



Débora Cristina Alves Correia

Licenciada em Ciências da Engenharia Civil

Argamassas de terra para rebocos interiores

Influência da adição de gesso e da granulometria da areia

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora Associada,
Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Válder José da Guia Lúcio

Arguente: Doutora Maria Teresa de Almeida Gouveia Geraldês Freire

Vogal: Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2016

“Copyright” Débora Cristina Alves Correia, FCT NOVA e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologias e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos e reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Finalizada mais esta etapa de grande importância, gostaria de agradecer a todas as pessoas que de forma directa ou indirecta contribuíram para a realização desta dissertação.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Arquitecto José Lima, pela disponibilização do material utilizado e pela ajuda na execução dos projectos, por todo o conhecimento que me transmitiu ao longo do tempo em que trabalhamos juntos, pela imensa disponibilidade em esclarecer dúvidas sempre que necessário e pela grande simpatia que sempre demonstrou.

À orientadora desta dissertação de mestrado, Professora Doutora Paulina Faria, pela total disponibilidade, auxílio prestado desde o primeiro momento, bem como todos os conhecimentos e conselhos que me transmitiu não só ao longo do período desta dissertação, mas também ao longo do meu percurso académico. A sua exigência e empenho foram fundamentais para a execução deste trabalho.

Ao Engenheiro Vítor Silva, por todo o acompanhamento prestado ao longo da campanha experimental, por toda a partilha de conhecimento e opiniões que ajudaram a enriquecer este trabalho e por fim, de forma não menos importante, agradeço a sua imensa amizade e simpatia, estando sempre disponível quando e para o que fosse preciso.

Queria agradecer ao meu namorado e melhor amigo, Ivo Almeida, por ter estado comigo todo este tempo, dentro e fora da minha vida académica, por me ter ouvido quando necessitava e por me ter dito aquilo que precisava, por todo o amor, carinho, amizade e por todos os momentos que fizeram com que esquecesse, por momentos, todas as dificuldades.

Por fim, e mais importante, quero agradecer à minha família, em especial aos meus pais Lúcia e Luís e à minha avó Lena pelo amor, dedicação, paciência e pela educação que me deram e os valores que me transmitiram, por todo o apoio que sempre me deram, a todos os níveis, mesmo perante todas as adversidades e por acreditarem sempre em mim. A vocês dedico esta dissertação, fruto do meu trabalho, mas também do vosso.

RESUMO

Com a evolução da indústria e com o aparecimento de novos materiais de construção capazes de satisfazer as necessidades maioritariamente mecânicas das edificações mais actuais, a utilização da terra como material de construção foi caindo em desuso. No entanto, nas últimas décadas, principalmente nos países mais desenvolvidos, devido à crescente preocupação ambiental, a uma maior predisposição para o investimento na construção sustentável e mais eco-eficiente, tem-se verificado o ressurgimento da utilização da terra na construção, uma vez que se trata de um material de fácil obtenção, económico, com baixa energia incorporada e com características benéficas a nível do conforto e da saúde.

De forma a acompanhar este ressurgimento, também a comunidade científica e industrial demonstrou o seu interesse. Relativamente às argamassas de terra surgiu em 2013, na Alemanha, uma norma DIN específica para argamassas de terra sem estabilização química com recurso a ligantes e que estabelece os ensaios a executar e os requisitos que caracterizam estas argamassas quando utilizadas em rebocos.

Com vista a contribuir para um maior conhecimento acerca de argamassas de terra para rebocos e nomeadamente avaliar qual a influência de adições de gesso e de diferentes granulometrias da areia utilizada, no âmbito da presente dissertação foram formuladas cinco argamassas com a mesma proporção de terra e areia, com terra argilosa proveniente da bacia sedimentar do Algarve, que apresenta prevalência do mineral argiloso ilite. Três das argamassas foram formuladas com uma areia de granulometria média (considerada de referência) e com adição de gesso em diferentes percentagens (5%, 10% e 20% relativamente ao volume total de componentes secos), enquanto as outras duas argamassas foram formuladas com areias de granulometrias distintas, uma fina e outra grossa, sem qualquer adição. Estas argamassas foram comparadas com uma argamassa de referência previamente caracterizada no âmbito de uma tese de doutoramento em curso.

Os resultados obtidos relativos à influência da adição de gesso foram bastante promissores, verificando-se que a sua presença contribui de forma significativa para o desempenho mecânico das argamassas de terra, sem penalizar demasiado o seu desempenho higroscópico. Por sua vez, os resultados obtidos relativos à influência que a utilização de areias com diferentes granulometrias pode ter no desempenho das argamassas, não foram conclusivos.

Termos-chave: terra argilosa, argamassa, reboco, adição de gesso, granulometria da areia, caracterização, resistência mecânica

ABSTRACT

With the evolution of the industry and the emergence of new building materials able to meet the physical and mechanical requirements of the existing buildings, earth used as a building material fall into disuse. However, in recent decades, especially in developed countries, due to growing environmental concern, greater willingness to invest in sustainable and eco-efficient construction, there has been a resurgence of the use of earth in the construction sector, since it is an easily obtainable material, economic, with low embodied energy and beneficial features in terms of comfort and health.

To follow this resurgence, also the scientific and industrial community has shown its interest. Regarding to earth mortars a specific DIN standard for earth mortars plasters without chemical stabilization using binders and establishing the tests to run and requirements that characterize these mortars was defined.

To contribute to a better knowledge on earth mortars for plasters and in particular to evaluate the influence of gypsum additions and particle size of the sand, five mortars were formulated with the same proportion of earth and sand in the context of this dissertation. The clayish earth was extracted from the sedimentary basin of the Algarve, where illite mineral prevails. Three mortars were made with a defined sand (considered reference) and with addition of gypsum in different percentages (5%, 10% and 20% compared to the total volume of dry components), while the other two mortars were formulated with sand of different particle size distribution, one finer and the other coarser in comparison with the reference sand, without any addition. These mortars were compared with a reference mortar previously characterized in the context of an ongoing doctoral thesis.

The results relating the influence of the addition of gypsum were promising, verifying that the presence of the gypsum contributes significantly to the mechanical performance of the earth-based mortars, without excessively penalizing the hygroscopic performance. On the other hand, results regarding the influence which the use of sands with different particle sizes may have on the performance of the mortars were not conclusive.

Keywords: clayish earth, mortar, plaster, gypsum addition, sand particle size distribution, characterization, mechanical strength

SIMBOLOGIA

Argamassas

E1S3 – Argamassa de referência com traço volumétrico 1:3 de terra ílítica (Earth) e areia de referência (Sand);

E1S3_G5 – Argamassa com traço volumétrico 1:3, com adição de 5% de gesso, relativamente ao volume total de constituintes secos;

E1S3_G10 – Argamassa com traço volumétrico 1:3, com adição de 10% de gesso, relativamente ao volume total de constituintes secos;

E1S3_G20 – Argamassa com traço volumétrico 1:3, com adição de 20% de gesso, relativamente ao volume total de constituintes secos;

E1SF3 – Argamassa com traço volumétrico 1:3, com substituição da areia de referência por uma areia de granulometria mais fina (Sand Fine);

E1SC3 – Argamassa com traço volumétrico 1:3, com substituição da areia de referência por uma areia de granulometria mais grossa (Sand Coarse).

Ensaio e parâmetros experimentais

A_s – Aderência ao suporte

C_s – Coesão superficial

d.p – Desvio-padrão

D_s – Dureza superficial por durómetro

E_d – Módulo de elasticidade dinâmico

HR – Humidade relativa

M_v – Massa volúmica aparente (no estado endurecido)

R_a – Resistência à abrasão

R_l – Retracção linear por secagem

R_c – Resistência à compressão

R_t – Resistência à tracção (por flexão)

λ – Condutibilidade térmica

Abreviaturas institucionais

DEC – Departamento de Engenharia Civil

EN – European Norm (Norma Europeia)

FCT NOVA – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

IPQ – Instituto Português da Qualidade, I.P

NP – Norma Portuguesa

ÍNDICE DE TEXTO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Enquadramento do tema.....	1
1.2.	Objectivos e metodologia	2
1.3.	Estrutura do trabalho	3
2.	ARGAMASSAS DE TERRA	5
2.1.	A terra como material de construção.....	5
2.2.	Características gerais das argamassas.....	6
2.3.	Utilização da terra em argamassas de reboco	8
2.4.	Agregados e adições	10
2.4.1.	Areia.....	11
2.4.2.	Cais e gesso	11
2.4.3.	Fibras.....	12
2.5.	Argamassas com base em terra ou gesso	12
2.6.	Definição da campanha experimental.....	14
3.	MATÉRIAS-PRIMAS, ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO E PROVETES	17
3.1.	Caracterização dos constituintes das argamassas	17
3.1.1.	Origem e composição	17
3.1.2.	Baridade	18
3.1.3.	Granulometria a seco.....	19
3.2.	Produção das argamassas.....	21
3.2.1.	Formulação das argamassas.....	21
3.2.2.	Amassadura	22
3.3.	Caracterização das argamassas no estado fresco	23
3.3.1.	Consistência por espalhamento e abaixamento	23
3.3.2.	Consistência por penetrómetro.....	25
3.3.3.	Massa volúmica	26
3.4.	Execução de provetes	26
3.4.1.	Provetes prismáticos.....	26
3.4.2.	Provetes sobre tijolo cerâmico.....	27
3.4.3.	Provetes circulares.....	28
3.4.4.	Provetes planares	28
3.4.5.	Condições de cura.....	28

4.	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	31
4.1.	Provetes prismáticos	31
4.1.1.	Retracção linear por secagem	31
4.1.2.	Massa volúmica aparente	32
4.1.3.	Módulo de Elasticidade Dinâmico	33
4.1.4.	Resistência à tracção por flexão	35
4.1.5.	Resistência à compressão	37
4.2.	Provetes sobre tijolo.....	39
4.2.1.	Aderência ao suporte.....	39
4.2.2.	Resistência à abrasão.....	42
4.2.3.	Coesão superficial.....	43
4.3.	Provetes circulares	45
4.3.1.	Condutibilidade térmica.....	45
4.3.2.	Dureza superficial por durómetro	46
4.4.	Provetes planares.....	47
4.4.1.	Adsorção e desadsorção de vapor de água.....	47
5.	DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS	51
6.	CONCLUSÕES	59
6.1.	Considerações finais	59
6.2.	Propostas para desenvolvimentos futuros	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
	ANEXOS	A1
A.1	– Quadros-síntese referentes a estudos de produtos com base em terra, terra e/ou gesso e cal e terra	A1
A.2	– Ficha Técnica, Ficha de Segurança e Declaração de Desempenho do Gesso.....	A9
A.3	– Resultados individuais obtidos na caracterização dos materiais constituintes das argamassas.....	A13
A.4	– Traços volumétricos e mássicos das argamassas formuladas	A17
A.5	– Resultados individuais obtidos na caracterização das argamassas no estado fresco.....	A18
A.6	– Resultados individuais para cada provete obtidos na caracterização das argamassas no estado endurecido	A20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Aplicação de camada base de reboco de terra, por projecção mecânica (a); Aplicação de camada base de reboco de terra, por projecção manual (b) (Execução: EMBARRO; Créditos: José Lima)	2
Figura 2.1 - Ciclo do gesso (Freire, 2016)	9
Figura 3.1 - Terra argilosa (E) utilizada na formulação das argamassas (Créditos: José Lima)	17
Figura 3.2 - Areia de granulometria mais fina (SF), de referência (S) e de granulometria mais grossa (SC), respectivamente da esquerda para a direita (Créditos: José Lima).....	18
Figura 3.3 - Gesso (G) utilizado na formulação das argamassas (Créditos: José Lima)	18
Figura 3.4 - Recipiente, funil e suporte para determinação da baridade	19
Figura 3.5 – Peneiros de malha quadrada e equipamento de vibração horizontal (a); Amostras retidas nos peneiros (b).....	20
Figura 3.6 - Curva granulométrica da terra argilosa, E.	21
Figura 3.7 - Curvas granulométricas das areias, S, SF e SC	21
Figura 3.8 - Misturador mecânico de laboratório e cuba	22
Figura 3.9 - Mesa de espalhamento, molde troncocónico e craveira (a); Aspecto da argamassa sobre a mesa de espalhamento (b); Aspecto da argamassa após as 15 pancadas (c) (Créditos: José Lima)	24
Figura 3.10 - Consistência por espalhamento e razão água/terra das argamassas formuladas	25
Figura 3.11 – Penetrómetro (a); Haste vertical com embolo (b)	25
Figura 3.12 - Recipiente para determinação da massa volúmica no estado fresco.....	26
Figura 3.13 - Provetes prismáticos nos moldes metálicos (Créditos: José Lima)	27
Figura 3.14 - Camada de argamassa sobre tijolo furado.....	27
Figura 3.15 - Provetes cilíndricos (Créditos: José Lima)	28
Figura 3.16 - Provetes planares (Créditos: José Lima)	28
Figura 3.17 - Sala condicionada (a); Termohigrómetro registando em contínuo as condições de T e HR da sala condicionada (b)	29
Figura 4.1 - Craveira digital	31
Figura 4.2 - Resultados obtidos no ensaio de retracção linear	32
Figura 4.3 - Medição dos provetes com craveira digital	32
Figura 4.4 - Resultados obtidos na determinação da massa volúmica aparente.....	33
Figura 4.5 – Equipamento "ZEUS Ressonance Meter" (a); Gráfico produzido pelo software do equipamento (b).....	34
Figura 4.6 - Resultados obtidos para o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico.....	35
Figura 4.7 - Ensaio de resistência à tracção por flexão.....	35
Figura 4.8 - Resultados obtidos para o ensaio de resistência à tracção por flexão e respectivos limites definidos pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014).....	36

Figura 4.9 - Relação entre a resistência à tracção por flexão e o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas formuladas	37
Figura 4.10 - Ensaio de resistência à compressão (a); Aparência do provete após o ensaio (b).....	37
Figura 4.11 - Resultados obtidos para o ensaio de resistência à compressão e respectivos limites definidos pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014).....	38
Figura 4.12 - Relação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas formuladas	39
Figura 4.13 - Resistências à tracção e compressão e módulo de elasticidade dinâmico das argamassas formuladas	39
Figura 4.14 - Ensaio de aderência ao suporte	40
Figura 4.15 - Resultados obtidos para o ensaio de aderência ao suporte e respectivos limites definidos pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014).....	41
Figura 4.16 - Resistências mecânicas das argamassas formuladas.....	41
Figura 4.17 - Equipamento para o ensaio de resistência à abrasão (a); Aparência do provete após o ensaio (b) (Créditos: José Lima).....	42
Figura 4.18 - Resultados obtidos para o ensaio de resistência à abrasão e respectivos limites definidos pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014).....	43
Figura 4.19 - Ensaio de coesão superficial (a); material agregado à fita-cola após o ensaio (b)	44
Figura 4.20 - Resultados obtidos para o ensaio de coesão superficial	44
Figura 4.21 - Equipamento ISOMET 2104 (Heat Transfer Analysis) (a); Ensaio de condutibilidade térmica em curso (b)	45
Figura 4.22 - Resultados obtidos para o ensaio de condutibilidade térmica	46
Figura 4.23 - Ensaio de dureza superficial com durómetro Shore A.....	47
Figura 4.24 - Resultados obtidos para o ensaio de dureza superficial.....	47
Figura 4.25 – Provetes na câmara climática durante o ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água (Créditos: José Lima).....	48
Figura 4.26 - Resultados do ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água, realizado no âmbito da investigação de doutoramento do Arquitecto José Lima (Lima et al., 2016a)	49
Figura 4.27 - Resultados do ensaio de adsorção de vapor de água às 12 horas.....	50

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Gamas de resistências mecânicas e comportamento à água de argamassas para aplicação em edifícios antigos (Veiga et al., 2010)	7
Quadro 2.2 - Classificação das argamassas endurecidas segundo a norma NP EN 998-1 (IPQ, 2013)	7
Quadro 2.3 - Classes de resistência para rebocos de terra de acordo com a DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014))	7
Quadro 2.4 - Quadro síntese de ensaios realizados e normas e procedimentos seguidos	15
Quadro 3.1 - Valores de baridade em termos de média e desvio padrão dos diversos constituintes	19
Quadro 3.2 - Designação e composição das argamassas	22
Quadro 3.3 - Percentagens volumétricas e mássicas das argamassas formuladas	23
Quadro 3.4 - Resultados obtidos nos ensaios de consistência por espalhamento, abaixamento por espalhamento, consistência por penetrómetro e massa volúmica (estado fresco)	24
Quadro 4.1 - Classes de massa volúmica aparente para argamassas de reboco de terra (de acordo com a DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014))	33
Quadro 4.2 - Classes de resistência à abrasão (de acordo com a DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014))	42
Quadro 5.1 - Resultados médios e desvios-padrão obtidos em todos os ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido	51
Quadro A.1.1 – Quadro-síntese referente a estudos de produtos com base em terra	A1
Quadro A.1.2- Quadro-síntese referente a estudos de produtos com base em terra e/ou gesso	A5
Quadro A.1.3 – Quadro-síntese referente a estudos de produtos com base em cal e terra	A7
Quadro A.3.1 - Baridade dos materiais constituintes	A13
Quadro A.3.2 - Análise granulométrica da terra (Earth – E)	A13
Quadro A.3.3 - Análise granulométrica da areia de referência (Sand – S).....	A14
Quadro A.3.4 - Análise granulométrica da areia fina (Sand Fine – SF)	A14
Quadro A.3.5 - Análise granulométrica da areia grossa (Sand Coarse – SC).....	A15
Quadro A.4.1 - Traços volumétricos	A17
Quadro A.4.2 - Traços mássicos	A17
Quadro A.5.1 - Consistência por espalhamento.....	A18
Quadro A.5.2 - Consistência por abaixamento	A18
Quadro A.5.3 - Consistência por penetrómetro.....	A19
Quadro A.5.4 - Massa volúmica	A19
Quadro A.6.1 - Retracção linear por secagem aos 26 dias	A20
Quadro A.6.2 - Retracção linear por secagem aos 33 dias	A21
Quadro A.6.3 - Massa volúmica aparente aos 26 dias	A23
Quadro A.6.4 - Massa volúmica aparente aos 33 dias	A24
Quadro A.6.5 - Módulo de elasticidade dinâmico.....	A25
Quadro A.6.6 - Resistência à tracção por flexão.....	A28
Quadro A.6.7 - Resistência à compressão	A29
Quadro A.6.8 - Aderência ao suporte	A31

Quadro A.6.9 – Resistência à abrasão	A33
Quadro A.6.10 – Coesão superficial	A33
Quadro A.6.11 – Condutibilidade térmica	A34
Quadro A.6.12 – Dureza superficial	A34

DISSEMINAÇÃO DE RESULTADOS

No âmbito da disseminação de resultados desta dissertação foi realizada uma publicação preliminar:

LIMA, J.; CORREIA, D.; FARIA, P. (2016) – Rebocos de terra: influência da adição de gesso e da granulometria da areia. Argamassas 2016 – II Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, ITeCons, Coimbra, 16-17 de Junho de 2016 (<https://run.unl.pt/handle/10362/18283>).

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do tema

A terra tem sido utilizada como material de construção, por diversas civilizações, desde há milhares de anos, devido à sua disponibilidade e abundância por todo o mundo. Como parte das suas utilizações, as argamassas de terra foram muito utilizada em paredes de alvenaria de pedra argamassada e também na execução de rebocos interiores.

Ao longo do tempo, a utilização da terra como material de construção sofreu um decréscimo devido aos avanços tecnológicos registados e ao surgimento de novos materiais com características que permitem colmatar necessidades registadas pela construção moderna. Ainda assim, apesar do registo da diminuição da sua utilização, esta nunca deixou de existir, nem de integrar os processos construtivos em alguns países. Recentemente, com especial foco nos países ocidentais, a terra tem retornado como opção para a indústria da construção, uma vez que é cada vez maior a preocupação da população em termos de sustentabilidade e ecologia, associada a uma maior consciência da influência no conforto e na saúde, nomeadamente quanto aos malefícios que alguns materiais de construção podem causar aos utilizadores dos edifícios que os contenham. Assim, cerca de três biliões de pessoas, o que equivale a sensivelmente metade da população mundial, vive actualmente em construções em terra crua realizada através de diversas tecnologias (Faria, 2007b).

Desta forma, nas últimas décadas as capacidades da terra como material de construção têm vindo a ser bastante estudadas, permitindo que seja cada vez mais utilizada. Foram também recuperadas e adaptadas à construção nova técnicas antigas de construção com terra, devido à sua eficiência a nível ecológico, uma vez que permitem o uso de recursos reutilizáveis, obtidos próximos do local de construção.

As vantagens da utilização da terra como material de construção são diversas, como sejam, o facto da terra ser uma matéria prima abundante e de fácil obtenção, diminuindo os gastos associados ao transporte, aliada ao facto de ser energeticamente económica, visto que não necessita de processos de transformação dispendiosos. É também de notar que, desde que a terra não seja estabilizada com ligantes, pode ser reciclada e reutilizada, não havendo produção de entulhos.

Uma das mais amplas utilizações actuais da terra como material de construção é para a formulação de argamassas para a execução de rebocos interiores (Figura 1.1), em construção nova ou na conservação e reabilitação de edifícios existentes. Devido às relativamente baixas características mecânicas das argamassas de terra (Lima et al. 2016a) e adequadas características físicas, as argamassas de terra asseguram a compatibilidade e a reversibilidade em aplicações em edifícios existentes.



Figura 1.1 - Aplicação de camada base de reboco de terra, por projecção mecânica (a); Aplicação de camada base de reboco de terra, por projecção manual (b) (Execução: EMBARRO; Créditos: José Lima)

Para além das características já enumeradas é de notar que estas argamassas apresentam um comportamento mecânico semelhante ao das paredes de terra, o que as torna mais compatíveis com estas paredes, quando comparadas com as argamassas à base de cimento que, apesar de apresentarem uma resistência à água superior, são demasiado rígidas para este tipo de alvenaria (Hamard et al., 2013).

Quanto à utilização da terra em argamassas de reboco interior, destaca-se ainda a vertente estética obtida devido à coloração natural das terras escolhidas, em conjunto com efeitos benéficos a nível da qualidade do ar interior e contribuição para o equilíbrio da humidade relativa dos espaços interiores (Lima et al., 2016a).

Apesar de ser cada vez mais notório o interesse global pelas argamassas de terra, ainda não existem normas europeias para este tipo de argamassas. Por sua vez, o Deutsches Institut für Normung (DIN), localizado na Alemanha, lançou uma norma nacional referente a argamassas de terra não estabilizadas para rebocos. Esta norma, a DIN 18947 (DIN, 2013), entrou em vigor em 2013 e tem vindo a ser utilizada em diversos estudos nos quais se pretende avaliar as propriedades físicas e mecânicas das argamassas de terra (Delinière et al., 2014; Faria et al., 2015; Lima et al., 2016b; Lima & Faria, 2016).

Esta dissertação integra-se numa investigação em curso, no âmbito de uma tese de doutoramento relacionada com a formulação de argamassas de uma terra proveniente do Algarve cujo mineral argiloso predominante é a ilite.

1.2. Objectivos e metodologia

Esta dissertação tem como objectivo principal contribuir para um incremento do conhecimento relativo a argamassas de terra para aplicação em rebocos interiores. Nesse sentido, o seu objectivo específico é avaliar a influência que a adição de baixas percentagens de gesso e a utilização de areias de granulometrias variadas (mais fina ou mais grossa) têm nas características de uma argamassa de terra realizada com uma terra argilosa, proveniente da bacia sedimentar algarvia. Essa avaliação é realizada através de um conjunto de ensaios executados em laboratório, de caracterização de diversas argamassas, comparando-se os resultados obtidos com uma argamassa considerada de referência.

Em Fevereiro de 2016, foram executadas cinco argamassas com traço volumétrico 1:3 (terra argilosa:areia). Como argamassa de referência, foi considerada uma argamassa com traço volumétrico 1:3 (terra argilosa:areia) sem qualquer adição, integrante de uma campanha experimental anterior, realizada em Junho de 2014 no âmbito dos trabalhos da tese de Doutoramento do Arquitecto José Lima, com resultados preliminares entretanto já publicados (Lima et al., 2016b).

A caracterização das argamassas foi feita com base na norma alemã DIN 18947 (DIN, 2013) sobre argamassas de terra para reboco, bem como noutros documentos normativos, incluindo diversas partes da norma EN 1015 e procedimentos de ensaio estabelecidos.

1.3. Estrutura do trabalho

Em primeiro lugar, realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre o tema proposto, de forma a ser possível uma compreensão melhor do tema, quais as investigações desenvolvidas sobre o assunto, os ensaios realizados e qualquer tipo de adaptação feita a esses ensaios tendo em conta a especificidade das argamassas de terra. Concluída essa etapa definiram-se as argamassas a formular e fez-se um planeamento dos ensaios a realizar. Terminada a campanha experimental, iniciou-se a análise e posterior discussão dos resultados obtidos, concluindo-se o trabalho.

Desta forma, a presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos especificados de seguida.

O primeiro e presente capítulo, Introdução, contém o enquadramento do tema, descrevendo também os objectivos propostos para o trabalho e ainda a organização do texto elaborado.

