

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil



**Conservação de Edifícios em Terra: Argamassas de
Reboco**

DANIEL RODRIGUES BRAVO

Licenciado em Engenharia Civil pelo Instituto Superior de Engenharia de
Lisboa

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil na Área de Especialização de Edificações

Orientador:

Doutora, Maria Idália da Silva Gomes, Professora Adjunta (ISEL)

Júri:

Presidente: Doutor, Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

Vogais:

Doutora, Maria Dulce e Silva Franco Henriques

Doutora, Maria Idália da Silva Gomes

Fevereiro, 2017

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil



**Conservação de Edifícios em Terra: Argamassas de
Reboco**

DANIEL RODRIGUES BRAVO

Licenciado em Engenharia Civil pelo Instituto Superior de Engenharia de
Lisboa

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil na Área de Especialização de Edificações

Orientador:

Doutora, Maria Idália da Silva Gomes, Professora Adjunta (ISEL)

Júri:

Presidente: Doutor, Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

Vogais:

Doutora, Maria Dulce e Silva Franco Henriques

Doutora, Maria Idália da Silva Gomes

Fevereiro, 2017

AGRADECIMENTOS

Antes de mais gostaria de agradecer ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e a todos os professores que durante os últimos 5 anos contribuíram para a minha formação académica, mas também, em alguns casos, para a minha formação enquanto cidadão.

A todos os colegas que desenvolveram os seus trabalhos finais de mestrado em simultâneo comigo no Laboratório de Materiais de Construção do Edifício Ferreira Cardoso no ISEL, Andreia Pinto, Dino Ferreira, João Gonçalves e Marco Prata, um sincero obrigado pela ajuda na resolução de alguns problemas que foram surgindo e pela harmonia, amizade e ambiente de trabalho gerado no laboratório.

Ao antigo técnico do Laboratório de Materiais de Construção do ISEL, António Fernandes, pela transmissão de conhecimentos numa fase inicial da minha campanha experimental, e ao novo técnico Paulo Martins, pela disponibilidade demonstrada para ajudar sempre que necessário. Incluo ainda o Professor Doutor Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva pelo apoio técnico dado para manusear alguns dos equipamentos utilizados na realização de ensaios e a técnica do laboratório de solos, Cátia Valente, pelo apoio na realização de alguns dos ensaios.

Ao engenheiro Vítor Silva, técnico de laboratório do Laboratório de Materiais de construção da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Campus da Caparica (FCT UNL) e também à Doutora Paulina Faria, professora na mesma instituição, por disponibilizarem o seu laboratório para a realização de alguns dos ensaios, e em especial ao engenheiro Vítor pelo apoio técnico dado aquando da realização dos ensaios.

Á minha orientadora, Professora Doutora Maria Idália da Silva Gomes pela orientação, conhecimentos e conceitos teóricos e práticos transmitidos ao longo da realização de toda esta dissertação.

Á minha namorada, Márcia Correia, pelo apoio incondicional ao longo destes últimos 5 anos que coincidiram com a minha formação superior. E aos meus familiares mais próximos pelo apoio moral durante toda a minha formação académica.

Por último, e mais importante, à minha Mãe, porque sem ela nada do que fiz até hoje era possível.

CONSERVAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM TERRA: ARGAMASSAS DE REBOCO

RESUMO

Portugal é um país com tradição na construção em terra, especialmente a região do Alentejo onde existe variado património edificado construído com técnicas construtivas como a taipa, o adobe ou o tabique. No entanto muitas dessas construções, devido à sua avançada idade e a reabilitações menos conseguidas, apresentam-se degradadas tratando-se então de património que urge conservar.

As argamassas de terra enquadram-se nos sistemas de revestimento e enchimento de construção em terra. São geralmente utilizadas para a execução de rebocos interiores de construções em terra, pela sua maior compatibilidade e pelas características de habitabilidade que permitem. As argamassas de terra podem ser ainda utilizadas como argamassas de assentamento de blocos de terra, tal como o adobe ou os blocos de terra comprimida. Este tipo de argamassas é o que apresenta maior compatibilidade com paramentos de construção em terra.

O presente trabalho destina-se a caracterizar, no estado fresco e endurecido, cinco famílias de argamassas, quatro delas de terra com ou sem adição e substituição de cal aérea e uma argamassa de cal aérea e areia. Os ensaios de estado endurecido foram realizados tendo como objetivo a caracterização dos parâmetros hídricos e resistentes das argamassas. Destacam-se na realização deste trabalho os ensaios de módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão, resistência à compressão e os ensaios de absorção de água por capilaridade e de secagem. A inclusão de cal aérea serviu para a avaliação das vantagens e desvantagens da inclusão deste material em argamassas de terra. Os ensaios sobre o estado endurecido foram realizados em duas datas distintas, 60 e 90 dias, a fim de avaliar a evolução de características com o avanço da idade das argamassas.

Com o presente trabalho foi possível concluir a influência positiva da cal aérea em alguns dos parâmetros resistentes das argamassas de terra e a influência menos positiva nos seus parâmetros hídricos. Verificou-se, de forma geral, a tendência para o aumento das características resistentes dos 60 para os 90 dias de idade.

PALAVRAS-CHAVE

Construção em terra; Reabilitação e conservação; Ecologia e sustentabilidade; Argamassas de reboco; Parâmetros hídricos e resistentes.

CONSERVATION OF EARTHBUILDINGS: PLASTERING MORTARS

ABSTRACT

Portugal is a country with tradition on earth construction, especially in Alentejo region where exists a lot of earth construction with different techniques like rammed earth, adobe bricks or earth partitions. However most of those constructions, mostly due to advanced age of inefficient rehabilitations, are badly degraded and there is a need of rehabilitate this kind of patrimony.

Earth mortars fit in the structure system of earth construction. They are generally used as plastering mortars for interior walls, mostly due to the better compatibility and habitability characteristics that they permit. The earth mortars can be used as laying mortar for earth blocks, like adobe or compressed earth blocks. This kind of mortars presents bigger compatibility with earth construction walls.

The present dissertation has the objective of characterize, in fresh and hardened state, five families of mortars, four earth mortars with or without the addition and substitution of non-hydraulic lime and a non-hydraulic mortar. The hardened state tests were realized with the objective of characterizing the hydraulic and resistant parameters of the mortars. In the present dissertation, the dynamic modulus of elasticity, flexural and compressive strength, water absorption due to capillarity and drying tests stand out. The inclusion of non-hydraulic lime served the purpose of evaluating the advantages and disadvantages of the inclusion of this material in earth mortars. The hardened state tests were realized in two different dates, 60 and 90 days, in order to evaluate the evolution of characteristics with the advance of the mortar's age.

In this dissertation, it was possible to conclude the positive influence of the usage of non-hydraulic lime on some of the resistant parameters of the analysed earth mortars and the less positive influence on hydraulic parameters. It was possible to verify the tendency of better resistant parameters with the advance of the mortar's age.

KEY-WORDS

Earth construction; Rehabilitation and conservation; Ecology and sustainability; Plastering mortars; Hydraulic and resistant parameters.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Palavras-chave	v
Abstract.....	vii
Key-words.....	vii
Índice geral.....	ix
Índice de figuras.....	xiii
Índice de quadros	xvii
1 Introdução	1
1.1 Motivação e enquadramento do tema	1
1.2 Objetivos e metodologia.....	2
1.3 Organização do documento	3
2 Síntese de conhecimentos	5
2.1 Construção em terra no mundo e em Portugal.....	5
2.2 Ecologia e sustentabilidade	8
2.3 Características de habitabilidade	9
2.4 Sistemas construtivos.....	10
2.4.1 Taipa	10
2.4.2 Adobe.....	11
2.4.3 Blocos de terra comprimida.....	12
2.4.4 Tabique	13
2.5 Principais anomalias e causas de degradação.....	14
2.5.1 Anomalias não estruturais	14
2.5.2 Anomalias estruturais	17
2.6 Conservação de construções em terra	19
2.7 Caracterização de argamassas.....	20
2.7.1 Estado fresco.....	20
2.7.2 Estado endurecido	20

3	Materiais e procedimentos de ensaio.....	25
3.1	Considerações iniciais.....	25
3.2	Constituição das argamassas.....	25
3.2.1	Material terra-padrão.....	26
3.2.2	Material areia.....	28
3.2.3	Material cal aérea hidratada.....	29
3.3	Campanha experimental.....	29
3.4	Ensaio de caracterização de materiais.....	31
3.4.1	Baridade.....	31
3.4.2	Peneiração da areia.....	32
3.4.3	Equivalente de areia.....	33
3.4.4	Análise granulométrica da terra-padrão.....	35
3.5	Execução das argamassas.....	38
3.6	Ensaio de caracterização sobre o estado fresco.....	38
3.6.1	Consistência por espalhamento.....	39
3.6.2	Massa volúmica.....	40
3.6.3	Teor de vazios.....	41
3.7	Ensaio de caracterização sobre o estado endurecido.....	42
3.7.1	Massa volúmica aparente.....	42
3.7.2	Módulo de elasticidade dinâmico.....	43
3.7.3	Resistência à tração por flexão e resistência à compressão.....	44
3.7.4	Absorção de água por capilaridade.....	46
3.7.5	Secagem.....	47
3.7.6	Retração linear e volumétrica.....	48
3.8	Ensaio de caracterização sobre argamassas aplicadas em suporte.....	49
3.8.1	Absorção de água sob baixa pressão (tubos de Karsten).....	50
3.8.2	Condutibilidade térmica.....	51
3.8.3	Dureza Superficial.....	52
3.8.4	Resistência à abrasão.....	53

3.8.5	Aderência ao suporte	54
3.8.6	Esclerómetro pendular	55
4	Apresentação e discussão de resultados	57
4.1	Considerações iniciais	57
4.2	Ensaio de caracterização sobre o estado fresco	57
4.2.1	Consistência por espalhamento	57
4.2.2	Massa volúmica no estado fresco	59
4.2.3	Teor de Vazios	60
4.3	Ensaio de caracterização sobre o estado endurecido	61
4.3.1	Massa volúmica aparente	61
4.3.2	Módulo de elasticidade dinâmico	63
4.3.3	Resistência à tração por flexão	64
4.3.4	Resistência à compressão	66
4.3.5	Absorção de água por capilaridade	68
4.3.6	Secagem	71
4.3.7	Retração linear e volumétrica	76
4.4	Ensaio de caracterização sobre argamassas aplicadas em suporte	77
4.4.1	Absorção de água sob baixa pressão (tubos de Karsten)	77
4.4.2	Condutibilidade térmica	80
4.4.3	Dureza superficial	82
4.4.4	Resistência à abrasão	84
4.4.5	Aderência ao suporte	86
4.4.6	Esclerómetro pendular	88
5	Conclusões e desenvolvimentos futuros	91
5.1	Conclusões	91
5.2	Desenvolvimentos futuros	95
	Referências bibliográficas	97

ANEXOS

ANEXO A – FICHA DE SEGURANÇA DA CAL AÉREA HIDRATADA.....	3
ANEXO B – QUANTIDADES DE MATERIAL DAS ARGAMASSAS	5
ANEXO C – REGISTO DE TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA – SALA CONDICIONADA.....	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Exemplos de construção em terra: a) Muralha da China; b) Cidade de Shibam, Iémen	5
Figura 2.2 – Locais com tradição de construção em terra.....	6
Figura 2.3 – Densidade populacional mundial.	6
Figura 2.4 – Construção em terra em Portugal.	7
Figura 2.5 – Património português em terra: a) Castelo de Silves; b) Castelo de Paderne.....	7
Figura 2.6 – Técnicas de construção em terra: a) paredes em taipa; b) blocos de adobe; c) reboco em terra.	10
Figura 2.7 – Técnica de construção em taipa: a) Taipal e pilão; b) procedimento de compactação.	11
Figura 2.8 – Fabrico de blocos de adobe.....	12
Figura 2.9 – Construção com blocos de terra comprimida.....	12
Figura 2.10 – Revestimento de terra em estrutura de madeira.	13
Figura 2.11 – Ação sísmica na construção em terra: a) Cidade de Arg-e-Bam antes do sismo; b) Cidade de Arg-e-Bam depois do sismo.....	18
Figura 2.12 – Curva característica do ensaio de absorção de água por capilaridade.....	22
Figura 2.13 – Fases do ensaio de secagem.....	23
Figura 2.14 – Curva característica do ensaio de secagem.....	23
Figura 3.1 – Curva granulométrica do material terra-padrão.	26
Figura 3.2 – Difratoograma raio X da terra-padrão.....	27
Figura 3.3 – Curva granulométrica da areia.	28
Figura 3.4 – Reação química do processo de calcinação do carbonato de cálcio.	29
Figura 3.5 – Reação química do processo de hidratação da cal viva.	29
Figura 3.6 – Sequência de trabalhos do ensaio de baridade: a) enchimento do recipiente; b) remoção do material em excesso; c) pesagem do conjunto recipiente-material.	31
Figura 3.7 – Lavagem da areia para o ensaio de peneiração: a) provete submerso em água; b) colocação do provete no peneiro de proteção; c) lavagem do provete.	32
Figura 3.8 – Sequência de trabalhos da peneiração da areia: a) colocação do provete na coluna de peneiros; b) agitação mecânica dos peneiros; c) pesagem do material retido nos peneiros.	33
Figura 3.9 – Agitação de provetas do ensaio equivalente de areia: a) provete submerso em solução de lavagem; b) agitação da proveta; c) proveta após agitação.....	34
Figura 3.10 – Procedimento do ensaio equivalente de areia: a) lavagem da rolha da proveta; b) lavagem das paredes da proveta; c) traço de referência superior.	34
Figura 3.11 – Procedimento da peneiração por via húmida: a) passagem do material pelo peneiro nº10; b) colocação do material no copo de precipitação; c) lavagem da solução.	35

Figura 3.12 – Sequência de trabalhos de desagregação de partículas para o ensaio de sedimentação: a) pesagem do material; b) aquecimento da mistura; c) agitação da mistura.	36
Figura 3.13 – Sequência de trabalhos do ensaio de sedimentação: a) lavagem da solução no peneiro nº200; b) transferência da solução para a proveta; c) colocação e leitura do densímetro.	36
Figura 3.14 – Sequência de trabalhos do ensaio de densidade de partículas: a) colocação da terra-padrão no picnômetro; b) remoção do ar remanescente; c) registo da massa m_5	37
Figura 3.15 – Sequência na execução das argamassas: a) introdução da água no copo da misturadora; b) colocação do copo na misturadora; c) junção à mistura da argamassa aderente às paredes do copo.	38
Figura 3.16 – Enchimento e compactação do molde para o ensaio de consistência por espalhamento: a) equipamento utilizado; b) enchimento da segunda camada de argamassa; c) molde com argamassa compactada e excesso removido.....	39
Figura 3.17 – Procedimento de medição do espalhamento obtido: a) argamassa após remoção do molde; b) aplicação das 15 pancadas; c) medição do espalhamento.	40
Figura 3.18 – Sequência de trabalhos do ensaio de massa volúmica: a) enchimento da primeira camada de argamassa; b) compactação da primeira camada; c) recipiente totalmente preenchido; d) remoção do excesso de argamassa; e) limpeza do recipiente; f) pesagem do conjunto recipiente-argamassa.....	41
Figura 3.19 – Sequência de trabalhos do ensaio do teor de vazios: a) introdução de água no aerómetro; b) acionamento das válvulas; c) leitura do aerómetro.....	42
Figura 3.20 – Sequência de trabalhos de moldagem e desmoldagem dos provetes: a) compactação da primeira camada; b) molde preenchido com argamassa; c) desmoldagem dos provetes.....	42
Figura 3.21 – Sequência de trabalhos de calibração do equipamento de ultrassons: a) corpo cilíndrico normalizado; b) aplicação de massa de contacto no cilindro; c) calibração do equipamento.....	43
Figura 3.22 – Medição da velocidade de propagação de ultrassons: a) medição dos provetes; b) aplicação de massa de contacto nas faces do provete; c) medição da velocidade de propagação de ultrassons.....	44
Figura 3.23 – Sequência de trabalhos do ensaio de resistência à tração por flexão: a) colocação do provete na prensa; b) aplicação da carga; c) rotura do provete.	45
Figura 3.24 – Sequência de trabalhos do ensaio de resistência à compressão: a) metades do ensaio de resistência à tração por flexão; b) aplicação da compressão; c) figura de rotura por compressão.	46
Figura 3.25 – Sequência de trabalhos do ensaio de absorção de água por capilaridade: a) aplicação da impermeabilização; b) provetes na tina; c) pesagem dos provetes.	47

Figura 3.26 – Sequência de trabalhos do ensaio de secagem: a) selagem da face inferior; b) secagem dos provetes; c) pesagem dos provetes.....	48
Figura 3.27 – Pontos de medição de provetes do ensaio de retração linear e volumétrica.	49
Figura 3.28 – Sequência dos trabalhos de execução das aplicações: a) arremesso da argamassa; b) remoção da argamassa em excesso; c) remoção do molde.	50
Figura 3.29 – Sequência de trabalhos do ensaio de absorção de água sob baixa pressão: a) enchimento do tubo de Karsten; b) realização das leituras; c) pormenor da absorção de água...	51
Figura 3.30 – Equipamento de medição do coeficiente de condutibilidade térmica: a) equipamento ISOMET Heat Transfer Analyzer modelo 2104; b) sonda de transmissão e medição.	51
Figura 3.31 – Pontos de medição do coeficiente de condutibilidade térmica.....	52
Figura 3.32 – Sequência de trabalhos do ensaio de condutibilidade térmica: a) equipamento em funcionamento; b) posicionamento da sonda; c) leitura do equipamento.....	52
Figura 3.33 – Medição da dureza superficial das aplicações executadas: a) durómetro Shore A; b) aplicação da carga; c) leitura do durómetro.	53
Figura 3.34 – Sequência de trabalhos do ensaio de resistência à abrasão: a) posicionamento do tijolo no equipamento; b) aplicação da rotação da escova; c) pesagem do provete.....	53
Figura 3.35 – Realização das incisões para o ensaio de aderência ao suporte: a) realização das incisões circulares; b) aspiração do material desagregado; c) pastilhas coladas no reboco. .	54
Figura 3.36 – Sequência de trabalhos do ensaio de aderência ao suporte: a) início da aplicação da carga; b) arrancamento das pastilhas; c) medição do diâmetro da argamassa aderente à pastilha.	55
Figura 3.37 – Medição do ângulo de ressalto com esclerómetro pendular: a) esclerómetro pendular; b) acionamento do esclerómetro; c) aplicação adjacente a parede resistente.	56
Figura 4.1 – Representação gráfica dos resultados do ensaio de consistência por espalhamento.	58
Figura 4.2 – Resultados obtidos no ensaio de massa volúmica no estado fresco.	59
Figura 4.3 – Resultados obtidos no ensaio de teor de vazios.	60
Figura 4.4 – Representação gráfica de resultados do ensaio de massa volúmica aparente.	62
Figura 4.5 – Representação gráfica de resultados do módulo de elasticidade dinâmico.	63
Figura 4.6 – Resultados obtidos no ensaio de resistência à tração por flexão.	65
Figura 4.7 – Representação gráfica dos resultados de resistência à compressão.....	67
Figura 4.8 – Curva de absorção de água por capilaridade, 60 dias.	68
Figura 4.9 - Curva de absorção de água por capilaridade, 90 dias.	69
Figura 4.10 – Curva de secagem, 60 dias.....	71
Figura 4.11 – Curva de secagem, 90 dias.....	71
Figura 4.12 – Representação gráfica dos valores da taxa de secagem.....	73

Figura 4.13 – Representação gráfica dos valores de índice de secagem.....	74
Figura 4.14 – Rotura do material de impermeabilização.	75
Figura 4.15 – Representação gráfica do ensaio de retração volumétrica.....	76
Figura 4.16 – Curva de absorção de água sob baixa pressão, família A_gA_R	78
Figura 4.17 – Curva de absorção de água sob baixa pressão, família A_gA_R+25C	78
Figura 4.18 – Curva de absorção de água sob baixa pressão, família $A_g25C_A_R$	78
Figura 4.19 – Curva de absorção de água sob baixa pressão, família $A_g_A_R25C$	79
Figura 4.20 – Curva de absorção de água sob baixa pressão, família CA_R	79
Figura 4.21 – Representação gráfica dos resultados do coeficiente de condutibilidade térmica.	80
Figura 4.23 – Representação gráfica de resultados do ensaio de dureza superficial.	83
Figura 4.24 – Representação gráfica dos resultados do ensaio de resistência à abrasão.	85
Figura 4.25 – Representação gráfica dos resultados de aderência ao suporte.	86
Figura 4.26 – Rotura coesiva da argamassa, família CA_R	87
Figura 4.27 – Rotura adesiva entre reboco e cola.	88
Figura 4.28 – Representação gráfica do ângulo de ressalto obtido no ensaio de esclerómetro pendular.....	89

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Relação entre as características recomendadas para as argamassas e as características dos elementos pré-existentes – características mecânicas.....	21
Quadro 3.1 – Traço volumétrico das argamassas estudadas	25
Quadro 3.2 – Compostos cristalinos identificados na terra padrão.....	27
Quadro 3.3 – Ensaio realizados e documentos normativos utilizados.	30
Quadro 4.1 – Características de estado fresco das argamassas estudadas.....	57
Quadro 4.2 – Baridade dos constituintes das argamassas.	59
Quadro 4.3 – Resultados obtidos no ensaio de massa volúmica aparente.	61
Quadro 4.4 – Resultados obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico.	63
Quadro 4.5 – Valores obtidos no ensaio de resistência à tração por flexão.	65
Quadro 4.6 – Valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.....	67
Quadro 4.7 – Valores médios do coeficiente de capilaridade.....	69
Quadro 4.8 – Valores médios da taxa de secagem.	72
Quadro 4.9 – Valores médios do índice de secagem.....	74
Quadro 4.10 – Resultados do ensaio de retração linear e volumétrica.	76
Quadro 4.11 – Resultados obtidos para o coeficiente de condutibilidade térmica.....	80
Quadro 4.12 – Coeficiente de condutibilidade térmica de argamassas de reboco e assentamento.....	81
Quadro 4.13 – Coeficientes de condutibilidade térmica de inertes, solos ou terra.	82
Quadro 4.14 – Resultados obtidos no ensaio de dureza superficial.	82
Quadro 4.15 – Classes de dureza do ensaio de dureza superficial.	83
Quadro 4.16 – Classificação da dureza superficial das argamassas estudadas.....	84
Quadro 4.17 – Resultados do ensaio de resistência à abrasão.	85
Quadro 4.18 – Resultados do ensaio de aderência ao suporte.	86
Quadro 4.19 – Tipo de rotura no ensaio de aderência ao suporte.....	87
Quadro 4.20 – Resultados obtidos no ensaio de esclerómetro pendular.	88
Quadro 4.21 – Classes de resistência, perda de coesão e perda de aderência do ensaio de esclerómetro pendular.	89
Quadro 4.22 – Classificação da resistência das argamassas estudadas no ensaio de esclerómetro pendular.....	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO TEMA

A construção em terra é uma técnica que, no passado século, caiu em desuso com a industrialização do setor da construção e com o aparecimento de novos materiais. O início do desaparecimento das ancestrais técnicas utilizando a terra como material de construção levou a que muito do conhecimento que existia se fosse perdendo ao longo do tempo, fazendo com que nos dias de hoje esse tipo de construção seja pouco conhecida e divulgada. O facto de se ter tornado uma técnica geralmente desconhecida fez com que a metodologia de intervenção se tornasse também desconhecida, levando a que muitas das construções em terra apresentem degradações em estado avançado.

O desconhecimento das metodologias de construção em terra levou a que muitas das intervenções executadas para a conservação desse tipo de edificado fossem ineficientes e pouco duráveis, muito devido ao uso de argamassas cimentícias nas obras de reabilitação e conservação, uma vez que esse tipo de argamassas é incompatível com a construção em terra. Este trabalho resulta da necessidade de aprofundar o conhecimento sobre os materiais compatíveis com os paramentos de terra, em especial dos seus sistemas de revestimento, fulcrais para uma construção e reabilitação eficiente, com objetivo de apresentarem durabilidade satisfatória.

Portugal apresentou-se, no passado, como um país com tradição na construção em terra e por isso se encontram várias construções em terra ao longo de todo o país, com especial incidência na região do Alentejo tendo como principais técnicas construtivas a taipa, o adobe e o tabique. Desta forma torna-se importante conservar o património edificado português respeitante a este tipo de construção sob pena de se perder completamente uma tradição do país.

Nos últimos anos, tem-se assistido uma preocupação crescente com a gestão de recursos feita pelo Homem a fim de garantir a sustentabilidade ambiental do planeta terra, garantindo que as gerações futuras dispõem da quantidade de recursos naturais que necessitam para viver confortavelmente. A crescente consciência ecológica levou a que nos últimos anos a construção em terra tenha voltado a ser uma opção viável, uma vez que este tipo de construção utiliza materiais recicláveis e abundantes e cuja extração e tratamento não representam ameaças significativas a nível ambiental.

Além das características que tornam a construção em terra eficiente do ponto de vista ecológico, este tipo de construção apresenta comportamentos térmico e acústico bastante satisfatórios contribuindo favoravelmente para a eficiência energética e bom ambiente interior.

A nível arquitetónico a construção em terra destaca-se pelas suas possibilidades, permitindo a criação de espaços funcionais, esteticamente agradáveis, confortáveis e atuais permitindo, atualmente, desmistificar o aspeto mais rudimentar das construções em terra dos séculos passados.

Com todos os fatores apresentados percebe-se que é importante agora, mais que nunca, conhecer todas as características das argamassas de terra, afim de reabilitar e conservar construções antigas, mas também contribuir para que as novas construções apresentem melhor qualidade nos materiais utilizados, evitando que materiais incompatíveis continuem a ser utilizados.

A motivação para a escolha do tema passou essencialmente pela necessidade de maior conhecimento de um material de construção ancestral que devido ao aparecimento de novos materiais caiu no esquecimento, apesar de todas as suas potencialidades. As questões acima referidas, nomeadamente a eficiência energética e ecológica foram também questões fundamentais para o desenvolvimento do presente trabalho

1.2 OBJETIVOS E METODOLOGIA

O principal objetivo do presente trabalho é caracterizar um conjunto de famílias de argamassas de terra, com diferentes adições ou substituições de cal aérea hidratada em pó, procurando contribuir para o maior conhecimento deste tipo de argamassas.

Para responder ao principal objetivo há a necessidade de responder a um conjunto de objetivos mais específicos e são eles:

- i) caracterizar a argamassa no seu estado fresco;
- ii) caracterizar as diferentes famílias quanto aos seus parâmetros resistentes;
- iii) caracterizar as diferentes famílias quanto aos seus parâmetros hídricos;
- iv) avaliar vantagens e eventuais inconvenientes da adição ou substituição de cal aérea;
- v) avaliar as características das diferentes famílias de argamassas em duas idades diferentes, 60 e 90 dias, avaliando a sua evolução.

Para cumprir os objetivos propostos foi realizada uma campanha experimental em que foram realizados ensaios no estado fresco, ensaios no estado endurecido aos 60 e 90 dias de idade, e ensaios em argamassas aplicadas em suporte também aos 60 e 90 dias de idade.

Ao longo do trabalho são feitas comparações com as características de argamassas de cimento, procurando salientar as diferenças entres estas e as argamassas de terra, uma vez que argamassas cimentícias continuam a ser erradamente utilizadas na reabilitação de construções em terra.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O presente documento organiza-se em cinco capítulos e anexos, apresentando-se seguidamente um breve resumo do conteúdo de cada um desses capítulos.

1º Capítulo – Introdução

Capítulo introdutório do trabalho em que se faz o enquadramento do tema e se apresenta a sua relevância e os objetivos a cumprir com o estudo realizado.

2º Capítulo – Síntese de Conhecimentos

Apresenta-se neste capítulo o mais recente conhecimento, que se considera relevante, sobre as argamassas de terra. A necessidade de resposta aos objetivos propostos está também explanada neste capítulo.

3º Capítulo – Materiais e procedimentos de ensaio

No terceiro capítulo são abordados todos os materiais utilizados na execução da campanha experimental, numerando-se os ensaios de caracterização realizados e as características por eles apresentadas. Apresentam-se de forma resumida os procedimentos de todos os ensaios realizados, bem como eventuais adaptações feitas às recomendações dos documentos normativos. Indicam-se ainda os equipamentos utilizados na execução dos ensaios e os documentos normativos seguidos.

4º Capítulo – Apresentação e discussão de resultados

No quarto capítulo apresentam-se os resultados obtidos em todos os ensaios realizados no estado fresco, estado endurecido e argamassas aplicadas no suporte. Estes resultados, que visam a caracterização das argamassas em estudo, discutem-se e criticam-se, por comparação com outros trabalhos, procurando justificar eventuais problemas e valores fora do expectável. Apresentam-se neste capítulo as justificações e dados que permitam responder aos objetivos propostos na execução do trabalho, bem como todos os problemas que não obtiveram resposta com a execução da campanha experimental.

5º Capítulo – Conclusões e desenvolvimentos futuros

No último capítulo conclui-se de forma sintetizada os resultados obtidos no estudo experimental efetuado sobre as argamassas de terra. Responde-se a todos os objetivos propostos no capítulo introdutório do trabalho, realçando as vantagens e inconvenientes observados nas argamassas estudadas. Posteriormente apresentam-se eventuais trabalhos futuros, relacionados com alguns resultados que não foram possíveis de observar com a campanha experimental proposta.

Anexos

A secção referente aos anexos tem como conteúdo informação relevante sobre alguns dos materiais utilizados e ensaios realizados.

2 SÍNTESE DE CONHECIMENTOS

2.1 CONSTRUÇÃO EM TERRA NO MUNDO E EM PORTUGAL

A construção em terra remonta aos primórdios da Humanidade, tendo a terra começado a ser utilizada como material de construção, segundo alguns registos, no período temporal referente à pré-história (Santos, 2014). A terra continuou, durante largos anos, a ser usada como material de construção, existindo ainda diverso património arquitetónico e histórico em que foram utilizadas as diversas técnicas de construção com terra (Gomes et al, 2012; Gonçalves et al., 2012). A Grande Muralha da China (Figura 2.1 a) é um exemplo de construção em terra, uma vez que largos troços do monumento foram construídos com recurso à técnica de taipa (Torgal et al., 2009). Também a cidade de Shibam no Iémen (Figura 2.1 b), classificada como património mundial pela UNESCO, é um dos exemplos. A cidade contém um grande aglomerado de edifícios altos, adjacentes, construídos em adobe e grande parte deles datados do século XVI, apesar da forte tradição de construção em terra na cidade desde o século III (Gonçalves et al., 2012).



Figura 2.1 – Exemplos de construção em terra: a) Muralha da China, adaptada de (A.R.C.A.Terra, sem data); b) Cidade de Shibam, Iémen (Middle east revised, 2014).

No entanto, nos séculos XIX e XX com a industrialização do setor da construção e o aparecimento de novos materiais como o cimento ou o tijolo de barro cozido, as técnicas de construção em terra caíram em desuso, bem como o conhecimento empírico da mão-de-obra que executava este tipo de construção, que foi desaparecendo (Torgal et al., 2009; Gonçalves et al., 2012).

Por todo o mundo existe ou existiu tradição na construção e arquitetura em terra, muito devido à abundância deste material, que lhe confere um carácter universal. A universalidade da terra como material de construção revê-se no facto de que cerca de 30% a 50% da população mundial vive ou trabalha em edifícios onde os sistemas construtivos são de terra (Gonçalves et al., 2012). Na Figura 2.2, podem visualizar-se os países com construção em terra e na Figura 2.3, visualiza-se a densidade populacional com o respetivo número de habitantes por km²; verifica-se que existe

uma elevada sobreposição entre os países com grande densidade populacional e os que apresentam a tradição na construção em terra, justificando de certa forma os 30% a 50% da população que habita ou labora em construções em terra.

ARCHITECTURE DE TERRE DANS LE MONDE



Figura 2.2 – Locais com tradição de construção em terra (CRATerre, sem data).

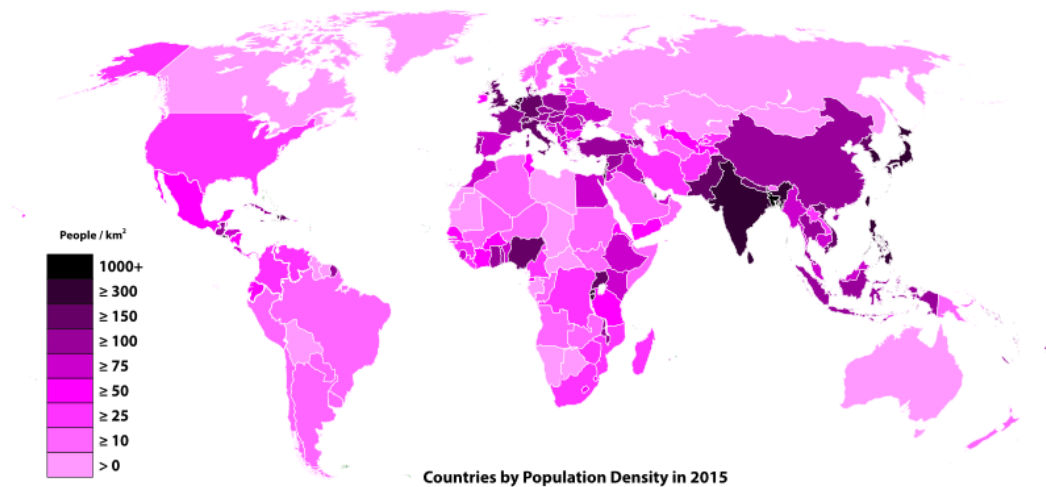


Figura 2.3 – Densidade populacional mundial (Wikimedia Commons, 2015).

Portugal é um país com tradição na arquitetura em terra, apresentando uma quantidade significativa de património edificado. A utilização da terra como principal material de construção está disseminada por Portugal, com diferentes incidências em diferentes pontos do país, como se observa na Figura 2.4.

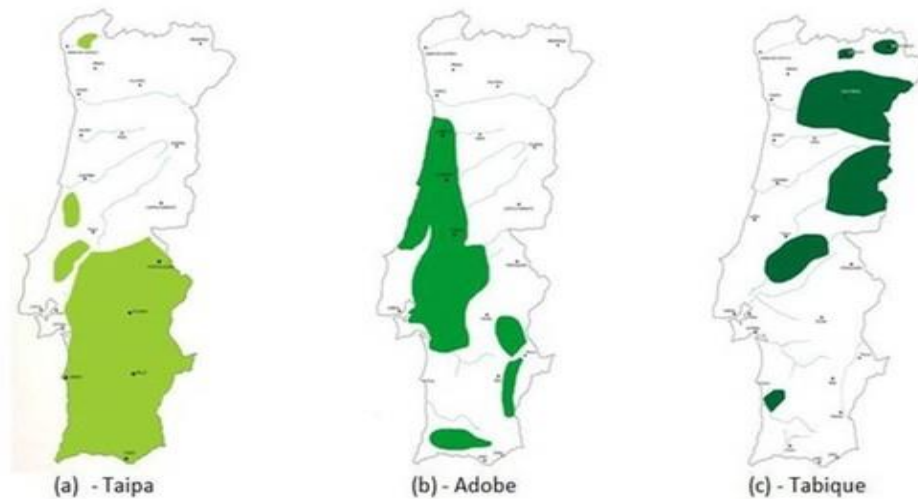


Figura 2.4 – Construção em terra em Portugal (Gonçalves, 2010).

É na zona do sul de Portugal, mais especificamente na região do Alentejo e Algarve, que há maior incidência da construção em terra, sobretudo da técnica de taipa. Existe nesta zona diverso património edificado, mas também património histórico como o Castelo de Silves (Figura 2.5 a), o Castelo de Alcácer do Sal ou o Castelo de Paderne (Figura 2.5 b) (Torgal et al., 2009; Gomes et al., 2012).



Figura 2.5 – Património português em terra: a) Castelo de Silves (in search of a thousand cafés, 2013); b) Castelo de Paderne (Wikipédia, 2016a).

Atualmente a construção em terra tem voltado a ser uma opção e vê-se não só em obras de reabilitação, conservação e manutenção, mas também em construção nova, muito devido ao carácter ambiental, bom conforto térmico e acústico proporcionado pela terra e pelas características das técnicas construtivas. Afim de garantir um tempo de vida útil prolongado para estas construções novas e garantir que todas as obras de manutenção e conservação em construções em terra são realizadas com os materiais e técnicas corretas, é necessário conhecer as metodologias de intervenção e caracterizar as eventuais argamassas de reboco em terra que garantam a compatibilidade com o suporte. A compatibilidade entre a argamassa e o suporte é uma das mais importantes características de argamassas utilizadas em reabilitação (Gomes et al., 2012).

2.2 ECOLOGIA E SUSTENTABILIDADE

A terra é um material construtivo usado desde há muitos anos, praticamente desde que o ser humano começou a viver em comunidade e com necessidade de abrigo perante as condições climáticas. O fato de ser um material abundante na maioria dos continentes do planeta Terra fez com que a terra como material de construção se tornasse universal; existindo arquitetura em terra por todos os continentes. A universalidade e abundância da terra, bem como o fato de ser um material natural são características que fazem com que as construções realizadas com este material sejam consideradas sustentáveis e ecológicas. A construção com terra permite a utilização de recursos locais e de fácil extração, é ainda uma técnica econômica com o uso de materiais reutilizáveis e recicláveis, “*A terra à terra volta*”.

