verificou-se que as paredes exteriores mais frequentes são parede simples ordinária, de pedra de xisto assente em barro/terra revestida com argamassa de cimento, com 0,60 m de espessura e a parede simples ordinária, de pedra de xisto assente em argamassa de cal, revestida por argamassa de cal, com 0,65 m de espessura, correspondendo a um valor de um de 2,23 e 2,08 respetivamente. O valor médio do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores observadas, sem isolamento, é de 2,16W/m²°C.

De forma a melhor conhecer o tipo de paredes de pedra de xisto existentes na região Norte e os respetivos coeficientes de transmissão térmica são apresentados na Tabela 4.3 os valores referentes a outras soluções de paredes de pedra de xisto identificados nos edifícios, analisados e calculados por Lourenço, et al [47]. Para além de soluções tradicionais de paredes exteriores de xisto, apresentam-se, ainda, algumas soluções com isolamento térmico, correspondentes a possíveis soluções de reabilitação térmica através da introdução de isolamento térmico e que permitem analisar a sua influência na diminuição do coeficiente U.

Tabela 4.3 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes exteriores de pedra de xisto calculados em Lourenço et al [47]

Constituição da parede exterior	Coeficiente de transmissão térmica da parede exterior, U (W/m ² °C)
Parede simples aparelhada de xisto assente com argamassa de cal, revestida a argamassa de cal pelo exterior e pontada, com 0,50 m de espessura	2,57
Parede simples aparelhada de xisto assente com barro/terra com 0,60 m de espessura	2,26
Parede simples aparelhada de xisto assente em argamassa de cal, revestida a argamassa de cal pelo exterior e pintada, com 0,65 m de espessura	2,15
Parede simples aparelhada de xisto assente em argamassa de cal, revestida a argamassa de cal pelo exterior e pintada, com 0,80 m de espessura	1,87
Parede simples aparelhada de xisto assente em barro/terra com 0,90 m de espessura	1,73
Parede simples aparelhada de xisto assente em argamassa de cal, revestida a argamassa de cal pelo exterior / interior e pintada, com 0,90 m de espessura	1,72
Parede simples aparelhada de xisto rebocada pelo interior com 0,90 m de espessura, dos quais 0,04 m de isolamento térmico (XPS)	0,60

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Constituição da parede exterior	Coeficiente de transmissão térmica da parede exterior, U (W/m ² °C)
Parede simples aparelhada de xisto revestida com pladur pelo interior com 0,90 m de espessura, dos quais 0,04 m de isolamento térmico (XPS)	0,59
Parede simples aparelhada de xisto assente em barro/terra rebocada e pintada pelo interior com 0,56 m de espessura, dos quais apenas 0,06 m de isolamento térmico (XPS)	0,49
Parede simples aparelhada de xisto assente em barro/terra rebocada e pintada pelo interior com 0,70 m de espessura, dos quais apenas 0,06 m de isolamento térmico (XPS)	0,48
Parede simples aparelhada de xisto assente em barro/terra rebocada e pintada pelo interior com 0,80 m de espessura, dos quais apenas 0,06 m de isolamento térmico (XPS)	0,47

A análise da Tabela 4.3 permite verificar que o valor de U das paredes exteriores tradicionais sem isolamento térmico, analisadas por Lourenço et al, varia entre 1,72W/m²°C e 2,57W/m²°C. A introdução do isolamento térmico em intervenções de reabilitação destes edifícios permitiu obter um decréscimo no valor U variável entre 0,47W/m²°C e 0,60W/m²°C. Comparando os valores obtidos nas Tabelas 4.2 e 4.3, verifica-se que não existe uma grande discrepância entre os valores dos coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores observadas nos diferentes concelhos da região Norte considerados para análise no Capítulo 3.

Verifica-se que, tanto nas soluções da Tabela 4.2 como na Tabela 4.3 o assentamento é feito maioritariamente com barro/terra e argamassa cal, pois, eram os materiais mais utilizados aquando da construção destes edifícios, dada a sua abundância local e as restrições económicas dos proprietários.

Depois de efetuado o cálculo analítico do valor do coeficiente de transmissão térmica das diferentes soluções, é possível comparar estes valores com os valores tabelados no ITE 54 [58], Tabela 4.4. Através da análise desta tabela e das Tabelas 4.2 e 4.3 verifica-se a existência de discrepância nos valores dos coeficientes de transmissão térmica calculados nas duas situações. Nos valores de U apresentados nas tabelas 4.2 e 4.3 não considerado o efeito do material de assentamento constituído maioritariamente por terra ou barro. Os valores apresentados no ITE 54 apresentados na Tabela 4.4 contabilizam todos os constituintes dos elementos construtivos, sendo o material terroso um deles.

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Tabela 4.4 - Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de alvenaria ordinária (xisto), adaptado de [58]

Tipo de elemento	Espessura da alvenaria [m]			
	0,3	0,6	0,9	1,2
U de parede de pedra de xisto [W/m ² °C]	2,2	1,6	1,3	1

Comparando os valores da Tabela 4.4 com os das Tabelas 4.2 e 4.3 verifica-se que o valor do coeficiente de transmissão térmica calculado para as soluções de paredes exteriores ordinárias analisadas é sempre superior ao tabelado no ITE 54 e pode atingir o diferencial de 0,7W/m²°C, em relação aos valores aí apresentados. Esta situação pode dever-se ao facto de nos valores calculados não ter sido contabilizado o material assentamento em terra/barro.

Por exemplo, a parede simples ordinária de pedra de xisto assente em barro/terra com 0,55m de espessura representada na Tabela 4.2, apresenta um U de 2,38 W/m²°C se não for considerado o material de assentamento, e um valor de 1,97 W/m²°C se for considerada a terra/barro, material de assentamento, como acontece no ITE 54. Pode assim concluir-se que se for considerado um material de assentamento, geralmente um material terroso ou argamassa cal, o diferencial entre o valor calculado analiticamente e o valor tabelado no ITE 54 é de 0,41 W/m²°C ou seja um desvio de 17% entre o valor calculado e o tabelado no ITE 54.

Na Tabela 4.5 apresenta-se o valor do coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de cantaria, de paredes simples de alvenaria aparelhada e de paredes simples de alvenaria de pedra seca, que são aplicáveis a paredes com ou sem revestimentos correntes, de acordo com o ITE 54 [58].

Tabela 4.5 - Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de cantaria, de paredes simples de alvenaria aparelhada e de paredes simples de alvenaria de pedra seca (xisto), adaptado de [58]

Tipo de elemento	Espessura da alvenaria [m]				
	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
U de parede de pedra de xisto [W/m ² °C]	3,4	2,6	2,1	1,8	1,5

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Comparando estes valores com os valores calculados para as paredes de alvenaria de xisto analisados, verifica-se que o valor do coeficiente de transmissão térmica, apresentados na Tabela 4.2, e os valores tabelados no ITE 54, variam na ordem de $0,2\text{W/m}^2\text{°C}$. Por exemplo, a parede simples de pedra seca de xisto, com 0,80 m de espessura representada na Tabela 4.2, apresenta um U de $1,87\text{W/m}^2\text{°C}$ se não for considerado o material de assentamento, e um valor de $1,8\text{ W/m}^2\text{°C}$ se for considerada a terra/barro, material de assentamento, como acontece no ITE 54. Pode assim concluir-se que se for considerado um material de assentamento, geralmente um material terroso ou argamassa cal, o diferencial entre o valor calculado analiticamente e o valor tabelado no ITE 54 é de $0,07\text{ W/m}^2\text{°C}$ ou seja um desvio de cerca de 4% entre o valor calculado e o tabelado no ITE 54. Com esta análise representativa da percentagem de influência do material de assentamento (barro/terra), verifica-se que esta é muito inferior nas paredes aparelhadas pois estas apresentam uma menor quantidade de material de enchimento, que provavelmente seria argamassa cal ou terra/barro.

4.3.1.2 Paredes de Granito

Em relação às soluções de paredes exteriores de pedra de granito analisadas no trabalho de levantamento, os resultados do cálculo analítico do valor do coeficiente de transmissão térmica são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Resultados do cálculo analítico dos coeficientes de transmissão térmica de paredes exteriores de pedra de granito

Constituição da parede exterior	Coeficiente de transmissão térmica da parede exterior, U ($\text{W/m}^2\text{°C}$)
Parede simples ordinária, de pedra de granito assente em argamassa de cal, revestida com argamassa cal, com 0,60 m de espessura	2,49
Parede simples ordinária, de pedra de granito assente em barro/terra, revestida com barro, com 0,63 m de espessura	2,46
Parede simples aparelhada, de pedra de granito assente em argamassa de cimento, com 0,70 m de espessura	2,38
Parede dupla ordinária, de pedra de granito assente em argamassa de cal, com enchimento de barro/terra e pedras de pequenas dimensões, revestida com argamassa cal, com 0,76 m de espessura	2,04
Parede dupla aparelhada, de pedra de granito assente em barro/terra, com 0,83 m de espessura	2,14
Parede simples aparelhada, de pedra de granito, com 0,85 m de espessura	2,11

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Constituição da parede exterior	Coeficiente de transmissão térmica da parede exterior, U (W/m ² °C)
Parede simples aparelhada, de pedra de granito assente em barro/terra, com 0,85 m de espessura	2,11
Parede dupla aparelhada, de pedra de granito assente em argamassa de cal, revestida com argamassa de cal, com 0,92 m de espessura	1,94
Parede dupla aparelhada, de pedra de granito assente em barro/terra, com 0,05 m de enchimento de terra/ pedras de reduzidas dimensões e com 0,8 m de espessura de pedra de granito	1,99

**Parede de granito alvo de análise experimental mais à frente neste capítulo.

Pela análise da Tabela 4.6 pode verificar-se que o valor do coeficiente de transmissão térmica para as paredes exteriores observadas varia entre 1,94W/m²°C e 2,49W/m²°C. O valor de U mais baixo é da mesma ordem de grandeza do U de uma parede de blocos de betão normal, com uma espessura de 0,30 m.

À semelhança do que foi efetuado para a pedra de xisto, foi analisada uma parede por edifício. Na Tabela 4.6 estão representadas as diferentes soluções encontradas, sendo que, em grande parte dos edifícios, as soluções eram semelhantes. Verificou-se que os valores de U mais frequentes são de 2,38W/m²°C, 2,11W/m²°C e 2,14W/m²°C. O valor médio do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores de pedra de granito estudadas, sem isolamento, é de 2,23W/m²°C.

À semelhança do que foi feito para as paredes de pedra de xisto, e seguindo os mesmos princípios, apresenta-se na Tabela 4.7 uma descrição das diferentes constituições de paredes exteriores de pedra de xisto analisadas em outros trabalhos de investigação realizados na UTAD por Gomes, et al [49] e por Torre, et al [47]. Nesta tabela, para além das situações tradicionais, apresenta-se uma solução de parede exterior com acréscimo de isolamento térmico. Os valores de U presentes na Tabela 4.7 foram calculados pelos autores dos trabalhos. A análise da Tabela 4.7 permite constatar que o valor de U das paredes exteriores tradicionais varia entre 2,24W/m²°C e 2,80W/m²°C. Com isolamento apenas foi identificada uma parede que apresenta o valor de U de 0,41W/m²°C.