O segundo capítulo, Argamassas de terra, expõe a pesquisa bibliográfica realizada apresentando uma breve contextualização histórica da utilização da terra como material de construção a nível mundial e nacional, as características gerais das argamassas, abordando de seguida as características e benefícios da terra quando utilizada em argamassas de reboco, bem como o impacto energético e ambiental que advém da sua utilização. Este capítulo apresenta também as alterações que os agregados e adições têm sobre as argamassas com base de terra. É ainda feita uma síntese dos estudos efectuados sobre argamassas com base em terra ou gesso, apresentando finalmente as motivações que originaram a campanha experimental expondo a sua planificação e os ensaios realizados, acompanhados das normas e procedimentos seguidos.

A descrição das matérias-primas, argamassas no estado fresco e provetes constitui o terceiro capítulo. É abordada a caracterização das matérias-primas utilizadas expondo as suas origens e características, seguindo-se a composição e formulação das diferentes argamassas. Finalmente é abordada a caracterização no estado fresco das argamassas e a execução dos provetes sendo descritos todos os procedimentos e ensaios e apresentando uma discussão dos resultados individuais obtidos em cada ensaio.

No quarto capítulo, Caracterização das argamassas no estado endurecido, descrevem-se os ensaios realizados para a caracterização das argamassas no estado endurecido, apresentando e discutindo os resultados obtidos para cada ensaio individualmente bem como a correlação entre os diversos ensaios.

A discussão e comparação dos resultados compreende o quinto capítulo, onde se apresenta a síntese dos resultados obtidos nos diversos ensaios e a sua comparação com os resultados obtidos por outros autores.

O sexto e último capítulo contém as Conclusões, onde se apresenta uma síntese do trabalho realizado, bem como as conclusões dele retiradas e onde são também sugeridos trabalhos futuros decorrentes da realização do presente trabalho, os quais podem levar ao esclarecimento de resultados obtidos que foram pouco conclusivos.

De seguida, encontram-se as referências bibliográficas mencionadas ao longo do trabalho.

Finalmente, em anexo, apresentam-se os quadros-síntese referentes a estudos realizados por outros autores sobre produtos com base em terra, terra e/ou gesso e cal, a ficha técnica do gesso utilizado na formulação das argamassas, bem como as tabelas com os resultados individuais registados em todos os ensaios realizados para cada provete.

2. ARGAMASSAS DE TERRA

2.1. A terra como material de construção

A utilização da terra na construção remonta aos primórdios da humanidade, sendo parte integrante da construção das civilizações mais antigas, espalhadas pelo mundo. Uma vez que a terra é um material abundante na natureza, foi amplamente utilizado para edificar tanto pequenas construções, como monumentos de grandes dimensões e importância (religiosa e militar).

Em Portugal existe uma grande percentagem de edifícios constituídos por paredes de terra, cuja construção deriva de diversas técnicas construtivas. As técnicas mais frequentemente encontradas em território nacional (continental) são a taipa, utilizada em paredes exteriores até aos anos 50 e 60 do século XX, cuja utilização é predominante nas zonas do Alentejo e Algarve; a alvenaria de adobe utilizada principalmente em paredes interiores, quando as paredes exteriores dos edifícios eram constituídas por taipa, mas também utilizada em paredes exteriores de edifícios localizados principalmente nas zonas de Aveiro e Setúbal, e finalmente o tabique, predominante na zona do Douro e Guimarães, utilizado para a execução de paredes divisórias interiores, mas também para as paredes exteriores dos pisos mais elevados, muitas vezes em consola, dos edifícios (Faria & Henriques, 2006).

Com o avançar dos tempos e a evolução das indústrias surgiu a indústria do cimento, seguida pelo aparecimento de novas técnicas e materiais de construção, tais como as paredes de alvenaria de tijolo cozido, as argamassas à base de cimento e o betão armado. Desta forma, a construção em terra foi posta de lado sendo considerada ultrapassada e incapaz de acompanhar a modernização da construção e as necessidades exigidas pelos novos edifícios. O sector da construção passou a utilizar maioritariamente materiais transformados, aumentando os custos monetários e energéticos dos produtos, uma vez que possuem mais energia incorporada na sua produção.

Também o aumento da população mundial influenciou directamente a indústria da construção tornando-a uma das maiores e mais activas. Como consequência desse incremento registam-se elevados consumos de matérias-primas, uma vez que é necessária a extracção de diversas matérias-primas, em grandes quantidades, para a constituição dos produtos transformados. Devido ao facto dessa extracção ser realizada com recurso a escavações mais profundas, do transporte dos materiais ser feito entre distâncias maiores e do processo de transformação dos materiais ser mais complexo e de maior custo, a indústria da construção é responsável por elevadas emissões de dióxido de carbono, o que faz dela uma indústria pouco sustentável.

Uma vez que existe cada vez mais uma maior consciencialização ambiental e um sentido de preservação do planeta, foi necessário arranjar soluções sustentáveis também no sector da construção. Foi desta forma que a terra recuperou algum do seu anterior protagonismo, visto que pode ser utilizada crua, sem ser sujeita a qualquer processo de calcinação (Faria et al., 2014) e as suas características incombustíveis e não tóxicas fazem com que, na generalidade, não emita qualquer tipo de poluente. Também a reduzida emissão de dióxido de carbono é um dos pontos favoráveis da utilização da terra como material de construção, uma vez que possui uma baixa energia incorporada ao longo do seu tempo de vida.

Ao contrário dos produtos transformados a terra tem reduzidos custos energéticos e monetários relativamente à extracção e transporte, uma vez que é um recurso abundante, não necessitando de uma produção industrial complexa. Também o facto de a terra poder ser reciclada e reutilizada,

consequentemente não produzindo entulho, se apresenta como uma grande mais valia a nível ambiental e energético.

Do ponto de vista económico, a utilização da terra como material de construção também apresenta as suas vantagens. Os mesmos factores que fazem dela viável a nível ambiental e energético, também influenciam positivamente o seu custo monetário. Por sua vez, a mão-de-obra é um factor que nem sempre reúne consenso quanto à sua participação nos custos da construção em terra, uma vez que os processos construtivos não são correntes necessitando de uma mão-de-obra mais conhecedora e especializada.

Avaliando todo o conjunto de características da terra como material de construção é possível concluir que são bastante satisfatórias a nível ambiental, energético e económico.

No âmbito da reabilitação de edifícios, a terra também ocupa um lugar importante, uma vez que se trata de um material natural, garantindo uma maior compatibilidade, com os materiais já existentes no edifício, comparativamente a outros materiais actuais.

2.2. Características gerais das argamassas

As argamassas possuem diversas aplicações em paredes, apresentando requisitos e exigências diferentes consoante a função que desempenham (Henriques & Faria, 2008). No caso das argamassas de reboco, por exemplo, são distintos os requisitos para aplicação em obra nova, de reabilitação ou de conservação. No caso de um edifício antigo que seja classificado é preferível optar sempre por uma acção de conservação, que implique melhorar o mínimo indispensável das características da argamassa, necessárias para prolongar a sua vida útil, repondo o original, com o mínimo de intervenção possível. Visto que este tipo de intervenção nem sempre é suficiente e possível, é preciso considerar por vezes a opção da substituição parcial ou total da argamassa existente por argamassas compatíveis com os materiais existentes, tendo sempre presente a possibilidade da reversibilidade do sistema aplicado.

Veiga et al. (2010) definiram que a compatibilidade das argamassas de substituição deve ser assegurada em relação aos seguintes termos: compatibilidade mecânica, em que as resistências à flexão e compressão dos materiais aplicados devem ser semelhantes (e nunca superiores) às dos materiais existentes; compatibilidade física, especialmente no que respeita ao comportamento higrico (permeabilidade ao vapor de água, absorção de água por capilaridade e secagem) e compatibilidade química entre a argamassa de substituição e os materiais já existentes (no sentido de não serem formados compostos nocivos, por exemplo).

É necessário ter em conta as características das argamassas e suportes existentes nos edifícios antigos, devido a questões de compatibilidade. Assim, os requisitos que se estabelecem para argamassas de substituição utilizadas no âmbito da conservação e reabilitação são diferentes dos definidos para as argamassas utilizadas nos edifícios novos, garantindo que as argamassas de substituição produzidas não provocam danos nas argamassas e suportes existentes.

O Quadro 2.1 apresenta algumas gamas de valores indicativos de resistências mecânicas e comportamento à água propostos para argamassas de cal aérea com 90 dias para aplicação em edifícios antigos.

Quadro 2.1 - Gamas de resistências mecânicas e comportamento à água de argamassas para aplicação em edifícios antigos (Veiga et al., 2010)

Tipos de reboco	Características mecânicas aos 90 dias			Comportamento à água
	Rt [MPa]	Rc [MPa]	Ed [MPa]	CC [kg/(m ² .min ^{1/2})]
Reboco exterior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000 - 5000	1,0 < CC < 1,5
Reboco interior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000 - 5000	-
Refechamento de juntas	0,4 - 0,8	0,6 - 3,0	3000 - 6000	1,0 < CC < 1,5

Notas: Rt e Rc – resistências à tracção por flexão e à compressão; Ed – módulo de elasticidade dinâmico; CC – coeficiente de capilaridade

A norma NP EN 998-1 (IPQ, 2013) classifica as argamassas relativamente à resistência à compressão, absorção de água por capilaridade e condutibilidade térmica, de acordo com o Quadro 2.2. Estas categorias são de aplicação obrigatória a argamassas industriais, para poderem ser comercializadas.

Quadro 2.2 - Classificação das argamassas endurecidas segundo a norma NP EN 998-1 (IPQ, 2013)

Propriedades	Categorias	Valores
Resistência à compressão aos 28 dias	CSI	0,4 a 2,5 N/mm ²
	CSII	1,5 a 5,0 N/mm ²
	CSIII	3,5 a 7,5 N/mm ²
	CSIV	≥ 6 N/mm ²
Coeficiente de absorção de água por capilaridade	W0	Não especificado
	W1	≤ 0,4 kg/(m ² .min ^{1/2})
	W2	≤ 0,2 kg/(m ² .min ^{1/2})
Condutibilidade térmica	T1	≤ 0,1 W/(m.K)
	T2	≤ 0,2 W/(m.K)

Verifica-se assim que uma argamassa industrial tem de apresentar um mínimo de resistência à compressão de 0,4 N/mm² aos 28 dias, sem limite obrigatório de absorção de água por capilaridade nem condutibilidade térmica.

Por sua vez, os rebocos de terra podem ser classificados de acordo com a norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014). As resistências mecânicas destas argamassas podem ser classificadas de acordo com as classes de resistência S I e S II (Quadro 2.3), definidas na norma, em que o valor mínimo definido para a resistência à compressão é de 1,0 N/mm², para a resistência à tracção é de 0,3 N/mm² e para a aderência ao suporte é de 0,05 N/mm².

Quadro 2.3 - Classes de resistência para rebocos de terra de acordo com a DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014))

Classe de Resistência	Resistência à compressão [N/mm ²]	Resistência à tracção [N/mm ²]	Aderência ao suporte [N/mm ²]
S I	> 1,0	≥ 0,3	≥ 0,05
S II	> 1,5	≥ 0,7	≥ 0,10

Analisando os quadros apresentados verifica-se que a classe S II definida pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014) define um valor mínimo de resistência à tracção superior ao valor máximo apresentado por Veiga et al. (2010), para rebocos interiores. Tal poderia levantar a questão quanto ao facto de as argamassas de terra classificadas como

pertencendo à classe S II serem indicadas para a utilização em obras de conservação, uma vez que se podem revelar incompatíveis do ponto de vista mecânico relativamente às argamassas existentes. No entanto salienta-se que a gama referida foi estabelecida com base em argamassas de cal aérea e as argamassas de terra apresentam aspectos muito particulares, como sejam resistências à compressão não tão superiores às resistências à tração como no caso das argamassas de cal.

2.3. Utilização da terra em argamassas de reboco

As argamassas resultam de uma mistura de agregados, ligantes/aglutinantes e água, podendo ou não contar com adições e/ou adjuvantes, e podem ser classificadas segundo diversos factores que se apresentam de seguida.

As argamassas podem apresentar presa por secagem, como é o caso das argamassas de terra sem qualquer adição nem processo de estabilização com ligante, ou presa química, quando acontece com o auxílio de um ligante. Quanto à natureza do ligante utilizado, as argamassas podem considerar-se aéreas, hidráulicas e bastardas.

Uma argamassa de cal aérea caracteriza-se por possuir baixas resistências mecânicas, obtidas lentamente, baixa aderência ao suporte, elevada retração inicial, relativamente boa deformabilidade, elevada absorção capilar e reduzida resistência à acção mecânica dos sais solúveis. Para que o processo de presa ocorra para este tipo de argamassa, é necessário que esta se encontre em contacto com o ar para que ocorra o processo de carbonatação devido ao contacto com o dióxido de carbono.

Uma argamassa de gesso caracteriza-se por possuir resistências mecânicas que dependem da pureza do gesso e da relação água/gesso, sendo maiores quanto menor for essa relação, boa aderência à generalidade dos materiais embora não possa estar em contacto com aço sem ser galvanizado visto provocar a sua oxidação, mau desempenho em contacto com a água e boa resistência ao fogo. Trata-se de um material incombustível e que liberta vapor de água quando aquecido, dando origem a compostos de sulfato de cálcio, sendo esta uma reacção de desidratação (Freire, 2011). A mistura do gesso com água origina uma pasta de presa rápida, visto dar-se o fenómeno químico de hidratação (Freire, 2011), promovendo o processo físico de cristalização e finalmente o processo mecânico de endurecimento, com o desenvolvimento dos cristais sob a forma radial e interligados entre si (Henriques, 2012). Na construção em Portugal utiliza-se maioritariamente gesso cozido a baixas temperaturas (120-180°C) (Figura 2.1), originando gesso na forma hemi-hidratada. Quando sujeito a um processo de calcinação a temperatura superior a 300°C (Figura 2.1), o gesso na forma hemi-hidratada origina a anidrite, usada por exemplo na realização de acabamentos simulando a aparência da pedra. A utilização do gesso resultante de cozedura a temperaturas ainda mais elevadas (700-1150°C) foi prática comum noutros países, originando um produto extremamente duro e compacto, após a rehidratação, o que o torna altamente resistente à água, algo que não acontece com os gessos de utilização comum (Freire, 2011).

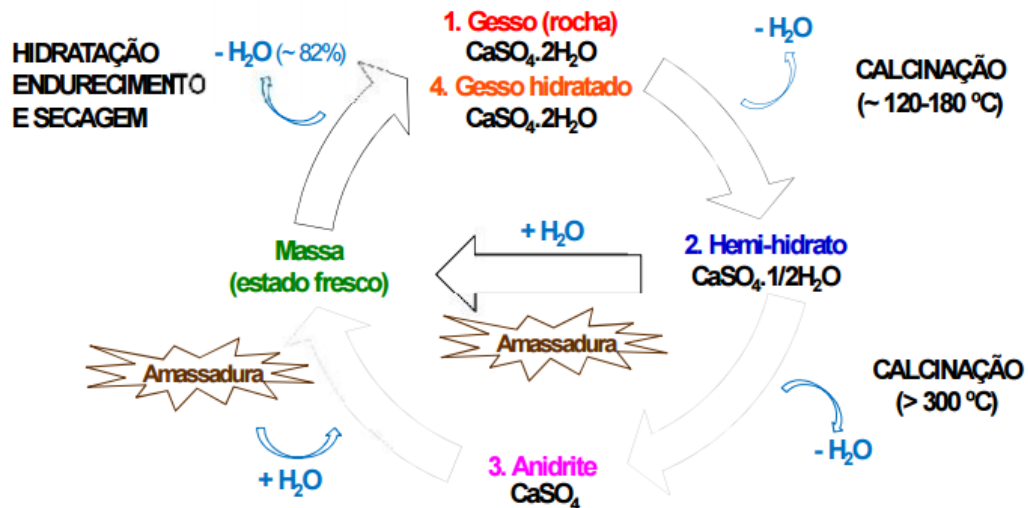


Figura 2.1 - Ciclo do gesso (Freire, 2016)

Por outro lado, uma argamassa com ligante hidráulico caracteriza-se por possuir elevadas resistências mecânicas (obtidas rapidamente), boa aderência ao suporte, menor retracção inicial e deformabilidade que as argamassas de cal aérea, susceptibilidade ao ataque por sulfatos, baixa absorção capilar e baixa permeabilidade ao vapor de água. No processo de presa destas argamassas ocorre uma reacção de hidratação, que acontece mesmo estando submersas, algo que não acontece no caso das argamassas com ligante exclusivamente aéreo.

Uma argamassa bastarda caracteriza-se, por norma, pela mistura de dois tipos de ligantes, sendo que as argamassas adquirem características pertencentes aos dois tipos de ligantes presentes. As argamassas bastardas utilizam-se geralmente quando só um ligante apresenta limitações (Faria, 2007a). A terra argilosa, que como referido não é um ligante aéreo nem hidráulico, pode por vezes surgir associada a ligantes dos tipos anteriores.

O local de preparação da argamassa também tem influência na sua designação, sendo que a argamassa é considerada tradicional quando é preparada em obra e é considerada pré-doseada ou industrial quando já vem doseada ou preparada de fábrica (de acordo com a NP EN 998-1 (IPQ, 2013) no caso das argamassas de reboco).

São diversas as funções atribuídas às argamassas, podendo servir como argamassas de assentamento de alvenarias, de revestimento interior ou exterior, de enchimento ou de regularização.

As argamassas de reboco interior têm como objectivo o revestimento estético e a protecção das paredes interiores conferindo-lhes, em geral, as suas características de verticalidade e planeza, devendo responder a exigências de regularidade e perfeição da superfície. Também podem responder a exigências estéticas, podendo actuar como revestimento final, devido à sua cor característica e aspecto interessante, ou o reboco efectuado ser coberto por uma pintura ou outra opção desejada.

Uma argamassa de terra consiste numa mistura de terra crua com granulometria fina, areia e água. Uma vez que a argila é o único componente a actuar como ligante na mistura, é necessário que seja em quantidade suficiente para conferir boa trabalhabilidade no estado fresco e aderência e dureza suficiente no estado seco. A areia a utilizar também deve ser alvo de considerações, na altura da sua escolha, uma vez que é um elemento muito importante, conferindo às argamassas estabilidade dimensional (limitando a retracção na secagem) e durabilidade. É ainda um factor chave para a obtenção da trabalhabilidade

desejada, mas mais ainda para a obtenção da resistência mecânica (Lima et al., 2016a). Devem ser utilizadas areias com granulometria equilibrada, sem excesso de elementos grossos, assim como finos, visto que estes últimos conduzem a uma maior fissuração e porosidade das argamassas, diminuindo a sua resistência mecânica (Zak et al., 2016).

Uma vez que a resistência mecânica das argamassas de terra é relativamente baixa, por vezes recorre-se a estabilização (química, física ou mecânica) de forma a tentar promover o seu incremento. No caso da estabilização química, é frequente o recurso a ligantes minerais, tais como a cal aérea, uma vez que é expectável que melhorem a resistência mecânica das argamassas, bem como o seu comportamento face à água. No entanto a influência destes constituintes não está comprovada na bibliografia consultada (Gomes et al., 2012a; Gomes et al., 2012b) e pode variar ainda com a proporção utilizada e o seu tipo. Outro tipo de adições comumente utilizadas são as fibras de origem vegetal ou animal. É referido pretenderem melhorar a resistência mecânica, mas também outras características como a susceptibilidade à retracção (Lima et al., 2016b).

Quando utilizadas para a execução de rebocos interiores, as argamassas de terra podem apresentar diversas vantagens relativas à qualidade do ar interior (Lima & Faria, 2016; Lima et al., 2016b). Promovem um maior conforto e saúde dos ocupantes, podendo actuar como retardador de alguns problemas de saúde tais como asma, alergias, infecções e irritações das membranas da mucosa (WHO, 2009), devido ao facto de as argamassas de terra actuarem como reguladores de HR presente no interior dos espaços, permitindo o seu controlo (Minke, 2006; Maddison et al., 2009; Liuzzi et al., 2013). Tal característica advém da elevada capacidade de adsorção e desadsorção de vapor de água das argamassas de terra, especialmente quando comparadas com outras argamassas aplicadas como reboco interior (Minke, 2006). Também a percepção de frio e calor está associada ao controlo da HR, uma vez que se a sua concentração for elevada, o desconforto sentido será maior (Moret-Rodrigues et al., 2009).

Ta como referido anteriormente, os rebocos de terra apresentam ainda um reduzido consumo de energia na fase de produção, revelando-se superiores, a nível ambiental, aos rebocos industriais mais convencionais (Melià et al., 2014).

Do referido, é expectável que a utilização da terra em argamassas de reboco traga inúmeras vantagens, nomeadamente para o conforto e salubridade dos espaços interiores, para a saúde dos seus ocupantes e em termos de eco-eficiência.

2.4. Agregados e adições

Os agregados e as adições são adicionados à terra, na fase de mistura, com o objectivo de modificar e principalmente incrementar as propriedades físicas e mecânicas, tornando as argamassas mais duráveis.

Os agregados caracterizam-se por possuírem forma e volume aleatório, podendo ser de origem natural ou artificial, tendo alguma influência sobre as propriedades de endurecimento das misturas.

Por sua vez, as adições podem ser de origem mineral, vegetal ou animal, exercendo também influência sobre as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. São por norma adicionadas em pequenas quantidades, relativamente à massa ou volume de um ou mais componentes da mistura.

2.4.1. Areia

A areia é adicionada às argamassas com o objectivo de lhes conferir melhor trabalhabilidade e posteriormente maior resistência. As areias influenciam as argamassas de diversas formas, nomeadamente através da sua granulometria, uma vez que as argamassas formuladas apenas com areais mais finas estão sujeitas a uma maior ocorrência de fissuras. Também a ligação entre a terra e a superfície das partículas de areia pode influenciar as argamassas, visto que se as partículas possuírem uma forma mais angular permitem uma maior aderência às argilas da terra, originando uma estrutura mais estável.

Também na condutibilidade térmica a granulometria da areia tem influência, visto que argamassas com maior percentagem de areia fina, segundo alguns autores, tendem a apresentar valores de condutibilidade térmica mais elevados (Santos et al., 2015).

Apesar dos seus benefícios, as areias não devem ser adicionadas em excesso, pois podem prejudicar a resistência das argamassas. No entanto, apesar de se registar o decréscimo das resistências à tracção e compressão com o aumento da quantidade de areia nas argamassas, o mesmo não se verifica para a aderência ao suporte, que (até determinados limites) parece não seguir a tendência decrescente verificada com o aumento da quantidade de areia (Lima et al., 2016b). O tipo de areia utilizado pode ainda ter influência na massa volúmica da argamassa.

2.4.2. Cais e gesso

As cais integram as adições minerais e podem ser adicionados às argamassas de terra de forma a alterar as suas capacidades resistentes e o seu comportamento face à humidade. A estabilização feita com recurso a estes materiais é química, pelo que o processo de endurecimento das argamassas é irreversível.

Relativamente à capacidade resistente das argamassas de terra com adição de ligantes, Gomes et al. (2012a) verificaram que o valor do módulo de elasticidade dinâmico parece aumentar com o aumento da percentagem de ligante para as argamassas de cal aérea e diminuir com o aumento da percentagem de ligante no caso de argamassas com adição de cal hidráulica. Quanto às resistências mecânicas, o aumento da percentagem de ligante traduz-se no aumento da resistência à tracção das argamassas com adição de cal aérea e na diminuição do mesmo valor para as argamassas com adição de cal hidráulica. Também a resistência à compressão das argamassas com adição de cal aérea sofre um aumento com o incremento da percentagem de ligante (Gomes et al., 2012a). Isto permite observar que, para certas adições, menores percentagens parecem promover benefícios superiores nas características mecânicas das argamassas.

Também o gesso pode ser utilizado como adição em argamassas, actuando como um estabilizante químico, uma vez que se trata de um material mineral. O gesso é um material que possui um tempo de presa reduzido, embora a presa possa ser retardada com a utilização de uma maior quantidade de água na amassadura ou com retardadores de presa específicos. Quando utilizada em quantidades elevadas, a água pode conduzir a argamassas demasiado porosas e permeáveis.

Embora as argamassas estabilizadas com maiores percentagens de gesso apresentem geralmente uma resistência à tracção e compressão superiores às não-estabilizadas ou estabilizadas

com uma baixa percentagem de gesso, o elevado teor em água das misturas pode também prejudicar essas mesmas resistências, provocando o seu decréscimo (Zak et al., 2016).

A aderência ao suporte é outra das propriedades afectadas pela presença do gesso nas argamassas, uma vez que é um material que apresenta muito boa aderência ao ferro, boa aderência aos tijolos e pedras naturais, mas má aderência por exemplo à madeira (Henriques, 2012).

A nível de isolamento térmico, uma vez que é um mau condutor de calor, o gesso apresenta um reduzido valor de condutibilidade térmica (Pina dos Santos et al., 2006). Quanto ao conforto acústico, o gesso pode ser utilizado de forma a minimizar os tempos de reverberação dos locais, embora seja reduzida a sua actuação como isolante acústico, devido à sua reduzida massa volúmica (Meisser, 1978 citado por Mendonça, 2005).

2.4.3. Fibras

A adição de fibras, tanto vegetais como animais, é outro método de estabilização das argamassas, desta vez físico. A sua utilização permite a diminuição da fissuração registada nos rebocos durante a fase de secagem e pode contribuir ainda para vantagens a nível do conforto térmico e acústico (Ashour et al., 2015b).