Nos últimos anos os temas sustentabilidade e ecologia tomaram a ordem do dia. A necessidade de continuar a evoluir garantindo que as gerações futuras dispõem de recursos para viver sem problemas foram os principais impulsionadores destes movimentos. Desde que se deu um crescente avanço tecnológico, a partir da década de 70, que o ser humano tem vivido muito acima daquilo que o planeta consegue garantir, gastando recursos a um ritmo a que o planeta não consegue repor. Estima-se que em 2030, mantendo-se a tendência registada desde a década de 70, sejam necessários dois planetas Terra para conseguir responder às necessidades do ser Humano.

Nos últimos anos diversas têm sido as reuniões das principais organizações do mundo a fim de conseguir conter o consumo de recursos, garantindo maior longevidade ao planeta Terra. Dessas reuniões destaca-se a conferência *Rio 92*, a principal conferência levada a cabo pela Organização das Nações Unidas (ONU) com o tema “*Desenvolvimento Sustentável*”, que se repetiu em 2002 e mais tarde em 2010. A partir destas conferências, a necessidade de construir ecológica e sustentavelmente levou a que a construção com materiais reutilizáveis voltasse a ser vista como alternativa viável aos habituais materiais de construção usados no virar do século XX. Desta forma, ressurgiu a terra como material de construção, aumentando um interesse na reabilitação, conservação e construção nova.

A construção em terra apresenta ainda um caráter ecológico, devido ao facto de as técnicas de construção continuarem a ser semelhantes às técnicas ancestrais, apresentando pouca ou nenhuma industrialização ligada à execução dos paramentos deste tipo de edificado. A não industrialização representa uma forte vantagem a nível ecológico, pois contribui, de certa forma, para uma redução de emissões de dióxido de carbono (CO₂).

Com todas as suas vantagens ecológicas, em especial a capacidade de reutilização e reciclagem, a construção em terra apresenta-se como alternativa na busca da sustentabilidade. Desta forma, a reabilitação e construção de novos edifícios em terra representa uma potencialidade

arquitetónica para um futuro próximo, classificando-se a arquitetura em terra, segundo Jean Dethier, *o futuro de uma tradição*.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE HABITABILIDADE

A construção em terra está geralmente associada a um tipo de construção ancestral, conotada por fraca resistência, pouca durabilidade, bem como fraco conforto em termos de habitabilidade, sendo um tipo de construção à qual se dá algum descrédito (Torgal et al., 2011). No entanto, com o avanço tecnológico e dadas as características da terra como material de construção, é fácil desmistificar a construção em terra que, além de capaz de proporcionar edificações estéticas e arquitetonicamente agradáveis, apresenta várias características que garantem o conforto das habitações.

A construção em terra é conotada pelo seu bom comportamento térmico e acústico (Gonçalves et al., 2012), resistência ao fogo (Ferreira, 2012), qualidade e baixa toxicidade do ar interior (Torgal et al., 2011).

A construção em terra é dotada de uma inércia térmica elevada. Assim sendo, este tipo de construção consegue armazenar grande quantidade de energia térmica, difundindo-a lentamente, garantindo um equilíbrio de temperatura interior, em especial em climas com variações térmicas significativas (Santos, 2014). Além disso, o seu bom comportamento higroscópico permite a adsorção e armazenamento de humidade e mais tarde, ao libertar essa mesma humidade, permite o equilíbrio de temperatura e humidade relativa. A adsorção de humidade ocorre durante todo o inverno, havendo libertação no verão. Ambas as características apresentadas são as principais responsáveis pelo conforto térmico associado às construções em terra.

A nível da qualidade do ar interior, pelo facto de a terra ser um material natural, a construção em terra não é responsável pela libertação de compostos orgânicos voláteis (COVs). Como consequência, o ar interior apresenta melhor qualidade e não é afetado pelos efeitos tóxicos e nocivos associados a este tipo de compostos. Os COVs apresentam efeitos nocivos para a saúde humana, podendo gerar problemas como (Torgal et al., 2011):

- i) irritações de pele, olhos e vias respiratórias;
- ii) distúrbios cardíacos, digestivos, renais e hepáticos;
- iii) dores de cabeça e mal-estar generalizado;
- iv) distúrbios do sistema nervoso, como perturbações da memória, atenção, concentração e da fala, stress e ansiedade;
- v) perturbações do sistema hormonal (problemas fetais e de reprodução);
- vi) desenvolvimento de cancro das fossas nasais, dos seios frontais e pulmões quando presentes em elevadas concentrações.

Estes compostos estão presentes nas construções correntes, que se estima que possam incluir cerca de 70.000 combinações de químicos, resultando na libertação de cerca de 1000 produtos químicos para o ar interior dos edifícios (Torgal et al., 2011). Esta é mais uma das sólidas vantagens da construção em terra levando à sua afirmação como construção sustentável e excelentes condições de habitabilidade.

2.4 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A construção em terra, de acordo como o referido pelo CRAterre, apresenta três tipos de sistemas construtivos que se dividem em 18 técnicas, sendo nomeadamente:

- i) sistemas monolíticos – preveem a utilização da terra como material monolítico e autoportante e do qual a taipa se destaca como principal técnica (Figura 2.6 a);
- ii) sistemas de alvenaria – preveem a utilização da terra para a criação de blocos de alvenaria autoportantes e do qual se destacam como principais técnicas o adobe (Figura 2.6 b) e os blocos de terra comprimida (BTC);
- iii) sistemas de enchimento ou revestimento – preveem a utilização da terra como material não estrutural, utilizando-a apenas como enchimento ou revestimento (Figura 2.6 c), destacando-se em Portugal a técnica do tabique.



Figura 2.6 – Técnicas de construção em terra: a) paredes em taipa (Schreck, 2013); b) blocos de adobe (Betão e Taipa, sem data); c) reboco em terra (Steneri, 2016).

Este trabalho foca-se nos sistemas de enchimento e/ou revestimento, mais propriamente nas argamassas para reboco. As argamassas analisadas neste trabalho serão abordadas numa temática da conservação e reabilitação da construção em terra. Serão abordados, como sistemas construtivos para aplicação das respetivas argamassas de rebocos, a taipa, o adobe e blocos de terra comprimida. Aborda-se ainda a técnica de tabique por ter sido bastante utilizada em Portugal.

2.4.1 TAIPA

A construção em taipa insere-se, como anteriormente referido, nos sistemas monolíticos de construção em terra. Esta técnica consiste na compactação de terra, com consistência húmida, com recurso a uma cofragem em madeira, de nome taipal (Torgal et al., 2009). Em Portugal a

taipa destaca-se como uma das técnicas de construção em terra mais disseminadas, havendo registo deste tipo de construção por toda a região sul do país.

Em Portugal este tipo de construção era tradicionalmente executado com recurso a cofragens de madeira com cerca de 40 a 70 cm de largura, 50 cm de altura e 2 m de comprimento, como representado na Figura 2.7 a). A terra era compactada em camadas de 10 cm, até atingir o topo do molde (Torgal et al., 2009). A largura mínima da cofragem deverá ser de 40 cm, uma vez que o trabalhador executa o procedimento de compactação no interior do taipal (Parreira, 2007), Figura 2.7 b). A compactação dos blocos de taipa é executada manualmente com recurso a pilões, geralmente em madeira. O embasamento deste tipo de construção era geralmente executado em alvenaria de pedra, afim de evitar que a humidade se deslocasse ascensionalmente pela parede. As paredes desenvolviam-se com o assentamento dos blocos em fiadas desfasadas, assentes sobre o embasamento (Parreira, 2007).

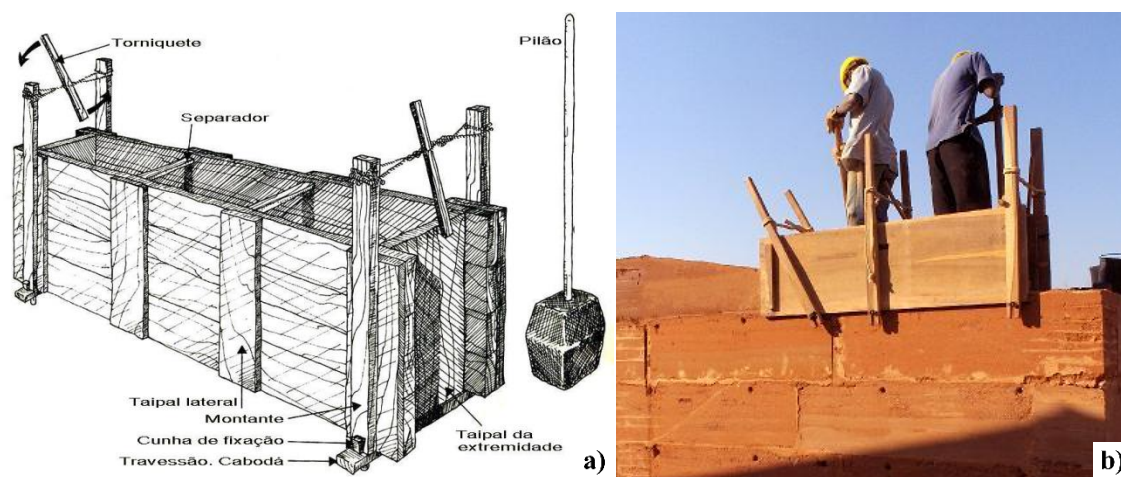


Figura 2.7 – Técnica de construção em taipa: a) Taipal e pilão (Colin, 2010); b) procedimento de compactação (Mocho, 2006).

Atualmente a construção em taipa mantém um procedimento de execução muito semelhante ao tradicional, sendo que o embasamento deste tipo de construções é feito em betão e o avanço tecnológico permitiu desenvolver um processo de compactação mecanizado (Torgal et al., 2009).

2.4.2 ADOBE

A técnica de adobe insere-se nos sistemas de alvenaria de construção em terra, uma vez que a técnica consiste na criação de blocos constituídos por solo argiloso, que são deixados a endurecer à temperatura ambiente. Em Portugal a técnica de construção com blocos de adobe surge com maior incidência na região do Ribatejo e no litoral da zona Centro do país.

A execução de uma parede de adobe tem um procedimento semelhante à execução de uma parede de alvenaria convencional, uma vez que se assentam os blocos em fiadas com recurso a uma argamassa de assentamento em terra (Torgal et al., 2009).

Ao contrário da técnica de construção em taipa, que requer pouca quantidade de água para a sua execução, o fabrico de blocos de adobe requer a utilização de um solo argiloso de consistência plástica. Assim, o fabrico manual de blocos é feito com recurso a um molde de madeira, preenchido com solo argiloso, sendo a cofragem removida ainda no estado fresco e o bloco deixado a ganhar presa à temperatura ambiente, Figura 2.8. No entanto, com o avanço tecnológico e industrial, já é possível a execução de blocos de forma mecanizada, aumentando significativamente a rapidez de execução (Torgal et al., 2009).



Figura 2.8 – Fabrico de blocos de adobe (Arte Central, 2012).

É importante referir que o facto de utilizar solo argiloso leva, por vezes, ao aparecimento de fissuras geradas pela retração do material. Por esse motivo são, muitas vezes, incluídas fibras vegetais nos blocos de adobe, afim de procurar conter a retração e fissuração.

2.4.3 BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA

Os blocos de terra comprimida, ou BTC, representados na Figura 2.9, incluem-se, tal como o adobe, nos sistemas de alvenaria. Esta técnica surge como evolução dos blocos de adobe e consiste na criação de um molde prensado, com resistências superiores às do adobe. Apesar de ser uma das mais importantes técnicas da nova construção em terra (Gonçalves et al., 2012), não existe grande disseminação em Portugal (Torgal et al., 2009).



Figura 2.9 – Construção com blocos de terra comprimida (Apuntes de Arquitectura, 2015).

Os blocos de terra comprimida são executados em prensas e, à semelhança da taipa, necessitam da utilização de pouca água (Torgal et al., 2009). Neste tipo de blocos, a terra é geralmente estabilizada com certas percentagens de cal ou cimento (Gonçalves et al., 2012). O processo de prensagem pode ser executado por prensas manuais ou mecânicas. Enquanto que as prensas manuais apresentam vantagem do ponto de vista da economia energética, as prensas mecanizadas permitem maior rapidez de execução dos blocos e também maiores resistências. Este tipo de prensas permite a execução de blocos maciços ou perfurados permitindo maior rapidez e facilidade de construção.

O BCT é a técnica de construção em terra que mais se aproxima daquilo que são as atuais técnicas de construção, uma vez que os blocos são muito semelhantes aos blocos cerâmicos e de betão a nível dimensional (Gonçalves et al., 2012).

2.4.4 TABIQUE

A técnica de tabique insere-se nos sistemas de enchimento ou revestimento das construções em terra. A técnica consiste no revestimento de estruturas de madeira com recurso a uma mistura de terra com fibras vegetais, Figura 2.10. Em Portugal este tipo de construção teve principal disseminação no Norte do país, mais especificamente nas zonas de Trás-os-Montes e Alto Douro (Carvalho et al., 2008; Gonçalves et al., 2012).

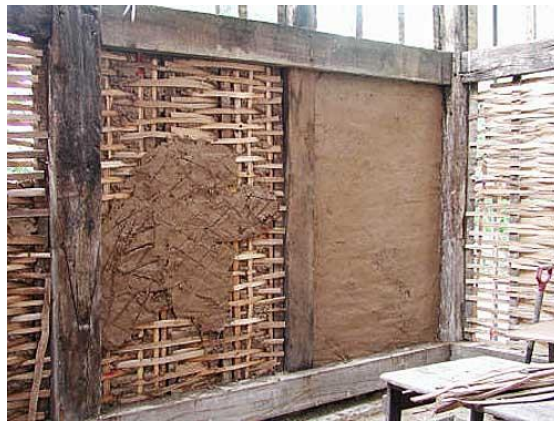


Figura 2.10 – Revestimento de terra em estrutura de madeira (Torgal et al., 2009).

A técnica de tabique distingue-se das técnicas de construção em terra mais comuns em Portugal, como a taipa e o adobe, na medida em que nestas a terra se apresenta como o material principal (Carvalho et al., 2008). Este tipo de técnica foi utilizada especialmente na construção de paredes interiores e, por vezes, exteriores de pisos elevados e inclusive tetos (Carvalho et al., 2008; Gonçalves et al., 2012). Na técnica de tabique a capacidade resistente é conferida pela estrutura de madeira enquanto que a terra serve de revestimento e enchimento (Carvalho et al., 2008).

2.5 PRINCIPAIS ANOMALIAS E CAUSAS DE DEGRADAÇÃO

As construções em terra, como qualquer outro tipo de construção apresentam, com o avançar da sua vida útil, anomalias que necessitam de reparação. Como qualquer outro tipo de construção, a construção em terra é mais suscetível a algumas causas de degradação do que outras. As anomalias observadas nas construções em geral podem ser estruturais ou não estruturais; sendo geradas por diferentes causas e tendo, cada uma, diferentes metodologias de intervenção e reparação. O conhecimento das anomalias e das metodologias de intervenção, reabilitação e manutenção, é fulcral para o conhecimento do comportamento de qualquer tipo de construção, as construções em terra não são exceção. Este conhecimento permite reabilitar eficientemente a construção, aumentando a durabilidade. As anomalias estruturais e não estruturais têm muitas vezes associadas causas relacionadas com o fator humano. O ser humano é muitas vezes responsável pelo aumento das anomalias em termos de quantidade e profundidade, questão que se deve, de forma geral, à falta de manutenção das construções.

As causas de degradação das construções em terra podem ser divididas em cinco classes, sendo elas (Carvalho et al., 2008):

- i) ação do vento;
- ii) ação da água;
- iii) ação da temperatura;
- iv) ação biológica;
- v) ação do Homem.

Estas causas de degradação dão-se por mecanismos mecânicos, físicos ou químicos, que atuam geralmente, em simultâneo. Estas causas e mecanismos de degradação são responsáveis por anomalias de carácter estrutural e não estrutural.

2.5.1 ANOMALIAS NÃO ESTRUTURAIS

As construções em terra apresentam diversas anomalias não estruturais, estando muitas delas relacionadas com a ação da água e humidade, mas também devido à ação do vento e questões como a ação da temperatura e dos seres vivos.

A ação da água tem diferentes repercussões nas construções em terra, manifestando-se de diferentes maneiras e afetando as construções das mais diversas formas. As construções em terra são bastante suscetíveis à humidade e à ação da água (Gomes et al., 2012), e estas podem afetar severamente a durabilidade deste tipo de construções. O humedecimento do material de construção terra é o principal fator para o início da degradação por ação da água. Este humedecimento pode dar-se por vários meios, como absorção capilar, águas pluviais, humidade de condensação (Nunes, 2014) ou mesmo humidade de construção.

As águas pluviais geram anomalias não estruturais relacionadas com o humedecimento e erosão que provocam nas construções. A água da chuva pode atuar nas paredes tanto direta como indiretamente. Atua diretamente em função da infiltração nas paredes e revestimentos por fissuras e fendas existentes, ou pela erosão superficial do revestimento (ou dos suportes nos casos em que já não exista revestimento). Atua indiretamente através de acumulação em charco junto às paredes, em terrenos cuja pendente tenha sentido de escoamento para junto das mesmas, provocando absorção de água por capilaridade.

A existência de vapor de água em grandes quantidades combinado com condições propícias para a sua condensação provoca o humedecimento das construções. As condensações podem ser responsáveis pelo desenvolvimento de fungos e bolores, redução de isolamento térmico, diminuição local da resistência mecânica e até o risco de descolamento dos revestimentos aplicados (Faria, 2005).

A humidade proveniente do terreno ascende, por absorção capilar, pelos elementos em terra, quando não existem barreiras entre o terreno e esses elementos, como por exemplo cortes hídricos ou existência de drenos junto a paredes exteriores, ou quando essas barreiras têm comportamento deficiente. Assim, tal como as restantes causas de humedecimento, pode ser responsável por anomalias como o aparecimento de manchas de humidade, perda de resistência local, destacamento dos revestimentos e diminuição do isolamento térmico, podendo ainda ser responsável pelo transporte de sais solúveis, de que se fala adiante.

A humidade existente na construção é também responsável pelo desenvolvimento de anomalias não estruturais nas construções em terra. As principais técnicas de construção em terra (abordadas no ponto 2.4) necessitam de mais ou menos água para a sua execução. No final do período de construção é expectável que a água ainda não tenha evaporado completamente, podendo ser responsável pelo desenvolvimento de anomalias se não forem tomadas medidas para a sua rápida evacuação, como por exemplo a utilização ventilação natural intensa (Silva, 2009). Este tipo de humidade pode ser responsável pelo aparecimento de manchas de humidade e destacamento de revestimentos.

Todas estas causas de humedecimento provocam anomalias gerais ou localizadas. Como se pode ver nos parágrafos acima, a ação da água e humidade, apesar de poder ter diferentes origens, provoca anomalias bastante semelhantes e que se repetem, como por exemplo o aparecimento de manchas de humidade, a perda de resistência localizada, o destacamento de revestimentos ou a diminuição do isolamento térmico.

A higroscopicidade dos materiais de construção, nomeadamente a terra, é também responsável pelo aparecimento de anomalias não estruturais. A terra tem na sua composição sais solúveis higroscópicos. Estes sais são transportados pela água e, quando esta evapora, cristalizam

aumentando de volume. Se a cristalização ocorrer à superfície do elemento formam-se eflorescências, uma anomalia não estrutural geralmente inestética mas também responsável por erosão superficial (Faria, 2005; Carvalho et al., 2008). No caso da cristalização ocorrer antes da água chegar à superfície formam-se criptoflorescências. No caso das criptoflorescências as anomalias provocadas podem ocorrer nos revestimentos ou no próprio suporte. Nas construções em terra, segundo Faria (2005), é tanto mais frequente quanto menos compatível for o revestimento, que a cristalização se dê na interface entre o revestimento e o suporte, provocando o destacamento dos revestimentos. Nos casos em que a cristalização ocorre no interior do próprio suporte, as degradações observadas provocam a desagregação dos paramentos, podendo em certos casos ser consideradas anomalias de índole estrutural (Carvalho et al., 2008).

A ação do vento é também responsável pelo aparecimento de anomalias não estruturais nas construções em terra. A atuação do vento como agente de degradação deve-se ao facto de este transportar no seu percurso partículas sólidas em suspensão. Essas partículas, através do impacto com as construções, vão provocando a abrasão e erosão dos revestimentos. Importante referir que a ação do vento é tanto mais forte quanto maiores forem as partículas em suspensão (Faria, 2005). No seu percurso o vento é ainda responsável pelo transporte de matéria orgânica e disseminação de poluentes e seres vivos, como sementes e esporos, que podem contribuir para a degradação dos elementos em terra (Carvalho et al., 2008). No entanto, a ação não estrutural mais gravosa provocada pelo vento é a amplificação da erosão provocada pela água das chuvas nos revestimentos.

A fissuração classifica-se também como uma anomalia de índole não estrutural, no entanto, a falta de manutenção deste tipo de anomalias e a conjugação com outros agentes de degradação pode levar à evolução para anomalias estruturais. A fissuração é normalmente gerada por variações de humidade e temperatura e pela retração dos materiais de construção. Às variações de temperatura e humidade sucedem-se variações dimensionais dos elementos construtivos. Essas variações dimensionais, dependentes da amplitude térmica e propriedades térmicas dos materiais, são acompanhadas por tensões internas que, dependendo da maior ou menor resistência do material, geram ou não fissuração (Carvalho et al., 2008). A fissuração dos revestimentos constitui um caminho para a infiltração de água nos elementos construtivos das construções em terra (Faria, 2005).

A biodegradação das construções em terra manifesta-se pela ação dos seres vivos, provocando de forma geral, deteriorações físicas, químicas ou mecânicas. Os seres vivos responsáveis pela degradação de construções em terra podem ser divididos em dois grupos, os agentes vegetais e os agentes animais, flora e fauna respetivamente.

A ação biológica levada a cabo por agentes vegetais divide-se pela ação de líquenes, bolores e fungos e pela ação de plantas de ordem superior. O aparecimento de agentes colonizadores, como líquenes, bolores e fungos, provoca, inicialmente, anomalias não estruturais superficiais. O aparecimento destes agentes deve-se, geralmente, à presença de condições ideais de humidade para o seu desenvolvimento. Esse desenvolvimento provoca nas paredes o aparecimento de manchas superficiais coloridas que, no seu processo de crescimento, liberam agentes químicos nocivos que contribuem para o enfraquecimento e consequente degradação dos revestimentos e suportes (Carvalho et al., 2008). Com o avançar do tempo a degradação superficial dos revestimentos ou da estrutura, permite a deposição de sementes de plantas de ordem superior, transportadas, geralmente, pela ação do vento. Assim como os líquenes, bolores e fungos, o desenvolvimento de plantas de ordem superior requer condições favoráveis de humidade, no entanto, há a necessidade de existência de degradação física das paredes, como orifícios, fissuras e fendas, para que ocorra a germinação no seu interior. Também o crescimento das plantas de ordem superior é responsável pela libertação de químicos nocivos para a construção. Além da degradação química que provocam, o crescimento diametral e longitudinal do seu sistema radicular cria tensões internas nos materiais, as quais são responsáveis pela desagregação dos revestimentos ou paredes (Carvalho et al., 2008).

A ação biológica levada a cabo por seres vivos animais provem, de uma forma geral, de mecanismos de degradação mecânicos que provocam a erosão das construções em terra. Segundo Faria (2005) os animais provocam, pontualmente, choques acidentais responsáveis pela erosão das construções em terra. Animais e insetos são ainda responsáveis, em paredes já com degradação visível, pela abertura orifícios para nidificação. Em paredes colonizadas por líquenes, fungos ou algas, desenvolvem-se condições propícias à nidificação de microfauna que se alimenta desse tipo de seres vivos. Essa microfauna atua indiretamente sobre as construções em terra, através da disseminação de sementes e esporos que transportam enquanto se deslocam pelo sistema poroso dos elementos construtivos (Carvalho et al., 2008).

2.5.2 ANOMALIAS ESTRUTURAIS

As anomalias estruturais em construções em terra, são em muito semelhantes às anomalias verificadas em edifícios correntes, sendo que as principais causas se devem à má conceção da estrutura resistente, à construção em terreno de baixa resistência, a solicitações exteriores muito fortes e ao agravamento de patologias não-estruturais (Nunes, 2014).

A ação sísmica é uma das solicitações que gera anomalias mais gravosas nas construções em terra. Estas anomalias ocorrem devido à incapacidade dos elementos resistentes em terra em resistir a ações exteriores horizontais. Este tipo de incapacidade ocorre sobretudo, se não houver qualquer tipo de contraventamento, ou se este tiver funcionamento deficiente. Nestes casos pode

até ocorrer o colapso da construção, tal como aconteceu na cidade de Arg-e-Bam no Irão (Figura 2.11) (Nunes, 2014). Por todo o mundo, é possível verificar uma forte sobreposição entre as zonas onde a atividade sísmica é intensa e as zonas por onde está disseminada a construção em terra (Carvalho et al., 2008). Portugal é inclusive um país com algum risco sísmico, em especial a zona da Costa Vicentina e Algarve, onde existe muito edificado em terra, havendo por isso o risco de colapso de algumas edificações em caso de sismo.

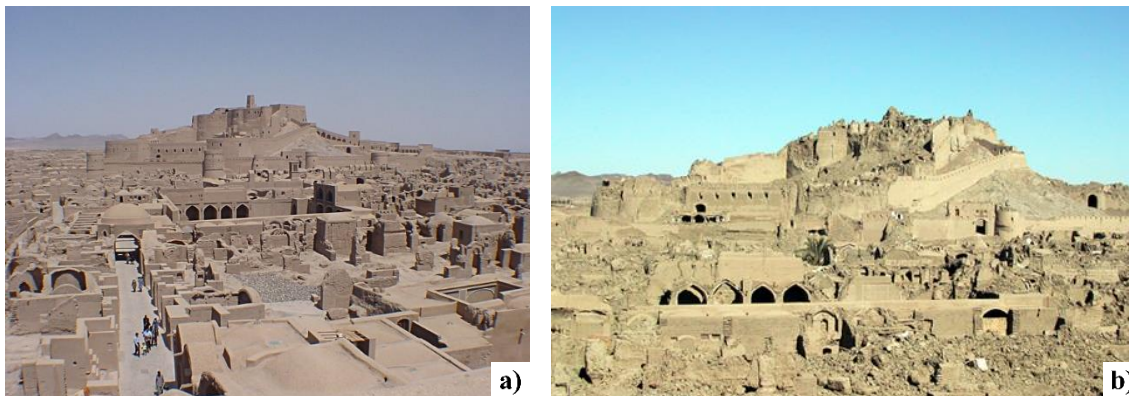


Figura 2.11 – Ação sísmica na construção em terra: a) Cidade de Arg-e-Bam antes do sismo (Wikipédia, 2016b); b) Cidade de Arg-e-Bam depois do sismo (Auroville Earth Institute, sem data).

A ação do vento em fenómenos acidentais, como tufões, ciclones, entre outros, que provocam ventos de intensidade forte, é também responsável por ações horizontais exteriores intensas. No entanto, a elevada massa dos elementos em terra confere-lhes resistência estrutural e estabilidade suficientes para que, na generalidade das situações, tenham resposta estrutural positiva (Carvalho et al., 2008).

A construção em terrenos de baixa resistência é também uma das principais causas de anomalias estruturais. Construir em terrenos de baixa resistência faz com que haja ocorrência de assentamentos diferenciais das fundações. Esses assentamentos provocam o desligamento de panos verticais entre si, devido a rotações que ocorrem, em especial nos cunhais dos edifícios. Além do desligamento dos panos verticais, o assentamento diferencial de fundações pode provocar a fendilhação das paredes e outros elementos construtivos em terra. Este tipo de anomalias é mais tarde responsável por outras classificadas como não estruturais, como por exemplo a degradação das paredes por agentes biológicos que nidificam nas fissuras ou mesmo a infiltração de água pelas fissuras e zonas de panos desligados.

A fendilhação estrutural verificada em construções em terra pode também ser devida a cargas excessivas e/ou concentradas. O carregamento excessivo das construções em terra pode ser devido à má conceção da estrutura resistente ou ao seu mau uso, fatores em que há influência significativa da ação do Homem. Este tipo de anomalia estrutural pode, inclusive, ser causada pela ação indireta do Homem, devido a questões como as vibrações causadas pelo tráfego, por

obras, explosões ou outras atividades, com sérias repercussões a nível estrutural (Carvalho et al., 2008).

2.6 CONSERVAÇÃO DE CONSTRUÇÕES EM TERRA

A arquitetura em terra mostra-se como uma das mais antigas e históricas e, por esse mesmo motivo, algumas das construções em terra que ainda se podem observar, apresentam anomalias por vezes graves, muito devido ao fator económico (falta de recursos económicos) e social (o desprezo pela técnica construtiva). Estes fatores levam à falta de manutenção das construções, fazendo com que percam as condições de habitabilidade existentes na construção nova. Desta forma, urge reabilitar e conservar o património edificado em terra, sob pena de se perder uma tradição ancestral e universal.

Nos últimos anos, com a tomada de consciência ecológica e com a afirmação das construções em terra como construções sustentáveis, económicas e com boas condições de habitabilidade, tem-se assistido a um aumento na reabilitação deste tipo de construções. No entanto, e sendo a construção em terra uma técnica ancestral e pouco ou nada industrializada, o que se observa é a aplicação de técnicas e metodologias de intervenção atuais e que apresentam problemas de compatibilidade; como por exemplo a aplicação de revestimentos de base cimentícia. A correta utilização das técnicas e materiais antigos é assim importante, afim de conservar com qualidade e de forma compatível este tipo de construções.

A generalização das argamassas de cimento no setor da construção civil, devido ao seu bom comportamento resistente e contra agentes climáticos, fez com que muitas das construções em terra que foram sendo alvo de obras de manutenção nos últimos anos fossem revestidas com esse tipo de argamassas. A verdade é que o cimento apresenta pouca ou nenhuma compatibilidade com as construções em terra e a generalização deste tipo de intervenção provou-se inclusive desastrosa; sendo que muitas das construções reabilitadas apresentam reincidência e agravamento das anomalias anteriormente apresentadas, ou mesmo o aparecimento de novas anomalias (Gomes et al., 2012). Também a errada aplicação de revestimentos é considerada uma patologia deste tipo de construções.

Com os materiais atuais e de uso comum a revelarem-se incompatíveis com as construções em terra, a utilização das técnicas e materiais usados antigamente revelam-se como a opção principal. O pouco conhecimento sobre o comportamento das argamassas de terra faz com que seja importante estudar as suas principais características.

Com a construção nova em terra a reaparecer nos últimos anos, tendo como exemplos:

- i) Adega da Herdade do Rocim em Cuba, Alentejo, datada de 2007;
- ii) Piscina Municipal de Toro, Zamora, Espanha, datada de 2010;

iii) Casa da Vinha no Montijo, Setúbal, datada de 2015.

torna-se imperativo conhecer as metodologias associadas às antigas técnicas, por forma a que estas edificações apresentem um ciclo de vida elevado. Torna-se premente estudar o comportamento manifestado pelas argamassas de terra afim de, no futuro, corrigir de forma eficiente, rápida, durável e, acima de tudo, compatível, eventuais anomalias que venham a surgir nestas novas construções.

2.7 CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS

Para a correta aplicação e utilização das argamassas de terra há que conhecer perfeitamente as suas características mecânicas, hídricas, de aderência ao suporte e também as suas características no estado fresco, em especial, a sua trabalhabilidade. Estas características tornam-se relevantes para analisar quais as argamassas mais compatíveis com os paramentos, por forma a garantir uma reabilitação ou construção compatível e durável.

2.7.1 ESTADO FRESCO

A mais importante característica avaliada no estado fresco é a trabalhabilidade, devido à sua forte influência na qualidade de uma argamassa, quer seja durante a aplicação, quer seja durante a execução das suas funções no estado endurecido. A trabalhabilidade é uma característica de difícil quantificação e avaliação, uma vez que há a influência de vários fatores nesta importante característica de uma argamassa, desde fatores relacionados com o material, clima ou mesmo pela ação humana do aplicador (Gomes, 2013). É habitual caracterizar argamassas cimentícias e de cal quanto à sua trabalhabilidade, através da utilização do ensaio da mesa de espalhamento, sendo que, vários estudos feitos em argamassas de terra, utilizaram a mesma metodologia. Segundo Gomes (2013), que faz referência a vários estudos e valores de espalhamento obtidos consoante a aplicação da argamassa, é possível verificar grande variabilidade de valores para avaliar a trabalhabilidade de uma argamassa.

Segundo Gomes (2013) as argamassas de reparação em terra que apresentem valores de espalhamento compreendidos entre 160 mm e 176 mm classificam-se como excelentes do ponto de vista da trabalhabilidade.

2.7.2 ESTADO ENDURECIDO

No estado endurecido as argamassas de reboco necessitam de cumprir vários requisitos para garantir a sua função de revestimento. Ao nível de revestimento, as argamassas necessitam de resistência e elasticidade compatíveis com o suporte. O bom comportamento quando em contato com a água, garantindo baixa absorção capilar, baixa permeabilidade à água no estado líquido, permeabilidade alta ao vapor de água e ainda secagem rápida, são outros fatores muito relevantes.

Em relação às características resistentes não existem conceitos complexos que necessitem de explicação. Necessita-se apenas que as argamassas de reboco e reparação garantam durabilidade e eficiência perante as principais ações mecânicas a que estão habitualmente sujeitas. Para tal devem respeitar características mecânicas como (Veiga, 2005):

- i) resistência à tração;
- ii) resistência à compressão;
- iii) módulo de elasticidade dinâmico;
- iv) aderência ao suporte.

Para o correto funcionamento dos rebocos, as características acima referidas devem ser compatíveis com as dos respetivos suportes. No Quadro 2.1 apresentam-se as relações que devem ser verificadas entre as características do reboco e do respetivo suporte.

Quadro 2.1 – Relação entre as características recomendadas para as argamassas e as características dos elementos pré-existentes – características mecânicas, adaptado de Veiga (2005).

Argamassa	Características mecânicas aos 90 dias			Aderência ao suporte
	Resistência à tração (Rt)	Resistência à compressão (Rc)	Módulo de elasticidade (E _d)	
Reboco exterior	Características mecânicas semelhantes às das argamassas originais e inferiores às do suporte			Resistência ao arrancamento inferior à resistência à tração do suporte: a rotura nunca deve ser coesiva pelo suporte
Reboco interior				
Refechamento de juntas				

Os fenómenos de absorção capilar e de secagem das argamassas, apresentam-se como fenómenos extremamente relevantes para a temática abordada. Pelo facto de serem conceitos complexos, abordados no presente trabalho, explicam-se seguidamente os seus processos.

Absorção Capilar:

A absorção de água por capilaridade é uma das características mais importantes de uma argamassa e trata-se de um ensaio com alguns conceitos importantes e que há necessidade de abordar. A capilaridade define-se como a propriedade física dos fluídos de se deslocarem ascensionalmente pelas paredes de tubos, canais ou poros. As argamassas, devido às suas estruturas mais ou menos porosas, são corpos onde os fluídos têm tendência a deslocarem-se ascensionalmente por capilaridade. A capilaridade traduz-se pela capacidade de um corpo ou material se saturar, quando em contato com a água em estado líquido. A saturação ocorre devido ao efeito de forças de sucção devidas à subpressão capilar que se cria nos poros (Azevedo, 2013; Gomes, 2013).

A absorção de água por capilaridade avalia-se pela sua curva característica, representada na Figura 2.12. Esta curva é construída com a raiz do tempo em abcissas, expressa em $s^{1/2}$, e em

ordenadas a absorção capilar, expressa em kg/m^2 e indica a massa de água absorvida em função da área de absorção. Esta curva define-se, em materiais que possuem poros de dimensão homogênea e bem interligados, por dois troços aproximadamente retos (Azevedo, 2013):

- i) primeiro troço – de maior declive, correspondente à fase de preenchimento de maior parte dos poros interligados;
- ii) segundo troço – declive menos acentuado e tendência assintótica, correspondente ao preenchimento dos restantes poros através da difusão na água, do ar retido no sistema poroso.

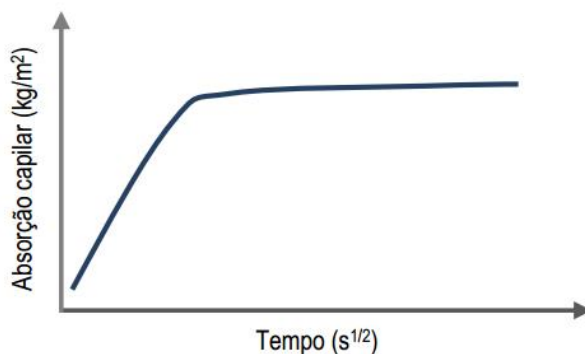


Figura 2.12 – Curva característica do ensaio de absorção de água por capilaridade (Gomes, 2013).

O ponto de inflexão entre ambos os troços representa graficamente, o momento em que a franja capilar atinge a superfície superior do provete (Azevedo, 2013; Gomes, 2013).