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Tabela 4.7 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes exteriores de pedra de granito calculados por Torre et al e Gomes et al [46;48]

Constituição da parede exterior	Coeficiente de transmissão térmica da parede exterior, U (W/m ² °C)
Parede dupla ordinária de granito assente em argamassa de cimento, rebocada pelo interior, com 0,50 m de espessura	2,80
Parede simples aparelhada de granito assente em argamassa de cimento, rebocada pelo interior, com 0,50 m de espessura	2,77
Parede simples aparelhada de granito, com 0,50 m de espessura	2,73
Parede dupla ordinária de granito assente em argamassa de cimento, rebocada pelo interior, com 0,55 m de espessura	2,64
Parede simples aparelhada de granito assente em argamassa de cimento, rebocada pelo interior, com 0,60 m de espessura	2,55
Parede dupla ordinária de granito assente em argamassa de cimento, rebocada pelo interior, com 0,60 m de espessura	2,50
Parede dupla ordinária de granito assente em argamassa de cimento, com 0,65 m de espessura	2,48
Parede simples ordinária de granito, rebocada pelo interior e exterior com argamassa de cal, com 0,70 m de espessura	2,27
Parede simples ordinária de granito, rebocada pelo interior e exterior com argamassa de cal, com 0,60 m de espessura	2,24
Parede revestida pelo interior por gesso projetado, tijolo de 11, poliestireno, tijolo de 15, espuma de polietileno expandido extrudido, com 0,15 m de xisto pelo exterior	0,41

Comparando os valores obtidos nas Tabelas 4.6 e 4.7, verifica-se que não existe uma grande discrepância entre os valores dos coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores e entre as soluções construtivas observadas nos diferentes concelhos da região Norte.

Relativamente ao tipo de aparelhamento, verifica-se através da Tabela 4.6, que paredes de edifícios localizados em Mondim de Basto e Ribeira de Pena são predominantemente paredes de alvenaria de granito aparelhado e através da Tabela 4.7, que as paredes de edifícios localizados em Vila Real, Arcos de Valdevez e Terras de Bouro são predominantemente paredes de alvenaria de pedra de granito ordinário. Os edifícios possuem um assentamento maioritariamente em argamassa de cal e barro/terra, verificando-se a existência de argamassa de cimento em alguns deles. A argamassa em cimento é um material usado recentemente, tendo-se verificado a sua introdução nas juntas de assentamento de grande parte dos edifícios tradicionais de pedra.

Na Tabela 4.8 está apresentado o valor do coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de alvenaria de granito ordinária, com ou sem revestimento corrente, de acordo

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

com os valores tabelados no ITE 54. Tal como se verificou nas paredes de alvenaria de xisto, estes são um pouco distintos dos valores calculados para as soluções identificadas nos levantamentos e indicados nas Tabelas 4.6 e 4.7, para as paredes observadas, aquando dos levantamentos.

Tabela 4.8 - Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de alvenaria ordinária (granito), adaptado de [58]

Tipo de elemento	Espessura da alvenaria [m]			
	0,3	0,6	0,9	1,2
U de parede de pedra de granito [W/m ² °C]	2,4	1,8	1,4	1,2

Através da análise dos valores de U de cálculo e dos valores de U tabelados, conclui-se que estes podem diferir até um máximo de 1,21 W/m²°C dos valores tabelados no ITE 54, para a espessura de 0,30 m apresentada na Tabela 4.8. Isto mostra que o cálculo analítico do U, deste tipo de paredes ordinárias, e o que realmente acontece na realidade, pode chegar a representar um desvio de mais de 100%. A razão desta diferença pode dever-se ao facto de não se contabilizar a influência do material de assentamento (maioritariamente terra/barro) no cálculo analítico ou ao facto de não existir uma descrição da constituição das paredes analisadas no ITE 54, sendo apenas dito que são paredes simples de alvenaria ordinária de granito com ou sem revestimento corrente.

Na Tabela 4.9 apresenta-se o valor do coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de cantaria, de paredes simples de alvenaria aparelhada e de paredes simples de alvenaria de pedra seca para paredes com ou sem revestimento corrente definidos no ITE 54.

Tabela 4.9 - Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de cantaria, de paredes simples de alvenaria aparelhada e de paredes simples de alvenaria de pedra seca (granito), adaptado de [58]

Tipo de elemento	Espessura da alvenaria [m]				
	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
U parede de pedra de granito [W/m ² °C]	3,7	2,9	2,4	2,1	1,8

A comparação destes valores com os valores obtidos neste trabalho permite identificar

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

semelhanças nos valores do coeficiente de transmissão térmica. Por exemplo, uma parede simples aparelhada, de pedra de granito assente em barro/terra, com 0,85 m de espessura apresenta um U de $2,11\text{W/m}^2\text{°C}$ e um U de $2,03\text{W/m}^2\text{°C}$ se for retirado por interpolação dos valores tabelados no ITE 54. Supõe-se que o que está tabelado no ITE 54 é o valor real e se consideramos que na parede analisada analiticamente sem a contabilização do material de assentamento este mesmo material de assentamento (barro/ terra) tem uma influência no U real chega-se a uma aproximação da espessura que pode influenciar o valor de U analítico. Se for contabilizado 4% da espessura total da parede em terra (em camada) analiticamente o U é igual ao valor tabelado no ITE 54 ou seja de $2,03\text{W/m}^2\text{°C}$. Estes 4% foram calculados através de várias interações até chegar à conclusão que esta era a percentagem de terra que mais aproxima o valor de U de cálculo e o valor de U tabelado no ITE 54, para paredes de cantaria, aparelhadas ou de pedra seca.

Para além de comparar os valores de U calculados com os valores tabelados no ITE 54, achou-se importante compara-las com os valores de U de soluções construtivas de paredes exteriores correntemente utilizadas na construção. Esta análise permitirá perceber que tipo de soluções construtivas utilizando materiais correntes poderão aproximar-se dos valores obtidos para as paredes tradicionais de granito e de xisto. Esta informação poderá auxiliar em futuras intervenções de reabilitação energética destes edifícios.

Em Portugal, embora as alvenarias resistentes tenham tido uma expressão dominante no passado, na atualidade, a sua utilização é pouco significativa. Atualmente, o tijolo cerâmico e os blocos de betão são os materiais de construção de uso corrente. Na Tabela 4.10 é apresentado o valor do coeficiente de transmissão térmica de diferentes soluções de uma parede simples de fachada sem isolamento térmico e os valores de alvenaria ordinária de xisto e de granito de acordo com o ITE 50.

Tabela 4.10 - Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de fachada sem isolamento térmico adaptado de [56]

Tijolo furado	Blocos de betão normal	Pedra de xisto (alvenaria ordinária)	Pedra de granito (alvenaria ordinária)
Espessura da alvenaria (m)			
0,20 a 0,24	20 a 30	0,60	0,60
1,3	1,9	1,6	1,8

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Como se pode ver, pela comparação da Tabela 4.10 com os resultados apresentados nas tabelas anteriores, as paredes de pedra de xisto e de pedra de granito apresentam um valor de U máximo do obtido para os blocos de betão normal, o que mostra que as soluções construtivas utilizadas antigamente apresentam um coeficiente de transmissão térmica muito semelhante às atuais, sem isolamento térmico, apesar de apresentarem espessuras elevadas. Esta característica deve ser tida em conta nas soluções de reabilitação, nomeadamente aquando da melhoria do desempenho térmico da envolvente com a introdução de isolamento térmico. Numa situação destas a elevada capacidade de armazenamento das pedras de xisto e de granito pode ser uma vantagem relativamente aos materiais correntes (bloco de betão e tijolos por exemplo) quando se opta pela colocação de isolamento térmico pelo exterior e em que não se pretende deixar a pedra à vista.

O conhecimento do valor do coeficiente de transmissão térmica das soluções de paredes exteriores de alvenaria, pertencentes a edifícios tradicionais de xisto e de granito, permitirá portanto melhorar o comportamento térmico destes edifícios, adotando soluções de reabilitação térmica, adequadas à solução já existente. As soluções de reabilitação térmica também devem ter em atenção o estado de conservação e o comportamento global da parede, sendo que, em muitos dos casos, o isolamento térmico deste tipo de paredes não constitui uma prioridade. A reabilitação dos edifícios tradicionais baseada na manutenção das paredes exteriores de alvenaria de pedra representa uma diminuição de custos de construção e da poluição ambiental, para além de permitir potenciar o uso de paredes com elevada capacidade de armazenamento de calor, e inércia que as caracteriza.

De acordo com a regulamentação térmica em vigor, Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), as paredes exteriores de pedra de xisto e de granito dos edifícios tradicionais não cumprem os requisitos impostos para o coeficiente de transmissão térmica máximo admissível. De acordo com este regulamento os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis para elementos verticais opacos é de $1,75 \text{ W/m}^2\text{°C}$ na zona climática I1, $1,60 \text{ W/m}^2\text{°C}$ na zona climática I2 e de $1,45 \text{ W/m}^2\text{°C}$ na zona climática I3. Os edifícios tradicionais de pedra de granito, analisados nos concelhos de Mondim de Basto e de Ribeira de Pena, pertencem à zona climática de inverno I2, ou seja, têm um valor de U máximo

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

admissível de $1,60 \text{ W/m}^2\text{°C}$. O valor de U mais próximo de cumprir o regulamento, no caso das paredes de pedra de xisto, é de $1,87 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e no caso das paredes de pedra de granito é de $1,94 \text{ W/m}^2\text{°C}$. No entanto, tal como se referiu anteriormente, a introdução de isolamento térmico e o aproveitamento da inércia forte que caracteriza estas soluções pode contribuir para a melhoria do seu desempenho térmico.

4.3.2. Análise dos Resultados Experimentais

Nesta secção pretende-se apresentar os resultados obtidos relativamente á determinação do coeficiente de transmissão térmica “ in situ” de uma parede de granito e de uma parede de xisto. Estas paredes correspondem a dois edifícios analisados neste trabalho e cujos resultados foram apresentados no capítulo 3. Nesta secção será também efetuada a descrição de cada um destes edifícios.

4.3.2.1. Caso de Estudo 1 – Parede de Xisto

O edifício estudado construído em pedra de xisto localiza-se no lugar de Cavernelhe, freguesia do Bilhó, concelho de Mondim de Basto e pertence à zona climática do Ave, ou seja, I2, V2.

O edifício estudado, Figura 4.3, data de 1869, tem uma área de implantação de $125,66 \text{ m}^2$ e encontra-se no seu estado original. Foram efetuadas ao longo do tempo reparações para a melhoria do conforto da habitação, tais como, incremento de revestimento interior em argamassa de cimento em algumas paredes, reparação e alteração do revestimento da cobertura e alteração da estrutura da varanda. A habitação possui dois andares, o primeiro andar é usado para habitação, mas, atualmente, encontra-se desabitado, e o rés-do-chão é usado para abrigo de animais.



