

Vera Mónica Ferreira Godinho

Caracterização das argamassas em edifícios antigos
de Viseu



Vera Mónica Ferreira Godinho

Caracterização das argamassas em edifícios antigos
de Viseu

Tese de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Professor José Avelino Loureiro Moreira Padrão



À memória da minha Avó

RESUMO

Nos últimos anos tem-se verificado um enorme interesse na conservação e reabilitação de edifícios antigos, particularmente os localizados em centros históricos. Sendo a argamassa um dos componentes deste tipo de construções é importante definir as características que estas devem apresentar, aquando da sua substituição/conservação, de modo a garantir a compatibilidade necessária com os suportes de edifícios antigos. Neste contexto é necessário conhecer as características físicas, químicas e mecânicas das argamassas antigas.

Neste trabalho, após a revisão bibliográfica, aborda-se inicialmente a informação mais atual sobre os estudos já realizados sobre argamassas antigas, bem como a sua constituição e história, descrevem-se as patologias mais comuns, encontradas nas argamassas neste tipo de construções.

Na elaboração desta dissertação, pretende-se caracterizar as argamassas existentes no centro histórico de Viseu, através do seu estudo *in situ* e da recolha de amostras em diversos edifícios aí situados, para a posterior realização de ensaios laboratoriais. O objetivo é o de adquirir o máximo de conhecimento sobre este material, que poderá depois ser transmitido à comunidade para ser utilizado em futuros trabalhos de conservação e/ou restauro em construções situadas no centro histórico de Viseu e nesta região.

Da recolha de material utilizam-se doze amostras pertencentes a quatro edifícios distintos sendo três localizados no centro histórico e outro na periferia de Viseu. Para a caracterização das argamassas recorreu-se a ensaios laboratoriais, designadamente a análise granulométrica, limites de consistência, equivalente de areia, azul metileno e o ensaio de compressão, realizados no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil de Viseu. Para complementar o estudo foram analisadas sete amostras através da análise SEM/EDS, realizado no Laboratório da UTAD.

ABSTRACT

In the last few years we have been notice a huge interest in conservation and rehabilitation of old buildings, mainly the ones located in the historical centers. Being the mortar one of the components of this type of constructions, it's important to define the characteristics that they should have in order to guarantee the necessary compatibility with the old buildings supports. In this context it is important to know the physical, chemical and mechanical characteristics of the ancient mortars.

After the bibliographic review, in this work, we will at first discuss the most current information about the studies that were already conducted on ancient mortars, as well as their constitution and history, describing the most common pathologies found in the mortars in this type of construction.

In this dissertation, we pretend to characterize the existing mortars in Viseu, historical center, through *in situ* studies and collecting samples in different buildings that are located in this area for subsequent conducting of laboratory testing. The aim is to acquire the maximum knowledge about this material that afterwards could be transmitted to the community in order to be used for future conservation works and/or restoration of the constructions located in Viseu, historical center and in this region.

From the material collected are used twelve samples belonging to four distinct buildings, being three of them located in Viseu, historical center and the other one on Viseu periphery. For the mortar characterization we used the laboratory tests, namely the sieve analysis, consistency limits, sand equivalent test, methylene blue and the compression test, that took place at the Geotechnical Laboratory of the Department of Civil Engineering of Viseu. To complement the study seven samples were analyzed through the SEM/EDS that took place at the UTAD Laboratory.

PALAVRAS CHAVE

Ensaio experimental
Argamassas
Reabilitação
Resistência à compressão
Análise Granulométrica
Ensaio SEM/EDS

KEY WORDS

Experimental tests
Mortars
Rehabilitation
Compressive strength
Particle size analysis
Experiment SEM/EDS

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação foi, para mim, uma tarefa algo complicada de realizar pelo esforço necessário e pelo tempo dispendioso. Como tal, o apoio de todas as pessoas que me acompanharam neste percurso foi bastante importante. Os meus sinceros agradecimentos a todas elas, das quais destaco.

Ao meu orientador, professor José Padrão pela energia e motivação demonstradas ao longo de todo o trabalho, pelos conhecimentos partilhados, pela disponibilidade e amizade demonstrada.

Ao engenheiro Marco Filipe e ao técnico Marco Vinhanova pela disponibilidade imediata na realização dos ensaios e pelo apoio prestado.

Ao professor João Marado pelos conselhos, disponibilidade e ajuda na interpretação de alguns resultados prestados durante a realização dos ensaios.

À Viseu Novo, SRU - Sociedade de Reabilitação Urbana de Viseu pela cedência das peças desenhadas de cada edifício estudado e por facilitarem o acesso aos mesmos.

À Unidade de Microscopia Eletrónica, em particular ao Professor Doutor Jorge Tiago Queirós da Silva Pinto e à Doutora Lisete Fernandes, pelo tempo disponibilizado na realização dos ensaios de análise química (SEM/EDS).

A todos os meus colegas e amigos de curso que me acompanharam ao longo do percurso académico, fundamentalmente aquando do desenvolvimento desta dissertação.

À Joana Figueiredo por todos os fins-de-semana que me “atura”, pelos conselhos e amizade que tem demonstrado.

À Liliana Costa pelos dias intensivos de trabalho, companheirismo, encorajamento e confiança que depositou em mim. Um exemplo a seguir.

Ao André Costa e ao Tiago Colaço, um muito obrigado, por toda a paciência e amizade ao longo destes anos.

Ao Luís Melo e ao Luís Correia. Mesmo estando longe, estão sempre presentes na minha vida. Um obrigado pelo carinho demonstrado e pela paciência ao longo destes últimos anos.

À minha “irmã” Ana Filipa por todo o apoio que me tem dado ao longo destes anos de vida, pela ajuda e carinho prestado nos bons e nos maus momentos. Como, aos meus “pais adotivos” por toda a educação que diretamente e indiretamente me transmitiram para ser uma pessoa melhor.

À minha tia Sónia e tio Carlos por todos os momentos que me proporcionaram, pela alegria e boa disposição.

Ao meu namorado Hugo Ferreira, pela compreensão, paciência, incentivo e carinho durante esta fase.

À minha irmã Rita por todo o apoio que me tem dado.

À minha família, em especial aos meus pais e ao meu avô, pelo carinho, incentivo, apoio e valores transmitidos, que nunca mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida, pois sem eles, de certeza que nada era do que sou hoje.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE QUADROS	xix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xxi
ABREVIATURAS E SIGLAS	xxiii
GLOSSÁRIO	xxv
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento geral	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Organização e estrutura do texto	2
2. Argamassas antigas – enquadramento histórico e principais características	5
2.1 Introdução	5
2.2 Breve apontamento histórico	6
2.3 Composição das argamassas antigas	9
2.3.1 Ligante	9
2.3.2 Agregado	10
2.3.3 Água de amassadura	11
2.3.4 Adjuvantes	12
2.4 Caracterização das argamassas antigas	12
2.5 Características químicas, físicas e mecânicas	13
2.6 Patologias das argamassas	15
2.6.1 Ação dos poluentes atmosféricos	16
2.6.2 Efeitos dos ciclos gelo-degelo	17
2.6.3 Cristalização de sais solúveis	17
2.6.4 Variações térmicas e higrométricas	18
2.6.5 Deterioração devida a causas biológicas	18
2.6.6 Fendilhação	18

3.	Caracterização e descrição dos edifícios em estudo	21
3.1	Edifício 1 (Ed.1)	22
3.1.1	Identificação das amostras retiradas do Ed.1	24
3.2	Edifício 2 (Ed.2)	28
3.2.1	Identificação das amostras retiradas do Ed.2	30
3.3	Edifício 3 (Ed.3)	34
3.3.1	Identificação das amostras retiradas do Ed.3	35
3.4	Edifício 4 (Ed.4)	37
4.	Descrição do trabalho experimental e dos métodos de ensaio	39
4.1	Introdução	39
4.2	Descrição dos ensaios realizados	41
4.2.1	Determinação da densidade das partículas	41
4.2.2	Análise granulométrica	42
4.2.3	Determinação dos limites de Atterberg	46
4.2.4	Ensaio do azul-de-metileno	49
4.2.5	Ensaio de Equivalente de Areia	50
4.2.6	Ensaio de Compressão	52
4.2.7	Análise SEM/EDS	56
5.	Apresentação e discussão dos resultados obtidos	57
5.1	Composição química e mineralógica elementar	57
5.2	Determinação da densidade das partículas	58
5.3	Análise granulométrica	59
5.4	Proposta de uma curva granulométrica média	65
5.5	Determinação dos limites de Atterberg	66
5.6	Ensaio do azul-de-metileno	68
5.7	Ensaio do equivalente de areia	72
5.8	Ensaio de compressão	72
5.9	Análise SEM/EDS	73
5.10	Considerações finais	79
6.	Conclusões	81
6.1	Conclusões gerais	81
6.2	Desenvolvimentos futuros	84

Referências	85
Apêndice 1 – Calibração do densímetro.....	89
Apêndice 2 – Diagramas do ensaio de compressão.....	91
Anexo 1 – Peças desenhadas do caso de estudo Ed.1	95
Anexo 2 - Peças desenhadas do caso de estudo Ed.2	103
Anexo 3 - Peças desenhadas do caso de estudo Ed.3	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Construção em Terra; Mhirab de antiga mesquita em estuque de gesso; Parede Pombalina com argamassa de cal aérea (Veiga, 2009)	7
Figura 2-2: Construção atual com estrutura e revestimento baseados em cimento (Veiga, 2009)	7
Figura 2-3: Argamassa Romana de Conímbriga; Argamassa Romana de Mértola (Veiga, 2009)	8
Figura 2-4: Revestimentos modernos com base em cimento (Veiga, 2009)	8
Figura 2-5: Constituição de uma argamassa antiga	9
Figura 2-6: Categoria dos ligantes (adaptado: Miguel, 2008)	10
Figura 2-7: Classificação dos agregados (adaptado: Miguel, 2008)	11
Figura 2-8: Processos de deterioração das argamassas	16
Figura 2-9: Cristalização de sais à superfície	17
Figura 2-10: A cristalização de sais logo abaixo pode levar à esfoliação das camadas	18
Figura 2-11: Fenda devido a diferentes materiais aplicados	18
Figura 3-1: Fachada Principal do Ed1	22
Figura 3-2: Rede tipo hexagonal de arame (“rede de capoeira”)	23
Figura 3-3: Patologias encontradas no Ed. 1	23
Figura 3-4: Fachada principal do Ed.2	28
Figura 3-5: Travamento das paredes de tabique	29
Figura 3-6: Patologias encontradas no Ed. 2	29
Figura 3-7: Fachada principal do Ed.3	34
Figura 4-1: Esquema das fases de preparação duma amostra de solo para ensaios. (adaptado: E195 - 1966)	40
Figura 4-2: Determinação da densidade das partículas	42
Figura 4-3: Densímetro utilizado no ensaio	43
Figura 4-4: Densímetro suspenso em água, quando o solo é disperso (Das, 2002)	43
Figura 4-5: Ensaio da Peneiração	44
Figura 4-6: Amostras com água oxigenada a 20 volumes	44
Figura 4-7: Ensaio do ácido	45
Figura 4-8: Dispersão do solo	45
Figura 4-9: Amostras de Sedimentação	46
Figura 4-10: Determinação do limite de liquidez	47
Figura 4-11: Determinação do limite de plasticidade	48
Figura 4-12: Caulinite e amostra em estudo	49
Figura 4-13: Ensaio do azul-de-metileno	50
Figura 4-14: Ensaio de Equivalente de Areia	51
Figura 4-15: Determinação de h 1 e h 3	51

Figura 4-16: Amostras para ensaio à compressão.....	52
Figura 4-17: Amostra dos cubos de cimento	53
Figura 4-18: Amostra dos prismas de metal	53
Figura 4-19: Amostras antes do ensaio de resistência à compressão.....	54
Figura 4-20: Amostras após da realização do ensaio.....	55
Figura 4-21: Microscópio de Varrimento Eletrônico (Cepeda, 2009).....	56
Figura 5-1: Amostra com matéria orgânica	57
Figura 5-2: Método da sedimentação, amostra 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	59
Figura 5-3: Amostra 1 do Ed. 1.....	68
Figura 5-4: Amostras 2, 3 e 4 do Ed. 1	68
Figura 5-5: Amostras 5, 7 e 9 do Ed. 2	69
Figura 5-6: Amostras 6 e 8 do Ed. 2	69
Figura 5-7: Amostras 10 e 11 do Ed. 3	70
Figura 5-8: Amostra 12 do Ed. 4.....	70
Figura 5-9: Espectro da amostra 1	74
Figura 5-10: Espectro da amostra 3	75
Figura 5-11: Espectro da amostra 6	75
Figura 5-12: Espectro da amostra 8	76
Figura 5-13: Espectro da amostra 10	76
Figura 5-14: Espectro da amostra 11	77
Figura 5-15: Espectro da amostra 12	77

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2-1: Classificação química de argamassas antigas (adaptado: Velosa, 2006).....	14
Quadro 2-2: Algumas propriedades físicas e mecânicas de argamassas antigas. (adaptado: Velosa, 2006).....	15
Quadro 2-3: Causas de fissuração de rebocos (Silva, 2002)	20
Quadro 3-1: Caracterização da amostra 1.....	24
Quadro 3-2: Caracterização da amostra 2.....	25
Quadro 3-3: Caracterização da amostra 3.....	26
Quadro 3-4: Caracterização da amostra 4.....	27
Quadro 3-5: Caracterização das amostras 5 e 6.....	30
Quadro 3-6: Caracterização da amostra 7.....	31
Quadro 3-7: Caracterização da amostra 8.....	32
Quadro 3-8: Caracterização da amostra 9.....	33
Quadro 3-9: Caracterização da amostra 10.....	35
Quadro 3-10: Caracterização da amostra 11.....	36
Quadro 3-11: Caracterização da amostra 12.....	37
Quadro 3-12: Características dos edificios antigos	38
Quadro 4-1: Estados de comportamento de um solo.....	46
Quadro 5-1: Resultados da matéria orgânica.....	58
Quadro 5-2: Densidade das partículas das amostras (G).....	58
Quadro 5-3: Classificação dos solos.....	59
Quadro 5-4: Percentagens de fração fina e média do Ed.1.....	60
Quadro 5-5: Percentagens de fração fina e média do Ed.2.....	61
Quadro 5-6: Percentagens de fração fina e média do Ed.3.....	62
Quadro 5-7: Percentagens de fração fina e média do Ed.4.....	63
Quadro 5-8: Resumo das percentagens das frações finas e médias.....	64
Quadro 5-9: Percentagens de fração fina e média das curvas propostas	65
Quadro 5-10: Determinação do limite de liquidez (LL).....	66
Quadro 5-11: Determinação do limite de plasticidade (LP).....	67
Quadro 5-12: Plasticidade da amostra 12 do Ed.4.....	67
Quadro 5-13: Resultados de cada amostra do ensaio do azul-de-metileno	71
Quadro 5-14: Síntese dos valores obtidos no ensaio do equivalente de areia	72
Quadro 5-15: Resultados de resistência à compressão das amostras	72
Quadro 5-16: Percentagens dos elementos químicos detetados através do SEM/EDS.....	73
Quadro 5-17: Fotografias com resolução de 300x das amostras analisadas	78
Quadro A-1: Distâncias hs (mm).....	89
Quadro A-2: Determinação dos parâmetros de calibração do densímetro	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5-1: Curva granulométrica das amostras 1, 2, 3 e 4, pertencentes ao edifício 1	60
Gráfico 5-2: Curva granulométrica das amostras 5, 6, 7, 8 e 9 pertencentes ao edifício 2	61
Gráfico 5-3: Curva granulométrica das amostras 10 e 11 pertencentes ao edifício 3	62
Gráfico 5-4: Curva granulométrica das amostras 12 pertencentes ao edifício 4.....	63
Gráfico 5-5: Proposta da curva granulométrica.....	65
Gráfico 5-6: Determinação do limite de liquidez da amostra 12, Ed.4	66

ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.: Antes de Cristo

ASTM: American Society for Testing and Material

CO₂: Dióxido de carbono

DEC: Departamento de Engenharia Civil

ESTGV: Escola Superior Tecnologia e Gestão de Viseu

IP: Índice de Plasticidade

LL: Limite de Liquidez

LNEC: Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LP: Limite de Plasticidade

NP: Norma Portuguesa

UTAD: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Séc.: Século

SEM/EDS: Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive Spectoscopy

GLOSSÁRIO

Aditivo – material inorgânico finamente dividido, que pode ser adicionado à argamassa com o objetivo de obter ou melhorar propriedades específicas.

Adjuvante – material orgânico ou inorgânico adicionado em pequenas quantidades com o objetivo de modificar as propriedades da argamassa fresca ou endurecida.

Adsorção – adesão de moléculas de um fluido (o adsorvido) a uma superfície sólida (o adsorvente).

Agregado – material granular que não intervém na reação de endurecimento da argamassa.

Água de amassadura – água usada para misturar os constituintes de uma argamassa, tornando-os numa massa homogênea, plástica e trabalhável.

Alvenaria – conjunto de pedras, de tijolos ou de blocos, com ou sem argamassa, que forma paredes, muros e alicerces. Quando esse conjunto sustenta a casa, denomina-se alvenaria estrutural.

Alvenaria de tabique – tipo de parede leve, de pequena espessura, utilizada normalmente para separar compartimentos, e constituída por uma estrutura de madeira, ligada por conetores metálicos, preenchida e revestida por argamassa à base de terra.

Argamassa – material obtido pela mistura de um ligante (cimento, cal hidráulica ou cal aérea) com um agregado (areia) e água. Utiliza-se como ligante de materiais de construção (alvenaria de tijolo, pedra, etc.) assim como em rebocos, para o que se utilizam dosagens e areias apropriadas.

Argamassa hidráulica – argamassa que contém um ligante mineral hidráulico, que endurece com água.

Argamassa industrial – argamassa doseada e misturada em fábrica. Pode apresentar-se “em pó”, requerendo apenas a adição de água, ou “em pasta”, já amassada fornecida pronta a aplicar.

Cal – material muito utilizado em construção, obtido pela exposição de rocha calcária a temperaturas da ordem dos 900 a 1100°C, é utilizada entre outras situações na execução de algumas argamassas, estuques e acabamentos.

Existem, tanto devido à sua origem como ao modo de emprego e finalidade, vários tipos de cal:

- Cal aérea – a que faz presa somente ao ar.
- Cal apagada – hidróxido de cal que se forma submergindo a cal viva em água, servindo para executar argamassas.
- Cal comum – cal gorda.
- Cal em pasta – é quando se adiciona água à cal viva, numa quantidade em excesso.
- Cal em pó – é quando se adiciona água à cal viva, apenas numa quantidade suficiente para a sua hidratação.
- Cal gorda - a que provém de calcários muito puros contendo apenas até 5% de argila.
- Cal hidratada – cal apagada.
- Cal hidráulica – a que contem mais de 10 a 20% de argila fazendo presa e endurecendo sob a ação de água em excesso, ou ate debaixo de água.
- Cal magra – a que provem de calcários contendo 5 a 10% de argila.
- Cal viva – termo que designa a cal em forma de torrões, quando sai dos fornos.

Cimento – aglomerado obtido a partir do cozimento de calcários naturais ou artificiais. Misturado com água, forma um composto que endurece em contato com o ar. É usado com cal e areia na composição das argamassas. O cimento de uso mais frequente hoje é o Portland, cujas principais características são a sua resistência e a solidificação rápida.

Cimento-cola – mistura de ligantes hidráulicos, cargas, polímeros e outros aditivos orgânicos utilizados para colar materiais de revestimento.

Compressão – esforço que faz a peça tender a diminuir a sua dimensão segundo um determinado eixo.

Consistência – propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas.

Desagregação – separação das partes agregadas.

Durabilidade – resistência da argamassa a diferentes condições químicas, mecânicas e climáticas, que assegura o seu desempenho ao longo do tempo de vida útil.

Eflorescência – formação de cristais de sais à superfície de uma argamassa.

Flexão – curvatura de uma peça (barra, viga) sob a ação de forças perpendiculares ao eixo longitudinal, aplicadas em pontos onde a peça não está sustentada.

Granulometria – distribuição, em percentagem, dos diversos tamanhos de grãos. Consiste na determinação das dimensões das partículas do agregado e de suas respectivas percentagens de ocorrência.

Impermeabilidade – capacidade de uma argamassa para prevenir a entrada de água no substrato, sob uma certa pressão.

Ligante – produto capaz de aglomerar uma porção elevada de materiais, conferindo-lhes coesão e resistência, e de que são exemplos colas, resinas, gesso, cal, etc.

Ligantes (hidráulicos) – produtos minerais, como o cimento, cal, etc. que formam um composto estável, insolúvel e rígido.

Ligantes hidrófilos – ligante com afinidade à água, quando misturado com a água forma uma pasta que endurece, podendo adicionar outros materiais.

Ligantes hidrófobos – ligante onde a água não tem qualquer papel na sua produção e endurecimento.

Peneiro – utensílio, provido de aberturas com dimensões iguais e uniformemente espaçadas, destinado à separação de materiais granulares por categorias de dimensões.

Plasticidade – propriedade que permite à argamassa deformar-se sem ruptura, sob a ação de forças superiores às que promovem a sua estabilidade, mantendo a deformação após terminado o esforço deformante.

Reforço – perfis, arames, redes ou fibras adicionadas a argamassas, ou incorporadas num reboco ou no sistema, com o objetivo de aumentar a sua resistência mecânica.

Resistência à compressão – força máxima por unidade de área suportada por uma argamassa endurecida, quando sujeita a uma força de compressão.

Retenção de água – capacidade de uma argamassa hidráulica fresca para reter a água de amassadura, quando exposta à sucção do suporte, permitindo o seu endurecimento normal.

Retração – redução do volume de uma argamassa, sem suporte, durante o seu endurecimento.

Revestimento – camada protetora de uma superfície. Em obra são consideradas as seguintes operações com revestimento: reboco, impermeabilizantes, anticorrosivos, estuques, pintura, aplicação e telhas em cobertura e as películas decorativas.

Tempo de endurecimento – intervalo de tempo necessário para que uma argamassa desenvolva a sua resistência. Na prática corresponde ao tempo necessário à sua utilização em serviço.

Tempo de presa – intervalo de tempo que decorre desde o início até ao final do processo de endurecimento de um produto. A presa é produzida pela reação do cimento com a água.

Tração – força aplicada a um corpo segundo um eixo, de modo a produzir-lhe um alongamento na direção desse eixo.

1. Introdução

1.1 Enquadramento geral

Nos últimos anos tem-se verificado um crescente aumento da investigação relacionada com a conservação e reabilitação de edifícios antigos, em particular os localizados em centros históricos, tais como edifícios monumentais, habitacionais e comerciais. A este facto não é alheio o aumento de atividade de construção neste sector da construção civil.

Particularmente no que diz respeito às argamassas antigas, existem várias referências à sua utilização na construção, na reabilitação e no restauro do património edificado, tendo vindo a ser objeto de estudo em diversos trabalhos de investigação realizados em torno da sua caracterização (Falcão, 2010).

Sendo a argamassa um dos principais componentes de proteção dos edifícios antigos, torna-se importante definir as principais exigências e as características que as argamassas de substituição devem apresentar de modo a garantir a compatibilidade necessária com os suportes dos edifícios antigos. Neste contexto é essencial que haja uma caracterização adequada das argamassas antigas, nomeadamente as suas características físicas, químicas e mecânicas para que se possa seleccionar uma argamassa de reparação idêntica e compatível.

Com este trabalho pretende-se adquirir uma vasta informação sobre as argamassas em estudo do centro histórico de Viseu, para que esta seja uma ferramenta para trabalhos futuros, de reparação ou mesmo de substituição.

Recorreu-se a alguns ensaios laboratoriais como ferramenta de caracterização das argamassas em estudo. Estes permitiram identificar as características físicas, químicas e mecânicas das amostras.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho consiste na caracterização de argamassas antigas do centro histórico de Viseu. Para tal foram assumidos alguns objetivos parciais:

- Resumir a informação mais atual sobre estudos já feitos de argamassas antigas;
- Conhecer as características e patologias deste tipo de argamassas;
- Identificar e reunir dados sobre os edifícios em estudo;
- Dar a conhecer os ensaios mais utilizados na caracterização das amostras extraídas dos edifícios;
- Analisar os resultados obtidos dos ensaios e tentar caracterizar as amostras;
- Fornecer informações que possam a vir ser relevantes em futuros trabalhos de conservação e/ou reabilitação em edifícios situados no centro histórico, sobretudo os da cidade de Viseu.

1.3 Organização e estrutura do texto

Este trabalho está dividido em 6 capítulos distintos. Assim:

- Capítulo 1 apresenta-se o trabalho que se irá desenvolver ao longo da dissertação, fazendo-se o enquadramento geral e os objetivos a alcançar;
- Capítulo 2 resumem-se aos conhecimentos mais atuais no domínio das argamassas antigas. Após um breve apontamento histórico, explica-se a sua composição e caracterização e descrevem-se as patologias mais importantes;
- Capítulo 3 caracteriza-se e descreve-se os edifícios em estudo, bem como se representa as amostras extraídas em cada edifício;
- Capítulo 4 descrevem-se os procedimentos experimentais realizados. Explica-se quais os ensaios realizados em cada amostra de argamassa;
- Capítulo 5, apresentam-se todos os resultados obtidos dos ensaios referidos no capítulo anterior;
- Por último, no capítulo 6, apresentam-se as principais conclusões retiradas do presente trabalho, assim como se fazem algumas considerações para eventuais trabalhos futuros.

São ainda apresentados dois apêndices:

- Apêndice 1 – Calibração do densímetro para o ensaio de granulometria;
- Apêndice 2 – Gráficos resultantes do ensaio de compressão.

E três anexos referentes às peças desenhadas de cada edifício:

- Anexo 1 – Plantas referentes ao edifício 1;
- Anexo 2 – Plantas referentes ao edifício 2;
- Anexo 3 – Plantas referentes ao edifício 3.

2. Argamassas antigas – enquadramento histórico e principais características

2.1 Introdução

Nos últimos anos tem-se verificado um crescente interesse na conservação e reabilitação de edifícios antigos. Neste contexto, os revestimentos de paredes apresentam uma maior importância, uma vez que deles depende o aspeto final e a proteção do edifício. As argamassas são um dos componentes da proteção do edifício que importa caracterizar, por forma a garantir a compatibilidade com os materiais de construção atuais. Além disso, o seu estudo torna-se relevante para que possa fornecer informações importantes sobre a história do edifício.

Os requisitos a que cada tipo de argamassa deve atender em serviço dependem da sua exposição ambiental e ao seu papel na integridade estrutural do elemento de alvenaria que se encontra no interior da parede. Requisitos técnicos tais como a aderência, a resistência, a elasticidade, a transmissão de vapor, a velocidade de secagem, a dilatação térmica, as suas propriedades estéticas, a sua capacidade para lidar com a contaminação do sal e os ciclos gelo-degelo podem ser quantificadas (Van Bale *et al.*, 2010).

Um dos problemas de deterioração nos edifícios históricos está associado à manutenção e restauro das argamassas. Por exemplo, têm-se verificado anomalias graves relacionadas com a aplicação de argamassas à base de cimento sobre suportes antigos. Quando existe uma aplicação a suportes com revestimentos de argamassas com propriedades muito diferentes, estes tornam-se incompatíveis, podendo resultar na fissuração e destacamento dos novos revestimentos. Para que se inicie uma operação de reabilitação é necessário garantir a compatibilidade de

resistências físico-químico e mecânico entre as novas argamassas empregues e as antigas, não desprezando o aspeto original (Silva, 2001).

Assim, quando se coloca o problema de reparar ou reabilitar uma determinada obra, torna-se indispensável obter informações sobre a natureza dos materiais que foram empregues, de forma a poder recomendar-se materiais de reparação/reabilitação que sejam compatíveis com os existentes.

2.2 Breve apontamento histórico

As argamassas têm vindo a ser utilizadas desde alguns milénios antes de cristo até à atualidade. Observa-se a sua aplicação como suporte estrutural de alvenarias, revestimento exterior e interior de paredes de edifícios, como suporte de pintura mural ou como argamassa de colagem de azulejos, pavimentos e mosaicos (Falcão, 2010).

Têm vindo a sofrer grandes alterações, o que tem permitido a descoberta de novas argamassas. A terra e o barro foram dos primeiros materiais a serem utilizados nas argamassas, por já se encontrarem na natureza. Mais tarde, foi adicionada palha e areia com a finalidade de melhorar a sua consistência e resistência.

Ocorreram significativos avanços na tecnologia de argamassas durante os tempos clássicos (gregos e romanos), em particular com o uso sistemático de aditivos pozolânicos para produzir misturas hidráulicas (Van Bale *et al.*, 2010).

A introdução de ligantes artificiais, como o gesso ou a cal, conferia propriedades impermeabilizantes à mistura, estendendo a sua utilização aos revestimentos de paredes e pavimentos e à estabilização das alvenarias. Para além da areia, com uma utilização mais generalizada nas argamassas antigas, era também comum usar-se a brita ou o pó de pedra. Estes constituintes, depois de misturados entre si, nas proporções corretas, davam origem a uma massa homogénea capaz de ser trabalhada, adquirindo características próprias.

A terra, o gesso e a cal (Figura 2-1) foram os três tipos de ligantes mais comuns até ao final do séc. XVIII. A partir dessa época, e até aos nossos dias, vários tipos de cimentos naturais e, mais tarde, o cimento Portland, começaram a tomar o lugar desses ligantes tradicionais (Figura 2-2).

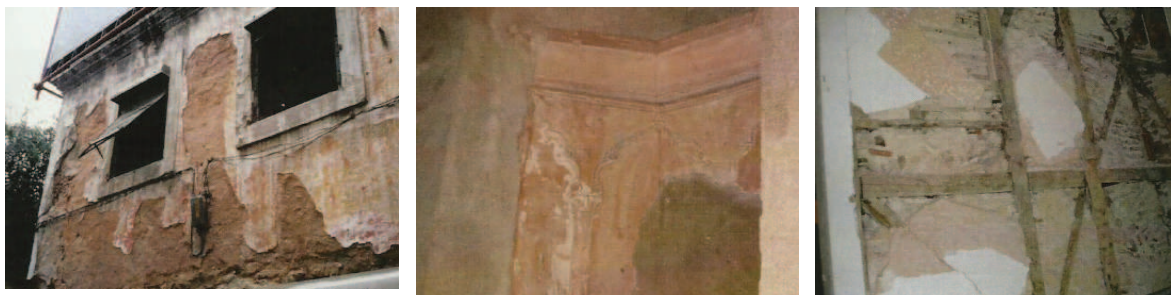


Figura 2-1: Construção em Terra; Mhirab de antiga mesquita em estuque de gesso; Parede Pombalina com argamassa de cal aérea (Veiga, 2009)



Figura 2-2: Construção atual com estrutura e revestimento baseados em cimento (Veiga, 2009)

A terra foi, provavelmente, o ligante mais antigo utilizado em argamassas, tendo sido identificado em construções da Turquia datadas de 6000 a.C.. Já os egípcios são apontados como os primeiros a utilizar o gesso em argamassas de construção, datadas no séc. XV a.C.. A civilização romana teve grande importância no desenvolvimento das argamassas, por ter aproveitado as características das pozolanas naturais (cinzas vulcânicas ricas em sílica e alumina) bem como pela introdução de areias, cerâmicas moídas, cal hidratada e matéria orgânica na composição das argamassas, com o objetivo de aumentar a sua resistência, o que explica a sua durabilidade. As argamassas romanas são um exemplo disso como se pode observar em Conímbriga e em Mértola (Figura 2-3). A maioria das argamassas antigas existentes na Europa são de cal aérea, quer seja porque os grandes construtores, que foram os Romanos, a utilizaram preferencialmente, quer seja também pela sua maior durabilidade e consequente capacidade de sobrevivência até aos nossos dias (Veiga, 2009).

A adição de constituintes com características pozolânicas contribuiu de modo decisivo, para a grande durabilidade e resistência das argamassas romanas, gregas e árabes. Fibras naturais, como a palha e os pelos de animais, eram por vezes adicionadas à argamassa, para melhorar a resistência à fendilhação, principalmente em argamassas de terra.



Figura 2-3: Argamassa Romana de Conímbriga; Argamassa Romana de Mértola (Veiga, 2009)

No séc. XIV, a arte islâmica fez uso das argamassas de cal, gesso e pó de mármore em trabalhos lavrados em estuque, com efeitos geométricos de grande esplendor decorativo. Com a descoberta do cimento artificial, mais conhecido por cimento Portland, as argamassas de cal foram sendo gradualmente substituídas, por serem muito mais resistentes à compressão e apresentarem elevada rigidez. Com efeito, a cal da argamassa fresca, quando aplicada e exposta ao ar, endurece transformando-se lentamente em carbonato de cálcio, tornando-se, assim, insolúvel em água e cada vez mais resistente, de uma forma gradual, do exterior para o interior. Se esta transformação se der em boas condições e se não existirem ações de degradação no período inicial, a argamassa pode atingir resistências consideráveis e elevada durabilidade (Veiga, 2009).

Só a partir da década de 50 do séc. XX é que se começou a generalizar o uso de argamassas de cimento Portland em revestimentos de paredes em Portugal, alterando gradualmente o aspeto e a decoração das novas fachadas (Figura 2-4).



Figura 2-4: Revestimentos modernos com base em cimento (Veiga, 2009)

No entanto, tem-se vindo a verificar que as argamassas de cimento Portland, tendo uma menor durabilidade que as de cal, são incompatíveis com as construções antigas, como atrás foi referido. A argamassa de cal aérea pode melhorar as suas características ao longo do tempo. É muitas vezes, um erro substituir a argamassa de cal aérea, mesmo que seja por outra argamassa de cal de constituição semelhante. Por um lado, devido à aplicação ser menos cuidada, dada a falta de preparação da mão-de-obra atual para este tipo de trabalho, e por outro lado, perdem-se décadas de endurecimento (carbonatação) da cal (Veiga, 2009).

É necessário nos edifícios históricos existir um conhecimento aprofundado da sua argamassa. Só assim se poderá realizar uma manutenção ou conservação eficaz, garantindo a sua sustentabilidade futura.

2.3 Composição das argamassas antigas

As argamassas podem-se definir como uma mistura de três componentes básicos: ligante, agregados e água, com a adição de adjuvantes e aditivos, quando necessário (Figura 2-5).

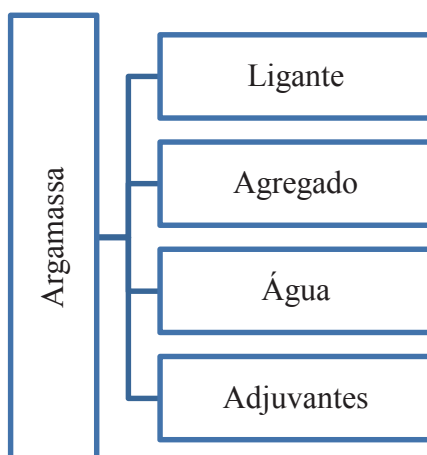


Figura 2-5: Constituição de uma argamassa antiga

Esta mistura deve ser homogénea e com quantidades de acordo com o tipo de argamassa pretendida. As argamassas apresentam-se como sendo um material de boa plasticidade, de fácil aplicação após mistura, resistente e aderente quando endurecido (Paulo, 2006).