A absorção capilar avalia-se macroscopicamente determinando o coeficiente de capilaridade expresso em $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1/2}$. Este coeficiente corresponde ao declive do primeiro troço da curva acima referida.

Secagem:

A secagem de um material define-se como a extração de um fluído, geralmente já em estado gasoso, até a obtenção de um material seco por evaporação do fluído para o ambiente. A curva típica de secagem define-se com o teor de água expresso em percentagem no eixo das ordenadas e o tempo expresso em horas no eixo das abcissas. Esta curva bem como o processo de secagem divide-se em três fases (Figura 2.13);

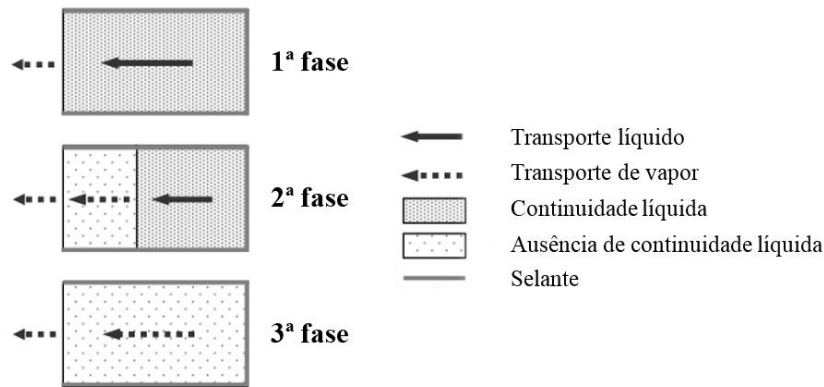


Figura 2.13 – Fases do ensaio de secagem, adaptado de Gonçalves (2007).

- i) primeira fase – dá-se um fluxo constante de secagem em que a água em estado líquido é transportada por capilaridade para a superfície do material, em quantidade equivalente ao vapor que o material liberta por evaporação a taxa constante, sendo que à superfície, onde se encontra a água em estado líquido, vai ocorrendo a evaporação;
- ii) segunda fase – dá-se quando a água líquida se torna incapaz de atingir a superfície a taxa suficiente para compensar a evaporação, nesta fase a evaporação começa a dar-se no interior do material devido ao recuo da frente de secagem;
- iii) terceira fase – a secagem dá-se higroscópicamente tendendo o fluxo de secagem assintoticamente para zero.

O teor de água crítico corresponde ao ponto em que se dá a transição entre a primeira e segunda fases de secagem (Gomes, 2013).

Na Figura 2.14 apresenta-se a curva de secagem representando, inclusive, as fases acima referidas.

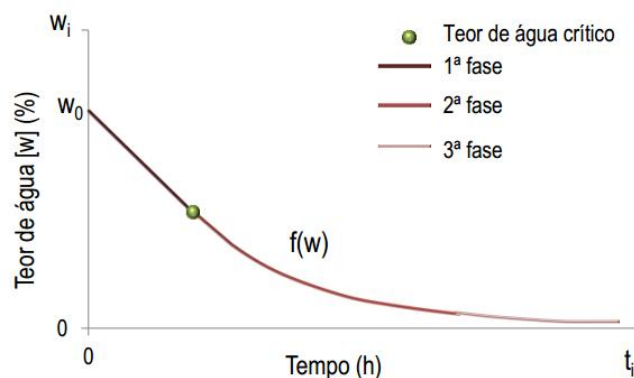


Figura 2.14 – Curva característica do ensaio de secagem (Gomes, 2013).

Recorrendo à curva típica de secagem é possível obter o índice de secagem, através da equação [2.1].

$$IS = \frac{\int_{t_0}^{t_i} f(w) \times dt}{w_0 \times t_i} \quad [2.1]$$

Em que:

- IS – Índice de secagem;
- t_i – Instante i, em horas;
- t_0 – Instante inicial, em horas;
- w – Teor de humidade, em %;
- w_0 – Teor de humidade inicial, em %.

Recorrendo a uma curva de secagem com o tempo em horas no eixo das abcissas e com a água absorvida pelo provete em kg/m² em ordenadas, retira-se, através do declive do troço inicial da curva, a taxa de secagem. A taxa de secagem é um indicador da maior ou menor velocidade de secagem de uma argamassa.

3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No presente capítulo apresentam-se os materiais utilizados no fabrico das argamassas, bem como as suas principais características. Apresenta-se também todos os ensaios laboratoriais realizados, quer para a caracterização de materiais, quer para a caracterização de argamassas, descrevendo resumidamente os seus procedimentos.

3.2 CONSTITUIÇÃO DAS ARGAMASSAS

As argamassas estudadas, argamassas de terra, tiveram na sua constituição três materiais, uma terra que a partir de agora se designa por terra-padrão, cal aérea hidratada e areia. As argamassas foram fabricadas com os traços volumétricos apresentados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Traço volumétrico das argamassas estudadas

Família	Traço Volumétrico		
	Terra-Padrão	Cal aérea hidratada	Areia
A_gA_R	1	-	4
A_gA_R+25C	1	Adição de 25% de cal	4
A_g25C_A_R	1	Substituição de 25% de cal aérea na massa de terra	4
A_g_A_R25C	1	Substituição de 25% de cal aérea na massa de areia	4
CA_R	-	1	4

Importante referir que a percentagem de 25% foi sempre calculada sobre a massa total de terra-padrão, independentemente do material em que se realizou a substituição. Assim sendo, existindo 100 g de terra-padrão, no caso “Sub25% A_R”, substituiu-se 25 g de areia por 25 g de cal aérea hidratada.

De acordo com o referido os cinco traços estudados tomam, no presente trabalho, a seguinte nomenclatura:

- **A_gA_R** – argamassa terra (1:4) (terra: areia);
- **A_gA_R+25C** – argamassa terra com cal aérea (1:4) (terra: areia, com 25% de adição de cal aérea);
- **A_g25C_A_R** – argamassa terra com cal aérea (1:4) (terra: areia, com 25% de cal aérea a substituir na massa de terra);
- **A_g_A_R25C** – argamassa terra com cal aérea (1:4) (terra: areia, com 25% de cal aérea a substituir na massa de areia);
- **CA_R** – argamassa cal aérea (1:4) (cal aérea: areia).

3.2.1 MATERIAL TERRA-PADRÃO

A terra utilizada na execução de todas as argamassas ensaiadas no presente trabalho apresenta a designação de terra-padrão e foi fornecida pela empresa Sorgila – Sociedade de Argilas, S.A., sendo desta forma uma terra comercial e passível de obtenção no mercado português. Esta é uma argila proveniente da zona de Redinha – Pombal (Gomes, 2013).

Segundo Sorgila – Sociedade de Argilas, trata-se de uma terra constituída essencialmente por argila de baixa expansibilidade, uma característica importante no que toca a produção de argamassas de reboco (Gomes, 2013). A baixa expansibilidade da terra deve-se especialmente à composição mineralógica, devido ao baixo teor de minerais argilosos expansivos.

Por forma a ter um melhor conhecimento acerca da argila utilizada na execução das famílias de argamassas propostas, foram realizados ensaios de caracterização do material sendo eles:

- i) baridade;
- ii) análise granulométrica, onde consta a zona da sedimentação e peneiração;
- iii) densidade de partículas.

A terra estudada, terra-padrão, apresentou a seguinte curva granulométrica (Figura 3.1), obtida por realização do ensaio descrito no ponto 3.4.4. Como se pode ver na Figura 3.1 a terra-padrão é composta por elevada percentagem de argila (cerca de 76 %), na medida em que partículas de dimensão inferior a 0,002 mm são consideradas argila por diversos documentos normativos.

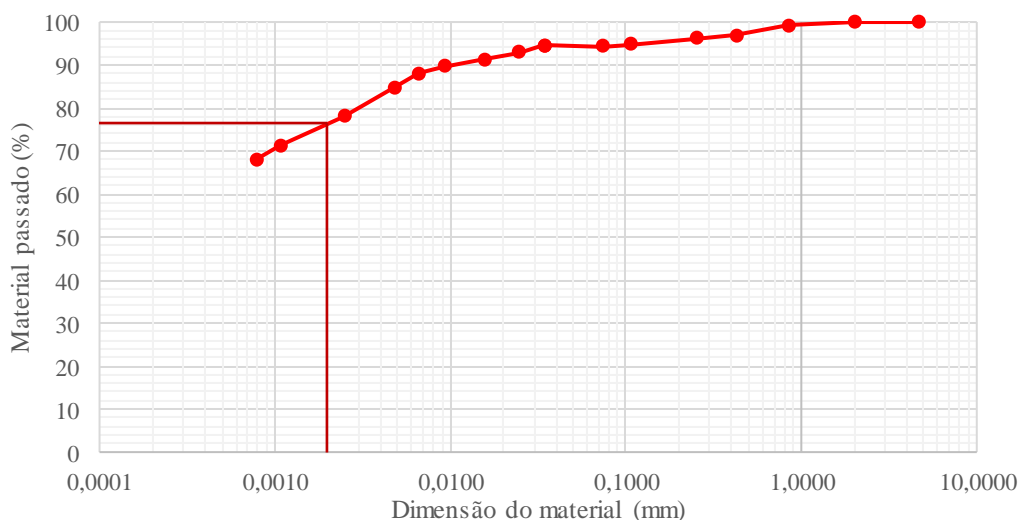


Figura 3.1 – Curva granulométrica do material terra-padrão.

A terra-padrão apresenta na sua constituição diversos minerais em diferentes proporções. A composição mineralógica deste material foi avaliada por Gomes (2013) através do ensaio de difração de raios x (DRX), resultando num difratograma. No Quadro 3.2 apresentam-se os compostos cristalinos constituintes do solo utilizado, bem como a proporção em que foram encontrados. Na Figura 3.2 apresenta-se o difratograma de raio X obtido.

Quadro 3.2 – Compostos cristalinos identificados na terra padrão, adaptado (Gomes, 2013).

Compostos cristalinos identificados	Terra-padrão
Quartzo (Q)	+++
Feldspatos (F)	Vtg
Mica/ilite (M)	Vtg
Clorite (C)	?
Caulinite (K)	++
Goethite (G)	+
Anatase (A)	+/Vtg

Notação: +++ – proporção elevada; ++ – proporção média; + – proporção fraca; Vtg – Vestígios; ? – dúvidas na presença

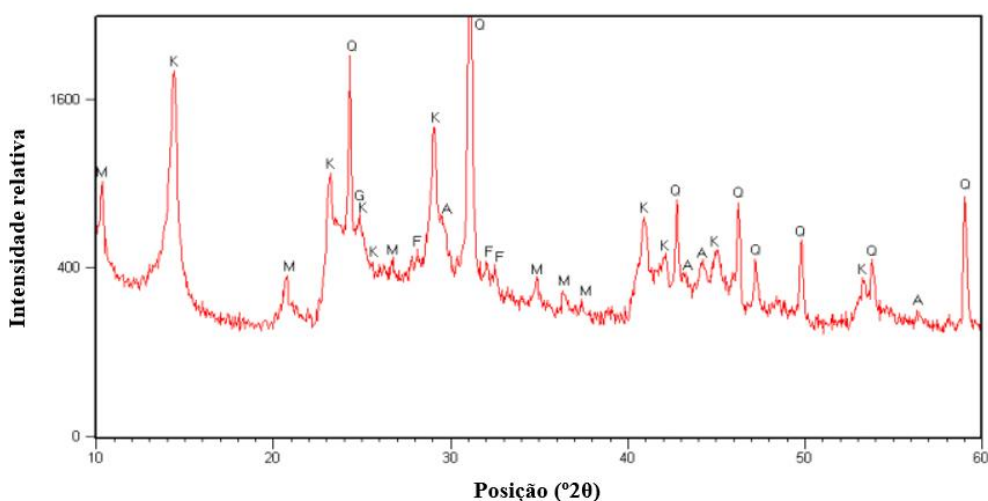


Figura 3.2 – Difratograma raio X da terra-padrão (Gomes, 2013).

O quartzo e a caulinite foram os compostos cristalinos identificados com maiores proporções. Foram ainda identificadas anatase e goethite em proporções fracas, vestígios de mica e feldspatos e dúvidas na presença de clorite (Gomes, 2013).

O quartzo e o feldspato são os dois minerais com mais expressão no mundo, existindo em grande parte das rochas. No entanto, na terra-padrão estudada aparecem apenas vestígios de feldspatos ao contrário do quartzo que apresenta a proporção mais elevada. É importante referir que o feldspato, quando afetado por fenómenos de decomposição química, gera minerais argilosos e libertação de iões como sódio, potássio ou cálcio (Nelson, 2008).

A mica, a clorite e a caulinite são minerais argilosos. A mica/ilite é um mineral argiloso pouco expansível, no entanto, é dos compostos cristalinos identificados, o que apresenta maior expansibilidade. A clorite apresenta baixa superfície específica e baixa expansibilidade. A caulinite, silicato hidratado de alumínio, é um mineral praticamente inerte, quando comparado com outros do mesmo grupo, tem comportamento muito estável e baixa expansibilidade (Gomes, 2013).

A argila em estudo apresentou baridade de $1130,36 \text{ kg/m}^3$, segundo o ensaio descrito no ponto 3.4.1. Este material, que funcionou como ligante na constituição das argamassas, apresenta densidade de partículas de 2,49 segundo o procedimento referido na secção 3.4.4.

3.2.2 MATERIAL AREIA

A areia utilizada para a execução das famílias de argamassas é uma areia do rio, lavada, com uma designação de 0/4, (d/D, mínima/máxima dimensão do agregado) sendo que grãos de dimensão igual e superior a quatro milímetros representam uma percentagem residual na constituição do agregado. A areia foi utilizada como o único agregado das argamassas executadas tendo a sua utilização no presente trabalho representado cerca de 80% da sua volumetria. Este facto deve-se à necessidade de garantir maior estabilidade dimensional, evitando retrações e fissuração nas argamassas.

Para que se conhecessem as principais características do agregado foram executados os seguintes ensaios de caracterização:

- i) baridade;
- ii) análise granulométrica, onde consta a zona da peneiração;
- iii) equivalente de areia.

A areia utilizada apresenta uma baridade de $1440,56 \text{ kg/m}^3$ segundo o ensaio referido no ponto 3.4.1. A curva granulométrica da areia obteve-se segundo o ensaio descrito no ponto 3.4.2 e apresenta-se na Figura 3.3.

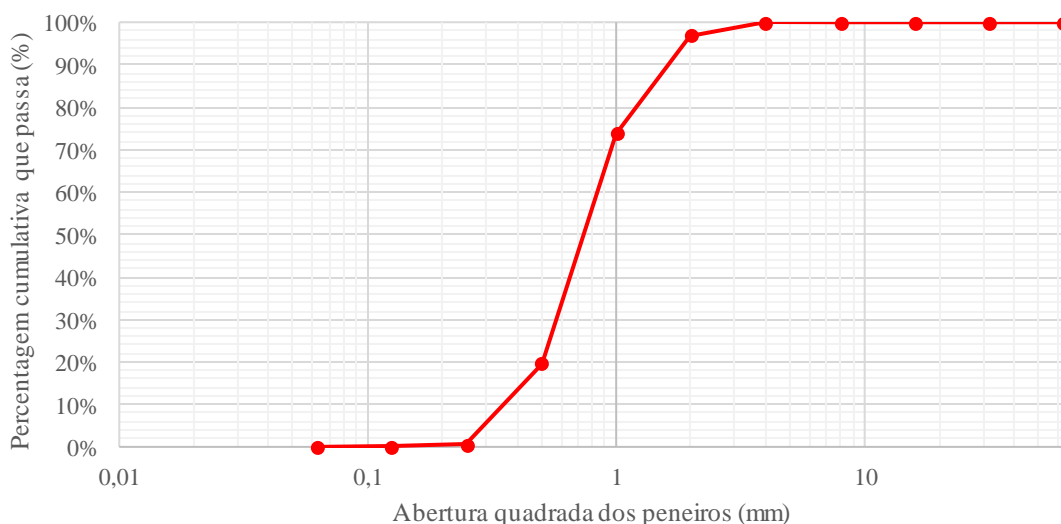


Figura 3.3 – Curva granulométrica da areia.

Foi observado na areia um módulo de finura de 3,1 e uma percentagem de finos de 0,050%, características obtidas com recurso ao ensaio descrito em 3.4.2.

O agregado utilizado apresenta um valor de equivalente de areia (SE) de 99,76%, segundo o ensaio descrito em 3.4.3.

3.2.3 MATERIAL CAL AÉREA HIDRATADA

A cal utilizada para a execução das argamassas foi uma cal aérea, hidratada, fornecida pela empresa Calcidrata (ver ANEXO A). Foi utilizada como adição ou substituição com o objetivo de avaliar a compatibilidade entre materiais e os efeitos da inclusão de maior ou menor quantidade de cal nas argamassas de terra.

As cals utilizadas em construção dividem-se em cal aérea e cal hidráulica, sendo a principal diferença o facto de a cal aérea não ganhar presa em contato direto com a água.

O principal constituinte dos produtos à base de cal é a pedra calcária, composta essencialmente por carbonato de cálcio (CaCO_3). O processo de fabrico da cal aérea inicia-se na jazida, com a extração da pedra calcária, que é seguidamente levada para a fábrica, onde se inicia o processo de britagem. Após o processo de britagem, o material é levado ao forno para o processo de calcinação (reação química na Figura 3.4), obtendo-se cal viva em pedra (CaO). Através da cal viva em pedra é possível obter cal hidratada em pó (Ca(OH)_2) ou cal viva em pó. A cal hidratada em pó resulta de um processo de hidratação (reação química na Figura 3.5) seguido de moagem, enquanto que a cal viva em pó resulta diretamente do processo de moagem da cal viva em pedra (Coelho et al., 2009).

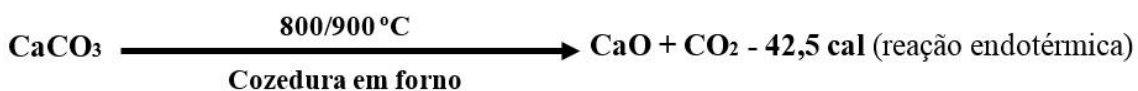


Figura 3.4 – Reação química do processo de calcinação do carbonato de cálcio, adaptado (Coutinho, 2006).



Figura 3.5 – Reação química do processo de hidratação da cal viva, adaptado (Coutinho, 2006).

Uma vez que se trata de cal aérea hidratada disponível no mercado e da qual se dispõe ficha técnica, o único ensaio realizado para a caracterização deste material foi o ensaio da baridade, a fim de conhecer o peso por volume ocupado. A baridade da cal aérea hidratada é de $517,89 \text{ kg/m}^3$, resultado obtido segundo o ensaio cujo o procedimento é descrito no ponto 3.4.1.

3.3 CAMPANHA EXPERIMENTAL

A campanha experimental referente ao presente trabalho foi realizada do mês de fevereiro ao mês de setembro, durante o ano de 2016, no Laboratório de Materiais de Construção instalado na Área Departamental da Engenharia Civil (ADEC) do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL). Houve ainda a necessidade de utilizar o Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL).

Para a caracterização das argamassas em estudo no presente trabalho foram realizados diversos ensaios, divididos por ensaios de caracterização de materiais e ensaios de caracterização de argamassas. Relativamente aos ensaios de caracterização de argamassas os ensaios dividem-se em ensaios sobre: o estado fresco, o estado endurecido; argamassas aplicadas em suporte de tijolo furado. Os ensaios realizados e normas seguidas apresentam-se no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Ensaio realizados e documentos normativos utilizados.

Ensaio	Norma	Material	
Ensaio de caracterização de Materiais	Baridade	NP EN 1097-3:2000	Todos
	Peneiração	NP EN 933-1:2014	Areia
	Equivalente de Areia	NP EN 933-8:2012	Areia
	Análise granulométrica	E-196, E-239	Terra-padrão
	Densidade de Partículas	NP 83	Terra-padrão
Ensaio sobre o estado fresco	Consistência por espalhamento	EN 1015-3:2009	Argamassa estado fresco
	Massa volúmica	EN 1015-6:1998	Argamassa estado fresco
	Teor de vazios	EN 1015-7:2009	Argamassa estado fresco
Ensaio sobre o estado endurecido	Módulo de elasticidade dinâmico	ASTM C597-09	Provetes 160x40x40 mm
	Resistência à flexão e compressão	EN 1015-11:1999	Provetes 160x40x40 mm
	Absorção de água por capilaridade	Test N°II.6 “Water Absorption Coefficient”	Provetes 160x40x40 mm
	Secagem	Test N°II.5 “Evaporation curve”	Provetes 160x40x40 mm
	Retração linear e volumétrica	Keable (1996)	Provetes 300x30x30 mm
Ensaio sobre argamassas aplicadas em suporte	Absorção de água sob baixa pressão	EN 16302:2013	Aplicações 300x200x10mm
	Condutibilidade térmica	Manual do Equipamento	Aplicações 300x200x10mm
	Dureza superficial	ASTM D2240-00	Aplicações 300x200x10mm
	Resistência à abrasão	DIN 18947	Aplicações 300x200x10mm
	Aderência ao suporte	EN-1015-12:2000	Aplicações 300x200x10mm
	Esclerómetro pendular	ASTM C805-08	Aplicações 300x200x10mm

Os ensaios realizados sobre o estado endurecido e sobre argamassas aplicadas em suporte, foram realizados aos 60 e 90 dias de idade, com a exceção do ensaio de retração.

Os ensaios sobre o estado endurecido foram realizados sobre provetes de dimensões 160x40x40 mm, com exceção do ensaio de retração que foi realizado sobre provetes de dimensão 300x30x30 mm. Foram moldados 12 provetes, de dimensões 160x40x40 mm, por família, 6 para cada idade de realização dos ensaios. Desses 6 provetes, 3 foram utilizados para os ensaios de massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão

e resistência à compressão. Os 3 provetes restantes, foram utilizados para os ensaios de absorção de água por capilaridade e de secagem. Foram ainda moldados 15 provetes para o ensaio de retração linear e volumétrica, 3 para cada família de argamassa.

Os ensaios sobre argamassas aplicadas no suporte foram realizados sobre aplicações, de dimensões 300x200x10 mm, feitas em suporte de tijolo. Foram feitas duas aplicações por família, uma para cada idade de realização dos ensaios. Assim sendo, os ensaios foram todos realizados sobre a mesma aplicação segundo a ordem apresentada no Quadro 3.3.

3.4 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS

Apresenta-se, de forma resumida, os procedimentos seguidos para a caracterização dos materiais utilizados para a execução das argamassas.

3.4.1 BARIDADE

O ensaio de baridade foi executado no presente trabalho experimental seguindo o procedimento indicado na norma NP EN 1097-3:2000 (IPQ, 2002a).

O material (areia, terra-padrão e cal aérea) foi seco em estufa a uma temperatura de 110°C até obtenção de massa constante. Seguidamente, retirou-se o material da estufa e deixou-se arrefecer até atingir a temperatura ambiente. A norma indica, para material com máxima dimensão até 4mm, a utilização de um recipiente de volume igual a um litro. No entanto, no presente trabalho utilizou-se um recipiente de volume igual a três litros, com relação entre altura e diâmetro compreendida entre 0,5 e 0,8. Pesou-se o recipiente vazio e obteve-se a sua massa, seguidamente o recipiente foi preenchido, sem compactação, com os materiais a caracterizar. Quando o material ultrapassou o topo do recipiente, o excesso foi retirado com uma régua e pesou-se novamente, obtendo-se o peso do recipiente com o material. O procedimento de ensaio pode ser observado na Figura 3.6.



Figura 3.6 – Sequência de trabalhos do ensaio de baridade: a) enchimento do recipiente; b) remoção do material em excesso; c) pesagem do conjunto recipiente-material.

A baridade do material ensaiado obtém-se recorrendo à expressão [3.1]:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \text{ [3.1]}$$

Em que:

- ρ_b – Baridade do provete, kg/m³;
- m_1 – Massa do recipiente vazio, em kg;
- m_2 – Massa do recipiente e provete, em kg;
- V – Volume do recipiente, em m³.

A baridade (ρ_b) obtém-se fazendo a média aritmética dos valores referentes a três provetes, arredondando-se a duas casas decimais para agregados de massa normal e a três casas decimais para agregados leves. É importante referir que a norma NP EN 1097-3 é utilizada para a caracterização de agregados, contudo, foi utilizada na campanha experimental para caracterizar os restantes constituintes das argamassas (terra-padrão, cal aérea hidratada).

3.4.2 PENEIRAÇÃO DA AREIA

O ensaio de peneiração de agregados, nomeadamente a areia, foi realizado seguindo o procedimento proposto pela norma NP EN 933-1:2014 (IPQ, 2014).

O ensaio iniciou-se pela colocação do agregado em estufa, a 110 °C, até obtenção de massa constante. Uma vez que a máxima dimensão do agregado era inferior ou igual a 4 mm utilizou-se um provete de 200 g, como indicado pela norma. Após obtenção de massa constante retirou-se o material da estufa, deixou-se arrefecer e pesou-se o material registando-se a massa M_1 . Seguidamente partiu-se para a lavagem do material colocando-o num peneiro 0,063 mm sobre água corrente, conforme se pode visualizar na Figura 3.7, até que a água saísse límpida. O material de granulometria superior a 0,063 mm foi colocado em estufa e, após obtenção de massa constante e arrefecimento do agregado, foi pesado e registou-se a massa M_2 .



Figura 3.7 – Lavagem da areia para o ensaio de peneiração: a) provete submerso em água; b) colocação do provete no peneiro de proteção; c) lavagem do provete.

Com a amostra de massa M_2 iniciou-se a passagem de material pela série de peneiros referenciados na norma e registou-se, através de pesagem, a massa retida em cada peneiro (Figura 3.8). Com recurso aos valores percentuais de massa retida em cada peneiro traçou-se a curva granulométrica da peneiração. A série de peneiros utilizada no presente ensaio foi a seguinte: 0,063 mm; 0,125 mm; 0,250mm; 0,500 mm; 1 mm; 2mm; 4 mm



Figura 3.8 – Sequência de trabalhos da peneiração da areia: a) colocação do provete na coluna de peneiros; b) agitação mecânica dos peneiros; c) pesagem do material retido nos peneiros.

Foi ainda calculada a percentagem de finos que passou através do peneiro 0,063 mm através da expressão [3.2]:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 \text{ [%]} \quad [3.2]$$

Onde:

- f – Percentagem de finos que passa através do peneiro 0,063 mm, em %;
- M_1 – Massa seca do provete de ensaio, em kg;
- M_2 – Massa seca retida no peneiro 0,063 mm após lavagem do provete de ensaio, em kg;
- P – Massa do material peneirado retido no fundo dos peneiros, em kg.

3.4.3 EQUIVALENTE DE AREIA

O ensaio do equivalente de areia, com o objetivo da caracterização do agregado utilizado nas argamassas, seguiu o procedimento da norma NP EN 933-8:2012 (IPQ, 2002b).

Após secagem do agregado à temperatura de 110 °C até obtenção de massa constante, retirou-se o material da estufa e deixou-se arrefecer até atingir a temperatura ambiente. De seguida passou-se o agregado pelo peneiro 2 mm e recolheram-se dois provetes elementares de 120 g de partículas peneiradas. Colocou-se, numa proveta própria para o ensaio, solução de lavagem composta por água e solução anti-floculante até ao primeiro traço de referência e seguidamente colocou-se, emerso nessa solução, o provete elementar deixando-se repousar durante 10 minutos (Figura 3.9 a). Volvidos os 10 minutos de repouso selou-se a proveta e acionou-se um agitador de 90 ciclos durante 30 segundos (Figura 3.9 b). Após agitação colocou-se a proveta na mesa de trabalho (Figura 3.9 c).



Figura 3.9 – Agitação de provetas do ensaio equivalente de areia: a) provete submerso em solução de lavagem; b) agitação da proveta; c) proveta após agitação.

Seguidamente, após lavagem da rolha (Figura 3.10 a) e das paredes do tubo (Figura 3.10 b), encheu-se a proveta com solução de lavagem até o líquido atingir o traço de referência superior (Figura 3.10 c) e deixou-se repousar durante pelo menos 20 minutos. Decorrido este tempo mediu-se a altura desde a base da proveta até à superfície da camada do floculado, registando-se h_1 . Em seguida, baixou-se cuidadosamente na proveta cilíndrica um conjunto mergulhador, até que a ponta assentasse sobre o sedimento. Com recurso ao mergulhador determinou-se h_2 – altura entre a face inferior da cabeça do mergulhador e a face superior do anel que assenta no topo da proveta.



Figura 3.10 – Procedimento do ensaio equivalente de areia: a) lavagem da rolha da proveta; b) lavagem das paredes da proveta; c) traço de referência superior.

O valor do equivalente de areia (SE) obtém-se através da equação [3.3]:

$$SE = \frac{h_2}{h_1} \times 100 [\%] \quad [3.3]$$

Em que:

- SE – Equivalente de areia, em %;
- h_1 – Altura desde a base da proveta até à superfície da camada do floculado, em cm;
- h_2 – Altura desde a face inferior da cabeça do mergulhador até à face superior do anel que assenta no topo da proveta, em cm.

Cada resultado de SE é dado pelo valor médio de dois provetes elementares. O valor final de SE resultou do valor médio de três resultados, portanto, seis provetes elementares. É importante referir que, caso a diferença de SE obtida para os dois provetes elementares do mesmo ensaio

seja superior a 4 %, o ensaio deverá ser repetido. Esta situação não se verificou nesta campanha experimental.

3.4.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA TERRA-PADRÃO

A análise granulométrica do material terra-padrão foi executada seguindo o procedimento proposto na especificação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil E-196 (LNEC, 1966) para a fase da sedimentação. A peneiração foi executada por via húmida com recurso à especificação E-239 (LNEC, 1970). Seguidamente indicam-se sumariamente os procedimentos utilizados para ambos os ensaios.

Para a fase da peneiração o ensaio inicia-se passando o material seco e com massa constante pelo peneiro nº10 (2,00 mm) (Figura 3.11 a). Do material passado foram recolhidos 50 g, introduzidos num copo com 250 cm³ de água e solução anti floculante (Figura 3.11 b). Volvida uma hora colocou-se a solução no peneiro nº200 (0,074 mm) e lavou-se a amostra sob jato de água (Figura 3.11 c). O material retido no peneiro foi colocado em estufa até atingir massa constante. Posteriormente, peneirou-se o material na série de peneiros entre o peneiro de malha 0,841 mm e o peneiro de malha 0,074 mm, traçando-se a curva granulométrica de peneiração.



Figura 3.11 – Procedimento da peneiração por via húmida: a) passagem do material pelo peneiro nº10; b) colocação do material no copo de precipitação; c) lavagem da solução.

Com o objetivo de traçar a curva granulométrica da sedimentação, e após o material atingir massa constante, pesaram-se três amostras de 50 g de material passado no peneiro nº10 (2,00 mm) (Figura 3.12 a). Seguidamente, colocaram-se as amostras em *gobelets*, juntando cerca de 100 ml de solução anti floculante, previamente realizada. A mistura foi aquecida suavemente durante 10 minutos (Figura 3.12 b). Volvida a fase de aquecimento, agitou-se a mistura durante 15 minutos por meio de agitador elétrico (Figura 3.12 c).



Figura 3.12 – Sequência de trabalhos de desagregação de partículas para o ensaio de sedimentação: a) pesagem do material; b) aquecimento da mistura; c) agitação da mistura.

Após agitação a mistura, a solução obtida foi passada pelo peneiro nº 200 (0,074 mm) e lavada com recurso a água destilada, utilizando sempre quantidade inferior a 500 ml (Figura 3.13 a). Os elementos retidos no peneiro nº 200, após a lavagem, foram desprezados. Seguidamente transferiu-se a mistura, sem perdas, para a proveta e encheu-se até ao traço de referência dos 1000 ml (Figura 3.13 b). Tapando a boca da proveta com parafina filme, agitou-se o seu conteúdo vigorosamente durante aproximadamente um minuto e colocou-se a proveta na mesa de trabalho. Importante será dizer que a mesa onde ficou a proveta estava isolada das restantes, evitando qualquer perturbação na sedimentação do solo. A partir deste momento realizaram-se medições de temperatura e leituras de densímetro nos seguintes minutos: 1, 2, 5, 15, 30, 60, 250, 1440 e 2880 (Figura 3.13 c)



Figura 3.13 – Sequência de trabalhos do ensaio de sedimentação: a) lavagem da solução no peneiro nº200; b) transferência da solução para a proveta; c) colocação e leitura do densímetro.

Para os cálculos do ensaio de sedimentação foi ainda necessária a determinação da densidade das partículas do material terra-padrão, pelo que se realizou o ensaio segundo o procedimento da Norma Portuguesa 83 (NP 83,1965). Este procedimento será descrito sumariamente.

Iniciou-se o ensaio com a pesagem de um picnómetro vazio, anteriormente lavado e seco (m_1). Seguidamente, encheu-se o picnómetro com água destilada até ao traço de referência, pesando-o novamente (m_2). Antes de despejar a água mediu-se a sua temperatura (t_1). Com recurso às massas m_1 e m_2 calculou-se, segundo equação apresentada adiante, a massa do picnómetro à temperatura t_2 (m_3). A temperatura t_2 é também referida adiante.

Seguidamente encheu-se o picnómetro com 25 g do material terra-padrão (m_4) (Figura 3.14 a) e colocou-se água destilada até $\frac{3}{4}$ do volume do picnómetro. Deixou-se embeber durante pelo menos 12 h. O ar remanescente foi retirado em exsicador com sílica gel, por meio de bomba de vácuo a funcionar durante 10 min (Figura 3.14 b). Após remoção do ar, encheu-se o picnómetro com água destilada até ao traço de referência e registou-se a sua massa (m_5) (Figura 3.14 c) e a temperatura (t_2).

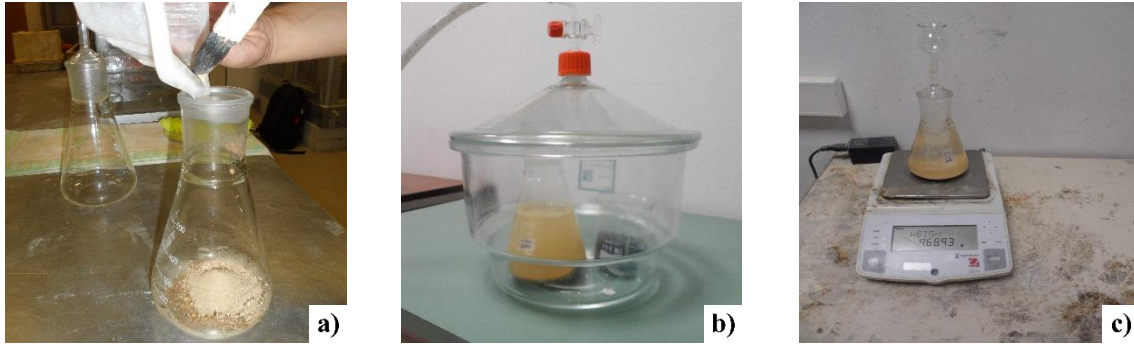


Figura 3.14 – Sequência de trabalhos do ensaio de densidade de partículas: a) colocação da terra-padrão no picnómetro; b) remoção do ar remanescente; c) registo da massa m_5 .

Utilizando a expressão [3.4] calculou-se a massa do picnómetro cheio à temperatura t_2 , m_3 :

$$m_3 = \frac{d_a^{t_1}}{d_a^{t_2}} \times (m_2 - m_1) + m_1 [g] \quad [3.4]$$

Em que:

- m_1 – Massa do picnómetro seco, em g;
- m_2 – Massa do picnómetro cheio de água, á temperatura t_1 , em g;
- m_3 – Massa do picnómetro à temperatura t_2 , em g;
- $d_a^{t_1}$ – Densidade da água à temperatura t_1 ;
- $d_a^{t_2}$ – Densidade da água à temperatura t_2 ;

Seguidamente, obteve-se a densidade das partículas através da expressão [3.5]:

$$d_{20}^{t_2} = \frac{m_4}{m_3 - (m_5 - m_4)} \times k \quad [3.5]$$

Em que:

- $d_{20}^{t_2}$ – Densidade das partículas à temperatura t_2 em relação a água destilada a 20 °C;
- m_4 – Massa do provete seco, em g;
- m_5 – Massa do picnómetro com o provete à temperatura t_2 , em g;
- k – Quociente da densidade da água à temperatura t_2 pela densidade da água a 20 °C.

3.5 EXECUÇÃO DAS ARGAMASSAS

Para a execução das argamassas, com os respectivos constituintes e traços apresentados no ponto 3.2, seguiu-se um procedimento específico e idêntico para todas as cinco famílias, com o objetivo de todas apresentarem as mesmas condições. O procedimento utilizado foi o procedimento referido em NP EN 196-1:2006 (IPQ, 2006) com algumas adaptações. Assim sendo, o procedimento utilizado foi o seguinte (representado na Figura 3.15):

- i) homogeneização manual da massa sólida da mistura;
- ii) introdução da água no copo da misturadora;
- iii) introdução da massa sólida homogeneizada no copo da misturadora;
- iv) iniciar a mistura acionando a misturadora durante 90 segundos em velocidade lenta;
- v) parar a misturadora deixando a argamassa repousar durante 90 segundos, sendo que os primeiros 15 segundos do tempo de repouso foram utilizados para juntar à mistura a argamassa aderente às paredes do copo;
- vi) Reiniciar a mistura acionando a misturadora durante 60 segundos em velocidade lenta.