Figura 4.3 – Fachada orientada a oeste, edifício de pedra de xisto do caso de estudo 1

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

As paredes exteriores são em alvenaria ordinária com junta seca. Algumas das paredes encontram-se revestidas com argamassa de cal pelo interior e outras com argamassa de cimento. O pavimento do primeiro andar tem estrutura de madeira e revestimento de soalho de madeira, o rés-do-chão não possui revestimento, sendo em terra batida. A cobertura é inclinada, sem isolamento, com laje de esteira horizontal e estrutura em madeira. O revestimento da cobertura é em telha marselha e em ardósia, Figura 4.4. Os remates com fachada, tais como cunhais, ombreira, padieira e beiral são em granito. A habitação possui apenas quatro janelas orientadas a oeste, com caixilharia em madeira, vidro simples e portadas. A fachada a este encontra-se enterrada. Na fachada a sul (Figura 4.5) existe uma varanda, com $6,25\text{m}^2$ que, atualmente, é em betão, mas que, originalmente, tinha estrutura de madeira e possui, também, nessa orientação, uma ramada de videiras que provoca sombreamento na fachada a sul durante as estações de maior calor e que durante o inverno permite o aumento dos ganhos solares.



Figura 4.4 – Cobertura em lousa e em cerâmica, edifício de pedra de xisto do caso de estudo 1

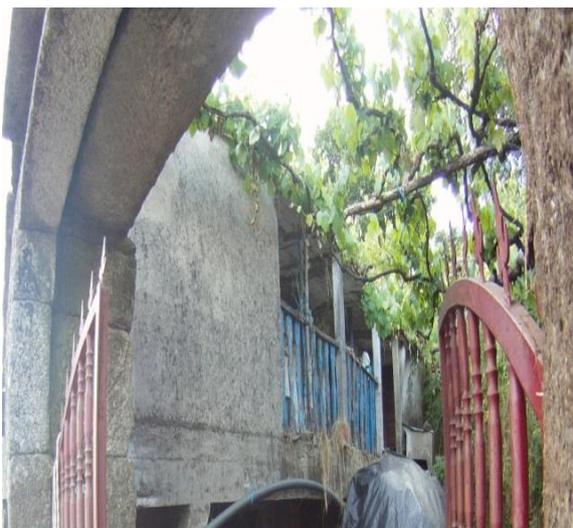


Figura 4.5 – Fachada orientada a Sul, edifício de pedra de xisto do caso de estudo 1

A solução construtiva de parede exterior é uma parede de alvenaria de xisto com 0,90 m de espessura e com reboco exterior em argamassa com 0,02 m, Figura 4.6. A parede está orientada a oeste.

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

- ① Xisto (0.9m)
- ② Reboco de argamassa tradicional (0.02m)

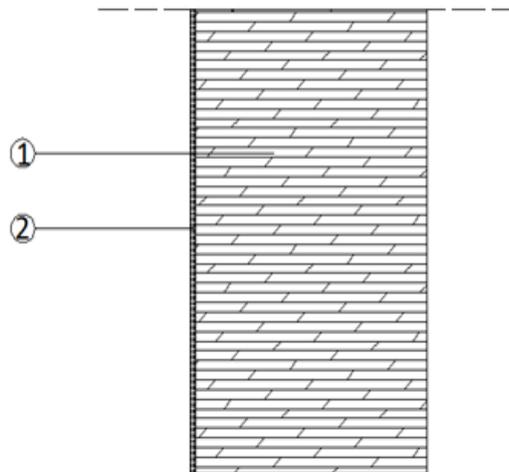


Figura 4.6 – Corte esquemático da parede exterior do edifício de pedra de xisto do caso de estudo 1

O termofluxímetro foi colocado num compartimento desabitado, Figura 4.7, pertencente ao primeiro andar do edifício. Foi utilizado um aquecedor a óleo para tentar manter a temperatura interior constante e superior à temperatura verificada no exterior. O compartimento possuía uma janela com caixilharia de madeira e vidro simples. A parede exterior analisada estava orientada a oeste.



Figura 4.7 – Aparelhos de medição de fluxo de calor utilizados no ensaio

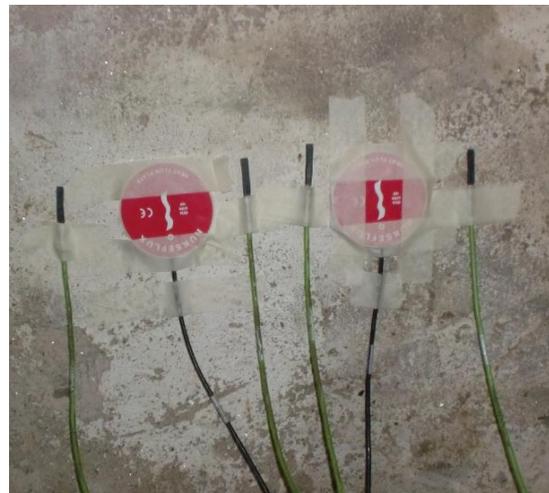


Figura 4.8 – Pormenor da fixação dos aparelhos de medição de fluxo de calor na face interior da parede

O termofluxímetro foi colocado numa parede exterior, o mais homogénea possível, Figura 4.8, em período de Primavera. Durante 21 dias, foram recolhidos dados do termofluxímetro e dos termo-higrómetros, em intervalos de 10 minutos.

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Este foi o segundo ensaio realizado nesta parede, pois, devido a problemas técnicos, não foi possível recolher os dados registados pelos termo-higrómetros, sendo, então necessária, a realização de um segundo ensaio. O primeiro ensaio tinha sido realizado no período de inverno, entre o dia 23 de Janeiro a 12 de Fevereiro. No segundo ensaio foram tomadas precauções adicionais para saber se os aparelhos estavam a registar e a armazenar os dados de forma correta, tendo sido retirados e guardados os dados recolhidos pelos termo-higrómetros a meio do período de ensaio.

O segundo ensaio apenas pôde ser realizado em Abril, dada a indisponibilidade do uso do aparelho para a realização deste ensaio antes deste período. No início do segundo ensaio realizado, dia 12 de Abril de 2014, pelas 15:50, a temperatura interior era de 23,7°C, a humidade relativa de 50,8% e a temperatura exterior de 21,6°C. O céu apresentava alguma nebulosidade, sem ocorrência de precipitação. No segundo dia, a temperatura interior aumentou, sendo de 26,2°C e a exterior de 18,2°C. Este aumento de temperatura deveu-se ao facto de, aquando da instalação dos aparelhos, o compartimento ainda não se encontrar aquecido, sendo que, depois com o auxílio de um aquecedor a óleo, o compartimento analisado esteve sempre aquecido. A sonda de temperatura exterior foi colocada numa varanda, orientada a oeste, protegida da incidência de chuva e de sol. A forte nebulosidade esteve presente, em grande parte do período de observação, representando cerca de 43% dos dias. A precipitação ocorreu em cerca de 15% dos dias.

Após o período de medição os resultados obtidos foram tratados através de folhas de cálculo permitindo a obtenção dos valores das temperaturas exteriores e interiores, dos fluxos de calor e coeficiente de transmissão térmica após aplicação da Equação 4.3 na Figura 4.9 pode verificar-se que a evolução das temperaturas interiores ao longo de todo o ensaio é reveladora de uma temperatura interior variável mas inferior á temperatura exterior como pretendido. Nota-se que não existe um atraso entre as temperaturas interiores e exteriores, verificando-se que se a temperatura exterior sobe, imediatamente a temperatura interior sobe e se a temperatura exterior desce, a temperatura interior também desce. Este facto pode dever-se à fraca estanquidade da porta e da janela, localizados no espaço onde se estava a realizar as medições, influenciando diretamente a temperatura interior do espaço, mesmo este possuindo um aquecedor para tentar manter a temperatura interior contante.

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

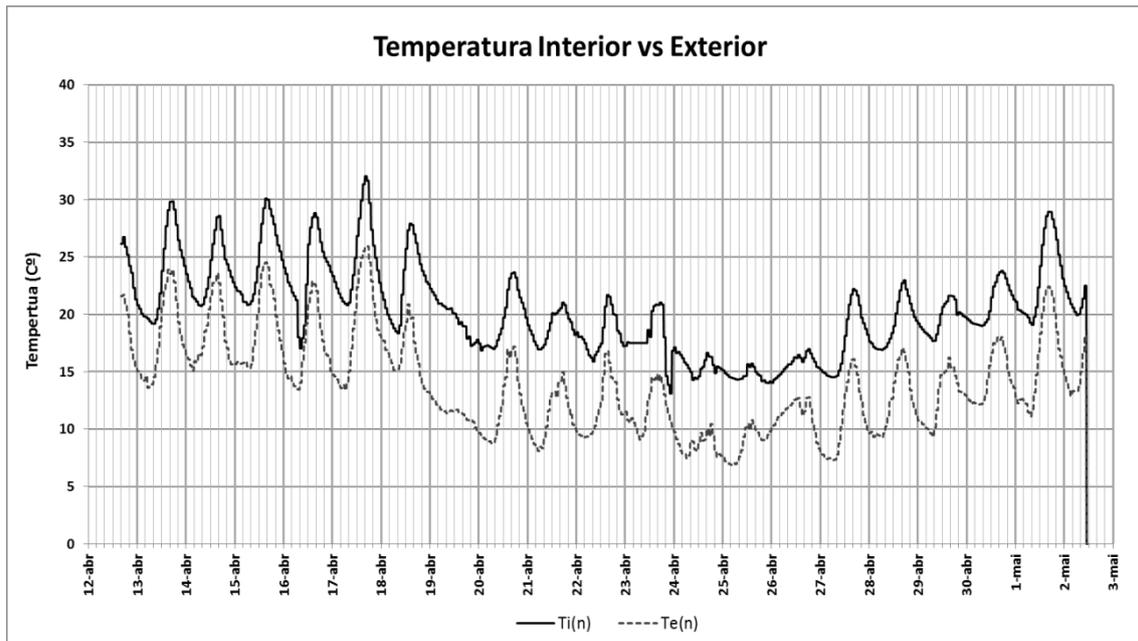


Figura 4.9 – Valores de temperatura interior e exterior no período de 12 de abril de 2014 a 2 de maio de 2014

Como referido, a temperatura exterior foi sempre inferior à temperatura interior, sendo que a temperatura interior mínima foi de 11,70°C e a máxima de 32,30°C. Relativamente à temperatura exterior verificou-se que a mínima foi de 6,80°C e a máxima de 26,80°C.

Relativamente ao fluxo de calor, Figura 4.10, verificou-se que os valores de HF1 ($q1(n)$) se situam no intervalo de -17,11 W/m² a 40,99 W/m² e os valores de HF2 ($q2(n)$) se situam no intervalo de -6,59 W/m² a 35,6 W/m². Os valores de fluxo de calor negativos ocorreram em praticamente todos os dias em algumas horas do dia. Quando as temperaturas interiores e exteriores diminuem ocorre uma diminuição do fluxo de calor ocorrendo então os maiores valores de fluxo negativo. Os valores dos fluxos de calor negativos deveriam representar uma inversão de fluxo de calor, ou seja significaria que a temperatura exterior passaria a ser superior à temperatura interior, o que não se verifica no gráfico, portanto outras variáveis influenciaram estes valores. Os fluxos negativos neste caso ocorreram quando as temperaturas interior e exterior se encontravam muito próximas, o que teoricamente se verifica errado pois quando os valores dos fluxos se aproximam ou se igualam, o fluxo deveria ser próximo de zero, só vindo a verificar-se esta situação um pouco mais tarde. Uma variável que pode ter influenciado é a incidência direta do sol na parede durante algumas horas do dia (durante a tarde).