A adição de fibras contribui para a diminuição da retracção linear das argamassas de terra, embora quando adicionadas em percentagens mais elevadas possam produzir o efeito contrário, uma vez que as argamassas necessitarão de uma maior quantidade de água na fase de mistura para que seja possível atingir a trabalhabilidade e consistência desejada (Lima & Faria, 2016).

Também a massa volúmica aparente e a condutibilidade térmica das argamassas podem ser reduzidas através da adição de fibras. Embora no caso das argamassas de reboco, a redução da massa volúmica aparente não tenha muito efeito, este fenómeno pode ser benéfico a nível do isolamento térmico, uma vez que a argamassa se torna mais leve (Röhlen & Ziegert, 2011). No entanto a redução da massa volúmica tem de ser compatibilizada com os requisitos mecânicos necessários.

Por norma, a adição de fibras tem uma influência positiva nas resistências à tracção e flexão das argamassas, promovendo o seu incremento. A adição de fibras promove ainda o aumento da aderência ao suporte das argamassas, o que se revela um factor extremamente importante para as argamassas de reboco (Lima & Faria, 2016).

2.5. Argamassas com base em terra ou gesso

Ao longo dos últimos anos, vários investigadores têm-se debruçado sobre a formulação e caracterização de argamassas com base em terra, tendo sido realizados os mais diversos estudos com o objectivo de caracterizar estas argamassas relativamente ao seu comportamento mecânico (Röhlen e Ziegert, 2011; Delinière et al., 2014; Santos et al., 2014), ao seu comportamento face à presença de água líquida (Faria et al. 2016; Santos et al., 2015) e quanto ao seu comportamento higrotérmico (Lima et al., 2016b; Lima & Faria, 2016). Foram também elaborados estudos sobre argamassas de terra aditivadas com cais, cimento e fibras naturais (Gomes et al., 2016a; Gomes et al., 2016b; Lima & Faria, 2016), com o objectivo de perceber qual a influência que as diversas adições exercem sobre as características das argamassas. Foram ainda realizados estudos canalizados para a análise da influência de tratamentos de superfície (Stazi et al., 2016), uma vez que é importante proteger e prolongar a vida útil dos rebocos de

terra, mas também é importante perceber como é que as características desses rebocos podem ser afectadas pelos respectivos tratamentos.

Relativamente à caracterização mais específica de argamassas de gesso, Khalil et al. (2014) estudaram o efeito da adição de resíduos nas propriedades físicas e mecânicas destas argamassas, nomeadamente no tempo de presa, na sua porosidade aberta, massa volúmica e resistência à compressão. Por sua vez, Pundir et al. (2015) estudou misturas de gesso e superplastificante de desempenho melhorado, concentrando especial atenção na influência que diferentes percentagens de superplastificante exercem nas resistências à tracção e compressão das argamassas, bem como a sua resistência face à água líquida. Vimrová et al. (2014) optou por estudar argamassas de gesso com cal aérea e metacaulino, concentrando-se na determinação da composição óptima. Posteriormente, avaliou as diversas misturas em termos de massa volúmica aparente, porosidade aberta, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à flexão e compressão, condutibilidade térmica e permeabilidade ao vapor de água. Não se sabe qual a temperatura de cozedura dos gessos utilizados nos estudos referidos.

Freire et al. (2010) caracterizaram amostras de revestimentos antigos portugueses à base de gesso e distinguiram massas de estuque, decorações moldadas em obra e decorações pré-moldadas, com composições e tecnologias construtivas específicas. Desenvolveram ainda produtos específicos e compatíveis passíveis de serem utilizados em acções de conservação e restauro desse tipo de revestimentos (Freire et al., 2015).

Por outro lado, a influência do gesso nas argamassas de terra tem sido um assunto pouco desenvolvido. Mattone & Bignamini (2012) estudaram argamassas de terra e gesso com diversas adições, em que o seu foco principal era perceber qual a sua influência na absorção de água por capilaridade das argamassas, bem como a capacidade dessas adições de promover a melhoria da resistência à erosão sem alterarem as respectivas características estéticas. Zak et al. (2016), tendo estudado argamassas de terra com substituição em percentagem de massa por fibras vegetais, cimento e gesso, direccionaram a sua investigação no sentido de perceber qual a influência destas substituições na resistência à compressão das argamassas. Ashour et al. (2015a) estudou argamassas de terra com substituição em percentagem de massa por fibras vegetais, cimento e gesso avaliando o respectivo Equilibrium Moisture Content (EMC) e posteriormente, num segundo estudo, a condutibilidade térmica (Ashour et al., 2015b).

A influência da utilização de diferentes rácios e da variação da granulometria da areia, também tem sido estudada recentemente. Emiroglu et al. (2015) estudou argamassas com diferentes rácios argila/areia, estabelecendo como objectivos a percepção da influência destes rácios na retracção e resistência à compressão das argamassas e a determinação do rácio argila/areia óptimo. Também Santos et al. (2015) estudou a influência da variação da granulometria da areia debruçando-se sobre os ensaio de condutibilidade térmica, permeabilidade ao vapor de água e higroscopicidade.

No Anexo A.1 apresentam-se, nos Quadros A.1.1 a A.1.3, uma síntese das referências bibliográficas consultadas onde se expõem os estudos efectuados e as respectivas conclusões retiradas pelos diversos autores relativos a produtos com base em terra (Quadro A.1.1), com base em terra e/ou gesso (Quadro A.1.2), com base em cal (Quadro A.1.3).

2.6. Definição da campanha experimental

Como foi demonstrado anteriormente, a influência que o gesso e a variação da granulometria da areia têm nas argamassas de terra é um tema pouco desenvolvido. Muitas vezes os autores concentram a sua análise nos resultados provenientes de um único ensaio ou de um conjunto muito reduzido e específico (Ashour et al., 2015a; Ashour et al., 2015b), deixando lacunas na possibilidade de uma caracterização mais abrangente. Também foi notado que muitos dos autores optam por fazer uma análise de argamassas de terra com mais do que uma adição em simultâneo (Zak et al., 2016), o que dificulta a compreensão da influência que o gesso realmente exerce sobre as características das argamassas. O mesmo se verifica para a variação da granulometria da areia, onde não é possível avaliar as implicações da utilização de apenas uma areia com uma granulometria específica (Santos et al., 2015). Com estas questões em mente foi delineado um estudo que tentasse colmatar estas lacunas de conhecimento, fazendo uma caracterização mais abrangente deste tipo de argamassas.

No intuito de atingir o objectivo desta dissertação (contribuir para um conhecimento mais abrangente sobre o comportamento das argamassas de terra para rebocos interiores e sobre a influência da adição de gesso e da variação da granulometria da areia nestas argamassas) foi necessário aferir as características mecânicas das argamassas estudadas de forma a avaliar as suas vantagens e desvantagens quando aplicadas como rebocos interiores.

A campanha experimental foi cuidadosamente planeada por forma a serem realizados todos os ensaios considerados necessários e cumprindo os tempos de cura definidos para este tipo de argamassas. Os ensaios foram realizados na sua totalidade nos Laboratórios de Construção do DEC da FCT NOVA.

A parte experimental da presente dissertação está compreendida em diversas fases explicitadas seguidamente.

A primeira fase da campanha experimental consistiu na caracterização dos materiais constituintes das argamassas, tendo sido realizada a análise granulométrica da terra argilosa utilizada, bem como das diversas areias utilizadas, de referência e de substituição. Foi ainda realizado o ensaio de baridade para o gesso a utilizar e igualmente para as areias de substituição. A baridade da terra e da areia de referência eram já conhecidas, no âmbito da campanha experimental integrante do trabalho de doutoramento do Arquitecto José Lima ainda em curso, cujos resultados preliminares foram já entretanto publicados (Lima et al., 2016b). Os valores medidos nesta primeira fase apresentam-se individualmente nos Anexos A.3 e A.4.

A segunda fase consistiu na produção das argamassas, tendo sido produzidas cinco argamassas diferentes; três delas compreendem a adição de gesso e as duas últimas a variação da granulometria da areia utilizada. As argamassas foram caracterizadas no estado fresco. Foi também nesta fase que se produziram os diversos provetes necessários para a realização dos ensaios. Foram produzidos provetes prismáticos com dimensões 40x40x160 [mm], provetes circulares com diâmetro de 90 mm e espessura de 20 mm, provetes através da aplicação de uma camada de reboco com 20 mm de espessura sobre tijolo cerâmico com dimensões 300x200x20 [mm] e finalmente provetes planares com dimensões 500x200x15 [mm]. Ainda nesta fase foi realizada a caracterização no estado fresco de todas as argamassas. Todos os valores medidos são apresentados individualmente no Anexo A.5.

Finalmente, na terceira fase foi realizada a caracterização no estado endurecido das argamassas. Após a obtenção dos resultados provenientes dos ensaios, as argamassas foram, no seu conjunto,

comparadas entre si e com a argamassa de referência, também previamente caracterizada no âmbito do trabalho de doutoramento em curso do Arquitecto José Lima. Os valores obtidos nesta fase são apresentados individualmente no Anexo A.6.

O Quadro 2.4 apresenta uma síntese dos ensaios realizados bem como das normas e procedimentos seguidos.

Quadro 2.4 - Quadro síntese de ensaios realizados e normas e procedimentos seguidos

Âmbito do ensaio	Ensaio	Material	Norma/Procedimento
Caracterização dos constituintes da argamassa	Análise granulométrica por via seca	Areia de referência, areia fina, areia grossa e terra argilosa	EN 1015-1 (CEN, 1998a)
	Baridade	Areia de referência, areia fina, areia grossa, gesso	NP EN 1097-3 (IPQ, 2000)
Caracterização das argamassas no estado fresco	Consistência por espalhamento	Argamassa no estado fresco	EN 1015-3 (CEN, 1999a)
	Abaixamento por espalhamento	Argamassa no estado fresco	-
	Consistência por penetrómetro	Argamassa no estado fresco	EN 1015-4 (CEN, 1998c)
	Massa volúmica	Argamassa no estado fresco	EN 1015-6 (CEN, 1998d)
Caracterização das argamassas no estado endurecido	Retracção linear por secagem	Provetes de argamassa	DIN 18947 (DIN, 2013) ⁽¹⁾
	Massa volúmica aparente	Provetes prismático de argamassa	DIN 18947 (DIN, 2013) ⁽¹⁾
	Módulo de elasticidade dinâmico	Provetes prismático de argamassa	NP EN 14146 (IPQ, 2006)
	Resistência à tracção por flexão	Provetes prismático de argamassa	DIN 18947 (DIN, 2013) ⁽¹⁾ e EN 1015-11 (CEN, 1999b)
	Resistência à compressão	Metade de provetes prismáticos de argamassa	DIN 18947 (DIN, 2013) ⁽¹⁾ e EN 1015-11 (CEN, 1999b)
	Resistência à abrasão	Argamassa sobre tijolo	DIN 18947 (DIN, 2013)
	Aderência ao suporte	Argamassa sobre tijolo	DIN 18947 (DIN, 2013) ⁽¹⁾ e EN 1015-12 (CEN, 2000)
	Coesão superficial	Argamassa sobre tijolo	Drdácký et al (2015) e Faria et al. (2016)
	Condutibilidade térmica	Provetes circulares de argamassa	Manual do equipamento ISOMET 2104 (sonda API 210412 Ø60 mm)
	Dureza superficial por durómetro	Provetes circulares de argamassa	ASTM D2240 (ASTM, 2000)

Notas: (1) – Com base na tradução apresentada por Santos et al.(2014).

3. MATÉRIAS-PRIMAS, ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO E PROVETES

3.1. Caracterização dos constituintes das argamassas

3.1.1. Origem e composição

Terra argilosa

Utilizou-se a mesma terra argilosa em todas as argamassas (Figura 3.1). Esta terra foi extraída de um “barreiro” localizado no sector Este da sub-região do “Barrocal” algarvio, pertencente à zona mais alta da bacia sedimentar do Algarve, cujas formações geológicas remontam ao período Retiano/Hetangiano, correspondente à transição do período Triássico para o Jurássico, apresentando uma grande concentração de solos argilosos, em que se destaca a prevalência da ilite. A formação desta terra ilítica está associada a um processo de sedimentogenesis que ocorre em ambiente marítimo (Manuppela et al., 1985; Lima & Faria, 2016; Lima et al. 2016b).



Figura 3.1 - Terra argilosa (E) utilizada na formulação das argamassas (Créditos: José Lima)

O que motivou a escolha desta terra para a formulação das argamassas foi a grande concentração de argila ilítica, uma vez que a sua prevalência promove uma elevada capacidade de adsorção de vapor de água, aliada à expansão reduzida quando se encontra humedecida (Lima & Faria, 2016). Estas características existem devido à estrutura cristalina do aluminato-silicato da ilite, que se organiza numa sucessão de camadas tetraedros/octaedros/tetraedros, em que os espaços que os intercalam são ocupados por catiões de potássio responsáveis pela baixa expansibilidade (Botelho-da-Costa, 2004; Gomes, 1988). Estas propriedades são importantes visto que os rebocos actuam como reguladores de humidade do ar interior, promovendo ao mesmo tempo a diminuição de ocorrência de fissuração, uma vez que se regista uma menor retracção por secagem. Estes são factores que facilitam a aplicação das argamassas em obra e as tornam adequadas como solução para rebocos interiores (Lima & Faria, 2016).

Areia

Como parte integrante da formulação das argamassas foram consideradas três areias siliciosas com granulometrias diferentes (Figura 3.2). A areia de granulometria mais fina, designada de SF (Sand Fine), foi extraída de um areeiro localizado em Mesquita, na região de Sesimbra. A areia de granulometria intermédia e seleccionada como areia de referência, denominada de S (Sand), foi extraída de um areeiro localizado em Santiago do Cacém, na região de Sines. Finalmente, a areia de granulometria mais grossa, apelidada de SC (Sand Coarse), foi extraída de um areeiro localizado perto de Pinhal Conde da Cunha 4, na zona da Amora. A areia considerada de referência (S) trata-se de uma areia não lavada, o que inclui as partículas finas na sua gama granulométrica. Por seu lado, as areias de

granulometria mais fina (SF) e mais grossa (SC) tratam-se de areias lavadas, lavagem durante a qual pelo menos grande parte dessas partículas finas foram eliminadas da sua composição. Por vezes a lavagem das areias é feita com auxílio de produtos desfloculantes, não sendo possível garantir ou não a sua utilização no caso das areias utilizadas.



Figura 3.2 - Areia de granulometria mais fina (SF), de referência (S) e de granulometria mais grossa (SC), respectivamente da esquerda para a direita (Créditos: José Lima)

Gesso

Foi utilizado um gesso hemihidratado não aditivado (G), composto por sulfato de cálcio natural, de cor branca produzido e comercializado pela empresa SIVAL (Figura 3.3). Este gesso deve ser aplicado manualmente, sendo recomendada a aplicação pelo método tradicional, para a execução de estuques em paredes e tectos. É comercializado na forma de pó (resíduos nos peneiros: $500\mu\text{m} \leq 0,10\%$; $300\mu\text{m} \leq 0,65\%$) e encontra-se pronto a ser utilizado através de amassadura mecânica, em que a água deve ser adicionada na proporção de um litro para 1,45 kg de gesso (Ficha técnica do gesso – Anexo A.2).



Figura 3.3 - Gesso (G) utilizado na formulação das argamassas (Créditos: José Lima)

3.1.2. Baridade

A baridade dos materiais constituintes das argamassas foi determinada com base na norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2000). A determinação da baridade tem como base a determinação da massa de material seco que preenche um recipiente cilíndrico metálico de capacidade conhecida e é necessária para que se possa medir de forma rigorosa o traço do material em massa, de forma correspondente ao traço volumétrico definido.

Inicialmente, o material foi colocado no funil, tapado na base, e com o suporte e recipiente metálicos colocados dentro de um tabuleiro, para evitar perda de material (Figura 3.4). A altura a que se encontra o fundo do funil do topo do recipiente é de 70 mm. Uma vez completamente cheio, abriu-se a base do funil permitindo que o material enchesse o recipiente até ao topo através da acção da gravidade.

Posteriormente, alisou-se a superfície do recipiente e pesou-se. O volume do recipiente era conhecido previamente, pelo que não foi necessário realizar o ensaio para a sua determinação. A baridade da terra argilosa e da areia de referência foi determinada no âmbito de uma campanha experimental anterior (Lima et al., 2016b), utilizando um recipiente com volume de 0,749 dm³, enquanto que na presente campanha experimental foi utilizado um recipiente com volume de 1 dm³. Este procedimento tinha sido efectuado três vezes para a terra argilosa (E) e areia de referência (S) e foi efectuado seis vezes para as areias de granulometria fina (SF) e grossa (SC) e também para o gesso (G).



Figura 3.4 - Recipiente, funil e suporte para determinação da baridade

A baridade do material é calculada através da equação 3.1:

$$B = \frac{m_{r+m} - m_r}{V_r} \times 10^{-3} \quad (3.1)$$

em que: B – baridade do material [kg/dm³]; m_{r+m} – massa do recipiente com o material [g]; m_r – massa do recipiente vazio [g]; V_r – volume do recipiente [dm³].

O Quadro 3.1 apresenta os valores de baridade em termos de média e desvio padrão para a terra argilosa (E), areia de referência (S), areia fina (SF), areia grossa (SC) e gesso (G).

Quadro 3.1 - Valores de baridade em termos de média e desvio padrão dos diversos constituintes

Constituinte	Referência constituinte	Volume [dm ³]	Baridade	
			Média [kg/m ³]	Desvio-padrão [kg/m ³]
Terra Argilosa ⁽¹⁾	E	0,749	1317,0	1,8
Areia Referência ⁽¹⁾	S	0,749	1591,8	0,6
Areia Fina	SF	1,000	1500,0	0,3
Areia Grossa	SC	1,000	1527,9	2,6
Gesso	G	1,000	652,1	6,1

Notas: (1) – valores aferidos em campanha experimental anterior (Lima et al., 2016b)

3.1.3. Granulometria a seco

A análise granulométrica foi efectuada através de peneiração, por via seca, com base na norma EN 1015-1 (CEN, 1998a). A análise granulométrica de um material consiste na separação deste em partes, em que cada uma delas agrega as partículas com dimensões correspondentes às malhas dos peneiros. Através do estudo da curva granulométrica é possível observar as percentagens de material

correspondente a cada dimensão, permitindo uma melhor avaliação e compreensão da contribuição do material para as características da argamassa. Para a execução deste ensaio foram utilizados os peneiros pertencentes à série principal composta por peneiros cujas aberturas formam uma série geométrica de razão 2 e que começam em 0,075 mm, definido pela ASTM, tendo sido adicionado o peneiro de malha 0,038 mm.

A terra argilosa foi passada previamente pelo peneiro com malha de 2 mm por forma a eliminar as partículas com dimensões superiores a esta. Todas as areias foram passadas previamente pelo peneiro com malha 4,75 mm por forma a eliminar partículas com dimensões superiores a esta.

Uma amostra de material foi seca em estufa, à temperatura de 60°C e durante um período de 24 horas até atingir massa constante. Posteriormente, retirou-se para um tabuleiro uma quantidade de aproximadamente 1 kg de amostra, medida numa balança de precisão 0,1 g. Os peneiros foram organizados por ordem decrescente, tendo sido colocadas uma base e uma tampa por forma a evitar a perda de material. A amostra foi colocada manualmente no peneiro com malha de maior abertura e o conjunto de peneiros foi colocado no equipamento de vibração mecânica (Figura 3.5). A vibração provocada aliada à acção da gravidade permitem que o material vá passando pelos peneiros, ficando depositado em cada um a quantidade de material correspondente a cada malha de peneiro. A vibração foi mantida durante um período de 10 minutos e pesou-se de seguida a quantidade de material retida em cada peneiro, com o cuidado de remover o material sem utensílios que pudessem danificar a malha dos peneiros. Este procedimento repetiu-se num total de três vezes para que fosse possível a obtenção de valores médios e a minimização da ocorrência de erros que poderiam provir da perda de material.

A percentagem de material retido em cada peneiro é calculado através da expressão 3.2:

$$\%_{retida} = \frac{m_{peneiro}}{m_{total}} \times 100 \quad (3.2)$$

em que: $\%_{retida}$ – percentagem de material retido num peneiro [%]; $m_{peneiro}$ – massa de material retida num peneiro [g]; m_{total} – massa total da amostra ensaiada [g].

Através da percentagem de material retido em cada peneiro é possível calcular a percentagem de material passado em cada peneiro, o que permite a obtenção do traçado da curva granulométrica a seco.



Figura 3.5 – Peneiros de malha quadrada e equipamento de vibração horizontal (a); Amostras retidas nos peneiros (b)

A curva granulométrica obtida para a terra argilosa utilizada é apresentada na Figura 3.6.

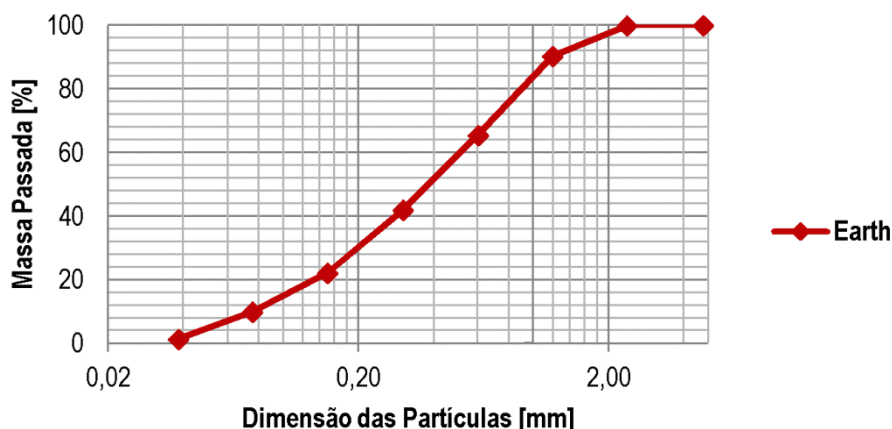


Figura 3.6 - Curva granulométrica da terra argilosa, E.

As curvas granulométricas obtidas para as três areias utilizadas (referência S, areia fina SF e areia grossa SC) são apresentadas na Figura 3.7.

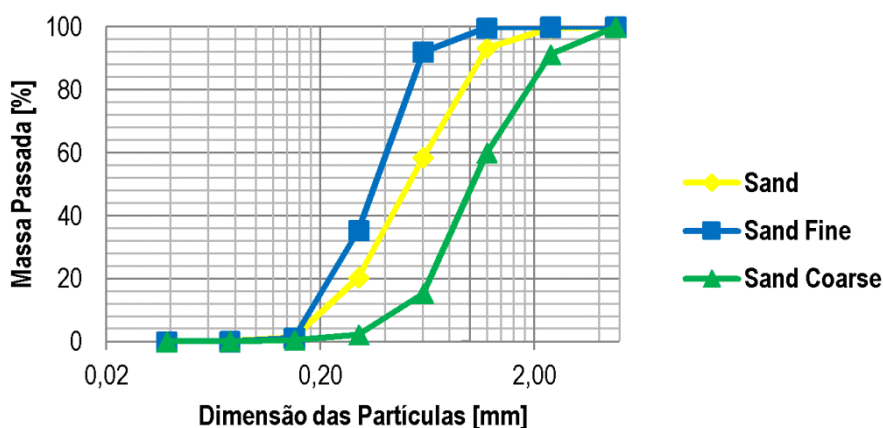


Figura 3.7 - Curvas granulométricas das areias, S, SF e SC

3.2. Produção das argamassas

3.2.1. Formulação das argamassas

Como já foi referido anteriormente, foram produzidas cinco argamassas em Fevereiro de 2016 e foi considerada como argamassa de referência uma sexta argamassa, designada de E1S3, produzida no âmbito de uma campanha experimental anterior inserida nos estudos da tese de doutoramento do Arquitecto José Lima (Lima et al., 2016). O traço volumétrico destas argamassas é de 1:3 (terra argilosa : areia siliciosa), sendo a argila da terra (E) o único ligante utilizado, que se mantém em quantidade e tipo em todas as argamassas formuladas. Como agregado foram utilizadas três areias diferentes: uma areia com granulometria mais fina (SF), utilizada na preparação da argamassa designada por E1SF3; uma areia com granulometria mais grossa (SC), utilizada na argamassa E1SC3; e uma areia com granulometria intermédia (S), considerada como areia de referência, utilizada na preparação da argamassa de referência anteriormente mencionada, assim como na preparação das três argamassas com adição de gesso (E1S3_G5, E1S3_G10 e E1S3_G20) as quais foram realizadas respectivamente com adições de 5%, 10% e 20% de volume de gesso em relação ao volume total de terra e areia.

No Quadro 3.2 são apresentados os traços volumétricos e os traços mássicos de cada uma das argamassas, em que os últimos são obtidos através dos valores da baridade dos diversos constituintes, expostos no subcapítulo 3.1.2.