A misturadora utilizada é composta por um copo de 3 L, uma pá de mistura e é dotada de duas velocidades, 1 e 2, lenta e rápida respetivamente.



Figura 3.15 – Sequência na execução das argamassas: a) introdução da água no copo da misturadora; b) colocação do copo na misturadora; c) junção à mistura da argamassa aderente às paredes do copo.

Para as diferentes famílias, devido à sua diferente composição, foram utilizadas diferentes relações água/material sólido, sendo que se tratou de uma relação mássica. A água foi pesada em balança com duas casas decimais e limite máximo de 4100 g. As quantidades de material e relações mássicas água/material sólido utilizadas na execução das argamassas são apresentadas no ANEXO B.

3.6 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO SOBRE O ESTADO FRESCO

Seguidamente apresentam-se sucintamente os procedimentos utilizados para a caracterização das argamassas no estado fresco. Os ensaios apresentados são o ensaio de consistência por espalhamento, o ensaio de massa volúmica no estado fresco e o ensaio do teor de vazios das argamassas.

3.6.1 CONSISTÊNCIA POR ESPALHAMENTO

O ensaio de consistência por espalhamento permite avaliar e quantificar o efeito da água na trabalhabilidade da argamassa. Este ensaio foi realizado seguindo a norma EN 1015-3:2009 (CEN, 1999a) com o intuito de delimitar o resultado obtido no ensaio de espalhamento entre 160 mm e 176 mm, valor este referido no ponto 2.7.1 em que, segundo Gomes (2013), se considera que argamassas de terra que apresentem um espalhamento entre estes valores são argamassas ideais do ponto de vista da trabalhabilidade.

Após a realização das argamassas preencheu-se o molde troncocónico, representado na Figura 3.16 a), com argamassa, até cerca de metade, compactando logo de seguida a argamassa com recurso a um pilão. A compactação foi feita em 10 pancadas em movimento circular, no sentido dos ponteiros do relógio. Terminado este procedimento encheu-se completamente o molde (Figura 3.16 b) e repetiu-se o processo de compactação. De seguida, rasou-se, com recurso a uma régua, a superfície do molde por forma a remover a argamassa em excesso (Figura 3.16 c).

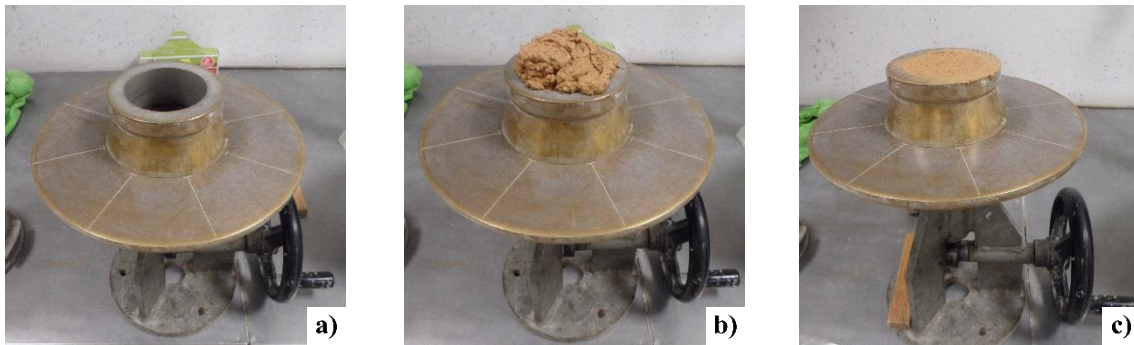


Figura 3.16 – Enchimento e compactação do molde para o ensaio de consistência por espalhamento: a) equipamento utilizado; b) enchimento da segunda camada de argamassa; c) molde com argamassa compactada e excesso removido.

De seguida o molde foi removido cuidadosamente, evitando movimentos horizontais (Figura 3.17 a). Posteriormente, a amostra foi submetida à ação de 15 pancadas da mesa de espalhamento, com cadência de uma pancada por segundo (Figura 3.17 b). Com recurso a craveira, foram medidos dois diâmetros ortogonais (Figura 3.17 c). O valor do espalhamento corresponde à média dos dois diâmetros. Foram realizados, para cada argamassa, seis ensaios com espalhamento compreendido entre 160 mm e 176 mm.



Figura 3.17 – Procedimento de medição do espalhamento obtido: a) argamassa após remoção do molde; b) aplicação das 15 pancadas; c) medição do espalhamento.

3.6.2 MASSA VOLÚMICA

A massa por unidade de volume (ρ) é obtida através do quociente da massa da argamassa e o volume por ela ocupado. O ensaio é padronizado pela norma EN 1015-6:1998 (CEN, 1998).

Após a execução das argamassas, preencheu-se o recipiente metálico normalizado, até meio, com uma camada de argamassa. Seguidamente a argamassa foi compactada através de oscilação alternada, contabilizando um total de 10 pancadas. De seguida, preencheu-se o recipiente até ao topo e repetiu-se o procedimento de compactação. O topo do recipiente foi rasado para eliminar o excesso de argamassa. Tendo previamente pesado o recipiente e sabendo a sua massa, m_1 , e volume, V , pesou-se o conjunto recipiente-argamassa e obteve-se a massa do conjunto, m_2 . Repetiu-se todo o procedimento de forma a obter três provetes. A massa volúmica (ρ) de cada uma das 5 famílias de argamassas é dada pela equação [3.6] e corresponde à média aritmética dos três ensaios. A sequência do ensaio para a determinação da massa volúmica está documentada fotograficamente na Figura 3.18.

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \text{ [3.6]}$$

Em que:

- ρ – Massa volúmica, em kg/m³;
- m_1 – Massa do recipiente, em kg;
- m_2 – Massa do conjunto recipiente e argamassa, em kg;
- V – Volume do recipiente, em m³.

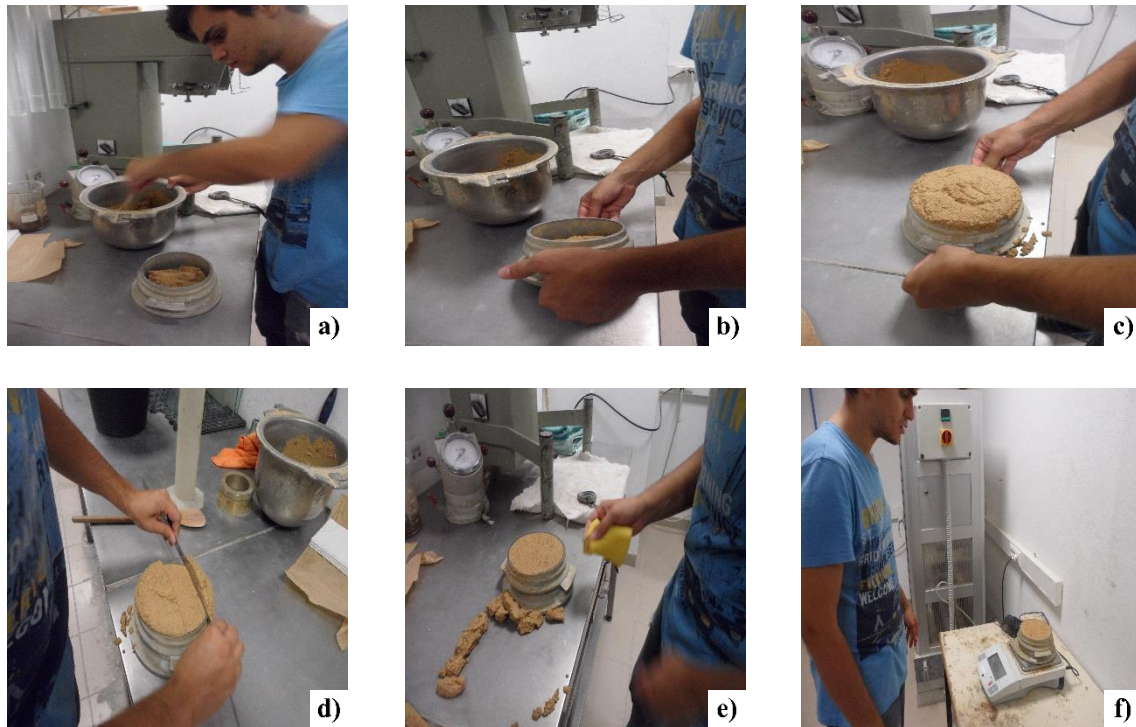


Figura 3.18 – Sequência de trabalhos do ensaio de massa volúmica: a) enchimento da primeira camada de argamassa; b) compactação da primeira camada; c) recipiente totalmente preenchido; d) remoção do excesso de argamassa; e) limpeza do recipiente; f) pesagem do conjunto recipiente-argamassa.

3.6.3 TEOR DE VAZIOS

O ensaio do teor de vazios permite aferir a percentagem de vazios de determinada argamassa compreendida num volume conhecido. O ensaio referido foi realizado seguindo o procedimento recomendado pela norma EN 1015-7:2009 (CEN, 1999b).

No presente trabalho, este ensaio seguiu-se ao ensaio de massa volúmica, utilizando o mesmo recipiente metálico normalizado, contendo a mesma argamassa desse ensaio. Após realizado o processo de compactação e remoção da argamassa em excesso, colocou-se a parte superior do aerómetro e introduziu-se água por um dos orifícios do equipamento (Figura 3.19 a), até sair pelo orifício diametralmente oposto. Aquando da saída da água pelo orifício diametralmente oposto, fecharam-se imediatamente as válvulas de ambos os orifícios (Figura 3.19 b). Com recurso a um sistema para bombear ar, garantiu-se que a água penetrava todos os vazios da argamassa, sendo o ar expelido para uma câmara adjacente, onde se mediu o seu volume em relação percentual. O volume foi apresentado sobre escala do aparelho (Figura 3.19 c).



Figura 3.19 – Sequência de trabalhos do ensaio do teor de vazios: a) introdução de água no aerómetro; b) acionamento das válvulas; c) leitura do aerómetro.

3.7 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO SOBRE O ESTADO ENDURECIDO

Seguidamente apresentam-se sucintamente os procedimentos utilizados para a caracterização das argamassas no estado endurecido, caracterizando alguns dos seus parâmetros físicos e químicos. Os ensaios estão apresentados por ordem de realização e foram realizados sobre provetes prismáticos de dimensões 160x40x40 mm, à exceção do ensaio de retração linear e volumétrica.

Para a execução dos provetes foram utilizados moldes metálicos prismáticos de dimensões 160x40x40 mm. De cada molde preenchido resultam 3 provetes. Após a execução das argamassas preencheu-se o molde até meio, seguindo-se o processo de compactação, recorrendo a 25 pancadas de um pilão (Figura 3.20 a). De seguida, preencheu-se o molde completamente, repetindo-se o processo de compactação. Rasou-se a superfície do molde removendo a argamassa em excesso, ficando os provetes (em estado fresco) com o aspeto apresentado na Figura 3.20 b). Volvidos sete dias, os provetes foram desmoldados (Figura 3.20 c) e colocados em sala de temperatura e humidade condicionada (temperatura de 20 ± 3 °C e humidade relativa de 55 ± 5 %).

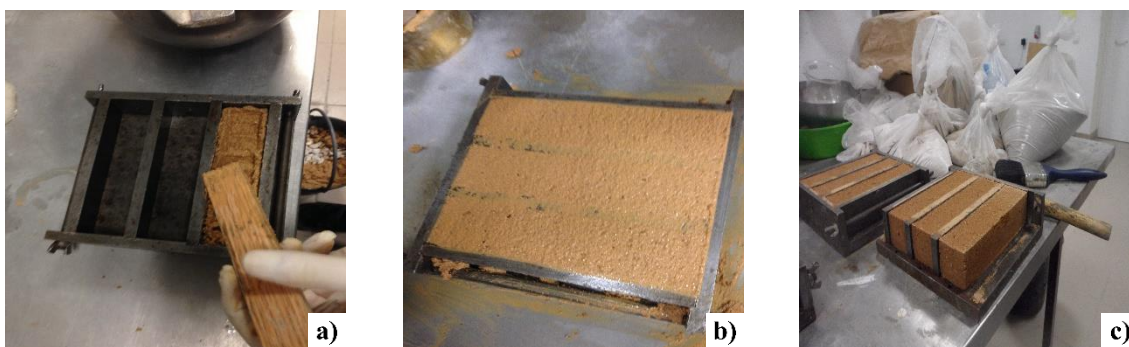


Figura 3.20 – Sequência de trabalhos de moldagem e desmoldagem dos provetes: a) compactação da primeira camada; b) molde preenchido com argamassa; c) desmoldagem dos provetes.

3.7.1 MASSA VOLÚMICA APARENTE

Para determinar a massa volúmica aparente de cada um dos provetes foi necessário que estes atingissem massa constante, com esse objetivo estes foram colocados em estufa a uma

temperatura de 110 °C. Após atingida a massa constante, os provetes foram retirados da estufa e deixou-se que atingissem a temperatura ambiente. Seguidamente registou-se a massa dos provetes e efetuaram-se medições nas três dimensões ortogonais do provete prismático. Por multiplicação das três dimensões obteve-se o volume aparente de cada provete. Através do quociente entre a massa do provete e o seu volume aparente obteve-se a massa volúmica aparente dos provetes para as datas de ensaio já referidas.

3.7.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

O ensaio do módulo de elasticidade dinâmico seguiu o procedimento da norma ASTM C597-09 (ASTM, 2009) usada para a determinação da velocidade de ondas ultrassónicas em betão.

Recorrendo ao aparelho TICO Ultrachall-Meter para medição de velocidades de ondas ultrassónicas foi realizado o ensaio nos provetes de dimensões 160x40x40 mm. A norma referida indica que o grau de saturação dos provetes de betão influencia os resultados do ensaio, uma vez que a velocidade é 5% mais elevada em betão completamente seco. Além disso, a velocidade é menos sensível a alterações quando os provetes estão saturados. No entanto, e uma vez que os provetes de terra se desagregariam quando em contato direto com a água, o ensaio foi realizado com os provetes completamente secos.

Antes da medição da velocidade de propagação de ultrassons nos provetes de argamassa de terra, foi necessário calibrar o aparelho com recurso a um corpo metálico normalizado (Figura 3.21 a). Para tal, cobriram-se as faces do cilindro metálico com uma camada fina de massa de contato, neste caso vaselina sólida (Figura 3.21 b). De seguida, encostaram-se os dois transdutores de 54 Hz em faces opostas do cilindro e iniciou-se a passagem de ondas ultrassónicas (Figura 3.21 c). A calibração foi obtida assim que o valor de tempo de transmissão das ondas entre os transdutores atingiu o valor de 20,1 μ s, valor pré-definido para o cilindro normalizado.



Figura 3.21 – Sequência de trabalhos de calibração do equipamento de ultrassons: a) corpo cilíndrico normalizado; b) aplicação de massa de contacto no cilindro; c) calibração do equipamento.

É importante referir que é necessário colocar no aparelho a distância entre as faces em que estão encostados os transdutores. Essa distância corresponde à maior dimensão do provete, que foi

medida com recurso a craveira analógica (Figura 3.22 a). Assim como no processo de calibração, foi utilizada vaselina sólida como massa de contacto (Figura 3.22 b). De seguida, iniciou-se a passagem de ondas ultrassónicas e o equipamento indicou a velocidade de propagação das ondas em m/s. O equipamento indicou ainda o tempo de transmissão das ondas entre os dois transdutores em μs (Figura 3.22 c).



Figura 3.22 – Medição da velocidade de propagação de ultrassons: a) medição dos provetes; b) aplicação de massa de contacto nas faces do provete; c) medição da velocidade de propagação de ultrassons.

Com recurso à equação [3.7], indicada na norma, é possível obter o módulo de elasticidade dinâmico:

$$E_d = \frac{\rho V^2 (1 + \nu)}{(1 - \nu)} \text{ (MPa) [3.7]}$$

Em que:

- E_d – Módulo de elasticidade dinâmico, em MPa;
- ρ – Massa volúmica aparente do provete ensaiado, em kg/m^3 ;
- V – Velocidade de propagação das ondas, em km/s ;
- ν – Coeficiente de Poisson, para argamassas de terra o valor utilizado é de 0,2 (Gomes et al., 2010).

3.7.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR FLEXÃO E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Por forma a avaliar as resistências mecânicas das diferentes famílias de argamassas estudadas, foram realizados ensaios de resistência à tração por flexão e resistência à compressão. No presente trabalho o procedimento destes ensaios foi ditado pela norma EN 1015-11:1999 (CEN, 1999c).

Para o ensaio de resistência à flexão assentou-se, sobre 2 rolos a distância normalizada, um provete com as dimensões já referidas (Figura 3.23 a). A flexão foi conseguida com a aplicação de uma carga a velocidade constante num ponto sensivelmente a meio do provete (Figura 3.23 b). A velocidade de carregamento deve permitir que a rotura do provete ocorra entre os 30 e os 90 segundos, como especificado na norma que rege o ensaio. Para o ensaio de resistência à flexão a norma indica a aplicação de uma carga a velocidade entre 10 e 50 N/s. Ao aplicar 10

N/s verificou-se que a rotura se dava fora do intervalo de tempo, pelo que se optou por aplicar uma velocidade de carregamento que permitisse respeitar o tempo definido em norma, sendo essa velocidade de 0,7 mm/s. No entanto, o tempo de rotura, apesar de próximo dos 30 segundos, nem sempre foi respeitado. A rotura deu-se, de uma forma geral, da forma representada na Figura 3.23 c).

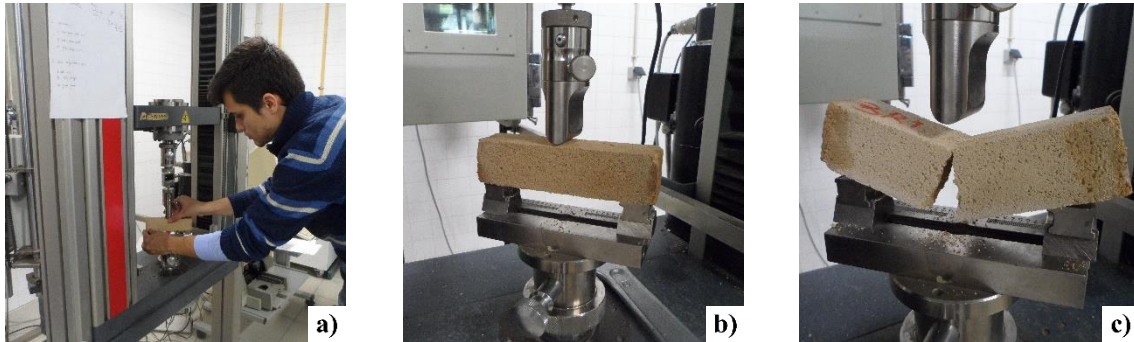


Figura 3.23 – Sequência de trabalhos do ensaio de resistência à tração por flexão: a) colocação do provete na prensa; b) aplicação da carga; c) rotura do provete.

Após registo da força necessária para mobilizar a rotura do provete, obtida com recurso ao software da prensa mecânica, foi possível calcular a resistência à flexão recorrendo à equação [3.8]:

$$Rf = 1,5 \times \frac{F \times L}{b \times h^2} \text{ [MPa]} \text{ [3.8]}$$

Em que:

- Rf – Resistência à tração por flexão, em N/mm² / MPa;
- F – Força necessária para mobilizar a rotura do provete, em N;
- L – Distância entre os rolos de apoio do provete, em mm;
- b – Largura do provete, em mm;
- h – Altura do Provete, em mm.

Sobre as metades obtidas no ensaio de resistência à flexão realizou-se o ensaio de resistência à compressão (Figura 3.24 a). Para este ensaio foi aplicada aos provetes uma carga à velocidade de 1,2 mm/s por forma a conseguir obter a rotura dentro do período de tempo estipulado pela norma, entre os 30 e 90 segundos. No caso do ensaio de compressão a rotura deu-se sempre dentro do tempo estipulado. A carga foi aplicada sobre uma área de aproximadamente 1600 mm² (Figura 3.24 b). A figura de rotura manifestada foi, em geral, a apresentada na Figura 3.24 c).

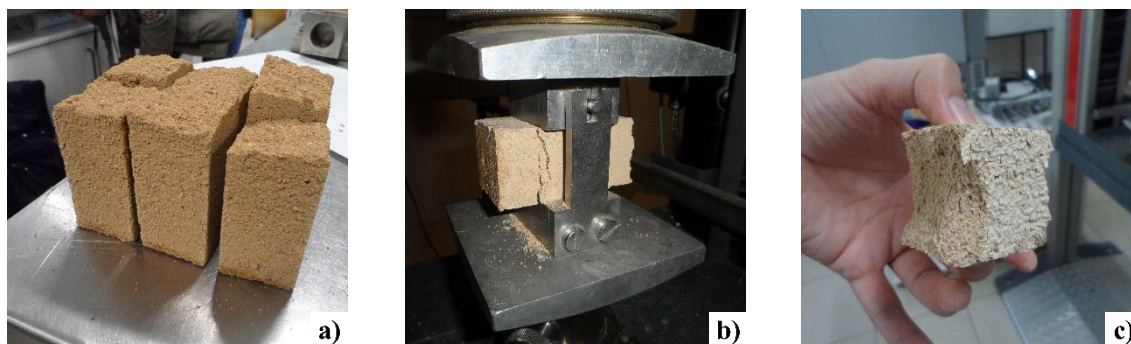


Figura 3.24 – Sequência de trabalhos do ensaio de resistência à compressão: a) metades do ensaio de resistência à tração por flexão; b) aplicação da compressão; c) figura de rotura por compressão.

A resistência à compressão é dada pela equação [3.9]:

$$R_c = \frac{F}{A} [MPa] [3.9]$$

Em que:

- R_c – Resistência à compressão, em N/mm^2 / MPa;
- F – Força necessária para mobilizar a rotura por compressão, em N;
- A – Área do provete à qual é transmitida a força de compressão, em mm^2 .

3.7.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

O ensaio de absorção de água por capilaridade seguiu o procedimento N°II.6 ‘Water Absorption Coefficient’ da RILEM (RILEM, 1980a), que permite determinar o coeficiente de capilaridade e aferir a velocidade de absorção de água de determinada argamassa. Uma vez que o procedimento não se adequa a argamassas de terra, algumas adaptações tiveram de ser realizadas.

Para a realização do ensaio foram utilizados 3 provetes por família em cada uma das idades de ensaio. Antes da colocação dos provetes em água, estes foram colocados em estufa a $110^\circ C$ até atingir massa constante, registando a massa do provete nesse momento.

Após ser atingida a massa constante, aplicou-se, nas 4 faces laterais dos provetes, uma mistura em partes iguais de cera de abelha e pez de louro (Figura 3.25 a). Esta mistura permitiu impermeabilizar as faces laterais dos provetes garantindo que a absorção de água se dava apenas pela área correspondente à base do provete. Além da aplicação de impermeabilização nas 4 faces laterais, colocou-se na face inferior do provete, face submersa e consequentemente responsável pela absorção capilar, um tecido à base de algodão. A utilização deste tecido deveu-se à fraca coesão das argamassas de terra em contacto direto com a água, evitando desta forma a perda de material por desagregação.

Os provetes foram colocados sobre uma rede (Figura 3.25 b), dentro de uma tina onde foi colocada uma lâmina de água entre 2 e 4 mm acima da base dos provetes. A rede tem como

objetivo permitir a livre absorção de água pela base do provete (Gonçalves, 2007). Após colocação dos provetes e da água, a tina foi fechada com recurso a uma tampa em vidro para que se criasse um ambiente saturado e para que a água não evaporasse.

Todos os provetes foram pesados com a mesma periodicidade e nos primeiros 15 min estas medições foram realizadas a cada 5 min. As medições nos provetes foram efetuadas diariamente até saturação dos mesmos (Figura 3.25 c).

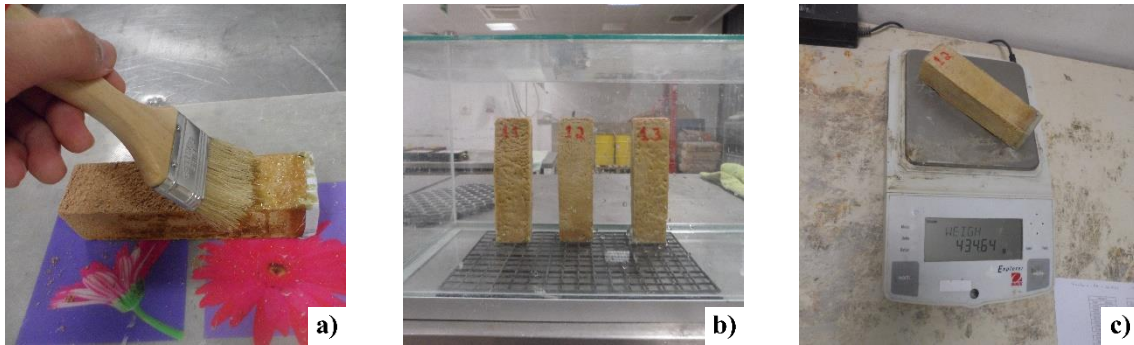


Figura 3.25 – Sequência de trabalhos do ensaio de absorção de água por capilaridade: a) aplicação da impermeabilização; b) provetes na tina; c) pesagem dos provetes.

A curva de absorção capilar expressa, como já referido no ponto 2.7.2, a água absorvida por unidade de área em função do tempo. A água absorvida por unidade de área calcula-se através da equação [3.10]:

$$W_i = \frac{m_i - m_{seco}}{S} [kg/m^2] [3.10]$$

Em que:

- W_i – Água absorvida por unidade de área no instante i , em kg/m^2 ;
- m_i – Massa do provete no instante i , em kg;
- m_{seco} – Massa do provete seco, em kg;
- S – Área da base do provete, em m^2 .

Os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade avaliaram-se através do coeficiente de capilaridade, coeficiente esse que corresponde ao declive do primeiro troço linear da curva de absorção capilar construída com os dados do ensaio.

3.7.5 SECAGEM

O ensaio de secagem foi realizado nos provetes provenientes do ensaio de absorção de água por capilaridade, após estes atingirem a saturação. O procedimento experimental para a realização deste ensaio é o procedimento N°II.5 “Evaporation curve” da RILEM (RILEM, 1980b).

Depois de realizado o ensaio de absorção de água por capilaridade selou-se a face inferior do provete com recurso a película aderente (Figura 3.26 a). A selagem foi feita com o objetivo de garantir que a secagem ocorria unidireccionalmente pela face superior do provete, com uma área de 4x4 cm. Após selagem do provete fez-se a primeira pesagem do ensaio de secagem e logo de

seguida os provetes foram colocados em sala de temperatura e humidade condicionadas (Figura 3.26 b), com temperatura de $20\pm 3^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $55\pm 5\%$. As pesagens foram realizadas de forma constante e de maneira a obter a curva de secagem bem definida para determinar o índice e taxa de secagem. As pesagens foram realizadas até o provete manter um peso constante, à temperatura e humidade da sala condicionada (Figura 3.26 c).

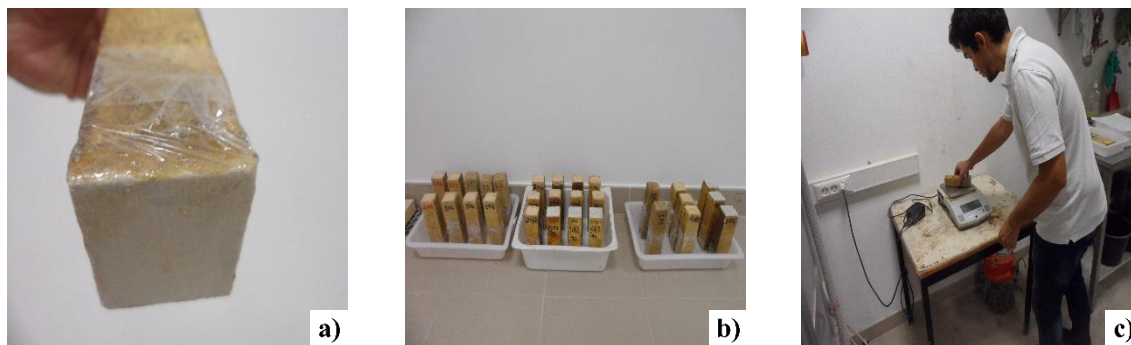


Figura 3.26 – Sequência de trabalhos do ensaio de secagem: a) selagem da face inferior; b) secagem dos provetes; c) pesagem dos provetes.

A curva de secagem expressa o tempo em horas no eixo das abcissas e o teor em água percentual no eixo das ordenadas. O teor de água calcula-se recorrendo à equação [3.11]:

$$w_i = \frac{m_i - m_{seco}}{m_{seco}} \times 100 [\%] [3.11]$$

Em que:

- w_i – Teor de água, em %;
- m_i – Massa do provete no instante i , em kg;
- m_{seco} – Massa seca do provete, em kg.

Por aplicação da equação [2.1], referida no ponto 2.7.2, aos dados da curva de secagem, obteve-se o índice de secagem. Ainda com os mesmos dados e através de uma curva que expressa a água absorvida por unidade de área em função do tempo, foi possível obter a taxa de secagem. A taxa de secagem corresponde ao declive do primeiro troço linear dessa curva.

3.7.6 RETRAÇÃO LINEAR E VOLUMÉTRICA

O ensaio de retração linear foi realizado no presente trabalho seguindo o procedimento proposto por Keable (1996) com algumas adaptações.

O ensaio começou pela aplicação de óleo descofrante em moldes de dimensões $300 \times 30 \times 30$ mm, em madeira. Seguidamente foram moldados os provetes através de enchimento do molde em duas camadas e compactação com recurso a pilão normalizado. Rasou-se a superfície eliminando a argamassa excedentária e colocaram-se os provetes em cura em sala com temperatura de $20\pm 3^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $55\pm 5\%$. Aguardou-se cerca de 14 dias pela secagem completa da argamassa e procedeu-se à desmoldagem e medição dos provetes. A cada

proвете foi medido o comprimento (C_p) uma vez e a altura (h_i) e largura (l_i) em quatro pontos distintos representados na Figura 3.27.

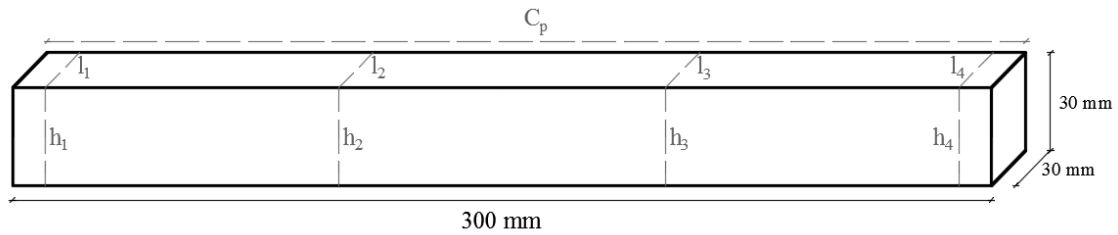


Figura 3.27 – Pontos de medição de provetes do ensaio de retração linear e volumétrica.

A retração linear foi calculada através da equação [3.12] e a retração volumétrica através da equação [3.13].

$$L_L = \frac{C_m - C_p}{C_m} \times 100 [\%] \quad [3.12]$$

$$L_V = \frac{V_m - V_p}{V_m} \times 100 [\%] \quad [3.13]$$

Em que:

- L_L – Retração linear, em %;
- C_m – Comprimento do molde, em cm;
- C_p – Comprimento do provete, em cm;
- L_V – Retração volumétrica, em %;
- V_m – Volume do molde, em cm^3 ;
- V_p – Volume do provete, em cm^3 .

3.8 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO SOBRE ARGAMASSAS APLICADAS EM SUPORTE

Para a realização dos diversos ensaios propostos sobre argamassas aplicadas em suporte, executaram-se aplicações de argamassa simulando um paramento vertical. Aplicou-se para o efeito, sobre tijolos 30x20x7 cm, uma camada de argamassa com 1 cm de espessura com vista à realização dos seguintes ensaios:

- Absorção de água sob baixa pressão (Tubos de Karsten);
- Condutibilidade térmica;
- Dureza superficial;
- Resistência à abrasão;
- Aderência ao Suporte;
- Esclerómetro pendular.

Após a realização da amassadura e aplicação nos tijolos de um molde que permitisse a realização de uma camada de reboco de cerca de 1 cm de espessura, a face do tijolo a rebocar foi devidamente humedecida por forma a regularizar a absorção de água. O humedecimento da face do tijolo tem como objetivo evitar que este absorva em excesso a água da argamassa, ação que poderia provocar falta de aderência. Seguidamente, com o tijolo deitado no chão, foi deixada cair a argamassa de uma altura de cerca de 1,30 m com recurso a uma colher de pedreiro (Figura 3.28 a). O movimento de queda livre da argamassa fez com que, no momento do embate, esta se espalhasse e aderisse ao tijolo de uma forma ligeiramente semelhante á que ocorreria no arremesso tradicional utilizado em obra. Estando o molde cheio, rasou-se a superfície superior eliminando o excesso de argamassa e procurando uma superfície de reboco lisa para a realização dos ensaios. Para rasar o molde utilizou-se uma régua (Figura 3.28 b). Cerca de trinta minutos depois, e assim que os provetes mostrassem presa, retirou-se cuidadosamente o molde (Figura 3.28 c). De seguida, colocaram-se as aplicações em sala com temperatura e humidade condicionadas até às datas de realização dos ensaios. As condições de temperatura e humidade da sala condicionada são iguais às anteriormente referidas.



Figura 3.28 – Sequência dos trabalhos de execução das aplicações: a) arremesso da argamassa; b) remoção da argamassa em excesso; c) remoção do molde.

3.8.1 ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO (TUBOS DE KARSTEN)

O ensaio de absorção de água sob baixa pressão, vulgarmente conhecido como ensaio dos tubos de Karsten, tem como principal objetivo aferir a permeabilidade à água de uma argamassa de reboco aplicada num paramento vertical. No presente trabalho o procedimento de ensaio foi ditado pela norma EN 16302:2013 (CEN, 2013) utilizando para periodicidade das medições 15 segundos, um valor aparentemente apropriado à porosidade das argamassas em estudo.

Num mínimo de 24 horas antes das datas de realização do ensaio, selaram-se na amostra a testar, três tubos de Karsten graduados de 0 a 4 ml. O material de selagem utilizado para o efeito foi silicone sanitário, com período aproximado de secagem de 24 horas. Estando o silicone seco iniciou-se o ensaio através do enchimento do tubo graduado com água até ao nível zero (Figura 3.29 a) acionando-se neste preciso momento um cronómetro para indicar a altura de realização das medições. Segundo recomendação da norma, deve ser escolhida uma periodicidade entre 10

e 60 segundos, consoante a porosidade do material ensaiado. Registou-se, para além das medições periódicas de 15 em 15 segundos (Figura 3.29 b), o tempo necessário para a absorção de 4 ml de água (Figura 3.29 c).



Figura 3.29 – Sequência de trabalhos do ensaio de absorção de água sob baixa pressão: a) enchimento do tubo de Karsten; b) realização das leituras; c) pormenor da absorção de água.

3.8.2 CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

O ensaio de condutibilidade térmica permitiu avaliar, como o nome indica, a condutibilidade térmica das argamassas em estudo. No presente trabalho o ensaio foi realizado sobre aplicações com 1cm de espessura. O ensaio foi realizado segundo o manual do equipamento ISOMET Heat Transfer Analyzer modelo 2104 (Figura 3.30).

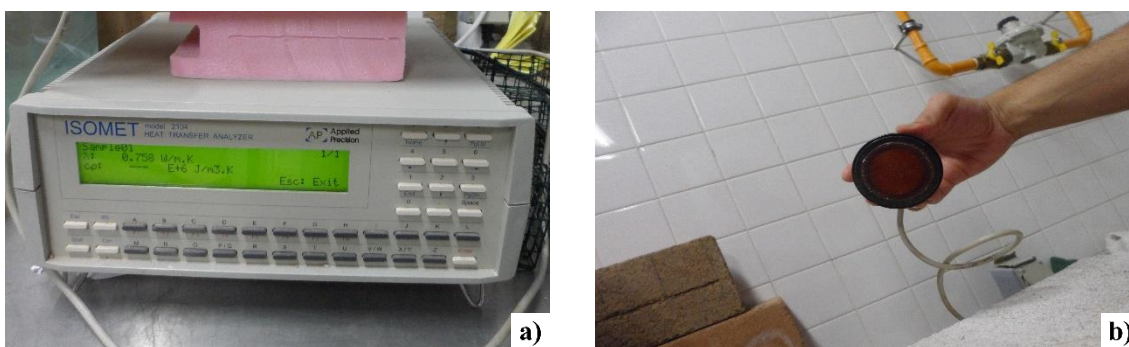


Figura 3.30 – Equipamento de medição do coeficiente de condutibilidade térmica: a) equipamento ISOMET Heat Transfer Analyzer modelo 2104; b) sonda de transmissão e medição.