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

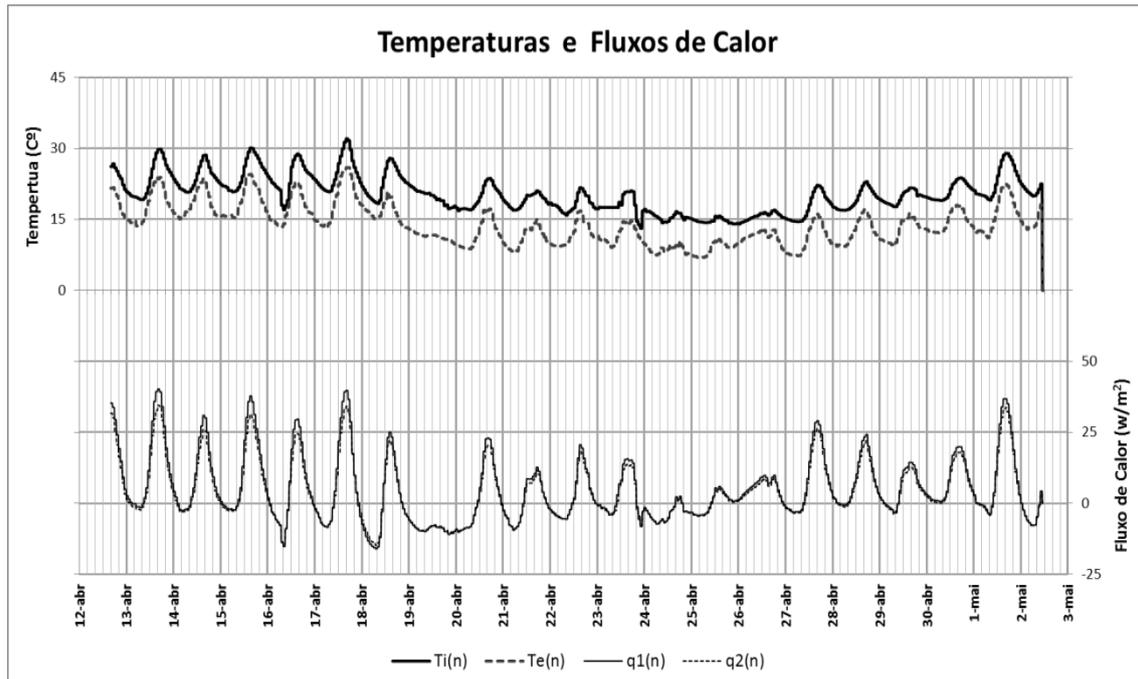


Figura 4.10 – Valores de temperatura interior e exterior e fluxos de calor no período de 12 de abril de 2014 a 2 de maio de 2014

Na Figura 4.11, estão representados os gráficos relativos à variação de U_1 e U_2 durante o período de ensaio. Estes parâmetros representam os coeficientes de transmissão térmica medidos “in situ” a partir do 5º dia de ensaio, quando os valores de temperatura e de fluxo de calor se encontram estabilizados.

Através da análise do gráfico da Figura 4.11 pode-se observar que até ao dia 22 de Abril os valores do coeficiente de transmissão térmica estiveram sempre a descer tornando-se depois negativo e a meio do ensaio voltaram a subir gradualmente até ao fim do ensaio, não se encontrando constante em nenhuma altura do ensaio. As medições são muito irregulares e os valores de U muito divergentes, como se pode observar na Figura 4.11. Esta situação poderá ser justificada pela fraca estanquidade das portas e janelas, fazendo com que as diferenças entre a temperatura interior e exterior diminuíssem, e assim comprometessem o ensaio. O valor do coeficiente de transmissão térmica obtido no final pelo ensaio, obtido pelos dados do termofluxímetro através da média dos últimos valores dos coeficientes de transmissão térmica, é de $1,15 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Considerou-se os últimos valores do ensaio identificados no gráfico porque a partir desta altura começou a verificar-se a estabilização dos valores de U , o que permite concluir que caso a duração do ensaio se estendesse estes valores se manteriam nesta ordem de grandeza.

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

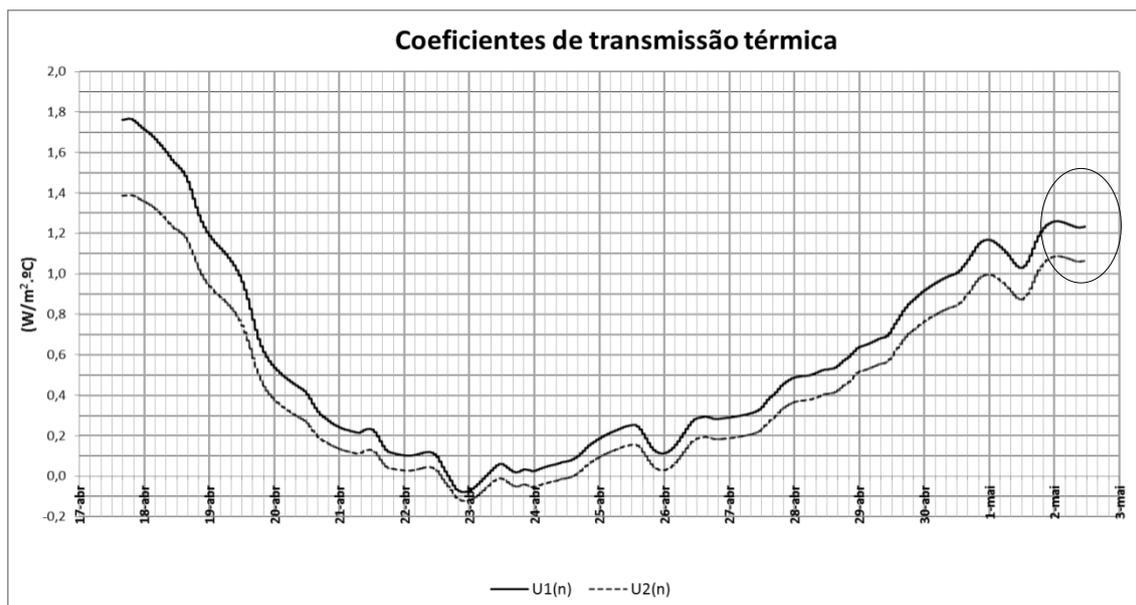


Figura 4.11 – Valores de $U_1(n)$, $U_2(n)$, no período de 17 de abril de 2014 a 2 de maio de 2014

Na Tabela 4.11 apresentam-se os valores do coeficiente de transmissão térmica calculado por via analítica, por via experimental, indicado no ITE 54 e o desvio padrão entre eles.

Tabela 4.11 – Valor de U obtido na medição; variação entre o valor analítico, experimental e tabelado

Ensaio	U analítico	U experimental	U ITE54	Desvio Δ entre U analítico e U experimental	Desvio Δ %	Desvio Δ entre U experimental e U ITE 54	Desvio Δ %
1	1,68	1,15	1,3	-0,53	46%	-0,15	13%

Pela análise da Tabela 4.11 pode verificar-se que a diferença entre o valor calculado analiticamente e o valor obtido através das medições “in situ” é da ordem dos 46%. Neste caso, o diferencial de 46% pode dever-se aos erros do ensaio. Este valor de desvio é bastante elevado quando comparado com o valor do desvio em relação ao valor tabelado no ITE 54, sendo de apenas 13%. Em outros trabalhos de investigação desenvolvidos por Ribeiro [52] e por Pereira [53] conclui-se que o desvio entre o valor de cálculo por via analítica e o valor experimental pode variar entre 20% e 30%, o que demonstra que o valor obtido experimentalmente deveria ser superior e rondar o intervalo entre 1,5 e 1,7 $W/m^2\cdot^{\circ}C$.

Os resultados obtidos mostram que, numa situação de Primavera, em que existam grandes oscilações da temperatura exterior, mas em que os seus valores sejam inferiores

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

aos das temperaturas interiores, os ensaios podem ser levados a cabo. No entanto, é necessário que os valores da temperatura interior não sejam influenciados pela oscilação da temperatura exterior, sendo este um dos fatores para o insucesso do ensaio aqui descrito. Apesar de no final do ensaio se verificar um valor de U próximo do tabelado no ITE 54 não se pode considerar um ensaio válido. Sugere-se, portanto, no futuro, a repetição deste ensaio.

4.3.2.2. Caso de Estudo 2- Parede de Granito

O edifício construído em pedra de granito localiza-se na freguesia de Atei, concelho de Mondim de Basto e pertence à zona climática do Ave, e portanto á mesma forma climática que o edifício considerado no caso de estudo 1.

O edifício onde foi realizado o ensaio “ in situ” foi um dos edifícios onde se procedeu ao levantamento detalhado das características construtivas. Deste modo apurou-se que o edifício data de 1800, tem uma área de implantação de $59,3 \text{ m}^2$ e desenvolve-se em dois pisos. O edifício foi reabilitado recentemente tendo sido efetuadas algumas alterações de melhoria no interior sem intervenção ao nível das paredes exteriores. O primeiro piso é utilizado para habitação e o rés-do-chão para armazém. O edifício encontra-se contíguo com um outro edifício de granito mas que apresenta um aparelhamento diferente, como se observa na Figura 4.12. As paredes são em pedra aparelhada, constituídas por dois panos, sem caixa-de-ar, e com enchimento em terra e pedras de pequenas dimensões, Figura 4.13.



Figura 4.12 – Fachada orientada a este, edifício de pedra de granito do caso de estudo 2



Figura 4.13 – Pormenor de enchimento de uma parede do edifício de pedra de granito do caso de estudo 2

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

As paredes exteriores não rebocadas apresentando apenas juntas na face interior e na orientação a sul, Figura 4.14. A estrutura do pavimento é em madeira revestida com madeira no primeiro piso e o rés-do-chão é em terra batida. A cobertura é inclinada com laje de esteira horizontal em gesso cartonado e estrutura em madeira, Figura 4.15. A laje de esteira foi isolada com 0,02 m de lã de rocha.



Figura 4.14 - Fachada orientada a sul, edifício de pedra de granito do caso de estudo 2



Figura 4.15 – Cobertura e fachada orientada a norte, edifício de pedra de granito do caso de estudo 2

O edifício possui apenas duas janelas, uma orientada a sul e outra a este, cada uma com cerca de 1m^2 , caixilharia em madeira e vidro simples.

A parede exterior analisada está orientada a este. O corte esquemático da parede analisada é representado na Figura 4.16.

- ① Terra/pedras de pequenas dimensões (0,05)
- ② Granito (0.5m)
- ③ Granito (0.3m)

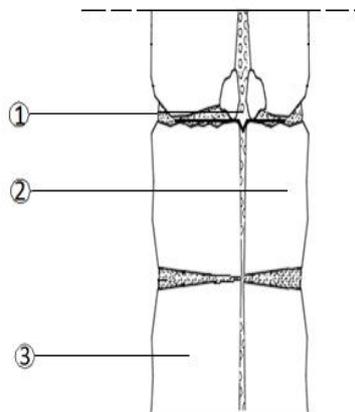


Figura 4.16 – Corte esquemático da parede exterior do edifício de pedra de granito do caso de estudo 2

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Os aparelhos de medição de fluxo de calor foram colocados num compartimento aquecido através de um aquecedor a óleo ligado durante todo o ensaio, e fixados com fita adesiva numa superfície o mais homogénea possível, Figura 4.17. Os aparelhos foram colocados durante o período de inverno. O ensaio foi realizado entre o dia 21 de Fevereiro de 2014 e o dia 5 de Março de 2014.