2.3.1 Ligante

Os ligantes são materiais cuja propriedade principal é ganhar presa e endurecer, quando misturados com água. Servem para ligar, unir ou aderir outros materiais de construção. Os ligantes dividem-se em dois grupos principais, os ligantes hidrófilos e os ligantes hidrófobos (Figura 2-6).

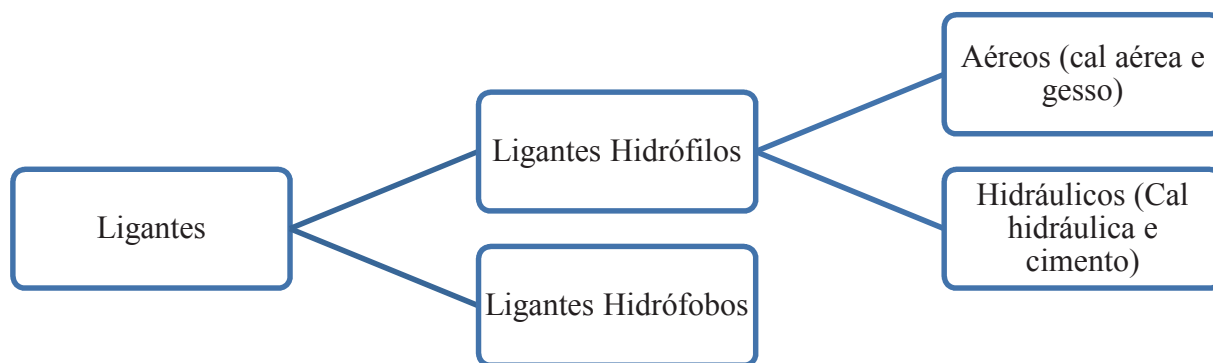


Figura 2-6: Categoria dos ligantes (adaptado: Miguel, 2008)

Os ligantes hidrófilos são ligantes que têm afinidade com a água, isto é, quando misturados com ela formam uma pasta que endurece, podendo-se adicionar outros materiais. Estes ligantes apresentam-se sob a forma de pó e são aplicados particularmente em argamassas. Num ligante hidrófilo aéreo quando misturado com a água forma uma pasta, que endurece ao ar, a pasta depois de endurecida não é resistente à água (ex.: gesso). Um ligante hidrófilo hidráulico é um ligante que, misturado com água, forma uma pasta que endurece ao ar ou dentro de água. Neste caso, a pasta depois de endurecida tem a capacidade de resistir à água (ex.: cimento).

Os ligantes hidrófobos são ligantes onde a água não tem qualquer papel na sua produção e endurecimento. Este ligante apresenta-se sob a forma de líquidos viscosos ou soluções resinosas (ex.: alcatrão).

A cal é um dos ligantes mais antigos. Começou a ser utilizada pelos gregos, que inicialmente juntavam areia à mistura e só mais tarde começaram a combinar com pozolanas, obtendo um produto com características de ligante hidráulico, apresentando-se como exemplo o cimento. No entanto, foram os romanos que mais a utilizaram, tirando maior partido desta mistura de cal com pozolanas. A cal aérea tem presa e endurecimento somente ao ar, enquanto a cal hidráulica tem presa ao ar e debaixo de água. Portanto, as suas aplicações na construção civil podem ser diversas. Em argamassas de reabilitação, a cal hidráulica é o ligante que, possuindo presa hidráulica, possibilita a obtenção de propriedades mecânicas mais elevadas, bem como uma melhor trabalhabilidade e um bom acabamento final.

2.3.2 Agregado

Agregado é um material composto por partículas com formas e volumes diferentes. É na maioria das vezes, o elemento presente em maior percentagem nas argamassas. Tem como função diminuir a retração, melhorar a compacidade, a impermeabilidade e a resistência mecânica da argamassa. Uma vez que é o componente da argamassa, confere estabilidade volumétrica e melhora o comportamento mecânico, diminuindo também os vazios presentes na mistura, aquando uma granulometria adequada.

Os agregados classificam-se segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente (Figura 2-7). Segundo a sua origem os agregados podem ser classificados como naturais, quando utilizados com a forma com que são extraídos (areia e cascalho) e como os industriais, quando são obtidos a partir de processos industriais e reciclados ou quando resultam do aproveitamento de materiais recuperados de outras construções (Paulo, 2006).

Segundo as dimensões das partículas, os agregados podem ser finos, quando possuem partículas de menores dimensões, que passam no peneiro de 4mm (naturais ou britadas), ou grossos, quando possuem origem sedimentar (rolado ou o seixo). Por fim, os agregados podem ser classificados segundo a massa volúmica, conforme a densidade do material que constitui as partículas (Miguel, 2008).

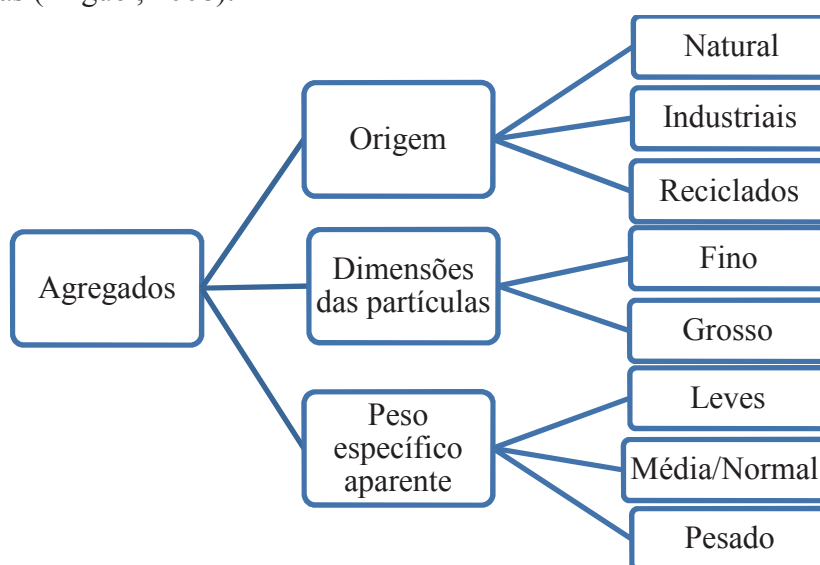


Figura 2-7: Classificação dos agregados (adaptado: Miguel, 2008)

Os agregados naturais são geralmente constituídos por partículas arredondadas e lisas, enquanto os agregados gerados pela moagem de rochas são angulosos, o que produz argamassas com melhor acondicionamento entre partículas e portanto com menor porosidade e maior resistência mecânica.

2.3.3 Água de amassadura

Existem dois componentes essenciais para a água de amassadura: a água de hidratação para o cimento e a água de molhagem dos agregados que permite uma boa ligação entre as partículas do sistema. A água em excesso é responsável pela retração e porosidade final das argamassas endurecidas.

A água de amassadura é fundamental para que as reações de hidratação ocorram e para promover a ligação entre as partículas de cimento e as dos agregados. Por isso, é importante que a qualidade da água de amassadura seja boa. A água que não seja potável não deve ser

utilizada na água de amassadura da argamassa, pois pode afetar as características do material devido às substâncias dissolvidas e em suspensão que pode possuir.

2.3.4 Adjuvantes

Os adjuvantes e aditivos estão cada vez mais a ser utilizados na produção de argamassas e a sua utilização tem como objetivo reforçar as suas propriedades. Designa-se como adjuvante o material, orgânico ou inorgânico, adicionado durante a amassadura aos componentes normais das argamassas, com o objetivo de modificar certas propriedades destes materiais, quer no estado fluido quer no estado sólido ou ainda no momento da passagem de um estado a outro. Com a adição de adjuvantes procura-se melhorar a trabalhabilidade, acelerar ou retardar a presa da argamassa, acelerar o endurecimento, aumentar a resistência aos ciclos de gelo/degelo, diminuir a permeabilidade aos líquidos, aumentar a aderência ao agregado, às argamassas e aos betões endurecidos e produzir argamassas leves (Miguel, 2008).

A utilização de aditivos orgânicos tais como gorduras animais ou vegetais são referidos essencialmente em argamassas de revestimentos antigos e em pinturas à base de cal. Por exemplo, o azeite ou borras de azeite confere à argamassa capacidade de impermeabilização, já o sebo fornece flexibilidade e resistência à água, mas não permite tão boa permeabilidade ao vapor de água, podendo ainda sofrer o ataque por agentes biológicos (bolores). Os aditivos inorgânicos como as cinzas vulcânicas ou telha moída conferem à cal propriedades hidráulicas. Em Portugal são conhecidas as pozolanas naturais nos Açores, usadas como aditivos em argamassas antigas, cujo estudo deste material tem vindo a ser desenvolvido (Falcão, 2010).

2.4 Caracterização das argamassas antigas

O aspeto mais importante na caracterização das argamassas antigas é o conhecimento da natureza do ligante utilizado. As argamassas antigas de cal e areia eram normalmente executadas numa proporção aproximada, em volume, de três partes de areia para uma parte de cal. Usadas para unir as pedras ou tijolos de alvenaria ou como revestimento de paredes exteriores e interiores, as argamassas antigas funcionavam tanto como um elemento estruturante como uma proteção das alvenarias existentes. Noutros casos tinham uma função decorativa, imitando materiais como o mármore ou os azulejos (Falcão, 2010).

O comportamento dos rebocos depende da natureza e das características do suporte e da composição das argamassas aplicadas. A resistência mecânica do suporte condicionava a dosagem e a natureza do ligante e dos agregados utilizados. O suporte, quanto menos resistente, menor deveria ser a quantidade de ligante utilizado, para não gerar forças demasiado grandes ao ponto de transmitirem tensões que poderiam resultar na degradação das alvenarias (Falcão, 2010).

A caracterização das argamassas antigas é um processo complexo, uma vez que estas argamassas passam, ao longo do tempo, por um sistema de evolução, com processos de cristalização, deterioração e recristalização, podendo existir uma alteração, deterioração e desgaste, dos seus constituintes, de tal forma que se torna difícil determinar com precisão a origem do ligante utilizado.

O comportamento da argamassa também pode ser alterado em função das alterações climáticas que ocorrem ao longo dos anos. Torna-se, assim, ainda mais relevante fazer um estudo das argamassas ao nível das suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Através da pesquisa de vários trabalhos de investigação, observa-se a existência de várias técnicas para a caracterização de argamassas antigas, sejam de natureza química, mineralógica, térmica ou microestrutural como, por exemplo, a análise química por via húmida, a termogravimetria, a análise granulométrica, entre outras (Velosa, 2006).

Estes métodos de análise ajudam a conhecer a constituição das argamassas antigas, a distinguir a sua função, por diferenças na sua composição e ainda, se necessário, a determinar a natureza de interações químicas entre os seus constituintes.

2.5 Características químicas, físicas e mecânicas

É fundamental conhecer algumas características químicas de forma a possibilitar a determinação dos constituintes das argamassas antigas. É bastante importante que exista esta classificação, principalmente quando se pretende distinguir entre argamassas hidráulicas e argamassas pozolânicas (Velosa, 2006).

Velosa (2006) afirma ainda que Moropoulou desenvolveu uma metodologia baseada na análise térmica de argamassas, medindo o conteúdo em carbonato de cálcio pela libertação de CO₂ e o conteúdo de água de adsorção e água estrutural, os quais se encontram interligados com os materiais empregues nas argamassas e formados nas reações químicas entretanto ocorridas. Esta relação é apresentada no Quadro 2-1.

Quadro 2-1: Classificação química de argamassas (adaptado: Velosa, 2006)

Tipo de argamassa	Água de adsorção	Água estrutural	CO₂ (%)	CO₂/água estrutural
Argamassa de cal	<1	<3	>32	7.5 – 10
Argamassa de cal e cimento Portland	>1	4 – 12	18 – 34	1.5 – 9
Argamassa de cal hidráulica	>1	3.5 – 6.5	24 – 34	4.5 – 9.5
Argamassa com pozolanas naturais	4.5 – 5.5	5 – 14	12 – 20	<3
Argamassa com pozolanas artificiais	1 – 4	3.5 – 8.5	22 – 19 10 – 19	3 – 6

Apesar das características químicas serem importantes, as características mecânicas e físicas são fundamentais para atingir um adequado conhecimento do material, permitindo a formulação de argamassas compatíveis. Com o passar do tempo existiram alterações nas características das argamassas, devido à erosão, à poluição atmosférica e com a própria reação química dos componentes da argamassa entre si e o suporte. Neste contexto, a produção de uma argamassa igual à original, poderá não atingir os parâmetros físicos e mecânicos necessários para produzir uma argamassa compatível. A determinação da resistência mecânica proporciona um dado valioso quanto ao estado de conservação da argamassa e permite avaliar o tipo de intervenção a efetuar (Velosa, 2006).

Segundo Velosa (2006), Moropoulou sintetizou, com base num leque de argamassas estudadas, algumas características, relacionando-as com a sua formulação (materiais e traço), conforme expresso no Quadro 2-2. Contudo, as características das argamassas antigas são extremamente variáveis, dependendo dos seus constituintes, tão diversos consoante a localização dos edifícios e da sua exposição ambiental.

Quadro 2-2: Algumas propriedades físicas e mecânicas de argamassas
(adaptado: Velosa, 2006)

Tipo de argamassa	Volume (mm ³)	Densidade aparente (g/cm ³)	Dimensão média poro (µm)	Superfície específica (m ² /g)	Porosidade total (%)	Resistência tração (MPa)	Traço em massa (Lig. Arg.)
Argamassa de Cal	170-230	1.5-1.8	0.8-3.3	1.3-3.3	30-45	<0.35	1:4-1:1
Argamassa de cal e cimento Portland	105-241	1.8-1.9	0.03-6.5	1.7-10.6	20-43	0.6-0.7	1:2-1:1
Argamassa de cal hidráulica	90-230	1.7-2.1	0.1-3.5	2.5-13.5	18-40	0.35-0.55	1:4-1:1
Argamassa com pozolanas naturais	160-265	1.6-1.9	0.1-1.5	3-14	30-42	>0.6	1:5-1:1
Argamassa com pozolanas artificiais	170-280	1.5-1.9	0.1-0.8	3.5-9	30-40	>0.55	1:3

2.6 Patologias das argamassas

A deterioração da argamassa pode ocorrer através de diversos processos (Figura 2-8), que podem ser classificados em processos físicos, mecânicos, químicos e biológicos. No entanto, essa distinção é meramente didática, visto que na prática os fenómenos sobrepõem-se frequentemente, ou seja, os processos químicos ou biológicos podem ter efeitos químicos ou mecânicos, por exemplo.

Particularmente no que se refere à degradação química, salienta-se a importância da identificação dos produtos de degradação que são formados a partir de reações de natureza química entre os componentes da argamassa e os agentes agressivos. Os produtos de degradação distinguem-se dos produtos de reação por serem nocivos, podendo causar a decomposição ou a degradação da argamassa e afetar as suas características físicas, sobretudo a resistência (Magalhães e Veiga, 2009).

Atualmente, vários estudos são desenvolvidos com o intuito de melhor compreender as consequências dos agentes de deterioração, através de amostras de argamassas de edifícios antigos ou através de câmaras climáticas de envelhecimento. Mesmo assim, ainda é muito difícil estabelecer uma classificação geral sobre os mecanismos de degradação (Marques, 2005).

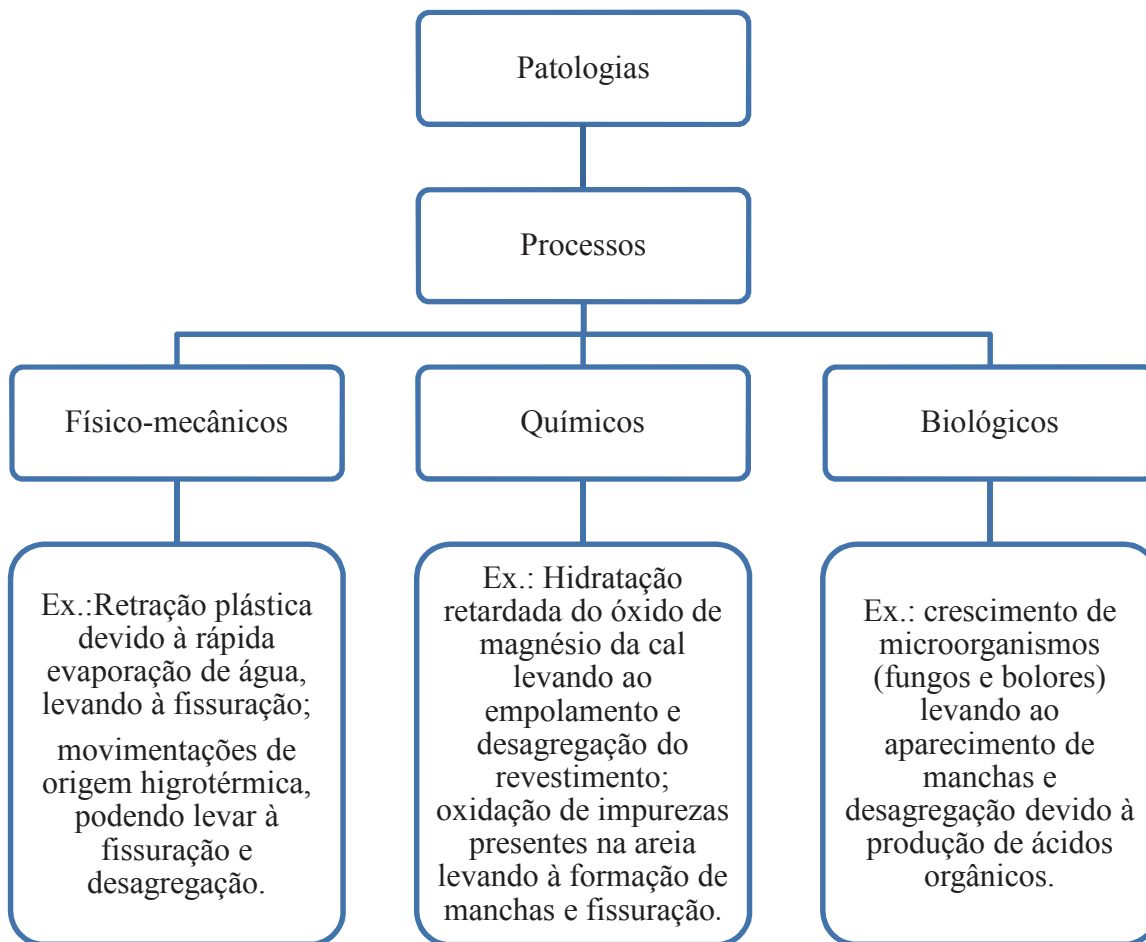


Figura 2-8: Processos de deterioração das argamassas

2.6.1 Ação dos poluentes atmosféricos

Nas últimas décadas o problema das chuvas ácidas tem adquirido dimensões preocupantes em grande parte da Europa e da América do Norte. Estas águas ácidas, em contacto com cimentos e argamassas, dão lugar à formação de nitratos de cálcio, sulfatos, bicarbonatos, sendo que estes sais são altamente solúveis.

O dióxido de enxofre é um dos gases mais perigosos. O grau de interação entre o dióxido de enxofre atmosférico e o ligante das argamassas é um fator complexo ainda difícil de determinar, devido à existência de um conjunto de variáveis que afetam e influenciam a diferentes níveis todo este processo. O gesso é o único composto estável formado a partir desta interação. A formação de novos compostos pode ser estável ou não, sendo que ambos os casos conduzem a instabilidades na argamassa que podem ser bastante prejudiciais, quer do ponto de vista físico e mecânico, quer do ponto de vista estético (Marques, 2005).

2.6.2 Efeitos dos ciclos gelo-degelo

Quando a água passa do estado líquido para o estado sólido, existe um aumento de volume específico de 9 %, que vai gerar pressões na superfície dos poros da argamassa podendo levar à fissuração e fratura. As argamassas são frágeis em relação a este tipo de pressões, principalmente se a porosidade for elevada. Se a argamassa tiver poros pequenos, esta é ainda mais sensível pois colapsam mais facilmente sujeitos a pressões elevadas. Este fenómeno, em Portugal, não é dos mais usuais devido às condições climáticas existentes (Marques, 2005).

2.6.3 Cristalização de sais solúveis

Os sais solúveis podem causar danos consideráveis em materiais porosos como as argamassas. A cristalização ocorre com a presença de humidade e sais solúveis nos poros da argamassa. No entanto, é necessário que ocorra a dissolução destes sais e que a solução se torne supersaturada. À medida que a água presente numa solução salina evapora, a concentração da solução aumenta. No caso de ser ultrapassada a concentração máxima, a solução fica supersaturada e o sal em excesso pode cristalizar. A cristalização pode ainda ocorrer quando há mudanças de temperatura.

Noutra perspetiva, o ponto onde a cristalização começa a ter lugar é determinado por um balanço dinâmico entre a taxa de evaporação da água a partir da superfície e a taxa de acesso da solução até esse ponto. Se a taxa de acesso do líquido até à superfície for superior à de evaporação, a cristalização de sais dá-se à superfície, dando lugar a eflorescências que não são agressivas para a argamassa (Figura 2-9), mas que indicam que num ponto interior da argamassa está a decorrer cristalização. Se a taxa de migração do líquido até à superfície for inferior à taxa de evaporação, desenvolve-se uma zona seca logo abaixo da superfície e a cristalização de sais dá-se na interface entre a zona seca e a zona húmida, provocando a esfoliação das camadas mais superficiais da argamassa ou a sua desintegração (Figura 2-10). Se a taxa de acesso do líquido for muito inferior à taxa de evaporação, os depósitos de sais crescem no interior do material sem que seja observada qualquer deterioração (Marques, 2005).



Figura 2-9: Cristalização de sais à superfície

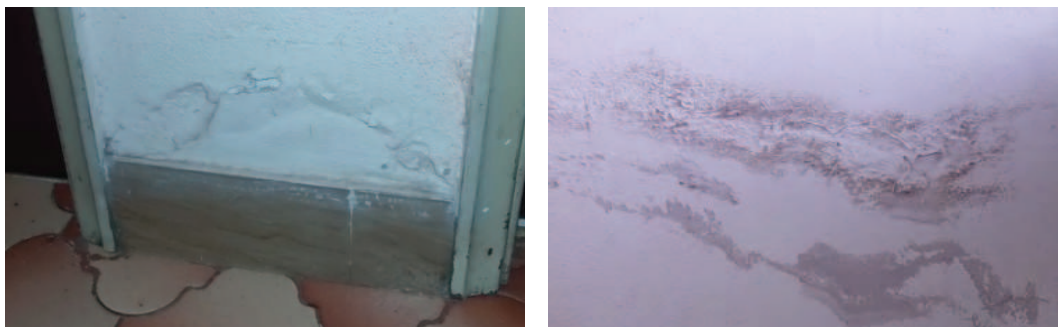


Figura 2-10: A cristalização de sais logo abaixo pode levar à esfoliação das camadas

2.6.4 Variações térmicas e higrométricas

As variações de temperatura e humidade relativa podem produzir dilatações e contrações no material, criando tensões na argamassa e até mesmo na estrutura. Cada material tem uma velocidade diferente de evaporação. Quando estes materiais são usados em conjunto, isto é, quando as argamassas são aplicadas em várias camadas, esses materiais podem apresentar coeficientes de dilatação térmica diferentes, pelo que vai resultar na fissuração ou na desagregação do material (Figura 2-11).



Figura 2-11: Fenda devido a diferentes materiais aplicados

2.6.5 Deterioração devida a causas biológicas

A deterioração da argamassa devida a causas biológicas é um processo de destruição do material por organismos vivos ou pelos produtos do seu metabolismo. Esta deterioração é favorecida por fatores como a porosidade, a composição e a rugosidade, que facilitam a acumulação de água no material e conseqüente crescimento de microrganismos. Podem mesmo formar-se biocamadas que ajudam a reter areias e pós, facilitando assim o crescimento de outros organismos vivos, incluindo plantas.

2.6.6 Fendilhação

A maioria das patologias que incluem fissuras são frequentemente associadas a problemas de origem mecânica e/ou física.

A uma abertura longitudinal que atravessa toda a espessura do revestimento, causando rotura, dá-se o nome de fenda. Neste caso é possível distinguir as partes do elemento construtivo. Por fissura entende-se uma abertura longitudinal fina, que apenas condiciona a parte superficial do revestimento. Em geral, estas são menores que as fendas e não atingem os limites dos corpos (Magalhães, 2002).

No caso das paredes, estas anomalias são associadas a retrações e reações químicas que desencadeiam expansões dos materiais ou ainda a cargas concentradas, a ações dinâmicas, a movimentos diferenciais provocados por variações térmicas, a assentamentos de fundações e a deformações de suporte (Vieira, 2010).

A fissuração dos revestimentos pode estar ou não associada à fissuração do suporte. Nos casos em que ocorre a fissuração do revestimento sem que o suporte tenha fissurado, as causas estão em geral ligadas ao tipo de revestimento e às condições de aplicação, mas podem resultar também de incompatibilidade química ou mecânica com o suporte. A diversidade de revestimentos não permite uma descrição exaustiva das causas, pelo que se limita às causas possíveis da fissuração de rebocos ditos tradicionais (Silva, 2002).

A sua ocorrência é distinta e pode dar-se:

- Em zonas correntes das paredes;
- Em zonas onde existem aberturas (vãos de janelas e portas);
- Na ligação entre paredes ortogonais;
- Na ligação entre parede e cobertura, por ação da variação de temperatura, que provoca alterações dimensionais na estrutura, originando fendas horizontais;
- Nas paredes interligadas que, devido à sua grande rigidez no plano, geram fendas nas zonas mais fracas da estrutura, isto é, nas ligações entre paredes ortogonais.

Devido à grande variedade de revestimentos, são atribuídas distintas causas à fendilhação, podendo ter origem na constituição do reboco, no suporte entre outros fatores. Quanto à constituição do reboco, este pode contribuir para o desenvolvimento das referidas anomalias através da sua retração, de dilatações e contrações higrótérmicas, da passagem a gelo da água absorvida, o que se traduz em retrações elevadas, espessuras e aplicação do revestimento inapropriado. As causas atribuídas ao suporte são de uma forma geral a elevada rigidez deste, reações com sais presentes no suporte, absorção de água em quantidades elevadas e perda de aderência. A concentração de tensões em coberturas, a corrosão de elementos metálicos são ainda outras causas que podem originar a fissuração e fendilhação (Vieira, 2010). No Quadro 2-3 é possível observar as origens e correspondentes tipos de fissuração em rebocos.

Quadro 2-3: Causas de fissuração de rebocos (Silva, 2002)

Origem da fissuração	Tipo de fissuração
Reboco propriamente dito	<ul style="list-style-type: none"> • Fissuração por retração • Fissuração devida a deficiente adaptação o suporte • Fissuração devidamente dita
Deficiente conceção e aplicação	<ul style="list-style-type: none"> • Fissuração devida a misturas cimento-gesso • Fissuração devida a concentrações junto a aberturas • Fissuração devida à corrosão de elementos metálicos
Suporte	<ul style="list-style-type: none"> • Fissuração devida a deslocamentos de suportes • Fissuração devida a reações com sais existentes no suporte
Reboco e suporte	<ul style="list-style-type: none"> • Fissuração devida a comportamentos diferenciais de suportes heterogéneos • Fissuração devida a absorção excessiva do suporte • Fissuração devida a variações dimensionais diferentes • Fissuração devida à retração do suporte

3. Caracterização e descrição dos edifícios em estudo

Ao longo deste capítulo proceder-se-á ao estudo das argamassas existentes no centro histórico de Viseu. Dentro do vasto património de construções antigas existentes em Viseu, foram disponibilizados três edifícios para fazer o estudo e recolha de amostras completas, situados na Rua Direita e na Travessa das Escadinhas da Sé. Foram retiradas amostras de argamassa em cada edifício, para serem analisadas em laboratório.

Para se tornar mais fácil, vamos identificar estes edifícios por Ed.1, Ed.2 e Ed.3. Além destes objetos de estudo, foi também estudada uma amostra de um edifício localizado no distrito de Viseu, mais propriamente em Tondela. Devido às condições do edifício, que já colapsou, e à falta de peças desenhadas, este edifício servirá de amostra de comparação entre argamassas existentes no arredor da cidade com as do centro histórico. Este edifício será designado como Ed.4.

É importante referir que esta dissertação tem como finalidade fazer um estudo aprofundado sobre as argamassas utilizadas em edifícios antigos, mais concretamente no centro histórico de Viseu.

Apresenta-se a descrição de cada um dos edifícios em estudo de modo a enquadrá-los, assim como, será indicada a proveniência das amostras que serão alvo de estudo. Serão apresentadas todas as amostras retiradas *in situ* e que foram estudadas em laboratório. Tornou-se importante a obtenção das plantas de arquitetura dos edifícios, junto dos proprietários de cada edificação, aliado a medições *in situ*.

3.1 Edifício 1 (Ed.1)

Na Figura 3-1 é possível observar a fachada principal do edifício em estudo, aqui designado como Ed.1. Localiza-se no centro histórico de Viseu, mais concretamente na Travessa das Escadinhas da Sé, nº 24 e 25.



Figura 3-1: Fachada Principal do Ed1

O edifício em estudo é constituído por 5 pisos (4 acima e 1 abaixo de soleira). No piso -1 existe um espaço comercial aberto ao público, com acesso através de dois vãos no alçado lateral esquerdo. Os restantes pisos destinam-se a habitação, com acesso no piso 0 por um vão no alçado lateral esquerdo e por outros dois no alçado principal. Trata-se de um edifício construído no séc. XIX, com características construtivas dessa época, isto é, sistema misto alvenaria/madeira.

Foi construído nas seguintes fases:

- Primeira fase: construção dos 3 pisos constituídos por paredes resistentes em alvenaria de pedra (piso -1, 0 e 1);
- Segunda fase: o quarto piso com paredes exteriores em tabique à exceção da parede meeira em alvenaria de pedra;
- Terceira fase: último piso com paredes exteriores em tabique.

Este faseamento de construção deveu-se provavelmente à expansão do agregado familiar e à necessidade de aumentar a área habitável do edifício. Em relação ao sistema construtivo do edifício pode-se definir que as paredes resistentes exteriores são de alvenaria de pedra e as paredes de compartimentação em tabique, nas diversas fases. Os pavimentos e a cobertura são realizadas em madeira (pinho). É notável que para a mesma parede de fachada apresente tipologias diferentes, como no caso do alçado lateral esquerdo, em que temos parede em

alvenaria de pedra nos pisos -1, 0 e 1 e parede em tabique nos piso 2 e 3. Esta é uma característica muito utilizada na época, função da qualidade pretendida e da capacidade financeira do utilizador. As paredes de alvenaria de tabique eram especialmente utilizadas quando se realizavam ampliações em altura de intervenções posteriores à construção do edifício.

No que respeita às paredes interiores de tabique (constituídas por madeira de pinho), designadas por paredes de compartimentação, estas são construídas pela pregagem de um fasquiado sobre tábuas ao alto, sendo o conjunto revestido em ambas as faces por “reboco”, constituído por argamassa à base de palha, terra e cal. É de notar, que se detetou material de enchimento diferente ao longo dos pisos, o que vem a confirmar que o edifício sofreu alterações, como já se tinha referido. Foi detetado em alguns compartimentos reforços de reboco, com aplicação de rede tipo hexagonal de arame (“rede de capoeira” - Figura 3-2) de forma a garantir a estabilidade e uma correta adesão de argamassa à parede de tabique.



Figura 3-2: Rede tipo hexagonal de arame (“rede de capoeira”)

As principais patologias identificadas no edifício foram:

- Fendilhação (Figura 3-3.a));
- Causas biológicas;
- Manchas, crescimento de vegetação, fungos;
- Destacamento do revestimento (Figura 3-3.b));
- Deterioração da madeira devido à presença de água.



a) Fissuras nos cantos dos vãos



b) Destacamento do revestimento

Figura 3-3: Patologias encontradas no Ed. 1

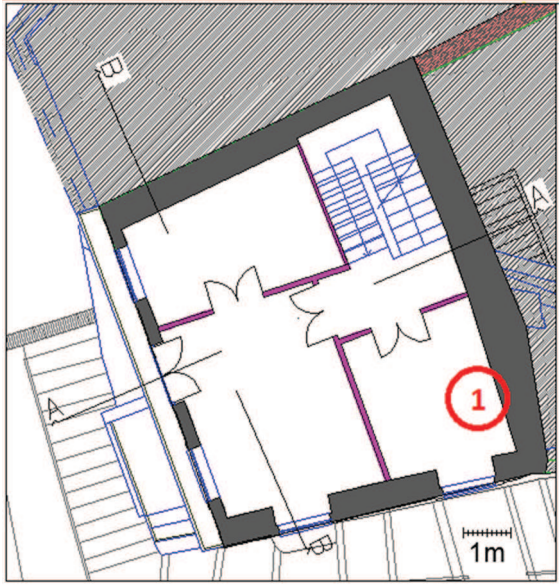

Seguidamente é possível visualizar os quadros referentes às diferentes amostras em estudo, onde será apresentada a sua caracterização:

- Quadro 3-1 representa a amostra 1;
- Quadro 3-2 representa a amostra 2;
- Quadro 3-3 representa a amostra 3;
- Quadro 3-4 representa a amostra 4.


3.1.1 Identificação das amostras retiradas do Ed.1

Neste edifício, por haver uma diferença de materiais, foi retirada uma amostra em cada piso para análise. De seguida identificam-se as amostras retiradas com os respetivos nomes e respetiva localização

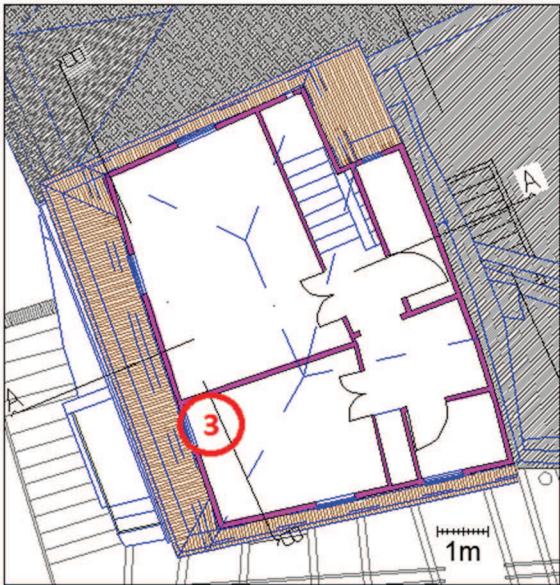
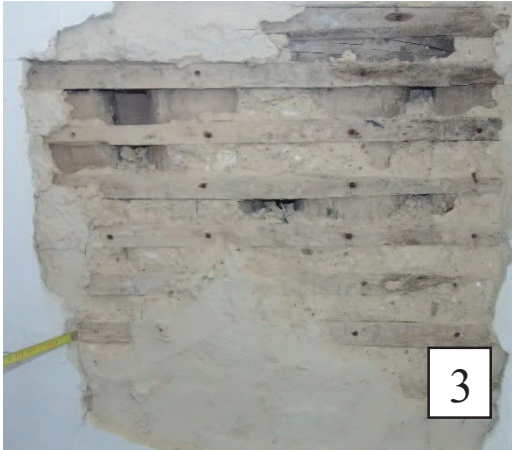
Quadro 3-1: Caracterização da amostra 1

Amostra 1	
	
<ul style="list-style-type: none">• Identificação do local: 1º piso.• Tipo de estrutura onde foi retirado: Parede exterior em alvenaria de pedra.• Espessura média da amostra: 6,75 cm à pedra.• Observação visual: Apresentava humidade, algumas fendas e também alguns microorganismos. A argamassa de enchimento era o que envolvia as pedras na parede, contida maioritariamente por terra, palha e uma grande percentagem de areia.• Tipo de ensaio realizado: Determinação da densidade das partículas, análise granulométrica, azul-de-metileno, equivalente de areia, ensaio de compressão e o ensaio SEM/EDS.	