O equipamento, através de uma sonda transmissora de calor permitiu avaliar a condutibilidade térmica das argamassas, através da obtenção do seu coeficiente (λ) em W/m.K. O equipamento indica ainda a capacidade calorífica por unidade de volume (c_p) e a difusividade térmica (a). No entanto, ao longo da realização do ensaio e das medições em 10 aplicações, o único resultado apresentado pelo equipamento foi o coeficiente de condutibilidade térmica. Importante referir que o equipamento precisa de pelo menos 1 cm de espessura da argamassa para conseguir fazer a leitura correta do coeficiente em questão, embora se recomendem espessuras superiores.

O ensaio foi realizado numa sala com temperatura e humidade relativa condicionadas, $20\pm 3^\circ\text{C}$ e $65\pm 5\%$. A amostra foi colocada sobre poliestireno extrudado, para evitar que o calor transmitido pela sonda se dissipasse pela mesa onde foi realizado o ensaio. Foram realizadas duas medições,

sendo que sempre que se verificou diferença superior a 5% entre elas, se realizou uma terceira medição. Os pontos de realização das medições são apresentados na Figura 3.31.

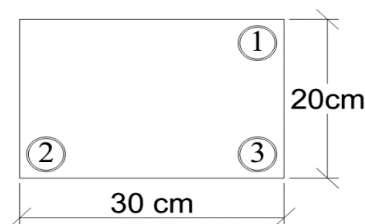


Figura 3.31 – Pontos de medição do coeficiente de condutibilidade térmica.

Importante referir que se escolheu sempre o ponto mais afastado da medição anterior para realização de nova medição, uma vez que o calor transmitido pelo aparelho no ponto anterior poderia causar erro na leitura seguinte devido à sua influência na avaliação da condutibilidade térmica. A sequência de trabalhos está documentada graficamente na Figura 3.32.



Figura 3.32 – Sequência de trabalhos do ensaio de condutibilidade térmica: a) equipamento em funcionamento; b) posicionamento da sonda; c) leitura do equipamento.

3.8.3 DUREZA SUPERFICIAL

O ensaio de dureza superficial avalia, de forma não destrutiva e como o próprio nome indica, a dureza superficial apresentada pelas argamassas. O ensaio foi realizado no presente trabalho em argamassas aplicadas em suporte de tijolo, seguindo a norma americana ASTM D2240-00 (ASTM, 2000) que apesar de não falar da sua aplicação em argamassas é geralmente utilizada para avaliação da dureza de revestimentos. Para a realização deste ensaio utilizou-se um durómetro Shore A (Figura 3.33 a), o que se aplica melhor a materiais mais macios, como o caso das argamassas de terra quando comparado com argamassas cimentícias.

O equipamento é constituído por um pino com uma mola intrínseca, sendo que a aplicação de uma carga padronizada faz com que o pino penetre a argamassa e recolha simultaneamente para o interior do equipamento, avaliando assim o quanto a argamassa se deixa penetrar (Figura 3.33 b). Consoante a maior ou menor penetração que a argamassa permite, move-se um ponteiro sobre uma escala analógica, obtendo-se indicação da resistência à penetração. A escala analógica do aparelho apresenta valores entre 0 e 100 (Figura 3.33 c) e para os diferentes intervalos desses valores atribuem-se classes de dureza do material ou do seu estado de

conservação. Essas classes foram atribuídas empiricamente. A classificação foi feita segundo a apresentada por Tavares (2009).



Figura 3.33 – Medição da dureza superficial das aplicações executadas: a) durômetro Shore A; b) aplicação da carga; c) leitura do durômetro.

3.8.4 RESISTÊNCIA À ABRASÃO

O ensaio de resistência à abrasão foi realizado no presente trabalho seguindo as indicações da norma alemã DIN 18947 (NABau, 2013) e permite avaliar a resistência a abrasão de argamassas de reboco, no caso deste trabalho, argamassas de terra.

Para a realização deste ensaio utilizou-se uma escova de dureza média, colocada perpendicularmente ao plano da argamassa aplicada no suporte, aplicando a escova uma força de 2 quilogramas na superfície do reboco (Figura 3.34 a). De seguida aplicaram-se 20 rotações na escova, sendo que essas 20 rotações foram aplicadas num intervalo entre 15 e 25 segundos perfazendo aproximadamente uma rotação por segundo (Figura 3.34 b). Após as 20 rotações da escova, avaliou-se a resistência à abrasão pela pesagem do material destacado. Contudo, uma vez que a pesagem do material destacado se torna um processo complicado, visto que facilmente se perde amostra, optou-se por pesar o conjunto argamassa-suporte, antes e após cada ensaio (Figura 3.34 c). Assim, por diferença entre pesagens, foi possível conhecer a massa de material destacado.



Figura 3.34 – Sequência de trabalhos do ensaio de resistência à abrasão: a) posicionamento do tijolo no equipamento; b) aplicação da rotação da escova; c) pesagem do provete.

3.8.5 ADERÊNCIA AO SUPORTE

O ensaio de aderência ao suporte foi realizado em rebocos executados sobre tijolos. Foram realizados 3 ensaios de aderência ao suporte por família e idade da argamassa, neste caso às datas de 90 e 120 dias. A força necessária ao arrancamento foi exercida pela prensa utilizada para os ensaios de resistência mecânica de provetes prismáticos. O procedimento seguiu a norma EN-1015-12:2000 (CEN, 2000).

Antes da realização dos ensaios e com um período mínimo de 24 horas, com recurso a uma coroa denteada, fizeram-se 3 incisões circulares na argamassa até ficar perfeitamente visível o suporte de tijolo. Desta forma foi possível criar três amostras circulares de reboco perfeitamente independentes do restante reboco executado. Uma vez que as argamassas de terra apresentam fraca resistência, as incisões circulares foram feitas manualmente (Figura 3.35 a) recorrendo sempre a um aspirador para ir retirando dos orifícios a argamassa desagregada (Figura 3.35 b). A argamassa desagregada foi retirada por aspiração uma vez que agiria como agente abrasivo, tornando o diâmetro da incisão maior do que o estritamente necessário. Após realização das incisões colaram-se as pastilhas com recurso a cola epóxi bi-componente de secagem rápida. O procedimento para a colagem das pastilhas passou pela mistura de partes iguais dos dois componentes da cola, misturando-os com recurso à fricção entre duas pastilhas, até obter uma mistura de cor uniforme. O passo seguinte foi colar as pastilhas metálicas ao reboco (Figura 3.35 c).



Figura 3.35 – Realização das incisões para o ensaio de aderência ao suporte: a) realização das incisões circulares; b) aspiração do material desagregado; c) pastilhas coladas no reboco.

Volvidas 24 horas realizou-se o ensaio de aderência ao suporte aplicando, com recurso a uma prensa adaptada, uma carga com velocidade pré-definida (Figura 3.36 b). Obteve-se no software da prensa a força necessária para mobilizar a rotura e o conseqüente arrancamento da pastilha (Figura 3.36 b). Em seguida, e dando-se uma rotura adesiva entre a argamassa e o suporte ou rotura coesiva da argamassa, foram medidos 2 diâmetros ortogonais da argamassa aderente à pastilha (Figura 3.36 c).

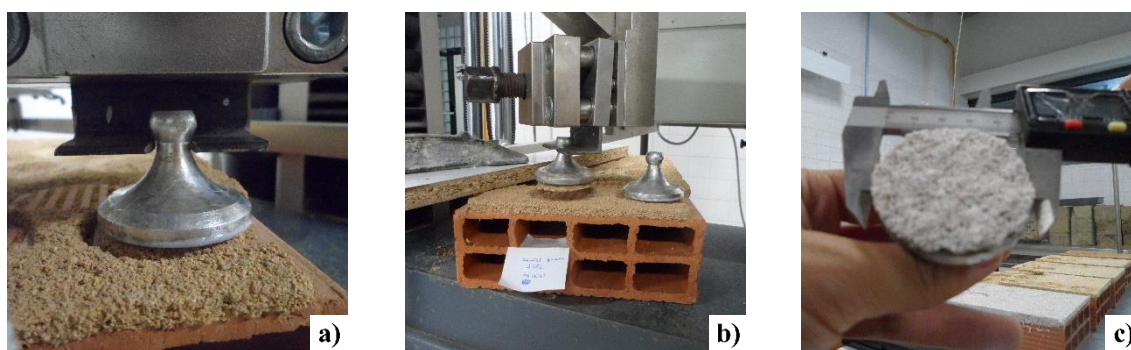


Figura 3.36 – Sequência de trabalhos do ensaio de aderência ao suporte: a) início da aplicação da carga; b) arrancamento das pastilhas; c) medição do diâmetro da argamassa aderente à pastilha.

3.8.6 ESCLERÓMETRO PENDULAR

O ensaio com esclerómetro pendular (Figura 3.37 a), também conhecido como martelo de Schmidt, foi utilizado no presente trabalho para averiguar indiretamente a resistência à compressão de argamassas de reboco aplicadas em suporte de tijolo, em função da sua dureza superficial. No presente trabalho este ensaio foi realizado em pequenas amostras e não em paramentos verticais revestidos com argamassas de terra, como seria mais adequado. O procedimento utilizado é o descrito na norma ASTM C805-08 (ASTM, 2008).

Para a realização do ensaio foi necessário encostar corretamente o esclerómetro ao revestimento a ensaiar. De seguida acionou-se um botão que libertou uma massa pendular que percorreu 180° até embater no revestimento. No presente trabalho o equipamento foi utilizado na vertical, no entanto, pode também ser utilizado na horizontal para a avaliação da dureza de pavimentos. No momento de embate entre a massa pendular e o revestimento, alguma da energia é dissipada, resultando a energia restante num ressalto, até o pêndulo ficar em repouso. No momento de repouso registou-se, com recurso à escala representada no aparelho, o ângulo de ressalto obtido, correspondente ao índice esclerométrico (Figura 3.37 b). O ângulo de ressalto atribuído é correlacionável com a resistência de compressão da argamassa e com o seu estado de conservação, sendo que quanto mais baixo o ângulo de ressalto, mais baixa será a resistência à compressão do revestimento.

Uma vez que o ensaio não foi realizado num murete ou parede existente, houve necessidade de garantir que todos os tijolos estavam em condições semelhantes. Desta forma, o ensaio foi realizado com os diversos tijolos das diferentes famílias devidamente encostados a uma parede resistente em betão armado (Figura 3.37 c). Além disso, evitou-se realizar o ensaio sobre os septos do tijolo, realizando-o sempre sobre o oco, uma vez que a realização sobre os septos resultaria num maior ressalto e, conseqüentemente, na atribuição de maior resistência mecânica do reboco. Assim, tal como no ensaio apresentado no ponto 3.8.3, as classes de dureza e de estado de conservação foram atribuídas por classificação empírica. A avaliação do ensaio descrito foi também realizada segundo a classificação proposta por Tavares (2009).

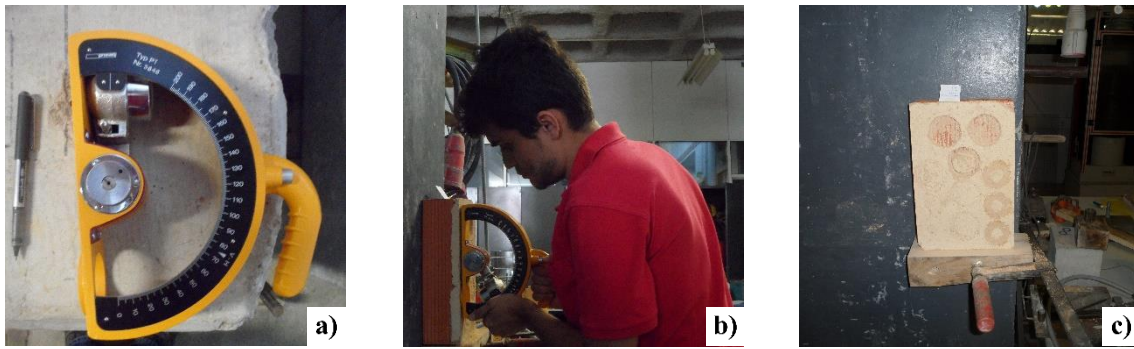


Figura 3.37 – Medição do ângulo de ressalto com esclerómetro pendular: a) esclerómetro pendular; b) acionamento do esclerómetro; c) aplicação adjacente a parede resistente.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No presente capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais realizados às argamassas em estudo. Os resultados apresentados foram obtidos com recurso aos procedimentos descritos no Capítulo 3.

As argamassas foram caracterizadas, como já referido anteriormente, através de ensaios sobre o estado fresco, estado endurecido e sobre argamassas aplicadas no suporte e essa será a ordem pela qual serão seguidamente apresentados e discutidos os resultados. Os ensaios sobre as argamassas no estado endurecido e aplicadas no suporte foram realizados aos 60 e aos 90 dias de idade. Os resultados serão sempre apresentados em ambas as datas (60 e 90 dias de idade) nos mesmos quadros e gráficos, com o fim de se avaliar a eventual evolução das características observadas.

4.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO SOBRE O ESTADO FRESCO

Os ensaios realizados sobre o estado fresco permitiram caracterizar as argamassas especialmente quanto às suas questões de trabalhabilidade.

Apresentam-se no Quadro 4.1, todos os resultados obtidos nos ensaios sobre o estado fresco das cinco famílias de argamassas estudadas, bem como a relação percentual de água/material sólido utilizada na execução das diferentes argamassas.

Quadro 4.1 – Características de estado fresco das argamassas estudadas.

Família	Relação Água/Material sólido (%)	Espalhamento Médio (mm)		Massa Volúmica (kg/m ³)		Teor de Vazios (%)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
AgAR	24%	168,7	5,0	1928,9	9,0	5,6%	1,3%
AgAR+25C	24%	170,7	3,2	1940,1	7,4	5,2%	1,6%
Ag25C_AR	22%	168,0	5,8	1924,6	5,5	5,2%	0,8%
Ag_AR25C	23%	163,9	3,5	1927,7	16,9	4,7%	0,6%
CA _R	20%	172,0	5,3	1922,4	2,1	5,3%	1,0%

4.2.1 CONSISTÊNCIA POR ESPALHAMENTO

Seguindo os dados expostos no Quadro 4.1 apresentam-se graficamente na Figura 4.1, os valores médios de espalhamento observados, bem como o desvio-padrão, das amostras de argamassa levadas a ensaio. Representa-se também, na mesma figura, o intervalo de valores utilizados para delimitar o espalhamento; recorde-se que, um espalhamento entre 160 mm e 176 mm confere às argamassas de terra uma trabalhabilidade ideal (ver ponto 3.6.1).

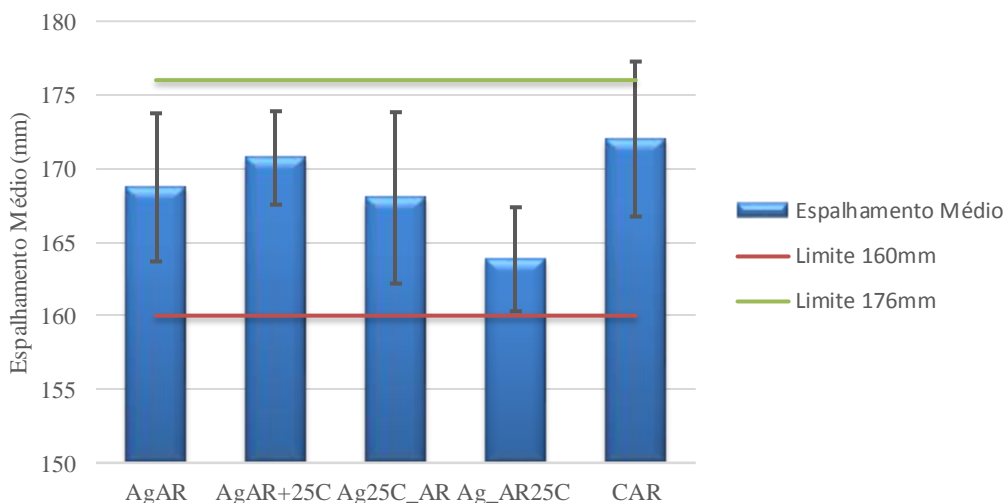


Figura 4.1 – Representação gráfica dos resultados do ensaio de consistência por espalhamento.

Importante referir, mais uma vez, que a relação água/material sólido foi encontrada com a condição que o espalhamento ficasse delimitado entre 160 e 176mm, valor que, segundo Gomes (2013), faz com que as argamassas se apresentem excelentes do ponto de vista da trabalhabilidade. Com uma breve observação se denota que o maior espalhamento foi apresentado pela família CA_R e o maior desvio padrão pela família A_{g25C_AR} . A família CA_R é a única em que o valor médio \pm desvio padrão não está compreendido no intervalo que vai de 160 mm a 176 mm, ultrapassando ligeiramente o limite superior.

Como já referido anteriormente, este ensaio foi utilizado para encontrar relação água/material sólido que tornasse as argamassas ideais do ponto de vista da trabalhabilidade. Ao garantir que os espalhamentos observados nas diversas famílias estavam contidos no intervalo considerado, foi possível garantir, de certa forma, que as argamassas eram reprodutíveis e comparáveis entre si.

Uma conclusão que se pôde retirar foi que a inclusão de cal aumentou ligeiramente a trabalhabilidade da argamassa, permitindo atingir espalhamentos dentro do intervalo previsto com necessidade de utilização de menos água. Foi também possível observar essa característica da cal através da comparação entre as famílias A_{gA_R} e A_{gA_R+25C} que, apesar de apresentarem a mesma relação água/material sólido, registaram diferenças no espalhamento, sendo que a família onde foi adicionada cal apresentou valores superiores. De referir que nas restantes famílias em que foi incluída cal aérea se verificou redução do espalhamento médio, no entanto, estas famílias apresentam relações água/material sólido inferiores (ver ANEXO B).

4.2.2 MASSA VOLÚMICA NO ESTADO FRESCO

Ainda de acordo com o Quadro 4.1, apresentam-se graficamente na Figura 4.2, os resultados referentes ao ensaio da massa volúmica no estado fresco. Apresentam-se valores médios e desvios padrão para cada uma das famílias.

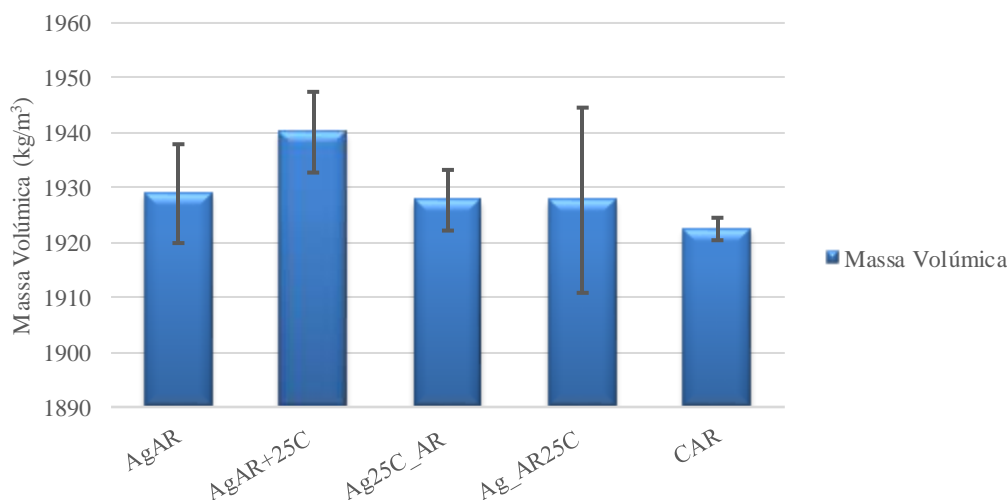


Figura 4.2 – Resultados obtidos no ensaio de massa volúmica no estado fresco.

Observando a Figura 4.2, a maior massa volúmica média observada pertence à família A_gA_R+25C , enquanto que o desvio padrão mais elevado pertence à família $A_g_A_R25C$. A menor massa volúmica e o menor desvio padrão observam-se ambos na família CA_R .

A análise dos resultados do ensaio de massa volúmica no estado fresco permite retirar algumas conclusões diretas. Para a discussão de alguns desses resultados relembrem-se, no Quadro 4.2, as baridades dos materiais utilizados para execução das argamassas.

Quadro 4.2 – Baridade dos constituintes das argamassas.

Constituinte	Baridade (kg/m³)
Terra-Padrão	1130.36
Areia do Rio	1440.56
Cal Aérea	517.89

É possível verificar que a família A_gA_R+25C , família cujo traço contempla a adição em massa de 25% de cal, é aquela que apresenta maior massa volúmica, devido ao facto de incluir maior massa de material sólido. Para além da família A_gA_R+25C , as restantes famílias que contêm terra como material apresentam valores de massa volúmica no estado fresco muito semelhantes. Esses valores são justificados por todas as famílias apresentarem massas de material sólido iguais, uma vez que as substituições realizadas foram sobre percentagens de massa. Verificam-se algumas variações entre as massas volúmicas, no entanto são variações muito ligeiras.

Comparando os resultados de duas distintas argamassas estudadas por Santos (2014), observou-se em:

- argamassas de terra pré-doseada, massas volúmicas superiores às do presente trabalho na ordem dos 100 a 200 kg/m³;
- argamassas formuladas em laboratório, mais especificamente as argamassas de traço 1:3 (terra: areia grossa) e 1:3 (terra: areia fina), os resultados foram da ordem dos 2000 kg/m³, muito próximos dos apresentados na presente campanha experimental. Importante referir a diferença entre materiais utilizados, especialmente a terra que apresenta grande variação de características consoante as localizações de onde são extraídas.

Observando os resultados de Gomes (2013), que utiliza a mesma terra, terra-padrão, os seus resultados são inferiores em cerca de 100 kg/m³ para argamassas com e sem inclusão de cal aérea. Importante referir que o traço volumétrico utilizado no presente trabalho, 1:4 (terra; areia) foi diferente do da autora referida, 1:3 (terra; areia), o que justifica a menor massa volúmica apresentada nos resultados da autora. Ao comparar com resultados de Gomes (2013) foi possível verificar que não existiram diferenças significativas para o uso da mesma terra.

Fazendo uma comparação breve a argamassas de cimento, que apresentam massas volúmicas da ordem dos 2000-2200 kg/m³ (Mendonça, 2007; Martins, 2008; Faustino, 2011), as argamassas de terra estudadas apresentam massa ligeiramente inferior por unidade de volume.

4.2.3 TEOR DE VAZIOS

Os resultados para o ensaio do teor de vazios das diversas famílias de argamassa estudadas estão explanados no Quadro 4.1 e na Figura 4.3.

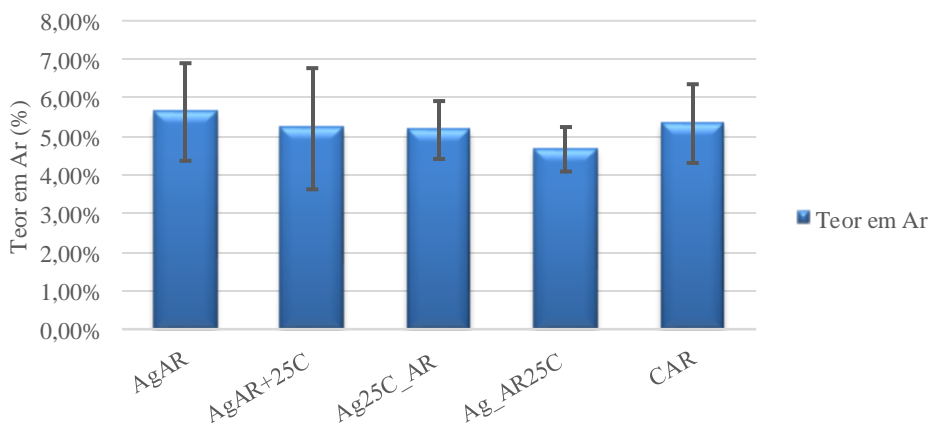


Figura 4.3 – Resultados obtidos no ensaio de teor de vazios.

Denota-se, através da observação do gráfico, que os valores médios de volume de vazios são bastante aproximados entre si e que alguns dos desvios padrão são ligeiramente elevados.

A análise de resultados a este ensaio indica uma grande aproximação no volume de vazios apresentado pelas várias famílias de argamassas estudadas, com resultados compreendidos entre os 4,7% e os 5,6%. A família Ag_AR25C, família em que houve uma substituição mássica de

areia por cal aérea, apresenta o teor de vazios mais baixo. Tendo a cal granulometria muito fina e a areia a maior das granulometrias dos materiais usados, é compreensível que o volume de vazios tenha reduzido. Como seria também de esperar, a adição e substituição de cal fez com que os valores de vazios fossem inferiores, uma vez que a cal ocupa com maior facilidade os poros, reduzindo as dimensões destes. No entanto não se tratou de uma diminuição significativa.

Observando os resultados de Santos (2014) para uma argamassa de terra pré-doseada, verificam-se teores de vazios significativamente inferiores aos das argamassas estudadas no presente trabalho, com valores da ordem dos 2,5%, em oposição aos valores de 4,7% a 5,6%. Olhando aos resultados de Jamú (2013) para argamassas de cal aérea, com substituição de cal por terra, verificaram-se valores bastante aproximados aos do presente trabalho, com a autora a apresentar valores de teor de vazios de 4% a 5%.

Segundo Faustino (2011) o valor médio para argamassas de cimento foi de 6% de volume de vazios, com os ensaios realizados com o mesmo equipamento. Já segundo Mendonça (2007) e Martins (2008) que usaram respetivamente traços de 1:3 e 2:7 (cimento: areia) os valores apresentados foram de 8% e 10,9%. Segundo estes dados, as argamassas de terra estudadas apresentaram valores inferiores de teor de vazios em comparação com argamassas de cimento. No entanto, pode existir influência de diversos fatores, tal como a granulometria do agregado que, segundo Haddad et al. (2016), influencia os valores do teor de ar das argamassas.

4.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO SOBRE O ESTADO ENDURECIDO

Os ensaios sobre o estado endurecido foram realizados, como já referido, por forma a avaliar características de resistência e o comportamento hídrico das argamassas.

4.3.1 MASSA VOLÚMICA APARENTE

No Quadro 4.3 e Figura 4.4 apresentam-se os resultados para a massa volúmica aparente, medida nos provetes prismáticos de dimensões 160x40x40 mm.

Quadro 4.3 – Resultados obtidos no ensaio de massa volúmica aparente.

Família	Massa Volúmica Aparente (kg/m ³)			
	60 dias		90 dias	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
A _g A _R	1655,95	28,68	1653,90	12,02
A _g A _R +25C	1720,45	7,24	1707,19	6,91
A _g 25C_A _R	1681,99	12,76	1677,65	13,05
A _g _A _R 25C	1692,76	16,09	1703,92	16,07
C _A _R	1619,65	5,38	1669,62	14,96

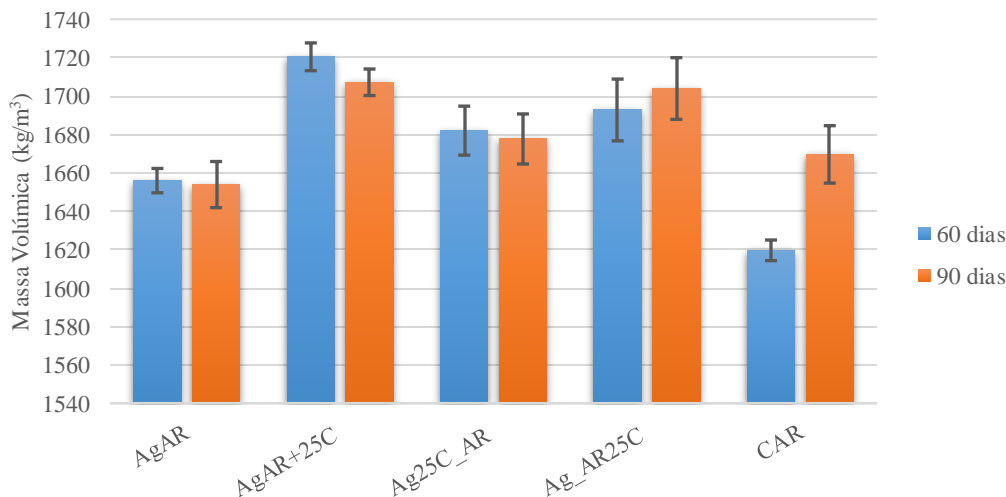


Figura 4.4 – Representação gráfica de resultados do ensaio de massa volúmica aparente.

Através da observação direta do Quadro 4.3 e Figura 4.4, denota-se que a maior massa volúmica, quer aos 60 dias quer aos 90 dias de idade é observada na família A_gA_R+25C . Essa característica já tinha sido observada no estado fresco. Este fato deve-se à maior quantidade de massa de material sólido que esta argamassa apresenta.

O ensaio deu resultados com alguma proximidade entre os 60 e os 90 dias, não havendo variações significativas de massa e volume no intervalo de 30 dias que separa as duas idades. Observa-se, no entanto, a clara exceção da família CA_R , que aumentou em cerca de 50 kg/m^3 entre idades, podendo dever-se à carbonatação da cal.

Uma das conclusões mais óbvias que se pode tirar da análise deste ensaio é que a massa volúmica no estado fresco é superior em cerca de 200 kg/m^3 à massa volúmica no estado endurecido, o que é expectável visto que no estado fresco a água exerce influência na massa registada.

Os resultados apresentados na presente campanha experimental mostram-se mais uma vez aproximados aos de Gomes (2013), ainda que ligeiramente superiores, como já se teria verificado na massa volúmica no estado fresco. A proximidade de resultados verificou-se, inclusive, nas famílias com adição ou substituição de cal aérea hidratada. Importante referir novamente que, nas argamassas da autora acima referida, existe menor volume de areia podendo justificar a menor massa por unidade de volume. Os resultados obtidos apresentam-se ainda no mesmo intervalo de valores das argamassas estudadas por Santos (2014), da ordem dos 1800 kg/m^3 quer para uma argamassa de terra pré-doseada, quer para as argamassas de traço 1:3 (terra: areia grossa) e 1:3 (terra: areia fina).

Comparando os resultados obtidos com os de argamassas de cimento (Mendonça, 2007; Martins, 2008; Faustino, 2011) verificam-se mais uma vez massas volúmicas inferiores para as argamassas de terra como já se tinha observado no ensaio de massa volúmica no estado fresco.

4.3.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

De seguida, apresentam-se no Quadro 4.4 e na Figura 4.5 os resultados obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico.

Quadro 4.4 – Resultados obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico.

Família	Módulo de Elasticidade Dinâmico, E_d (MPa)			
	60 dias		90 dias	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
AgAR	1906,31	25,49	1850,67	20,04
AgAR+25C	1698,13	56,88	1715,69	12,79
Ag25C_AR	1988,17	33,53	1872,25	20,29
Ag_AR25C	1812,69	22,95	1799,55	53,90
CA _R	2084,70	107,37	2222,75	95,19

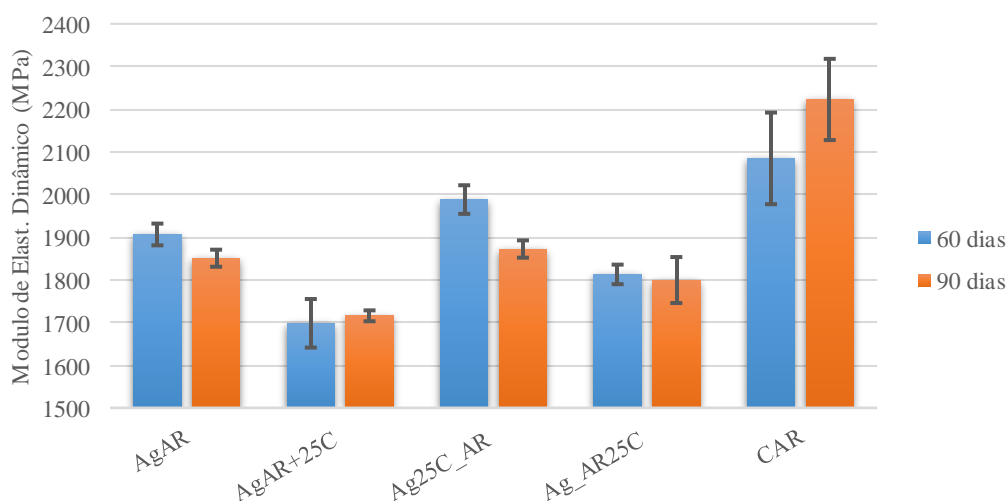


Figura 4.5 – Representação gráfica de resultados do módulo de elasticidade dinâmico.

Em todas as famílias, os resultados observados em ambas as idades são bastante próximos e com desvios padrão relativamente baixos, à exceção da família CA_R que apresenta com desvios-padrão mais significativos.

Os resultados do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico permitiram obter informações acerca da rigidez das argamassas estudadas. Importante referir novamente que o ensaio foi realizado com provetes “completamente” secos em oposição à indicação da norma que prevê, para ensaios sobre betão, o uso de provetes saturados.

Observando os resultados, em mais de metade das famílias, verificou-se um decréscimo do módulo de elasticidade dinâmico com a evolução temporal, algo que não seria expectável nas argamassas com cal, uma vez que se esperava o aumento de rigidez em função do tempo. Pode ainda ser observado um aumento no módulo de elasticidade para as argamassas com maior percentagem de cal, como a argamassa $A_g A_R + 25C$ e a CA_R , ainda que ligeiro na primeira argamassa.

Comparando os resultados a outros de argamassas de terra formuladas por Santos (2014), os resultados do presente trabalho apresentaram-se significativamente inferiores, com as argamassas da autora, traços 1:3 (terra: areia grossa) e 1:3 (terra: areia fina), a exibirem valores entre os 3500 e os 4000 MPa. Comparando com os resultados de Gomes (2013), que utiliza também a terra-padrão como ligante, verifica-se que os resultados do presente trabalho são significativamente superiores aos apresentados pela autora. A autora apresenta para a argamassa de traço 1:3 (terra-padrão: areia) valores da ordem dos 1000 MPa. Já para as famílias com inclusão de cal os valores encontram-se entre os 500 e 700 MPa, dependendo da percentagem de inclusão. Estes valores apresentam-se dispares em relação aos do presente trabalho, com diferenças superiores a 1000 MPa em alguns dos casos. A diferença de valores não seria expectável, esperando-se resultados da mesma ordem de grandeza.

Comparando os resultados aos de argamassas de cimento, é possível verificar um módulo de elasticidade significativamente inferior, em consequência, verifica-se a menor rigidez das argamassas de terra, como será expectável. Olhando a resultados de Silva (2008) para um traço 1:1:4 (Cimento, cal, areia), o traço mais próximo dos apresentados em termos de relação ligante/agregado, verifica-se um módulo de elasticidade dinâmico de 8000 MPa, quatro vezes superior aos resultados obtidos nestas argamassas.

Módulos de elasticidades baixos caracterizam argamassas com uma baixa rigidez, o que será favorável para a reabilitações ou mesmo construções cujas paredes também apresentem uma baixa rigidez.

4.3.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR FLEXÃO

No Quadro 4.5 e na Figura 4.6. apresenta-se a média dos resultados do ensaio resistência à tração por flexão de três provetes por família, bem como o desvio padrão observado.

Quadro 4.5 – Valores obtidos no ensaio de resistência à tração por flexão.

Família	Resistência à tração por flexão (MPa)			
	60 dias		90 dias	
	Média	Desvio-Padrão	Média	Desvio-Padrão
A_gAR	0,18	0,01	0,25	0,01
A_gAR+25C	0,24	0,02	0,26	0,03
A_g25C_AR	0,27	0,01	0,31	0,04
A_g_AR25C	0,24	0,03	0,32	0,05
CA_R	0,15	0,04	0,27	0,02

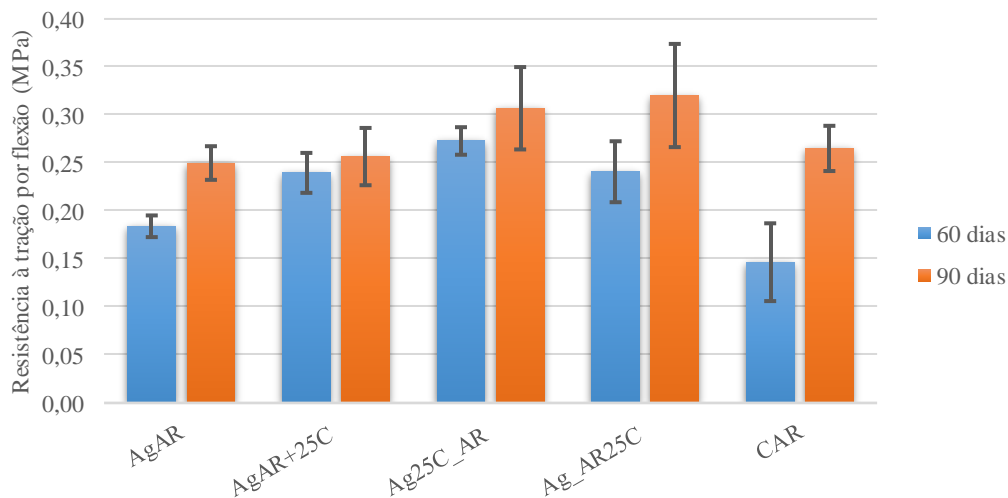


Figura 4.6 – Resultados obtidos no ensaio de resistência à tração por flexão.