Figura 4.17 – Fixação dos aparelhos de medição de fluxo de calor no edifício de pedra de granito do caso de estudo 2

No início do ensaio, dia 21 de Fevereiro de 2014, pelas 12:50, a temperatura interior era de 14,7°C, a humidade relativa de 63,9 % e temperatura exterior de 10,1°C. A sonda de temperatura exterior foi colocada numa varanda, orientada a este, protegida da incidência de chuva e da incidência do sol, apenas recebeu sol direto durante duas horas e manhã e num reduzido número de dias visto que, na maioria dos dias, cerca de 85 % dos dias (11 dias), em que se efetuou a medição o céu encontrava-se nublado.

O ensaio teve a duração de 13 dias, com recolha de informação em intervalos de 10 minutos. A precipitação ocorreu em cerca de 10 dias durante o período de observação. A sonda térmica de exterior esteve sempre fora do alcance da precipitação. A temperatura interior manteve-se constante através do recurso a um aquecedor a óleo.

Através do tratamento dos dados recolhidos nas medições, foi possível obter gráficos em que é possível ver a evolução dos valores de T_i , T_e , q_1 e q_2 ao longo de todo o período de ensaio, assim como a evolução dos valores do coeficiente de transmissão térmica, U .

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

Ao analisar a Figura 4.18 verifica-se que a temperatura interior se manteve praticamente constante ao longo de todo o ensaio, sendo que, no início do ensaio dia 21, 22 e 23 de Fevereiro existiu um subida de temperatura interior mantendo-se mais estável depois destes três dias iniciais. Isto deve-se ao facto de se ter recorrido a um aquecedor a óleo para aumentar a temperatura interior e assim conseguir mantê-la mais estável ao longo do tempo. A temperatura exterior foi sempre inferior à temperatura interior, sendo que a temperatura interior mínima, a partir do terceiro dia, foi de 16°C e a máxima de 20,1°C. Relativamente à temperatura exterior verificou-se que a mínima foi de 5,3°C e a máxima de 17,7°C. O facto de a temperatura exterior se manter sempre inferior à interior permite que o fluxo de calor mantenha sempre o mesmo sentido ao longo do ensaio, facilitando a obtenção de valores fiáveis para o U.

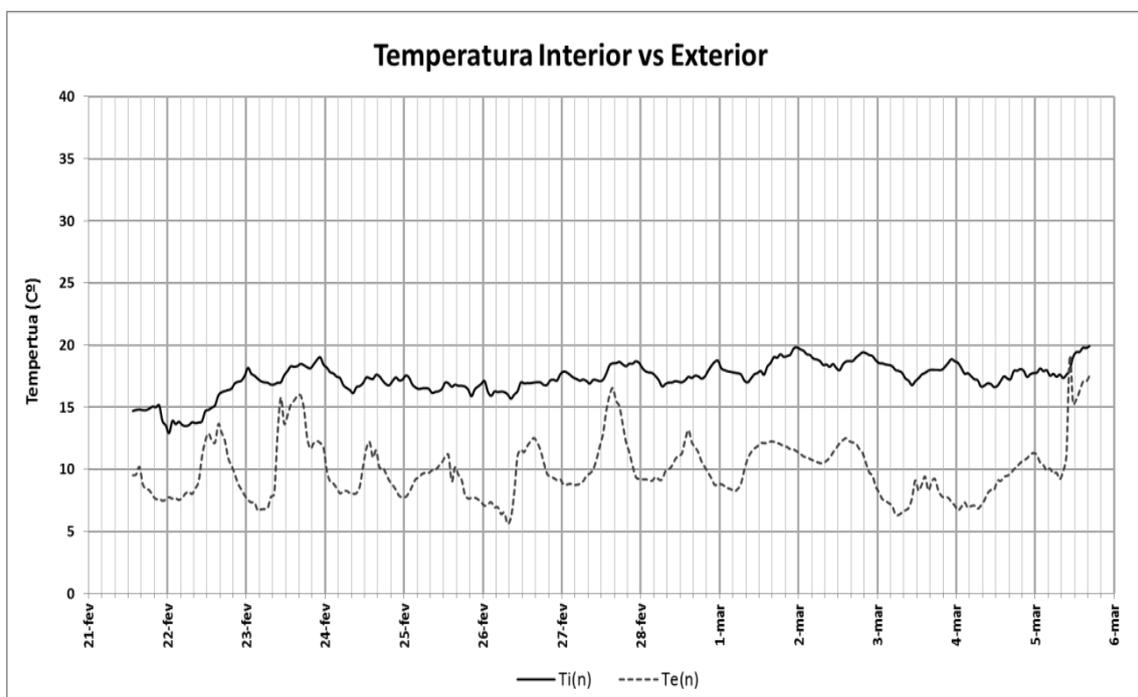


Figura 4.18 – Valores de temperatura interior e exterior no período de 21 de fevereiro de 2014 a 5 de março de 2014

Relativamente ao fluxo de calor verificou-se que os valores de HF1 se situam no intervalo de $-2,3 \text{ W/m}^2$ a $14,59 \text{ W/m}^2$ e os valores de HF2 se situam no intervalo de $-2,47 \text{ W/m}^2$ a $19,87 \text{ W/m}^2$. Os valores de fluxo de calor negativos ocorreram pontualmente e apenas nos dias 22 e 24 de fevereiro, enquanto a temperatura interior ainda não se encontrava estável. Também se verifica que ocorreu um atraso na variação do fluxo de calor em relação à variação das temperaturas o que pode ser justificado pelo armazenamento térmico da parede, Figura 4.19.

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

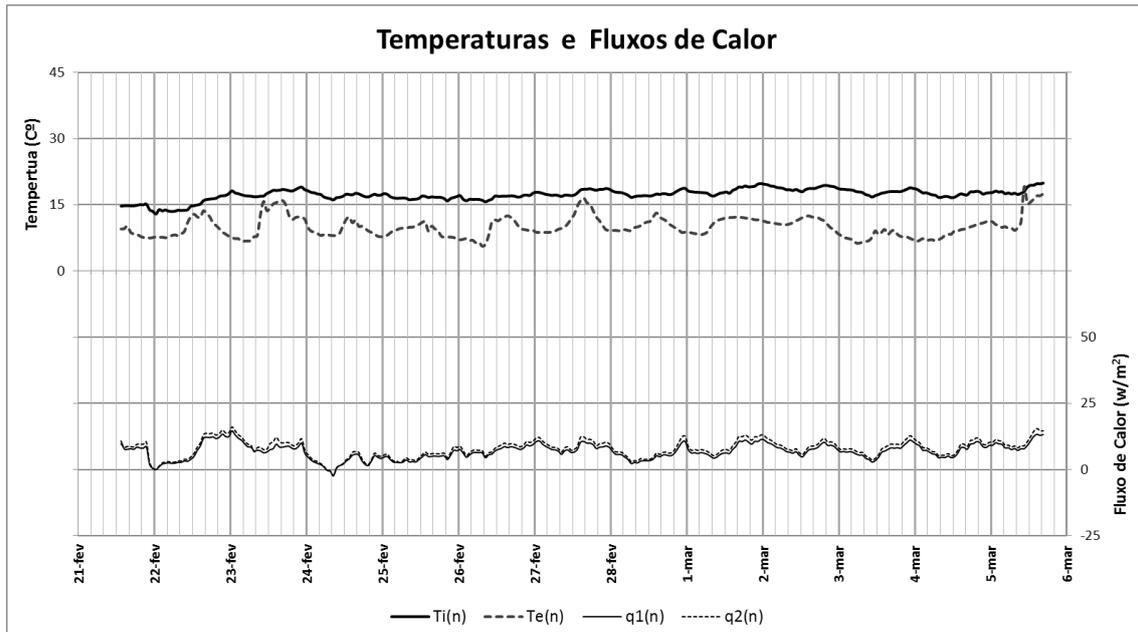


Figura 4.19 – Valores de temperatura interior e exterior e fluxos de calor do HF1 e do HF2 no período de 21 de fevereiro de 2014 a 5 de março de 2014

Como seria de esperar, quando o diferencial entre a temperatura interior e a temperatura exterior aumentou o fluxo de calor também aumentou, sendo assim possível verificar que as medições correspondem a dados estáveis, permitindo obter dados fiáveis. Na Figura 4.20 pode verificar-se que os valores do coeficiente de transmissão térmica U_1 oscilaram entre $0,76 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e $1,00 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e os valores de U_2 oscilaram entre os $0,88 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e os $1,16 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

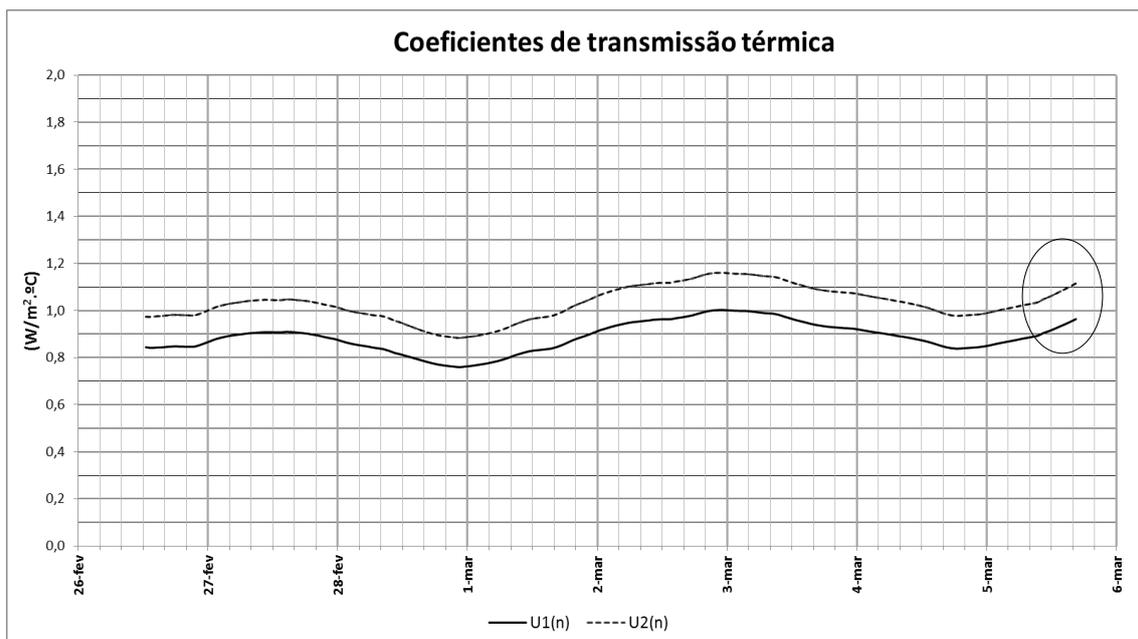


Figura 4.20 – Valores de $U_1(n)$, $U_2(n)$, no período de 26 de fevereiro de 2014 a 5 de março de 2014

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

O valor médio do coeficiente de transmissão térmica obtido no final pelo ensaio, obtido pelos dados do termofluxímetro, é de $1,04 \text{ W/m}^2\text{C}$.