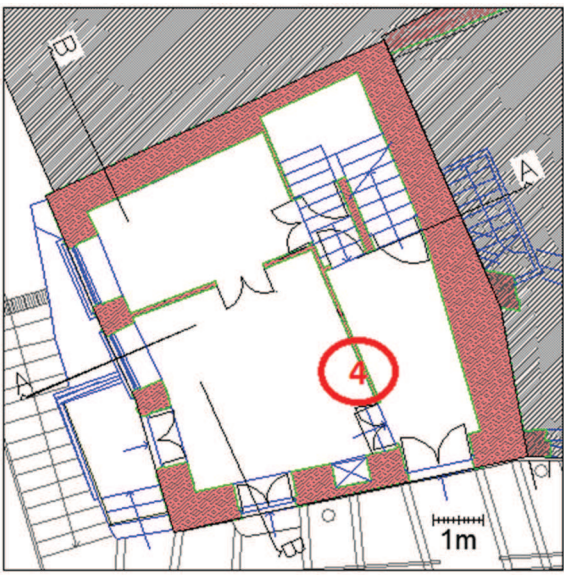

Quadro 3-2: Caracterização da amostra 2

Amostra 2	
	
<ul style="list-style-type: none">• Identificação do local: 2º piso.• Tipo de estrutura onde foi retirado: Parede exterior em tabique.• Espessura média da amostra: 1,6 cm à ripa e 2,7 cm ao fasqueado.• Observação visual: Apresentava bastante humidade, podridão, sujidade, manchas, desagregação, destacamento e empolamento do revestimento interior. A argamassa é de cor clara, consistente sendo visíveis alguns minúsculos nódulos brancos o que é usual encontrar em argamassas de cal aérea.• Tipo de ensaio realizado: Determinação da densidade das partículas, análise granulométrica, azul-de-metileno, equivalente de areia e o ensaio de compressão.	

Quadro 3-3: Caracterização da amostra 3

Amostra 3	
	
<ul style="list-style-type: none">• Identificação do local: 3º piso.• Tipo de estrutura onde foi retirado: Parede exterior em tabique.• Espessura média da amostra: 2,4 cm à ripa e 3,7 cm ao fasqueado.• Observação visual: A parede encontrá-va-se em ótimo estado sem qualquer vestígio de humidade. A argamassa existente tinha cor clara, com aspeto compacto e resistente, sendo visíveis minúsculos nódulos brancos, o que demonstra a presença de cal aérea.• Tipo de ensaio realizado: Determinação da densidade das partículas, análise granulométrica, azul-de-metileno, equivalente de areia, ensaio de compressão e o ensaio SEM/EDS.	

Quadro 3-4: Caracterização da amostra 4

Amostra 4	
	
<ul style="list-style-type: none">• Identificação do local: R/C.• Tipo de estrutura onde foi retirado: Parede interior em tabique.• Espessura média da amostra: 2,1 cm à ripa e 3,9 cm ao fasqueado.• Observação visual: A parede encontrava-se em ótimo estado de conservação, sem marcas de humidade ou outra patologia. A argamassa era constituída em grande parte por terra e palha, com aspeto compacto e resistente.• Tipo de ensaio realizado: Determinação da densidade das partículas, análise granulométrica, azul-de-metileno e o equivalente de areia.	

3.2 Edifício 2 (Ed.2)

Na Figura 3-4 é possível observar a fachada principal do edifício em estudo, aqui designado de Ed.2. Localiza-se no centro histórico de Viseu, mais concretamente na Rua Direita, nº 235.



Figura 3-4: Fachada principal do Ed.2

O edifício em estudo é constituído por 4 pisos (R\C, 1º, 2º e 3º). No piso do rés-do-chão existe um espaço comercial aberto ao público, com acesso através de um vão no alçado principal. Os restantes pisos destinam-se a habitação, com acesso no piso do rés-do-chão por um vão paralelo ao do espaço comercial. Trata-se de um edifício construído no séc. XIX, com características construtivas semelhantes ao edifício anterior já identificado, sistema misto alvenaria/madeira. Este edifício teve pelo menos duas fases construtivas (parte de trás distinta). Este faseamento de construção deveu-se provavelmente à expansão do agregado familiar e à necessidade de aumentar a área habitável do edifício.

Em relação ao sistema construtivo do edifício pode-se definir que as paredes resistentes exteriores são de alvenaria de granito (R\C e 1º pisos) e de alvenaria de tijolo “burro” (2º e 3º pisos) na fachada principal e as paredes de compartimentação em tabique. Os pavimentos e cobertura são realizados em madeira (pinho).

No que respeita às paredes interiores de tabique (constituídas por madeira de pinho), designadas por paredes de compartimentação, estas são construídas por peças verticais de maior espessura a formar o corpo da alvenaria, nas suas faces são aplicadas transversalmente ripas de menor espessura, intercaladas entre si, de modo a segurar o material de enchimento. O material de enchimento é constituído por argamassa à base de palha, terra, barro e cal.

Em algumas alvenarias o tabique encontra-se travado com tábuas de madeira aplicadas na diagonal (Figura 3-5) no interior da parede do tabique, de modo a reforçar a sua estrutura.



Figura 3-5: Travamento das paredes de tabique

As principais patologias identificadas no edifício:

- Fendilhação;
- Deformações fora do plano;
- Destacamento entre os materiais;
- Destacamento do revestimento (Figura 3-6.b));
- Infiltrações;
- Manchas, crescimento de vegetação, fungos (Figura 3-6.a)).



a) Degradação por fungos

b) Descaque da tinta

Figura 3-6: Patologias encontradas no Ed. 2

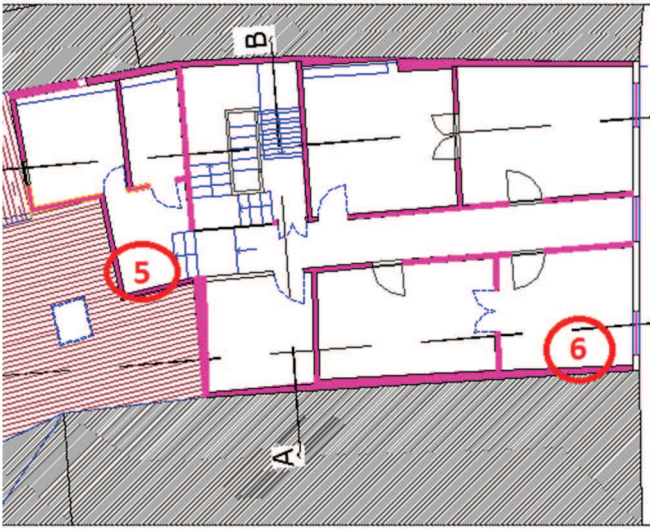


Seguidamente é possível visualizar os quadros referentes às diferentes amostras em estudo, onde será apresentada a sua caracterização:

- Quadro 3-5 representa as amostras 5 e 6;
- Quadro 3-6 representa a amostra 7;
- Quadro 3-7 representa a amostra 8;
- Quadro 3-8 representa a amostra 9.

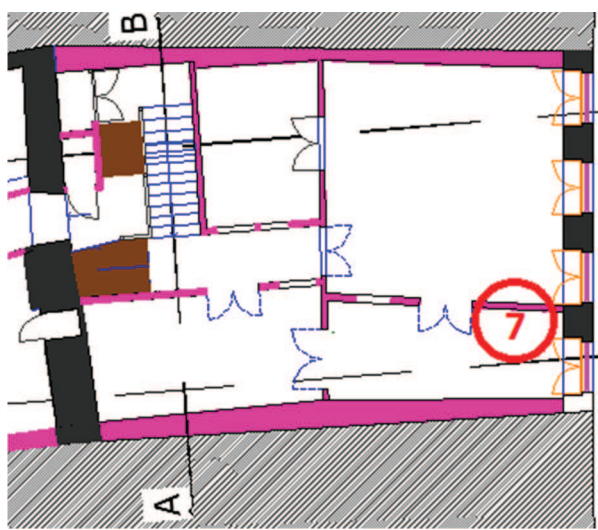

3.2.1 Identificação das amostras retiradas do Ed.2

Em seguida apresenta-se as amostras retiradas do Ed.2 com os respetivos nomes e respetivas plantas.

Quadro 3-5: Caracterização das amostras 5 e 6

Amostra 5 e 6	
	 
<ul style="list-style-type: none">• Identificação do local: 2º piso.• Tipo de estrutura onde foi retirado: Parede exterior em tabique.• Espessura média da amostra: Amostra 5 tinha 2,1 cm à ripa e 3,2 cm ao fasqueado. Amostra 6 tinha 2,0 cm à ripa e 3,5 cm ao fasqueado.• Observação visual: A argamassa da amostra 5 tinha cor clara, aspeto compacto e resistente, sendo visíveis minúsculos nódulos brancos. A argamassa da amostra 6 tinha cor mais escura, consistia em grande parte por terra e palha, sendo visíveis grãos escuros. As duas amostras apresentavam visivelmente ótimo estado de conservação, tendo em certos pontos alguma humidade e fungos.• Tipo de ensaio realizado: Determinação da densidade das partículas, análise granulométrica, azul-de-metileno, equivalente de areia, ensaio de compressão (amostra 6) e o ensaio SEM/EDS (amostra 6).	

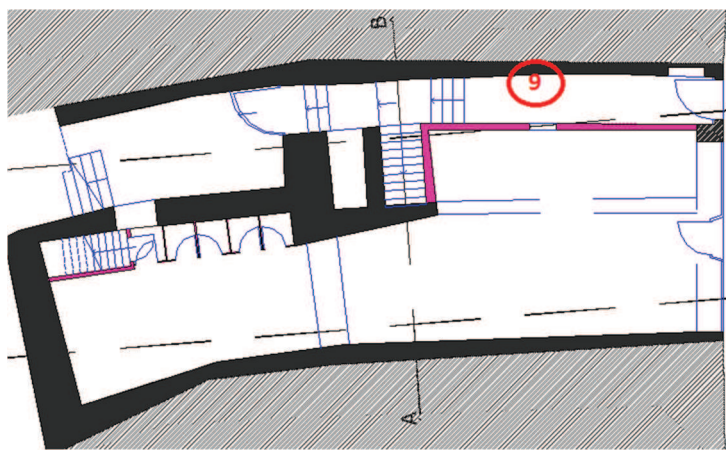

Quadro 3-6: Caracterização da amostra 7

Amostra 7	
	
<ul style="list-style-type: none">• Identificação do local: 1º piso.• Tipo de estrutura onde foi retirado: Parede interior em tabique.• Espessura média da amostra: 2,4 cm à ripa e 3,6 cm ao fasqueado.• Observação visual: A parede encontrava-se em ótimo estado de conservação. A estrutura de madeira, da parede de tabique, tinha um ripado bem definido e alinhado, revestimento de cor clara tendo alguns empolamentos visíveis. A argamassa apresentava cor acastanhada, com aspeto compacto e resistente, teria na sua mistura terra, palha e alguns vestígios de cal.• Tipo de ensaio realizado: Determinação da densidade das partículas, análise granulométrica, azul-de-metileno e o equivalente de areia.	

Quadro 3-7: Caracterização da amostra 8

Amostra 8	
	
<ul style="list-style-type: none">• Identificação do local: 3º piso.• Tipo de estrutura onde foi retirado: Parede interior em tabique.• Espessura média da amostra: 1,9 cm à ripa e 3,1 cm ao fasqueado.• Observação visual: A parede encontrava-se em ótimo estado de conservação, sem marcas de humidade ou outra patologia. A argamassa tinha cor clara, com elementos de palha à mistura. Tinha um aspeto compacto e resistente mas com fraca coesão.• Tipo de ensaio realizado: Determinação da densidade das partículas, análise granulométrica, azul-de-metileno, equivalente de areia e o ensaio SEM/EDS.	

Quadro 3-8: Caracterização da amostra 9

Amostra 9	
	
<ul style="list-style-type: none">• Identificação do local: R\C.• Tipo de estrutura onde foi retirado: Parede exterior em alvenaria de pedra.• Espessura média da amostra: 3,0 cm à pedra.• Observação visual: A parede encontrava-se com bom aspeto e bom estado de conservação mas com fraca coesão e alguma humidade. A argamassa apresentava cor creme sendo visíveis grãos escuros de inerte.• Tipo de ensaio realizado: Determinação da densidade das partículas, análise granulométrica, azul-de-metileno e o equivalente de areia.	

3.3 Edifício 3 (Ed.3)

Na Figura 3-7 é possível observar a fachada principal do edifício em estudo, aqui designado de Ed.3. Localiza-se no centro histórico de Viseu, mais concretamente na Rua Direita, nº 149.



Figura 3-7: Fachada principal do Ed.3

O edifício em estudo é constituído por 2 pisos (R\C e 1º). No piso do rés-do-chão existe um espaço comercial aberto ao público, com acesso do rés-do-chão por um vão no alçado principal. O 1º piso pertencia ao orfeão de Viseu onde antigamente se efetuavam espetáculos, com acesso no rés-do-chão por um vão paralelo ao da zona comercial. Trata-se de um edifício construído no início do séc. XX, com características construtivas dessa altura. Em relação ao sistema construtivo do edifício pode-se definir que as paredes resistentes exteriores são de alvenaria de pedra de granito, revestidas em azulejos e as paredes de compartimentação em tabique. As paredes de tabique tem reforços pontuais em estrutura metálica. Os pavimentos e cobertura são realizados em madeira. O pé-direito, por ser considerado um edifício cultural, é bastante superior ao de um edifício habitacional. Este edifício teve duas fases construtivas, a construção na zona posterior (onde foi retirada a amostra 11) é posterior à do edifício principal.

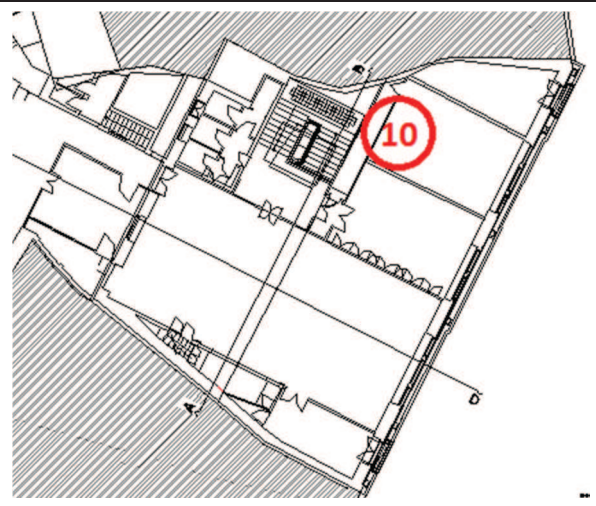
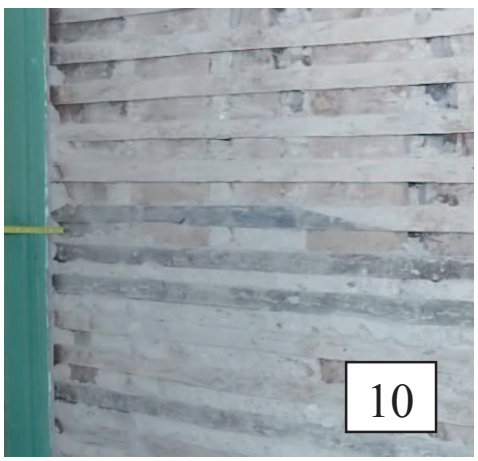
No que respeita às patologias são encontrados pontos superficiais como, humidade, bolor e infiltrações, mas pode-se afirmar que o edifício encontra-se em ótimo estado de conservação.

Foi retirado dois tipos de amostra de argamassa, uma no interior nas paredes de tabique e outra no exterior do edifício. Seguidamente é possível visualizar os quadros referentes às diferentes amostras em estudo, onde é apresentada a sua caracterização:

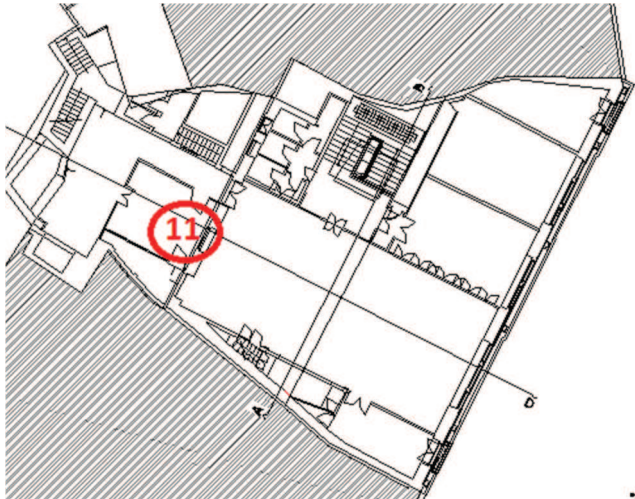
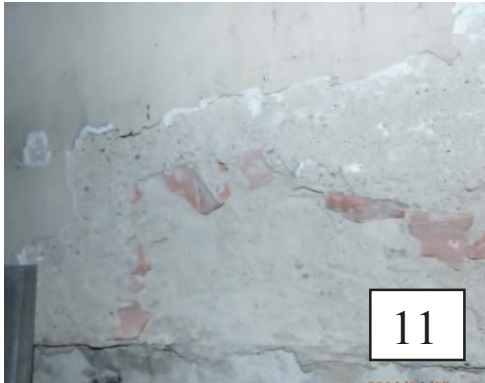
- Quadro 3-9 representa a amostra 10;
- Quadro 3-10 representa a amostra 11.

3.3.1 Identificação das amostras retiradas do Ed.3

Quadro 3-9: Caracterização da amostra 10

Amostra 10	
	
<ul style="list-style-type: none">• Identificação do local: 1º piso.• Tipo de estrutura onde foi retirado: Parede interior em tabique.• Espessura média da amostra: 2,0 cm à ripa e 3,7 cm ao fasqueado.• Observação visual: Argamassa de cor creme clara, sendo visíveis grãos escuros de agregados e também minúsculos nódulos brancos. O edifício encontra-se em boa conservação.• Tipo de ensaio realizado: Determinação da densidade das partículas, análise granulométrica, azul-de-metileno, equivalente de areia e o ensaio SEM/EDS.	

Quadro 3-10: Caracterização da amostra 11



Amostra 11	
	
<ul style="list-style-type: none">• Identificação do local: 1º piso.• Tipo de estrutura onde foi retirado: Parede exterior em alvenaria.• Espessura média da amostra: 7,5 cm ao tijolo.• Observação visual: A argamassa apresentava cor clara, sendo visíveis grãos escuros de agregados, com fraca coesão e na sua mistura tinha porções de telha como outros materiais.• Tipo de ensaio realizado: Determinação da densidade das partículas, análise granulométrica, azul-de-metileno, equivalente de areia e o ensaio SEM/EDS.	

3.4 Edifício 4 (Ed.4)

No Quadro 3-11 é possível observar o edifício em estudo, aqui designado de Ed.4. Localiza-se na cidade de Tondela, que fica a 24 km de Viseu. O objetivo desta amostra, é comparar com as amostras retiradas no centro histórico de Viseu tendo um modo de comparação de que tipos de argamassa era utilizado naquela época, não foi possível obter acesso às plantas do edifício nem ao seu ano de construção.

O Quadro 3-11 apresenta o sítio onde foi retirado a amostra 12.

Quadro 3-11: Caracterização da amostra 12

Amostra 12	
	
<ul style="list-style-type: none">• Identificação do local: Tondela, edifício colapsado.• Tipo de estrutura onde foi retirado: Parede exterior em alvenaria de pedra.• Espessura média da amostra: --• Observação visual: A argamassa apresentava cor escura, com fraca coesão, constituída principalmente à base de terra. Parede apresenta bastante humidade, bolor, manchas, microrganismos. O estado de conservação do edifício apresentava muito mau estado.• Tipo de ensaio realizado: Determinação da densidade das partículas, análise granulométrica, azul-de-metileno e o equivalente de areia.	

No Quadro 3-12, resumem-se as características mais importantes dos edifícios em estudo nesta dissertação.

Quadro 3-12: Características dos edifícios antigos

Edifício	Amostra	Tipo	Época de construção do edifício	Grau de degradação *	Principais defeitos encontrados nos revestimentos de parede
Escadinhas (Ed.1)	1	Residencial	Séc. XIX	Médio	Manchas, fendilhação, sujidade.
	2				
	3				
	4				
Rua Direita (Ed.2)	5	Residencial	Séc. XIX	Médio	Manchas, colonização biológica, fendilhação, perda de coesão, destacamentos, sujidades.
	6				
	7				
	8				
	9				
Orfeão (Ed.3)	10	Equipamento Cultural	Séc. XX	Reduzido	Humidade
	11				
Tondela (Ed.4)	12	Residencial	Desconhecido (séc. XIX)	Elevado	Fendilhação, sujidade, rutura do edifício.

*Classificação com base na análise visual

4. Descrição do trabalho experimental e dos métodos de ensaio

4.1 Introdução

Neste capítulo serão descritos todos os ensaios realizados às amostras retiradas de cada edifício bem como serão apresentados os resultados obtidos.

As intervenções realizadas em argamassas de edifícios antigos implicam a sua substituição ou a sua reparação. As argamassas de substituição devem ser compatíveis e duráveis e devem ter um comportamento físico-químico semelhante aos materiais existentes. Por isso, é importante assim conhecer as características químicas, físicas e mecânicas das argamassas antigas, para que se possa efetuar obras de reabilitação eficientes e efetivas.

No que se refere à caracterização química e mineralógica de revestimentos antigos, as técnicas atuais permitem a determinação bastante rigorosa da composição relativamente aos constituintes minerais existentes e aos compostos químicos formados que podem causar degradação (Magalhães e Veiga, 2009).

A Figura 4-1 representa as fases de preparação de uma amostra de solo antes de o ensaiar. Depois de todas as amostras estarem devidamente identificadas segue-se a preparação dos ensaios, de acordo com as respetivas normas.

Para a caracterização química e mineralógica das amostras é necessário realizar os seguintes ensaios:

- Determinação da densidade das partículas – NP 83 (1965);

4 – Descrição do trabalho experimental e dos métodos de ensaio

- Análise Granulométrica - Composição mineralógica – E 196 (1966);
- Análise Granulométrica - Ensaio de peneiração e de sedimentação – E 196 (1966);
- Determinação dos Limites de Atterberg – NP-143 (1969);
- Azul Metileno – P 18-592 (1990);
- Ensaio de equivalente de areia – E 199 (1967).

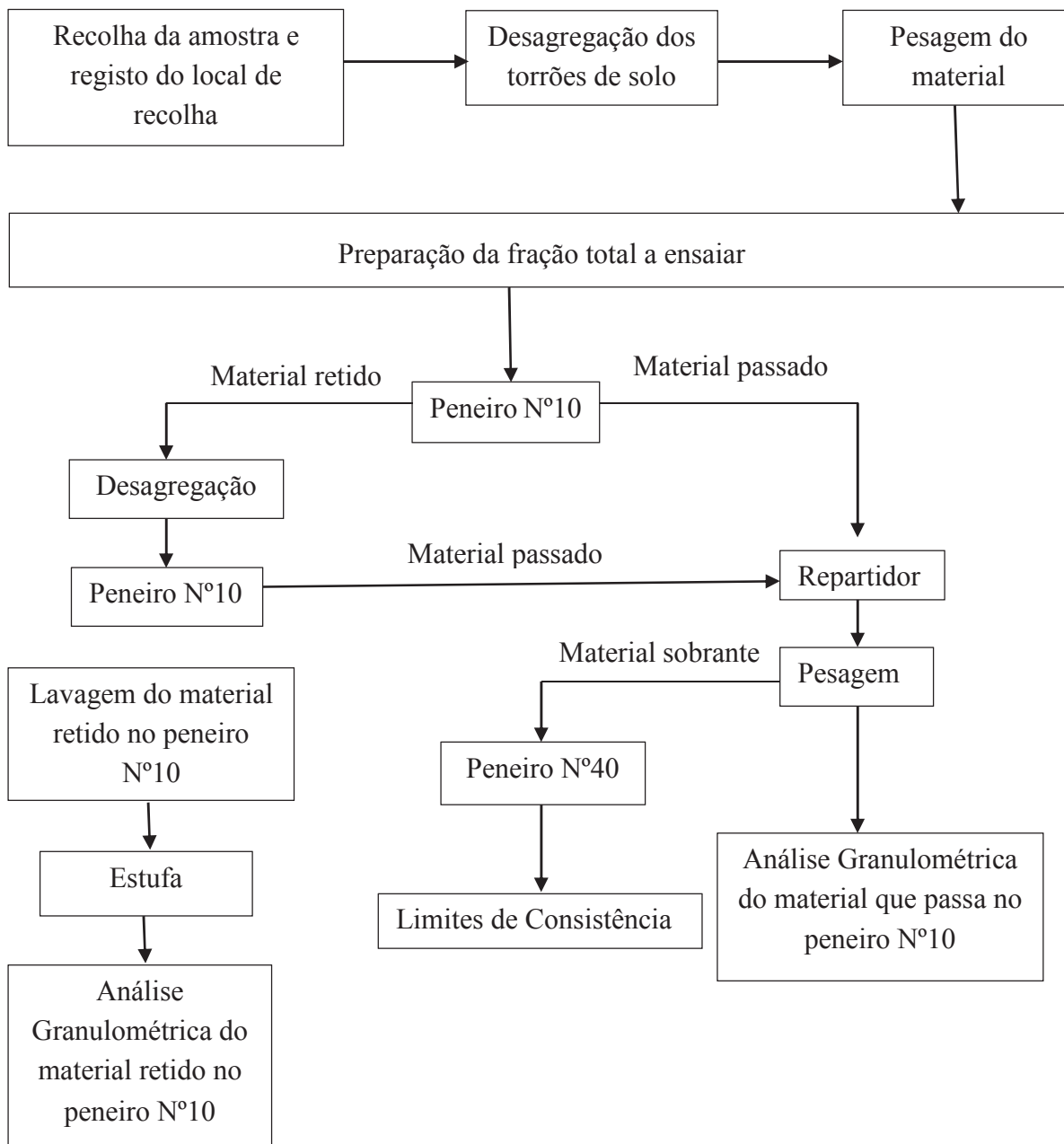


Figura 4-1: Esquema das fases de preparação duma amostra de solo para ensaios.
(adaptado: E195 - 1966)

Estas informações, no entanto, não são suficientes para se reproduzir uma argamassa antiga com um comportamento semelhante, tendo em conta que argamassas com composição idêntica

podem ter comportamentos muito diferentes consoante as condições de aplicação, as tecnologias usadas, as características do suporte, entre outras. No que se refere às características físicas e mecânicas das argamassas, existem algumas dificuldades na sua avaliação, já que muitas vezes, é impossível extrair amostras de revestimento antigas em quantidade suficiente para a realização de ensaios e que, mesmo quando essa extração seja possível, a utilização direta de métodos normalizados é frequentemente impraticável, devido à sua reduzida coesão e à sua forma irregular (Magalhães e Veiga, 2009).

Para se ter um estudo mais pormenorizado da caracterização de argamassas antigas, foi então realizado o ensaio de compressão de algumas amostras, nomeadamente para as amostras 1, 2 e 3 do Ed.1 e 6 e 7 do Ed.2.

Por forma a tornar conhecidas a composição química das diversas amostras, foi realizada uma análise SEM/EDS de algumas amostras em estudo.

4.2 Descrição dos ensaios realizados

As amostras recolhidas ao longo do trabalho de campo foram devidamente identificadas e preparadas de modo a que, posteriormente, fosse possível determinar as respetivas granulometrias, plasticidade e a composição mineralógica. Essas etapas encontram-se descritas nas secções seguintes, assim como se ilustram algumas fotografias, que servem de complemento à informação aqui escrita.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Escola Superior Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV). O ensaio de análise SEM/EDS foi realizado na Unidade de Microscopia Eletrónica da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD).

4.2.1 Determinação da densidade das partículas

As partículas dos solos têm, em geral, pesos específicos que pouco variam de caso para caso. Normalmente adota-se o valor de 2,65 mas para ser mais preciso e para complementar o ensaio de granulometria, foi realizado este ensaio para cada amostra estudada. Este ensaio foi realizado de acordo com os pressupostos da norma NP – 83 (1965).

Para se proceder ao ensaio é necessário inicialmente passar as partículas no peneiro com abertura de 4,76 mm (nº 4). Em seguida pesam-se duas porções, uma de 30 g e outra de 80 g, de solo, que vão ser colocadas nos picnómetros de 100 ml e de 250 ml, respetivamente (Figura 4-2.a)). Antes de colocar o solo em cada picnómetro é necessário fazer uma calibração,

enchendo-o com água destilada até ao traço de referência e fazer uma pesagem, tanto para o picnómetro de 100 ml como para o de 250 ml.



a) Picnómetros de 100ml e de 250 ml



b) Fervedura das amostras

Figura 4-2: Determinação da densidade das partículas

De seguida transfere-se o solo para cada picnómetro e leva-se a ferver durante 10 min. (Figura 4-2.b)), agitando-os frequentemente para obrigar a libertar o ar aderido às partículas. Deixa-se arrefecer em temperatura ambiente. Acaba-se por encher os picnómetros com água destilada até ao traço de referência e pesam-se os conjuntos. Os provetes são passados para tabuleiros, previamente pesados e identificados seguidamente levando à estufa. Por fim, pesam-se os tabuleiros, e calcula-se o peso específico das partículas para as duas amostras de picnómetros.

A densidade das partículas é obtida através da média dos resultados obtidos de cada picnómetro.

4.2.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a especificação do LNEC E196 (1966). O objetivo deste ensaio é determinar quantitativamente a distribuição por tamanhos das partículas que constituem o solo. Antes de começar o ensaio, é necessário calibrar o densímetro (ver Apêndice 1, pág. 89). Esta calibração é tida em conta nos cálculos finais da sedimentação.

Os densímetros (Figura 4-3) são calibrados para serem lidos à superfície dos líquidos. Contudo, como as suspensões de solos não oferecem a transparência necessária, a leitura tem de fazer-se na parte superior do menisco (Figura 4-4), decorrendo daí a necessidade de adicionar a correção para obter a correta leitura no nível da solução.



Figura 4-3: Densímetro utilizado no ensaio

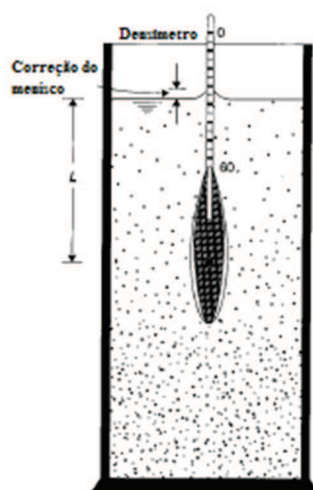


Figura 4-4: Densímetro suspenso em água, quando o solo é disperso (Das, 2002)

A técnica de análise granulométrica passa por várias fases. Inicialmente, realiza-se a análise do material retido no peneiro nº 10. No entanto, para analisar o material que passou neste peneiro é necessário realizar um pré-tratamento da amostra, que consiste na determinação da percentagem da matéria orgânica e dos compostos de cálcio de cada amostra estudada.

Quando as percentagens destes ensaios forem conhecidas, o pré-tratamento da amostra está concluído, passando-se então para a fase seguinte. Nesta fase, existem dois procedimentos a realizar: a dispersão do solo e a sedimentação. De seguida detalha-se como foi realizada a análise granulométrica das amostras em estudo. Os resultados obtidos para cada amostra estudada, são apresentados no ponto 5.3..

A preparação inicial das amostras consistiu na desagregação do material com o recurso a um almofariz com um pilão (Figura 4-5.a)). De seguida peneirou-se o material utilizando-se peneiros de malha superior a 2.00mm (nº 10).

Toda a fração que ficou retida no peneiro nº10 foi levada à estufa. Já depois de seco, o material foi colocado nos peneiros da série ASTM (American Society for testing and Materials), (Figura 4-5.b)), permitindo registar a quantidade de material retido em cada peneiro (Figura 4-5.c)), que permite calcular a percentagem de material grosso existente em cada amostra.



a) Almofariz com pilão



b) Peneiração



c) Pesagem dos retidos nos peneiros

Figura 4-5: Ensaio da Peneiração

O ensaio da peneiração não permite conhecer, em rigor, a fração fina da amostra, mais concretamente a percentagem de argila e de silte. Para isso, é necessário realizar o ensaio de sedimentação.

Este ensaio de sedimentação foi realizado de acordo com a especificação E196 (1966). Inicialmente faz-se um pré-tratamento das amostras com o objetivo de descobrir a percentagem de matéria orgânica existente, bem como a percentagem dos compostos de cálcio.

Para calcular a percentagem de matéria orgânica é necessário colocar a amostra num frasco de Erlenmeyer de boca larga e juntar 150 cm³ de água oxigenada a 20 volumes (Figura 4-6). Deixa-se repousar durante uma noite. Quando já tiver repousado, ferve-se a mistura até reduzir o volume da mistura a cerca de 50 cm³.



Figura 4-6: Amostras com água oxigenada a 20 volumes

Finalmente, transfere-se, sem qualquer perda, para um tabuleiro previamente tarado, utilizando um jato de água destilada. A amostra vai à estufa até ter massa constante. Por fim, pesa-se a amostra seca e determina-se, por diferença, a massa do solo.

Com o objetivo de averiguar se as amostras possuíam compostos de cálcio, foi realizado o ensaio do ácido. Este ensaio consiste em colocar uma pequena porção de material de cada

amostra num recipiente de vidro, adicionando-lhe de seguida algumas gotas de ácido clorídrico a 10 %, observa-se se existe reação química, ou seja, se existe efervescência ou não (Figura 4-7).