Como seria de esperar, os valores para as resistências à tração por flexão apresentam-se muito baixos quando comparados com as habituais argamassas de cimento utilizadas na atualidade. Algo que se pôde observar foi a evolução entre os 60 e os 90 dias de idade dos provetes, visto que para todas as famílias a resistência média aumentou, algo que era à partida expectável. É possível verificar que a cal aérea contribui positivamente para a resistência, em especial com o aumento da idade do provete. Dado que a cal aérea tem um longo processo para obtenção de resistências máximas será expectável que a longo prazo a argamassa CA_R adquira valores muito superiores aos apresentados e obtenha o maior valor quando comparado com as restantes argamassas. Contudo, esta afirmação não será analisada dado o pouco tempo para a realização do trabalho.

Aos 60 dias de idade a família que apresenta melhor resistência à tração por flexão é a família A_g25C_AR. Aos 90 dias a família A_g_AR25C apresenta os melhores resultados.

Foi nas famílias em que se executou a substituição de uma percentagem de terra e areia por cal que se verificaram os melhores resultados. A família em que a substituição foi feita na massa de terra, A_g25C_AR, apresentou melhores resultados aos 60 dias de idade. A família cuja

substituição foi feita na massa de areia, A_g-A_R25C, apresentou os melhores resultados médios aos 90 dias de idade.

Observando os resultados de Gomes (2013) que apresenta valores próximos de 0,20 MPa para o traço 1:3 (terra-padrão; areia), é possível verificar alguma proximidade aos valores do presente trabalho. No entanto, ao contrário do que se verificou na presente campanha experimental, os resultados da autora acima referida mostram que a inclusão de cal aérea nos constituintes da argamassa faz com que a resistência à tração por flexão seja inferior. A autora apresenta valores entre 0,07 e 0,15 MPa dependendo da percentagem de inclusão de cal aérea, verificando-se que os valores da presente campanha experimental são superiores em cerca do dobro para alguns dos casos. É importante referir que a autora utilizou percentagem inferiores de cal aérea, o que pode justificar não só as resistências mais baixas, mas também o facto da inclusão de cal em baixas percentagens ser penalizadora para a resistência à tração por flexão.

Comparando com resultados de Santos (2014) verifica-se não existir grande dispersão de resultados, com valores de resistência à tração por flexão da ordem dos 0,27±0,04 MPa para argamassas pré-doseadas de terra, valores muito aproximados aos verificados aos 90 dias de idade das argamassas estudadas no presente trabalho. Já nos resultados da autora para as argamassas fabricadas em laboratório, 1:3 (terra: areia grossa) e 1:3 (terra: areia fina), os valores foram aproximadamente 0,20 MPa, valores que, apesar de relativamente inferiores a alguns dos resultados observados nesta campanha experimental encontram-se dentro do mesmo intervalo.

Em relação às resistências de argamassas de cimento, a comparação é muito difícil, uma vez que estas apresentam resultados 10 ou mais vezes superiores relativamente à resistência à tração por flexão de argamassas de terra, como se pode observar nos resultados apresentados por Mendonça (2007) e Martins (2008), que são respetivamente 4,5 MPa para um traço 1:3 (cimento: areia) e 3,3 MPa para um traço 2:5 (cimento areia). Os resultados de Faustino (2011) mostram inclusive que aos dois dias de idade, os provetes por si estudados, apresentam resistência de 7,1 MPa, um valor 23 vezes superior ao valor máximo apresentado pelas argamassas estudadas neste trabalho. A resistência à flexão aos 28 dias das argamassas de Faustino (2011) foi de 9,8 MPa.

4.3.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

No Quadro 4.6 e na Figura 4.7, encontram-se os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão. Os valores apresentados na tabela resultaram da média e desvio padrão de 6 amostras (ver 3.7.3), resultantes da rotura por flexão de 3 provetes. Importante relembrar que a força foi exercida numa área de compressão de aproximadamente 40x40 mm.

Quadro 4.6 – Valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Família	Resistência à Compressão (MPa)			
	60 dias		90 dias	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
A_gA_R	0,67	0,07	0,80	0,06
A_gA_R+25C	0,62	0,01	0,65	0,02
$A_g25C_A_R$	0,68	0,03	0,70	0,04
$A_g_A_R25C$	0,65	0,02	0,73	0,02
CA_R	0,59	0,03	0,69	0,10

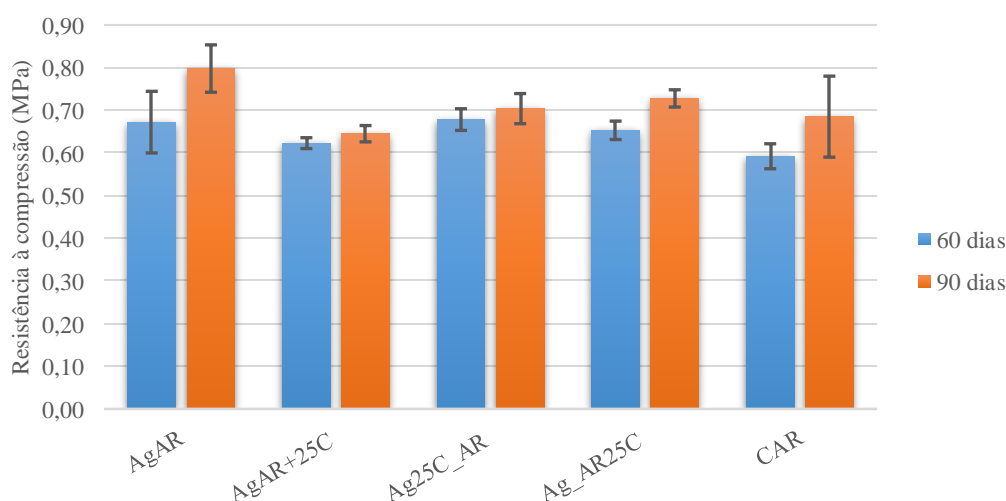


Figura 4.7 – Representação gráfica dos resultados de resistência à compressão.

Como seria expectável os valores de resistência à compressão apresentam-se muito superiores aos valores obtidos para a resistência à tração por flexão (mais do dobro em todos os casos). Em termos de evolução temporal, os resultados obtidos para a resistência à compressão aos 60 dias mostraram-se inferiores aos dos 90 dias de idade. Observando o mesmo comportamento nos resultados obtidos para a resistências à tração por flexão.

No entanto, ao contrário do observado no ensaio de resistência a tração por flexão, é a família A_gA_R a apresentar os melhores resultados aos 90 dias e aos 60 dias apresentou o segundo melhor resultado. No ensaio de resistência à tração por flexão verificou-se ainda que a resistência mecânica aumentou com a adição ou substituição de cal, no entanto e como se comprovou pela observação do Quadro 4.6 e na Figura 4.7, tal não aconteceu no ensaio de compressão uniaxial; A_gA_R apresenta valores mais elevados quando comparando com as argamassas que têm cal na sua constituição, especialmente aos 90 dias.

Analisando mais uma vez os resultados obtidos por Gomes (2013) para o traço 1:3 (terra-padrão; areia) voltam a verificar-se resultados algo semelhantes, da ordem dos 0,50 MPa. Para os traços com inclusão de cal os resultados da autora apresentam-se inferiores, com valores

entre os 0,10 e os 0,30 MPa, aumentando a resistência à medida que se aumenta a percentagem de inclusão de cal aérea. De revelar, mais uma vez, que a autora utiliza menor quantidade de ligante cal aérea, o que mais uma vez pode justificar as resistências mais baixas. Verifica-se novamente, segundo os resultados obtidos pela autora acima referida, que a cal aérea penaliza a resistência à compressão, algo que também se observou no presente trabalho com diferenças muito menos significativas. O ensaio de resistência à compressão foi um dos ensaios de avaliação das resistências mecânicas que permitiu observar a influência negativa da cal aérea. Comparando com resultados de Santos (2014) para uma argamassa de terra pré-doseada, as argamassas do presente trabalho apresentam valores inferiores aos da autora; que apresenta valores de 1,07 MPa, algo superiores aos verificados na presente campanha experimental. A mesma autora apresentou para as argamassas formuladas em laboratório valores de aproximadamente 2,0 MPa, superiores em mais de 1 MPa às argamassas de terra estudadas.

Comparando novamente os resultados aos de argamassas de cimento de Mendonça (2007), Martins (2008), que apresentam valores de 18,8 MPa e 15,8 MPa, respetivamente, verifica-se que as argamassas de terra apresentam resultados bastante inferiores no capítulo da resistência à compressão. No caso das argamassas de Faustino (2011) verifica-se, inclusivamente, que as resistências à compressão de argamassas de cimento aos 2 dias de idade são já bastante superiores às de argamassas de terra, mesmo aos 90 dias.

4.3.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Nas Figuras 4.8 e 4.9, apresenta-se a curva referente ao ensaio de absorção de água por capilaridade. Importante referir que cada curva representada resulta do valor médio da absorção de 3 provetes, à exceção do ensaio de 90 dias da família A_gA_R para o qual foram usados apenas 2 provetes, por desagregação do terceiro antes da realização do ensaio.

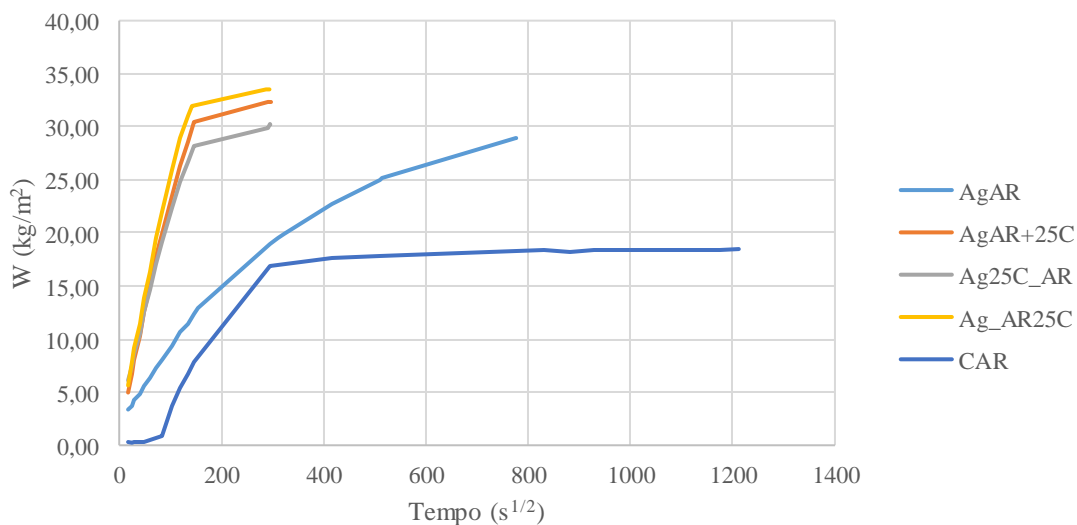


Figura 4.8 – Curva de absorção de água por capilaridade, 60 dias.

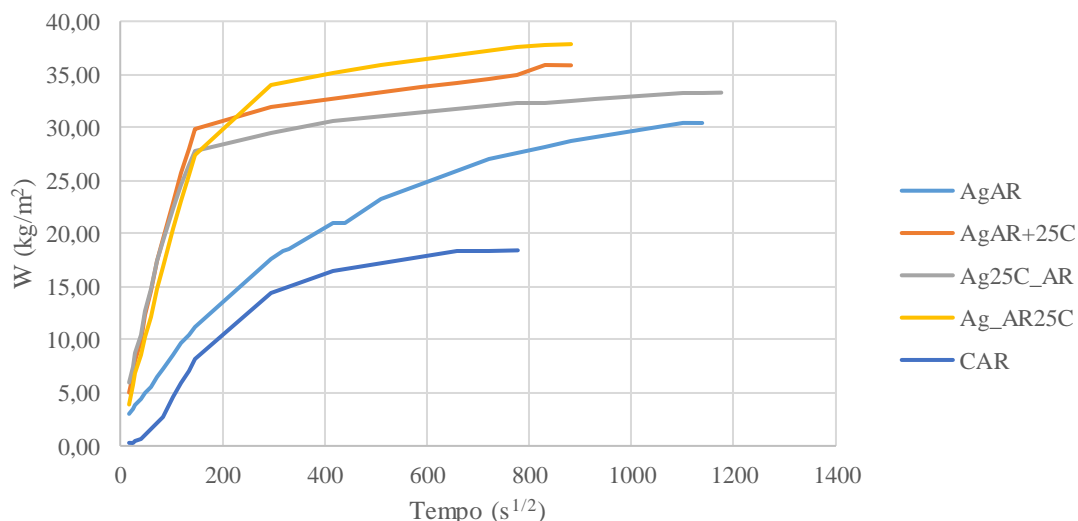


Figura 4.9 - Curva de absorção de água por capilaridade, 90 dias.

As Figuras 4.8 e 4.9 apresentam as curvas de absorção capilar, observadas nos ensaios aos 60 e 90 dias, curvas essas em que o declive do primeiro trecho linear dá a indicação do coeficiente de capilaridade. No Quadro 4.7 observam-se os coeficientes de capilaridade obtidos para cada família e correspondente idade da argamassa.

Quadro 4.7 – Valores médios do coeficiente de capilaridade.

Família	Coeficiente de Capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$)	
	60 dias	90 dias
AgAR	0,070	0,064
AgAR+25C	0,203	0,192
Ag25C_AR	0,173	0,171
Ag_AR25C	0,211	0,181
CAR	0,067	0,046

É importante referir que quanto mais baixo for o coeficiente de capilaridade menor é a velocidade com que água ascende pela estrutura porosa da argamassa. Esta é uma característica importante nas argamassas de reboco na medida em que se pretende que a humidade ascensional seja lenta e controlável.

Os coeficientes de capilaridade mais baixos são apresentados pelas famílias AgAR e pela família CAR, o que indica que estas são as argamassas estudadas que têm absorção capilar mais lenta quer aos 60 quer aos 90 dias de idade.

Em todas as famílias se verificou uma redução do coeficiente de capilaridade com a evolução do tempo, nos 30 dias de diferença entre as duas datas de ensaio. Observando-se então a redução da velocidade de absorção com o avanço da idade da argamassa.

No ensaio de absorção de água por capilaridade, em especial aos 60 dias, a saturação completa de alguns dos provetes não foi atingida. Esta ocorrência pode ser verificada na Figuras 4.8, uma vez que as curvas representadas não atingem completamente o patamar horizontal (ver ponto 2.7.2). É ainda de referir que na família A_gA_R , aos 60 e 90 dias, não foi atingido o ponto de inflexão entre o primeiro e segundo troço da curva característica de absorção capilar, não se chegando a manifestar o segundo troço, tendente para assintota horizontal.

Verifica-se ainda que a inclusão de cal aérea como adição e substituição prejudica significativamente o coeficiente de capilaridade, tornando a absorção de água por capilaridade bastante mais rápida. Nestas argamassas a franja capilar atingiu a superfície do provete em pouco mais de 6 horas de ensaio. A absorção de água por capilaridade ocorre de forma mais rápida quanto mais finos forem os poros no material. Uma das explicações possíveis para o aumento do coeficiente de capilaridade nas argamassas com cal poderá dever-se à diminuição dos poros pela incorporação da cal aérea (que é um material fino) reduzindo a dimensão destes.

Comparando com as argamassas de terra de Gomes (2013), verificaram-se coeficientes de capilaridade relativamente diferentes. Para os traços de terra e areia a autora apresentou valores da ordem dos $0,15 \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1/2}$, valores próximos do dobro dos apresentados na presente campanha laboratorial. Já para o caso das argamassas com inclusão de cal os valores foram significativamente diferentes, com valores entre $0,22$ e $0,50 \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1/2}$, da menor para a maior percentagem de inclusão de cal. Enquanto que a argamassa com menor percentagem de inclusão de cal, 5 %, se apresenta com valores bastante próximos aos obtidos no presente trabalho, a argamassa com maior percentagem de inclusão de cal, 15 %, apresenta coeficientes de capilaridade bastante superiores. Seria de esperar maior proximidade de valores com a argamassa com 15 % de inclusão de cal, uma vez que este valor se aproxima mais aos 25 % utilizados neste trabalho. A autora verificou uma tendência crescente no coeficiente de capilaridade à medida que se aumenta a percentagem de inclusão de cal aérea. Esta ocorrência não se verificou no presente trabalho, uma vez que as adições e substituições de 25 % de cal do presente trabalho apresentaram coeficientes de capilaridade inferiores aos das argamassas com inclusão de 15% de cal aérea formuladas por Gomes (2013). No entanto, foi possível corroborar o facto que a inclusão de cal aérea aumenta significativamente a velocidade de absorção das argamassas, uma vez que a autora referida chegou exatamente à mesma conclusão.

Segundo Gomes (2013), as argamassas por si estudadas em que houve a inclusão de cimento na mistura apresentaram coeficientes de capilaridade maiores, sendo que a inclusão de cimento afetou a velocidade de absorção de água por capilaridade das argamassas de terra. Segundo Martins (2008) as argamassas de cimento por si estudadas apresentam coeficientes de capilaridade de aproximadamente $0,10$ e $0,08 \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1/2}$ para traços de 2:5 e 2:7 (cimento:

areia) respetivamente, valores ligeiramente superiores aos apresentados pelas argamassas da família A_gA_R e CA_R no presente trabalho, mas bastante inferiores aos das restantes famílias.

4.3.6 SECAGEM

Nas Figuras 4.10 e 4.11 apresentam-se as curvas características do ensaio de secagem para as duas datas de ensaio estudadas, 60 e 90 dias, respetivamente.

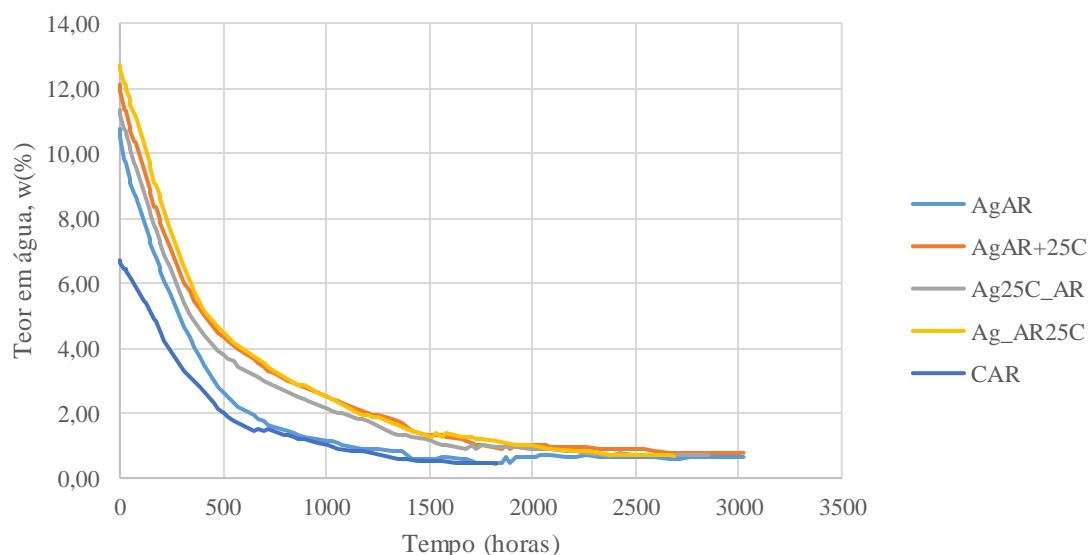


Figura 4.10 – Curva de secagem, 60 dias.

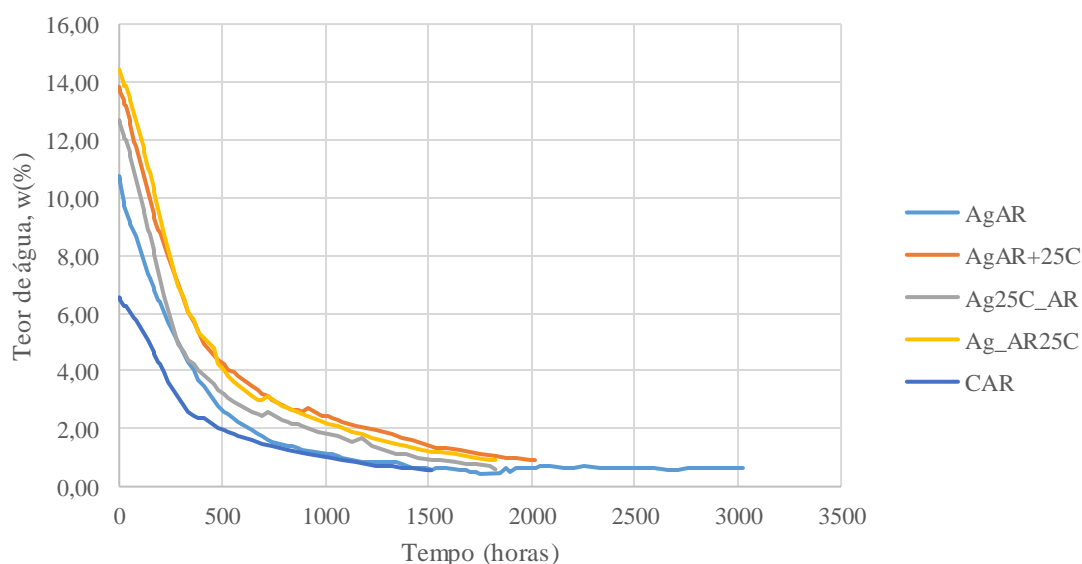


Figura 4.11 – Curva de secagem, 90 dias.

Uma vez que, como já referido (ver ponto 4.3.5), alguns dos provetes não atingiram a saturação completa no ensaio de absorção de água por capilaridade, poderão existir erros nos resultados relativos ao ensaio de secagem. Em relação aos provetes da família A_gA_R , que não chegaram a

atingir o troço horizontal na curva de absorção capilar os erros eventualmente observados podem ser ainda maiores.

Além dos erros já referidos, aos 90 dias muitas das argamassas não chegam a atingir o troço tendente para assintota horizontal no ensaio de secagem (ver Figura 4.11), algo que também pode introduzir erros nos resultados observados no ensaio de secagem. O troço horizontal não foi atingido, uma vez que, devido às baixas variações de massa verificadas se deu, erradamente, o término ao ensaio.

Verificam-se nas curvas de secagem das várias famílias alguns picos de aspeto semelhante, provavelmente devidos a variações de humidade e temperatura verificadas na sala onde se realizava o ensaio (ver ANEXO C).

Através das Figuras 4.10 e 4.11, onde estão representadas as curvas de secagem em função do tempo, é possível observar que o declive do troço inicial das curvas de secagem para cada uma das argamassas é semelhante, à exceção da CA_R. Verifica-se assim, que as argamassas apresentam um comportamento de secagem inicial idêntico, ou seja, a velocidade com que perdem água no estado líquido é semelhante.

No Quadro 4.8 e na Figura 4.12 apresentam-se as taxas de secagem obtidas às 48 horas ensaio. As taxas correspondem ao declive do primeiro troço linear da curva de evaporação, que expressa a água absorvida por unidade de área em função do tempo. Assim sendo, quanto maior for o declive tanto mais rápido se processará a secagem inicial, logo maior valor na taxa de secagem.

Quadro 4.8 – Valores médios da taxa de secagem.

Família	Taxa de Secagem 48 horas (kg/m ² .h)			
	60 dias		90 dias	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
A _g A _R	0,090	0,010	0,070	0,001
A _g A _R +25C	0,076	0,004	0,060	0,002
A _g 25C_A _R	0,062	0,005	0,060	0,002
A _g _A _R 25C	0,059	0,003	0,052	0,001
CA _R	0,028	0,004	0,028	0,003

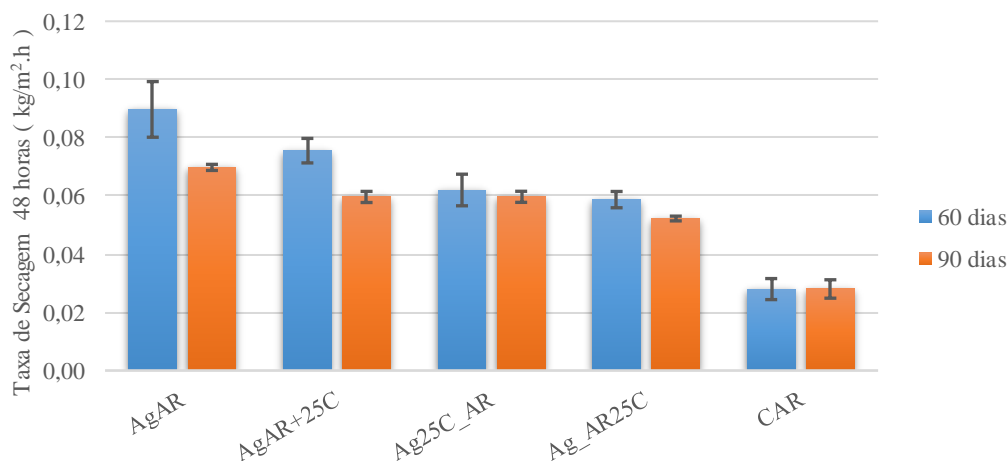


Figura 4.12 – Representação gráfica dos valores da taxa de secagem.

Observando o Quadro 4.8 e a Figura 4.12 denota-se um decréscimo na taxa de secagem proporcional ao avanço da idade da argamassa. A família com maior taxa de secagem aos 60 dias é a família A_gA_R+25C (se não contabilizarmos com a argamassa A_gA_R , pelo que já foi referido) e aos 90 dias a família $A_g_A_R25C$. Denota-se ainda que a taxa decresce gradualmente da primeira para a última família aos 60 dias, tendo um comportamento aproximadamente semelhante aos 90 dias.

Como referido o valor da taxa de secagem dá a indicação da velocidade de secagem da argamassa. Assim sendo, quanto mais elevado for esse valor, mais rapidamente se dá a secagem da argamassa, algo que interessa pois permite a eliminação mais rápida de humidade.

Verificou-se através dos resultados obtidos que a adição e substituição de cal aérea foi responsável pela diminuição da taxa de secagem das argamassas em estudo, apresentando as argamassas de cal e areia o valor mais baixo para a taxa de secagem, apresentando assim uma secagem mais lenta. Verificou-se ainda a diminuição da taxa de secagem com a evolução da idade da argamassa, o que indica que as argamassas de 90 dias se apresentaram de secagem mais lenta.

Recorrendo às curvas apresentadas nas Figuras 4.10 e 4.11 e à equação [2.1] (ver ponto 2.7.2), obteve-se, para as diversas famílias, o índice de secagem, calculado para as 1512 horas de ensaio (este índice só poderá ser comparável para cálculos com o mesmo tempo final). No Quadro 4.9 apresentam os valores médios do índice de secagem para as duas idades em que se realizaram os ensaios, esses valores são depois representados graficamente na Figura 4.13.

Quadro 4.9 – Valores médios do índice de secagem.

Família	Índice de Secagem			
	60 dias		90 dias	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
A _g A _R	0,259	0,023	0,387	0,000
A _g A _R +25C	0,345	0,024	0,317	0,014
A _g 25C_A _R	0,329	0,024	0,276	0,016
A _g _A _R 25C	0,342	0,002	0,302	0,015
C _A R	0,308	0,025	0,307	0,026

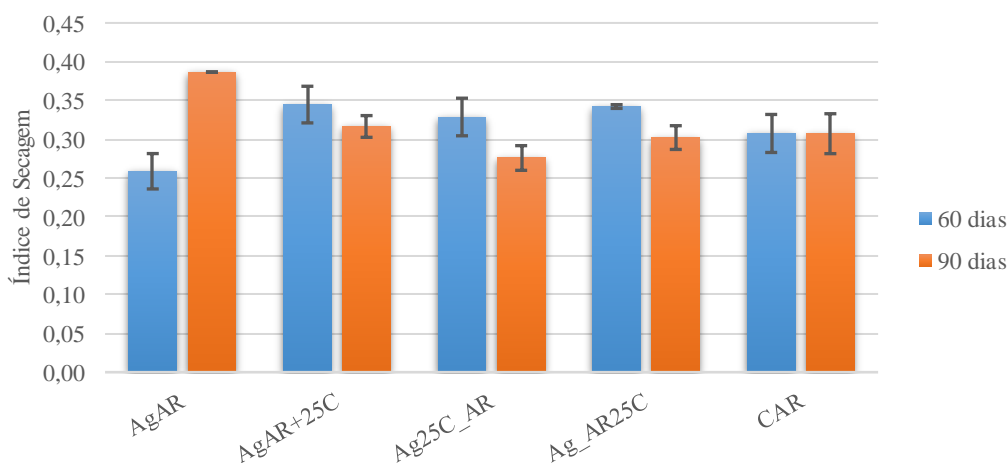


Figura 4.13 – Representação gráfica dos valores de índice de secagem.

Importante referir que o desvio padrão associado aos 90 dias de idade da família A_gA_R foi igual a zero porque o cálculo resultou apenas do valor associado a um provete, visto que um dos provetes se desagregou durante o ensaio de capilaridade e o outro antes da realização deste mesmo ensaio.

O índice de secagem apresenta-se como uma medida quantitativa de avaliação da secagem de um provete. Quanto maior for o índice de secagem mais lenta será a secagem, demorando mais tempo a atingir o valor assintótico de teor de água.

Nas argamassas estudadas, aos 60 dias a família A_gA_R manifestou-se como a de secagem mais rápida, apresentando o menor índice de secagem. Contudo, como já se referiu dever-se-á ter algumas reservas quanto a este valor. Aos 60 dias de idade foi possível verificar que a adição de cal prejudicou os resultados, aumentando o índice de secagem das argamassas e consequentemente o tempo que estas demoram a secar. No entanto, o mesmo não se verificou aos 90 dias uma vez que a família A_gA_R apresentou um valor de índice de secagem bastante superior ao observado aos 60 dias, o que difere da tendência apresentada no resto das famílias em que o índice de secagem diminuiu em função da maior idade da argamassa. Assim sendo, aos 60 dias a família A_gA_R exibiu o melhor comportamento enquanto que, aos 90 dias, o melhor comportamento foi apresentado pela família A_g25C_A_R. Fica ainda a ressalva que aos 90 dias

apenas um provete da família A_gA_R não se desagregou durante o ensaio de absorção de água por capilaridade, não sendo possível verificar o resultado desviado obtido para o índice de secagem na idade já referida.

Comparando com valores de 90 dias de Gomes (2013), $0,10 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$, para as argamassas sem inclusão de cal, os valores de taxa de secagem do traço 1:4 (terra-padrão: areia) do presente trabalho apresentaram-se bastante semelhantes. Para as argamassas com inclusão de cal os valores da autora, também da ordem dos $0,10$ a $0,11 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$, foram próximos do dobro dos valores verificados no presente trabalho. Os resultados referentes ao índice de secagem foram significativamente superiores aos apresentados pela autora. Gomes (2013) apresenta valores da ordem dos $0,15$ para o índice de secagem de argamassas com e sem inclusão de cal aérea, os valores observados na presente campanha experimental são cerca do dobro, na maioria dos casos. Salienta-se, no entanto, a ligeira diferença no traço e no tempo para o qual o índice de secagem foi calculado. Além do traço, os resultados da autora acima referida foram observados em provetes cúbicos com arestas de 50 mm , enquanto que no presente trabalho foram utilizados provetes prismáticos com dimensões $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}$.

Importante referir que os resultados do índice e taxa de secagem revelaram incompatibilidades entre si. O que se pôde observar foi que o avanço da idade da argamassa foi, de forma geral, penalizador para a taxa de secagem, algo que não se verificou para o índice de secagem. Desta forma, pode-se concluir alguma incompatibilidade verificada entre ambos, especialmente no que concerne ao avanço da idade da argamassa. Pode ainda concluir-se que a adição de cal piora o comportamento na secagem das argamassas.

Ao longo da realização do ensaio alguns problemas ocorreram, nomeadamente a rotura da impermeabilização utilizada, mais especificamente junto à superfície de secagem (imagem ilustrativa na Figura 4.14). No entanto, os elementos destacados foram sempre pesados com o provete. Este problema fez com que em algumas argamassas a área de secagem deixasse de ser os $40 \times 40 \text{ mm}$, aumentando ligeiramente. A secagem deixou também de ser completamente unidirecional.



Figura 4.14 – Rotura do material de impermeabilização.

4.3.7 RETRAÇÃO LINEAR E VOLUMÉTRICA

O ensaio de retração linear e volumétrica deu como resultado, a variação dimensional em termos percentuais dos provetes de argamassas de terra utilizados. No Quadro 4.10, apresentam-se os valores médios de três provetes por família, bem como os respectivos desvios padrão.

Quadro 4.10 – Resultados do ensaio de retração linear e volumétrica.

Família	Retração (%)			
	Linear		Volumétrica	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
AgAR	0,00	0,00	8,75	0,59
AgAR+25C	0,00	0,00	0,83	0,00
Ag25C_AR	0,00	0,00	3,33	0,00
Ag_AR25C	0,00	0,00	5,26	1,29
CAR	0,00	0,00	0,00	0,00

No caso da retração linear verificou-se, para todas as famílias, que foi nula, justificando as médias e desvios-padrão iguais a zero. Para a retração volumétrica, os valores de zero verificados nos desvios padrão justificam-se pela igualdade de volume de todos os provetes da mesma família. Uma vez verificada a igualdade de volume obteve-se, conseqüentemente, a igualdade dos valores de retração volumétrica. Visto que os valores de retração linear foram, para todas as famílias, iguais a zero, apenas se apresentam graficamente os resultados da retração volumétrica (Figura 4.15).

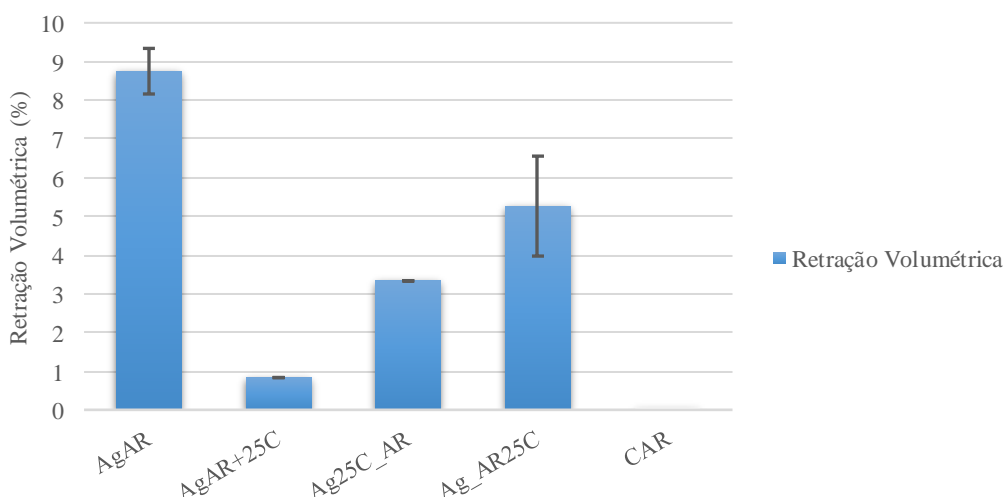


Figura 4.15 – Representação gráfica do ensaio de retração volumétrica.

Em termos de retração volumétrica verificaram-se os dois valores que se destacam por se apresentarem bastante mais elevados que os restantes, sendo nomeadamente AgAR e Ag_AR25C, estas famílias apresentam também os maiores desvios padrão. Denota-se ainda a ausência de retração volumétrica nos provetes da família CAR.

O ensaio de retração linear e volumétrica revelou resultados bastante positivos com todos os provetes a apresentarem retração linear nula.

A retração volumétrica dos provetes deu-se, na quase totalidade das vezes, pela variação dimensional da largura do provete, uma vez que na grande maioria dos casos a altura se manteve igual à altura do molde e, como já referido, todos os provetes apresentaram valores nulos de retração na maior dimensão.

Gomes (2013) apresenta para as suas argamassas de terra-padrão e argamassas de terra-padrão com inclusão de cal aérea, valores de retração linear entre 1 % e 2 % e valores de retração volumétrica entre 4 % e 7 %, com a cal aérea a ser responsável quer pelo aumento da retração linear, quer pelo aumento da retração volumétrica. Os valores do presente trabalho corroboram os valores baixos de retração linear apresentados pela autora, mas revelam, para algumas das argamassas, valores ligeiramente superiores para a retração volumétrica. No entanto os valores de retração volumétrica apresentam-se num intervalo aproximadamente semelhante. No presente trabalho, e ao contrário do verificado por Gomes (2013) a inclusão de cal nas argamassas conteve ligeiramente a retração volumétrica, sendo os valores ligeiramente inferiores aos apresentados pela argamassa sem cal aérea como constituinte. No entanto, como a variação não é significativa e a amostra não tinha grande dimensão, não se podem tomar como os resultados obtidos como conclusão absoluta.

4.4 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO SOBRE ARGAMASSAS APLICADAS EM SUPORTE

Os ensaios de caracterização de argamassas aplicadas no suporte foram executados de modo a avaliar características de resistência e características hídricas das argamassas em estudo. Realizou-se ainda um ensaio relacionado com o comportamento térmico da argamassa.