Na tabela 4.12 apresentam-se os valores do coeficiente de transmissão térmica calculado por via analítica, por via experimental, indicado no ITE 54 e o desvio padrão entre eles.

Tabela 4.12 – Valor de U obtido na medição; variação entre o valor medido, calculado e tabelado

Ensaio	U analítico	U experimental	U ITE54	Desvio Δ entre U analítico e U experimental	Desvio Δ %	Desvio Δ entre U experimental e U ITE 54	Desvio Δ %
1	1,99	1,04	1,4	-0,95	91%	-0,36	36%

Pela análise da Tabela 4.12 pode verificar-se que o valor obtido por via experimental é inferior ao valor calculado e ao valor retirado do ITE 54. O valor calculado analiticamente é 91% superior ao valor obtido através das medições “in situ”. Quando comparado o valor das medições com o valor tabelado no ITE 54, verifica-se que este desvio é de apenas 36%. Este desvio é menor em relação ao valor tabelado no ITE 54. O valor de $1,4 \text{ W/m}^2\text{C}$ foi retirado do ITE 54 para paredes ordinárias com ou sem revestimento corrente e com uma espessura de 0,80 m. Apesar do ensaio ter realizado numa parede de alvenaria aparelhada, para comparação com os valores Tabelas no ITE 54 considerou-se uma parede ordinária, pois contém uma grande percentagem de terra/barro, que é característica das paredes tradicionais de alvenaria ordinária. O facto da parede analisada poder conter uma percentagem ainda maior de terra/barro do que a que foi considerada para o cálculo analítico, pois não se conhece totalmente a constituição interior da parede, pode ser a razão desta discrepância. A não contabilização deste elemento resulta da impossibilidade de conhecer a constituição interior da parede exterior ensaiada. Com estes resultados chega-se à conclusão que os resultados deste ensaio são válidos e que sempre que as diferenças de valores ocorridas entre as temperaturas interior e exterior sejam consideráveis e estáveis, podem obter-se valores de U válidos.

4.3.3. Conclusões

No trabalho de campo realizado foi possível identificar diferentes soluções construtivas de paredes exteriores tradicionais de pedra de xisto e de granito. Na determinação

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

analítica do coeficiente de transmissão térmica destas soluções não foi contabilizado o tipo de juntas nem o aparelhamento da alvenaria. A comparação destes valores com os tabelados no ITE 54 demonstrou discrepância entre estes valores, sendo os do ITE 54 inferiores aos calculados. Pode-se assim concluir que as simplificações efetuadas no cálculo analítico influenciam de forma significativa o resultado obtido.

Analiticamente obteve-se valores de U para paredes de pedra de xisto sem isolamento térmico e este variou no intervalo de valores de 1,72 a 2,57 W/m²°C. Para paredes com isolamento térmico este valor de U variou no intervalo de 0,49 a 0,60 W/m²°C. Os edifícios de pedra de xisto localizados nos concelhos de Mondim de Basto, Vila Real e Penafiel pertencem à zona climática de inverno I2 e os edifícios localizados no Peso da Régua e em Santa Marta de Penaguião pertencem à zona climática de inverno I1. Para nenhuma destas localizações estas paredes de pedra de xisto sem isolamento térmico cumprem o requisitos máximos admissíveis par o valor de U sendo este de 1,54 W/m²°C na zona climática de inverno I2 e de 1,60 W/m²°C na zona climática I1. As paredes de xisto com isolamento térmico apresentam valores de U muito baixos, inferiores a 0,60 W/m²°C, cumprindo assim as exigências do REH [13]. Relativamente às paredes de pedra de granito sem isolamento térmico obteve-se valores de U que podem variar no intervalo de 1,94 a 2,80 W/m²°C. Para paredes com isolamento térmico apenas foi observada uma e com um valor de U igual a 0,41W/m²°C. Todos os edifícios de pedra de granito localizados nos concelhos de Mondim de Basto, Ribeira de Pena, Arcos de Valdevez, Terras de Bouro e Vila Real pertencem à zona climática de inverno I2. Na zona climática I2 o coeficiente de transmissão térmica superficial máximo admissíveis para elementos verticais opacos, segundo o REH, é de 1,45 W/m²°C. Apenas a parede que possui isolamento térmico na sua constituição cumpre o U máximo admissível para esta zona climática.

A determinação dos coeficientes de transmissão térmica através de medições “in situ”, utilizando um sistema de medição de fluxo de calor é um processo algo demorado para elementos de inércia forte como é o caso das paredes exteriores estudadas, influenciando a validade dos resultados, em função das dificuldades inerentes a trabalhos experimentais. Para se obter resultados válidos é necessário garantir que a temperatura no interior do compartimento se mantenha o mais estável possível, o que por vezes pode ser difícil de conseguir. Como seria de esperar, em períodos em que a

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

temperatura interior seja próxima da temperatura exterior, ou quando ocorrerem grandes oscilações na temperatura exterior, os resultados obtidos não são válidos. No presente trabalho esta situação ocorreu no caso de estudo 1, referente ao edifício tradicional de pedra de xisto, não sendo possível obter uma convergência dos valores medidos. No caso de estudo 2, referente ao edifício tradicional de pedra de granito, obtiveram-se resultados satisfatórios. No entanto, o desvio entre o valor de U calculado analiticamente e o valor de U medido “in situ” é de 91% contrariamente o desvio entre o U medido e o U tabelado no ITE 54, já é da ordem dos 30%. Esta situação pode ser explicada pelo facto de não se considerar a existência de uma elevada quantidade de terra na constituição da parede aquando do cálculo analítico. A não contabilização deste elemento resulta da impossibilidade de verificar a constituição do interior da parede exterior.

Os desfasamentos obtidos entre os valores medidos e os valores calculados não se encontram dentro dos limites obtidos noutros trabalhos, em que estes deveriam estar entre os 20% a 30% [52;53]. No presente trabalho obteve-se um desvio relativamente ao valor calculado de 46% no caso de estudo 1 (parede de xisto) e de 91% no caso de estudo 2 (parede de granito). Relativamente ao desfasamento existente entre os valores medidos e os valores tabelados no ITE 54 é de 13% no caso de estudo 1 e de 36 % no caso de estudo 2. Verifica-se que o desvio do U medido em relação ao U tabelado no ITE 54 é muito inferior ao desvio entre o U medido e o U calculado. Esta aproximação ao valor medido pode dever-se ao facto de que os valores tabelados no ITE 54 também resultarem de ensaios “in situ”.

O estudo do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores de edifícios tradicionais de pedra é um fator importante para o estudo do comportamento térmico destes edifícios. No entanto, existem outros fatores relevantes para esta análise, tais como, as soluções construtivas dos restantes elementos construtivos e a estanquidade de portas e janelas. Como se verificou no segundo ensaio relativo ao edifício tradicional de xisto, o valor do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior analisada foi influenciado pelas variações da temperatura interior provocadas pela má estanquidade das portas e janelas. Mesmo que uma parede exterior apresente, por si só, um bom comportamento térmico, só representará benefícios significativos para o conforto térmico do edifício se os restantes elementos constituintes do edifício, tais como, o

Capítulo 4 – Determinação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Paredes Exteriores de Edifícios em Xisto e em Granito

pavimento, a cobertura, as portas e janelas não anularem este contributo através do seu mau comportamento térmico.

Os resultados obtidos demonstram assim que é necessário efetuar mais ensaios para determinação do coeficiente de transmissão térmica “in situ” em paredes exteriores de pedra de xisto e de granito, nomeadamente para analisar com profundidade a influência da capacidade de armazenamento de calor que as caracteriza.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

5.1. Conclusões

A realização deste trabalho de investigação permitiu identificar as características construtivas e arquitetónicas de edifícios tradicionais construídos em pedra de xisto e de granito, localizados em vários concelhos do norte de Portugal. Foi dada especial atenção às características que podem influenciar o comportamento térmico deste tipo de construções e identificados os princípios bioclimáticos que as caracterizam. As paredes exteriores em pedra de xisto e de granito são o elemento construtivo representativo destes edifícios, tendo sido, por isso, analisados no que respeita ao seu desempenho térmico, mais concretamente no que respeita à determinação do coeficiente de transmissão térmica.

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram identificar nas construções tradicionais estudadas a existência de soluções construtivas que têm por base critérios bioclimáticos e de sustentabilidade.

Foram identificadas várias estratégias que ajudam a diminuir o efeito do clima no conforto interior do edifício e que são passíveis de integração numa construção atual. De entre as várias estratégias identificadas, salienta-se o uso de técnicas construtivas de adaptação do edifício ao clima e ao local, através da utilização de materiais de origem natural e local, do recurso a paredes de elevada espessura e inércia térmica, da orientação dos vãos e fachadas dos edifícios preferencialmente a sul, da pequena dimensão dos vãos envidraçados e da existência de proteção e de elementos de sombreamento nos mesmos.

Para além do xisto e do granito, a madeira e a terra são também materiais muito utilizados. A madeira é utilizada como elemento estrutural da cobertura e do pavimento, para além de ser aplicada em paredes divisórias, nos vãos de portas e janelas e ainda em portadas. A terra é utilizada como material de enchimento e assentamento das alvenarias de xisto e granito. A ardósia e o colmo eram também utilizados nos edifícios de xisto, mais concretamente ao nível das coberturas, apresentando melhores propriedades térmicas do que alguns dos materiais de revestimento correntemente utilizados, como por exemplo a telha cerâmica, que acabou por substituir estes materiais em operações de reabilitação. O uso destes materiais revela a preocupação em utilizar materiais

disponíveis no local, aumentando desta forma a sustentabilidade na construção e também as propriedades térmicas da envolvente.

Relativamente às paredes exteriores, estes edifícios caracterizam-se por paredes de alvenaria resistente de xisto e de granito com espessuras elevadas, variáveis entre os 0,60 e os 0,90 metros, sendo que as paredes de granito assumem valores de espessura mais elevados. Verifica-se também que o aparelhamento é maioritariamente em junta seca ou à base de argamassa de barro e terra. O material terroso é também utilizado como enchimento na construção das paredes de alvenaria ordinária. Estas características traduzem-se numa elevada inércia térmica que podem contribuir para a melhoria do conforto no interior do edifício.

Quanto maior for a espessura destas paredes, menor será o valor do coeficiente de transmissão térmica (U), parâmetro extremamente importante na análise do desempenho térmico de um edifício. Assim, o menor valor de U identificado para uma parede exterior de xisto foi de 1,68 W/m²°C e para uma parede de granito de 1,99 W/m²°C. Verificou-se também que a terra é um dos materiais preponderantes no aparelhamento destas paredes e a sua quantidade no elemento influencia de forma significativa o valor do coeficiente de transmissão térmica, contribuindo para a sua redução.

Comparando os valores dos coeficientes de transmissão térmica das paredes de alvenaria de pedra analisadas com os valores obtidos para uma parede simples de tijolo furado ou de blocos de betão normal sem isolamento térmico, verifica-se que estes são semelhantes. Esta ordem de grandeza dos valores de U e a elevada massa térmica destas paredes são propriedades que podem ser potenciadas em intervenções de reabilitação.