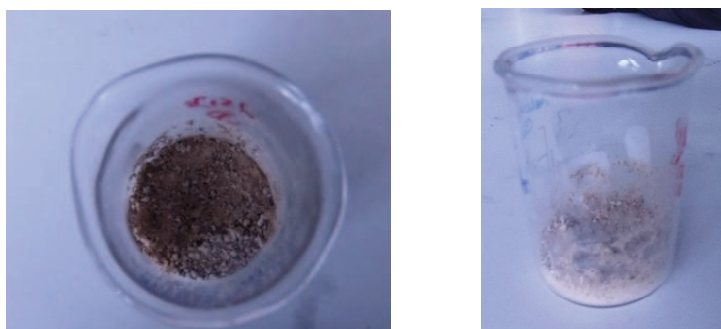
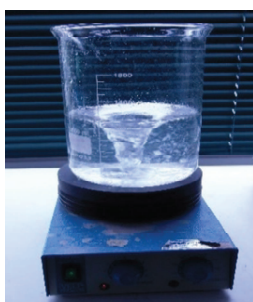


Figura 4-7: Ensaio do ácido

Depois de se ter feito o pré-tratamento às amostras e sabendo a percentagem dos compostos de cálcio e a percentagem de matéria orgânica existente passa-se à fase de dispersão do solo.

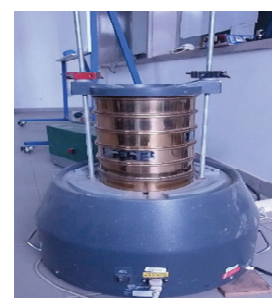
Esta fase consiste em juntar 100 cm³ de solução antifloculante (Figura 4-8.a)) à amostra. Posteriormente aquece-se a mistura suavemente e agita-se durante 15 minutos. Imediatamente depois transfere-se a mistura para um peneiro de 0,074 mm (nº 200) e lava-se o solo que fica no peneiro, usando um jacto de água destilada (Figura 4-8.b)). Deve-se ter o cuidado de transferir todas as partículas que ficam aderentes ao copo. Todas as partículas que ficaram retidas no peneiro nº 200, são transferidas para um tabuleiro, previamente pesado, e coloca-se na estufa. Após a secagem, peneira-se as partículas (Figura 4-8.c)) e efetuam-se os registos dos retidos em cada um dos peneiros da série ASTM.



a) Solução antifloculante



b) Lavagem da amostra no peneiro nº200



c) Peneiração por vibração

Figura 4-8: Dispersão do solo

Quando esta fase tiver terminada passa-se para a última fase do ensaio designada de sedimentação (Figura 4-9). A sedimentação consiste em transferir o material que passou no peneiro nº 200, para uma proveta de 1000 cm³. Essa passagem foi efetuada cuidadosamente de forma a que todas as partículas fossem transferidas para o interior da proveta. O ensaio inicia-se após a agitação da suspensão. Coloca-se o densímetro na proveta e deixa-se flutuar

livremente, em seguida, apontam-se os valores, referentes à densidade da mistura, nos tempos normalizados.

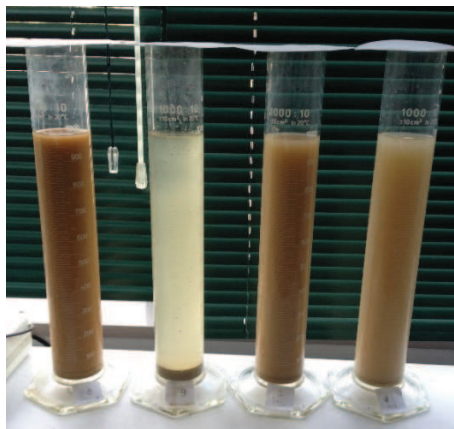


Figura 4-9: Amostras de sedimentação

4.2.3 Determinação dos limites de Atterberg

No caso de solos constituídos essencialmente por silte e argila (solos finos), a variação do teor de água pode conduzir a diferentes estados (Quadro 4-1). Assim, um solo argiloso com baixo teor em água não será moldável. Se entretanto adicionarmos água ele passa por um estado em que se desfaz em fragmentos quando se tenta moldá-lo, estado semissólido ou de comportamento friável. Se se continuar a juntar água, o solo atingirá um estado em que será possível a moldagem, sem variação de volume e sem fragmentação, estado plástico. Se acrescentar ainda mais água o solo transforma-se numa pasta com o comportamento de um líquido, estado líquido ou de comportamento fluído.

Os teores em água, limites inferiores das diferentes fases de comportamento de solo acabadas de referir são designados por limites de Atterberg ou limites de consistência. A determinação destes limites foram executados de acordo com os procedimentos indicados na norma portuguesa NP-143 (1969).

Quadro 4-1: Estados de comportamento de um solo

Teor em água crescente			
Sólido	Semissólido ou comportamento friável	Plástico ou comportamento moldável	Líquido ou comportamento fluído
		↓	↓
		Limite de plasticidade	Limite de liquidez

Pelo esquema anterior, verifica-se que o solo apresentará comportamento moldável para teores em água compreendidos entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. A respetiva diferença numérica designa-se por índice de plasticidade.

A determinação dos limites de liquidez e de plasticidade é somente aplicável a solos com cerca de 30 % ou mais de partículas de dimensões inferiores a 0,05 mm. Ficam, portanto, excluídos os solos predominantemente arenosos para os quais o ensaio, mesmo quando é possível ser realizado, perde o seu significado.

Em relação às amostras em estudo, e analisando a granulometria de cada curva, só foi possível realizar os limites para a amostra número 12, pois foi a única que cumpria os limites atrás referidos. Os resultados obtidos serão apresentados no capítulo 5.5.

4.2.3.1 Determinação do limite de liquidez

Entende-se por limite de liquidez, o teor em água acima do qual o solo adquire o comportamento de um líquido. O ensaio consiste na determinação do teor em água correspondente a 25 pancadas, obtido por interpolação numa curva que relaciona o teor em água de cada um de quatro provetes da amostra com o número de pancadas para o qual os bordos inferiores de um sulco aberto num provete se unem numa extensão de 1 cm. Os teores em água dos quatro provetes devem ser escolhidos de modo que o número de pancadas necessárias para unir os bordos dos sulcos varie entre 10 e 40 e se distribuam, em dois ensaios abaixo de 25 pancadas e, em outros dois, acima de 25 pancadas.

A determinação deste teor em água é efetuada através da concha de Casagrande.



a) Concha da Casagrande com



b) Amostras da união do sulco

Figura 4-10: Determinação do limite de liquidez

Para se proceder ao ensaio, começou-se por desagregar a amostra com a ajuda de um almofariz e um pilão, com o objetivo de separar as partículas sem alteração da sua granulometria e que passem através do peneiro nº 40. O material que passa no peneiro é amassado à espátula com água destilada até se formar uma pasta homogénea e consistente. Toma-se uma porção dessa amassadura que é colocada na concha de Casagrande (Figura 4-10.a)) de modo que se obtenha uma camada, não muito comprimida e com uma espessura máxima de 1 cm. Faz-se um sulco a meio da amostra e calcula-se quantas pancadas são necessárias para que a parte inferior do sulco se una a 1 cm. Por fim, retira-se uma pequena amostra (Figura 4-10.b)) da união do sulco e

procede-se à determinação do seu teor em água, pesando-se o material antes e após a sua secagem. Para diferentes teores em água registam-se os diferentes números de pancadas.

4.2.3.2 Determinação do limite de plasticidade

Entende-se por limite de plasticidade o teor em água abaixo do qual o solo passa do estado plástico para o estado semissólido, ou seja, o solo perde a capacidade de ser moldado e passa a ser quebradiço. Este ensaio consiste na determinação da média dos teores em água de quatro provetes da amostra a ensaiar. Cada provete rompe ao pretender que se transforme num cilindro com cerca de 3 mm de diâmetro, por rolagem entre a palma da mão e uma placa de vidro.



a) Placa de vidro



b) Amostras dos filamentos

Figura 4-11: Determinação do limite de plasticidade

Tal como na determinação do limite de liquidez, a amostra a ensaiar corresponde ao material que passa no peneiro nº40. A este material junta-se água destilada até que a massa se torne suficientemente plástica para permitir moldar com facilidade quatro pequenas esferas de diâmetro sensivelmente iguais.

Rola-se um dos provetes da mistura obtida entre a palma da mão e uma placa de vidro (Figura 4-11.a)), de modo a formar um filamento cilíndrico (Figura 4-11.b)) com cerca de 3 mm de diâmetro.

Quando o filamento atinge este diâmetro, volta-se a formar a esfera e rola-se de novo com o objetivo de formar o filamento com o diâmetro acima indicado. Estas operações são repetidas até que, por progressiva secagem da amostra, o filamento se quebre em vários fragmentos quando atingir 3 mm de diâmetro. O teor em água da amostra, quando isto ocorre, é considerado o limite de plasticidade.

O valor concreto do limite de plasticidade é obtido a partir da média aritmética do teor em água assim determinado para as quatro amostras que foram preparadas.

4.2.4 Ensaio do azul-de-metileno

O ensaio de azul-de-metileno foi realizado seguindo os procedimentos da norma francesa P 18-592 (1990). O objetivo deste ensaio é conhecer a quantidade relativa de elementos finos de natureza argilosa de cada amostra estudada.

O princípio do ensaio consiste em introduzir quantidades crescentes de solução de azul-de-metileno, por doses sucessivas, até que a superfície das partículas que têm a capacidade de adsorção esteja coberta. Nesse momento passa a existir um excesso de azul-de-metileno na preparação, correspondendo ao ponto de viragem que marca o fim do ensaio, e que pode ser detetado pelo teste da mancha. Este teste consiste em colocar uma gota da preparação num papel de filtro e verificar se existe uma auréola azul mais clara no bordo da mancha. A presença da auréola traduz a existência de azul-de-metileno livre na preparação, evidenciando que todas as partículas suscetíveis de adsorverem azul-de-metileno estão cobertas por uma camada de moléculas daquela substância.

Em algumas amostras a percentagem de finos (argila) tem uma enorme capacidade de adsorção da solução azul-de-metileno. Devido à rápida adsorção, e de forma a atrasar o processo para conseguir resultados mais específicos, pode-se adicionar à mistura caulinite. Por isso, acrescentou-se em algumas amostras em que a adsorção do azul metileno foi muito rápida, cerca de 30g de caulinite.

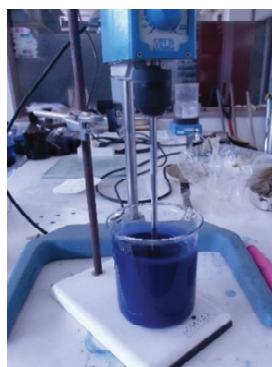


Figura 4-12: Caulinite e amostra em estudo

Para se proceder ao ensaio é necessário inicialmente passar as partículas no peneiro com abertura de 0,074 mm (nº 200) e de seguida pesar cerca de 30 g de material. Junta-se cerca de 500 ml de água destilada à amostra e coloca-se no agitador elétrico (Figura 4-13.a)).

Em meio intensamente agitado, após a adição de 5 ml da solução de azul metileno, retira-se uma gota da suspensão, que é pingada sobre o papel de filtro (Figura 4-13.b)). Se a mancha formada pela difusão da gota no papel apresentar uma auréola azul clara, significa que há excesso de corante na solução, se não adiciona-se mais 5 ml da solução de azul metileno e após um minuto de agitação, repete-se o teste da mancha até atingir-se o ponto onde há excesso de corante, designado como ponto de viragem. Atingindo esse ponto, deixa-se a solução agitando

por mais três minutos, retira-se novamente uma gota da solução, pingando-a no papel de filtro para confirmação do excesso.



a) Agitador eléctrico



b) Exemplo de um teste

Figura 4-13: Ensaio do azul-de-metileno

No final do ensaio regista-se o volume total de solução do azul-de-metileno adicionado para produzir a auréola que perdure pelo menos 5 minutos.

4.2.5 Ensaio de equivalente de areia

O ensaio de equivalente de areia foi executado de acordo com os procedimentos referidos na norma europeia E199 – 1967. Tem como objetivo determinar o equivalente de areia, característica que exprime a quantidade e a qualidade de elementos finos plásticos existentes num solo.

Antes de realizar o ensaio é necessário determinar a constante K do aparelho. Consiste na introdução de um pistão no provete de modo que a sua base contacte perfeitamente com o seu fundo. A constante K do aparelho é a distância entre a face superior da peça e a face interior do pistão.

Para se proceder ao ensaio é necessário inicialmente passar as partículas no peneiro com abertura de 4,76 mm (nº4). Em seguida pesam-se duas porções de 120 g de solo seco. Para este ensaio é necessário utilizar uma solução diluída, preparada a partir de uma solução concentrada com água destilada, que deve estar a uma altura de 1 m em relação ao tampo da mesa de trabalho. Após a pesagem das amostras, transfere-se a solução diluída para o provete até atingir o traço de referência inferior. De seguida transfere-se o solo para o provete, com a ajuda de um funil. Bate-se várias vezes sobre a palma da mão e deixa-se repousar o provete durante 10 min (Figura 4-14.a)). No final desse período tapa-se o provete com uma rolha de borracha e fixa-se no agitador mecânico (Figura 4-14.b)), fazendo uma agitação de 90 ± 1 ciclos em 30 ± 1 s.



a) Proveta ao final de 10 min.



b) Agitador mecânico

Figura 4-14: Ensaio de Equivalente de Areia

Retira-se a proveta do agitador e coloca-se na posição vertical, descendo o tubo de lavagem. Lavam-se, de cima para baixo, as paredes da proveta. Quando o líquido atingir no provete o traço de referência superior, retira-se o tubo de lavagem lentamente. Deixa-se repousar cerca de 20 min e regista-se o valor da altura (h_1) (Figura 4-15), do nível superior do floculado. Desce-se lentamente o pistão na proveta, até repousar na parte sedimentada e retira-se o valor da distância entre a face superior da peça e a face interior da proveta (h_3) (Figura 4-15). Subtraindo estes valores à constante K determina-se o valor h_2 .

Por fim, calcula-se o equivalente de areia para cada proveta, em que se divide a altura do sedimento determinada com o auxílio do pistão (h_2) pela altura do nível superior do floculado em relação ao fundo da proveta (h_1) multiplicando por cem, sendo o resultado apresentado em percentagem. O equivalente de areia da amostra é a média aritmética do valor determinado sobre os dois provetes, arredondada à unidade.

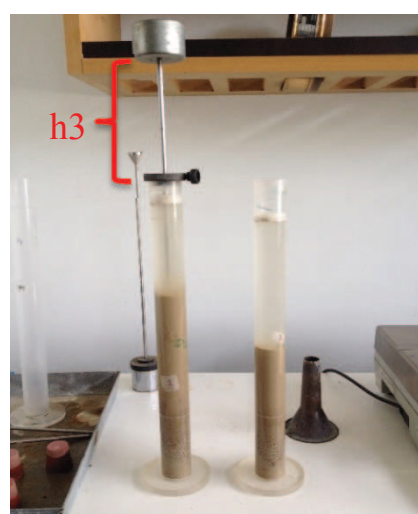


Figura 4-15: Determinação de h_1 e h_3

4.2.6 Ensaio de compressão

O método consiste na realização do ensaio de compressão em amostras irregulares utilizando a prensa convencional utilizada para ensaios de compressão de provetes prismáticos de argamassa (EN 1015 - 11 [3]).

O ensaio de compressão só foi possível realizar em algumas amostras, mais propriamente no Ed.1, às amostra 1, 2 e 3 e no Ed.2 às amostras 6 e 7. Não foi possível extrair mais amostras devido à sua fraca coesão. Tratam-se de amostras retiradas do revestimento de paredes. Os casos selecionados referem-se a edifícios antigos construídos no século XIX.

As amostras recolhidas têm espessura variável. Em algumas distinguem-se camadas diferentes, associadas essencialmente ao revestimento exterior final. Estas camadas exteriores nem sempre apresentam a cal como ligante, mas sim cimento ou outros ligantes de origem hidráulica, datadas de épocas mais recentes, associadas certamente a obras de conservação.

Após a seleção das amostras a ensaiar (Figura 4-16), estas foram suavemente escovadas com o objetivo de remover partículas soltas de sujidade e de colonização biológica.



Figura 4-16: Amostras para ensaio à compressão

Para a realização deste ensaio foram construídos prismas de metal com dois objetivos principais. Por um lado para serem o elemento de contato, efectivo, entre a prensa e a amostra, e por outro lado para garantir que a rotura se dá no material ensaiado. Refira-se que inicialmente foram ensaiadas amostras com prismas de cimento (Figura 4-17). Quando ensaiadas (aos 7 dias) verificou-se que tinham uma resistência muito baixa. Não seria esta a melhor solução para este ensaio pelo que se recorreu aos prismas de metal.



Figura 4-17: Amostra dos cubos de cimento

Para efetuar a ligação dos prismas de metal à argamassa recorreu-se a cimento. É necessário que o cimento aplicado na argamassa tenha uma espessura fina e que a área aplicada não seja diferente dos cubos de metal para obter resultados mais precisos. Foi aplicado sobre duas faces, tendo-se o cuidado de ajustar a amostra de forma que as faces das peças metálicas fiquem paralelas.

A área de contato dos prismas de metal (Figura 4-18) com a máquina foi ajustada às dimensões de 40 mm × 40 mm × 10 mm espessura, conforme o procedimento descrito em EN 1015 -11.



Figura 4-18: Amostra dos prismas de metal

Devido ao tempo ser um pouco escasso decidiu-se aplicar uma camada muito fina de cimento para garantir a aderência do prisma de metal com a da amostra. Foi aplicada sobre duas faces paralelas das amostras irregulares, uma camada uniforme de cimento, tendo como objetivo adaptar as amostras aos pratos do aparelho de compressão.

Após a colagem dos prismas de metal aguarda-se um período mínimo de 7 dias, para garantir a presa e resistência do cimento, antes de realizar o ensaio de compressão. A Figura 4-19 mostra exemplos de amostras irregulares antes do ensaio de resistência à compressão.



Figura 4-19: Amostras antes do ensaio de resistência à compressão

Depois de estar seca a amostra foi realizado o ensaio de compressão. Para ter resultados eficazes, foram feitas seis subamostras de cada amostra e por fim fez-se uma média destas seis amostras. Teve que se fazer um ajustamento manual na prensa convecional, não previsto na EN 1015 – 11, para a máquina entrar em contato com a amostra sem choque. A carga é aplicada a velocidade constante de 50 N/s, não foi possível obter a rotura do provete no tempo exigido na norma, entre 30 a 90 segundos.

Na Figura 4-20 pode-se ver o resultado final das amostras quando se dá a rotura da argamassa. No capítulo 5.8 resultados e discussões apresentam-se os resultados obtidos deste ensaio.



Figura 4-20: Amostras após da realização do ensaio

4.2.7 Análise SEM/EDS

A análise SEM/EDS foi realizada na Unidade de Microscopia Eletrónica e de Varrimento da UTAD (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro). Diferentes trabalhos de investigação (Martinho, 2010), (Gonçalves, 2010), (Cepeda, 2009) recorreram a este ensaio com o mesmo propósito que foi o de identificar a composição química elementar das amostras de argamassa.

Segundo Cepeda, a preparação das amostras consiste em colocá-las sobre pinos de alumínio e fixá-las com cola de carbono. Para a sua visualização, foi utilizado o modo Alto Vácuo, tendo sido usada uma pressão parcial no interior da câmara de 1,33 mbar e uma tensão de aceleração de 30 kV. A quantidade de material usado neste ensaio por cada amostra é muito reduzida, cerca de 5 g. Por ser um ensaio bastante dispendioso foi só possível fazer a análise nas amostras 1 e 3 do Ed.1, 6 e 8 do Ed.2, 10 e 11 do Ed.3 e 12 do Ed.4. Os resultados deste ensaio encontram-se no capítulo 5.9, bem como fotografias e gráficos de apoio.

Na Figura 4-21 mostra o equipamento utilizado para este ensaio, Microscópio de Varrimento Eletrónico.



Figura 4-21: Microscópio de Varrimento Eletrónico (Cepeda, 2009)

5. Apresentação e discussão dos resultados obtidos

No capítulo anterior foram apresentados e descritos os procedimentos de ensaio adotados. Importa agora a apresentação e análise dos resultados experimentais obtidos, utilizando para tal gráficos, quadros e figuras de apoio.

5.1 Composição química e mineralógica elementar

Analisando os resultados obtidos, como se indica no Quadro 5-1, é possível conhecer a percentagem de matéria orgânica (Figura 5-1) existente em cada amostra.



Figura 5-1: Amostra com matéria orgânica

Quadro 5-1: Resultados da matéria orgânica

	Id.	Amostra seca + Recipiente (g)		Matéria orgânica (%)
		Antes da calcinação	Após a calcinação	
Ed.1	1	51,0	50,5	0,98
	2	102,1	101,7	0,39
	3	102,2	100,9	1,27
	4	54,6	54,6	0,00
Ed.2	5	101,2	100,9	0,29
	6	103,9	103,8	0,09
	7	106,3	106,3	0,00
	8	53,1	52,3	1,51
	9	51,0	50,2	1,57
Ed.3	10	105,3	103,5	1,71
	11	106,2	104,1	1,98
Ed.4	12	101,7	100,7	0,98

Estes resultados indicam a existência de matéria orgânica nas amostras. Estamos perante amostras com percentagens relativamente pequenas de matéria orgânica.

5.2 Determinação da densidade das partículas

No Quadro 5-2, apresenta-se o valor da densidade das partículas do solo com dimensões inferiores a 4,76 mm. Esta densidade foi calculada de acordo com a norma portuguesa NP 83 (1965) e constitui um parâmetro necessário para efetuar o ensaio de sedimentação.

Quadro 5-2: Densidade das partículas das amostras (G)

	Amostra	G
Ed. 1	1	2,66
	2	2,55
	3	2,56
	4	2,52
Ed. 2	5	2,47
	6	2,57
	7	2,61
	8	2,63
	9	2,74
Ed. 3	10	2,51
	11	2,45
Ed. 4	12	2,57

5.3 Análise granulométrica

A composição granulométrica constitui as características de identificação do solo, que é definida como a distribuição em percentagem das partículas do solo, de acordo com as suas dimensões. Para as partículas de maiores dimensões o método utilizado é o da peneiração. Para as partículas de menores dimensões usa-se o método da sedimentação.

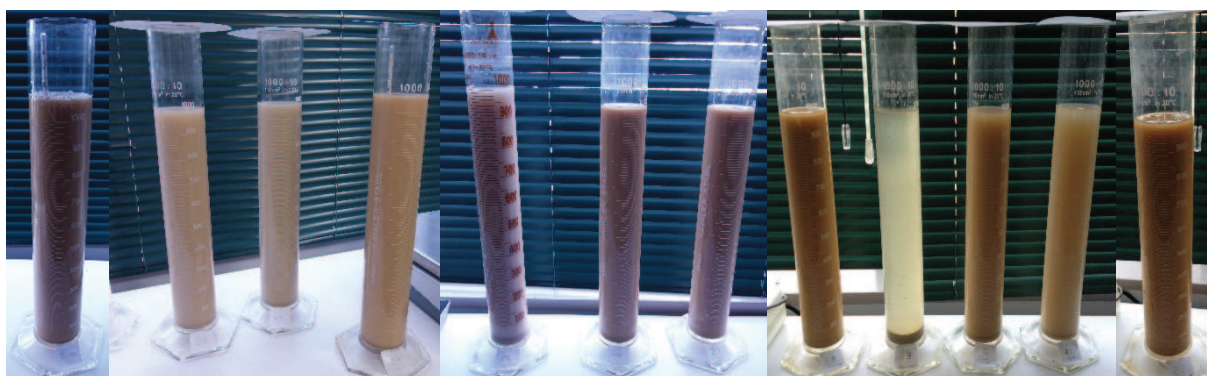


Figura 5-2: Método da sedimentação, amostras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Neste método analisa-se o processo de sedimentação das partículas de menor dimensão, inferiores a 0,075 mm (peneiro nº 200), medindo a densidade do líquido em determinados intervalos de tempo. A diferença de densidades medirá a quantidade de partículas que sedimentaram ao fim de um certo tempo. Na Figura 5-2 pode-se observar a sedimentação das amostras estudadas, bem como a diferença de cor das amostras, como a sedimentação das partículas ao fim de um certo tempo.

Os resultados das análises granulométricas são apresentados em gráficos com escala logarítmica no eixo das abcissas, que representa as dimensões das partículas em milímetros. No eixo das ordenadas estão representados os valores do material passado nos peneiros, em percentagem. Através da interpretação destes dados procede-se à classificação do solo (Quadro 5-3). Em argilas, siltes, areias ou cascalho.

Quadro 5-3: Classificação dos solos

Tipo de solo	Diâmetro da malha
Argila	Menor que 0,005 mm
Silte	Entre 0,005 mm e 0,05 mm
Areia	Entre 0,05 mm e 5,0 mm
Cascalho	Maior que 5,0 mm

A apresentação gráfica dos resultados da análise granulométrica encontra-se mencionada nos seguintes gráficos.

O Gráfico 5-1, representa as curvas granulométricas obtidas das amostras 1, 2, 3 e 4 do Ed.1.

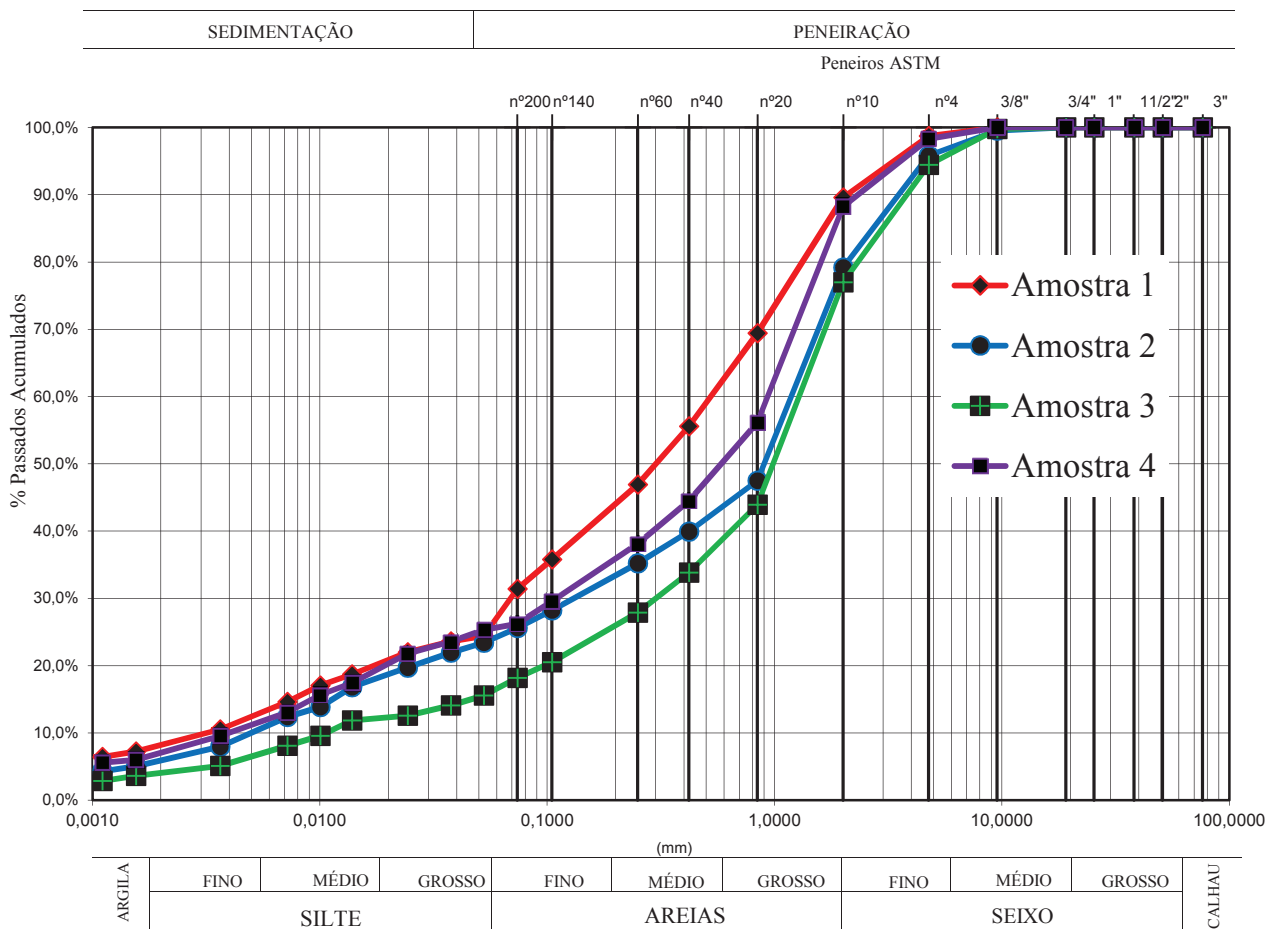


Gráfico 5-1: Curva granulométrica das amostras 1, 2, 3 e 4, pertencentes ao edifício 1

Através de uma análise dos resultados obtidos (Quadro 5-4) é possível concluir que as curvas granulométricas obtidas no Ed.1 são semelhantes, o que indica que a origem geográfica do material utilizado na construção pode ser próxima, o que é espetável. Por outro lado, verifica-se que as curvas granulométricas são extensas, uma vez que as dimensões das partículas estão compreendidas entre 0,001 mm e 10 mm.

Quadro 5-4: Percentagens de fração fina e média do Ed.1

Amostra	Fração fina (silte e argila)	Fração média (areia e seixo)
	[%]	[%]
1	25	75
2	24	76
3	16	84
4	25	75
Média	22,5	77,5

É de notar que a amostra 2, 3 e 4 são de paredes em tabique e a amostra 1 de uma parede em alvenaria.

5 – Apresentação e discussão dos resultados obtidos

O Gráfico 5-2, representa as curvas granulométricas obtidas das amostras 5, 6, 7, 8 e 9 do Ed.2.

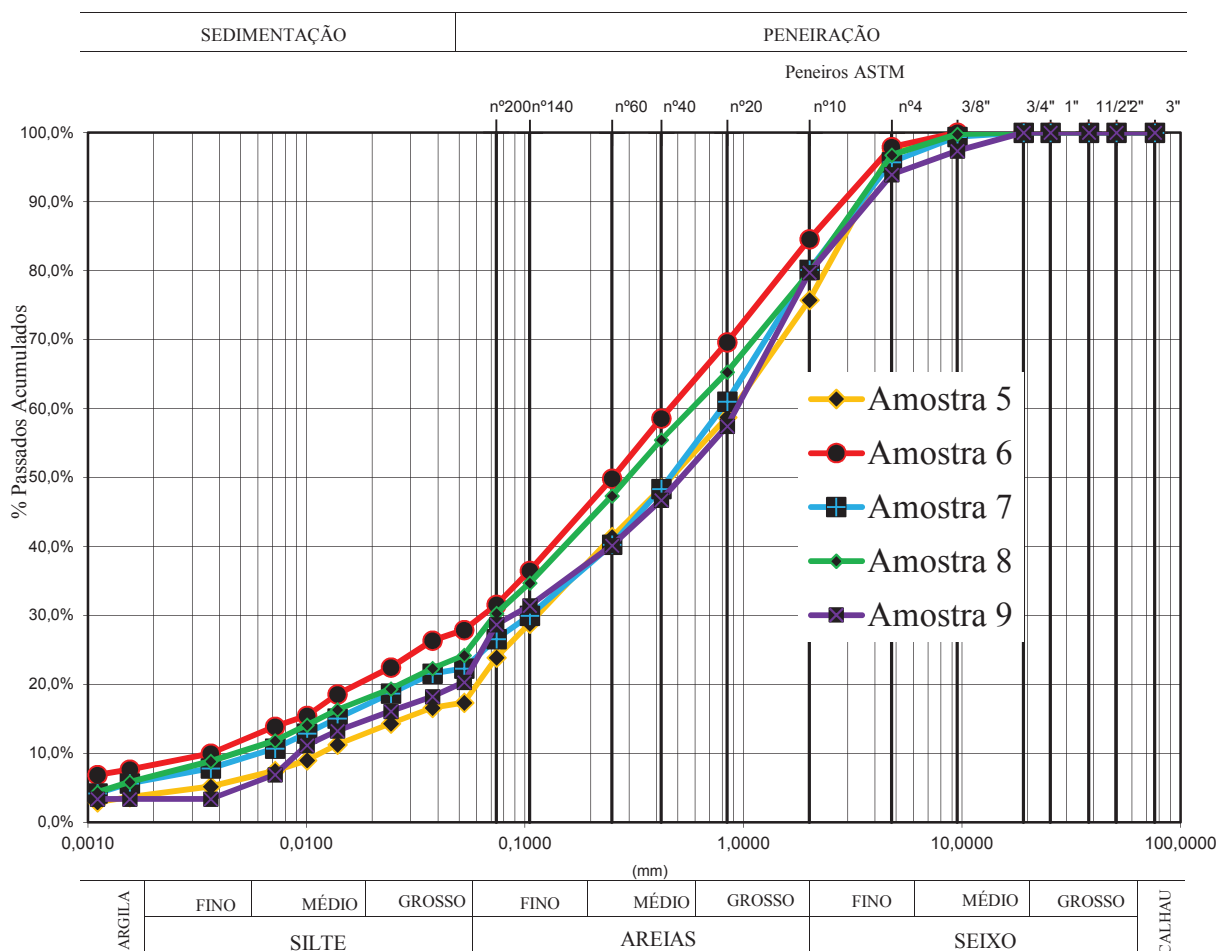


Gráfico 5-2: Curva granulométrica das amostras 5, 6, 7, 8 e 9 pertencentes ao edifício 2

Depois de uma análise aos resultados obtidos (Quadro 5-5), podemos afirmar que as curvas granulométricas são idênticas, logo como dissemos anteriormente, o material utilizado nestas argamassas tem a mesma origem geográfica.

Quadro 5-5: Percentagens de fração fina e média do Ed.2

Amostra	Fração fina (silte e argila)	Fração média (areia e seixo)
	[%]	[%]
5	17	83
6	28	72
7	23	77
8	25	75
9	22	78
Média	23	77

5 – Apresentação e discussão dos resultados obtidos

O Gráfico 5-3, representa as curvas granulométricas obtidas das amostras 10 e 11 do Ed.3.