Quadro 3.2 - Designação e composição das argamassas

Argamassa	Traço volumétrico	Traço mássico	Tipo de areia
	terra : areia : gesso	terra : areia : gesso	
E1S3	1:3	1:3,63	média (S – ref)
E1S3_G5	1:3:0,2	1:3,63:0,1	média (S – ref)
E1S3_G10	1:3:0,4	1:3,63:0,2	média (S – ref)
E1S3_G20	1:3:0,8	1:3,63:0,4	média (S – ref)
E1SF3	1:3	1:3,42	fina (SF)
E1SC3	1:3	1:3,48	grossa (SC)

3.2.2. Amassadura

A amassadura das argamassas foi realizada de acordo com a norma DIN 18947 (DIN, 2013 citado por Santos et al., 2014), específica para argamassas de terra. Esta norma define que as argamassas formuladas com o objectivo de serem ensaiadas, devem ser preparadas de acordo com o definido pela norma europeia EN 1015-2 (CEN, 1998b) considerando as alterações impostas pela referida norma alemã. Para realizar a amassadura foi utilizado um misturador mecânico de laboratório composto por uma pá accionada através de um motor eléctrico e por uma cuba de aço inoxidável com uma capacidade de 3 litros (Figura 3.8).



Figura 3.8 - Misturador mecânico de laboratório e cuba

Assim, introduziu-se o material previamente misturado e homogeneizado manualmente na cuba, seguida da introdução da água. Este passo foi efectuado com a misturadora parada devido à dificuldade do equipamento permitir a introdução de água durante o seu funcionamento. O misturador foi accionado durante 60 segundos. Após este período de tempo seguiu-se um período de repouso de 5 minutos, contemplado na norma DIN 18947 (DIN 2013 citado por Santos et al., 2014). Para as argamassas com adição de gesso, este período de repouso foi suprimido uma vez que o gesso possui um tempo de presa reduzido (cerca de 10 a 15 minutos). Por fim o misturador foi novamente accionado durante um período de mais 30 segundos, terminando o processo de amassadura.

A quantidade de água necessária para cada amassadura foi definida de forma a promover uma boa trabalhabilidade e cumprir o limite de espalhamento de 175 ± 5 mm estabelecido na norma DIN 18947 (DIN, 2013 citado por Santos et al., 2014).

Para tal realizou-se uma experimentação prévia, considerando apenas a formulação de uma porção de cada argamassa, com o mesmo traço, mas quantidades menores. Após ter sido determinada a quantidade de água adequada para cada formulação recalculou-se a quantidade de água necessária para amassar a totalidade dos componentes de cada mistura e estas foram produzidas.

Através do volume dos diversos componentes e das suas massas parciais e totais foi possível obter as percentagens volumétricas e mássicas respectivamente, para cada uma das argamassas formuladas. Estes valores são apresentados no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Percentagens volumétricas e mássicas das argamassas formuladas

Argamassa	Em volume				Em massa			
	Terra [%]	Areia [%]	Gesso [%] ^(a)	Água [%] ^(a)	Terra [%]	Areia [%]	Gesso [%]	Água [%] ^(b)
E1S3	25,0	75,0	-	19,6	21,6	78,4	-	12,8
E1S3_G5			5,0	20,4	21,2	76,7	2,1	13,1
E1S3_G10			10,0	22,1	20,7	75,2	4,1	13,9
E1S3_G20			20,0	24,5	19,9	72,2	7,9	14,9
E1SF3			-	24,6	22,6	77,4	-	16,9
E1SC3			-	21,3	22,3	77,7	-	14,4

(a) – Percentagem de volume adicionado em relação ao volume total de terra e areia

(b) – Percentagem de massa adicionada em relação à massa total dos restantes materiais constituintes

3.3. Caracterização das argamassas no estado fresco

3.3.1. Consistência por espalhamento e abaixamento

Procedimento

O ensaio de consistência por espalhamento (Figura 3.9) foi realizado de acordo com a norma EN 1015-3 (CEN, 1999a) e permite avaliar a consistência da argamassa dando uma noção da influência da água na trabalhabilidade da argamassa.

Iniciou-se o ensaio através da passagem de um pano húmido pela mesa de espalhamento e pelo molde troncocónico de forma a assegurar que estes se encontrassem limpos e humedecidos. Após a realização da amassadura, o molde foi colocado no centro do prato de espalhamento e inseriram-se duas camadas de argamassa, cada uma delas compactada com um número mínimo de 10 inserções do pilão. Rasou-se a superfície do molde com o auxílio de uma colher de pedreiro para retirar o excesso de argamassa e limpou-se o prato ao redor do molde para eliminar qualquer vestígio de argamassa ou água existente. Retirou-se o molde cuidadosamente e através da rotação da manivela da mesa, executaram-se 15 pancadas em 15 segundos, tentando, de forma mais rigorosa possível, manter o ritmo de uma pancada em cada segundo. Por fim, mediu-se o diâmetro de três direcções ortogonais, com o auxílio de uma craveira, em que o resultado é dado através da média das três medições. Como referido anteriormente, a norma DIN 18947 (DIN, 2013 citado por Santos et al., 2014) define que as argamassas no estado fresco devem possuir uma consistência por espalhamento de 175 ± 5 mm.



Figura 3.9 - Mesa de espalhamento, molde troncocônico e craveira (a); Aspecto da argamassa sobre a mesa de espalhamento (b); Aspecto da argamassa após as 15 pancadas (c) (Créditos: José Lima)

Na sequência do ensaio de espalhamento foi medido o abaixamento da argamassa através da penetração de uma vareta metálica no ponto mais alto da argamassa, tendo sido medido o valor obtido através de uma régua metálica. O processo foi repetido três vezes para cada argamassa, sendo o resultado de cada ensaio dado pela média das medições.

Resultados

A consistência por espalhamento foi determinada através de três ensaios para cada uma das argamassas (um ensaio por amassadura, das três efectuadas) e os resultados encontram-se expressos no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Resultados obtidos nos ensaios de consistência por espalhamento, abaixamento por espalhamento, consistência por penetrômetro e massa volúmica (estado fresco)

Argamassa	Consistência espalhamento		Consistência abaixamento		Consistência penetrômetro		Massa volúmica (estado fresco)	
	Média [mm]	d.p [mm]	média [mm]	d.p [mm]	média [mm]	d.p [mm]	média [kg/dm ³]	d.p [kg/dm ³]
E1S3	173	1,17	19	0,50	14	-	2,13	-
E1S3_G5	169	4,54	18	0,47	18	0,47	2,07	0,007
E1S3_G10	164	5,64	18	1,25	18	1,25	2,09	0,007
E1S3_G20	174	1,76	17	0,47	19	3,86	2,08	0,003
E1SF3	173	1,13	17	0,47	18	0,47	2,02	0,007
E1SC3	173	1,55	17	0,47	17	0,00	2,09	0,009

É possível observar que todas as argamassas apresentam uma consistência por espalhamento de acordo com o intervalo definido pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 citado por Santos et al., 2014), com excepção das argamassas E1S3_G5 e E1S3_G10 (5% e 10% de adição de gesso), que apresentam valores ligeiramente inferiores ao definido.

O espalhamento ligeiramente inferior observado nestas argamassas deve-se à pretensão de limitar o incremento de água nas formulações com adição de gesso, uma vez que esta, quando em excesso, pode conduzir a argamassas mais porosas e, conseqüentemente, menos resistentes, apesar de retardar o processo de presa do gesso.

No entanto é possível verificar que, para as argamassas com adição de 5 e 20% gesso (E1S3_G5 e E1S3_G20), a sua consistência por espalhamento aumenta com o incremento da relação água/terra (Figura 3.10). O mesmo não acontece para a argamassa com 10% de adição de gesso (E1S3_G10) em que a relação água/terra aumenta, mas o espalhamento diminui. No caso das argamassas com variação granulométrica da areia verifica-se que, apesar de existir um decréscimo da relação água/terra da argamassa formulada com areia de granulometria mais fina para a argamassa formulada com areia de granulometria mais grossa, a consistência por espalhamento registada é a mesma para as duas

argamassas. Tal pode dever-se ao facto da areia utilizada para a formulação da argamassa E1SF3 (areia fina) possuir uma maior quantidade de finos ou grãos com formas mais angulosas, o que faz com que necessite de uma quantidade de água superior para a obtenção da trabalhabilidade desejada.

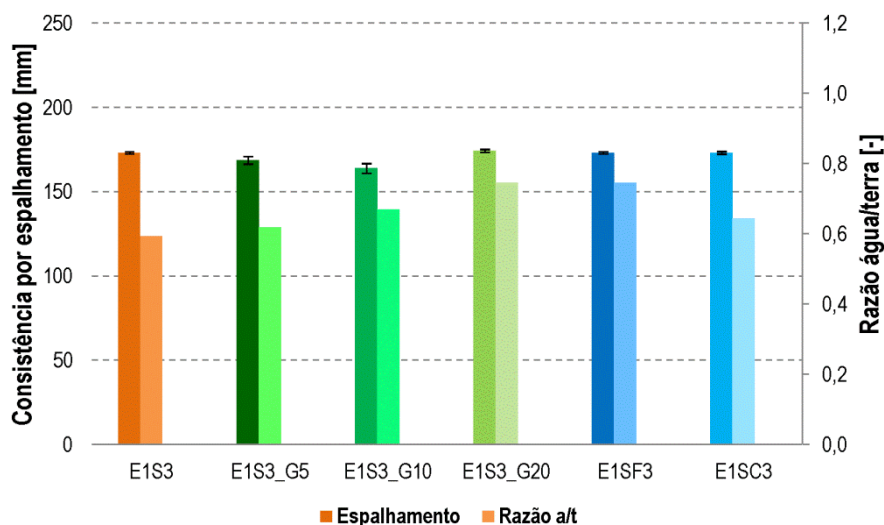


Figura 3.10 - Consistência por espalhamento e razão água/terra das argamassas formuladas

Através dos resultados apresentados no Quadro 3.4 é possível observar que a argamassa de referência (E1S3) é aquela que apresenta um menor abaixamento por espalhamento, sendo as argamassas com maior percentagem de gesso, areia fina e areia grossa, aquelas que apresentam um abaixamento maior.

É ainda possível observar que os valores de abaixamento por espalhamento são próximos para todas as argamassas analisadas.

3.3.2. Consistência por penetrómetro

Procedimento

Este ensaio foi determinado com base na norma EN 1015-4 (CEN, 1998c). O equipamento utilizado neste ensaio (Figura 3.11) é composto por uma haste vertical, com um êmbolo de determinada massa na sua extremidade inferior e por um recipiente cilíndrico.

Preencheu-se o recipiente cilíndrico com argamassa em duas camadas, cada uma compactada através da oscilação do recipiente em quatro direcções alternadas. De seguida, removeu-se o excesso de argamassa e colocou-se o recipiente debaixo da haste, deixando-a cair sobre a argamassa e medindo-se a profundidade de penetração do êmbolo. Realizaram-se três ensaios.

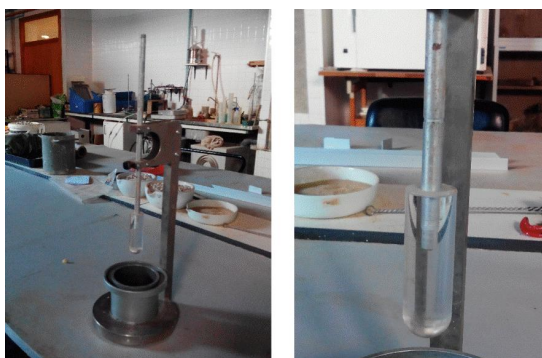


Figura 3.11 – Penetrómetro (a); Haste vertical com embolo (b)

Resultados

Relativamente aos resultados obtidos no ensaio de consistência por penetrómetro (Quadro 3.4) é possível verificar que o valor mais reduzido pertence à argamassa de referência (E1S3); por outro lado é a argamassa com 20% de adição de gesso (E1S3_G20) que apresenta o valor mais elevado. Verifica-se também que, com excepção da argamassa de referência, todas as argamassas apresentam valores próximos de penetração.

3.3.3. Massa volúmica

Procedimento

Este ensaio foi realizado com base na norma EN 1015-6 (CEN, 1998d). Começou-se por tarar a balança de precisão de 0,1 g com um recipiente cilíndrico vazio (Figura 3.12), com capacidade de 1 dm³. De seguida, a argamassa foi introduzida no recipiente até este atingir metade da sua capacidade e compactou-se a argamassa através da oscilação do recipiente em quatro direcções alternadas. Encheu-se o recipiente até à totalidade da sua capacidade e repetiu-se o processo de compactação. Com o auxílio de uma colher de pedreiro rasou-se a superfície do recipiente, limpando de seguida o seu bordo e qualquer vestígio de argamassa agregado ao exterior do recipiente. Finalmente, procedeu-se à pesagem do conjunto do recipiente e argamassa. Realizaram-se três ensaios por cada tipo de argamassa. A norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014) define que as argamassas de terra no estado fresco devem apresentar uma massa volúmica superior a 1,2 kg/dm³.



Figura 3.12 - Recipiente para determinação da massa volúmica no estado fresco

Resultados

Os resultados do ensaio de determinação da massa volúmica, no estado fresco encontram-se expressos no Quadro 3.4. Desta forma, é possível observar que a argamassa de referência (E1S3) é aquela que possui uma maior massa volúmica e que o menor valor é apresentado pela argamassa formulada com areia fina (E1SF3). É ainda de salientar que todas as argamassas apresentam valores muito semelhantes de massa volúmica no estado fresco.

3.4. Execução de provetes

3.4.1. Provetes prismáticos

Uma vez concluída a amassadura e executados os ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco procedeu-se à moldagem dos provetes prismáticos de dimensões 40x40x160 [mm], em moldes metálicos previamente pinclados com uma quantidade reduzida de óleo descofrante; uma vez

que as argamassas de terra absorvem facilmente o óleo, apenas foi colocado o considerado indispensável para impedir que os provetes aderissem ao molde e promover uma descofragem facilitada.

A argamassa foi colocada no interior do molde metálico posicionado sobre o compactador mecânico, em duas camadas, sendo cada uma delas compactada com 20 pancadas. No final da segunda compactação, o molde foi retirado do compactador, tendo sido rasado e nivelado.

Foram executados seis provetes prismáticos de cada argamassa, perfazendo um total de trinta provetes prismáticos (Figura 3.13).

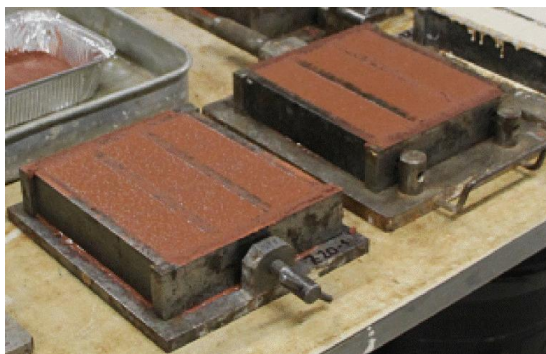


Figura 3.13 - Provetes prismáticos nos moldes metálicos (Créditos: José Lima)

3.4.2. Provetes sobre tijolo cerâmico

Seguidamente, executaram-se os provetes sobre tijolo furado, que consistiu na aplicação de uma camada de argamassa com 20 mm de espessura. Para a execução destes provetes, humedeceu-se o tijolo furado a ser utilizado, para que este não absorvesse a água existente na argamassa. De seguida colocou-se uma moldura de madeira com a altura desejada e dimensões aproximadas do tijolo, à sua volta, e uma caixa com as mesmas dimensões e 600 mm de altura sobre o tijolo para que a argamassa fosse lançada dessa altura constante, caindo em cima do tijolo, de forma a simular uma energia uniforme de aplicação em obra. Após a remoção da caixa rasou-se e nivelou-se a camada de argamassa, com auxílio de uma talocha, deixando a sua superfície o mais lisa possível e removeu-se a moldura de madeira. Finalmente acertou-se a camada de argamassa, em todas as extremidades do tijolo deixando-a com uma ligeira inclinação, eliminando arestas vivas para evitar a sua degradação.

Foram executados dois provetes sobre tijolo para cada argamassa, perfazendo um total de dez provetes (Figura 3.14).



Figura 3.14 - Camada de argamassa sobre tijolo furado

3.4.3. Provetes circulares

Foram ainda executados provetes circulares (Figura 3.15), em moldes plásticos com 90 mm de diâmetro e 20 mm de espessura. A argamassa foi introduzida nos moldes anelares com o auxílio de uma espátula, sendo compactada manualmente e posteriormente rasada e nivelada. Tal como aconteceu para os provetes prismáticos, foram executados seis provetes circulares por argamassa, tendo sido obtido o mesmo total de trinta provetes.



Figura 3.15 - Provetes cilíndricos (Créditos: José Lima)

3.4.4. Provetes planares

Foram também executados provetes planares (Figura 3.16), em moldes metálicos, com 1000 cm² de área de superfície (500 mm x 200 mm), com espessura de 15 mm. A argamassa foi introduzida nos moldes, previamente forrados com película aderente de polietileno, com o auxílio de uma talocha, sendo compactada manualmente e posteriormente rasada com movimentos de serra e nivelada. Foram executados 3 provetes planares por argamassa, tendo sido obtido um total de 15 provetes.



Figura 3.16 - Provetes planares (Créditos: José Lima)

3.4.5. Condições de cura

Após a execução de todos os provetes, para todas as argamassas, estes foram transferidos para uma sala condicionada no DEC-FCT NOVA (Figura 3.17) onde permaneceram, durante um período de 28 dias, dentro dos moldes e expostos a uma temperatura de $20 \pm 5^\circ\text{C}$ e uma HR de $50 \pm 15\%$.

Ao fim dos 28 dias os provetes foram desmoldados, permanecendo na sala condicionada mais 7 dias para estabilização das suas dimensões e massa, sendo finalmente preparados para a caracterização no estado endurecido.



Figura 3.17 - Sala condicionada (a); Termohigrómetro registrando em contínuo as condições de T e HR da sala condicionada (b)

4. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

4.1. Provetes prismáticos

4.1.1. Retracção linear por secagem

Procedimento de ensaio

A retracção das argamassas foi medida aquando da desmoldagem dos provetes e novamente aos 32 dias de idade, imediatamente antes da realização dos ensaios mecânicos. Começou-se por medir o comprimento do molde, com o auxílio de uma craveira digital (Figura 4.1). Após a desmoldagem dos provetes mediram-se os provetes de forma igual à medição dos moldes, repetindo-se o processo imediatamente antes da realização dos ensaios mecânicos. Através destes valores foi possível registar a variação dimensional sofrida pelos provetes de argamassa.



Figura 4.1 - Craveira digital

A retracção linear é calculada através da expressão 6.1:

$$R_l = \frac{\Delta}{dim} \times 100 \quad (6.1)$$

em que: R_l – retracção linear [%]; Δ – variação dimensional no maior comprimento [mm]; dim – dimensão do molde (comprimento) [mm].

Segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014) os resultados das medições individuais de cada provete devem ser arredondados a uma casa decimal, assim como o resultado da média da totalidade dos provetes.

Ainda segundo a mesma norma (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014), a retracção linear por secagem não deve ultrapassar os 2%, enquanto em rebocos de camadas finas com reforço de fibras podem atingir valores de retracção linear até 3%.

Resultados

Como se observa na Figura 4.2, todas as argamassas estudadas apresentam retracção linear reduzida, sendo inferior a 1%, o que está em concordância com as propriedades da terra argilosa utilizada.

É possível verificar que as argamassas com adições de 5% e 10% de gesso apresentam uma retracção linear de 0,7%, ligeiramente inferior à retracção linear registada para a argamassa de referência, 0,8% (irrelevante face a possíveis erros de leitura no ensaio). A argamassa com 20% de adição de gesso apresenta um valor de retracção linear muito inferior ao registado para a argamassa de

referência, sendo este de 0,2%. Isto acontece pois a expansibilidade da quantidade de gesso adicionado conseguiu compensar de forma eficaz a retração da terra argilosa.

Quanto às argamassas formuladas com areias de granulometrias diferentes, é possível verificar que ambas apresentam um valor de retração linear muito reduzido, inferior a 0,2%. No caso da argamassa formulada com areia de granulometria grossa (E1SC3), a retração linear é mesmo quase inexistente.

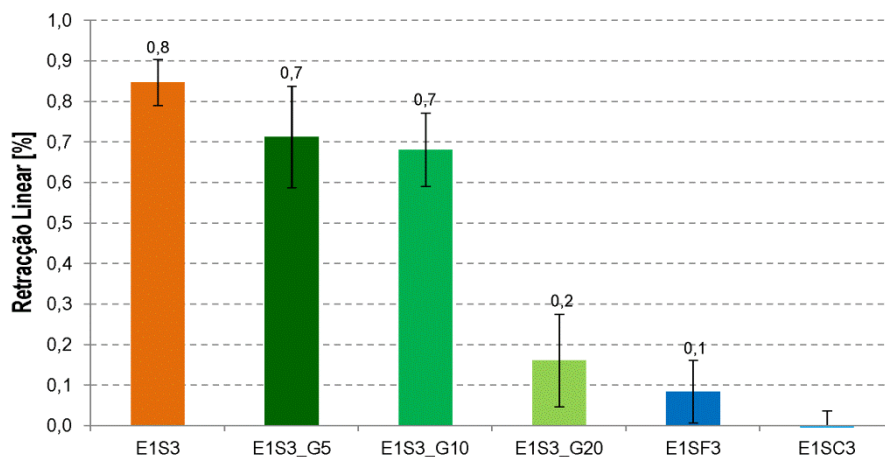


Figura 4.2 - Resultados obtidos no ensaio de retração linear

4.1.2. Massa volúmica aparente

Procedimento de ensaio

Após terem sido acondicionados a uma temperatura de $20 \pm 5^\circ\text{C}$ e HR de $50 \pm 15\%$, até aos 32 dias de idade para que pudessem atingir massa constante, os provetes foram novamente medidos (Figura 4.3) e pesados de forma a ser possível calcular a sua massa volúmica geometricamente. Foram medidas duas larguras, duas alturas e um comprimento, que permitiram calcular o volume dos provetes à data dos ensaios no estado endurecido.

A massa dos provetes foi medida através da utilização da balança de precisão de 0,001 g, enquanto os parâmetros geométricos, largura, altura e comprimento, foram medidos com o auxílio de uma craveira digital. Através destes dados foi possível realizar o cálculo das massas volúmicas dos provetes, para cada argamassa, e de seguida, através do seu valor médio, determinar a classe a que pertencem, segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014) (Quadro 4.1).

Os valores da massa e parâmetros geométricos foram posteriormente utilizados para o ensaio do módulo de elasticidade dinâmico.



Figura 4.3 - Medição dos provetes com craveira digital

A norma (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014) define que os resultados das medições individuais são expressos em kg/dm^3 e arredondados a duas casas decimais. O resultado final para cada argamassa é dado pela média das medições também arredondado a duas casas decimais.

Quadro 4.1 - Classes de massa volúmica aparente para argamassas de reboco de terra (de acordo com a DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014))

Classe de massa volúmica	Massa volúmica seca [kg/dm^3]
0,9	0,81 a 0,90 ^a
1,0	0,91 a 1,00 ^a
1,2	1,01 a 1,20 ^b
1,4	1,21 a 1,40 ^b
1,6	1,41 a 1,60 ^b
1,8	1,61 a 1,80 ^b
2,0	1,81 a 2,00 ^b
2,2	2,01 a 2,20 ^b

^a os valores individuais podem exceder os limites em $\pm 0,05 \text{ kg/dm}^3$
^b os valores individuais podem exceder os limites em $\pm 0,10 \text{ kg/dm}^3$

Resultados

Quanto à massa volúmica aparente (Figura 4.4), verifica-se que todas as argamassas apresentam valores muito próximos, tal como já tinha sido verificado para a massa volúmica no estado fresco. Desta forma todas as argamassas, com excepção da argamassa E1SF3, se enquadram na classe de massa volúmica 2,0 ($1,81 \text{ kg/dm}^3$ a $2,0 \text{ kg/dm}^3$) definida pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014). Por sua vez, a argamassa realizada com areia de granulometria fina (E1SF3) enquadra-se na classe de massa volúmica 1,8 ($1,61 \text{ kg/dm}^3$ a $1,80 \text{ kg/dm}^3$), imediatamente inferior à das restantes argamassas.

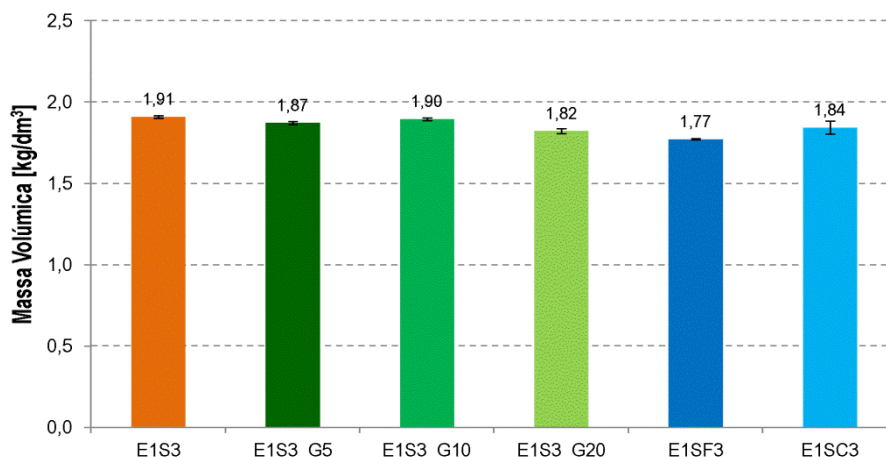


Figura 4.4 - Resultados obtidos na determinação da massa volúmica aparente

4.1.3. Módulo de Elasticidade Dinâmico

Procedimento de ensaio

Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico recorreu-se ao método da ressonância forçada, de acordo com a norma NP EN 14146 (IPQ, 2006). Esta norma define os passos necessários para que seja possível medir a frequência fundamental de ressonância para uma vibração induzida na direcção longitudinal do provete.