4.4.1 ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO (TUBOS DE KARSTEN)

O ensaio de absorção de água sob baixa pressão gerou, por vezes, resultados bastante diferenciados em ensaios realizados na argamassa após aplicada ao suporte. Por esse mesmo motivo, sentiu-se a necessidade de apresentar os resultados da totalidade dos ensaios, uma vez que traçar curvas médias seria penalizador; além de ser penalizador, os resultados obtidos estariam longe de ser verdadeiros. Desta forma, por todos os motivos acima apresentados, apresentam-se nas Figuras 4.16 a 4.20 a totalidade dos ensaios, divididos por família.

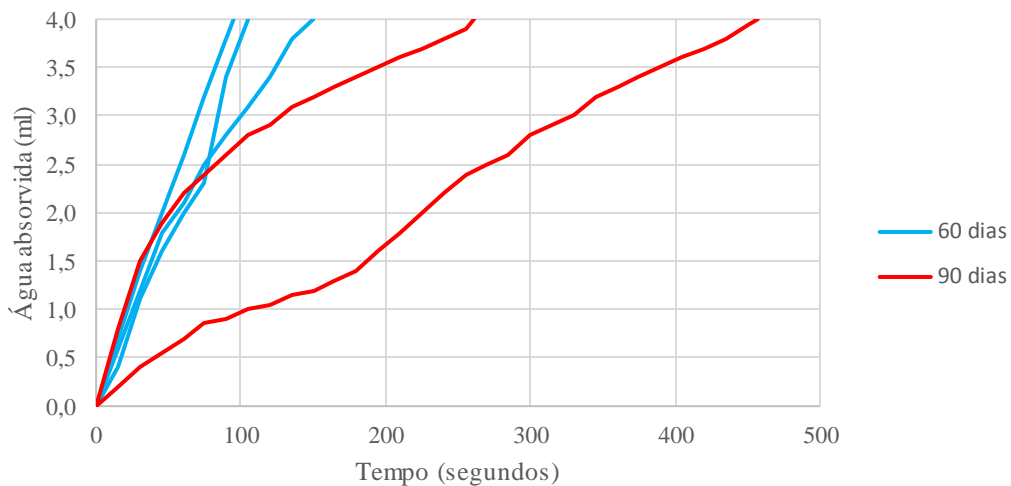


Figura 4.16 – Curva de absorção de água sob baixa pressão, família A_{gAR} .

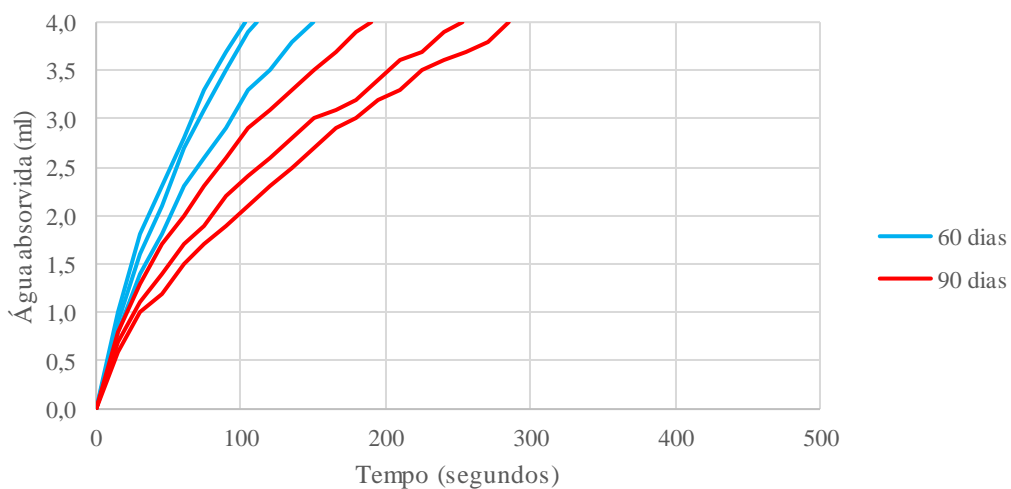


Figura 4.17 – Curva de absorção de água sob baixa pressão, família $A_{gAR+25C}$.

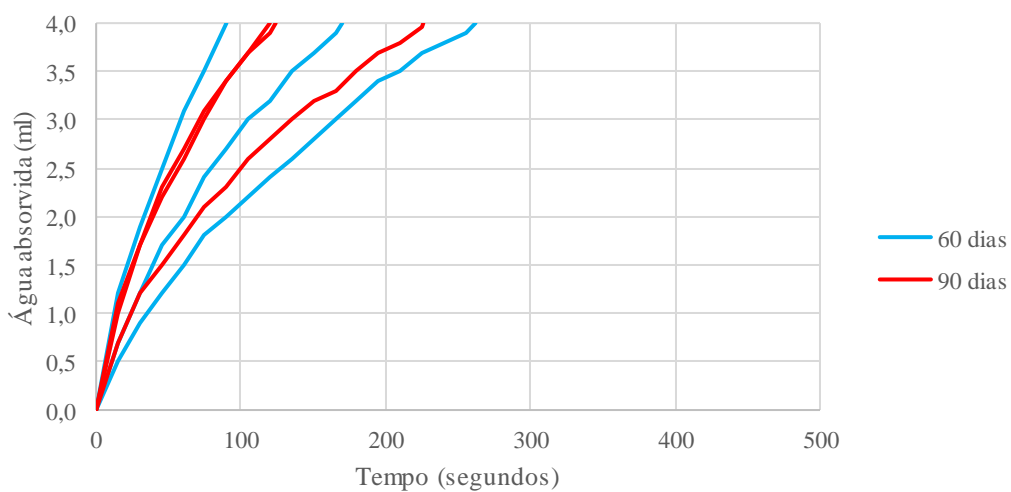


Figura 4.18 – Curva de absorção de água sob baixa pressão, família A_{g25C_AR} .

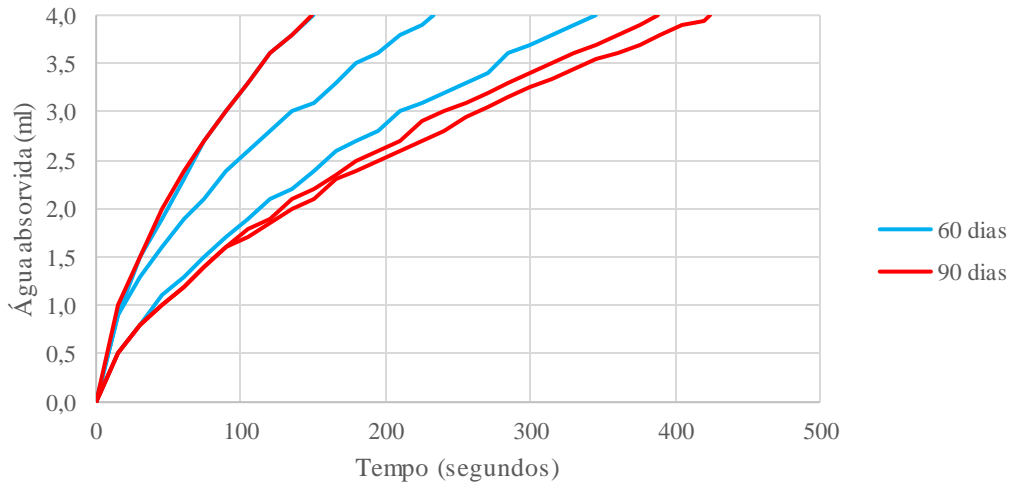


Figura 4.19 – Curva de absorção de água sob baixa pressão, família A_g_AR25C .

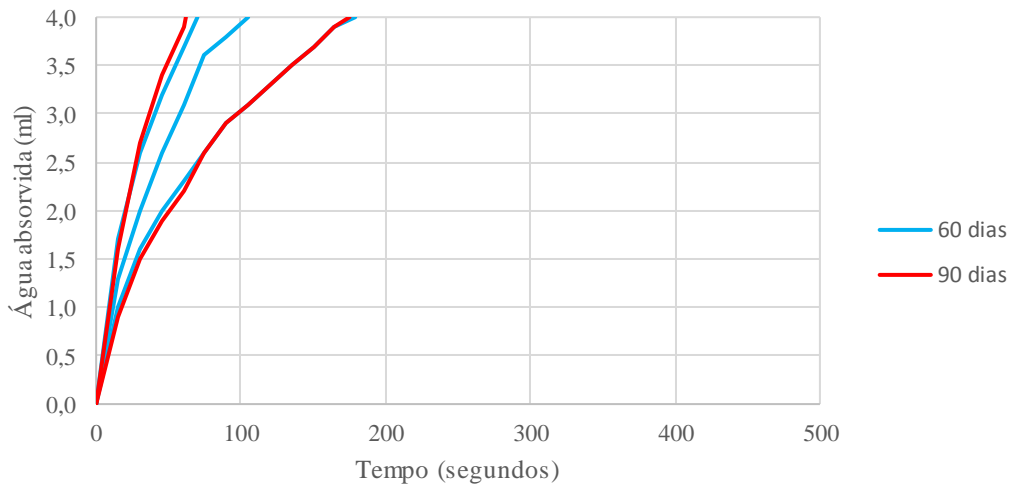


Figura 4.20 – Curva de absorção de água sob baixa pressão, família CA_R .

Como se pode ver nas curvas acima apresentadas, não existe um padrão bem definido, apresentando o ensaio, resultados dispersos e difícil análise. Verificou-se o melhor comportamento (mais tempo para absorver 4 mililitros de água) para as famílias A_gA_R e A_g_AR25C à data referente aos 90 dias. Nas duas primeiras famílias, A_gA_R e A_gA_R+25C , denota-se evolução proporcional ao tempo, no entanto nas restantes famílias os resultados apresentam-se mistos e até algo intercalados entre si. Não obstante do já referido, denota-se por vezes que algumas das curvas de absorção apresentam-se bastante próximas entre si, mesmo comparando entre os 60 e 90 dias de idade. De referir que aos 90 dias as famílias A_gA_R e CA_R apresentam apenas dois resultados, por eliminação de um terceiro francamente anómalo.

A justificação para os diferentes tempos observados para a absorção de 4 ml de água, dentro de argamassas da mesma família, pode ter sido a rugosidade do revestimento. A existência de vazios, não visíveis, em certos pontos do reboco pode também ter contribuído para uma absorção mais rápida.

Havendo correlação entre o ensaio de absorção de água por capilaridade e o ensaio dos tubos de Karsten, seria de esperar que as argamassas da família A_gA_R tivessem melhor comportamento do que as que tem cal como adição ou substituição, algo que se verificou de certa forma. Uma vez que os dados foram bastante inconclusivos, optou-se por não os comparar aos de argamassas de cimento.

4.4.2 CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

Apresentam-se Quadro 4.11 e Figura 4.21 os resultados obtidos na avaliação do coeficiente de condutibilidade térmica.

Quadro 4.11 – Resultados obtidos para o coeficiente de condutibilidade térmica.

Família	Coef. de Condutibilidade Térmica, λ (W/(m.K))			
	60 dias		90 dias	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
A_gA_R	0,37	0,01	0,50	0,05
A_gA_R+25C	0,44	0,02	0,77	0,01
$A_g25C_A_R$	0,51	0,01	0,56	0,10
$A_g_A_R25C$	0,46	0,07	0,49	0,02
CA_R	0,34	0,03	0,40	0,06

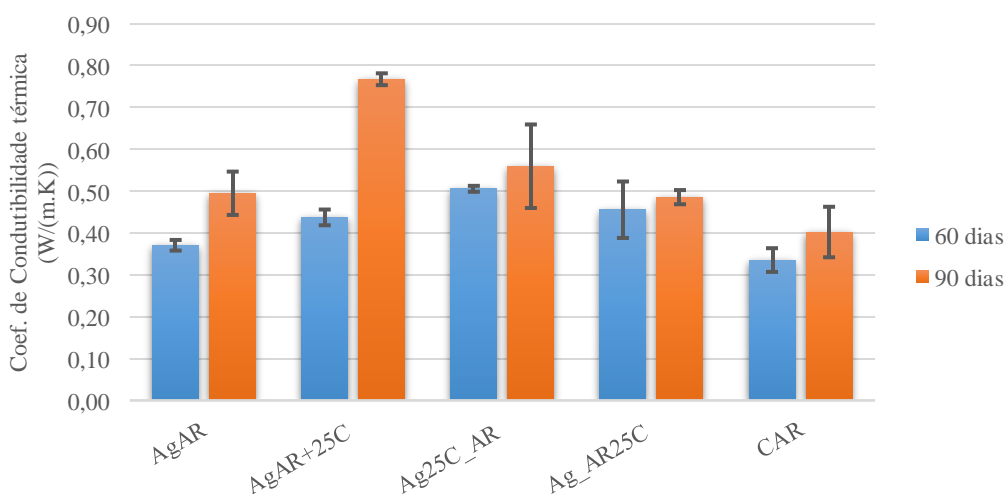


Figura 4.21 – Representação gráfica dos resultados do coeficiente de condutibilidade térmica.

O ensaio de condutibilidade térmica deu como resultado o coeficiente de condutibilidade térmica, o principal dado para a avaliação da capacidade que um material tem em transmitir energia térmica.

Através da análise dos resultados, verificou-se em todas as famílias um aumento do coeficiente de condutibilidade térmica entre as duas idades. No entanto, os desvios padrão são, em geral, mais significativos aos 90 dias. O aumento do coeficiente de condutibilidade térmica dita, por si só, a diminuição do comportamento térmico da argamassa. O teor de humidade de uma

argamassa tem forte influência no seu coeficiente de condutibilidade térmica (Soares et al., 2014), no entanto nos 30 dias de diferença entre datas de ensaio, a temperatura e humidade relativa médias mantiveram-se bastante semelhantes às dos dias anteriores. Desta forma não será exetável que tenha havido influência do teor de humidade no aumento do coeficiente de condutibilidade térmica entre as duas idades da argamassa.

O melhor comportamento foi observado pela família CA_R, cujo traço contempla apenas cal aérea e areia como constituintes sólidos da argamassa. Este melhor comportamento repetiu-se aos 60 e 90 dias de idade. Das famílias cuja terra-padrão se apresenta como constituinte principal, o melhor comportamento foi apresentado pela família A_gA_R aos 60 dias e pela família A_g-A_R25C aos 90 dias.

Para melhor compreender os resultados obtidos neste ensaio e, de forma a conseguir qualificar corretamente o comportamento dos rebocos de terra estudados, foi importante a comparação de valores com argamassas de cal e cimento utilizadas para rebocos e assentamento de alvenarias. Os valores para a massa volúmica aparente seca e para o coeficiente de condutibilidade térmica para argamassas de reboco e de assentamento de tijolo (cimento ou cal) apresentam-se no Quadro 4.12.

Quadro 4.12 – Coeficiente de condutibilidade térmica de argamassas de reboco e assentamento, adaptado de Pina dos Santos et al. (2006).

Argamassas (cimento ou cal) de reboco e de assentamento de tijolos	Massa volúmica aparente seca (kg/m³)	Coef. de Condutibilidade Térmica (W/m.°C)
Argamassas e rebocos tradicionais	1800-2000	1,30
	>2000	1,80
Argamassas e rebocos não-tradicionais	500-750	0,30
	750-1000	0,40
	1000-1250	0,55
	1250-1450	0,70
	1450-1600	0,80
Argamassas e rebocos de cal e areia ou de argamassa bastarda	1600	0,80

Sabendo que a massa volúmica aparente seca das argamassas estudadas se encontra no intervalo entre 1650 e 1750 kg/m³, facilmente se depreende que essas mesmas argamassas de terra apresentam um melhor comportamento em relação a argamassas de cal e cimento usadas para rebocos tradicionais e não-tradicionais e cujas massas volúmicas estejam incluídas no intervalo de valores acima referido.

O ITE 50 indica ainda valores para a massa volúmica aparente seca e para o coeficiente de condutibilidade térmica para materiais como agregados, terras e ainda técnicas construtivas em terra, estando representados esses valores no Quadro 4.13.

Quadro 4.13 – Coeficientes de condutibilidade térmica de inertes, solos ou terra, adaptado de Pina dos Santos et al. (2006).

Inertes, solos ou Terras	Massa volúmica aparente seca (kg/m ³)	Coef. de Condutibilidade Térmica (W/m.°C)
Areia, gravilha, seixo, brita	1700-2200	2,00
Argila ou lodo	1200-1800	1,50
Adobe, taipa, BTC	1770-2000	1,10

Comparando com os valores dos habituais sistemas construtivos em terra (adobe, taipa e blocos de terra comprimida) verifica-se que as argamassas executadas apresentam valores inferiores aos das paredes em terra. No entanto, esta significativa diferença entre valores pode dever-se à pouca espessura do reboco em que foi realizado o ensaio. De qualquer forma, o que se verificou no presente trabalho foi o melhor comportamento das argamassas de terra em relação aos valores apresentados em ITE50 para argamassas de cal e cimento.

Para espessuras semelhantes, Santos (2014) apresenta valores médios aproximados de 0,9 W/(m.K) para o coeficiente condutibilidade térmica de uma argamassa pré-doseada. Esses valores são ligeiramente superiores, mas de grandeza semelhante aos obtidos na campanha experimental do presente trabalho. Para os traços 1:3 (terra: areia grossa) e 1:3 (terra: areia fina), os valores obtidos por Santos (2014) para provetes circulares de 20 mm de espessura, foram também da ordem dos 0,8 a 0,9 W/(m.K). Importante referir que os ensaios de Santos (2014) e os do presente trabalho, foram realizados exatamente no mesmo equipamento e na mesma sala de temperatura e humidade condicionadas.

4.4.3 DUREZA SUPERFICIAL

O ensaio de dureza superficial, cujos resultados são seguidamente apresentados no Quadro 4.14 e Figura 4.22, foi realizado sobre faces laterais dos rebocos, uma vez que estas exibiam rugosidades menos significativas. As rugosidades afetariam negativamente os resultados de dureza, devido ao mecanismo de funcionamento do durómetro utilizado. Por esse motivo, optou-se pela realização do ensaio sobre os locais que apresentavam rugosidades menos significativas.

Quadro 4.14 – Resultados obtidos no ensaio de dureza superficial.

Família	Dureza Superficial			
	60 dias		90 dias	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
A _g A _R	75,10	9,18	85,50	8,05
A _g A _R +25C	78,20	4,16	80,30	6,04
A _g 25C_A _R	76,80	13,08	72,90	8,84
A _g _A _R 25C	74,30	5,66	88,60	3,50
C _A R	77,50	6,35	91,10	3,28

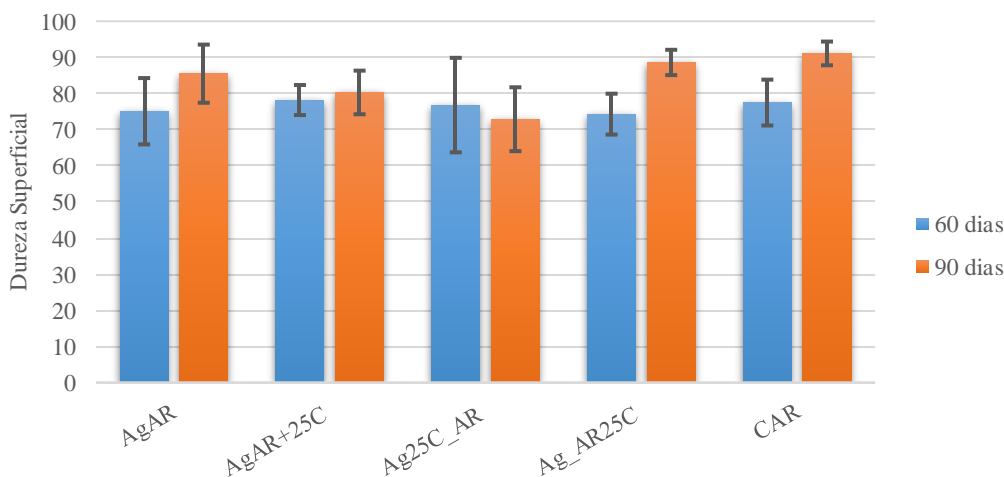


Figura 4.22 – Representação gráfica de resultados do ensaio de dureza superficial.

Denota-se, através de observação direta do Quadro 4.14 e da Figura 4.22, que na quase totalidade das famílias, é possível verificar evolução da dureza em função da evolução do tempo, à exceção da família Ag_{25C}_AR. Observam-se alguns desvios padrão significativos, mas aceitáveis, justificados pelo princípio de funcionamento do equipamento e pela adaptação do ensaio para o uso em argamassas de reboco. Salienta-se, aos 60 dias, o comportamento da família Ag_{AR}+25C, que apresenta a maior dureza e o desvio padrão mais reduzido. Aos 90 dias destacou-se a família CA_R, por apresentar a maior dureza e o menor desvio padrão.

No Quadro 4.15, apresenta-se uma notação para a classificação da resistência, consoante o valor registado pelo durómetro. Atribui-se também uma classe de perda de coesão.

Quadro 4.15 – Classes de dureza do ensaio de dureza superficial, adaptado de Tavares (2009).

Valores de Resistência Shore A	Classificação da resistência	Tipificação da Anomalia
		Perda de Coesão
>88	Muito dura	Bom estado de conservação
70-87	Normal	Bom estado de conservação
50-70	Moderada	Perda de coesão superficial (≈ até 2mm)
30-50	Fraca	Perda de coesão intermédia (<15mm)
<30	Muito fraca	Perda de Coesão em profundidade (>15mm)

Assim, seguindo a classificação atribuída por Tavares (2009), mostram-se de seguida, no Quadro 4.16, as classes de resistência verificadas em cada família e idade das argamassas.

Quadro 4.16 – Classificação da dureza superficial das argamassas estudadas.

Família	Dureza Superficial			
	60 dias		90 dias	
	Valor Médio (Shore A)	Classificação da Resistência	Valor Médio (Shore A)	Classificação da Resistência
A _g A _R	75,10	Normal	85,50	Normal
A _g A _R +25C	78,20	Normal	80,30	Normal
A _g 25C_A _R	76,80	Normal	72,90	Normal
A _g _A _R 25C	74,30	Normal	88,60	Muito dura
C _A R	77,50	Normal	91,10	Muito dura

Facilmente se verifica que a resistência das argamassas se classificou, em 80 % dos casos, na classe “Normal” e 20 % dos casos na classe “Muito dura”. Verificou-se, na quase totalidade dos casos, o aumento da dureza com a evolução tempo. Apenas uma das famílias não registou evolução do valor da dureza, no entanto, os valores apresentados por essa mesma família foram bastante próximos mantendo-se a família, A_g25C_A_R, com classificação “Normal” em ambas as datas de ensaio.

Comparando os resultados do presente trabalho com os obtidos por Santos (2014), em ensaios sobre uma argamassa de terra pré-doseada, observa-se grande proximidade entre intervalos obtidos. A autora apresenta valores de dureza da ordem dos 80±6 Shore A, intervalo esse quase coincidente com os resultados observados nas argamassas em estudo no presente trabalho. Para a argamassa de traço 1:3 (terra: areia fina) a autora apresentou intervalos aproximadamente iguais, realçando-se uma vez mais, a semelhança entre as argamassas estudadas no presente trabalho e as argamassas estudadas por Santos (2014).

No entanto, chegou-se facilmente à conclusão que este é bastante volátil uma vez que apresenta resultados latos e pouco padronizados, devido ao modo de funcionamento do equipamento. É importante referir uma vez mais, que a norma que padroniza o ensaio não é adequada ao uso de argamassas, mas sim a elementos de borracha. Contudo, este ensaio é utilizado em vários estudos de argamassas.

4.4.4 RESISTÊNCIA À ABRASÃO

No quadro que se segue, Quadro 4.17, mostra-se a massa destacada no decorrer do ensaio de resistências à abrasão, às datas de ensaio de 60 e 90 dias, respetivamente. Na Figura 4.23 apresentam-se os valores médios e os respetivos desvios-padrão referentes a cada família ensaiada.

Quadro 4.17 – Resultados do ensaio de resistência à abrasão.

Família	Massa destacada (g)			
	60 dias		90 dias	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
AgAR	5,25	0,35	2,23	0,32
AgAR+25C	4,60	0,70	1,13	0,25
Ag25C_AR	2,25	0,49	1,03	0,40
Ag_AR25C	2,20	0,28	1,27	0,32
CAR	0,35	0,07	0,20	0,10

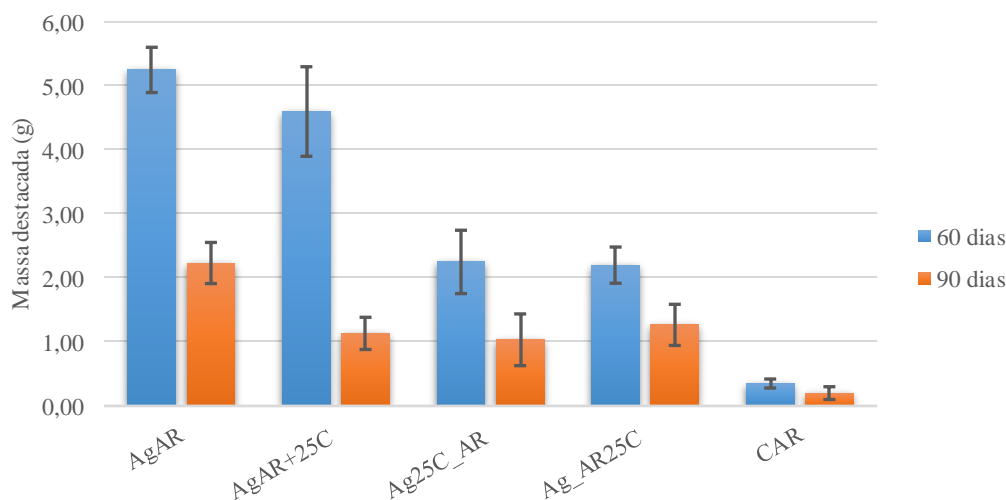


Figura 4.23 – Representação gráfica dos resultados do ensaio de resistência à abrasão.

O ensaio de resistência à abrasão apresentou diferenças significativas entre as duas datas de ensaio. Essas diferenças podem ser explicadas por alguns problemas na utilização do equipamento, uma vez que este foi adaptado para a realização do ensaio. Apesar da utilização dos mesmos elementos que garantiam a carga de 2 kg às duas datas de ensaio, os rebocos ensaiados aos 60 dias ofereceram uma resistência bastante superior à rotação da escova. Essa resistência superior à rotação é um indicador das perdas de massa mais avultadas que se fizeram verificar.

Fazendo uma correlação com os restantes dados referentes a resistências mecânicas já apresentados, seria expectável uma melhoria de comportamento resistente em função da evolução do tempo e, conseqüentemente, maior resistência à abrasão das argamassas ensaiadas aos 90 dias em relação às ensaiadas aos 60 dias. No entanto, dados os problemas na utilização do equipamento que geraram diferenças significativas às duas datas de ensaio, não se sabe quais os resultados mais espectáveis, se os apresentados aos 60 ou aos 90 dias. Desta forma, apenas se pode indicar que seria expectável uma melhoria da resistência à abrasão em função da evolução do tempo, contudo, não seriam expectáveis diferenças tão significativas.

Comparando com resultados de Santos (2014) para a utilização da escova de dureza média, exatamente igual à usada no presente trabalho, é possível verificar a proximidade dos resultados obtidos correspondente aos 60 dias, o que pode indicar que o erro de utilização do equipamento tenha ocorrido aquando da realização do ensaio aos 90 dias.

4.4.5 ADERÊNCIA AO SUPORTE

O ensaio de aderência ao suporte apresentou algumas dificuldades na sua realização, o que fez com que, em algumas famílias, exista apenas um resultado, em oposição aos habituais 3 registados na quase totalidade dos ensaios apresentados. No Quadro 4.18 apresentam-se as forças necessárias à mobilização da rotura e, quando possível, o seu desvio padrão. Os dados são representados graficamente na Figura 4.24. Além desses dados, apresenta-se no Quadro 4.19, o tipo de rotura apresentado por cada amostra, mesmo nos casos em que a rotura se deu antes da aplicação da força por parte da prensa. De referir que, em oposição à maioria dos ensaios, o ensaio de aderência ao suporte foi realizado aos 90 e 120 dias por impossibilidade de o realizar anteriormente.

Quadro 4.18 – Resultados do ensaio de aderência ao suporte.

Família	Força de Arrancamento (N)			
	90 dias		120 dias	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
A_gAR	41,49	7,31	25,03	3,65
A_gAR+25C	30,73	0,00	51,74	3,24
A_g25C_AR	56,16	0,00	33,90	7,52
A_g_AR25C	33,81	0,00	28,16	0,60
CA_R	51,55	2,57	61,36	9,91

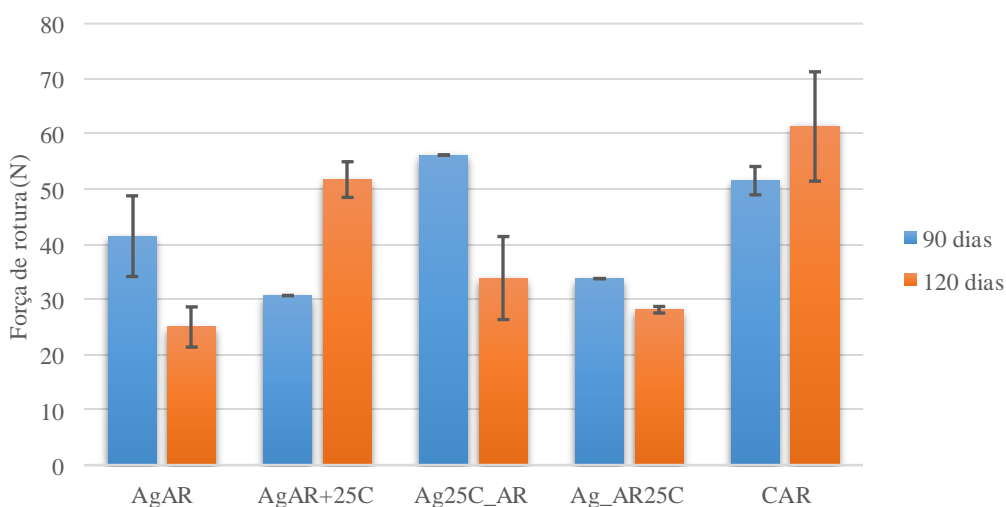


Figura 4.24 – Representação gráfica dos resultados de aderência ao suporte.

No Quadro 4.19 apresenta-se, às duas datas de ensaio, o tipo de rotura verificado nos provetes ensaiados.

Quadro 4.19 – Tipo de rotura no ensaio de aderência ao suporte.

Família	Tipo de Rotura (%)					
	RARS		RARC		RCA	
	90 dias	120 dias	90 dias	120 dias	90 dias	120 dias
AgAR	100%	0%	0%	100%	0%	0%
AgAR+25C	0%	33%	100%	67%	0%	0%
Ag25C_AR	100%	33%	0%	67%	0%	0%
Ag_AR25C	33%	100%	67%	0%	0%	0%
CA _R	0%	0%	0%	0%	100%	100%

RARS – Rotura adesiva entre reboco e suporte; RARC – Rotura adesiva entre reboco e cola; RCA – Rotura coesiva da argamassa.

Verifica-se, através de observação dos resultados acima apresentados, a ausência de um padrão que permita avaliar corretamente o ensaio. O ensaio revelou resultados mistos que não permitem aferir evolução na resistência com a evolução do tempo. Além desses factos, apresentam-se alguns desvios padrão igual a zero, nesses casos, o reboco em questão permitiu apenas a obtenção de um resultado utilizável. Em relação ao tipo de rotura, os resultados observados são também mistos e sem padrão definido, excetuando a família CA_R em que se deu, em todas as amostras, a rotura coesiva da argamassa (Figura 4.25).



Figura 4.25 – Rotura coesiva da argamassa, família CA_R.

O ensaio de aderência ao suporte apresentou, como já referido, resultados mistos e sem padrão bem definido, o que dificultou bastante a análise. Importante referir que neste ensaio, sempre que ocorrer rotura coesiva entre a cola e a argamassa o ensaio deve ser considerado nulo, pois considera-se que a resistência ao arrancamento é tão baixa que não permite mobilizar todo o reboco. Uma vez que se verificou este tipo de resultado por diversas vezes no presente ensaio, conclui-se que este não tem relevância para o trabalho, no entanto optou-se por apresentar os resultados. Os resultados mistos justificam-se muito pela falta de coesão da argamassa o que levou a que, por várias vezes, se desse uma rotura adesiva entre o reboco e a cola, ficando colada na pastilha argamassa sem coesão superficial, como se pode ver na Figura 4.26.



Figura 4.26 – Rotura adesiva entre reboco e cola.

Os resultados mais coerentes deste ensaio foram os apresentados pela família CA_R , família essa em que se deu sempre rotura coesiva da argamassa e com valores semelhantes entre si. Esta é, aliás, uma das duas famílias onde, no presente ensaio, se verificou a tendência da evolução da resistência ao arrancamento em função da idade da argamassa, apesar do elevado desvio-padrão aos 120 dias de idade.

Observando a totalidade dos casos, mesmo naqueles que em que a rotura se deu antes da aplicação da força, verificou-se incidência igual, em percentagem, da rotura adesiva reboco-cola e da rotura adesiva reboco-suporte. No total, em 40% dos casos a rotura deu-se pela interação reboco-suporte, em 40% dos casos observou-se rotura adesiva entre o reboco e a cola. Nos restantes 20% dos casos verificou-se a rotura coesiva da argamassa.

4.4.6 ESCLERÓMETRO PENDULAR

Apresentam-se no Quadro 4.20 e Figura 4.27 os ângulos de ressalto, em graus Vickerz, observados durante a utilização do esclerómetro de pêndulo. Uma vez que este ensaio apresenta potencial destrutivo quando realizado em argamassas de terra e visto que todos os ensaios sobre argamassas aplicadas em suporte foram realizados sobre o mesmo reboco, foi importante garantir que a sua realização ocorria após o ensaio de aderência ao suporte. Por esse mesmo motivo também este ensaio foi realizado aos 90 e 120 dias de idade das argamassas.

Quadro 4.20 – Resultados obtidos no ensaio de esclerómetro pendular.

Família	Ângulo de Ressalto (°Vickerz)			
	90 dias		120 dias	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
A_gA_R	56,00	4,24	56,75	7,80
A_gA_R+25C	50,40	6,58	57,00	7,52
$A_g25C_A_R$	43,33	4,16	49,00	4,90
$A_g_A_R25C$	49,20	9,96	52,40	4,62
CA_R	25,00	3,74	54,60	2,88

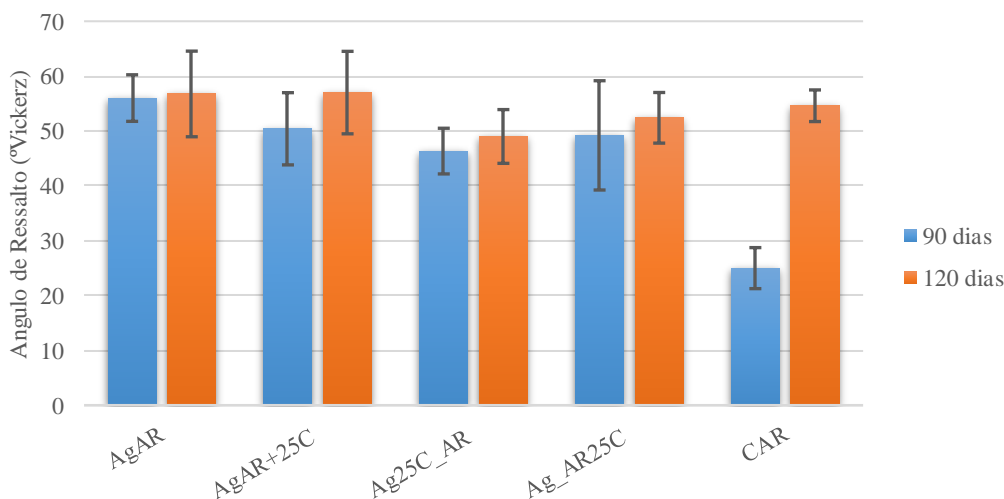


Figura 4.27 – Representação gráfica do ângulo de ressalto obtido no ensaio de esclerómetro pendular.

No ensaio de esclerómetro pendular os resultados foram positivos, observando-se em todos os casos uma melhoria com a evolução do tempo. No entanto, este foi outro dos ensaios em que não se verificou totalmente a melhoria atribuída pela cal aérea hidratada nas características resistentes das argamassas.

Verificou-se um aumento significativo na resistência da cal nos 30 dias de diferença entre os ensaios, como se pôde avaliar no Quadro 4.20 referente à família CA_R, com o ângulo de ressalto a aumentar 29,6 °. Nas restantes famílias não se verificou um aumento tão significativo.

Tavares (2009) indica as classes de resistência a atribuir consoante o valor do ângulo de ressalto, indicando também, para cada classe, o estado da argamassa no que toca à perda de coesão e à perda de aderência, essa informação é indicada no Quadro 4.21.

Quadro 4.21 – Classes de resistência, perda de coesão e perda de aderência do ensaio de esclerómetro pendular, adaptado (Tavares, 2009).