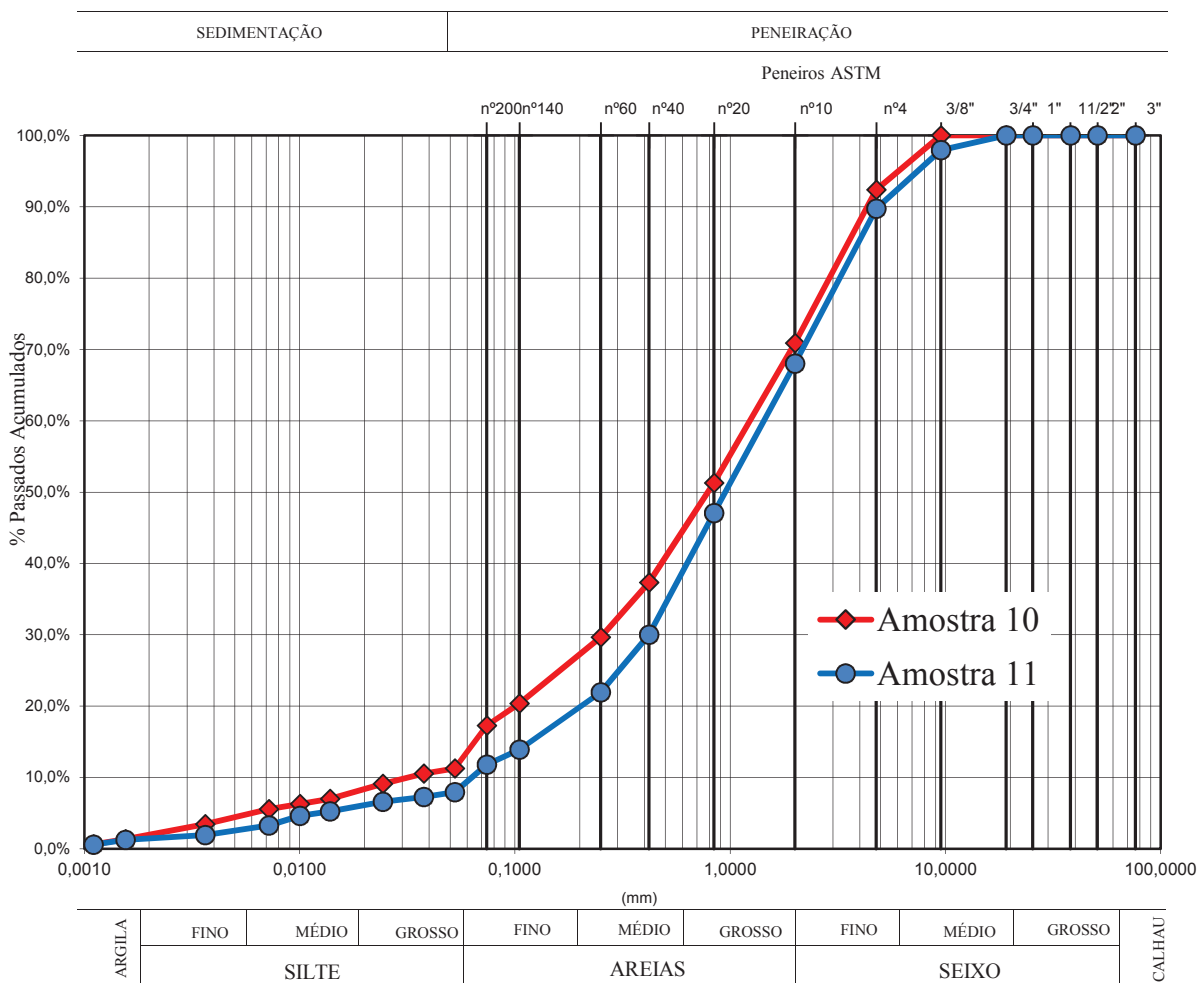


Gráfico 5-3: Curva granulométrica das amostras 10 e 11 pertencentes ao edifício 3

A curva granulométrica das amostras 10 e 11, comparativamente com as outras amostras já analisadas são um pouco diferentes como se pode ver (Quadro 5-6).

Quadro 5-6: Percentagens de fração fina e média do Ed.3

Amostra	Fração fina (silte e argila) [%]	Fração média (areia e seixo) [%]
10	11	89
11	8	92
Média	9,5	90,5

A curva granulométrica deste edifício verifica-se que é extensa, como as anteriores, e as duas curvas em si são diferentes, o que se conclui que o material utilizado era praticamente o mesmo. É de referir que a amostra 10 pertencia ao interior do edifício de uma parede em tabique enquanto a amostra 11 pertencia ao exterior do edifício, parede de alvenaria.

5 – Apresentação e discussão dos resultados obtidos

O Gráfico 5-4, representa a curva granulométrica obtida da amostra 12 do Ed.4.

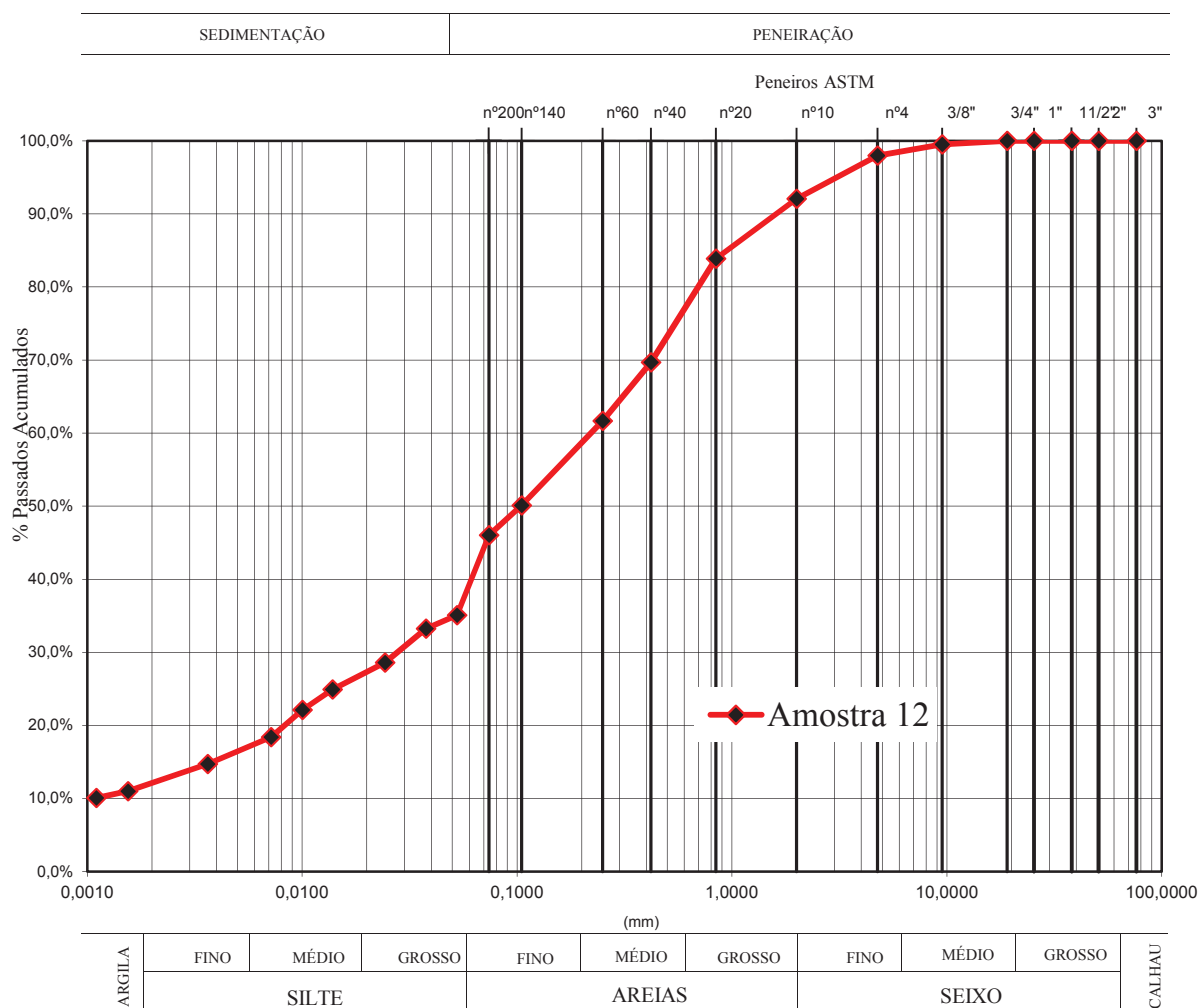


Gráfico 5-4: Curva granulométrica das amostras 12 pertencentes ao edifício 4

Em análise a curva granulométrica é bastante diferente (Quadro 5-7) das outras já aqui analisadas.

Quadro 5-7: Percentagens de fração fina e média do Ed.4

Amostra	Fração fina (silte e argila)	Fração média (areia e seixo)
	[%]	[%]
12	40	60

Segundo Pinto (2013), a constituição média do material de enchimento é de 25 % de fração fina (silte e argila) e de 75 % de fração média (areia e seixo), resultados que estão de acordo com Cepeda (2010), Gonçalves (2010) e Martinho (2010), mas diferentes com os resultados obtidos por Cardoso (2013), que indica que o material de enchimento ronda os 60 % de fração fina e 40 % de fração média. Pinto (2013), afirma ainda que esta diferença de resultados entre os autores anteriormente referidos, pode ser explicado tendo em conta a disparidade geográfica

das construções em estudo, o que reforça que a terra utilizada em paredes em tabique terá muito provavelmente origem local.

Analisando os resultados obtidos, só as amostras 1, 2, 4, 6, 7, 8 e 9 vão de encontro com os resultados obtidos através de Pinto (2013). As amostras 3, 5, 10 e 11 tem uma percentagem muito pequena na fração fina enquanto a amostra 12 tem uma percentagem superior, resultados que não vão de encontro com nenhum resultado obtido pelos autores anteriores referidos, o que vem a confirmar que a terra utilizada antigamente tinha origem local.

Em seguida apresenta-se no Quadro 5-8, um resumo da percentagem de fração fina e de fração média de cada amostra estudada.

Quadro 5-8: Resumo das percentagens das frações finas e médias

	Amostra	Fração fina (silte e argila) %	Fração média (areia e seixo) %
Ed.1	1	25	75
	2	24	76
	3	16	86
	4	25	75
Ed.2	5	17	83
	6	28	72
	7	23	77
	8	25	75
	9	22	78
Ed.3	10	11	89
	11	8	92
Ed.4	12	40	60

Através dos diagramas apresentados anteriormente permitiu-se verificar a máxima dimensão do agregado, aproximadamente, 2 mm (peneiro nº 10) para as amostras 1, 4 e 10 e de 4,75 mm (peneiro nº4) para as amostras 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11 e 12 (menor dimensão da malha do peneiro pelo qual passa uma percentagem igual ou superior a 90 %).

Com os resultados alcançados das amostras anteriores pode-se afirmar que antigamente não havia um seguimento de preparação para o material de enchimento, e provavelmente toda a terra utilizada, bem como outros tipos de materiais misturados provinham do local onde eram feitas as construções.

5.5 Determinação dos limites de Atterberg

Como já foi referido no capítulo 4.2.3 (Determinação dos limites de Atterberg), este ensaio só foi possível realizar em amostras com mais de 30% de partículas de dimensões inferiores a 0,05 mm, como refere a NP-143 (1969). Neste caso, a única amostra que respeitava este pressuposto, a ser ensaiada, foi a nº 12, pertencente ao Ed.4.

No Quadro 5-10 são indicados, os valores obtidos nas várias etapas da determinação do limite de liquidez para essa amostra.

Quadro 5-10: Determinação do limite de liquidez (LL)

Id.	Número de pancadas	Amostra húmido + recipiente (g)	Amostra seca + recipiente (g)	Recipiente (g)	Teor de água (%)
12.1	12	22,9	21,2	16,0	32,69
12.2	20	29,8	26,7	16,2	29,52
12.3	26	26,8	23,8	13,1	28,04
12.4	38	27,9	25,3	16,0	27,96

Através do número de pancadas determinadas anteriormente, traçou-se uma reta, que relaciona o teor de água em cada um dos provetes ao correspondente número de pancadas (Gráfico 5-6).

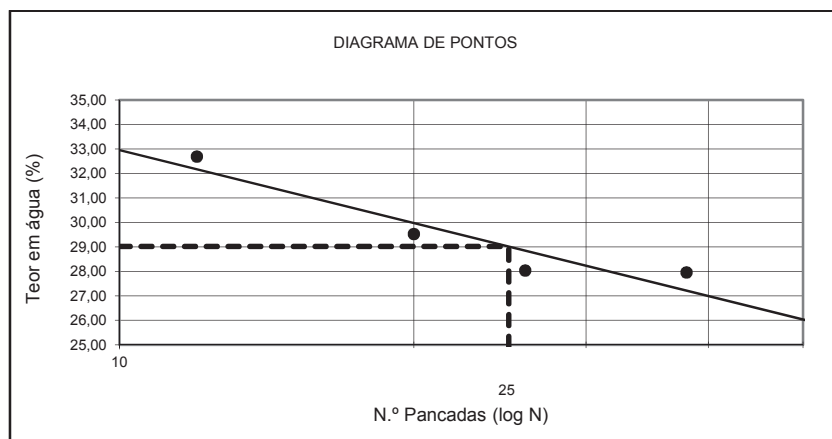


Gráfico 5-6: Determinação do limite de liquidez da amostra 12, Ed.4

Para esta amostra, obteve-se para o limite de liquidez o valor de 29 %.

A determinação do limite de plasticidade, encontra-se indicada no Quadro 5-11. O seu valor corresponde à média aritmética dos teores em água de três provetes a amostra ensaiada, com que rompe cada provete ao transformar-se num filamento cilíndrico com, aproximadamente, 3 mm de diâmetro.

Quadro 5-11: Determinação do limite de plasticidade (LP)

Id.	Amostra húmida + recipiente (g)	Amostra seca + recipiente (g)	Recipiente (g)	Teor em água (%)	LP (%) (médio)
12.5	14,30	14,08	13,20	25,00	23,53
12.6	18,60	18,30	17,10	25,00	
12.7	12,10	11,87	10,80	21,50	
12.8	12,10	11,86	10,80	22,64	

Para a amostra 12, Ed.4 o limite de plasticidade médio é de 24%.

Por fim, no Quadro 5-12 apresenta-se um resumo dos resultados finais obtidos para os limites de Atterberg da amostra analisada.

Quadro 5-12: Plasticidade da amostra 12 do Ed.4

LL (%)	29
LP (%)	24
IP(%)=LL-LP	5

O índice de plasticidade (IP) é calculado pela diferença entre o limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP). Este índice mede a plasticidade dos solos e representa a quantidade de água necessária para que um solo passe do estado plástico ao líquido, permitindo medir a tendência à expansão do solo.

Assim o índice de plasticidade da amostra 12 é de 5 %, isto é, a amostra precisa de 5 % de água para passar do estado plástico ao líquido.

5.6 Ensaio do azul-de-metileno

Em seguida serão ilustradas as imagens relativas às amostras ensaiadas através deste método. No final apresenta-se os resultados obtidos.

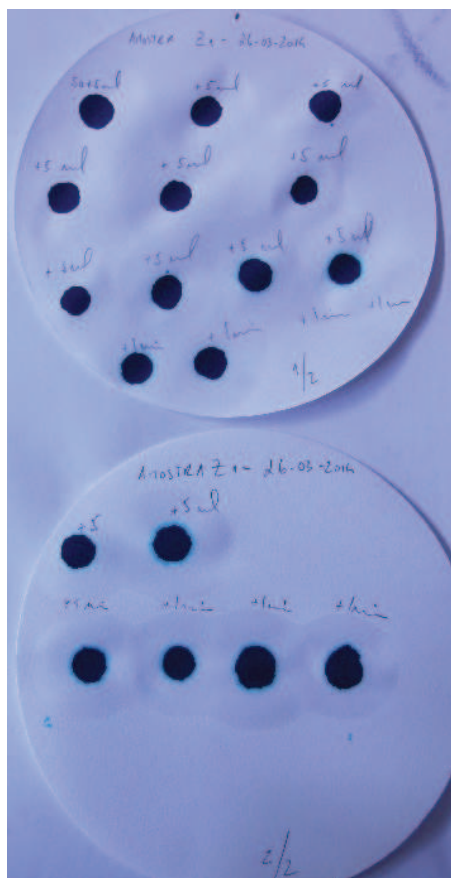


Figura 5-3: Amostra 1 do Ed. 1

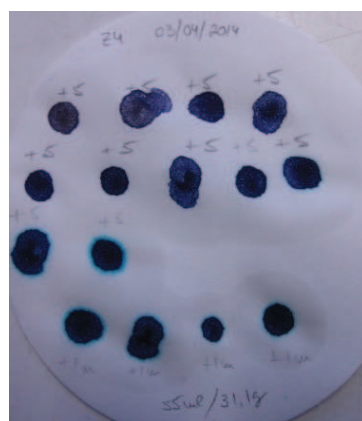
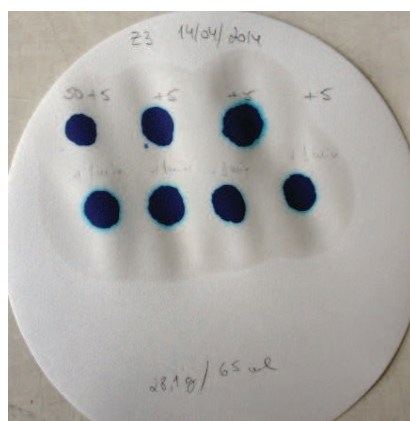
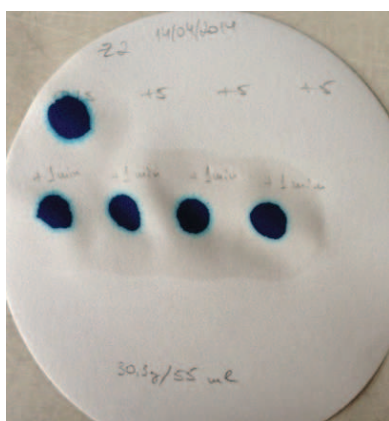


Figura 5-4: Amostras 2, 3 e 4 do Ed. 1

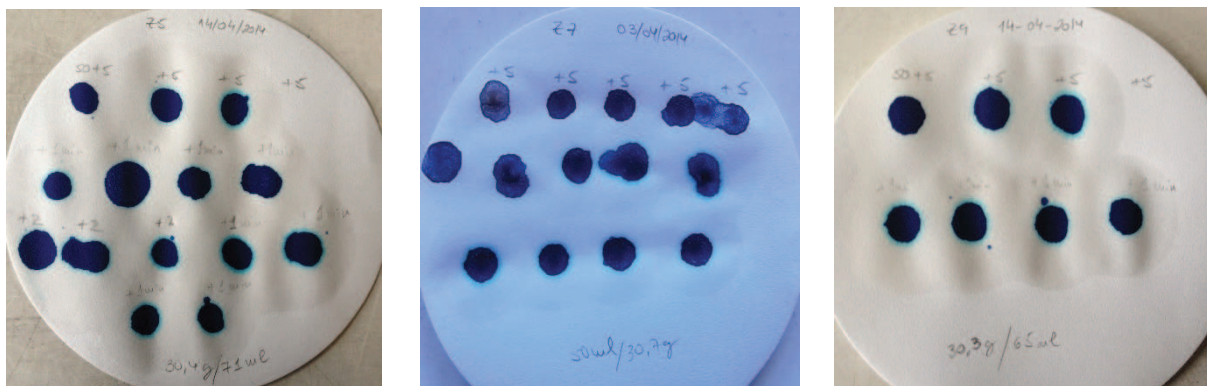


Figura 5-5: Amostras 5, 7 e 9 do Ed. 2

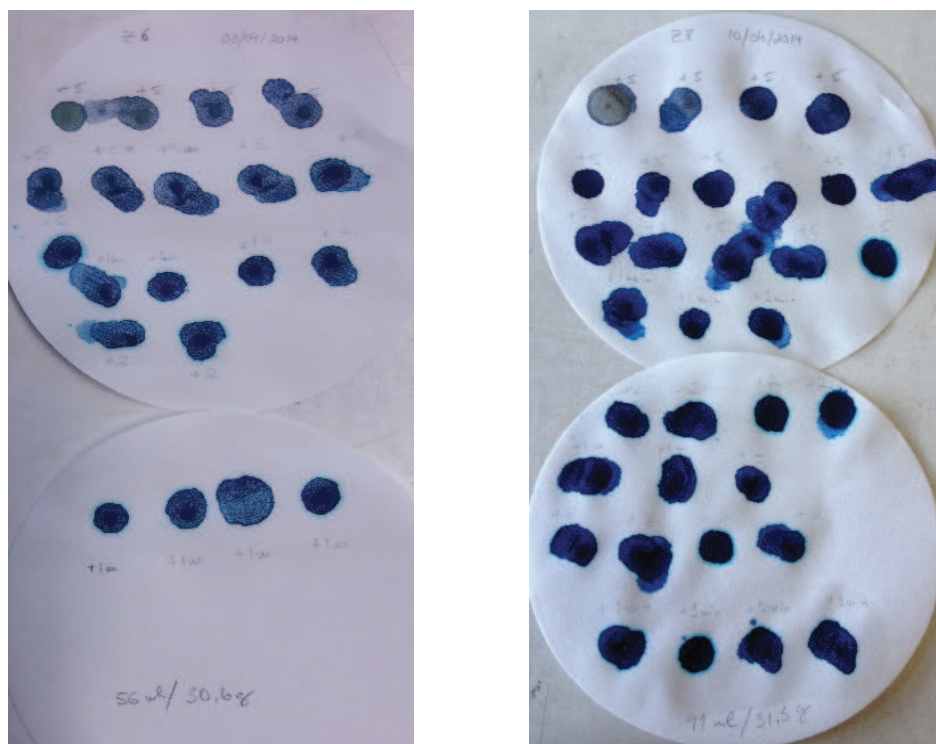


Figura 5-6: Amostras 6 e 8 do Ed. 2

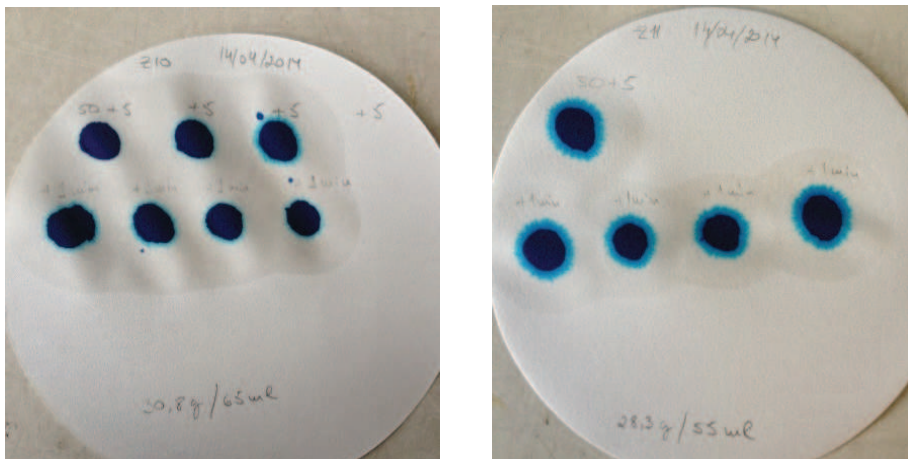


Figura 5-7: Amostras 10 e 11 do Ed. 3

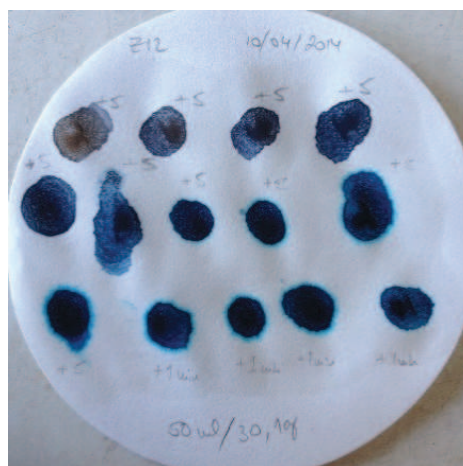


Figura 5-8: Amostra 12 do Ed. 4

Pelo ensaio de azul-de-metileno, pode-se apreciar o comportamento da fração argilosa, já que a adsorção se deve a minerais argilosos no agregado. O mecanismo de adsorção de azul-de-metileno pelas partículas consiste na permuta iônica entre os cátions existentes na superfície dessas partículas, como por exemplo os cátions de cálcio, sódio, magnésio e potássio, e os cátions resultantes da dissociação da molécula de azul-de-metileno em solução aquosa.

A presença da auréola, no final do ensaio, traduz a existência de azul-de-metileno livre na preparação, evidenciando que todas as partículas suscetíveis de adsorverem azul-de-metileno estão cobertas por uma camada de moléculas daquela substância.

No Quadro 5-13 são apresentados os resultados obtidos nas amostras ensaiadas por este método. Às amostras 1, 2, 3, 5, 9, 10 e 11 necessitaram de ser adicionadas com caulinite para ampliar os seus resultados, ao contrário das amostras 4, 6, 7, 8 e 12, onde não foi necessário acrescentar caulinite.

Quadro 5-13: Resultados de cada amostra do ensaio do azul-de-metileno

Id.	Massa seca (g)	Quantidade de azul metileno adicionado (ml)	Volume caulinite (ml)	Valor de azul metileno (g/100g solo)
1	30,0	110	50	2,00
2	30,3	55	50	0,17
3	28,1	65	50	0,53
4	31,1	55		1,77
5	30,4	71	50	0,69
6	30,6	56		1,83
7	30,7	50		1,63
8	31,3	91		2,91
9	30,3	65	50	0,50
10	30,8	65	50	0,49
11	28,3	55	50	0,18
12	30,1	50		1,66

Através deste ensaio podemos avaliar a argilosidade dos solos ou seja a quantidade de argila existente em gramas, por cada 100 gramas de solo, relacionando o mesmo com a capacidade de adsorção da solução de azul-de-metileno.

Com estes resultados podemos afirmar que as amostras 1, 4, 6, 7, 8 e 12 demoraram mais tempo a adsorver solução de azul-de-metileno, foi necessário mais quantidade da solução para que todas as partículas das amostras tivessem cobertas por uma camada de moléculas daquela substância, isto traduz que estas amostras têm grande quantidade de partículas de argila. Enquanto as amostras 2, 3, 5, 9, 10 e 11 tiveram uma adsorção mais rápida, foi preciso menos quantidade da solução azul-de-metileno para que todas as partículas ficassem revestidas com a solução, o que significa que estas amostras tem menos quantidade de partículas de argila.

Tanto na amostra 1 como na amostra 8 pode-se afirmar através deste ensaio que são as amostras com mais quantidade de argila. No entanto, a amostra 8 apresenta um valor mais elevado de matéria orgânica em relação às restantes amostras o que poderá ter influência nos resultados do ensaio. Uma vez que, a matéria orgânica poderá estar a adsorver a solução de azul-de-metileno e não só a argila, como era suposto.

5.7 Ensaio do equivalente de areia

No ensaio do equivalente de areia como já foi referido anteriormente, tem como objetivo determinar a qualidade e quantidade de elementos finos plásticos existentes numa amostra. No Quadro 5-14 são apresentados os resultados obtidos em todas as amostras realizadas.

Quadro 5-14: Síntese dos valores obtidos no ensaio do equivalente de areia

Id.	Ed.1				Ed.2					Ed.3		Ed.4
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Média do equivalente de areia (%)	24	23	47	32	30	22	24	46	35	64	62	17

Por análise dos resultados obtidos pode-se dizer que as amostras 10 e 11 têm uma elevada percentagem de partículas “grossas”, isto é, partículas do tamanho de areia, enquanto as restantes amostras tem mais percentagem de partículas finas (argila e silte).

5.8 Ensaio de compressão

Para avaliar as propriedades mecânicas das amostras de argamassas aqui estudadas, foi necessário proceder ao ensaio de compressão. Devido à fraca coesão de algumas amostras, só foi possível realizar o ensaio nas amostras 1, 2, 3 pertencentes ao Ed.1, e 6, 7, pertencentes ao Ed.2. Foram ensaiados seis provetes da mesma amostra, com o objetivo de obter resultados mais eficazes. Deste modo, os resultados obtidos resultam de uma média dos valores retirados dos seis provetes.

Em seguida mostra-se o Quadro 5-15 com os resultados obtidos em cada amostra.

Quadro 5-15: Resultados de resistência à compressão das amostras

Amostra	Força de compressão máxima (N)	Resistência média à compressão (N/mm ²)
1	790	0,49
2	2860	1,79
3	12090	7,56
6	3160	1,98
7	6670	4,17

5.9 Análise SEM/EDS

A análise SEM/EDS foi realizada nas amostras 1 e 3, pertencentes ao Ed.1, nas amostras 6 e 8, pertencentes ao Ed.2, nas amostras 10 e 11, pertencentes ao Ed.3, e na amostra 12, pertencente ao Ed.4.

No Quadro 5-16 estão representados as percentagens dos elementos químicos destacados nas amostras de material de enchimento analisados através de SEM/EDS.

Quadro 5-16: Percentagens dos elementos químicos detetados através do SEM/EDS

Elemento Químico (%)	Amostra (%)						
	1	3	6	8	10	11	12
Sódio (Na)	0,90	0,49	0,08	----	----	0,80	0,13
Magnésio (Mg)	1,21	1,30	1,69	0,76	0,84	1,54	0,49
Alumínio (Al)	27,09	19,25	27,66	24,05	21,35	16,79	30,11
Sílica (Si)	47,51	31,57	46,53	58,07	35,16	29,21	47,80
Enxofre (S)	0,63	0,18	0,20	0,16	0,57	1,53	0,34
Cloro (Cl)	2,29	0,59	0,47	----	----	0,39	0,33
Potássio (K)	4,17	4,49	5,14	4,40	3,64	3,60	5,87
Cálcio (Ca)	4,09	31,93	1,62	1,42	30,05	39,13	0,54
Titânio (Ti)	1,30	0,94	1,75	1,18	1,00	0,72	0,72
Ferro (Fe)	10,81	9,25	14,88	9,96	7,39	6,28	13,68

Quando o ensaio SEM/EDS indica a existência de uma percentagem significativa de cálcio (Ca) na composição química elementar do material de enchimento, isso quer dizer que a argamassa levou uma adição de algum ligante hidráulico (por exemplo: cal apagada). Este facto, a acontecer, indicia que tenha sido utilizada uma percentagem de cal apagada na mistura do material de enchimento passando então a ser uma argamassa terrosa bastarda. Terrosa porque é feita à base de terra e não de areia e é bastarda porque tem cal em vez de cimento.

Das amostras de material de enchimento ensaiadas apenas as designadas por 1, 6, 8 e 12 apresentam uma reduzida percentagem de cálcio o que leva a concluir que o material destas amostras seja terra sem adição de cal. As restantes amostras apresentam um valor expressivo de cálcio e, por isso, parecem ser uma argamassa bastarda à base de terra. Provavelmente não será de cal hidráulica porque este material (e à semelhança do cimento) é posterior ao tabique.

Quando o material de enchimento é muito duro e há dificuldade em o desfazer com a pressão dos dedos, é muito provável existir um ligante hidráulico (percentagem significativa de cálcio). Se pelo contrário, o material se desfazer facilmente então indicia que se trata de terra simples (sem cálcio). As amostras 3 e 10 são bastante difíceis de desfazer com os dedos, enquanto as amostras 1, 8 e 12 são bastantes fáceis.

Através dos resultados apresentados anteriormente verifica-se que as amostras 8 e 10 são as únicas que não contém sódio (Na) nem cloro (Cl) na sua composição. O elemento químico mais abundante nas amostras 1, 6, 8, 10 e 12 é a sílica (Si) seguido do alumínio (Al). Dentro das amostras analisadas, as amostras 3 e 11 são as que mais se distinguem devido apresentarem o cálcio como elemento químico mais abundante, seguido da sílica e do alumínio.

Segundo Gonçalves (2010), a quantidade de material a ensaiar no SEM/EDS deve ser muito reduzida (5,0 g) e a dimensão das partículas muito fina. Assim, se for um material de enchimento do tipo argamassa bastarda à base de terra, é altamente provável que a fração mais fina desse material após trituração seja o ligante (cal) e, por isso, resultar nas percentagens elevadas de cálcio obtidas nas amostras 3 e 11. Em geral estes resultados vão de encontro com os obtidos através de Cepeda.

Os espectros obtidos para as diferentes amostras estão representados entre as Figura 5-9 e Figura 5-15.