Retiraram-se os provetes da sala condicionada e colocou-se cada um deles, individualmente, no suporte integrante do equipamento “ZEUS Resonance Meter” (ZRM 001) (Figura 4.5), ficando um dos topos do provete de argamassa em contacto com o emissor de vibrações e o seu oposto em contacto com o receptor. De seguida inseriram-se a massa [g] e os parâmetros geométricos [mm] no programa de cálculo e deu-se início ao software do equipamento. Finalmente registaram-se as leituras do módulo de elasticidade. Com cada provete realizaram-se quatro ensaios, alterando a sua posição. Os provetes foram ensaiados aos 32 dias de idade.

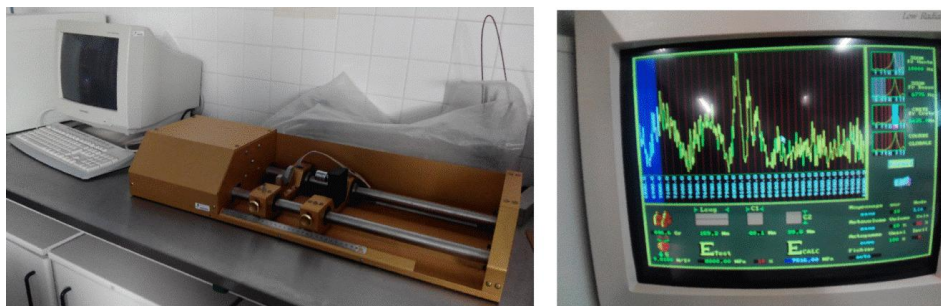


Figura 4.5 – Equipamento "ZEUS Resonance Meter" (a); Gráfico produzido pelo software do equipamento (b)

O programa de cálculo do equipamento procede à determinação do módulo de elasticidade dinâmico E_d com base na equação 4.1:

$$E_d = (2 \times L \times f_0)^2 \times \frac{\rho}{g} \times 10^{-6} \quad [N/mm^2] \quad (4.1)$$

em que: L – comprimento do provete [m]; f_0 – frequência de ressonância longitudinal [Hz]; ρ – peso específico [N/mm^3]; g – aceleração da gravidade [$9,81 \text{ m/s}^2$].

Resultados

Em relação aos resultados obtidos para o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico (Figura 4.6), constata-se que todas as argamassas realizadas com a areia de referência e adição de gesso apresentam um valor de módulo de elasticidade dinâmico superior ao da argamassa de referência. É ainda possível visualizar que este valor vai aumentando com a crescente percentagem de gesso. Muito provavelmente este aumento do módulo de elasticidade dinâmico, e subsequentemente da rigidez das argamassas, será traduzido no aumento das resistências mecânicas a obter.

Quanto às argamassas formuladas com areias de granulometrias diferentes, é visível que apresentam módulos de elasticidade dinâmicos inferiores ao da argamassa de referência, sendo o valor do módulo de elasticidade da argamassa formulada com areia de granulometria mais fina (E1SF3) o mais reduzido. Será esta a argamassa menos rígida, tendo sido igualmente a argamassa formulada com maior quantidade de água.

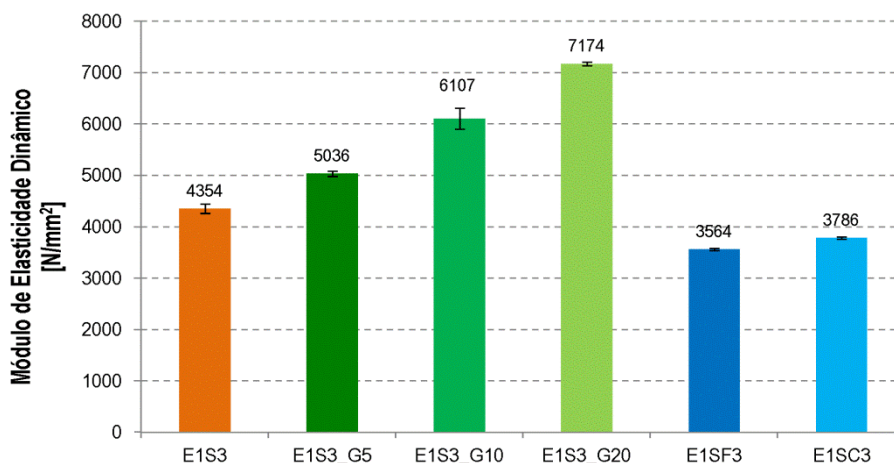


Figura 4.6 - Resultados obtidos para o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico

4.1.4. Resistência à tracção por flexão

Procedimento de ensaio

Após a conclusão do ensaio do módulo de elasticidade dinâmico, foi realizado o ensaio de resistência à tracção por flexão, baseado na norma EN 1015-11 (CEN, 1999b).

Para a realização do ensaio recorreu-se ao equipamento de tracção universal Zwick/Rowell Z050 equipado com uma célula de carga de 2 kN associada ao dispositivo de flexão por três pontos. O provete foi colocado sobre os apoios (Figura 4.7), distanciados entre si de 100 mm. Aquando da colocação do provete sobre os apoios, foi tido o cuidado de colocar a face mais rugosa disposta lateralmente, de forma a evitar que os resultados fossem influenciados pelas irregularidades das faces em contacto com os apoios. Foi ainda garantida a perpendicularidade entre o provete e a célula de carga. Uma vez colocado correctamente o provete, deu-se início ao ensaio através da iniciação do software do equipamento que incrementou uma velocidade 0,7 mm/min à carga aplicada. O software produz um gráfico que traduz a força aplicada [N] em função do tempo [s] e regista ainda a força máxima aplicada que permitiu a rotura do provete.

Este ensaio foi realizado para todos os seis provetes pertencentes a cada uma das cinco argamassas produzidas aos 32 dias de idade. Os resultados dos ensaios são expressos em N/mm^2 e arredondados a uma casa decimal.

A partir do valor médio, a argamassa é classificada de acordo com as classes de resistência à tracção definidas no Quadro 2.3 do subcapítulo 2.2.



Figura 4.7 - Ensaio de resistência à tracção por flexão

A resistência à tracção por flexão R_t obtém-se através da equação 4.2, explicitada na norma EN 1015-11 (CEN, 1999b):

$$R_t = 1,5 \times \frac{F_f \times l}{b \times d^2} \quad [N/mm^2] \quad (4.2)$$

em que: F_f – força máxima aplicada [N]; l – distância entre apoios, em milímetros [100 mm]; $b = d$ – lado da secção quadrada do provete, em milímetros [40 mm].

Resultados

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tracção por flexão encontram-se expressos na Figura 4.8. Mais uma vez, é possível observar que as argamassas com adição de gesso apresentam uma resistência à tracção superior à da argamassa de referência, sendo o incremento da resistência correspondente ao incremento da adição de gesso.

Para as argamassas formuladas com areias de granulometrias diferentes, verifica-se que estas apresentam valores inferiores ao registado para a argamassa de referência.

Quanto às classes de resistência definidas na norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014), observa-se que a argamassa de referência (E1S3) não atinge os valores mínimos definidos para a classe inferior de resistência mecânica, S I, embora apresente valores muito próximos do limite desta classe. Uma vez que as argamassas E1SF3 e E1SC3 apresentam valores de resistência à tracção inferiores ao da argamassa de referência, tal como esta, não atingem os valores mínimos para a classe S I definida na norma.

A argamassa com adição de 5% de gesso (E1S3_G5) supera ligeiramente os valores de resistência à compressão definidos para a classe S I, enquanto a argamassa com 10% de adição de gesso (E1S3_G10) apresenta um valor muito próximo do limite máximo da mesma classe. Por sua vez, a argamassa com 20% de adição de gesso (E1S3_G20) apresenta valores de resistência à compressão que se enquadram na classe de resistência mecânica S II, a mais elevada.

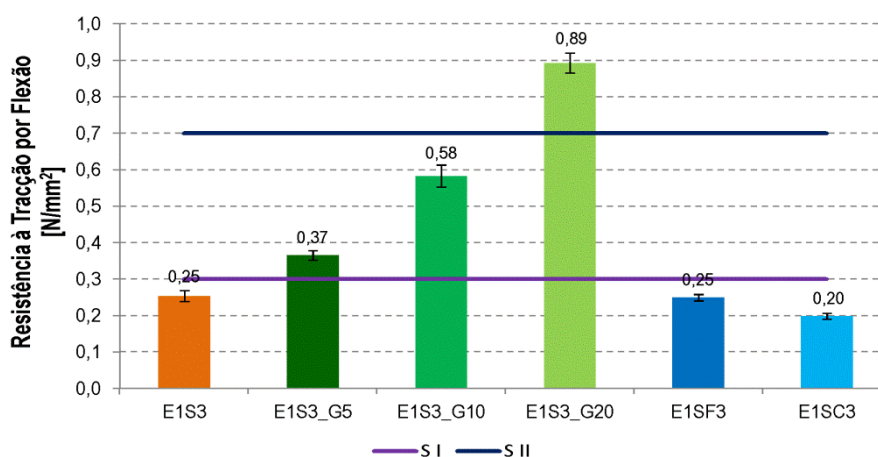


Figura 4.8 - Resultados obtidos para o ensaio de resistência à tracção por flexão e respectivos limites definidos pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014)

Através das Figuras 4.9 é ainda possível observar que a relação entre a resistência à tracção e o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas com adição de gesso e de referência, apresenta uma

tendência de comportamento linear em que o incremento do módulo de elasticidade dinâmico é acompanhado pelo incremento da resistência à tracção.

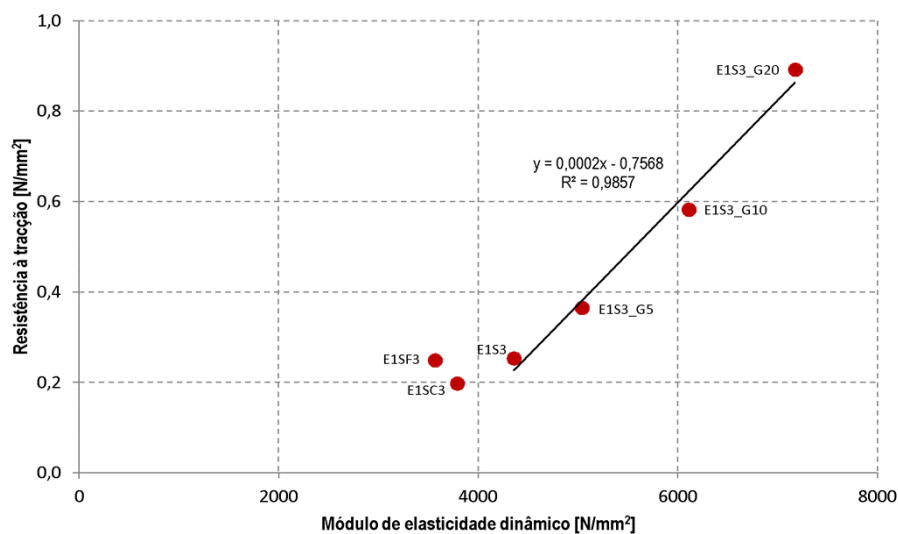


Figura 4.9 - Relação entre a resistência à tracção por flexão e o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas formuladas

4.1.5. Resistência à compressão

Procedimento de ensaio

Após a execução do ensaio de resistência à tracção por flexão, realizou-se o ensaio de resistência à compressão (Figura 4.10), utilizando uma das metades do provete resultantes do ensaio anterior e de acordo com a norma EN 1015-11 (CEN, 1999b).

Tal como no ensaio anterior, preparou-se o equipamento de tracção universal Zwick/Rowell Z050, equipando-o com uma célula de carga de 50 kN e um dispositivo de compressão de prismas com 40 mm de lado. Colocou-se o provete no dispositivo de compressão, tendo novamente o cuidado de posicionar a face mais rugosa lateralmente, para permitir que a carga actue numa face lisa e sem irregularidades. Iniciou-se o software do equipamento, sendo o provete carregado com uma velocidade de 3,0 mm/min, uma vez que se tratam de provetes de terra com elevada deformabilidade. O software produz um gráfico que regista os valores da força aplicada [N] em função do tempo [s] e ainda a força máxima de compressão, imediatamente antes da rotura.



Figura 4.10 - Ensaio de resistência à compressão (a); Aparência do provete após o ensaio (b)

É possível calcular a resistência à compressão (R_c), em N/mm^2 , dividindo a força máxima de compressão (F_c), em N, pela área da secção de aplicação da carga (A), em mm^2 .

Assim como para o ensaio de resistência à tracção, a partir do valor médio de resistência à compressão obtido para todas as argamassas é possível classificá-las com base nas classes de resistência à compressão definidas pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014) e apresentadas no Quadro 2.3 do subcapítulo 2.2. Tal como no ensaio de resistência à tracção por flexão, os provetes foram ensaiados aos 32 dias de idade.

Resultados

Os resultados do ensaio de resistência à compressão apresentam-se na Figura 4.11. Tal como verificado para o ensaio de resistência à tracção, a resistência à compressão das argamassas com adição de gesso apresenta valores superiores ao da argamassa de referência. É ainda possível observar que existe um incremento da resistência à compressão com o aumento da percentagem de gesso. Desta forma verifica-se que, tal como aconteceu para a resistência à tracção, a argamassa E1S3_G5 apresenta valores de resistência à compressão muito próximos do limite inferior da classe de resistência mecânica S I, enquanto os valores registados pela argamassa E1S3_G10 se aproximam do limite superior dessa classe. Finalmente a argamassa E1S3_G20 apresenta valores de resistência à compressão que se enquadram na classe de resistência mecânica S II.

Mais uma vez, as argamassas formuladas com areias de diferentes granulometrias apresentam a mesma tendência registada no ensaio de resistência à tracção: ambas as argamassas (E1SF3 e E1SC3) apresentam valores de resistência inferiores ao registado para a argamassa de referência. Da mesma forma que no ensaio anterior, e uma vez que as argamassas E1SF3 e E1SC3 apresentam valores de resistência à compressão inferiores ao da argamassa de referência, observa-se que as argamassas não atingem os valores mínimos definidos na classe de resistência mecânica S I.

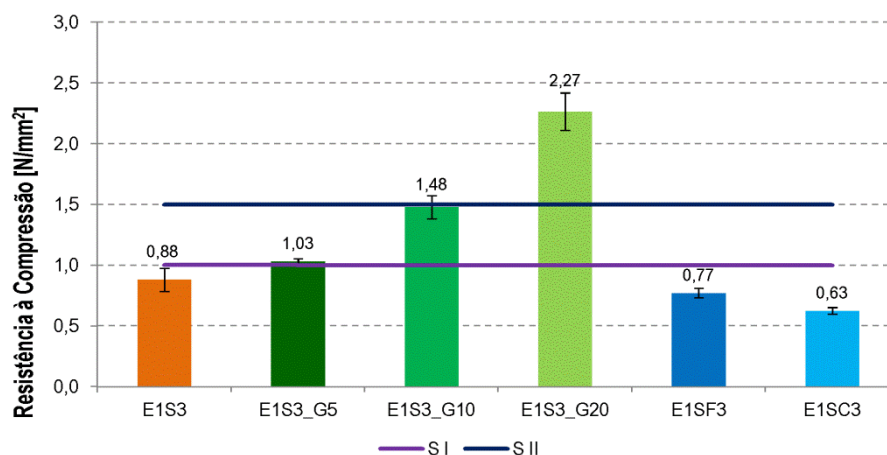


Figura 4.11 - Resultados obtidos para o ensaio de resistência à compressão e respectivos limites definidos pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014)

Tal como foi observado para a resistência à tracção por flexão e para o módulo de elasticidade dinâmico, também a resistência à compressão apresenta a mesma tendência de comportamento linear, para as argamassas com adição de gesso e de referência, em que o incremento da resistência à compressão acompanha o incremento do módulo de elasticidade dinâmico (Figura 4.12).

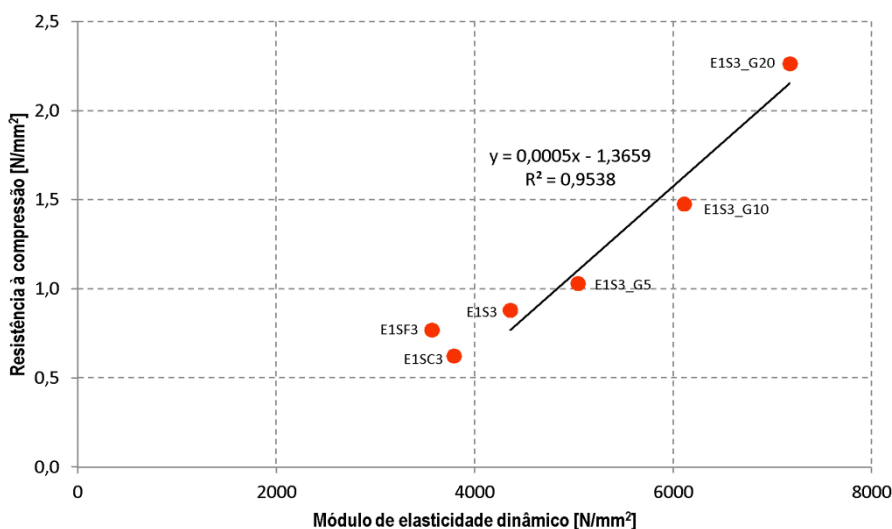


Figura 4.12 - Relação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas formuladas

Na Figura 4.13 encontram-se expostos os resultados obtidos para o ensaio de resistência à tração, compressão e módulo de elasticidade dinâmico, onde é possível observar a mesma tendência crescente das resistências mecânicas em concordância com o aumento do módulo de elasticidade dinâmico.

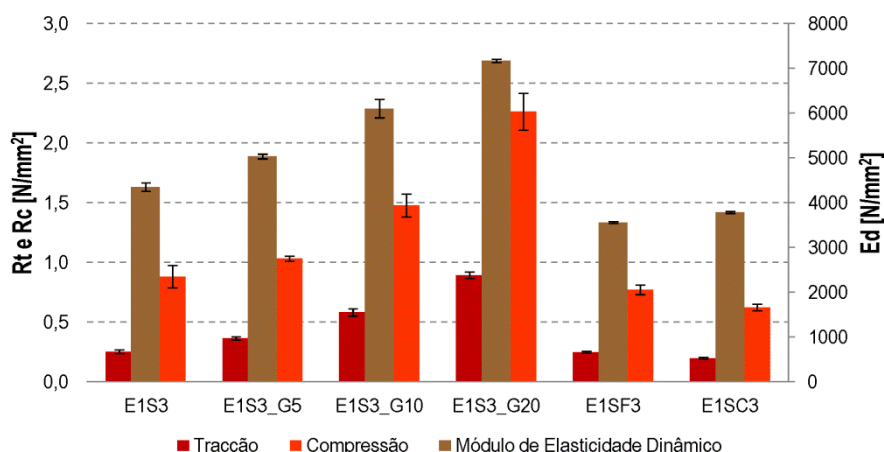


Figura 4.13 - Resistências à tração e compressão e módulo de elasticidade dinâmico das argamassas formuladas

4.2. Provetes sobre tijolo

4.2.1. Aderência ao suporte

Procedimento de ensaio

O ensaio de aderência ao suporte foi realizado tendo por base a norma EN 1015-12 (CEN, 2000). Para a realização do ensaio utilizou-se o equipamento Zwick/Rowell Z050 e pastilhas metálicas com 50 mm de diâmetro.

O equipamento foi preparado para que fosse aplicada uma força constante e perpendicular às pastilhas, sem ocorrência de choque, para que a ruptura ocorresse entre os 20 e os 60 segundos. A tensão de aderência é obtida através do quociente entre a força de aderência (f_u), em N, e a área de ensaio (A), em mm².

A norma EN 1015-12 (CEN, 2000) define 3 tipos de rotura para o ensaio de aderência ao suporte. A rotura do tipo “a”, pode também ser designada de rotura adesiva e ocorre por perda de aderência na interface com o suporte. Por sua vez, as roturas do tipo “b” e “c” são designadas como roturas coesivas, ocorrendo a rotura, respectivamente, na camada de reboco ou no suporte. Quando se verifica uma rotura do tipo “a”, a tensão de aderência é igual ao resultado do ensaio, enquanto se ocorrer uma rotura do tipo “b” ou “c” a tensão de aderência é superior ao resultado do ensaio. No caso da rotura ocorrer no plano de colagem, ou seja na interface entre a argamassa e a pastilha, o resultado do ensaio é considerado nulo, não sendo utilizado.

Inicialmente retiraram-se os tijolos da sala condicionada ($20\pm 5^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR } 50\pm 15\%$) e, com o auxílio de uma caroteadora com 50 mm de diâmetro, efectuaram-se manualmente 3 carotes na camada de argamassa de cada um dos provetes, até se atingir a superfície do tijolo, por forma a garantir que a rotura ocorresse apenas na área das pastilhas. A norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014) refere um mínimo de 5 cortes; no entanto optou-se por realizar apenas três de forma a possibilitar, no futuro, a realização de outros ensaios nestes provetes sobre tijolo. De seguida, colaram-se as pastilhas com 50 mm de diâmetro na superfície dos cortes, utilizando uma cola epoxy bi-componete e deixando secar durante 24 horas. Finalmente procedeu-se ao arrancamento das pastilhas com o equipamento Zwick/Rowell Z050 (Figura 4.14). Após a extracção das amostras, estas foram medidas em três direcções ortogonais de forma a determinar a área real da sua secção. O resultado do ensaio de cada argamassa corresponde à média dos três valores obtidos. Os provetes pertencentes às argamassas E1S3_G5, G10 e G20 foram ensaiados aos 54 dias de idade enquanto os provetes das argamassas E1SF3 e E1SC3 foram ensaiados aos 62 dias de idade.

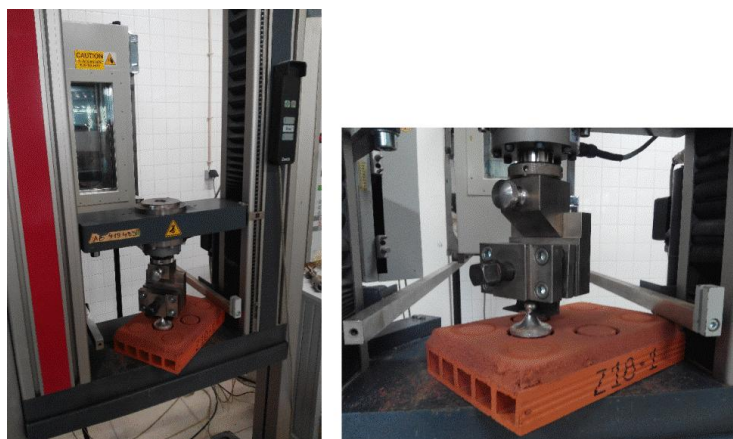


Figura 4.14 - Ensaio de aderência ao suporte

Posteriormente, a argamassa de terra é classificada de acordo com as classes de aderência ao suporte definidas no Quadro 2.3 do subcapítulo 2.2.

Resultados

Os resultados do ensaio de aderência ao suporte (Figura 4.15) mostram que, ao contrário do que aconteceu com a resistência à tracção e à compressão, a adição de gesso não trouxe qualquer melhoria para a aderência ao suporte, promovendo mesmo a sua ligeira diminuição com o incremento da adição de gesso. Apesar disso, todas as argamassas com adição de gesso, bem como a argamassa de referência (E1S3), se enquadram na classe de resistência mecânica inferior (S I), definida na norma DIN

18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014), no que respeita ao parâmetro de aderência ao suporte.

Por outro lado, a substituição da areia de referência pelas areias de granulometrias diferentes é particularmente prejudicial em termos de aderência ao suporte, uma vez que tanto a argamassa E1SF3 (areia fina) como a argamassa E1SC3 (areia grossa) apresentam uma diminuição do valor deste parâmetro. Ainda assim, a argamassa E1SC3 atinge o valor mínimo necessário para integrar a classe inferior de resistência mecânica S I definida na norma (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014).

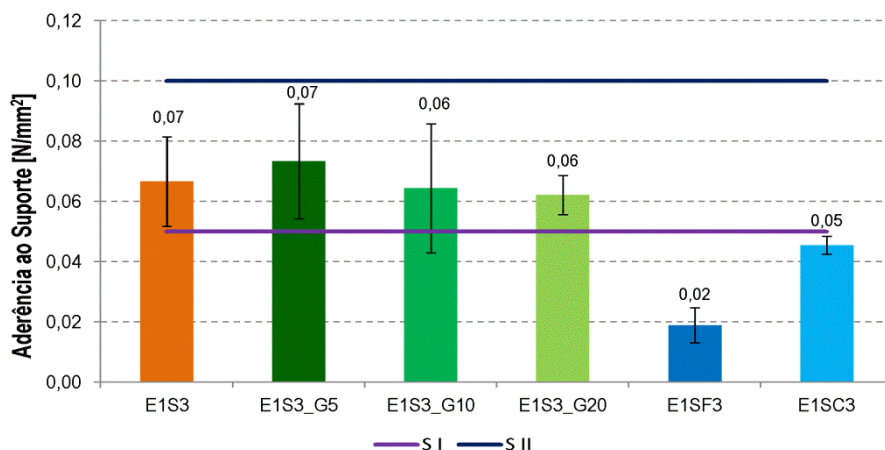


Figura 4.15 - Resultados obtidos para o ensaio de aderência ao suporte e respectivos limites definidos pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014)

No geral verifica-se que as argamassas formuladas apresentam uma aderência ao suporte inferior à registada para a argamassa de referência, concluindo-se que tanto a adição de gesso como a variação granulométrica não apresentam alterações benéficas para esta propriedade, o que se revela contraditório relativamente aos resultados obtidos nos ensaios de tracção e compressão (Figura 4.16). No entanto, e em virtude dos elevados desvios-padrão obtidos, considera-se ter sido um erro não ter realizado este ensaio a um maior número de provetes, para obtenção de resultados mais fiáveis.