No que respeita à forma, verifica-se que estes edifícios tradicionais apresentam volumetria paralelepípedica e dimensão reduzida. São edifícios compactos, sem reentrâncias e/ou saliências na sua forma, o que permite reduzir a existência de pontes térmicas e consequentemente as perdas térmicas. Esta característica, em conjunto com a orientação escolhida para o edifício e para as superfícies envidraçadas, mostra-se essencial para a melhoria do conforto interior. A análise efetuada permitiu verificar que a orientação dos edifícios é feita de forma a privilegiar o maior número de horas de iluminação e de insolação, sendo que, em muitos casos a organização do aglomerado e consequentemente a orientação das fachadas e dos vãos é influenciada pela topografia

local. Em relação às aberturas de vãos de janela, concluiu-se que estas estão presentes em reduzido número e com reduzidas dimensões.

No que respeita aos elementos de sombreamento, foi analisada a existência de beirais e de ombreiras e padieiras com dimensões capazes de causar sombreamento na fachada e nos vãos de janela. Foi também identificado o uso de videiras e de heras como elemento natural de sombreamento. As videiras, plantas de folha caduca, foram identificadas nas fachadas orientadas a sul, contribuindo para o sombreamento no verão e para o aumento dos ganhos solares no inverno. As heras, plantas de folha persistente, encontram-se localizadas nas fachadas orientadas a norte, protegendo-as dos ventos dominantes e melhorando o seu isolamento, e em fachadas orientadas a sul, o que irá proporcionar no verão o arrefecimento dos espaços através de evapotranspiração.

Elementos externos como varandas e alpendres fazem parte integrante de alguns dos edifícios tradicionais de xisto analisados e podem contribuir para o equilíbrio térmico do ambiente interior do edifício. Estes elementos eram habitualmente orientados a Sul, o que permitia o aumento dos ganhos solares durante o inverno e a sua redução durante o verão decorrente do sombreamento criado.

A caracterização construtiva e arquitetónica efetuada permite concluir que a arquitetura tradicional de xisto e de granito agrega, na sua definição, um conjunto de princípios bioclimáticos que, compatibilizados, poderão contribuir para um edifício mais eficiente em termos energéticos e mais sustentável. Esta caracterização permitiu também verificar que é notória a existência de um considerável património edificado em xisto e granito que claramente necessita de intervenções de reabilitação e preservação.

Neste sentido, o trabalho de investigação aqui apresentado poderá ser útil para a definição de futuras intervenções de reabilitação, nomeadamente ao nível da reabilitação térmica. Poderá também incentivar a integração de técnicas construtivas características de edifícios tradicionais na construção atual com vista à obtenção de edifícios mais adaptados às condições climáticas e aos recursos naturais do local e, portanto, mais sustentáveis.

5.2. Trabalho Futuro

Face ao exposto anteriormente, e no sentido de continuar a desenvolver trabalho nesta área de investigação propõe-se realização dos seguintes trabalhos:

- Realizar o levantamento de informação técnica de construções tradicionais de pedra de xisto e de granito ou de outros tipos de pedra natural, noutras zonas do país;
- Realizar mais ensaios para a determinação do coeficiente de transmissão térmica de diferentes soluções de paredes de xisto e de granito de forma a obter uma amostra mais representativa das diferentes soluções;
- Propor soluções de reabilitação de edifícios tradicionais de xisto e granito.
- Realizar estudos de sustentabilidade e de viabilidade económica da reabilitação térmica destes edifícios tradicionais;
- Simular o desempenho térmico de edifícios tradicionais de xisto e granito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Moita, “Energia Solar Passiva”, Lisboa: ARGUMENTUM, 2010. ISBN 978-972-8479-73-2.
- [2] S. Chaki, M. Takarli, W.P. Agbodjan, “Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: Porosity, permeability and ultrasonic wave evolutions”, *Construction and Buildings Materials*, Vol. 22, pp 1456–146, 2008.
- [3] R.Barros, D.Oliveira, H.Varum, “Tipologias e principais danos observados em construções de xisto”, *Encontro sobre Patologia e reabilitação de Edifícios – PATORREB*, pp 819-824, 2009.
- [4] Rochas de Portugal. Disponível em: <http://www.dct.uminho.pt/rpmic/locpor-mapa.html>. [consultado em 10.2.2014].
- [5] J. Fernandes, R. Mateus, L. Bragança, “Princípios de Sustentabilidade na Arquitetura Vernacular em Portugal”, *Congresso Construção - Coimbra*, 2012.
- [6] M. Arman, J. Zuo, L. Wilson, G. Zillante e S. Pullen, "Challenges of responding to sustainability with implications for affordable housing", *Ecological Indicators*, Vol. 68, pp. 3034–3041, 2009.
- [7] J. Parasonis, A. Keizikas, “Increasing Energy Efficiency of the Translucent Enclosure Walls of a Building”, *Procedia Engineering*, Vol. 57, pp. 869 – 875, 2013.
- [8] R. S.Barros, D. Oliveira, H. Varum, C. Alves e A. Camões, “Experimental Characterization of physical and mechanical proprieties of schist from Portugal”, *Construction and Buildings Materials*, Vol. 50, pp. 617-630, 2013.
- [9] I. M. West. “Geology of Great Britain - Introduction; for the Geology of the South Coast”. Disponível em: www.southampton.ac.uk/~imw/Geology-Britain.htm. Romsey and Faculty of Natural and Environmental Sciences, Southampton University, UK, 2012. [consultado em 11.01.2014]
- [10] R. Brito, “ A terra que habitamos, unidades morfoestruturais”. Disponível em www.igeo.pt. [Consultado em 20.01.2014].
- [11] J. A. R. COSTA, “A Evolução da Arquitetura Bioclimática: contributo para a sustentabilidade arquitetónica e urbana”, *Tese de Doutoramento em História*, Universidade do Porto, 2008.

Referências Bibliográficas

- [12] E. V. Oliveira, F. Galhano; “Arquitetura Tradicional Portuguesa”, Lisboa: Publicações D. Quixote, 2000.
- [13] Decreto –Lei 118/2013 –“ Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)”, Ministério da Economia e do Emprego, 2013.
- [14] “Instituto Português do Mar e da Atmosfera”. [Online]. Disponível em: <http://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima>. [Consultado em 20.03.2014]
- [15] H. Gonçalves, J. Graça, “Conceitos bioclimáticos para os Edifícios em Portugal”, Lisboa: DGGE, 2004. ISBN 972-8268-34-3.
- [16] R. Schmid, D. Fettes, B. Harte, E. Davis, J. Desmons. “A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 1. How to name a metamorphic rock”, 2007. Disponível em http://www.bgs.ac.uk/SCMR/docs/papers/paper_1.pdf.
- [17] “Laboratório Nacional de Energia e Geologia” [Online]. Disponível em: http://geoportal.lneg.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=4#page=1. [Consultado em 20.11.2013].
- [18] “Geology.com”. [Online]. Disponível em: <http://geology.com/rocks/slate.shtml>. [Consultado em 20.11.2013].
- [19] A. Santos, "Rochas Magmáticas na região da Serra da Estrela. Uma aplicação didáctica.", Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2007.
- [20] “ Infopédia – Enciclopédia e Dicionários Porto Editora”, Porto: Porto Editora, 2003 – 2013, [Online]. Disponível em: [http://www.infopedia.pt/\\$granito](http://www.infopedia.pt/$granito). [Consultado em 23.11.2013].
- [21] “Departamento de Ciências da Terra Universidade do Minho”, [Online]. Disponível em: http://www.dct.uminho.pt/rpmic/ma1_mao.html. [Consultado em 22.11.2013].
- [22] “Departamento de Ciências da Terra Universidade do Minho”, [Online]. Disponível em: http://www.dct.uminho.pt/rpmic/ma1_mao.html. [Consultado em 22.11.2013].
- [23] ”Geomoseu”, [Online]. Disponível em: [http://geomuseu.ist.utl.pt/MINGEO%20LEC2006LT/Aulas%20pr%e1ticas%202006/PR%c1TICA%20PETROGRAFIA/ROCHAS%20%cdGNEAS%20\(Colec%e7%e3o%20das%20Aulas\)/LEUCOCRATAS/GRANITO%202%20MICAS.jpg](http://geomuseu.ist.utl.pt/MINGEO%20LEC2006LT/Aulas%20pr%e1ticas%202006/PR%c1TICA%20PETROGRAFIA/ROCHAS%20%cdGNEAS%20(Colec%e7%e3o%20das%20Aulas)/LEUCOCRATAS/GRANITO%202%20MICAS.jpg). Consultado em 22.11.2013].

- [24] C. Santos e L. Matias, "Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – ITE 50", Coleção Edifícios – ITE 50, LNEC, Lisboa, Portugal, 2006.
- [25] "WTH-AACHEN University", [Online]. Disponível em: http://www.eonerc.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaacjzfn. [Consultado em 25.11.2013].
- [26] P. Mendonça, "Habitar sob uma Segunda Pele – Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados", Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, 2005.
- [27] "Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação", [Online]. Disponível em: <http://rop.ineti.pt/rop/FormTipo.php>. [Consultado em 19.03.2014].
- [28] "À Descoberta de Portugal", Edição de Seleções de Reader's Digest SARL, Porto: Ambar, 1982.
- [29] "Ícones de Portugal - Património de Portugal", [Online]. Disponível em: <http://mjfs.wordpress.com/category/castros/page/4/>. [Consultado em 19.05.2014].
- [30] "O Globo", [Online]. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/pais/noblat/posts/2009/08/02/arquitetura-ponte-do-aqueduto-50-c-210478.asp>. [Consultado em 19.05.2014].
- [31] "O Panteão", [Online]. Disponível em: <http://opantheon.blogspot.pt/>. [Consultado em 19-05-2014].
- [32] D. Afouxenidis, E.C. Stefanaki, G.S. Polymeris, A. Sakalis, N.C. Tsirliganis, G. Kitis, "TL/OSL properties of natural schist for archaeological dating and Retrospective dosimetry", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Vol. 580, pp. 705–709, 2007.
- [33] "Tourisme Conques – Marcillac", [Online]. Disponível em: <http://www.tourisme-conques.fr/en/histoire-patrimoine/village/habitat.php>. [Consultado em 03.12.2013].
- [34] "Redscarab Travels and travails of anurag mallick & priya ganapathy", [Online]. Disponível em: http://redscarab-travelandmedia.files.wordpress.com/2013/07-/londonderrys-historic-walls-img_5713_anurag-mallick.jpg. [Consultado em 19.05.2014].
- [35] "Sogrape – Vinhos", [Online]. Disponível em: <http://www.sograpevinhos.com/re>