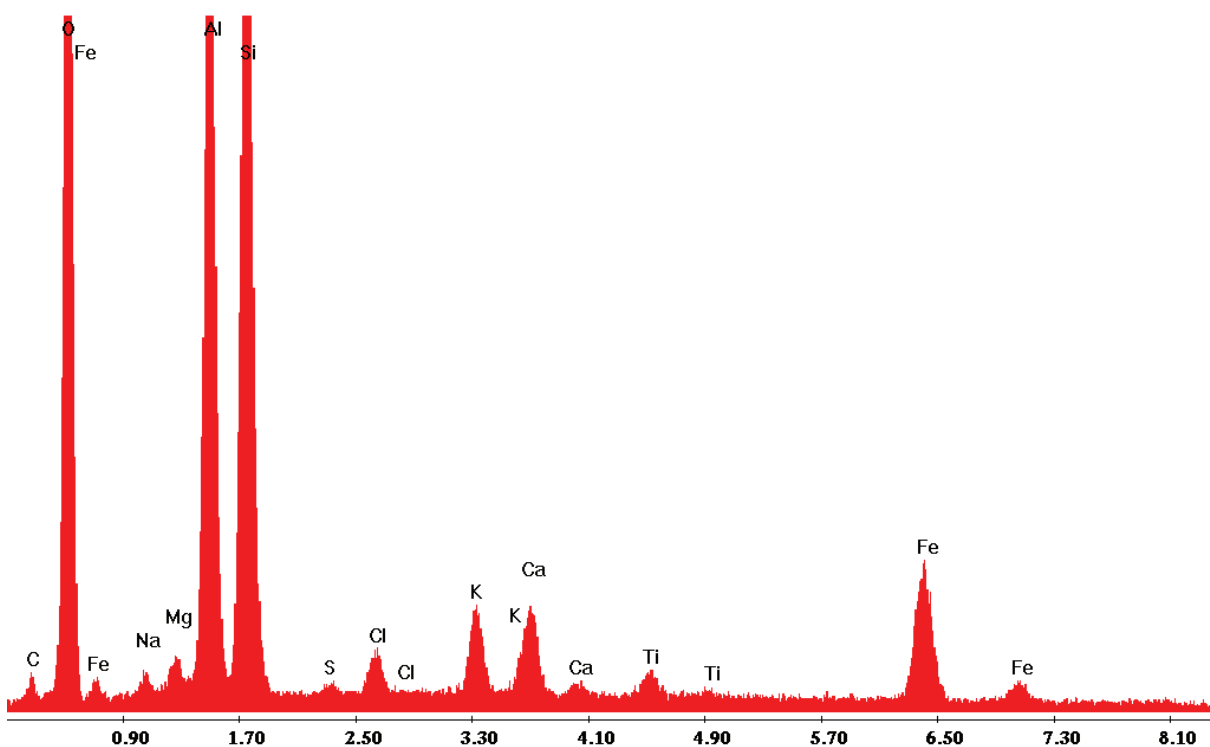


Figura 5-9: Espectro da amostra 1

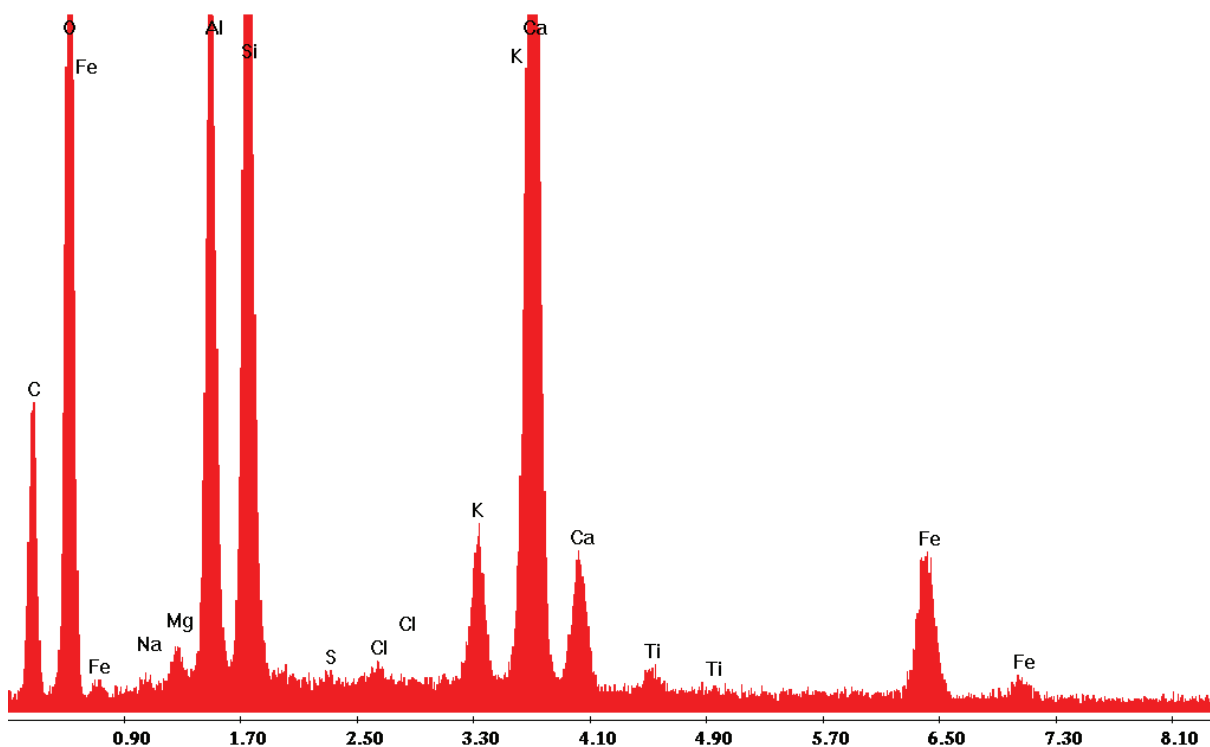


Figura 5-10: Espectro da amostra 3

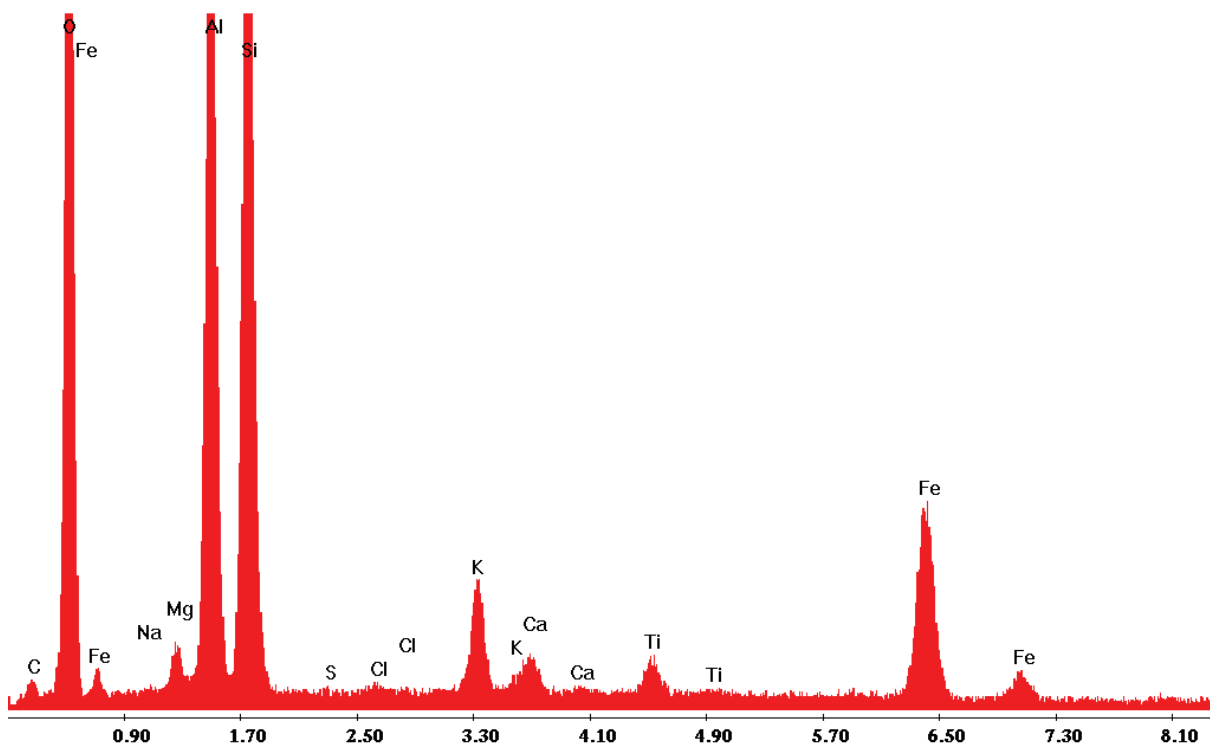


Figura 5-11: Espectro da amostra 6

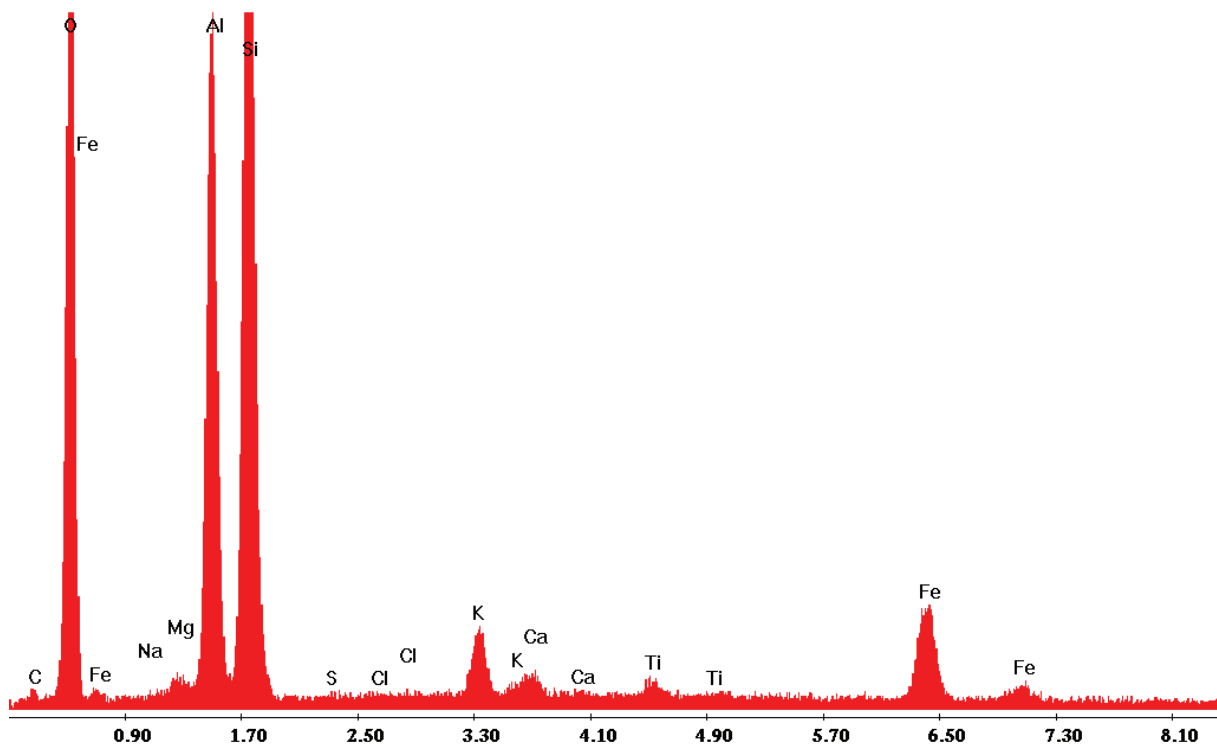


Figura 5-12: Espectro da amostra 8

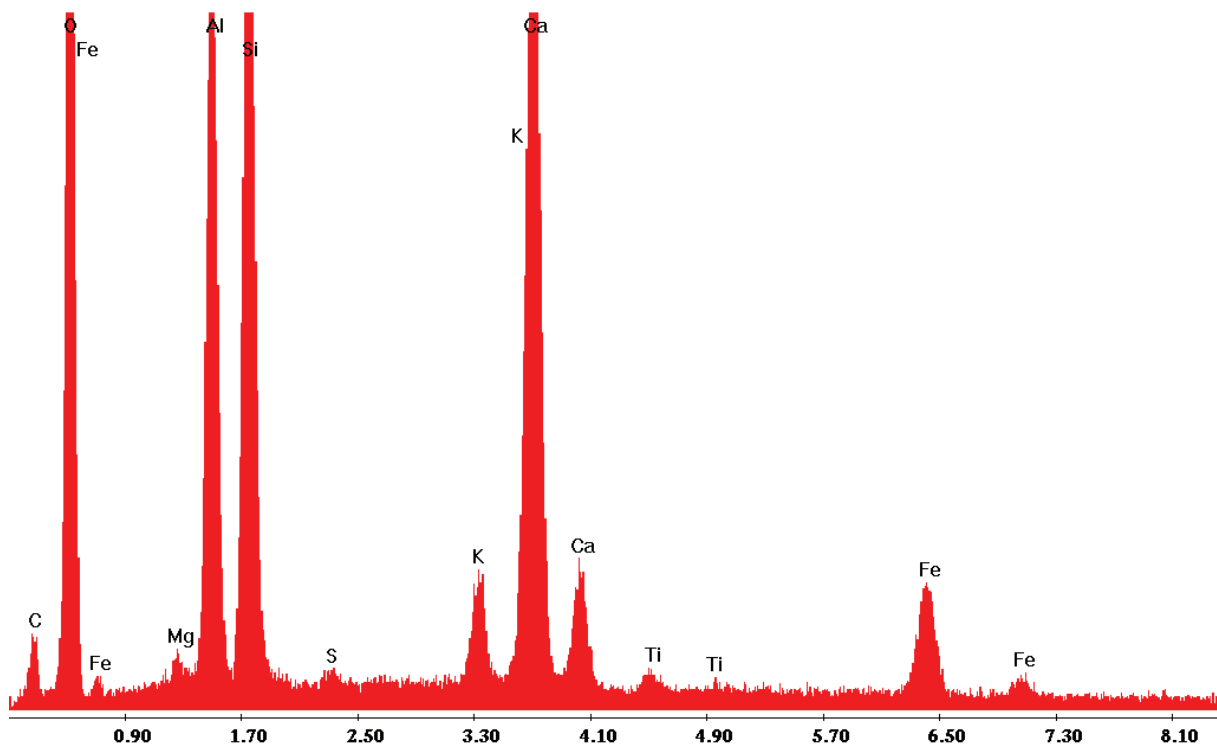


Figura 5-13: Espectro da amostra 10

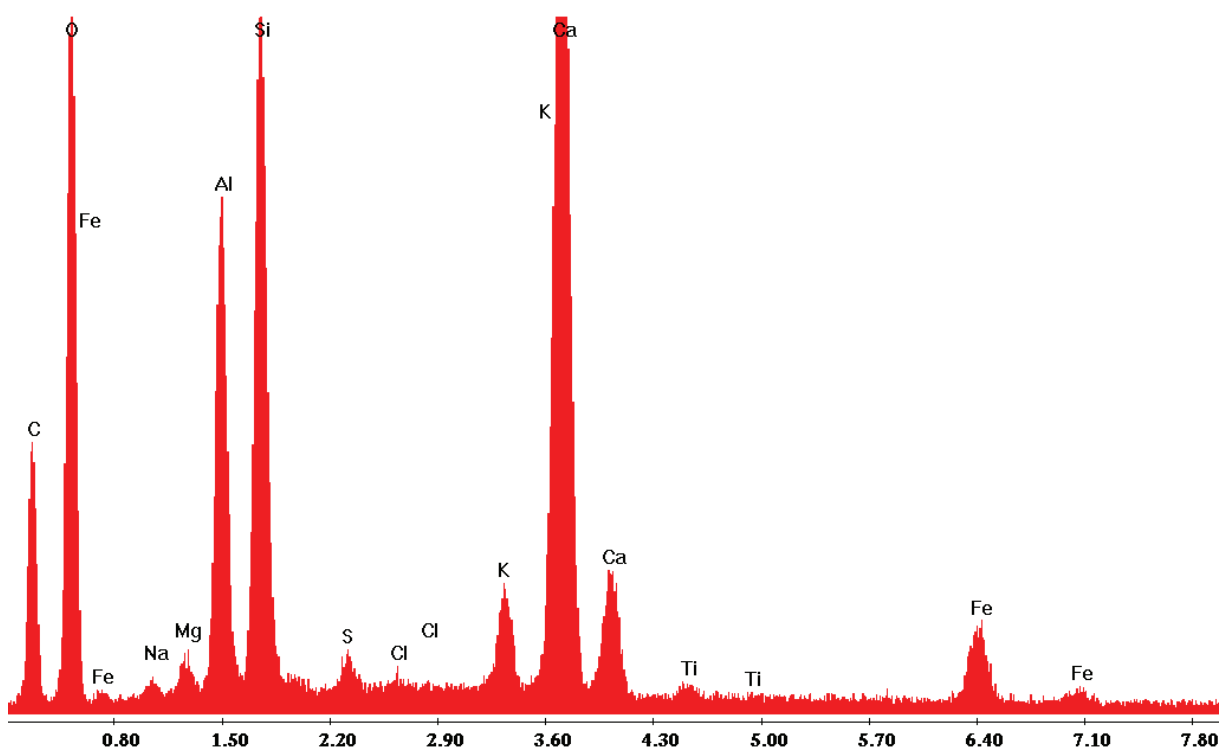


Figura 5-14: Espectro da amostra 11

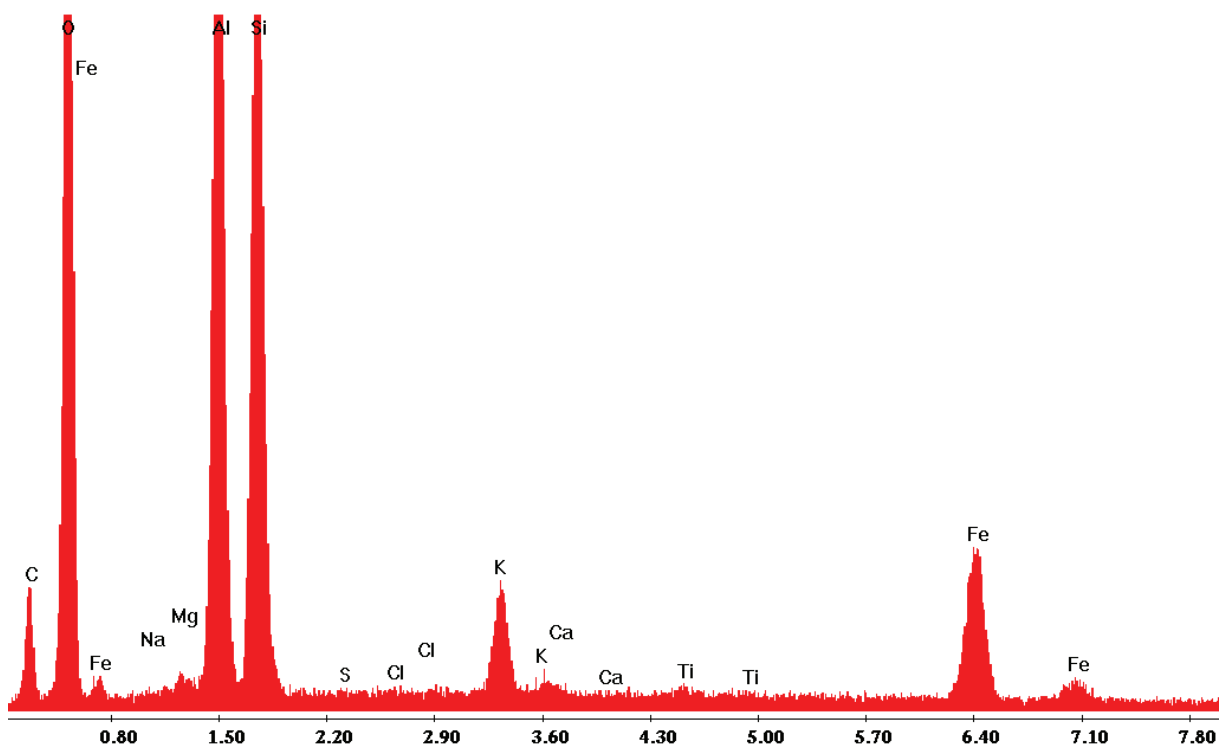
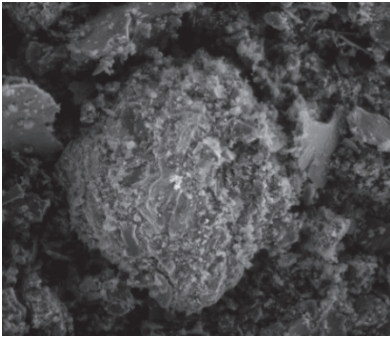
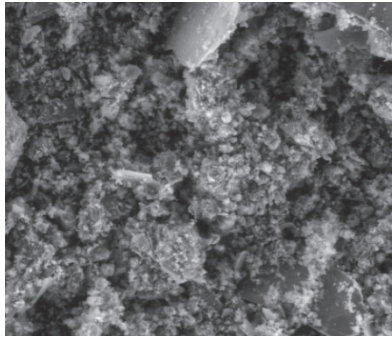
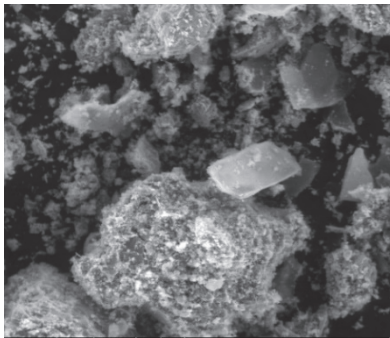
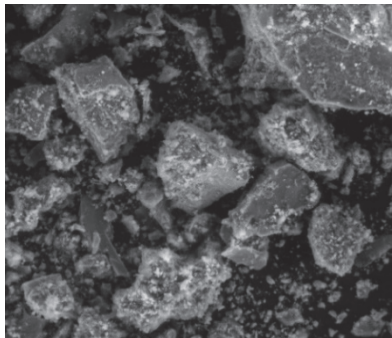
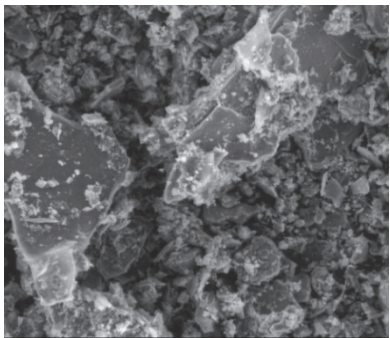
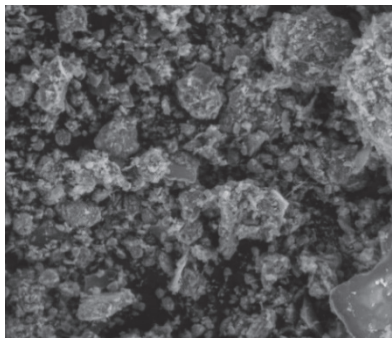
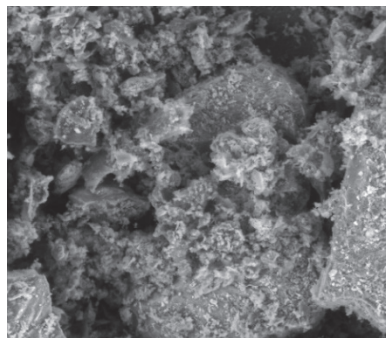


Figura 5-15: Espectro da amostra 12

Foram tiradas várias fotografias com resolução de 300x de cada amostra, tal como se pode observar no Quadro 5-17.

Quadro 5-17: Fotografias com resolução de 300x das amostras analisadas

Amostra	Imagem a 300x	Amostra	Imagem a 300x
1		10	
3		11	
6		12	
8			

Através da observação das fotografias recolhidas pelo microscópio de varrimento eletrónico apresentado no Quadro 5-17, constata-se que as amostras 1, 3 e 11 são aquelas que apresentam partículas de maior dimensão.

5.10 Considerações finais

Neste subcapítulo serão comentados, de uma forma geral, todos os ensaios realizados, bem como serão apresentadas as principais conclusões retiradas dos mesmos.

No que respeita ao Ed. 1, pela análise granulométrica efetuada nas quatro amostras, constatou-se a existência de curvas extensas e cuja constituição média das amostras ensaiadas aponta para 22,5% de fração fina (silte e argila) e 77,5% de fração média (areia e seixo). No Ed. 2, aponta para 23% de fração fina (silte e argila) e 77% de fração média (areia e seixo). Já no Ed. 3, têm-se 9,5% de fração fina (silte e argila) e 90,5% de fração média (areia seixo), enquanto no Ed. 4, existe 40% de fração fina (silte e argila) e 60% de fração média (areia e seixo).

Apesar de todas as curvas granulométricas serem extensas, só as amostras do Ed.1 e do Ed.2 apresentam curvas idênticas. As do Ed. 3 apresentam maior percentagem de fração média do que fração fina enquanto que a do Ed. 4 apresenta percentagens praticamente semelhantes de fração fina e de fração média. Segundo Pinto (2013), no que respeita à análise granulométrica de argamassas antigas a constituição média do material é de 25% fração fina (silte e argila) e 75% de fração média (areia e seixo), o que vai de encontro com os valores obtidos do Ed.1 e Ed.2.

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

No estudo da densidade das partículas os valores em médios obtidos no Ed.1 são de 2,57, no Ed.2 de 2,60, no Ed.3 de 2,48 e no Ed.4 de 2,57. Estes valores não diferem muito do valor que normalmente é adotado (2,65), para aplicações práticas correntes, que conduzem a resultados com suficiente precisão. Este ensaio é um complemento para o ensaio da granulometria na fase da sedimentação.

A determinação dos limites de Atterberg na amostra do Ed.4 permitiu avaliar a existência de um índice de plasticidade bastante pequeno (5%). O valor obtido vai de encontro aos valores obtidos por Pinto (2014), isto é, valores diminutos do limite de plasticidade, o que indica que a amostra não apresenta uma plasticidade vincada.

Pelo ensaio de adsorção de azul-de-metileno, pode-se apreciar o comportamento da fração argilosa. Os valores obtidos em média do Ed.1 são de 1,12 g/100g, do Ed. 2 é de 1,51 g/100g, do Ed. 3 é de 0,34 g/100g e para o Ed. 4 é de 1,66 g/100g. Conclui-se que os resultados dos Ed.1 e Ed.2 são semelhantes, já as do Ed. 3 têm uma adsorção bastante rápida tendo pouca argila e a do Ed. 4 tem uma adsorção menos rápida tendo mais argila.

Através dos resultados do ensaio de equivalente de areia, pode-se concluir que em média do equivalente de areia o Ed.1 tem 31,5%, o Ed.2 31,4%, o Ed.3 63% e o Ed.4 de 17%. Este ensaio tem como objetivo estimar a quantidade e a qualidade de elementos finos plásticos existentes nas amostras. O Ed.4 apresenta uma percentagem mais baixa de areia. Pode-se, assim, afirmar que tem mais quantidade de argila. Por sua vez, no Ed. 3 há mais partículas de areia do que argila. Nos Ed.1 e Ed.2 obtiveram-se percentagens idênticas, tendo no seu composto geral partículas mais finas (argila) do que areia, o que vem suportar o fato das curvas granulométricas terem percentagens idênticas.

O ensaio do azul-de-metileno e o ensaio do equivalente de areia complementam-se. Assim, será possível verificar qual ou quais as amostras que têm grande quantidade de argila. Com os resultados apresentados pode-se afirmar que as amostras 1, 4, 6, 7 e 12 são as que tem mais quantidade de argila na sua composição. A amostra 8, apesar de ter uma elevada adsorção de azul-de-metileno, apresentou um equivalente de areia bastante grande. Esse resultado por ser justificado, como já foi referido, pela percentagem de matéria orgânica ser mais elevada em relação às restantes amostras, podendo estar a adsorver, além da argila, a solução de azul-de-metileno.

No ensaio de compressão, verifica-se que os resultados obtidos vão de 0,49 a 7,56 N/mm². Os valores obtidos vão de encontro aos valores obtidos por (Magalhães e Veiga, 2009). Conclui-se que na amostra 1 a resistência à compressão é muito baixa devido a esta argamassa ser constituída à base de terra e palha, tendo pouco ou quase nenhum ligante. Na amostra 3, o resultado da resistência de compressão é bastante superior, que em entender, se deve ao facto da amostra ter uma espessura bastante pequena, 1cm, em que metade é revestimento exterior. Este ensaio só foi possível realizar em 5 amostras dos edifícios em estudo, não foi possível extrair mais amostras de argamassa devido à sua fraca coesão, o que reduziu a representatividade dos resultados obtidos nesses edifícios.

No ensaio SEM/EDS verifica-se que as amostras 3, 10 e 11 apresentam um valor expressivo de cálcio e, por isso, parecem ser uma argamassa bastarda à base de terra. As restantes amostras apresentam um valor reduzido de cálcio o que leva a concluir que o material destas amostras seja terra sem adição de cal.

6. Conclusões

6.1 Conclusões gerais

Através da revisão bibliográfica efetuada foi possível concluir que o estudo e caracterização de argamassas em edifícios antigos é fundamental para existir uma intervenção, dita de reabilitação, eficaz. A alteração de materiais e os processos construtivos mais recentes, nem sempre têm contribuído para melhorar o estado de conservação das argamassas, sendo mesmo frequentemente, responsáveis pela aceleração de diversos mecanismos de degradação. Uma intervenção eficaz sobre os revestimentos de paredes e de argamassas de edifícios antigos exige um conhecimento aprofundado dos materiais existentes, da sua composição e do seu estado de degradação. O desempenho das argamassas depende em grande medida das propriedades da sua microestrutura. Para tal, foi necessário conhecer a sua história, composição, características (químicas, físicas e mecânicas) e os respetivos fatores de degradação.

A elaboração desta dissertação incidiu essencialmente no estudo de quatro edifícios, sendo três pertencentes à zona histórica de Viseu e outro ao concelho, vizinho, de Tondela. Teve-se como objetivo a caracterização de cada edifício, bem como de cada amostra de argamassa extraída. A caracterização das amostras foi realizada através de ensaios laboratoriais, que permitiram conhecer os componentes de cada argamassa.

Tendo por base no estudo efetuado nas argamassa foi possível concluir que:

- As curvas granulométricas resultantes de cada edifício apresentaram-se extensas. A constituição média das amostras do Ed.1 e Ed.2 vai de encontro às referências bibliográficas, tendo na sua constituição 25% de fração fina (silte e argila) e 75% de fração média (areia e seixo). Enquanto nas amostras do Ed.3 e Ed.4 a sua constituição é variável, pelo que se pode concluir, que a terra utilizada antigamente em argamassas era provavelmente de origem local;
- Na composição mineralógica, só nas amostras 4 e 7 não foram encontrados quaisquer vestígios de matéria orgânica. As restantes amostras apresentavam percentagens relativamente pequenas, destacando-se as amostras 3, 8, 9, 10 e 11 por serem as que têm uma percentagem maior de matéria orgânica;
- Nos limites de Atterberg só foi possível realizar o ensaio na amostra 12 do Ed.4, por ser a única amostra com mais de 30% de partículas de dimensões inferiores a 0,05 mm, como refere na norma. Sendo assim, pode-se concluir que esta amostra tem uma plasticidade pouco vincada;
- Através do ensaio do azul-de-metileno pode-se concluir que as amostras dos edifícios Ed.1 e Ed.2 são semelhantes por terem uma adsorção menos rápida, tendo argila no seu constituinte. No Ed.3 a adsorção é bastante rápida, o que se conclui que existe pouca argila. No Ed.4 a adsorção é mais lenta, tendo esta mais argila que a anterior;
- Através do ensaio equivalente de areia chega-se à conclusão, que o Ed.4 tem mais quantidade de argila. Por sua vez, no Ed.3 existem mais partículas de areia do que argila. Nos Ed.1 e Ed.2 obtiveram-se percentagens idênticas, tendo no seu composto geral partículas mais finas (argila) do que areia;
- No ensaio de compressão, chegou-se à conclusão que a amostra 1 tem uma baixa resistência à compressão ($0,49 \text{ N/mm}^2$), e que a amostra 3 tem uma resistência mais elevada ($7,56 \text{ N/mm}^2$). Apesar de se realizar o ensaio em cinco amostras distintas, todas tiveram resultados diferentes. Isto pode-se explicar pelo facto existirem espessuras diferentes ou mesmo tendo adição de ligante;
- Os ensaios de SEM/EDS indicam que, na generalidade, as amostras são semelhantes. Os elementos químicos que mais abundam são a sílica e o alumínio. Dentro das amostras analisadas apenas as amostras 3 e 11 são aquelas em que aparece um material distinto, o cálcio, que é o elemento químico mais abundante, seguido da sílica e do alumínio. A amostra 10 também apresenta uma quantidade expressiva de cálcio. Esta informação poderá considerar que o material relativo às amostras 3, 10 e 11, onde existe uma grande quantidade de cálcio, seja do tipo argamassa com ligante do tipo cal (aérea ou hidráulica).
- Através dos resultados, conclui-se, que na amostra do Ed.4, pertencente ao distrito de Viseu, o constituinte da argamassa não tem nada a ver com as argamassas estudadas do centro histórico, isto pode-se explicar devido a não saber o ano de construção do edifício

(época de construção distinta), e também porque antigamente se utilizavam materiais provenientes de origem local;

- Os resultados obtidos das amostras estudadas do Ed.3 foram diferentes dos outros edifícios em estudo. Isto pode-se explicar pelo ano de construção do edifício e pelo local e tipo de amostras recolhidas (uma era do exterior do edifício).

Após isto, pode-se concluir que os Ed.1 e Ed.2 são semelhantes, tendo algumas diferenças de argamassa no seu interior, que nos permite dizer que o edifício foi construído por fases. Nestes edifícios a média de frações no seu constituinte é de 25% de fração fina (silte e argila) e de 75% de fração média (areia e seixo). Tanto no Ed.1 como no Ed.2 existem argamassas com mais argila, como se pode comprovar através dos resultados obtidos através do ensaio de azul-de-metileno e no ensaio de equivalente de areia. As amostras com mais resistência à compressão são a amostra 3 e a amostra 7. A amostra 3 é uma argamassa à base de terra, com alguma matéria orgânica, que permite uma maior resistência. Tendo pouca argila apresenta frações mais grossas, permitindo-lhe algum ganho de resistência. Em contrário a amostra 7 não tem qualquer vestígio de matéria orgânica, o que nos permite dizer que a resistência vem do ligante que a constitui. É uma argamassa com mais argila que a anterior.

No Ed.3 as amostras que constituem o edifício são argamassas que tem mais fração média (90,5%) no seu constituinte do que fração fina (9,5%). São argamassas com pouca argila e alguma matéria orgânica e ligante que lhe vai permitir um ganho de resistência.

Através dos ensaios à amostra do Ed.4, chega-se à conclusão que é uma argamassa à base de partículas finas (argila e silte) tendo 40% de fração fina e 60% de fração média. Através do azul-de-metileno e do equivalente de areia confirma-se que a argamassa tem bastantes partículas de argila e por ser a única amostra em que se pode fazer os limites de Atterberg, chega-se à conclusão que é uma argamassa com uma plasticidade pouco vincada.

As argamassas têm um papel fundamental no enchimento das paredes de tabique, que fornece à parede mais resistência e durabilidade, protegendo das temperaturas adversas e da humidade vindas do exterior. Foram encontradas diferentes espessuras de argamassa nos próprios edifícios, tendo nas paredes exteriores espessuras maiores do que as do interior.

Assim as argamassas eram compostas por ligantes com base em cal aérea e agregados provenientes dos próprios locais de construção e quando cuidadosamente preparados e aplicados, adquiriam resistências significativas e durabilidade elevada.

6.2 Desenvolvimentos futuros

Os resultados obtidos neste trabalho de base experimental podem ser bastante interessantes para algumas entidades relacionadas com a área da construção, mas poderão ser muito mais úteis se forem validados, compreendidos e complementados com outros ensaios. Por isso, este estudo, para ter uma aplicabilidade significativa neste sector deverá ser continuado. Assim, apresentam-se algumas propostas para desenvolvimentos futuros:

- Selecionar mais casos de estudo onde seja possível efetuar, entre outros, o ensaio de compressão, de modo a determinar a sua resistência;
- Realização de uma campanha experimental onde estejam contemplados ensaios como: determinação da absorção capilar por contato, determinação da massa volúmica real, massa volúmica aparente e porosidade aberta total através do método da pesagem hidrostática, com o objetivo em determinar, em laboratório, as propriedades físicas e mecânicas de uma argamassa antiga;
- Realização de uma análise térmica, onde se possa caracterizar a composição de uma argamassa antiga, usando o ensaio da termogravimetria (TG) ou da análise térmica diferencial (ATD);
- Realização de ensaios *in situ* onde estejam contemplados ensaios como: o de identificação dos sais solúveis com marcadores de colorimétrico, avaliação da resistência mecânica e do módulo de elasticidade por ultrassons, tendo como objetivo a determinação, mais aprofundada, das propriedades físicas e mecânicas;
- Com base neste estudo e noutros complementares, propor o fabrico de uma argamassa nova, com características idênticas e posterior aplicação *in situ* sobre suportes de edifícios antigos e segundo técnicas tradicionais.