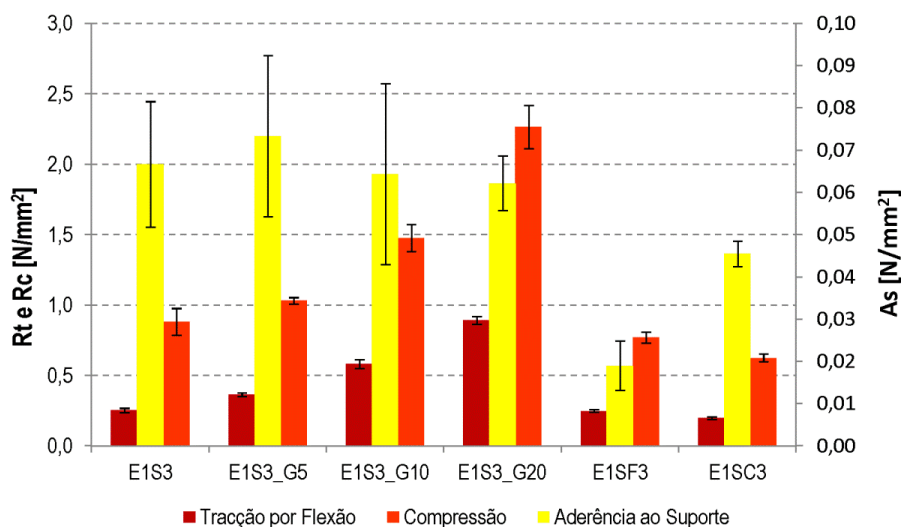


Figura 4.16 - Resistências mecânicas das argamassas formuladas

4.2.2. Resistência à abrasão

Procedimento de ensaio

O ensaio de resistência à abrasão (Figura 4.17) foi realizado com base na norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014), tendo sido feita uma adaptação, uma vez que os provetes foram pesados antes e após a abrasão, não tendo sido feita apenas a pesagem do material desagregado por ação do ensaio. A resistência à abrasão corresponde ao desgaste causado pela rotação de uma escova redonda de plástico, de dureza definida, sobre a superfície do provete. Neste ensaio foi utilizada uma escova da marca Wolfcraft, de dureza média, constituída por filamentos de nylon com 20 mm de comprimento, de cor azul (Faria et al, 2016).

Inicialmente pesou-se o provete numa balança de precisão de 0,1 g. A escova de plástico é colocada verticalmente com um dispositivo adequado de maneira a exercer uma força de contacto de 20 N contra a superfície do provete. Realizaram-se 20 rotações da escova num período de tempo compreendido entre os 15 e os 25 segundos e por fim pesou-se o provete. Este processo foi repetido quatro vezes, uma em cada extremidade do provete sobre o tijolo e foi executado para todas as argamassas. Os provetes foram ensaiados aos 40 dias de idade.

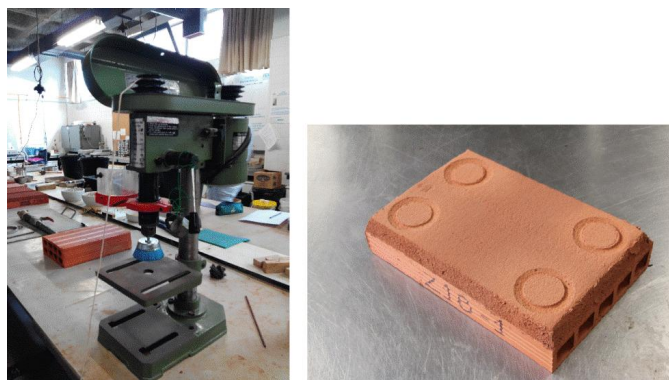


Figura 4.17 - Equipamento para o ensaio de resistência à abrasão (a); Aparência do provete após o ensaio (b) (Créditos: José Lima)

A norma (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014) define que o resultado deve ser a média das medições por provete e deve ser expressa em gramas e com uma casa decimal. Estes valores não devem exceder também os limites expressos no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 - Classes de resistência à abrasão (de acordo com a DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014))

Classe de Resistência	Perda por abrasão [g]
S I	≤ 1,5
S II	≤ 0,7

Resultados

Os resultados do ensaio de resistência à abrasão estão explicitados na Figura 4.18 e revelam que as argamassas com adições de 5%, 10% e 20% de gesso, apresentam valores de perda de massa por abrasão muito inferiores aos registados para a argamassa de referência (E1S3), o que faz com que todas essas argamassas se enquadrem na classe de resistência à abrasão S II, sendo esta a classe mais elevada definida pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014). É ainda possível observar que a resistência à abrasão destas argamassas aumenta com o incremento da percentagem de gesso. A resistência à abrasão das argamassas com adição de gesso

encontram-se ainda em consonância com os resultados obtidos para a resistência mecânica das mesmas argamassas.

No que diz respeito à influência da areia na resistência à abrasão das argamassas é possível observar que a argamassa de referência (E1S3) e a argamassa formulada com areia de granulometria mais grossa (E1SC3) apresentam valores que se enquadram na classe menos elevada de resistência à abrasão S I, definida na norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014). Por sua vez, a argamassa formulada com areia de granulometria fina (E1SF3) apresenta um valor inferior, não atingindo o valor mínimo da classe de resistência à abrasão inferior (S I) definida na mesma norma. Tal resultado não é coerente com os resultados obtidos para a resistência mecânica.

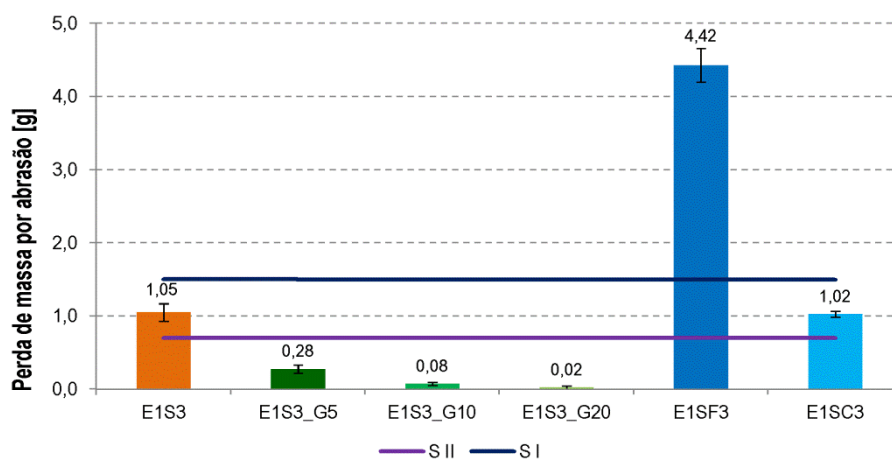


Figura 4.18 - Resultados obtidos para o ensaio de resistência à abrasão e respectivos limites definidos pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014)

4.2.3. Coesão superficial

Procedimento de ensaio

Este ensaio tem como objectivo avaliar a coesão superficial da camada de argamassa aplicada sobre o tijolo. Para a execução deste ensaio foi seguido o procedimento proposto por Drdácý et al. (2015) e por Faria et al. (2016).

Inicialmente cortaram-se seis pedaços de fita-cola, quadrados, com dimensões de 50x50 mm, que foram pesados numa balança de precisão 0,001 g. Em sequência, colaram-se os pedaços de fita-cola na superfície de cada um dos tijolos, correspondentes a cada uma das argamassas e colocou-se sobre eles um material deformável composto por espuma e tira de neopreno, para que a tensão provocada pelas massas colocadas por cima fosse igualmente distribuída, uma vez que a superfície do tijolo é rugosa. Foram colocadas massas com um total de 5 kg durante um período de 30 minutos em cada ensaio (Figura 4.19). Ao fim desse tempo, as massas foram retiradas e os pedaços de fita-cola foram novamente pesados.

A falta de coesão superficial é avaliada através do incremento de massa da fita cola face à sua massa inicial.

Este ensaio foi realizado para as cinco argamassas formuladas nesta campanha experimental e ainda para a argamassa de referência (E1S3) uma vez que este ensaio não havia sido realizado na respectiva campanha experimental anterior, na qual a argamassa de referência foi formulada e caracterizada. Os provetes foram ensaiados aos 59 dias de idade, com excepção da argamassa de referência E1S3.



Figura 4.19 - Ensaio de coesão superficial (a); material agregado à fita-cola após o ensaio (b)

Resultados

Os resultados obtidos no ensaio de coesão superficial (Figura 4.20) indicam que a adição de gesso, bem como o seu incremento, tem uma influência positiva na coesão superficial, uma vez que promove uma menor perda de massa. É possível ainda constatar que os resultados obtidos neste ensaio são coerentes com os resultados de resistência mecânica obtidos para as argamassas de gesso.

Por sua vez, os resultados obtidos para as argamassas formuladas com areias de diferentes granulometrias não se apresentam tão lineares. Primeiramente, parece não existir qualquer relação entre a variação da granulometria e a coesão superficial, uma vez que, se assim fosse, a argamassa de referência E1S3 deveria apresentar um valor de perda de massa intermédio em relação aos valores apresentados para as argamassas E1SF3 e E1SC3, o que não se verifica. Segundamente, não se regista qualquer coerência com os resultados obtidos para o ensaio de resistência à abrasão. A argamassa E1SF3 apresentou o resultado mais desfavorável na abrasão, resultado esse que na coesão coube à argamassa E1SC3. No entanto é de salientar o elevado desvio padrão registado para esta argamassa neste ensaio. Ainda assim, é possível estabelecer uma relação entre a coesão superficial e a resistência mecânica das argamassas com areias fina e grossa, uma vez que apresentam, a par da menor coesão superficial, também menores resistências mecânicas.

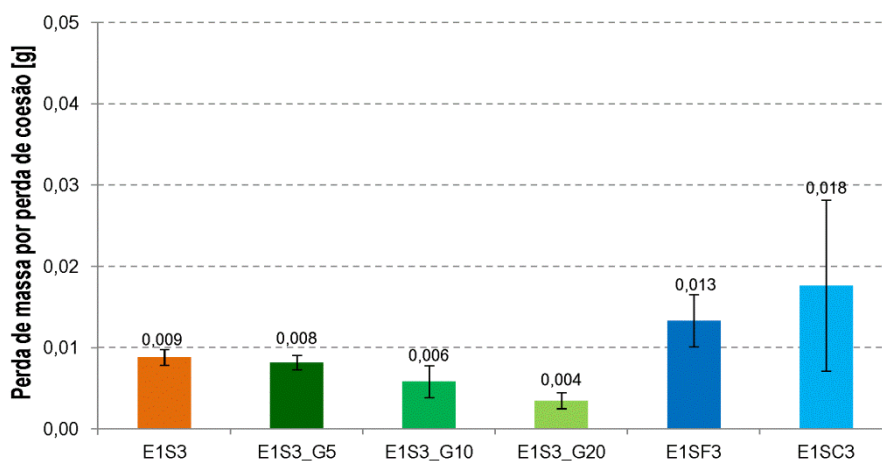


Figura 4.20 - Resultados obtidos para o ensaio de coesão superficial

4.3. Provetes circulares

4.3.1. Condutibilidade térmica

Procedimento de ensaio

Segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014), o ensaio de condutibilidade térmica deve ser realizado de acordo com a norma DIN V 4108-4, à qual não se teve acesso.

Desta forma, o ensaio de condutibilidade térmica (Figura 4.21) realizou-se com o auxílio do equipamento ISOMET 2104 (Heat Transfer Analyser) e correspondente sonda de superfície API 210412 com 60 mm de diâmetro, que emite um fluxo térmico que permite ao equipamento avaliar a resposta do material. O procedimento de ensaio foi executado segundo as instruções do manual do equipamento.

O manual do equipamento define que os provetes a analisar devem possuir uma espessura mínima de 15 mm e uma face com o mínimo de 60 mm pelo que esta condição foi cumprida.

Para a realização deste ensaio os provetes foram retirados da sala condicionada ($20\pm 5^{\circ}\text{C}$ e HR $50\pm 15\%$) um a um e ensaiados de imediato. Para garantir as condições de fronteira homogêneas, os provetes foram colocados sobre uma placa de XPS, para que o calor não se dissipasse através da bancada do laboratório. Após a colocação da sonda sobre o provete selecionou-se a opção Thermal Conductivity dando-se início ao ensaio.

Foi realizada uma medição para cada um dos seis provetes de cada uma das argamassas produzidas. O valor da condutibilidade térmica para cada argamassa é dado através da média dos valores de cada provete.

Segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014), os valores da condutibilidade térmica são expressos em $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ e arredondados a uma casa decimal. Os provetes pertencentes às argamassas E1S3_G5, G10 e G20 foram ensaiados aos 46 dias idade enquanto as argamassas E1SF3 e E1SC3 foram ensaiadas aos 53 dias de idade.



Figura 4.21 - Equipamento ISOMET 2104 (Heat Transfer Analysis) (a); Ensaio de condutibilidade térmica em curso (b)

Resultados

Os resultados obtidos no ensaio de condutibilidade térmica encontram-se expostos na Figura 4.22 e revelam que as argamassas com adição de 5% e 10% de gesso apresentam uma condutibilidade térmica ligeiramente superior àquela registada para a argamassa de referência (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014). Por sua vez, a argamassa com adição de 20% de gesso já apresenta um valor de condutibilidade térmica ligeiramente inferior ao da argamassa de referência, o que já entra em concordância com o facto de o gesso possuir uma condutibilidade inferior ao das argamassas de terra (Pina dos Santos et al., 2006).

Quanto às argamassas formuladas com areias de diferentes granulometrias, verifica-se que a argamassa formulada com areia de granulometria fina (E1SF3) apresenta uma condutibilidade térmica ligeiramente inferior à da argamassa de referência, enquanto a argamassa formulada com areia de granulometria grossa (E1SC3) apresenta uma condutibilidade térmica ligeiramente superior à condutibilidade térmica da argamassa de referência. Estes resultados indicam que o aumento da dimensão das partículas da areia utilizada tem uma influência crescente no valor da condutibilidade térmica, certamente associado à respectiva microestrutura interna das argamassas.

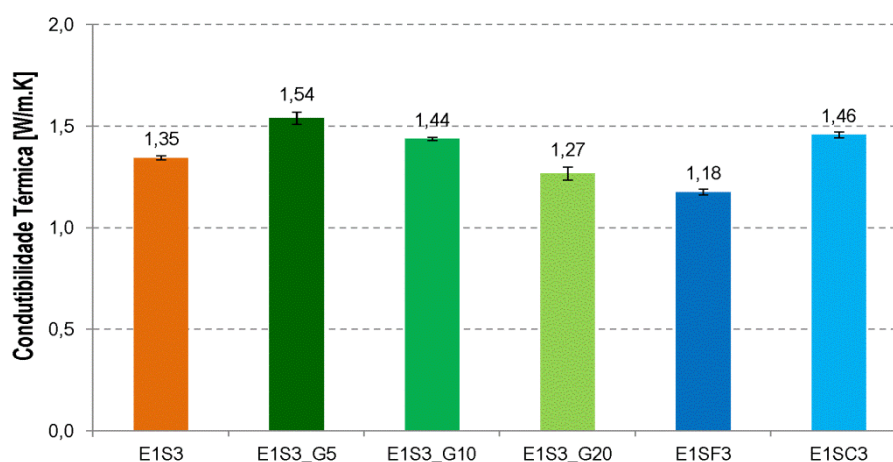


Figura 4.22 - Resultados obtidos para o ensaio de condutibilidade térmica

4.3.2. Dureza superficial por durómetro

Procedimento de ensaio

O ensaio de dureza superficial baseia-se na norma ASTM D2240 (ASTM, 2000).

Para a realização do ensaio foi utilizado um durómetro Shore A (Figura 4.23) da PCE Group. O aparelho possui na sua extremidade um pino com mola que, quando pressionado sob carga normalizada, indica a resistência de penetração. Este valor pode ser observado no mostrador do aparelho através de um sistema de ponteiro que se movimenta numa escala de 0 a 100. O Shore A é indicado para materiais mais macios e mede a resistência à penetração do pino no material.

Retiraram-se os provetes da sala condicionada, que se encontrava a uma temperatura de $20 \pm 5^\circ\text{C}$ e HR de $50 \pm 15\%$. Pressionou-se o durómetro sobre a face mais lisa do provete cilíndrico e registou-se o valor observado. Este processo foi repetido para os seis provetes pertencentes a cada argamassa e o seu valor foi calculado através da média dos valores registados. Tal como no ensaio de condutibilidade térmica, os provetes pertencentes às argamassas E1S3_G5, G10 e G20 foram ensaiados aos 46 dias de idade enquanto as argamassas E1SF3 e E1SC3 foram ensaiadas aos 53 dias de idade.



Figura 4.23 - Ensaio de dureza superficial com durómetro Shore A

Resultados

Os resultados obtidos no ensaio de dureza superficial com durómetro Shore A encontram-se expostos na Figura 4.24. Através da sua análise é possível constatar que, das argamassas com adição de gesso, apenas a argamassa E1S3_G20 apresenta uma dureza superficial superior à argamassa de referência (E1S3).

Por sua vez, relativamente às argamassas formuladas com areias de diferentes granulometrias, apenas a argamassa formulada com areia de granulometria fina (E1SF3) apresenta uma dureza superior à registada para a argamassa de referência.

No entanto salienta-se que os resultados obtidos por todas as argamassas estudadas encontram-se muito próximos, o que provavelmente se deve ao facto do equipamento utilizado se destinar a avaliar a dureza superficial de materiais mais macios, comparativamente a rebocos.

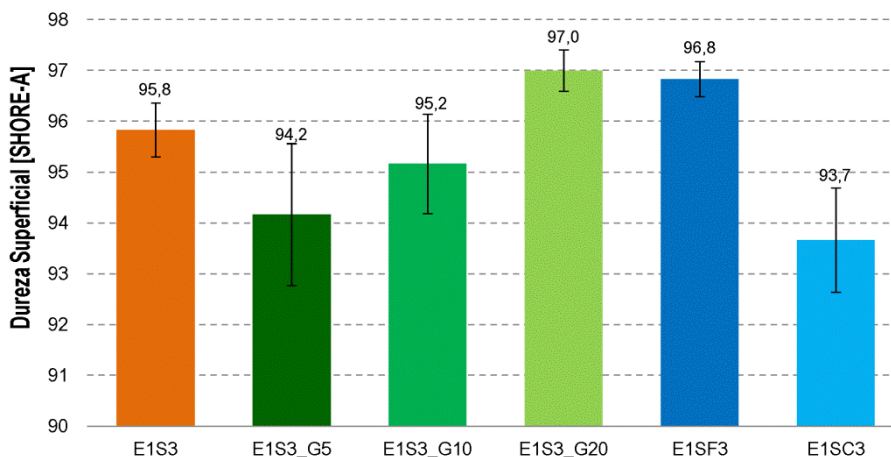


Figura 4.24 - Resultados obtidos para o ensaio de dureza superficial

4.4. Provetes planares

4.4.1. Adsorção e desadsorção de vapor de água

Procedimento de ensaio

No âmbito da investigação de doutoramento do Arquitecto José Lima foi realizado um ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água. Este ensaio foi realizado de acordo com o procedimento proposto pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014),

com os provetes planares mantidos nos moldes metálicos para garantir que a adsorção e desadsorção de vapor apenas ocorresse através da face superior do provete, que permaneceu exposta. Os provetes foram estabilizados numa câmara climática (Figura 4.25), a uma temperatura de 23°C e 50% de humidade relativa. Após a estabilização dos provetes, a humidade relativa da câmara foi alterada para 80%, dando-se início à fase de adsorção. Os provetes foram pesados de acordo com os intervalos definidos pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014), de 0,5h, 1h, 3h, 6h, 12h, tendo esta fase do ensaio sido estendida até às 24h, para que fosse possível uma melhor compreensão do comportamento de adsorção dos provetes. Após o período de 24h, os provetes foram novamente pesados e a humidade relativa da câmara sofreu nova alteração para 50%, dando-se início à fase de desadsorção que se prolongou igualmente por um período de 24h, durante as quais foram seguidas pesagens nos mesmos intervalos de tempo mencionados anteriormente.



Figura 4.25 – Provetes na câmara climática durante o ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água (Créditos: José Lima)

Resultados

Os resultados obtidos no ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água encontram-se expostos na Figura 4.26 e demonstram que as argamassas de terra argilosa estudadas apresentam uma elevada capacidade de adsorção e desadsorção, estando em concordância com os resultados previamente obtidos (Lima et al., 2016b), igualmente integrantes da investigação de doutoramento do Arquitecto José Lima, para argamassas realizadas com a mesma terra ílítica, mas rácios volumétricos diferentes.

De acordo com as classes de adsorção de vapor de água definidas pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014), devidamente assinaladas na Figura 4.27, verifica-se que a argamassa de referência E1S3 e as argamassas formuladas com areia de granulometria mais fina (E1SF3) e mais grossa (E1SC3), enquadram-se na classe de adsorção de vapor mais elevada (WS III), em que atingem valores de adsorção de vapor de água superiores a 60 g/m², para o período de 12 horas. Ainda relativamente a estas argamassas, é possível observar que a argamassa E1SF3 (areia fina) é a que possui a capacidade de adsorção mais elevada quando comparada com as restantes argamassas estudadas.

Quanto às argamassas formuladas com percentagem de adição de gesso (E1S3_G5, E1S3_G10 e E1S3_G20), verifica-se que apresentam valores de adsorção e desadsorção inferiores, quando comparadas com a argamassa de referência, enquadrando-se na segunda classe de adsorção de vapor

de água, WS II (adsorção de vapor às 12h $\geq 47,5 \text{ g/m}^2$), definida pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014). É ainda possível observar que o incremento da quantidade de adição de gesso reduz a capacidade de adsorção de vapor de água, embora de forma pouco significativa. No entanto, a argamassa E1S3_G20 (adição de 20% de gesso) é aquela que apresenta uma capacidade de adsorção de vapor de água menor.

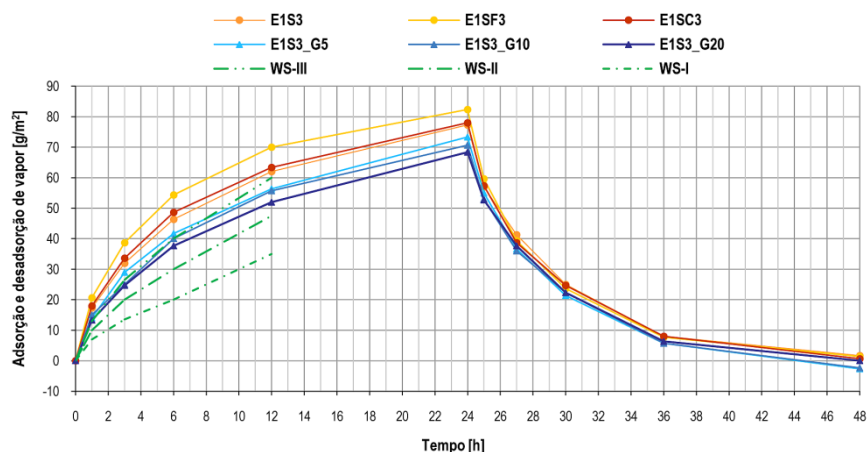


Figura 4.26 - Resultados do ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água, realizado no âmbito da investigação de doutoramento do Arquitecto José Lima (Lima et al., 2016a)

Através da Figura 4.27 é possível verificar que as argamassas com adição de gesso apresentam uma capacidade de adsorção de vapor de água menor, quando comparadas com a argamassa de referência (E1S3). Observa-se ainda que a capacidade de adsorção diminui com o incremento da quantidade de adição de gesso, pelo que a argamassa com adição de 20% de gesso (E1S3_G20) apresenta uma adsorção menor do que argamassa com adição de 10% (E1S3_G10) e consequentemente com adição de 5% de gesso (E1S3_G5), embora o decréscimo desta capacidade seja reduzido. Esta redução encontra-se novamente em acordo com a concentração de terra argilosa presente na formulação das argamassas. A variação do decréscimo da quantidade de terra é proporcional à variação do incremento da quantidade de gesso, sugerindo que a influência do gesso não produz interferência química com a capacidade de adsorção da argila presente na terra utilizada.

Relativamente às argamassas formuladas com areias de diferentes granulometrias, é possível observar que a argamassa E1SF3 (areia fina) apresenta um aumento da capacidade de adsorção de vapor de água, quando comparada com a argamassa de referência, e que a mesma tendência é observada para a argamassa E1SC3 (areia grossa), mas de forma menos significativa. Estes resultados estão de acordo com a concentração de terra argilosa presente na formulação de cada uma das argamassas.

CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

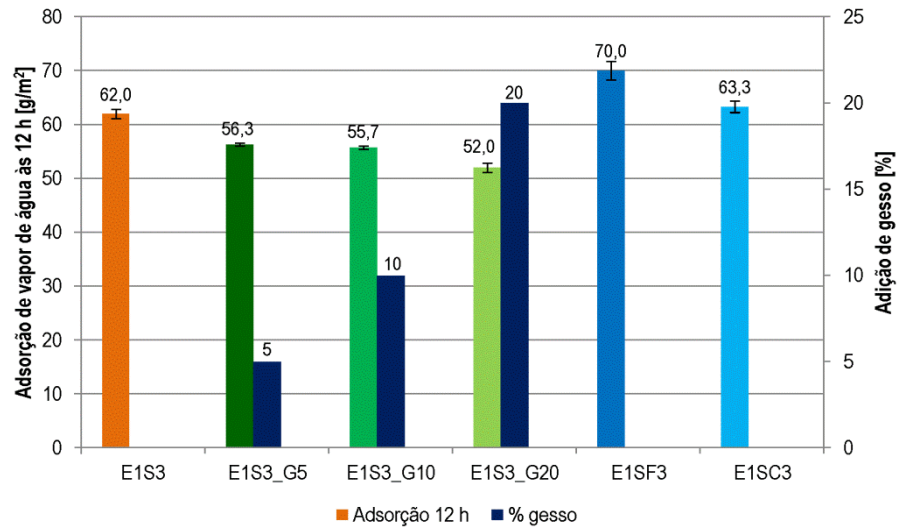


Figura 4.27 - Resultados do ensaio de adsorção de vapor de água às 12 horas

5. DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Após a execução da campanha experimental e da avaliação dos resultados obtidos para cada argamassa formulada, apresenta-se no Quadro 5.1 uma síntese de todos os resultados obtidos.

Quadro 5.1 - Resultados médios e desvios-padrão obtidos em todos os ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido

Ensaio	Unidade	E1S3	E1S3_G5	E1S3_G10	E1S3_G20	E1SF3	E1SC3
Relação a/t	-	0,59	0,62	0,67	0,75	0,75	0,65
Espalhamento	[mm]	173±1,17	169±4,52	164±5,64	174±1,76	173±1,13	173±1,55
Abaixamento	[mm]	19	18±0,47	18±1,25	18±0,47	17±0,47	17±0,47
Penetrômetro	[mm]	14	18±0,47	18±1,25	19±2,84	18±0,47	17±0,00
MV _{fresco}	[kg/dm ³]	2,13	2,08±0,007	2,09±0,007	2,08±0,003	2,02±0,007	2,09±0,009
Retração linear	%	0,8±0,1	0,7±0,2	0,7±0,2	0,2±0,2	0,1±0,2	0,0±0,1
Mv _{aparente}	[kg/dm ³]	1,91±0,01	1,87±0,02	1,90±0,02	1,82±0,03	1,77±0,01	1,84±0,08
λ	Circulares [W/(m.K)]	1,35±0,021	1,54±0,059	1,44±0,016	1,27±0,065	1,18±0,028	1,46±0,030
Ed	Prismas [N/mm ²]	4354±180	5036±104	6107±412	7174±75	3564±46	3786±43
Rt	Prismas [N/mm ²]	0,25±0,03	0,37±0,03	0,58±0,06	0,89±0,06	0,25±0,02	0,20±0,02
Rc	Prismas [N/mm ²]	0,88±0,10	1,03±0,05	1,48±0,19	2,27±0,31	0,77±0,08	0,63±0,06
As	S. tijolo [N/mm ²]	0,07±0,03	0,07±0,04	0,06±0,04	0,06±0,01	0,02±0,01	0,05±0,01
Ra	S. tijolo [g]	1,05±0,24	0,28±0,11	0,08±0,04	0,02±0,04	4,42±0,046	1,02±0,08
Cs	S. tijolo [g]	0,009±0,002	0,008±0,002	0,006±0,004	0,004±0,002	0,013±0,006	0,018±0,021
Ds	Circulares [Shore A]	95,8±1,1	94,2±2,8	95,2±2,0	97,0±0,8	96,8±0,7	93,7±2,1
Adsorção	planares [g/m ²]	62±1,7	56,3±0,6	55,7±0,6	52,0±1,7	70,0±3,5	63,3±2,1

Notas: a/t – relação água/terra; MV_{fresco} – massa volúmica da argamassa no estado fresco; λ – condutibilidade térmica; Ed – módulo de elasticidade dinâmico; Rt – resistência à tracção por flexão; Rc – resistência à compressão; As – aderência ao suporte; Ra – perda de massa por abrasão; Cs – perda de massa por falta de coesão superficial; Ds – dureza superficial

Os resultados de caracterização das argamassas vão ser discutidos por comparação com os resultados obtidos por outros autores que estudaram argamassas de algum modo comparáveis.

Comportamento no estado fresco

Lima & Faria (2016) estudou argamassas de terra com traço volumétrico 1:3 e diferentes adições, em relação ao volume total dos componentes secos, de fibras vegetais (adição de 10 e 20% de fibras de aveia e adição de 20, 40 e 80% de fibras de typha). A percentagem de água adicionada variou entre 12,8% para a argamassa de referência sem adições e 16,7% para a argamassa com adição de 80% de fibras de typha, tendo obtido valores de consistência por espalhamento entre 162,8 mm para a argamassa com adição de 20% de fibras de aveia e 174,6 mm para argamassa com adição de 40% de fibras de typha e valores de massa volúmica no estado fresco entre 1,94 kg/dm³ e 2,13 kg/dm³ para as argamassas com adição de 20% de fibras de aveia e de referência (sem qualquer adição), respectivamente. Os mesmos autores estudaram ainda argamassas formuladas com a mesma terra argilosa e a mesma areia utilizada no presente estudo, mas com traços volumétricos diferentes (Lima et al., 2016b) e formuladas com uma percentagem de água compreendida entre 11,6% (traço 1:2,5) e 13,3% (traço 1:4), tendo obtido valores de consistência por espalhamento entre 162 mm e 173 mm para as argamassas com traço volumétrico 1:2,5 e 1:3, respectivamente, e valores de massa volúmica no estado fresco entre 2,10 kg/dm³ para a argamassa com traço 1:4 e 2,13 kg/dm³ para a argamassa com traço 1:3. As argamassas estudadas na presente dissertação apresentam valores de consistência por espalhamento entre 164 e 174 mm, para as argamassas E1S3_G10 (adição de 10% de gesso) e

E1S3_G20 (adição de 20% de gesso), respectivamente, e valores de massa volúmica no estado fresco entre $2,02 \text{ kg/dm}^3$ (argamassa formulada com areia mais fina – E1SF3) e $2,13 \text{ kg/dm}^3$ (argamassa de referência – E1S3), que se revelam próximos dos resultados obtidos pelos autores em ambos os estudos.

Quanto à percentagem de água utilizada na formulação das argamassas desta dissertação, esta situa-se entre 12,8% para a argamassa de referência (E1S3) e 16,9% para a argamassa formulada com areia de granulometria mais fina (E1SF3), revelando-se superior à percentagem utilizada por Lima et al. (2016b), mas sendo próxima da utilizada por Lima & Faria (2016) possivelmente devido ao facto de tanto as argamassas com elevadas adições de fibras como a argamassa formulada com uma areia que apresente maior quantidade de finos, necessitem de uma maior percentagem de água para atingir a trabalhabilidade desejada.

Retração linear por secagem

Quanto à retração linear por secagem, verifica-se que, para as argamassas com adição de fibras analisadas por Lima & Faria (2016), os resultados obtidos se situaram entre os 0,13% para a argamassa com adição de 10% de fibras de aveia e 0,85% para a argamassa de referência sem qualquer adição, muito abaixo do valor de 3% definido para argamassas de terra. Também para as argamassas com diferentes traços volumétricos (Lima et al., 2016b) os valores de retração linear por secagem situaram-se entre 0,3% (traço 1:4) e 1,4% (traço 1:2). Em concordância com os resultados obtidos pelos estudos referidos, também os resultados obtidos nesta dissertação indicam que todas as argamassas formuladas apresentam valores de retração linear por secagem muito inferiores a 3% e com valores muito próximos aos obtidos pelos autores, com excepção das argamassas com adição de 5% e 10% de gesso, que apresentam valores de retração linear superiores. De acordo com Röhlen e Ziegert (2011) a retração linear registada em argamassas de terra pode atingir valores até 2,5%. Comparando estes resultados com os obtidos na presente dissertação verifica-se que todas as argamassas apresentam valores de retração linear muito inferiores a 2,5%.

Massa volúmica

Relativamente à massa volúmica aparente Lima & Faria (2016) obteve valores entre $1,66 \text{ kg/dm}^3$ e $1,91 \text{ kg/dm}^3$, para as argamassas com adição de 20% de fibras de aveia e de referência (traço 1:3 sem qualquer adição), respectivamente, enquanto para as argamassas com diferentes traços volumétricos (Lima et al., 2016b) obteve valores entre $1,84 \text{ kg/dm}^3$ (traço volumétrico 1:4) e $1,96 \text{ kg/dm}^3$ (traço volumétrico 1:2).

Jamú (2013) estudou também a incorporação de terra em argamassas de cal aérea com traço volumétrico 1:2, tendo obtido valores de massa volúmica aparente entre $1,55 \text{ kg/dm}^3$ (argamassa com substituição de 50% de cal por terra) e $1,59 \text{ kg/dm}^3$ (argamassa com traço 1:2 sem qualquer substituição).

Perante estes valores, verifica-se que os valores obtidos na presente dissertação, de $1,82 \text{ kg/dm}^3$ a $1,91 \text{ kg/dm}^3$ para as argamassas E1S3_G20 (adição de 20% de gesso) e E1S3 (referência), também se encontram próximos dos valores obtidos por Lima et al. (2016b) e Lima & Faria (2016) e se apresentam superiores aos obtidos por Jamú (2013).

Röhlen e Ziegert (2011) apresentam ainda valores para a massa volúmica aparente entre 1,4 e 1,8 kg/dm³, para argamassas de terra, observando-se que os valores registados para as argamassas formuladas são superiores a esses, mas ainda assim semelhantes.

Condutibilidade térmica

Röhlen e Ziegert (2011) definiram que os valores de condutibilidade térmica das argamassas de terra se situam entre 0,17 (W/m.K) e 1,1 (W/m.K), estando dependentes dos valores de massa volúmica aparente. Avaliando os resultados obtidos para as argamassas em estudo nesta dissertação conclui-se que estes estão de acordo com o intervalo definido pelos autores.

Por sua vez Jamú (2013), no seu estudo de argamassas de terra e cal aérea, registou valores de condutibilidade térmica entre 0,42 W/(m.K) (substituição de 5% de cal por terra) e 0,62 W/(m.K) (substituição de 25% de cal por terra) para argamassa aplicada sobre tijolo (90 dias). Apesar de no caso do estudo em questão, os provetes ensaiados terem sido os provetes circulares de 90 mm de diâmetro, verifica-se que os valores registados para todas as argamassas formuladas, de 1,18 W/(m.K) para a argamassa E1SF3 (areia fina) a 1,54 W/(m.K) para a argamassa E1S3_G5 (adição de 5% de gesso), são bastantes superiores aos registados por Jamú (2013).

Ashour et al. (2015b) estudaram argamassas de terra, em que parte dela foi substituída por fibras de cevada ou trigo (1% e 3%) e cimento ou gesso (5% e 10%). Para a argamassa composta apenas por terra obtiveram um valor de condutibilidade térmica de 0,96 W/(m.K) que se verifica inferior ao valor registado para a argamassa de referência estudada (E1S3), de 1,35 W/(m.K). Comparando os valores obtidos pelos autores entre 0,34 W/(m.K) (3% trigo e 5% cimento) e 0,63 W/(m.K) (1% cevada e 10% cimento) para as misturas com substituição por fibras e cimento e entre 0,42 W/(m.K) (3% trigo e 5% gesso) e 0,64 W/(m.K) (1% cevada e 10% gesso) para as misturas com substituição por fibras e gesso, verifica-se que os valores obtidos para as argamassas com adição de gesso estudadas na presente investigação são muito superiores aos valores obtidos pelos autores, tanto para a adição de cimento como de gesso. Tal seria expectável pois as argamassas estudadas por Ashour et al. (2015b) contam também com a presença de fibras, o que contribui para a diminuição da condutibilidade térmica.

Santos et al. (2015) estudaram quatro argamassas (traço volumétrico 1:3) produzidas em laboratório com variação da granulometria e proporção da areia (30% e 45%) e adição de fibras num dos casos (5% fibras de aveia), bem como duas argamassas pré-doseadas em que uma foi preparada em laboratório e a segunda simulando as condições de obra. Quanto aos resultados obtidos para a condutibilidade térmica os autores obtiveram uma gama de valores, para provetes circulares com 20 mm de espessura, que varia entre 0,72 W/(m.K) (45% de areia grossa e 30% de areia fina) e 1,01 W/(m.K) (argamassa pré-doseada preparada em laboratório). A argamassa com maior percentagem de areia fina apresenta um valor de condutibilidade térmica superior às argamassas com maior percentagem de areia grossa e maior percentagem de areia fina com adição de fibras, que apresentam valores muito próximos. Comparativamente às argamassas desta dissertação, verifica-se que os valores obtidos são superiores aos obtidos pelos autores, para todas as argamassas, verificando-se ainda a tendência contrária, uma vez que a argamassa formulada com areia de granulometria mais fina (E1SF3) apresenta um valor de condutibilidade térmica inferior ao registado para a argamassa formulada com areia de granulometria mais grossa (E1SC3).

Módulo de elasticidade dinâmico

Comparando os valores de módulo de elasticidade obtidos para as argamassas estudadas, com os obtidos por Gomes et al. (2012a) é possível verificar que os resultados são muito inferiores aos obtidos na presente dissertação. Gomes et al. (2012a) estudou argamassas de terra com adição de cal aérea, cal hidráulica e adição de fibras vegetais, tendo obtido um intervalo para o módulo de elasticidade dinâmico das diferentes argamassas de aproximadamente entre 500 N/mm² a 1200 N/mm², o que se situa bastante afastado do intervalo de 3564 N/mm² a 7174 N/mm² registado para as argamassas estudadas. Noutro estudo de argamassas de terra com adições de cal aérea, cal hidráulica, cimento Portland, cimento natural e adição de fibras de cânhamo, Gomes et al. (2012b) obteve valores de módulo de elasticidade dinâmico entre 183 N/mm² e 1239 N/mm², sendo mais uma vez muito inferiores aos resultados obtidos para as argamassas analisadas.

Veiga et al. (2010) definiu na sua gama, para rebocos interiores de cal (Quadro 2.1 do subcapítulo 2.2), valores de módulo de elasticidade dinâmico entre 2000 N/mm² e 5000 N/mm². Comparando com os resultados obtidos verifica-se que a argamassa de referência (E1S3), a argamassas com adição de 5% de gesso (E1S3_G5), e as argamassas formuladas com areias de diferentes granulometrias (E1SF3 e E1SF3) se encontram dentro desse intervalo, enquanto as argamassas com adição de 10% e 20% de gesso (E1S3_G10 e E1S3_G20) apresentam valores superiores. No entanto esta gama é apenas indicativa e não restritiva; ainda mais porque os valores mais elevados do módulo de elasticidade dinâmico não são, no caso das argamassas desta dissertação, acompanhados por resistências mecânicas demasiado elevadas.

Röhlen e Ziegert (2011) definiram valores de módulo de elasticidade dinâmico para as argamassas de terra que se situam entre 450 N/mm² e 3000 N/mm², sendo visível que todas as argamassas estudadas na presente dissertação suplantam o intervalo, embora as argamassas formuladas com areias de diferentes granulometrias apresentem valores mais próximos do valor máximo referido pelos autores.

Resistências à tracção e à compressão

Veiga et al. (2010) apresentaram ainda na sua gama (Quadro 2.1 do subcapítulo 2.2), gamas indicativas de valores para a resistência à tracção por flexão entre 0,2 N/mm² e 0,7 N/mm² e para a resistência à compressão entre 0,4 N/mm² e 2,5 N/mm². Analisando os resultados obtidos para as argamassas estudadas é possível verificar que as argamassas de E1S3 (referência), E1SF3 (areia fina) (ambas com 0,25 N/mm²) e E1SC3 (areia grossa) (0,20 N/mm²) cumprem o limite mínimo do intervalo para a resistência à tracção, enquanto as argamassas E1S3_G5 (0,37 N/mm²) e E1S3_G10 (0,58 N/mm²) (adição de 5 e 10% de gesso) se encontram dentro do intervalo, sendo a argamassa E1S3_G20 (0,89 N/mm²) a única a ultrapassar o limite máximo. Quanto ao intervalo definido para a resistência à compressão regista-se que está em concordância com os valores obtidos para as argamassas estudadas nesta dissertação, uma vez que todas elas se encontram dentro dos limites do intervalo (de 0,63 N/mm² para a argamassa E1SC3 a 2,27 N/mm² para a argamassa E1S3_G20). Através da comparação dos resultados obtidos com os apresentados por Veiga et al. (2010) é ainda possível concluir que as argamassas formuladas se apresentam adequadas para aplicação em obra, nomeadamente de reabilitação, pois mesmo a argamassa com adição de 20% de gesso (E1S3_G20) apresenta um valor de resistência à tracção superior ao intervalo definido mas de compressão dentro desse intervalo.

Emiroglu et al. (2015) estudaram argamassas de terra pré-doseadas, formuladas com dois tipos de argila, uma vermelha e uma amarela, e com diferentes rácios de areia e argila. A argamassa de referência é composta apenas por terra argilosa enquanto as restantes argamassas apresentam traços volumétricos desde 1:4 (argila:areia) a 9:1 (argila:areia). Para as argamassas formuladas com a argila vermelha obtiveram valores de resistência à compressão entre 2 N/mm² (traço 1:4) a 9 N/mm² (referência). A resistência diminuiu com a diminuição da quantidade de argila nas formulações. Para as argamassas formuladas com argila amarela registaram valores entre 3 N/mm² (traço 1:4) e 13 N/mm² (9:1), registando a mesma tendência decrescente da resistência. Fazendo a comparação com a argamassa de referência da dissertação, que apresenta um traço volumétrico 1:3 de terra argilosa:areia sem qualquer adição e uma resistência à compressão de 0,88 N/mm², constata-se que apresenta uma resistência à compressão muito inferior ao valor mínimo registado por Emiroglu et al. (2015) e que apenas a argamassa formulada com adição de 20% de gesso (E1S3_G20) atinge o valor de 2,27 N/mm², capaz de integrar o intervalo registado para as argamassas formuladas com argila vermelha desse estudo. A discrepância entre os valores registados para as argamassas em estudo e os valores de Emiroglu et al. (2015) pode dever-se aos rácios utilizados pelos autores, que beneficiaram a utilização de maiores quantidades de argila fazendo sobressair as vantagens que esta pode proporcionar às propriedades mecânicas das argamassas.

No estudo realizado sobre argamassas de terra com traço volumétrico 1:3 e adição de fibras de aveia (10 e 20%) e de typha (20, 40 e 80%) Lima & Faria (2016) obtiveram valores de resistência à tracção entre 0,20 N/mm² (adição de 10% de fibras de aveia) e 0,3 N/mm² (40% de adição de fibras de typha), e de resistência à compressão entre 0,55 N/mm² e 1,11 N/mm², para as mesmas argamassas. Desta forma é possível observar que apenas a argamassa de referência (E1S3) e as argamassas formuladas com areia de granulometria mais fina (E1SF3) e mais grossa (E1SC3) apresentam valores de resistência à tracção semelhantes aos obtidos para as argamassas com adição de fibras, enquanto as argamassas com adição de gesso suplantam esses valores. Relativamente à resistência à compressão verifica-se que as argamassas E1S3, E1SF3, E1SC3 e também a argamassa E1S3_G5 (adição de 5% de gesso) apresentam valores semelhantes aos obtidos no estudo referido, enquanto as argamassas E1S3_G10 e E1S3_G20 (adição de 10% e 20% de gesso) apresentam valores superiores. Estes resultados mostram que adições de gesso em menor quantidade podem permitir atingir valores próximos ou superiores de resistências mecânicas aos obtidos para as argamassas formuladas com maior quantidade de adição de fibras.

Ao estudarem argamassas de terra com variação de traço volumétrico, Lima et al., (2016b) obtiveram valores de resistência à tracção entre 0,22 N/mm² (traço 1:4) e 0,27 N/mm² (traço 1:2) e de resistência à compressão entre 0,53 N/mm² a 0,99 N/mm² para as mesmas argamassas. Comparando os valores obtidos nesse estudo com os obtidos na corrente dissertação é possível verificar, relativamente à resistência à tracção, que apenas as argamassa de referência (E1S3) e as argamassas com granulometrias mais fina (E1SF3) e mais grossa (E1SC3) apresentam valores correspondentes ao intervalo obtido pelos autores, enquanto as argamassas com adição de gesso suplantam esses valores. O mesmo se verifica para os valores obtidos para a resistência à compressão, onde, neste caso, também a argamassa com 5% de adição de gesso (E1S3_G5) apresenta um valor próximo, mas ainda assim superior, ao valor máximo obtido por Lima et al., (2016b). Neste caso verifica-se que a adição de gesso, mesmo em pequenas quantidades é suficiente para incrementar de imediato as propriedades mecânicas

das argamassas, enquanto a variação granulométrica não apresenta qualquer incremento destas propriedades.

Segundo Röhlen e Ziegert (2011), o valor de resistência à compressão para argamassas de terra situa-se entre 1 e 3 N/mm². Apesar de todas as argamassas estudadas apresentarem valores semelhantes a esses, é possível verificar que apenas as argamassas com adição de gesso se encontram efectivamente dentro do intervalo, comprovando os benefícios que a adição de gesso promove nas características mecânicas das argamassas de terra.

Zak et al. (2016) debruçaram-se sobre o estudo de argamassas de terra com substituição de uma percentagem de terra, em massa, por fibras de linho ou cânhamo (1% e 3%) e cimento ou gesso (5% e 10%), tendo verificado que as argamassas apenas com fibras são as que apresentam maior resistência à compressão, sendo seguidas das argamassas com fibras de linho e gesso e com fibras de cânhamo e gesso; as argamassas com fibras e cimento foram as menos resistentes. Quando comparados esses resultados com os obtidos para as argamassas desta dissertação observa-se que as argamassas com adição de gesso são as únicas que apresentam valores próximos do intervalo de aproximadamente 1,75 N/mm² para a argamassa com 3% de fibras de cânhamo e 10% de gesso e 3,5 N/mm² para a argamassa com 3% de fibras de linho e 10% de gesso. A argamassa com adição de 20% de gesso foi a única que se enquadrou no referido intervalo, mostrando que, quando combinados, os benefícios das fibras e do gesso permitem a obtenção de resistências mecânicas mais elevadas com menores percentagens de adição. Quanto aos valores obtidos para as argamassas formuladas com areias de granulometrias diferentes verifica-se que se apresentam mais concordantes, embora inferiores, com o intervalo de aproximadamente 0,45 N/mm² para a argamassa com 3% de fibras de cânhamo e 5% de cimento e 0,65 N/mm² para a argamassa com 3% de fibras de cânhamo e 10% de cimento. Revelam que, apesar das fibras vegetais promoverem o incremento das características mecânicas das argamassas, a combinação com a adição de cimento pode tornar-se penalizadora possivelmente devido à utilização de uma quantidade de água superior na formulação, tal como aconteceu para as argamassas com areias de granulometria diferente, originando argamassas mais porosas.

Aderência ao suporte

Röhlen e Ziegert (2011) definiram que as argamassas de reboco de terra devem apresentar valores mínimos de aderência ao suporte de 0,03 N/mm², embora o valor mais comum seja de 0,15 N/mm². Analisando os valores obtidos para as argamassas desta dissertação, entre 0,02 N/mm² para a argamassa E1SF3 e 0,07 N/mm² para a argamassa E1S3_G5, verifica-se que todas as argamassas cumprem o valor mínimo definido por Röhlen e Ziegert (2011), com excepção da argamassa formulada com areia de granulometria mais fina (E1SF3) que apresenta um valor ligeiramente inferior. No entanto nenhuma das argamassas atinge o valor usual de 0,15 N/mm².

Lima et al. (2016b) obtiveram o valor de 0,07 N/mm² para a aderência ao suporte de todas as argamassas com traços volumétricos diferentes. Este valor encontra-se próximo dos valores obtidos para as argamassas formuladas, com excepção da argamassa E1SF3 (areia fina) que apresenta um valor de 0,02 N/mm², relativamente inferior. Também Lima & Faria (2016) obtiveram valores de aderência ao suporte, para as argamassas de terra com adição de fibras vegetais, que se situam entre 0,07 N/mm² e 0,11 N/mm². Mais uma vez, estes resultados apresentam-se próximos dos obtidos para as argamassas desta dissertação, sendo inclusivamente um pouco superiores, mostrando que a adição de fibras vegetais

pode exercer um efeito benéfico sobre a aderência ao suporte, superior ao verificado com a adição de gesso ou variações da granulometria da areia que foram analisadas.