Ângulo de ressalto	Classificação da resistência	Tipificação da Anomalia	
		Perda de Coesão	Perda de Aderência
>75	Muito dura	Bom estado de conservação	Bom estado de conservação
55-77	Dura	Bom estado de conservação	Bom estado de conservação
40-55	Normal	Bom estado de conservação	Bom estado de conservação
30-40	Moderada	Perda de coesão superficial (≈ até 2mm)	Perda de aderência com pouca profundidade
20-30	Fraca	Perda de coesão intermédia (<15mm)	Perda de aderência intermédia
<20	Muito fraca	Perda de Coesão em profundidade (>15mm)	Perda de aderência com grande profundidade

Assim de acordo com a classificação acima apresentada, proposta por Tavares (2009), recordam-se, no Quadro 4.22, os valores obtidos para as várias argamassas, atribuindo-lhes a respectiva classificação.

Quadro 4.22 – Classificação da resistência das argamassas estudadas no ensaio de esclerómetro pendular.

Família	Ângulo de Ressalto (°Vickerz)			
	90 dias		120 dias	
	Média	Classificação da Resistência	Média	Classificação da Resistência
AgAR	56,00	Dura	56,75	Dura
AgAR+25C	50,40	Normal	57,00	Dura
Ag25C_AR	43,33	Normal	49,00	Normal
Ag_AR25C	49,20	Normal	52,40	Normal
CA_R	25,00	Fraca	54,60	Normal

Aos 90 dias, a resistência foi de fraca a dura, com maior incidência na classe “Normal”. Aos 120 dias, observaram-se classes de “Normal” a “Dura” com 60% de incidência na classe “Normal”. Assim se verificou que a totalidade das argamassas apresentou melhorias com a evolução do tempo.

Santos (2014) apresenta, no seu trabalho, resultados médios de 40 graus Vickerz de ângulo de ressalto para argamassas de terra pré-doseadas aplicadas em suporte de tijolo furado. Os resultados obtidos na campanha experimental do presente trabalho apresentaram-se, aproximadamente, num intervalo entre os 40 e 60 graus Vickerz, corroborando mais uma vez a proximidade aos resultados obtidos para outras argamassas de terra.

Martins (2008) apresenta resultados de 63° para argamassas de cimento e areia com traço 2:5 (cimento: areia) e 55° para o mesmo tipo de argamassas com traço 2:7 (cimento: areia), ambas com datas de maturação de 28 dias. Já Mendonça (2007) apresenta valores médios de 60,2° para o ângulo de ressalto para argamassas de cimento e areia com traço 1:3 (cimento: areia), valores superiores a todos os verificados. Analisando estes valores, que se classificam na classe “Dura”, vê-se não ter existido grande diferença entre as argamassas de terra estudadas aos 90 dias e argamassas de cimento aos 28, altura em que atingem a máxima resistência. No entanto, as características resistentes de argamassas cimentícias são quase sempre muito superiores às das argamassas de terra, como se pôde verificar pela comparação com outros autores.

5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho final de mestrado teve como objetivo principal a caracterização de cinco famílias de argamassas de terra, com adição e substituição de cal aérea. Para tal foi realizada uma campanha experimental que permitiu caracterizar as argamassas no estado fresco e estado endurecido. A campanha experimental foi realizada com o intuito de responder aos objetivos do trabalho. Esses objetivos passam pela caracterização das argamassas no estado fresco e estado endurecido. Relativamente ao estado endurecido o objetivo principal foi avaliar os parâmetros resistentes e hídricos das diversas famílias de argamassas em estudo. A avaliação das vantagens e inconvenientes da adição de cal aérea foi outro dos objetivos do presente trabalho. O último dos objetivos prende-se com a avaliação da evolução observada nas diversas características estudadas, dos 60 para os 90 dias de idade das argamassas.

Ao longo da campanha laboratorial realizada foi possível chegar a conclusões que permitiram responder aos objetivos principais com que se partiu para a execução do presente trabalho.

A caracterização da argamassa no estado fresco foi realizada essencialmente pelos ensaios de massa volúmica e teor de vazios, uma vez que o espalhamento era uma das condicionantes para a reprodutibilidade das argamassas. A nível de massa volúmica as argamassas apresentaram valores de 1920 a 1950 kg/m³. Já no caso do teor de vazios os valores foram de 4,7 a 5,6 % e a inclusão de cal provou-se positiva, na medida em que permitiu obter menor volume de vazios. A nível da trabalhabilidade as argamassas apresentaram-se ótimas com o espalhamento na ordem dos 160 a 176 mm. A adição e substituição de cal aérea permitiram melhorar a trabalhabilidade das argamassas de terra, uma vez que se registou a necessidade de menor quantidade de água para obter espalhamentos dentro do intervalo referido.

Com os ensaios realizados sobre argamassas no estado endurecido foi possível caracterizar grande parte das características resistentes e hídricas das argamassas em estudo, características essas interessantes para o conhecimento sobre argamassas de reboco para edifícios em terra, obtendo resultados em geral expectáveis, quando comparados com os de outras composições. Importante será dizer que o tipo de terra utilizado tem forte influência nas características da argamassa, e daí o facto de as construções em terra serem muito diferentes entre si, dependendo do tipo de terra disponível no local.

As argamassas estudadas apresentaram, no estado endurecido, massas volúmicas de 1619 a 1720 kg/m³, sendo que a família que apresentou maior massa volúmica no estado fresco apresentou também a maior massa volúmica aparente.

Os módulos de elasticidade dinâmicos verificados encontram-se compreendidos entre 1698 e 2223 MPa. O maior módulo de elasticidade foi apresentado pela família CA_R que apresenta, por isso, a maior rigidez e menor deformabilidade. A inclusão de cal aérea nas argamassas de terra provou-se inconclusiva nos efeitos sobre o módulo de elasticidade dinâmico.

A nível resistente as argamassas estudadas apresentaram melhorias proporcionais ao avanço da sua idade. No caso da resistência à tração por flexão as argamassas apresentaram valores entre 0,15 e 0,32 MPa. O melhor comportamento médio foi apresentado pela família $A_g25C_A_R$. No ensaio de resistência à tração por flexão a inclusão de cal aérea provou-se positiva, gerando um aumento de resistência. No caso da resistência à compressão os valores apresentados encontram-se entre 0,59 e 0,80 MPa. Também neste ensaio se registou melhoria do comportamento resistente em função da idade, no entanto, a inclusão de cal provou-se penalizadora, apresentando a família A_gA_R o melhor comportamento médio em relação à resistência à compressão.

Numa altura em que a reabilitação se torna um assunto de importância crescente na área da construção civil, as argamassas de menor resistência e maior deformabilidade apresentam-se de grande importância para o mercado do setor. Argamassas com este tipo de características são fulcrais para a reabilitação de edifícios antigos que apresentam, de forma geral, características semelhantes. São importantes também em construções novas que apresentem paramentos de baixa resistência e elevada deformabilidade, o caso das construções em terra. Como já referido no presente trabalho, a compatibilidade de uma argamassa com o paramento em que é aplicada é uma das características mais importantes das construções, por este motivo é relevante a existência deste tipo de argamassas no mercado.

A nível hídrico as principais características estudadas foram o coeficiente de capilaridade e a taxa de secagem. No caso do coeficiente de capilaridade, os valores apresentados pelas argamassas foram de 0,046 a 0,211 $kg.m^{-2}.s^{-1/2}$. As argamassas com melhor comportamento foram A_gA_R e CA_R . Nas argamassas de terra a inclusão de cal prejudicou o coeficiente de capilaridade aumentando-o para valores superiores ao dobro. Dos 60 para os 90 dias registou-se uma redução do coeficiente de capilaridade, verificando-se por isso uma melhoria de comportamento com o avanço da idade da argamassa. No caso da taxa de secagem, verificaram-se valores no intervalo de 0,028 a 0,090 $kg/m^2.h$, com o melhor comportamento (maior taxa de secagem) a ser apresentado pela família A_gA_R . Desta forma, a inclusão de cal foi prejudicial para a taxa de secagem das argamassas. Além do efeito prejudicial verificado pela inclusão de cal aérea também se verificou que com o avanço da idade das argamassas se verificou uma redução da taxa de secagem.

Em termos de retração linear os valores foram nulos para a totalidade das famílias. No caso da retração volumétrica verificaram-se valores de 0 a 9 %, sendo que a família que apresentou retração volumétrica nula foi a família CA_R. O resultado mais elevado foi apresentado pela família A_gA_R verificando-se desta forma o efeito positivo da cal aérea na contenção da retração das argamassas.

Também os ensaios sobre argamassas aplicadas em suporte de tijolo foram escolhidos de forma a aferir características resistentes e hídricas das argamassas, além da sua condutibilidade térmica. No entanto, os ensaios de absorção de água sob baixa pressão (tubos de Karsten) e de aderência ao suporte ofereceram resultados latos e pouco padronizados. O ensaio de absorção de água sob baixa pressão resultou, por vezes, em valores muito diferenciados para os ensaios realizados em argamassas da mesma família. Já no ensaio de aderência ao suporte, a rotura de u-se muitas vezes entre a cola e o reboco executado, considerando-se que resistência ao arrancamento é tão baixa que não permite mobilizar todo o reboco, e considerando-se nulo o resultado do ensaio. Além disso, foram muitas as vezes em que o reboco se destacou mesmo antes da aplicação da força de arrancamento por parte da prensa.

A nível da condutibilidade térmica verificaram-se resultados compreendidos no intervalo entre 0,34 e 0,77 W/(m.K). A família CA_R foi a que apresentou melhor comportamento médio. Verificou-se, em todas as famílias, tendência para o aumento do coeficiente de condutibilidade térmica dos 60 para os 90 dias de idade, havendo desta forma um decréscimo do comportamento térmico. Em termos médios a inclusão de cal nas argamassas de terra prejudicou o coeficiente de condutibilidade térmica.

O ensaio de dureza superficial apresentou resultados entre 72,90 e 91,10 Shore A. De forma geral verificou-se evolução da dureza dos 60 para os 90 dias de idade da argamassa. A influência da cal no aumento da dureza foi inconclusiva aos 60 dias de idade, já aos 90 dias não se verificaram melhorias com a inclusão de cal.

O ensaio de resistência à abrasão apresentou resultados de massa destacada entre 0,20 e 5,25 g. O melhor comportamento foi apresentado pela família CA_R, na qual houve o menos massa destacada. A menor resistência à abrasão foi apresentada pela família A_gA_R. Neste ensaio a cal provou ter um efeito bastante positivo no aumento da resistência à abrasão das argamassas de terra. Verificou-se ainda o aumento significativo da resistência à abrasão dos 60 para os 90 dias de idade.

O ensaio de esclerómetro pendular resultou em valores entre 25° e 57° Vickerz. O melhor comportamento médio foi apresentado pela família A_gA_R, o que indica que a inclusão de cal não exerceu efeito positivo nas argamassas a nível da resistência e coesão superficial. Em todas as famílias se verificou o aumento da resistência com o avançar da idade.

Resumindo, com os ensaios realizados a apresentarem resultados mistos, é difícil quantificar os efeitos de melhoria de resistência atribuídos pela incorporação de cal aérea. O que se pôde verificar foi que a cal permitiu melhorar algumas das características resistentes, não revelando efeito positivo noutras. Em relação às características hídricas, a inclusão de cal apresentou resultados negativos. A incorporação de cal aérea nas argamassas de terra fez com que estas aumentassem significativamente o seu coeficiente de capilaridade, aumentando a velocidade a que a água se desloca ascensionalmente pela estrutura capilar da argamassa. O traço volumétrico que apresentou apenas a terra e areia na sua composição, revelou um valor de coeficiente de capilaridade significativamente mais baixo. O ensaio de secagem mostrou que as argamassas em que a cal figura como constituinte, quer por substituição ou por adição, apresentam taxas de secagem mais baixas, e desta forma a sua secagem dá-se mais lentamente. Assim, a cal aumenta a velocidade a que a argamassa absorve água por capilaridade e diminui a velocidade a que a água evapora unidireccionalmente, provando-se a sua inclusão negativa para o comportamento face à água de argamassas de terra.

Em relação aos efeitos da substituição mássica de cal aérea na massa de terra ou na massa de areia os resultados foram inconclusivos. Os resultados mostram que, na maioria dos ensaios de resistência, a família em que a substituição foi realizada na massa de terra, A_g25C_{AR} , apresentou melhores resultados aos 60 dias de idade. Já aos 90 dias a família em que a substituição foi realizada na massa de areia, $A_g_{AR}25C$ apresentou de forma geral os melhores resultados. A nível hídrico a família em que a substituição foi realizada na massa de terra apresentou coeficiente de capilaridade mais baixo e taxa de secagem mais elevada, apresentando o melhor comportamento.

Em suma, a maioria das características observadas nos ensaios realizados verificaram melhorias com o avanço da idade da argamassa. No capítulo das características resistentes essa melhoria verificou-se para a totalidade dos ensaios. A nível hídrico verificou-se melhoria com a diminuição do coeficiente de capilaridade. De todas as características estudadas no presente trabalho, as únicas em que não se verificou a melhoria com o avanço da idade foram o coeficiente de condutibilidade térmica e a taxa de secagem.

Em relação à comparação com argamassas de cimento, comparação essa feita pelo facto da utilização desse tipo de argamassas não ser o mais adequado à reabilitação de construções em terra, mas continuar a ser utilizado para tal, provou-se mais uma vez o que já era sabido, que as características resistentes de argamassas de cimento são significativamente superiores às observadas em argamassas de terra. Assim sendo, e não esquecendo a importância da compatibilidade, as argamassas de terra apresentam características bem mais próximas dos

paramentos em terra, mostrando-se argamassas mais adequadas ao revestimento deste tipo de estrutura.

Concluindo, verificou-se uma influência positiva da cal ao nível de alguns dos parâmetros resistentes tal como a resistência à tração por flexão e a resistência à abrasão. A inclusão de cal apresentou alguns inconvenientes no capítulo das propriedades hídricas das argamassas, aumentando coeficientes de capilaridade e reduzindo taxas de secagem. Assistiu-se ainda, de forma geral, à evolução das características argamassas entre as duas datas estipuladas para a realização de ensaios, o que era inicialmente expectável. Conclui-se ainda que as questões de compatibilidade não podem ser esquecidas e, especialmente a nível dos parâmetros resistentes e de rigidez e elasticidade, as argamassas de terra apresentam características muito mais próximas dos elementos estruturais em terra.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No presente trabalho algumas questões foram apenas respondidas por correlação e comparação com resultados de outros trabalhos sobre argamassas pelo que, futuramente, este tipo de questões poderia obter resposta pela realização de ensaios.

Por vezes o efeito da adição e substituição de cal aérea provou-se inconclusivo, pelo que a realização da mesma campanha de ensaios sobre argamassas com diferentes percentagens de adição e substituição seria um cenário interessante que poderia arranjar resposta para algumas das questões que ficaram por responder no presente trabalho.

A resposta às características de aderência ao suporte não foi possível no presente trabalho, devido aos problemas observados na realização do ensaio, pelo que a repetição do ensaio seria um cenário interessante. Além disso, este ensaio deveria ser realizado com a aplicação da argamassa em diversos suportes, avaliando as diferentes aderências em função do suporte.

Uma questão considerada relevante seria a execução de blocos de taipa ou adobe, revestindo-os com argamassas de cimento, avaliando, por meio de ensaios, a compatibilidade e influência de diversos fatores na durabilidade e aparecimento de patologias.

Seria também relevante observar o comportamento térmico da argamassa em outros suportes que não tijolo, nomeadamente os blocos utilizados em construção em terra como taipa, adobe ou blocos de terra comprimida.

A avaliação por meio de ensaios da influência das argamassas de terra na qualidade do ar interior, e a sua comparação com as habituais argamassas de cimento seria também um capítulo interessante para a desmistificação da construção em terra.

Avaliar a evolução e o comportamento das argamassas entre espaços de tempo superiores, com a realização de ensaios aos 30, 60, 90 e 120 dias, poderia responder a algumas questões aqui levantadas.

A disseminação do conhecimento sobre a construção em terra e a sua desmistificação como construção frágil, antiga e limitada arquitetonicamente, é um dos desenvolvimentos futuros interessantes para a construção civil em geral e para a construção em terra em particular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.R.C.A.Terra. (sem data). Arquiteturas de Terra. Obtido 19 de Setembro de 2016, de <https://arcaterablog.wordpress.com/arquitetura-de-terra/>
- Apuntes de Arquitectura. (2015). Bloques de tierra comprimida BTC, tecnologia constructiva limpia. Obtido 16 de Novembro de 2016, de <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.pt/2015/01/bloques-de-tierra-comprimida-tecnologia.html>
- Arte Central. (2012). Produção tijolo adobe. Obtido 16 de Novembro de 2016, de <https://artecentral.wordpress.com/2012/02/16/website-da-empresa-taipa-arquitetura/4-producao-tijolo-adobe/>
- ASTM. (2000). ASTM D2240-00. Standard Test Method for Rubber Property. Durometer Hardness. West Conchohoken, United States.
- ASTM. (2008). ASTM C805-08. Standard Test Method for Rebound Hammer of Hardened Concrete. West Conchohoken, United States.
- ASTM. (2009). ASTM C597-09. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. West Conchohoken, United States.
- Auroville Earth Institute. (sem data). Bam and Arg-e-Bam, Iran. Obtido 20 de Setembro de 2016, de http://www.earth-auroville.com/bam_and_arg_e_bam_en.php
- Azevedo, J. M. B. C. (2013). Absorção por capilaridade de soluções aquosas salinas em materiais porosos. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Betão e Taipa. (sem data). Adobe. Obtido 30 de Julho de 2016, de http://www.betaoetaipa.pt/servicos_detail.php?servico=adobe
- Carvalho, J., Pinto, J., Varum, H., Jesus, A., & Lousada, J. (2008). Estudo do material terra usado nas construções em tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro. TerraBrasil 2008, 3 a 8 de Novembro de 2008 - São Luís - Maranhão, 1–8.
- CEN. (1998). EN 1015-6: 1998. Methods of test for mortar masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. European Committee of Standardization, Brussels.
- CEN. (1999a). EN 1015-3: 1999. Methods of test for mortar masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). European Committee of Standardization, Brussels.

- CEN. (1999b). EN 1015-7:1999. Methods of test for mortar for masonry - Part 7: Determination of air content of fresh mortar. European Committee of Standardization, Brussels.
- CEN. (1999c). EN 1015-11:1999. Methods of test of masonry mortar - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. European Committee of Standardization, Brussels.
- CEN. (2000). EN 1015-12:2000. Methods of test for mortar for masonry - Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates. European Committee of Standardization, Brussels.
- CEN. (2013). EN 16302:2013. Conservation of Cultural Heritage - Test Methods - Measurement of Water Absorption by Pipe Method. European Committee of Standardization, Brussels.
- Coelho, A. Z. G., Torgal, F. P., & Jalali, S. (2009). A cal na construção (TecMinho). Guimarães: Publidisa.
- Colin, S. (2010). Técnicas construtivas do período colonial – I. Obtido 16 de Novembro de 2016, de <https://coisasdaarquitectura.wordpress.com/2010/09/06/tecnicas-construtivas-do-periodo-colonial-i/>
- Coutinho, J. D. S. (2006). Materiais de construção 2 - 1ª Parte: Ligantes e caldas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- CRATerre. (sem data). Architecture de Terre dans le Monde. Obtido 9 de Agosto de 2016, de http://craterre.org/accueil:galerie-des-images/default/gallery/38/gallery_view/Gallery
- Faria, P. (2005). Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias. *Musa*, 2, 149–155.
- Faustino, R. G. (2011). Produção de argamassas de cimento com incorporação de um resíduo da refinação de petróleo. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Ferreira, C. de C. (2012). A sustentabilidade do sistema construtivo em terra: Um projecto de reabilitação. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior.
- Gomes, M. I. (2013). Conservação de construções de taipa : argamassas de reparação. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- Gomes, M. I., Gonçalves, T. D., & Faria, P. (2012). Conservação de construções de terra - argamassas para reparação de taipa. Jornadas LNEC, 18 a 20 de Junho de 2012, Lisboa. <http://doi.org/10.1080/15583058.2012.683133>.Gomes

- Gomes, M. I., Lopes, M., & Brito, J. De. (2010). Seismic resistance of earth construction in Portugal. *Engineering Structures*, 33(3), 932–941. <http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.12.014>
- Gonçalves, C. (2010). Localização das técnicas construtivas. Obtido 9 de Agosto de 2016, de <http://tabiquenaamtqt.blogs.sapo.pt/311.html?mode=reply#reply>
- Gonçalves, T. D. (2007). Salt crystallization in plastered or rendered walls. Tese de Doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- Gonçalves, T. D., & Gomes, M. I. (2012). Construção de terra crua: Potencialidades e questões em aberto. Jornadas LNEC, 18 a 20 de Junho de 2012, Lisboa, 1–7.
- Haddad, L. D., Costa, C. M., Lopes, P. H. P., Júnior, A. N. de C., & Santos, W. J. dos. (2016). Análise da influência da granulometria do agregado miúdo nas propriedades mecânicas e de durabilidade das argamassas de revestimento. *Ciência & Engenharia*. ISSN 1983-4071, 25(1), 7–16.
- in search of a thousand cafés. (2013). the algarve: the once-mighty town of silves. Obtido 20 de Setembro de 2016, de <https://catbirdineurope.wordpress.com/category/europe/portugal/the-algarve/silves/castelo-de-silves/>
- IPQ. (2002a). NP EN 1097-3:2000. Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios. Instituto Português da Qualidade, Caparica.
- IPQ. (2002b). NP EN 933-8:2012. Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do teor de finos. Ensaio de equivalente de areia. Instituto Português da Qualidade, Caparica.
- IPQ. (2006). NP EN 196-1:2006. Métodos de ensaio de cimentos - Parte 1: Determinação das resistências mecânicas. Instituto Português da Qualidade, Caparica.
- IPQ. (2014). NP EN 933-1:2014. Ensaios das propriedades geométricas dos agregados - Parte 1: Análise granulométrica Método da peneiração. Instituto Português da Qualidade, Caparica.
- Jamú, N. S. P. (2013). Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra. A influência da terra como agregado parcial. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa. Obtido de <http://run.unl.pt/handle/10362/10261>
- Keable, J. (1996). *Rammed Earth Structure: A Code of Practice*. London: Intermediate

- Technology Publications Ltd.
- LNEC. (1966). Especificação E-196. Solos. Análise granulométrica. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- LNEC. (1970). Especificação E-239. Solos. Análise granulométrica por peneiração húmida. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Martins, A. M. M. (2008). Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- Mendonça, B. de V. (2007). Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas - Influência do ligante. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- Middle east revised. (2014). Shibam: The mud-brick beauty of Yemen. Obtido 9 de Agosto de 2016, de <https://middleeastrevised.com/2014/03/12/shibam-the-mud-brick-beauty-of-yemen/>
- Mocho, M. (2006). 18 de Julho 2006 - Dia 51. Obtido 16 de Novembro de 2016, de <http://mumemo.blogspot.pt/2006/07/18-julho-2006-dia-51.html>
- NABau. (2013). DIN 18947. Earth Plasters. Terms and Definitions, Requirements, Test Methods (in german). Berlin.
- Nelson, S. A. (2008). Weathering & Clay Minerals. New Orleans. Obtido de <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/weathering&clayminerals.htm>
- Norma Portuguesa 83. (1965). NP-83:1965. Norma Portuguesa, Solos: Determinação da densidade das partículas. Lisboa.
- Nunes, H. (2014). Anomalias mais correntes e causas possíveis na construção em terra, 1–8. Obtido de https://www.researchgate.net/publication/272504273_Anomalias_Mais_Correntes_e_Causas_Possiveis_na_Construcao_em_Terra
- Parreira, D. J. dos S. (2007). Análise sísmica de uma construção em taipa. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- Pina dos Santos, C. A., & Matias, L. (2006). Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios. ITE50. Laboratório Nacional de Engenharia de Lisboa, Lisboa.
- RILEM. (1980a). Recommended Tests to Measure the Deterioration of Stone and to Assess the

- Effectiveness of Treatment Methods. Test No. II.6 «Water Absorption Coefficient (capillarity)». *Materials and Structures, Research and Testing* 13.
- RILEM. (1980b). Recommended Tests to Measure the Deterioration of Stone and to Assess the Effectiveness of Treatment Methods. Test No. II.5 «Evaporation Curve». *Materials and Structures, Research and Testing* 13.
- Santos, T. R. A. dos. (2014). Argamassas de terra para rebocos interiores - Ensaio de caracterização e influência da formulação. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- Schreck, H. (2013). As casas de terra voltam a estar na moda. Obtido 10 de Agosto de 2016, de <http://greensavers.sapo.pt/2013/06/14/as-casas-de-terra-voltam-a-estar-na-moda-com-video/>
- Silva, N. G., & Campiteli, V. C. (2008). Módulo de elasticidade de argamassa de revestimento. 2º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais , 14 a 18 de Agosto de 2008, 1–9.
- Silva, J. A. R. M. da. (2009). Humidade na construção síntese das causas e estratégias de reabilitação. Cadernos de apoio ao ensaio da tecnologia da construção e da reabilitação de anomalias não estruturais em edifícios. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- Soares, A., Flores-Colen, I., & Brito, J. De. (2014). A influência do teor de humidade na condutibilidade térmica de argamassas. Argamassas 2014: Simpósio de argamassas e soluções térmicas de revestimento, 5 e 6 de Junho, Coimbra, 1–8. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1271.4002>
- Steneri, R. (2016). Produtos de barro (2). Obtido 30 de Julho de 2016, de <https://eficienciaenergetica.blogspot.pt/2016/01/produtos-de-barro-2.html>
- Tavares, M. L. (2009). A conservação e o restauro de revestimentos exteriores de edifícios antigos. Tese de Doutoramento. Faculdade de Arquitectura - Universidade Técnica de Lisboa.
- Torgal, F. P., Eires, R. M. G., & Jalali, S. (2009). Construção em terra. (TecMinho, Ed.). Guimarães: Publidisa.
- Torgal, F. P., & Jalali, S. (2011). Construção Sustentável - Vantagens ambientais da construção em terra. Concreta: Feira Internacional de Construção e Obras Públicas, 18 a 22 de Outubro de 2011, Porto, 32–34.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Veiga, M. R. (2005). Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigência gerais e requisitos específicos para edifícios antigos. Seminário «Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos». Lisboa, LNEC, 14-15 de Fevereiro de 2005.

Wikimedia Commons. (2015). Countries by Population Density in 2015. Obtido 10 de Agosto de 2016, de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Countries_by_Population_Density_in_2015.svg


Wikipédia. (2016a). Castelo de Paderne. Obtido 20 de Setembro de 2016, de https://pt.wikipedia.org/wiki/Castelo_de_Paderne

Wikipédia. (2016b). 2003 Bam earthquake. Obtido 20 de Setembro de 2016, de https://en.wikipedia.org/wiki/2003_Bam_earthquake

ANEXOS

ANEXO A – FICHA DE SEGURANÇA DA CAL AÉREA HIDRATADA.....	3
ANEXO B – QUANTIDADES DE MATERIAL DAS ARGAMASSAS.....	5
ANEXO C – REGISTO DE TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA – SALA CONDICIONADA.....	11

ANEXO A – FICHA DE SEGURANÇA DA CAL AÉREA HIDRATADA.

 <p>CALCIDRATA INDÚSTRIAS DE CAL, S.A.</p>	<p>FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA da CAL HIDRATADA [Hidróxido de Cálcio - Ca(OH)₂]</p> <p>De acordo com o Anexo II do Regulamento REACH (CE) 1907/2006, Regulamento (CE) 1272/2008 e Regulamento (CE) 453/2010</p>	<p>Versão: 1.3 Data Revisão: 12/2014 Data Impressão: 06/01/2015</p>
	<p>1 IDENTIFICAÇÃO DA SUBSTÂNCIA E DA EMPRESA</p>	
<p>1.1 Identificação do Produto</p>		
Nome da substância:	Cal hidratada, hidróxido de cálcio, dihidróxido de cálcio	
Sinónimos:	Cal morta, cal apagada, cal extinta, cal para construção, hidróxido de cálcio, dihidróxido de cálcio	
Nome químico e fórmula:	Hidróxido de Cálcio – Ca(OH) ₂	
Designação comercial:	Cal Hidratada, Cal Hidratada Super Ventilada	
CAS:	1305-62-0	
EINECS:	215-137-3	
Peso molecular:	74.09 g/mol	
Número de registo REACH:	01-2119475151-45-0115	
<p>1.2 Utilizações identificadas relevantes e utilizações desaconselhadas da substância</p>		
Utilizações da substância:	Apresentam-se algumas das áreas de aplicação: Construção civil, indústria química, agricultura, biocidas, proteção ambiental (tratamento de gases de combustão, tratamento de águas residuais, tratamento de lamas, etc.), tratamento de água potável, ração animal, indústria alimentar e farmacêutica, engenharia civil, indústria papelreira e de tintas, metalomecânica.	
Utilizações desaconselhadas:	Não se aplica	
<p>1.3 Identificação do fornecedor da Ficha de Dados de Segurança</p>		
Nome:	Calcidrata – Indústrias de Cal, S.A.	
Endereço:	Estrada 5 de Outubro, Pé da Pedreira 2025 - 161 Alcanede	
N.º de Telefone:	(+351) 243 40 90 30	
N.º de Fax:	(+351) 243 40 90 39	
E-mail da pessoa responsável pela FDS:	nuno.baptista@calcidrata.pt	
<p>1.4 Número de Telefone de Emergência</p>		
N.º Emergência Europeu:	112	
N.º Centro de Informação Anti-Venenos:	808 250 143	
N.º Emergência da empresa:	(+351) 243 40 90 30	
Disponibilidade 24h:	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	

ANEXO B – QUANTIDADES DE MATERIAL DAS ARGAMASSAS

FAMÍLIA A_gA_R – RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAL SÓLIDO 24 %.

Amassadura ensaios de massa volúmica e teor de vazios		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,237
Areia	4	1,210
Água	-	0,347

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de um ensaio de massa volúmica e teor de vazios.

Amassadura ensaios hídricos e de resistência		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,486
Areia	4	2,478
Água	-	0,711

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 6 provetes prismáticos de dimensões 160x40x40 mm.

Amassadura ensaios de retração		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,256
Areia	4	1,307
Água	-	0,375

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 3 provetes prismáticos de dimensões 300x30x30 mm.

Amassadura ensaios sobre aplicações		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,380
Areia	4	1,936
Água	-	0,556

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 2 aplicações de dimensões 300x200x10 mm.

FAMÍLIA A_gA_R+25C – RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAL SÓLIDO 24 %.

Amassadura ensaios de massa volúmica e teor de vazios		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,237
Areia	4	1,210
Cal aérea	-	0,059
Água	-	0,361

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de um ensaio de massa volúmica e teor de vazios.

Amassadura ensaios hídricos e de resistência		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,486
Areia	4	2,478
Cal aérea	-	0,122
Água	-	0,741

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 6 provetes prismáticos de dimensões 160x40x40 mm.

Amassadura ensaios de retração		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,256
Areia	4	1,307
Cal aérea	-	0,064
Água	-	0,390

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 3 provetes prismáticos de dimensões 300x30x30 mm.

Amassadura ensaios sobre aplicações		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,380
Areia	4	1,936
Cal aérea	-	0,095
Água	-	0,579

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 2 aplicações de dimensões 300x200x10 mm.

FAMÍLIA A_g25C_{Ar} – RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAL SÓLIDO 22 %.

Amassadura ensaios de massa volúmica e teor de vazios		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,178
Areia	4	1,210
Cal aérea	-	0,059
Água	-	0,318

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de um ensaio de massa volúmica e teor de vazios.

Amassadura ensaios hídricos e de resistência		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,365
Areia	4	2,478
Cal aérea	-	0,122
Água	-	0,652

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 6 provetes prismáticos de dimensões 160x40x40 mm.

Amassadura ensaios de retração		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,192
Areia	4	1,307
Cal aérea	-	0,064
Água	-	0,344

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 3 provetes prismáticos de dimensões 300x30x30 mm.

Amassadura ensaios sobre aplicações		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,285
Areia	4	1,936
Cal aérea	-	0,095
Água	-	0,510

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 2 aplicações de dimensões 300x200x10 mm.

FAMÍLIA A_g_A_R25C – RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAL SÓLIDO 23 %.

Amassadura ensaios de massa volúmica e teor de vazios		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,237
Areia	4	1,151
Cal aérea	-	0,059
Água	-	0,333

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de um ensaio de massa volúmica e teor de vazios.

Amassadura ensaios hídricos e de resistência		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,486
Areia	4	2,357
Cal aérea	-	0,122
Água	-	0,682

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 6 provetes prismáticos de dimensões 160x40x40 mm.

Amassadura ensaios de retração		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,256
Areia	4	1,243
Cal aérea	-	0,064
Água	-	0,359

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 3 provetes prismáticos de dimensões 300x30x30 mm.

Amassadura ensaios sobre aplicações		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Terra-padrão	1	0,380
Areia	4	1,841
Cal aérea	-	0,095
Água	-	0,533

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 2 aplicações de dimensões 300x200x10 mm.

FAMÍLIA A_g_A_R25C – RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAL SÓLIDO 20 %.

Amassadura ensaios de massa volúmica e teor de vazios		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Cal aérea	1	0,109
Areia	4	1,210
Água	-	0,264

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de um ensaio de massa volúmica e teor de vazios.

Amassadura ensaios hídricos e de resistência		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Cal aérea	1	0,223
Areia	4	2,478
Água	-	0,540

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 6 provetes prismáticos de dimensões 160x40x40 mm.

Amassadura ensaios de retração		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Cal aérea	1	0,117
Areia	4	1,307
Água	-	0,284

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 3 provetes prismáticos de dimensões 300x30x30 mm.

Amassadura ensaios sobre aplicações		
Material	Traço Volumétrico	Massa (kg)
Cal aérea	1	0,174
Areia	4	1,936
Água	-	0,422

Nota: Quantidades utilizadas para a execução de 2 aplicações de dimensões 300x200x10 mm.

**ANEXO C – REGISTO DE TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA –
SALA CONDICIONADA.**

Dia	T (°C)	Humidade Relativa (%)	Dia	T (°C)	Humidade Relativa (%)
19/04/2016	17,7	61,00%	21/06/2016	20,8	54,00%
20/04/2016	17,2	62,00%	24/06/2016	21,5	58,00%
21/04/2016	17,4	61,00%	27/06/2016	21,3	59,00%
22/04/2016	17,7	60,00%	28/06/2016	21,4	57,00%
26/04/2016	17,5	53,00%	29/06/2016	21,6	56,00%
27/04/2016	17,7	49,00%	30/06/2016	21,9	55,00%
28/04/2016	17,9	49,00%	01/07/2016	22,0	54,00%
29/04/2016	18,0	53,00%	04/07/2016	22,1	57,00%
02/05/2016	18,2	38,00%	05/07/2016	21,8	60,00%
03/05/2016	18,5	43,00%	06/07/2016	21,7	60,00%
04/05/2016	19,1	59,00%	07/07/2016	22,0	64,00%
05/05/2016	18,1	59,00%	08/07/2016	21,9	57,00%
06/05/2016	18,7	59,00%	11/07/2016	22,1	55,00%
09/05/2016	18,1	60,00%	12/07/2016	20,4	52,00%
10/05/2016	17,6	60,00%	13/07/2016	21,7	46,00%
11/05/2016	17,4	59,00%	14/07/2016	21,9	47,00%
12/05/2016	17,4	61,00%	15/07/2016	21,8	47,00%
13/05/2016	17,5	58,00%	18/07/2016	22,0	53,00%
16/05/2016	18,0	60,00%	19/07/2016	22,1	55,00%
17/05/2016	18,0	57,00%	20/07/2016	22,4	57,00%
18/05/2016	18,7	57,00%	21/07/2016	22,5	56,00%
19/05/2016	18,4	56,00%	22/07/2016	22,6	58,00%
20/05/2016	18,8	61,00%	25/07/2016	22,7	57,00%
23/05/2016	18,7	48,00%	26/07/2016	22,9	59,00%
24/05/2016	19,6	61,00%	27/07/2016	22,9	60,00%
25/05/2016	19,2	59,00%	28/07/2016	22,9	59,00%
27/05/2016	19,0	59,00%	29/07/2016	22,9	58,00%
30/05/2016	18,9	56,00%	01/08/2016	23,1	54,00%
31/05/2016	18,9	55,00%	03/08/2016	22,7	57,00%
01/06/2016	19,4	57,00%	05/08/2016	22,8	59,00%
02/06/2016	19,0	55,00%	08/08/2016	23,1	58,00%
03/06/2016	19,3	57,00%	10/08/2016	23,4	55,00%
06/06/2016	20,3	64,00%	12/08/2016	23,3	56,00%
07/06/2016	20,5	62,00%	17/08/2016	23,1	51,00%
08/06/2016	20,3	59,00%	19/08/2016	23,6	53,00%
09/06/2016	20,3	60,00%	22/08/2016	23,2	50,00%
14/06/2016	20,8	60,00%	24/08/2016	23,6	53,00%
15/06/2016	20,7	56,00%	26/08/2016	23,7	58,00%
16/06/2016	20,4	53,00%	29/08/2016	23,1	49,00%
17/06/2016	20,4	53,00%	31/08/2016	23,3	56,00%

Mês	Temperatura (°C)		Humidade Relativa (%)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Abril	17,6	0,3	56%	6%
Maio	18,4	0,6	56%	6%
Junho	20,6	0,8	57%	3%
Julho	22,2	0,6	56%	5%
Agosto	23,2	0,3	55%	3%