REFERÊNCIAS

- Almeida, C. (2013). *Paredes de Alvenaria do Porto. Tipificação e Caracterização Experimental*. (Tese de Doutoramento). FEUP, Porto.
- Appleton, J. (2003). *Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e Tecnologias de Intervenção*. Amadora: edições Orion.
- Cepeda, A. J. B. (2009). *Construções de tabique existentes na Associação de Municípios do Alto Tâmega*. (Dissertação de Mestrado). UTAD, Vila Real.
- Coelho, A., Torgal, F., & Jalali, S. (2009). *A cal na Construção*. Universidade do Minho, Guimarães.
- Cóias, V. (2006). *Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa: IST PRESS.
- Das, B. M. (2002). *Soil mechanics laboratory manual* (pp. 99-108). New York, USA: Oxford University Press.
- E 195 (1966). Solos - Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- E 196 (1966). Solos - Análise granulométrica. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- E 199 (1967). Solos - Ensaio de equivalente de areia. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- E 239 (1970). Solos - Análise granulométrica por peneiração húmida. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Falcão, S. (2010). *Caracterização das argamassas antigas da igreja do Colégio de Portimão* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Fernandes, M. M. (2006). *Mecânica dos solos: conceitos e princípios fundamentais*. Porto: FEUP edições.
- Gomes, F. (2009). *Argamassas pré-doseadas para rebocos de edifícios antigos* (Dissertação de Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Gonçalves, A. (2010). *Estudo da influência dos fatores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnica de ensaio in-situ* (Dissertação de Mestrado). Instituto superior técnico de Lisboa, Lisboa.

Gonçalves, C. P. B. (2010). *Construção de Tabique da Associação de Municípios da Terra Quente Transmontana (AMTQT)*. (Dissertação de Mestrado). UTAD, Vila Real.

Magalhães, A. C. (2002). *Patologia de rebocos antigos*. Cadernos de edifícios, nº 2. LNEC.

Magalhães, A. C., & Veiga, M. R. (2006). *Avaliação da resistência de amostras de argamassas históricas recolhidas em obra. Metodologia e correlação de resultados*. Relatório 259/06-NRI. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia, 2006, 34p.

Magalhães, A., & Veiga, M. R. (2009). *Physical and mechanical characterisation of ancient mortars. Application to the evaluation of the state of conservation*. *Materiales de Construcción*, 59(295), 61-77.

Marques, S. (2005). *Estudo de Argamassas de Reabilitação de Edifícios Antigos* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro.

Martinho, J. M. G. (2010). *Construção de Tabique na Associação de Municípios da Terra Fria do Nordeste Transmontano (AMTFNT)*. (Dissertação de Mestrado). UTAD, Vila Real.

Matos, M. (2012). *Desempenho de argamassas de cal e metacaulino em suportes de adobe* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro.

Miguel, P. (2008). *Desenvolvimento de argamassas de reabilitação de edifícios em adobe* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro.

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

NP 143 (1969). Solos - Determinação dos limites de consistência. Lisboa: Instituto português da Qualidade.

P 18-592 (1990). Granulants - Essai au bleu de méthylène. França: Afnor

Paiva, H. (2005). *Caracterização reológica de argamassas* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro.

REFERÊNCIAS

- Paulo, R. (2006). *Caracterização de argamassas industriais* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Pinho, C. (2012). *Argamassas de colagem para superfícies de aderência difícil* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Pinho, F. (2000). *Paredes de edifícios antigos em Portugal*. Lisboa: LNEC.
- Pinto, R. (2013). *Caracterização das paredes de tabique do centro histórico de Viseu* (Dissertação de Mestrado). Escola Superior tecnologia e gestão de Viseu, Viseu.
- Rodrigues, M. (2004). *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes* (Tese de Doutoramento). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Santos, A. R., & do Rosário Veiga, M. (2012). *Argamassas compatíveis para edifícios antigos*. Jornadas – cidades e desenvolvimento. Lisboa, LNEC.
- Santos, S. (2009). *Argamassas pré-doseadas para rebocos de edifícios recentes* (Dissertação de Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Silva, A., Reis, M. (2001). *Caracterização de argamassas antigas*. 2ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Silva, J. M. (2002). *Alvenarias não estruturais patologias e estratégias de reabilitação*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto.
- Soares, N. (2012). *Soluções Construtivas tradicionais de revestimento de paredes exteriores em Tabique* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Van Balen, K., Papayianni, I., Van Hees, R., Binda, L., & Waldum, A. (2005). *Introduction to requirements for and functions and properties of repair mortars*. *Materials and structures*, 38(8), 781-785.
- Van Balen, K., Bicer-Simsir, B., Binda, L., Bläuer, C., Elsen, J., Groot, C., ... & Veiga, R. (2010). *The role of mortar in masonry: an introduction to requirements for the design of repair mortars*. In *Repair Mortars for Historic Masonry*, Final Workshop (pp. 1323-1329).
- Veiga, M. (2005). *As argamassas na conservação*. 2ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Veiga, M. (2006). *Argamassas de cal na conservação de edifícios antigos*. 2ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Veiga, M. (2009). *Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*. Lisboa: LNEC.

Veiga, M. R. (2003). *Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes*. Atas do 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa, LNEC.

Veiga, M. R. (2003). *As argamassas na conservação*. Atas das 1ªs Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Avaliação e Reabilitação das construções existentes. Aveiro, 26.

Velosa, A. (2006). *Argamassas de cal com pozolanas para revestimento de paredes antigas* (Tese de Doutoramento). Universidade de Aveiro, Aveiro.

Vieira, S. (2010). *Conservação de revestimento históricos: Materiais de consolidação* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro.

APÊNDICE 1 – Calibração do densímetro

No presente apêndice é apresentado os cálculos da calibração do densímetro para efetuar o ensaio de sedimentação.

Calibração do densímetro:

- Determinação do volume do bolbo – V

(determinação feita por imersão)

Volume de água inicial na proveta: $v_1 = 800\text{cm}^3$

Volume de água na proveta + densímetro: $v_2 = 860\text{cm}^3$ (volume da parte da aste do densímetro é desprezável para efeitos práticos)

Volume do bolbo do densímetro = $v_2 - v_1 = 60\text{cm}^3$

- Correção do menisco - C_M

Introduziu-se na proveta um volume de água de 800cm^3

Superfície vista como uma linha reta: $leitura_1 = 2$

Ponto em que o limite superior do menisco interceta a escala do densímetro: $leitura_2 = 1$

- Calibração

Distância entre dois traços de graduação (100 e 800) = $23,3\text{ cm}$

$V = 700\text{cm}^3$

$A = 30,04292\text{cm}^2$

Quadro A-1: Distâncias h_s (mm)

hs1 =	15,97
hs2 =	32,03
hs3 =	48,30
hs4 =	65,01
hs5 =	81,65
hs6 =	98,51

$L_i = 60$

$L_s = 0$

$d = 7,84\text{ mm}$

$h = 138,37\text{ mm}$

Quadro A-2: Determinação dos parâmetros de calibração do densímetro

	hs	d	Hs	Ls	Zs
hs0	0	7,84	7,84	60	76,0264
hs1	15,97	7,84	23,81	50	91,9964
hs2	32,03	7,84	39,87	40	108,056
hs3	48,3	7,84	56,14	30	124,326
hs4	65,01	7,84	72,85	20	141,036
hs5	81,65	7,84	89,49	10	157,676
hs6	98,51	7,84	106,35	0	174,536

Proveta n.º	Teste	
Densímetro n.º	2/vermelho	
Leitura inferior da escala (Li)	60,000	
Leitura superior da escala (Ls)	0	
Distância entre as leituras extremas do densímetro (hs (cm))	9,85	
Altura entre a parte superior do bulbo e a leitura Li (d (cm))	0,784	
Altura do bulbo (h (cm))	13,8	
$Z'si = d + \frac{1}{2} \times h$	7,684	Reta 1
$Z'ss = d + \frac{1}{2} \times h + hs$	17,534	
$Zsi = d + \frac{1}{2} \times \left(h - \left(\frac{V}{A} \right) \right)$	6,68543	Reta 2
$Zss = d + hs + \frac{1}{2} \times \left(h - \left(\frac{V}{A} \right) \right)$	16,5354	

Equação da reta 1:

$$Z = Z'ss - \left(\frac{Z'ss - Z'si}{Li - Ls} \right) \times L$$

$$Z = 17,534 - \left(\frac{17,534 - 7,684}{60 - 0} \right) \times L = 17,534 - 0,16417 \times L$$

Equação da reta 2:

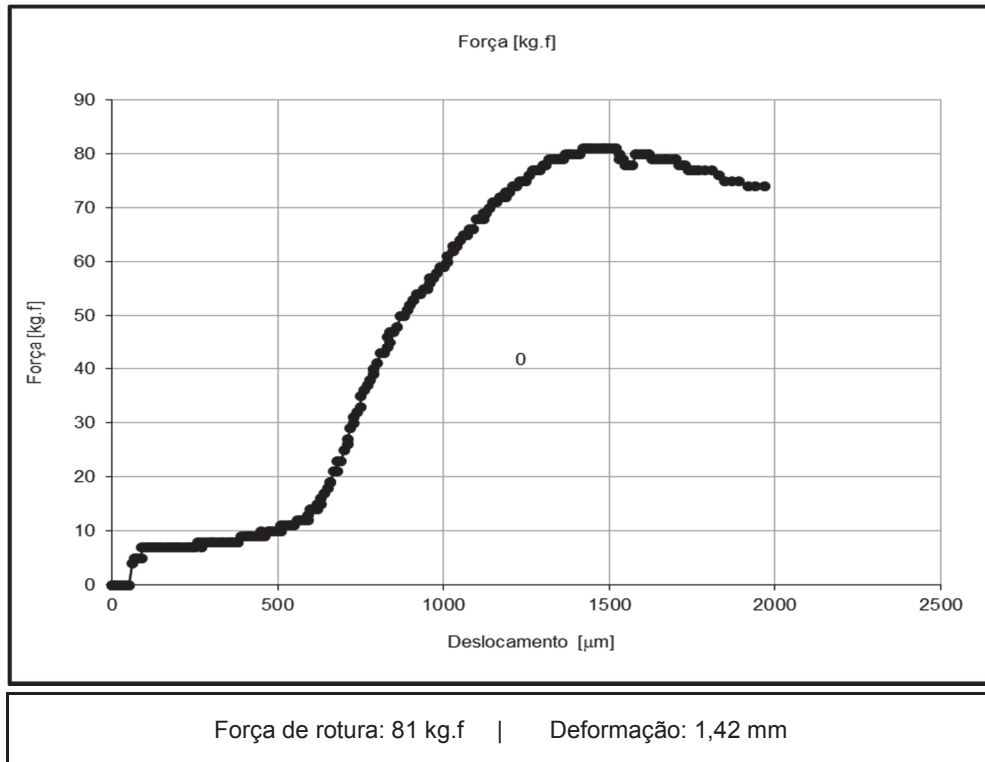
$$Z = Zss - \left(\frac{Zss - Zsi}{Li - Ls} \right) \times L$$

$$Z = 16,5354 - \left(\frac{16,5354 - 6,68543}{60 - 0} \right) \times L = 16,5354 - 0,16417 \times L$$

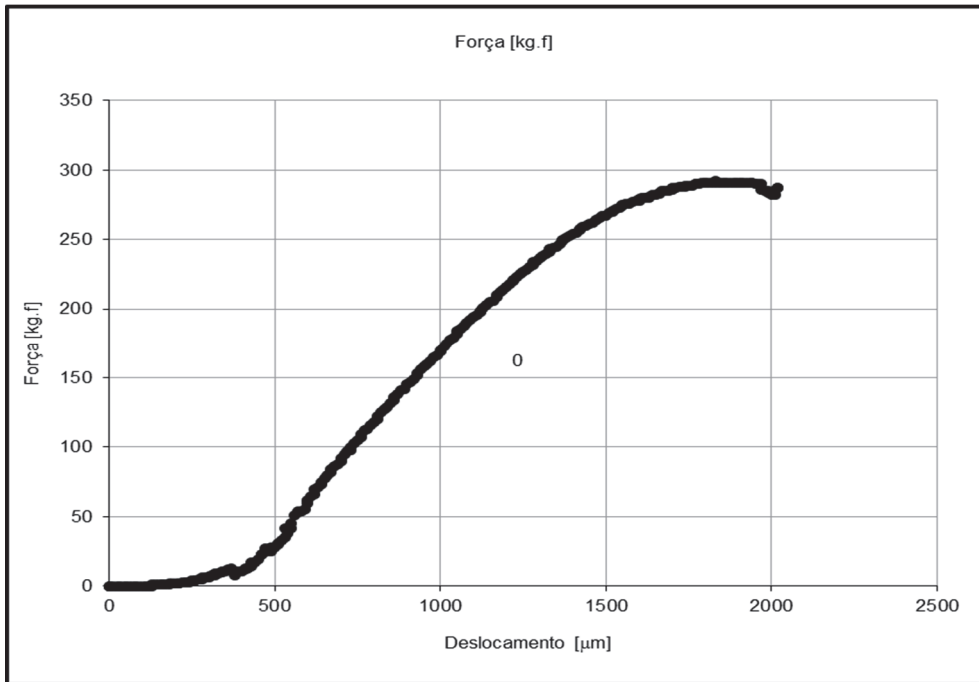
APÊNDICE 2 – Diagramas do ensaio de compressão

No presente apêndice é apresentado os diagramas resultantes do ensaio de compressão das amostras 1, 2 e 3 pertencentes ao Ed.1 e das amostras 6 e 7 pertencentes ao Ed.2.

- Amostra 1:

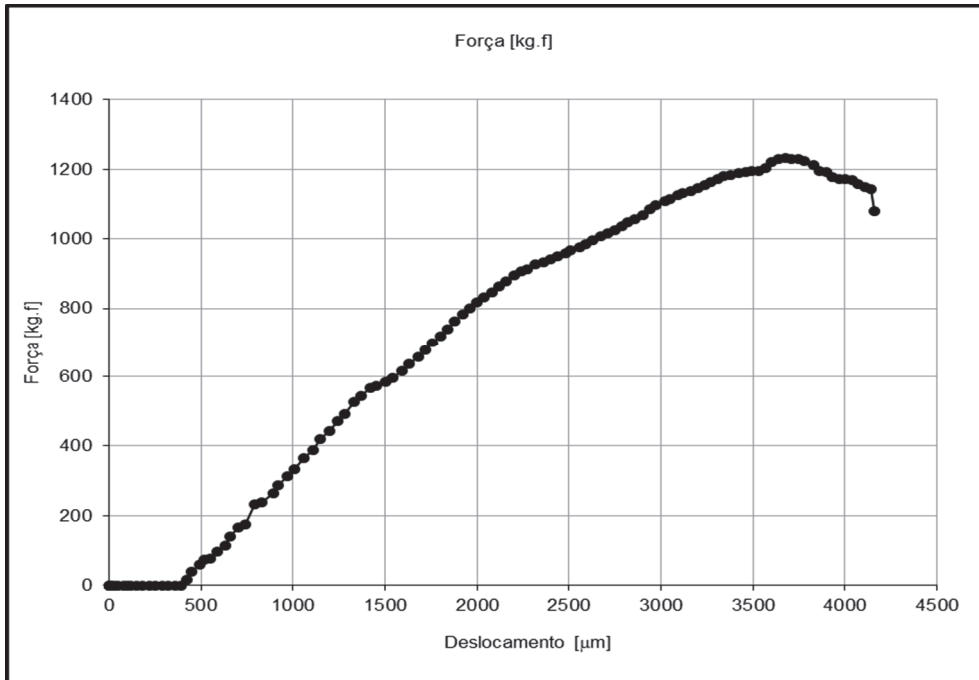


- Amostra 2:



Força de rotura: 292 kg.f | Deformação: 1,83 mm

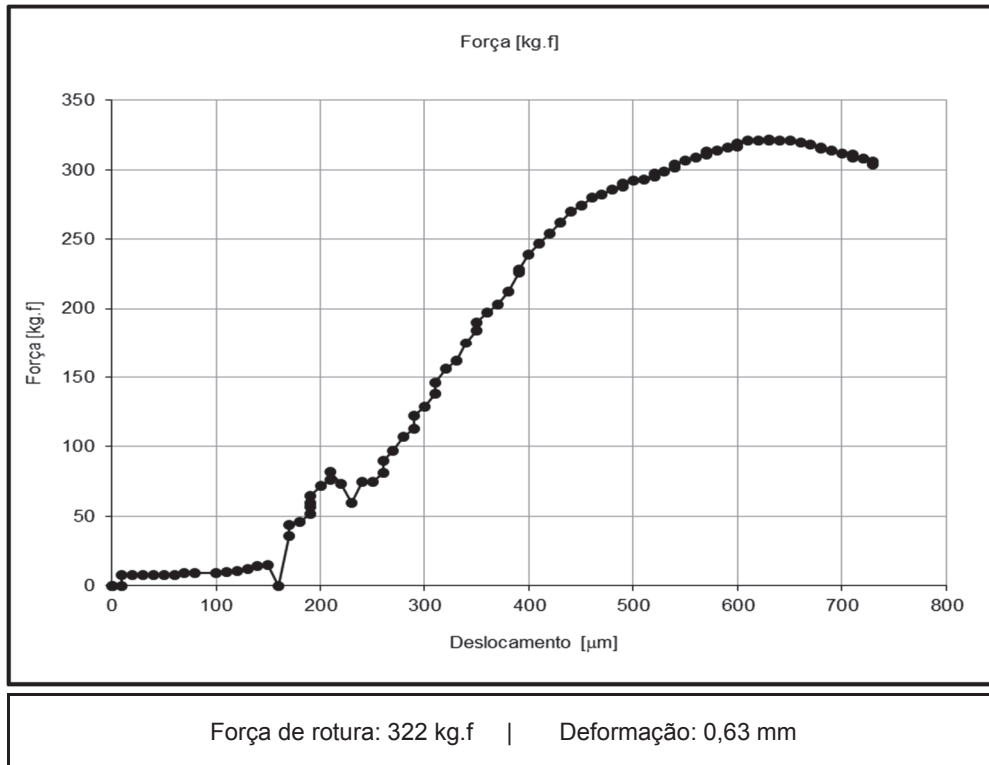
- Amostra 3:



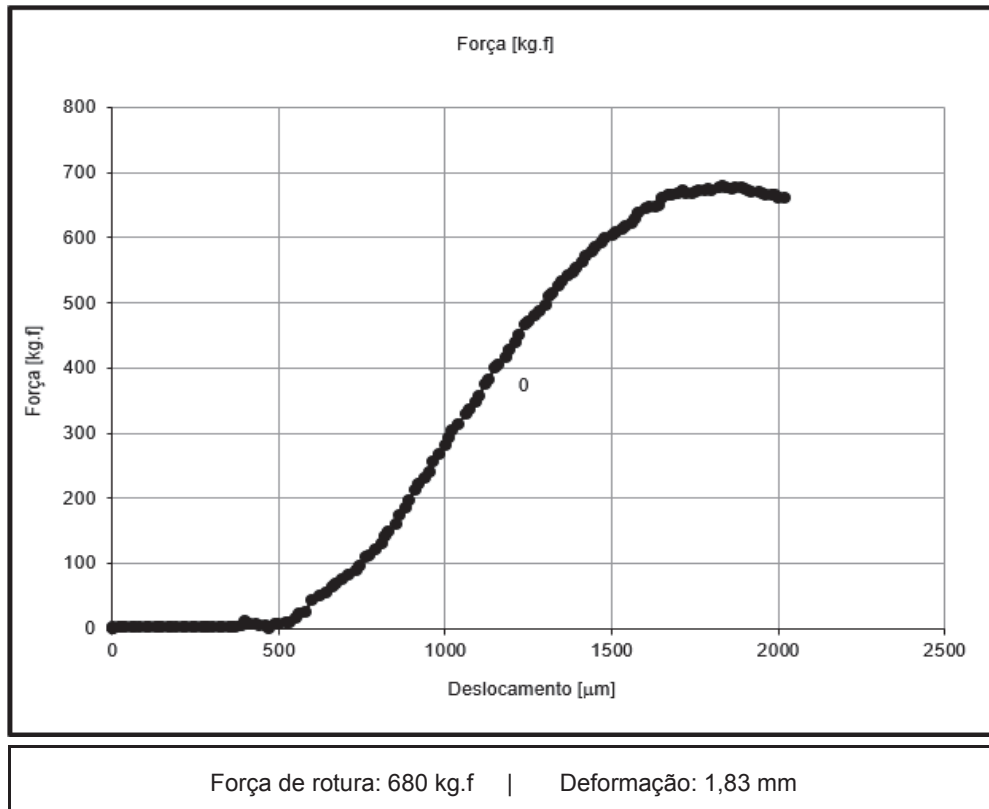
Força de rotura: 1233 kg.f | Deformação: 3,68 mm

APÊNDICE 2

- Amostra 6:

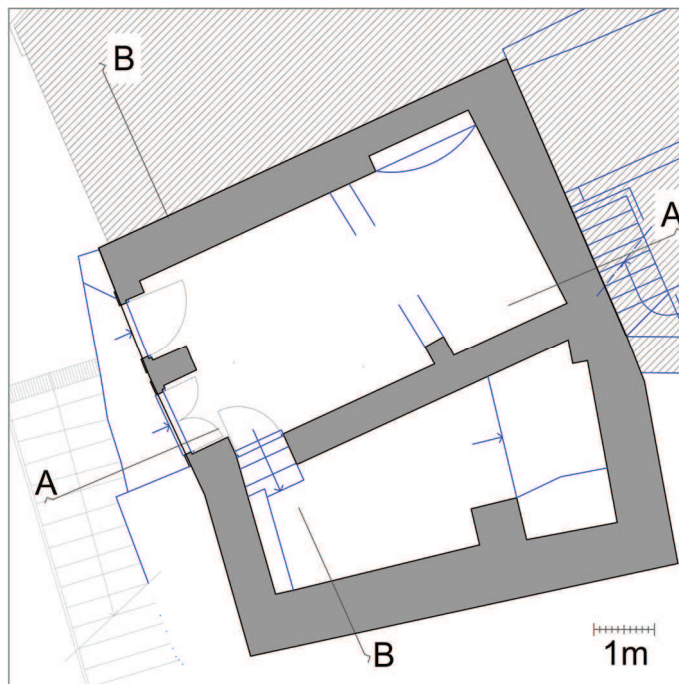


- Amostra 7:



ANEXO 1 – Peças desenhadas do caso de estudo Ed.1

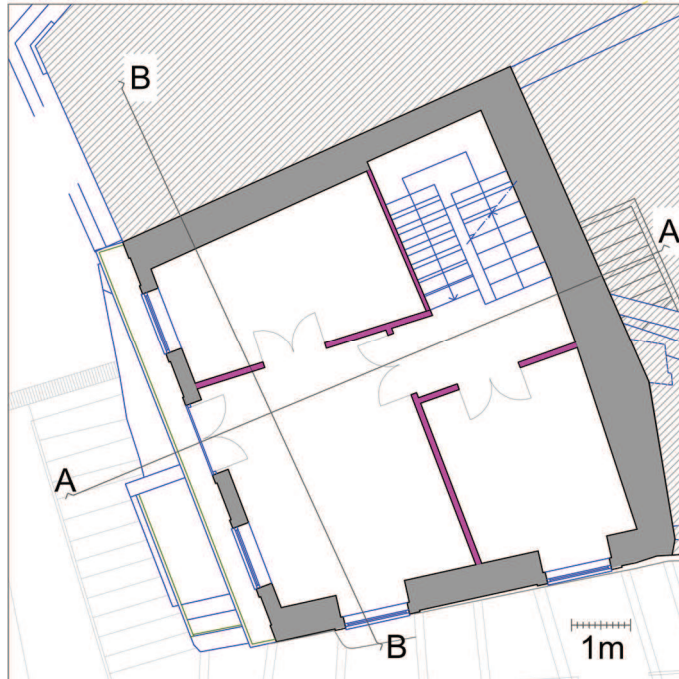
No presente Anexo apresentam-se as peças desenhadas referentes ao caso de estudo Ed.1.



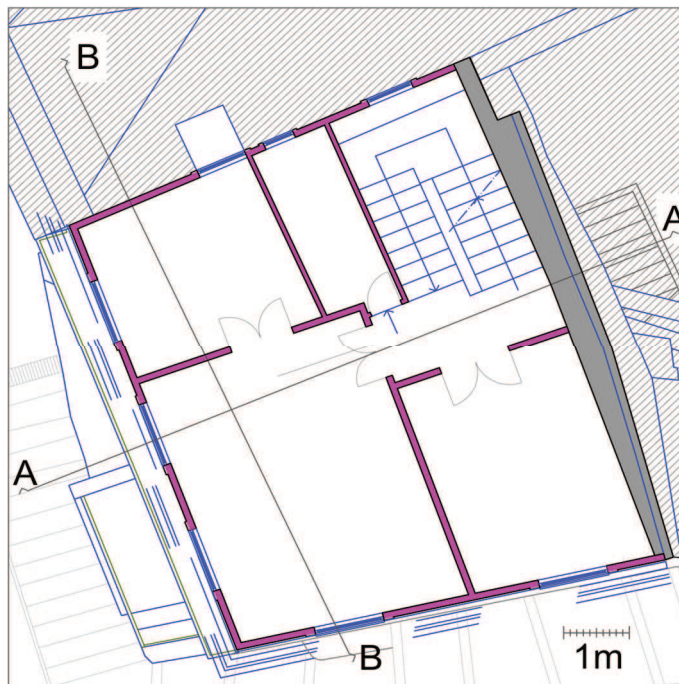
Planta da cave



Planta do Rés-do-chão

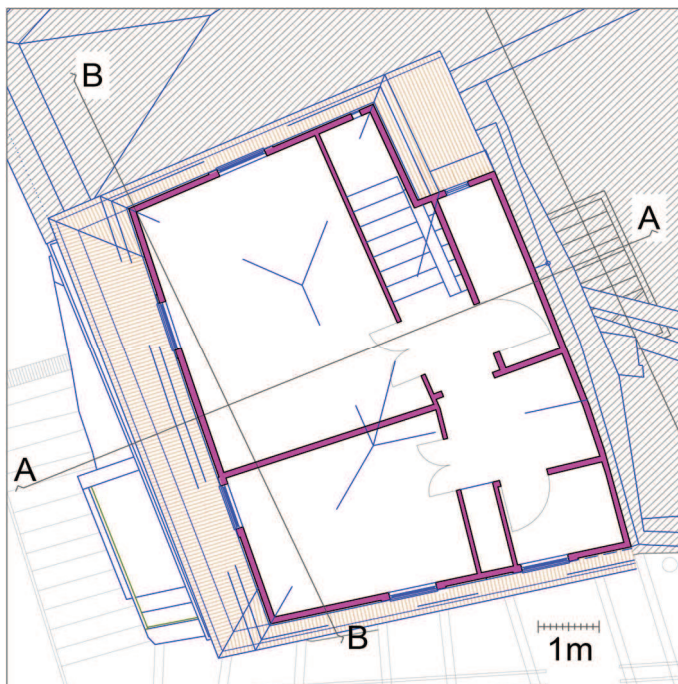


Planta do 1º Piso

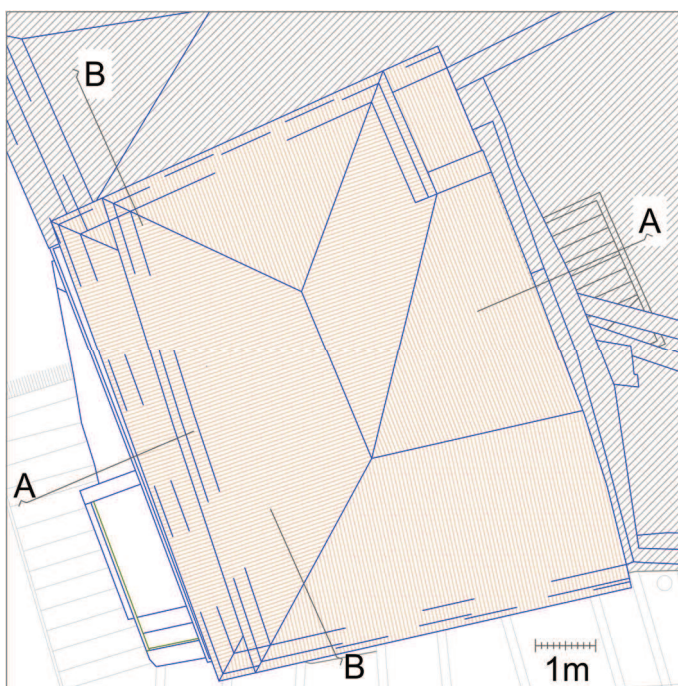


Planta do 2º Piso



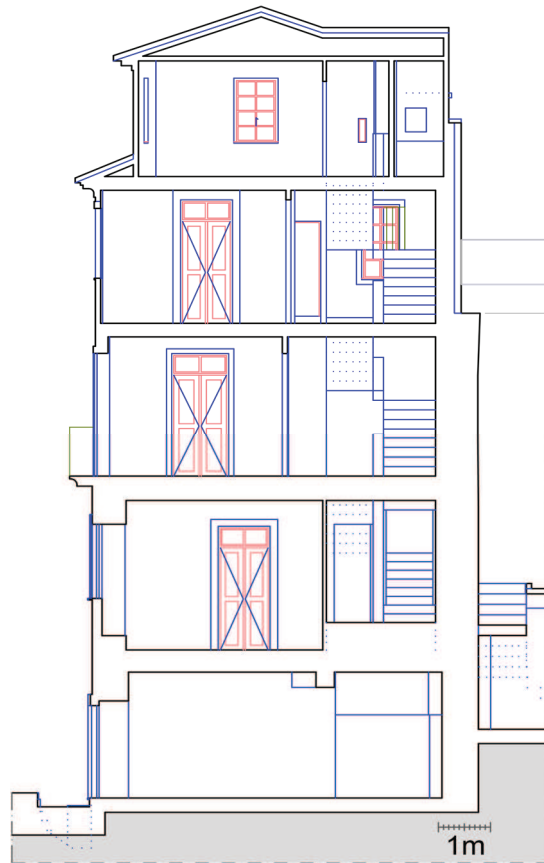


Planta do 3º Piso

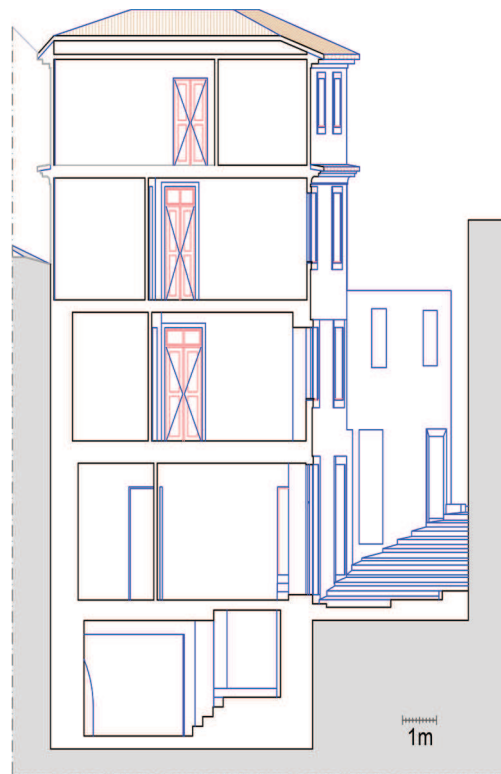


Planta da Cobertura





Corte AA



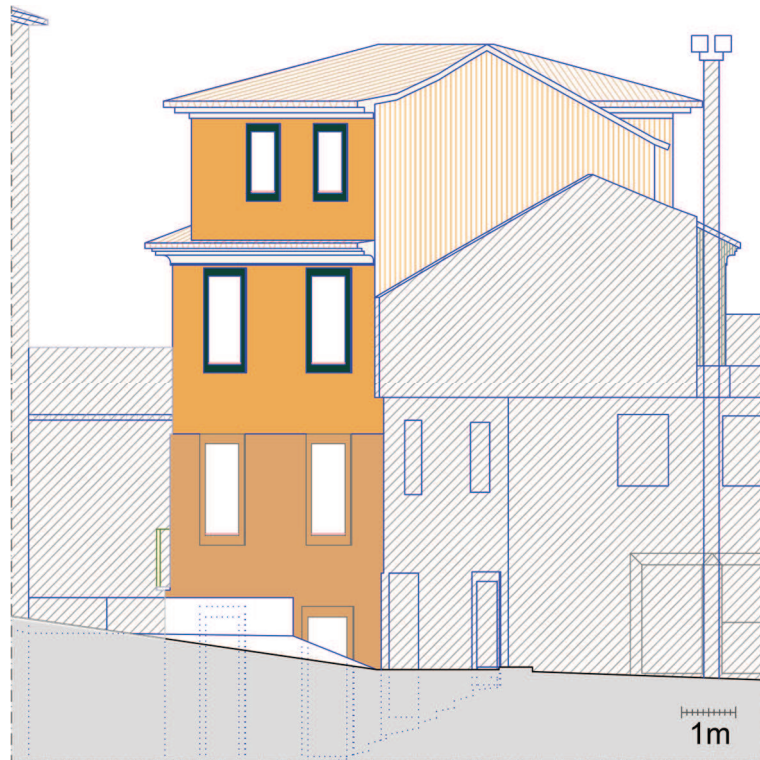
Corte BB



Alçado Principal



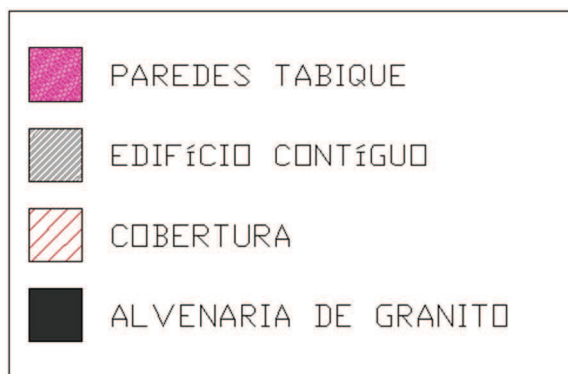
Alçado Posterior



Alçado lateral direito

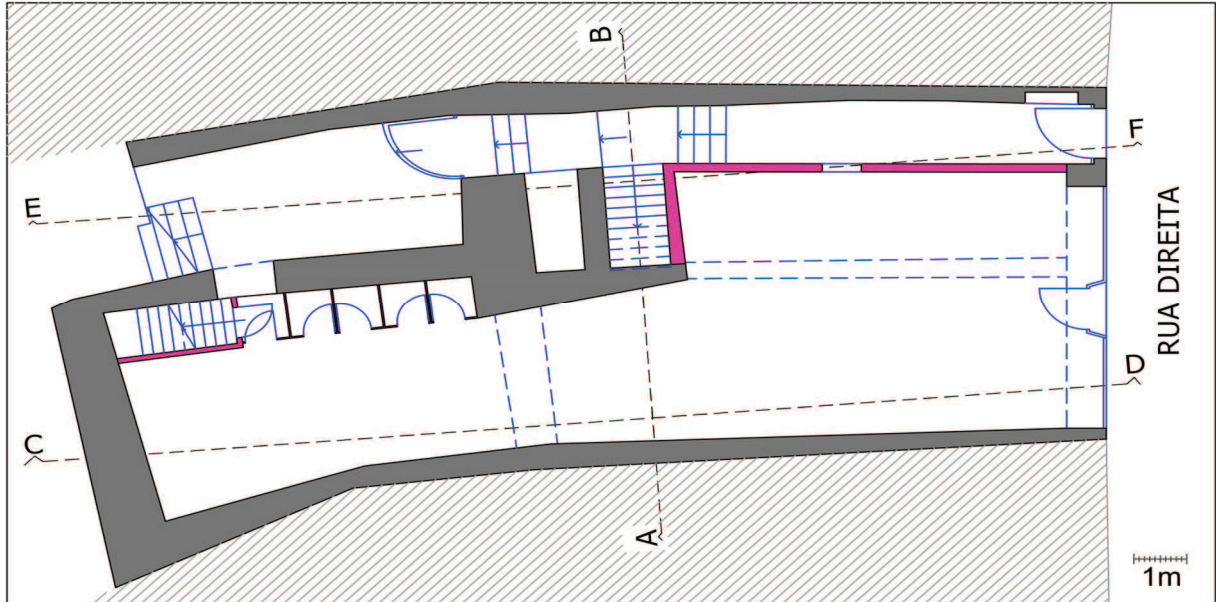


Alçado lateral esquerdo

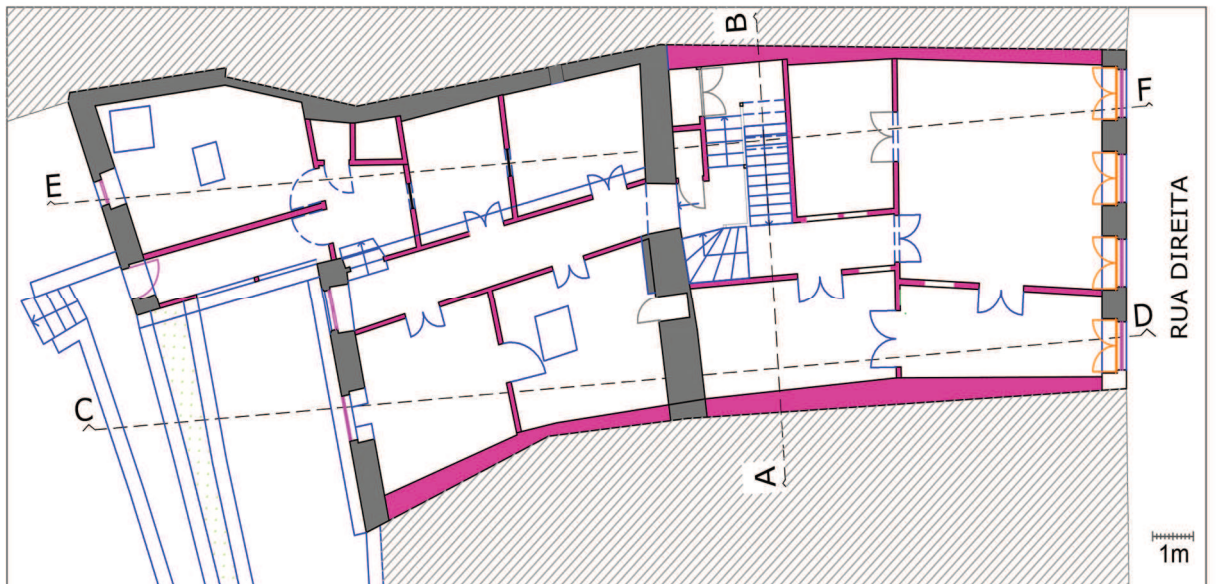


ANEXO 2 - Peças desenhadas do caso de estudo Ed.2

No presente Anexo apresentam-se as peças desenhadas referentes ao caso de estudo Ed.2.