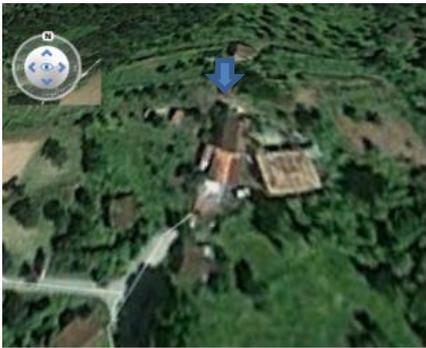
- gões/Douro/caracteristicas. [Consultado em 19-05-2014].
- [36] J. Roseiro, “Causas, anomalias e soluções de reabilitação estrutural de edifícios antigos – Estudo de caso”, Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.
- [37] “Stone Export”, [Online]. Disponível em: <http://www.stone-export.com/Portuguese/Kashmir-Golden.htm>. [Consultado em 20.03.2014].
- [38] “Cozigran”, [Online]. Disponível em: <http://www.cozigran.com/cozigran/2011/lareiras-granito/>. [Consultado em 20.03.2014].
- [39] “Aldeias de xisto”, [Online]. Disponível em: www.aldeiasdexisto.pt. [Consultado em 02.06.2014].
- [40] “Aldeias de xisto”, [Online]. Disponível em: <http://aldeiasdoxisto.pt/aldeia/cerdeira>. [Consultado em 02.06.2014].
- [41] “Aldeias de xisto”, [Online]. Disponível em: <http://aldeiasdoxisto.pt/aldeia/talasnal>. [Consultado em 02.06.2014].
- “Stone Export”, [Online]. Disponível em: <http://www.stone-export.com/Portuguese/Kashmir-Golden.htm>. [Consultado em 20.03.2014].
- [42] AAVV, “Carta sobre o património construído vernáculo”, ICOMOS, México, 1999, [Online]. Disponível em: www.international.icomos.org/home.htm. [Consultado em 22.11.2013].
- [43] V. Fernandes, D. Ferreira, E. Luso, Sílvia. Fernandes, “Manual BIOURB - Manual para Conservação e Reabilitação da Diversidade Bioconstrutiva”, Bragança: CMB. ISBN 978-989-8344-22-9.
- [44] L. Tirone, K. Nunes, “Construção Sustentável”, Sintra: Tirone Nunes SA, 2007.
- [45] F.F.S. Pinto; “Paredes de Edifícios Antigos em Portugal”, Lisboa: LNEC, 2000.
- [46] B. Torre, I. Pinto, L. Fernandes, “Caracterização de construções de granito na zona de Vila Real e Régua”, Projeto de Licenciatura, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2012.
- [47] A. Lourenço, C. Rocha, M. Pina, “Caracterização das construções em xisto”, Projeto de Licenciatura, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2012.
- [48] D. Gomes, D. Sousa, H. Pereira, “Análise do comportamento térmico das soluções

construtivas em edifícios de xisto e granito”, Projeto de Licenciatura, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2013.

- [49] “CCDRN- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte”, [Online]. Disponível em: http://www.ccdr-n.pt/fotos/editor2/Images/mapa_norte_qren.png. [Consultado em 20.06.2014].
- [50] T. Teixeira, “Estudo experimental da pedra de xisto”, Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2012.
- [51] “EN ISO 6946 – Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method”, European Committee for Standardization (CEN) e International Organization for Standardization (ISO), 1996.
- [52] S. Pereira, "Avaliação e Certificação em obra da qualidade térmica de edifícios de habitação", Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2010.
- [53] P. Ribeiro, "Avaliação do Comportamento Térmico de Edifícios com Recurso a um Termofluxímetro," Dissertação de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, 2009.
- [54] “ISO 9869 Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance”, International Organization for Standardization (ISO), 1994.
- [55] “Hanna Instruments”, [Online]. Disponível em: <http://www.hannacom.pt/pdf/higrometros.pdf>. [Consultado em 22.11.2013].
- [56] C. Santos e L. Matias, "Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – ITE 50", Coleção Edifícios – ITE 50, Lisboa: LNEC, 2006.
- [57] R. Cabrita, C. Alho, “ITE 18 - Reabilitação de edifícios de habitação. Critérios para a definição de níveis de qualidade”, Lisboa: LNEC, 2007.
- [58] C. Santos, R. Rodrigues, “ITE 54 – Soluções Construtivas de edifícios antigos. Soluções construtivas das Regiões Autónomas”, Lisboa: LNEC, 2010.

ANEXOS

Ficha de levantamento

1 Localização		
Fotografia Google Earth	Fotografia do Edifício	
		
1.1 .	Distrito	Vila Real
1.2.	Concelho	Mondim de Basto
1.3.	Localidade	Atei
1.4	Altitude	199m
1.5.	Zona climática	I2,V2

2 Características gerais do edifício				
2.1.	Ano de construção	1800		
2.2.	Área de implantação	15,55m ²		
2.3.	Número de andares	Acima do solo	2	
		Abaixo do Solo		
2.4.	Edifício	Assinalar a opção a que corresponde		
		Novo		
		Antigo submetido a pequenas reparações		
		Antigo em ruína		
		Antigo reabilitado		
	Antigo não reabilitado	X		
2.5.	Uso	Assinalar as opções a que corresponde		
		Habitação	1ºAndar	
		Comércio		
		Armazém	R/Chão	
		Abrigo de animais		
	Outro			
2.6.	Forma de agrupamento do edifício	Assinalar a opção a que corresponde		
		Isolada		
		Em banda		
	Geminada	X		
2.7.	Tipologia (número de divisões)		Exterior	Interior
		Quartos		2
		I.S.		1
		Cozinha		1
		Sala		
		Não observável		

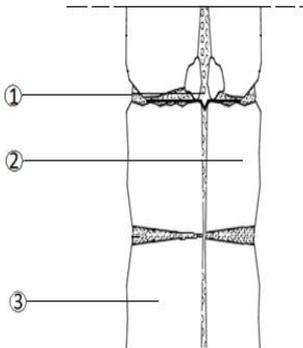
3 Sistemas construtivos					
3.1 Paredes					
3.1.1.	Material (número correspondente ao andar- R/Chão, 1°,2° ...)	Xisto	Parede Interior	Parede exterior	
		Granito	R/chão/ 1° Andar		
		Tabique			
		Madeira			
		Outro Pladur		1° Andar	
3.1.2.	Tipo de Alvenarias	Aparelhada		Parede exterior	
		Ordinária		X	
		Número de panos	1 pano		
			2 panos		
			2 panos c/enchimento		X
3.1.2.1.	Material de enchimento	Terra / pedras de pequenas dimensões			
3.1.2.2.	Espessura (m)	Andar	Parede Exterior	Parede Interior	
		R/chão	0.80m		
		1° Andar	0.85m		
		2° Andar			
		3° Andar			
3.1.3.	Juntas		Parede exterior, face exterior	Parede exterior, face interior	
		Terra			
		Seca	R/chão		
		Argamassa de cal			
		Argamassa de cimento	1° Andar	1° Andar	
3.1.4.	Revestimento (número correspondente ao andar - R/Chão, 1°,2° ..)	Outro	Parede exterior, face exterior	Parede exterior, face interior	
		Ardósia			
		Cerâmica			
		Argamassa de Cal			
		Pinturas			
3.1.5.	Isolamento	Outro Não tem	X	X	
		Assinalar a opção a que corresponde			
		Sim			
		Não		X	
		3.1.5.1.	Localização do isolamento	Andar	Parede exterior, face exterior
R/chão					
1° Andar					
2° Andar					
3° Andar					
3.1.5.2.	Material do isolamento	Assinalar o andar a que corresponde			
		XPS			
		EPS			
		Lã de rocha			
		Cortiça			
		Espuma Rígida poli-isocianurato			
		Espuma Rígida de poliuretano			
		Outro			
3.1.5.3.	Espessura do isolamento	Andar	Parede Exterior	Parede Interior	
		R/chão			
		1° Andar			
		2° Andar			
		3° Andar			

3.2.	Pavimentos		
3.2.1.	Tipo de estrutura		Andar
		Madeira	1° Andar
3.2.2.	Revestimento	Betão	Andar
		Madeira	
		Terra batida	R/chão
		Enrocamento de pedra	
		Betão	
		Ladrilhos cerâmicos	
		Sem revestimento	
3.2.3.	Isolamento	Assinalar a opção a que corresponde	
		Sim	
3.2.3.1.	Localização do isolamento	Não	X
		Andar	Localização
		R/chão	
		1° Andar	
		2° Andar	
3.2.3.2.	Material de isolamento	3° Andar	
		Assinalar o andar a que corresponde	
		XPS	
		EPS	
		Lã de rocha	
		Cortiça	
		Espuma Rígida poli-isocianurato	
Espuma Rígida de poliuretano			
3.2.3.3.	Espessura do isolamento	Outro	
		Andar	Espessura
		R/chão	
		1° Andar	
		2° Andar	
3.2.3.3.	Espessura do isolamento	3° Andar	
3.3.	Cobertura		
3.3.1.	Tipo de cobertura	Plana	
		Inclinada	Com laje de esteira X
			Sem laje de esteira
3.3.1.1.	Número de águas	3	
3.3.2.	Estrutura	Madeira	X
		Betão (ripado)	
		Laje de Betão	
3.3.3.	Revestimento	Assinalar o piso a que corresponde	
		Telha canudo	
		Ardósia	
		Telha aba e canudo	X
		Zinco	
		Telha marselha	
		Painéis Sandwich	
Outros			
3.2.4.	Isolamento	Assinalar a opção a que corresponde	
		Sim	X
3.2.4.1.	Localização do isolamento	Não	
		Junto a laje de esteira	
3.2.4.2.	Material de isolamento	Assinalar o andar a que corresponde	
		XPS	
		EPS	
		Lã de rocha	
		Cortiça	
		Espuma Rígida poli-isocianurato	
Espuma Rígida de poliuretano			
3.2.4.3.	Outro		
3.2.4.3.	Espessura do isolamento	0.07m	

3.4.	Remates com fachada								
Assinalar a opção a que corresponde									
Remate	Material	Madeira	Xisto	Betão	Outro	Telha	Não existe	Dimensões	Orientação
Cunhais			X						
Padieira			X					0.20m	Oeste
Ombreira			X					0.20m	Oeste
Beiral			X			X		0.30m	Oeste
Cornija									

Vãos											
4.1.	Nº de portas/ janelas										
Assinalar o número de elementos correspondentes a cada orientação											
Vão	Orientação	Norte	Área (m2)	Sul	Este	Área (m2)	Oeste	Área (m2)			
Janelas			0.98	1			1	0.93			
Portas							2	4.3			
4.2.	Caracterização dos vãos										
Assinalar a opção a que corresponde											
		Caixilharia				Vidro		Protecção			
Vão	Material	Alumínio	PVC	Medeira	Outro	Simple	Duplo	Estores	Portadas	Nada	Outros
Portas		X				X				X	
Janelas				X		X				X	

5	Elementos externos										
5.1.	Assinalar a opção a que corresponde										
Elemento	Material	Madeira	Betão	Metais	Xisto	Granito	Outro	Não existe			
Escadas						X					
Alpendre / Varanda								X			
Chaminé								X			
5.2.	Orientação do Alpendre/ Varanda (m)										
5.3.	Dimensões do Alpendre/ Varanda (m)										
5.4.	Elementos de sombreamento natural					Existem					
					Não existem		X				
Assinalar as opções a que corresponde											
Orientação					Tipo de Vegetação						
Norte		Sul		Este	Oeste						

6	Observações									
										
<ul style="list-style-type: none"> ① Terra/pedras de pequenas dimensões (0,05) ② Granito (0.5m) ③ Granito (0.3m) 										

7 Fotografias