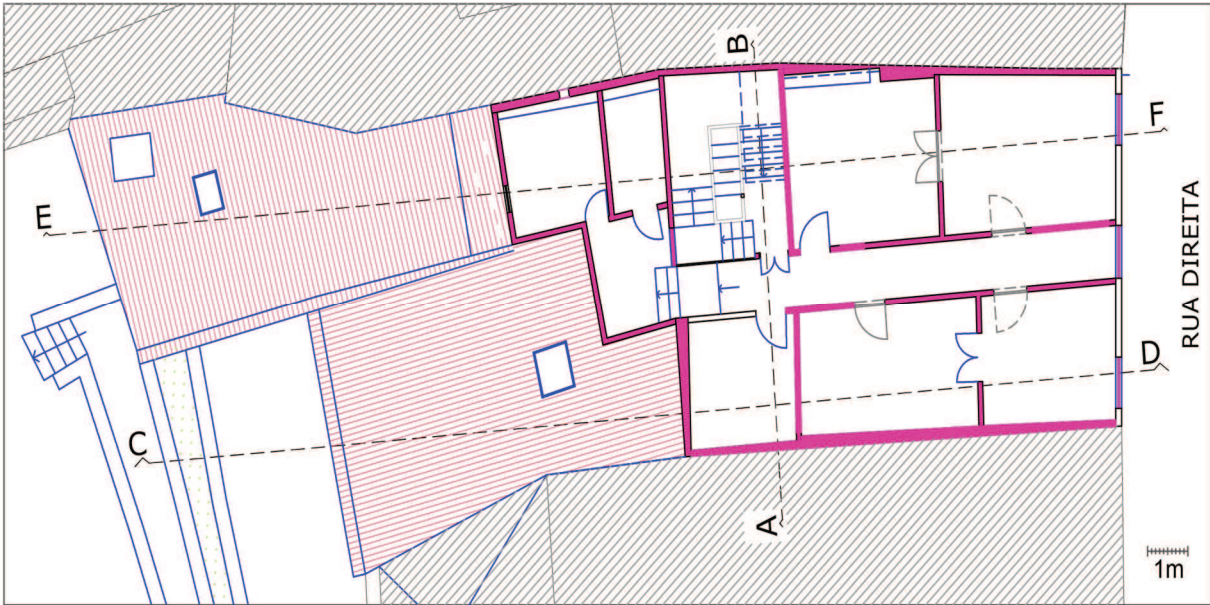


Planta do Rés-do-chão

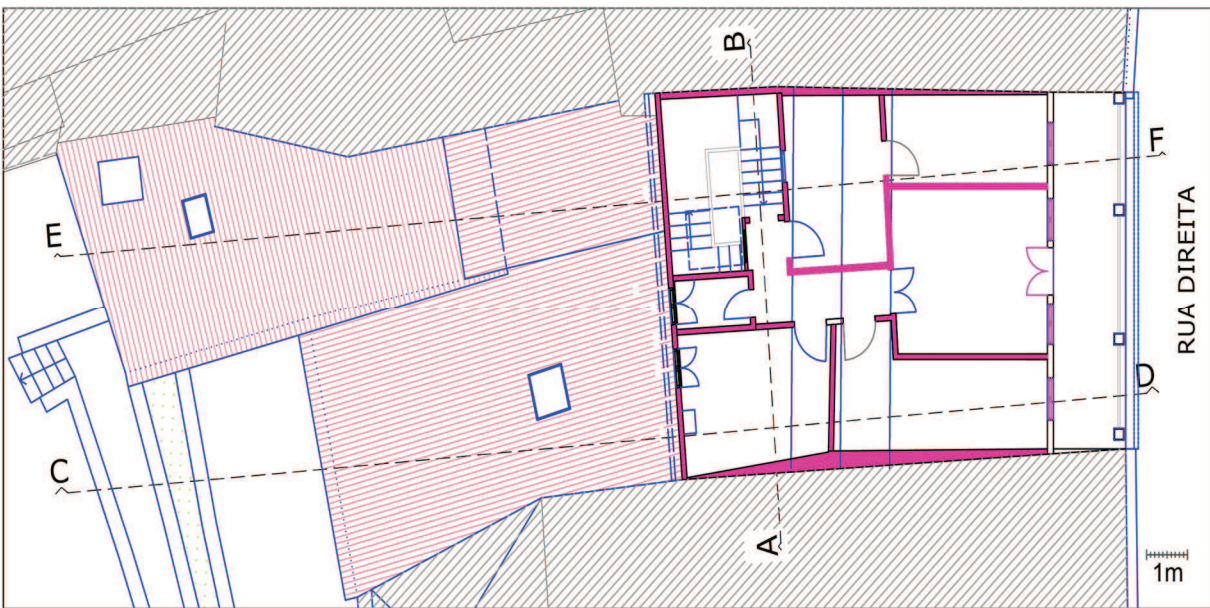


Planta do 1º Piso



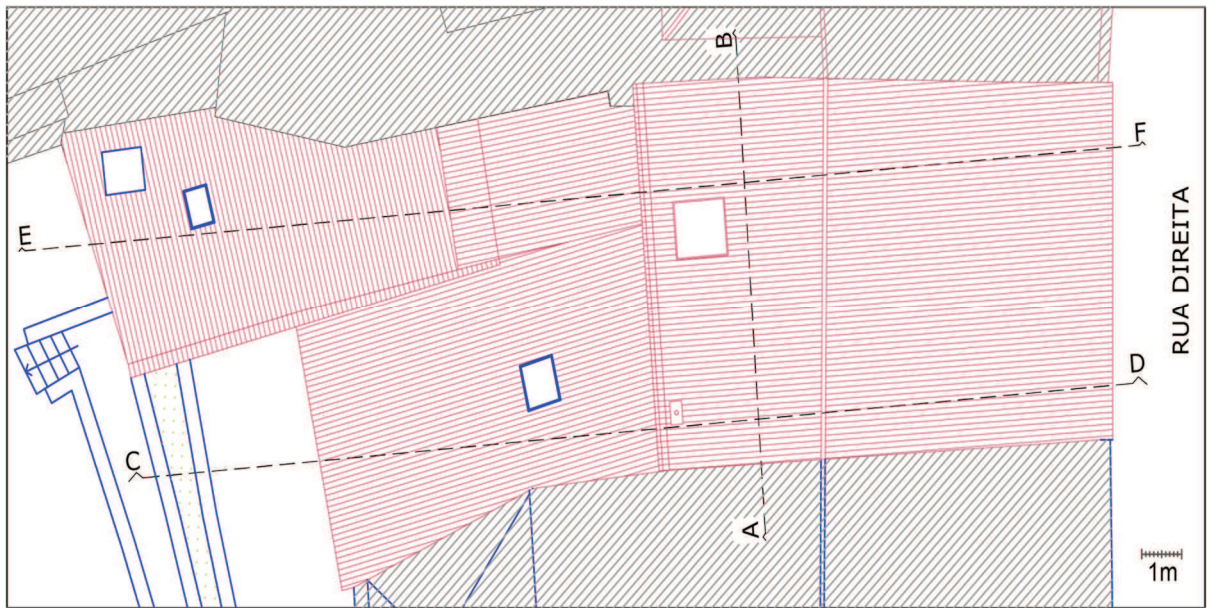


Planta do 2º Piso

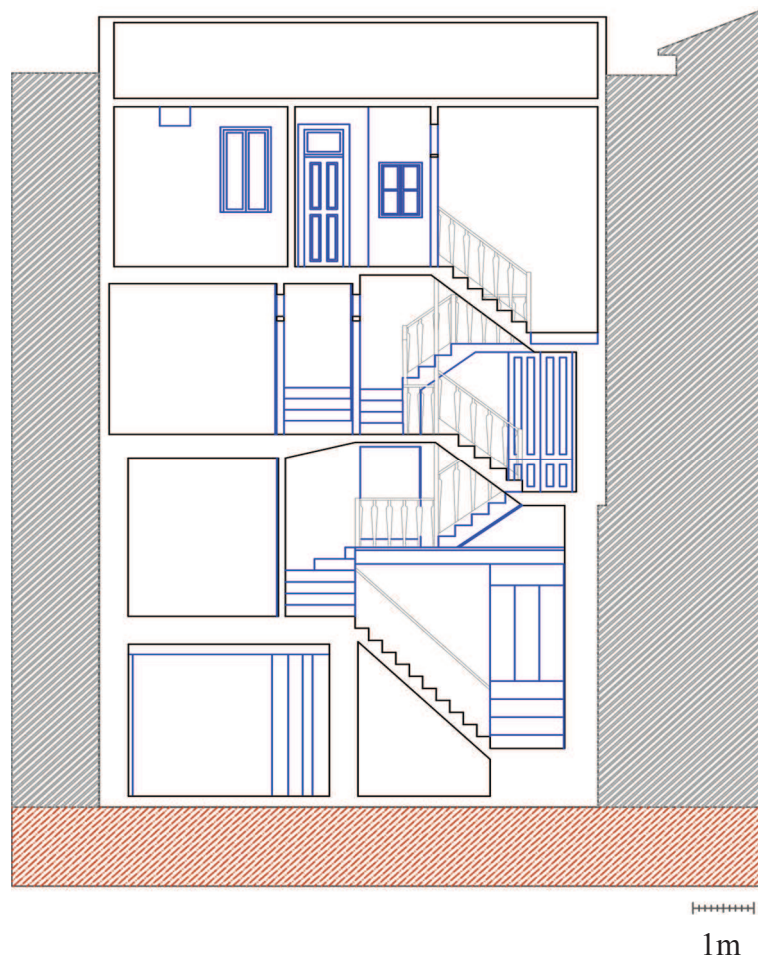


Planta do 3º Piso

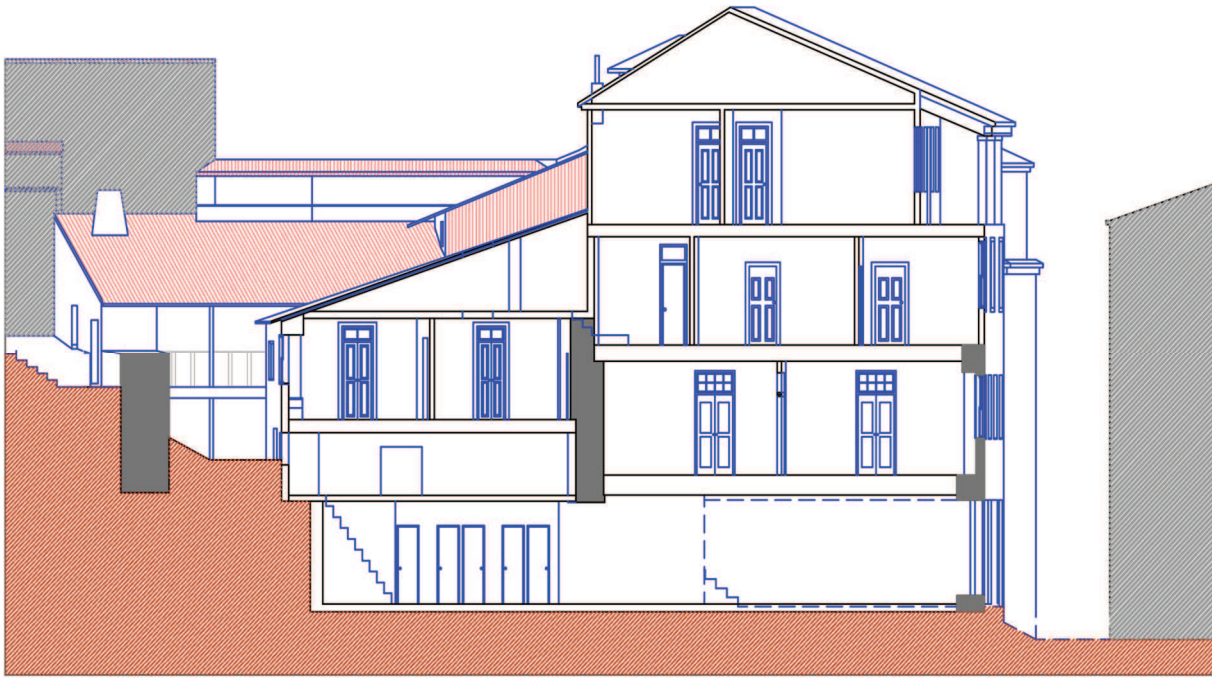




Planta da Cobertura

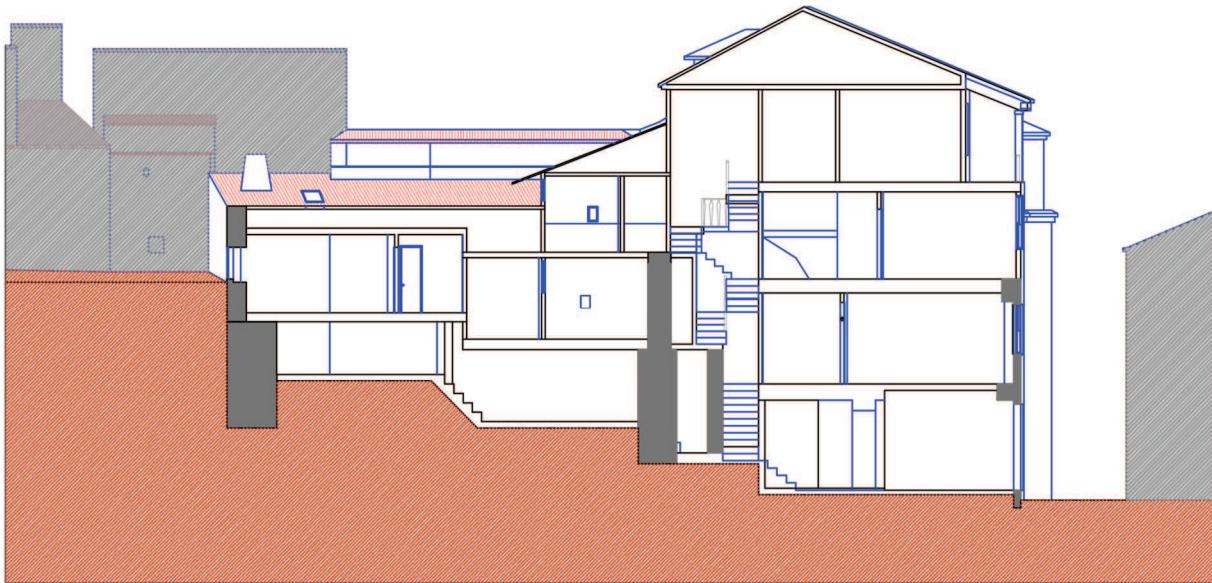


Corte AB



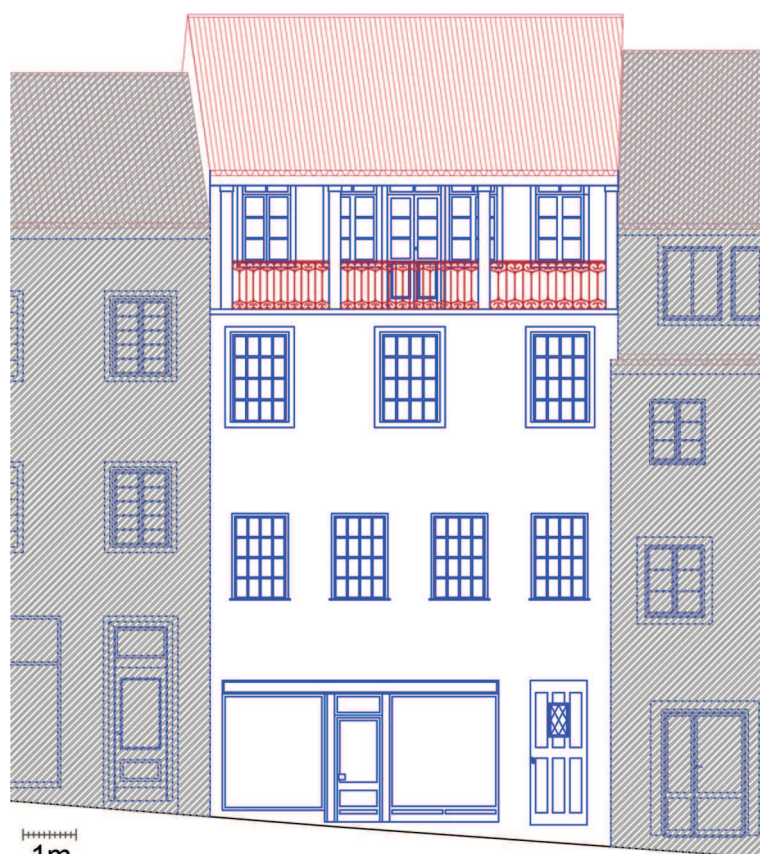
1m

Corte CD

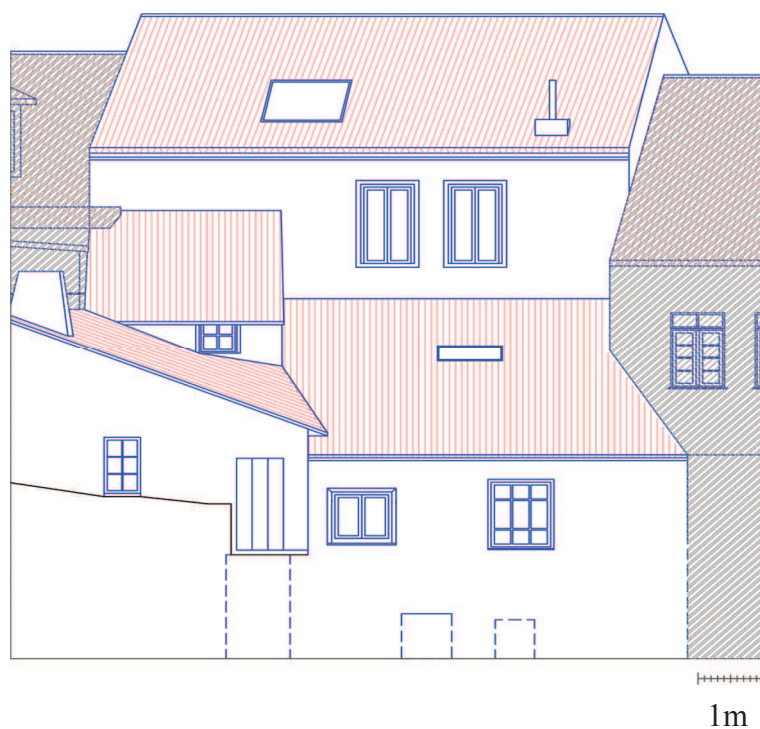


1m





Corte EF



Alçado Principal

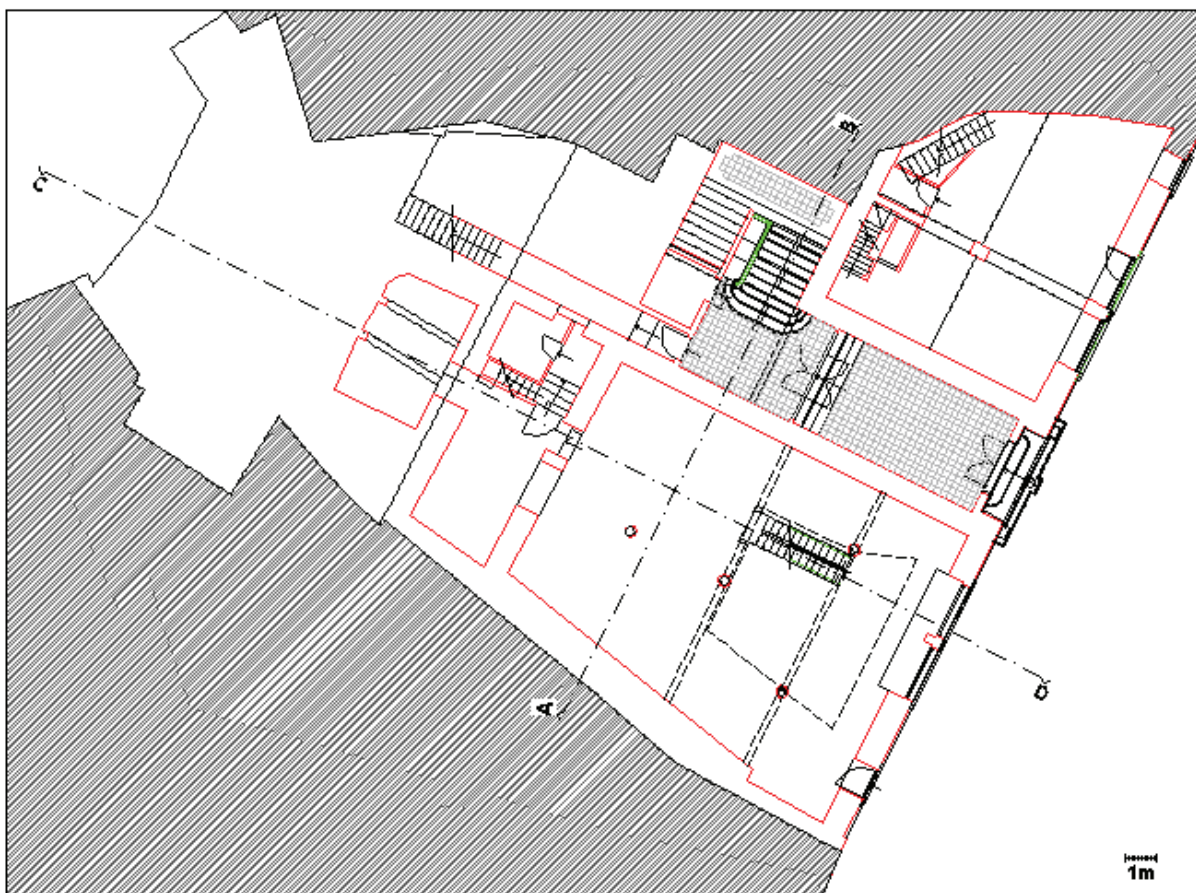


Alçado Posterior

	PAREDES TABIQUE
	EDIFICIO CONTIGUO
	COBERTURA
	ALVENARIA DE GRANITO

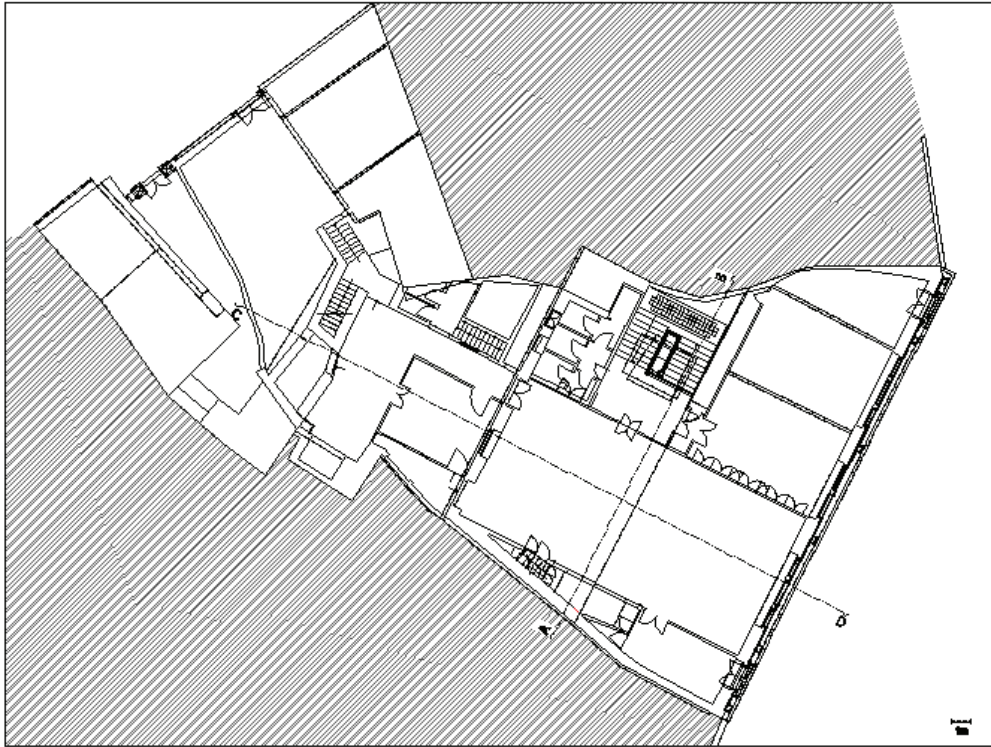
ANEXO 3 - Peças desenhadas do caso de estudo Ed.3

No presente Anexo apresentam-se as peças desenhadas referentes ao caso de estudo Ed.3.

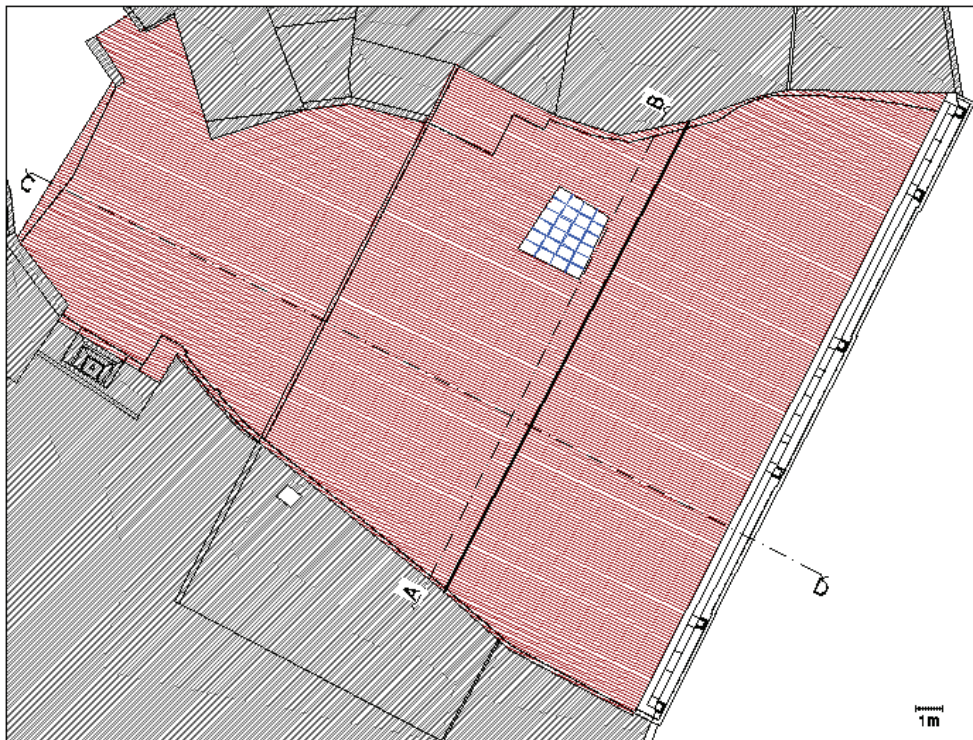


Planta do Rés-do-chão



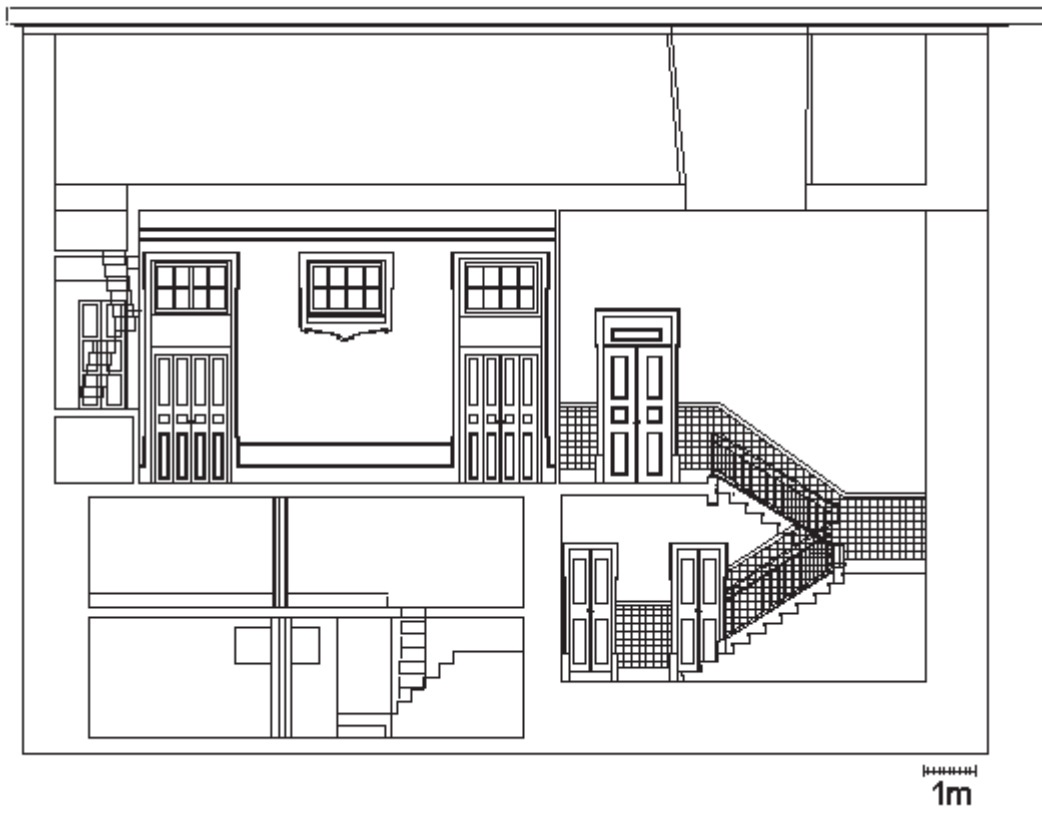


Planta do 2º Piso

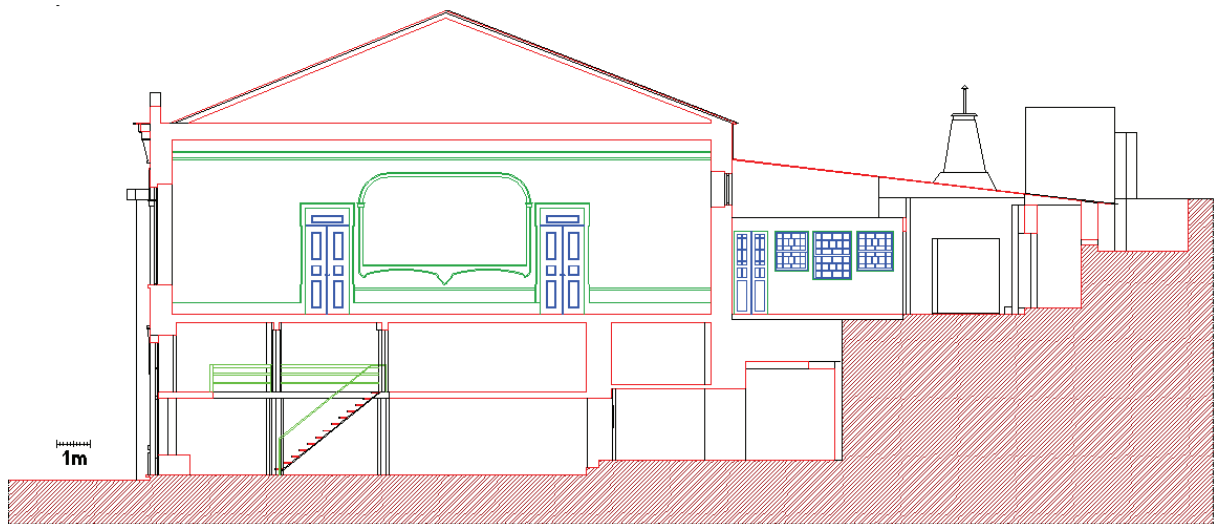


Planta da Cobertura





Corte AB



Corte CD



Alçado Principal



Alçado Posterior