Perdas de massa por abrasão e por falta de coesão

Estudando argamassas pré-doseadas de terra com adição de fibras de aveia (uma preparada *in situ* e outra em laboratório), Faria et al. (2016) obtiveram valores de perda de massa por abrasão (com escova média) de 3,9 g para os provetes circulares com 20 mm de espessura realizados com a argamassa preparada em laboratório e de 4,5 g para provetes de argamassa aplicados sobre tijolo realizados com a argamassa preparada *in situ*. Comparando estes resultados com os obtidos para as argamassas formuladas no âmbito desta dissertação, verifica-se que as argamassas com adição de gesso apresentam valores de perda por abrasão entre 0,02 g (adição de 20% de gesso) e 0,28 g (adição de 5% de gesso) que se situam bastante abaixo do valor mínimo obtido por Faria et al. (2016), revelando que mesmo adições de gesso menores promovem um grande incremento na resistência à abrasão, revelando-se em conformidade com o incremento registado para as resistências à tracção e compressão. As argamassas de referência (E1S3) e formulada com areia de granulometria mais grossa (E1SC3) apresentam valores de perda por abrasão de 1,05 g e 1,02 g, respectivamente, que se verificam muito inferiores aos registados por Faria et al. (2016), mas que, ainda assim, fazem ressaltar os benefícios que as adições promovem nas características, uma vez que estes valores se revelam superiores aos registados para as argamassas com adição de gesso. Finalmente, a argamassa formulada com areia de granulometria mais fina apresenta um valor de perda por abrasão de 4,42 g, valor muito próximo do máximo registado por Faria et al. (2016) e que pode dever-se ao facto de ser uma argamassa formulada com maior quantidade de água, devido à presença de maior quantidade de finos na areia, tornando-a mais porosa.

Relativamente ao ensaio de coesão superficial, os mesmos autores obtiveram valores de perda de massa de $0,10 \pm 0,03$ g, para a argamassa preparada *in situ* e aplicada sobre tijolo. Estes resultados apresentam-se bastante superiores aos obtidos para as argamassas estudadas, visto que para a adição de gesso foram obtidos valores entre 0,004 g e 0,008 g de perda de massa e para as argamassas com variação da granulometria utilizada foram obtidos valores de 0,013 g (E1SF3) e 0,018 g (E1SC3). As diferenças podem eventualmente dever-se à idade e exposição das argamassas ensaiadas.

Dureza superficial

Relativamente ao ensaio de dureza superficial por durómetro, Jamú (2013) registou valores entre 63 e 70 Shore A, para as argamassas de terra e cal aérea. Os valores registados pelas argamassas desta dissertação apresentam-se superiores, estando compreendidos entre 94 e 97 Shore A. Santos (2014) estudou duas argamassas pré doseadas e nove argamassas produzidas em laboratório com traço volumétrico 1:3 e variação da granulometria e proporção da areia, adição de fibras e de material de mudança de fase (PCM). Para estas argamassas obteve valores entre 68 (30% areia grossa, 25% areia fina e 20% PCM) e 80 Shore A (argamassa pré-doseada e argamassa de referência com traço 1:3 sem adições) para os provetes sobre tijolos e valores entre 45 Shore A (30% areia grossa, 15% areia fina e 30% PCM) a 77 Shore A (argamassa com traço 1:3 e argamassa com 45% areia grossa e 30% areia fina) para a camada de reboco aplicada sobre murete. Estes valores revelam-se inferiores aos obtidos para as

argamassas da presente dissertação o que indica que a adição de gesso promove efeitos benéficos para a dureza superficial das argamassas comparativamente ao PCM.

Higroscopicidade

Segundo Röhlen e Ziegert (2011), as argamassas de reboco de terra apresentam valores de adsorção de vapor de água entre as 50 g/m² e 70 g/m². Na presente dissertação foram obtidos valores entre 52 g/m² (E1S3_G20) e 70 g/m² (E1SF3), que se encontram em concordância com os valores obtidos por Röhlen e Ziegert (2011), mostrando que tanto a adição de gesso como a variação da granulometria da areia não exercem grande influência sobre a capacidade de adsorção das argamassas. Tendo estudado argamassas pré-doseadas, Faria et al. (2016) obtiveram valores para o ensaio de adsorção da argamassa preparada em laboratório de aproximadamente 100 g/m² (provetes planares) e 70 g/m² (provetes circulares com 15 e 20 mm de espessura). Estes valores apresentam-se superiores aos obtidos para as argamassas desta dissertação, com exceção da argamassa formulada com areia de granulometria mais fina (E1SF3), o que sugere que a adição de gesso promove algum decréscimo da capacidade de adsorção de vapor de água, apesar de não ser muito significativo.

Lima et al. (2016b) estudaram argamassas de terra com diferentes rácios volumétricos, tendo obtido valores entre 53,7 g/m² (E1S4) e 72,3 g/m² (E1S2) para o ensaio de adsorção de vapor de água, enquanto Lima & Faria (2016) obtiveram valores entre 66,33 g/m² (adição de 20% de fibras de typha) e 67,33 g/m² (adição de 10 e 20% de fibras de aveia) para as suas argamassas de terra com traço volumétrico 1:3 e adição de fibras vegetais. Comparando os resultados obtidos pelos autores com os obtidos para as argamassas desta dissertação, verifica-se que se encontram dentro da mesma gama de valores, sendo bastante próximos. Tal facto sugere que a capacidade de adsorção das argamassas não se encontra muito dependente pelo menos de algumas adições (vegetais ou minerais), da variação da granulometria da areia ou mesmo da quantidade de areia utilizada, mas sim principalmente do tipo e da quantidade de argila presente nas argamassas.

6. CONCLUSÕES

6.1. Considerações finais

A presente dissertação teve início com uma breve contextualização histórica da terra como material de construção, onde foi feita uma abordagem das suas características e potenciais, bem como os impactos energéticos, ambientais e económicos que dela advêm.

A campanha experimental levada a cabo permitiu avaliar as características mecânicas das argamassas de terra no estado fresco e endurecido, tendo sido executados quatro tipos de provetes diferentes: prismáticos, circulares, planares e aplicação de uma camada de argamassa sobre tijolo. A avaliação das características mecânicas foi efectuada tendo como base a norma alemã DIN 18947 (DIN, 2013, com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014), sendo esta, que se conheça, a única norma existente para argamassas de terra sem adição de ligantes para rebocos. Foram ainda utilizadas outras normas europeias bem como procedimentos de ensaio definidos por outros autores. Foram estudadas seis argamassas, com traço volumétrico 1:3 (terra argilosa:areia), formuladas em laboratório: três contaram com a adição de gesso em diferentes percentagens relativas ao volume total de terra e areia e duas com a variação da granulometria da areia utilizada. Como argamassa de referência foi considerada uma argamassa com o mesmo traço volumétrico das anteriores, executada no âmbito de uma campanha experimental integrante da tese de doutoramento do Arquitecto José Lima (Lima et al., 2016b), sem qualquer tipo de adição e executada com uma areia considerada de referência.

Finalizado o desenvolvimento desta investigação consideram-se alcançados os objectivos de contribuir para um maior conhecimento sobre o comportamento mecânico de argamassas de terra quando sujeitas à adição de gesso, embora o mesmo não se verifique para a alteração da granulometria da areia.

Quanto aos ensaios realizados às argamassas no estado fresco é possível verificar que todas as argamassas apresentam uma consistência por espalhamento consistente com o definido pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014), na ordem dos 175 mm, com excepção das argamassas E1S3_G5 e E1S3_G10. Estas duas argamassas, com 5 e 10% de adição de gesso, foram formuladas com uma percentagem de água inferior o que originou espalhamentos inferiores aos definidos na norma, o que permite concluir que as argamassas poderiam ter sido formuladas com uma percentagem de água superior, algo que foi corrigido na argamassa subsequente com adição de 20% de gesso.

Relativamente à avaliação da influência da adição de diferentes percentagens de gesso à formulação das argamassas de terra, os resultados obtidos são promissores. A adição de gesso verificou-se proveitosa, melhorando substancialmente as características mecânicas das argamassas, sobretudo a resistência à compressão e a resistência à tracção por flexão. A adição de 5% de gesso, permitiu que a argamassa passasse a cumprir os limites mínimos da classe de resistência S I, a menos elevada, definida pela norma DIN 18947 (DIN, 2013 com base na tradução apresentada por Santos et al., 2014), em relação à argamassa E1S3 considerada de referência, enquanto a adição de 20% de gesso permitiu superar os requisitos da classe de resistência S II, a mais elevada da norma. A adição de gesso revelou-se ainda proveitosa em termos da redução da retração linear das argamassas, assim como no incremento da sua resistência à abrasão e coesão superficial (Lima et al., 2016a). No caso da aderência

ao suporte verificou-se que a adição de gesso não contribuiu para a sua melhoria, e que será necessário realizar o ensaio com maior número de provetes.

É também possível concluir que a adição de gesso revelou ser pouco penalizadora relativamente à capacidade de adsorção e desadsorção das argamassas, observando-se, para a argamassa com adição de 20% de gesso, uma redução da sua capacidade de adsorção de apenas 16% para um período de 12 horas. Este é um factor bastante importante, uma vez que permite que as argamassas de terra aditivadas com gesso continuem a possuir uma elevada capacidade de adsorção e desadsorção de vapor de água, contribuindo de forma crucial para o equilíbrio termo-higromético dos espaços interiores dos edifícios.

É importante encontrar uma solução que promova a melhoria das características mecânicas das argamassas formuladas com terras ílticas, mas que simultaneamente preserve a sua elevada capacidade de adsorção de vapor de água, sendo esta uma característica de grande importância para a viabilidade construtiva deste tipo de argamassas. Neste caso é possível verificar que a adição de gesso se apresenta como uma das soluções mais eficazes, comparativamente a argamassas estudadas anteriormente (Lima et al., 2016b; Lima & Faria, 2016), aliando uma resistência mecânica satisfatória a uma elevada capacidade de adsorção.

Quanto à avaliação da influência da granulometria da areia no desempenho das argamassas formuladas, os resultados obtidos não foram conclusivos. Para o parâmetro da condutibilidade térmica foi possível observar que, quanto maior a dimensão das partículas da areia, maior o incremento desta propriedade da argamassa, embora se tivesse revelado um incremento ligeiro. Nos restantes parâmetros de caracterização mecânica analisados não foi possível observar qualquer tendência bem definida, pelo que aparentemente a influência destes tipos de granulometria da areia é pouco relevante. No entanto, considera-se necessária a continuidade da investigação no sentido de esclarecer a influência que a granulometria da areia pode ter no desempenho global de argamassas de terra.

Como referido anteriormente, parte dos resultados obtidos na presente dissertação foram já divulgados em publicação científica (Lima et al., 2016a).

6.2. Propostas para desenvolvimentos futuros

De forma a ser possível dar continuidade ao trabalho iniciado e desenvolvido nesta dissertação, sugerem-se algumas propostas para desenvolvimentos futuros para que seja possível a confirmação de alguns dos resultados obtidos ou uma maior abrangência de caracterização, bem como para permitir uma melhor compreensão de algumas características. Dentro destes ensaios, a avaliação da microestrutura das argamassas e dos compostos mineralógicos obtidos entre a argila e o gesso poderão desempenhar um papel fundamental.

Propõe-se o desenvolvimento da investigação, no sentido de avaliar qual a influência da adição de maiores percentagens de gesso, de forma a permitir conhecer qual o limite máximo de adição tolerado pelas argamassas, isto é, o limite em que o incremento da adição começa a prejudicar as propriedades mecânicas das argamassas, mas também a sua capacidade de adsorção e desadsorção de vapor de água.

Incentiva-se o estudo de argamassas de terra com outro tipo de adições tais como óleos e fibras, individualmente ou em simultâneo com a adição de gesso, que possam igualmente incrementar as características mecânicas das argamassas e colmatar alguns pontos fracos registados apenas com a adição de gesso, nomeadamente a aderência ao suporte que não beneficiou com esta adição. Também é

recomendado um estudo mais aprofundado, incluindo a utilização de diferentes suportes, para que seja possível perceber a influência das diferentes percentagens de gesso na aderência a esses suportes.

Aconselha-se uma investigação mais aprofundada, no sentido de perceber qual a influência da granulometria da areia nas argamassas de terra, nomeadamente recorrendo à formulação e análise de diversas argamassas compostas por areias com variadas granulometrias, sendo esse espectro de granulometrias composto por areias com granulometrias mais finas, passando por granulometrias mais equilibradas até às granulometrias mais grossas.

Sugere-se ainda o estudo do comportamento destas argamassas face à presença de água líquida e na forma de vapor, uma vez que tanto a terra como o gesso são materiais fortemente influenciados pela sua presença.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHOUR, T.; KORJENIC, A.; KORJENIC, S. (2015a) – Equilibrium moisture content of earth bricks biocomposites stabilized with cement and gypsum. *Cement and Concrete Composites*, 59, p.18-25. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2015.03.005.
- ASHOUR, T.; KORJENIC, A.; KORJENIC, S.; WU, W. (2015b) – Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes, cement and gypsum. *Energy and Building*, 104, p. 139-146. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.07.016.
- ASTM Standards (2000) – ASTM D2240-00 – Standard test method for rubber property – durometer hardness. United States DOI: 10.1520/D2240-00.
- BOTELHO-DA-COSTA, J. (2004) – *Caracterização e Constituição do Solo*. 7ª edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. ISBN 978-972-31-0073-0.
- CEN (1998a) – EN 1015-1: 1998 – Methods of test for mortars for masonry. Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis). Brussels.
- CEN (1998b) – EN 1015-2: 1998 – Methods of test for mortars for masonry. Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. Brussels.
- CEN (1998c) – EN 1015-4 – Methods of test for mortars for masonry. Part 4: Determination of consistence of fresh mortar (by Plinger Penetration). Brussels.
- CEN (1998d) – EN 1015-6 – Methods of test for mortars for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. Brussels.
- CEN (1999a) – EN 1015-3: 1999 – Methods of test for mortars for masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Brussels.
- CEN (1999b) – EN 1015-11: 1999 – Methods of test for mortars for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels.
- CEN (2000) – EN 1015-12: 2000 – Methods of test for mortars for masonry. Part 12: Determination of adhesive strength of hardened tending and plastering mortars on substrates. Brussels.
- DELINIÉRE, R.; AUBERT, J.E.; ROJAT, F.; GASC-BARBIER, M. (2014) – Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mix clay plasters. *Building and Environment*, 80, p. 11-17. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.05.012.
- DIN (2013) - DIN 18947 – Earth plasters – Terms and definitions, requirements, test methods (em alemão). Berlin.
- DRDÁČKÝ, M.; LESÁK, J.; NIEDOBA, K.; VALACK, J. (2015) – Peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of mortar and render surfaces. *Materials and Structures*, 48, p. 1947-1963. DOI: 10.1617/s11527-014-0285-8.
- EMIROGLU, M.; YALAMA, A.; ERDOGDU, Y. (2015) – Performance of ready-mixed clay plasters produced with different clay/sand ratios. *Applied Clay Science*, 115, p. 221-229. DOI: 10.1016/j.clay.2015.08.005.
- FARIA, P.; HENRIQUES, F.M.A. (2006) – *Construções em terra crua: Conservação do património existente e perspectivas futuras*. PATORREB 2006 – 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, Março de 2006, p. 273-282.
- FARIA, P. (2007a) – Argamassas para reabilitação. *Funções, constituintes e características*. *Pedra e Cal*, 35, p. 4-7.

- FARIA, P. (2007b) – Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias. *Musa*, 2, 2005-07, p. 149-155.
- FARIA, P.; HENRIQUES, F.; RATO, V. (2008) – Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation. *Journal of Cultural Heritage*, 9 (3), p. 338-346. DOI: 10.1016/j.culher.2008.03.003.
- FARIA, P.; SILVA, V.; JAMÚ, N.; DIAS, I.; GOMES, M.I. (2013) – Evaluation of air lime and calyish earth mortars for earthen wall renders. CIAV2013 – International Conference of Vernacular Architecture, 7º ATP, VerSus, 16-20 October 2013. ISBN: 978-1-138-00083-4
- FARIA, P.; DIAS, I.; JAMÚ, N.; SILVA, V. (2014a) – Air lime-earth blended mortars – Assessment on fresh state and workability. International Conference of Vernacular Heritage, Sustainability and earthen Architecture, VerSus 2014, 2nd MEDITERRA, 2nd ResTAPIA, Valência, 11-13 September. ISBN: 978-1-315-73687-7
- FARIA, P.; SANTOS, T.; SILVA, V. (2014b) – Earth-based mortars for masonry plastering. Guimarães: 9th International Masonry Conference, July 2014.
- FARIA, P.; SANTOS, T.; AUBERT, J.E. (2016) – Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (1), p. 04015085 – 1-9. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001363.
- FREIRE, M.T. (2011) – Estuques em edifícios antigos. Monografia apresentada no âmbito da disciplina de Revestimentos e Acabamentos. Instituto Superior Técnico.
- FREIRE, M.T.; SANTOS SILVA, A.; VEIGA, M.R., DE BRITO, J. (2010) – Caracterização de revestimentos interiores antigos portugueses. 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, APFAC, LNEC, Lisboa, 18-19 Março de 2010. DOI: 10.13140/RG.2.1.3903.0804.
- FREIRE, M.T.; VEIGA, M.R., SANTOS SILVA, A.; DE BRITO, J. (2015) – Desenvolvimento de produtos compatíveis de gesso e cal para a conservação e restauro de estuques antigos. XIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción/ XV Congreso de Control de Calidad en la Construcción, CONPAT 2015, Lisboa, 8-10 Setembro de 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.4392.5527.
- FREIRE, M.T. (2016) – Estuques em edifícios antigos: Conservação e restauro com produtos compatíveis. Apresentação de suporte a seminário, FCT NOVA, 9 Novembro de 2016.
- GOMES, C. (1988) – Argilas: O que são e para que servem. 1ª edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. ISBN: 978-972-31-0027-3
- GOMES, M.I.; GONÇALVES, T.D.; FARIA, P. (2012a) – Análise experimental de argamassas de terra com cais e fibras naturais. 4º Congresso de Argamassas e ETICS, Coimbra, Março de 2012.
- GOMES, M.I.; GONÇALVES, T.D.; FARIA, P. (2012b) – Earth-based repair mortars: Experimental analysis with different binders and natural fibers. RESTAPIA 2012 – International Conference on Rammed Earth Conservation, Valência, 21-23 June 2012. ISBN: 978-0-415-62125-0.
- HAMARD, E.; MOREL, J.C.; SALGADO, F.; MARCOM, A.; MEUNIER, N. (2013) – A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture. *Journal of Cultural Heritage*, 14, p. 109-115. DOI: 10.1016/j.culher.2012.04.005.
- HENRIQUES, F.; FARIA, P. (2008) – O papel da investigação no estudo das argamassas de substituição na conservação do património; *Revista Engenharia Civil – Universidade do Minho*, 31; p. 29-37
- HENRIQUES, F (2012) – Sebenta de Materiais de Construção I, FCT NOVA.
- IPQ (2000) – NP EN 1097-3: 2000 – Ensaios para determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Método para determinação da massa volúmica e dos vazios. Caparica.

- IPQ (2006) – NP EN 14146: 2006 – Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental). Caparica.
- IPQ (2010) – NP EN 998-1:2010 – Especificação de argamassas para alvenarias. Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores. Caparica.
- JAMÚ, N. (2013) – Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra: A influência da terra como ligante. Dissertação de Mestrado, FCT NOVA.
- KHALIL, A. A.; TAWFIK, A.; HEGAZY, A. A.; EL-SHAHAT, M. F. (2014) – Effect of some waste additives on the physical and mechanical properties of gypsum plaster composites. *Construction and Building Materials*, 68, p. 580-586. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.06.081.
- LIMA, J.; CORREIA, D.; FARIA, P. (2016a) – Rebocos de terra: Influência da adição de gesso e da granulometria a da areia. ARGAMASSAS 2016 – II Simpósio de Argamassas de Soluções Térmicas de Revestimento, IteCons, 16-17 Junho de 2016.
- LIMA, J.; FARIA, P. (2016) – Eco-efficient earthen plasters. The influence of the addition of natural fibers. *Natural fibers: Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications. From Science to Markets*. Raul Figueiro and Sohail Rana (Eds.). Netherlands: Springer, RILEM Book Series, 12, p. 315-327. DOI: 10.1007/978-94-017-7515-1_24.
- LIMA, J.; FARIA, P.; SANTOS-SILVA, A. (2016b) – Earthen plasters based on illitic soils from Barrocal Region of Algarve: Contributions for building performance and sustainability. *Key Engineering Materials*, 678, p. 64-77. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.678.64.
- LIUZZI, S.; HALL, M.R.; STEFANIZZI, P.; CASEY, S.P. (2013) – Hygrothermal behavior and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilized clay composites in a Mediterranean climate. *Building Environment*, 61, p. 82-92. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.12.006.
- MADDISON, M.; MAURING, T.; KIRSIMAE, K.; MANDER, U. (2009) – The humidity buffer capacity of clay-sand plaster filled with phytomass for treatment wetlands. *Building and Environment*, 44, p. 1864-1868. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.12.008.
- MANUPPELLA, G.; MOREIRA, J.; GRADE, J.; MOURA, A. (1985) – Contribuição para o conhecimento das características das argilas do Algarve. Porto: estudos, notas e trabalhos do Serviço de fomento mineiro e laboratório da D.G.G.M. Tomo 27, p. 59-75.
- MATTONI, M.; BIGNAMINI, E. (2012) – Conservation of earthen constructions: Earth-gypsum plasters. RESTAPIA 2012 - 1st International Conference on Rammed Earth Conservation, Valencia, Spain, 21-23 June 2012.
- MELIÀ, P.; RUGGIERI, G.; SABBADINI, S.; DOTELLI, G. (2014) – Environmental impacts of natural and conventional building materials: A case study on earth plasters. *Journal of Cleaner Production*, 80, p. 179-186. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.073.
- MENDONÇA, P. (2005) – Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados. Dissertação de Doutoramento, Universidade do Minho.
- MEISSER, M. (1978) – *La pratique de l'acoustique dans le bâtiment*. Éditions Eyrolles, Paris.
- MINKE, G. (2006) – *Building with earth. Design and Technology of a Sustainable Architecture*, WITpress. ISBN: 978-3-7643-7477-8.
- MORET-RODRIGUES, A.; BRAGA, A.; CANHA-PIEIDADE, A. (2009) – *Térmica de Edifícios*. 1ª edição. Alfragide: Edições Orion. ISBN: 978-972-86-2913-4.

- PINA DOS SANTOS, C.A.; MATIAS, L. (2006) – Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios. ITE 50. LNEC, Lisboa. ISBN: 978-972-49-2065-8.
- PUNDIR, A.; GARG, M.; SINGH, R. (2015) – Evaluation of properties of gypsum plaster-superplasticizer blends of improved performance. *Journal of Building Engineering*, 4, p. 223-230. DOI: 10.1016/j.jobbe.2015.09.012.
- RÖHLEN, U.; ZIEGERT, C. (2011) – *Earth Building Practice*, Bauwerk, Beuth Verlag GmbH. ISBN: 978-3-410-21737-4.
- SANTOS, T. (2014) – Argamassas de terra para rebocos interiores: Ensaio de caracterização e influência da formulação. Dissertação de Mestrado. FCT NOVA.
- SANTOS, T.; FARIA, P.; SILVA, V. (2014) – Caracterização de argamassa pré-doseada de terra. ARGAMASSAS 2014 – I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, Universidade de Coimbra, 5-6 Junho de 2014.
- SANTOS, T.; SILVA, V.; FARIA, P. (2015) – Argamassas de terra. Comportamento higrotérmico em função da granulometria da areia. PATORREB 2015 – 5ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, 26-28 Março de 2015, Porto, FEUP.
- STAZI, F.; NACCI, A.; TITTARELLI, F.; PASQUALINI, E.; MUNAFÒ, P (2016) – An experimental study on earth plasters for earthen building protection: The effects of different admixtures and surface treatments. *Journal of Cultural Heritage*, 17, p. 27-41. DOI: 10.1016/j.culher.2015.07.009.
- VEIGA, M.R.; FRAGATA, A.; VELOSA, A.L.; MAGALHÃES, A.C.; MARGALHA, G. (2010) – Lime-based mortars: Viability for use as a substitution renders in historical buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 4, p. 177-195. DOI: 10.1080/15583050902914678.
- VIMMROVÁ, A.; KEPPERT, M.; MICHALKO, O.; CERNÝ, R. (2014) – Calcined gypsum-lime-metakaolin binders: Design of optimal composition. *Cement and Concrete Composites*, 52, p. 91-96. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2014.05.011.
- WHO World Health Organization (2009) – Guidelines for indoor air quality: Dampness and mould. Copenhagen: World Health Organization – Regional Office of Europe 2009. ISBN: 7989289041683.
- ZAK, P.; ASHOUR, T.; KORJENIC, A.; KORJENIC, S.; WU, W. (2016) – The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials. *Construction and Building Materials*, 106, p. 179-188. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.031.

ANEXOS

A.1 – Quadros-síntese referentes a estudos de produtos com base em terra, terra e/ou gesso e cal e terra

Quadro A.1.1 – Quadro-síntese referente a estudos de produtos com base em terra

Ref Bibl.	Produto	Provetes	Formulação	Cura	Ensaio/Normas	Resultados	Conclusões
Ashour et al. (2015a)	Blocos de terra (50% esmectite, 30% ilite, 10% caolinite e 10% vermiculite) com fibras vegetais (trigo e cevada) cimento e gesso	4x4x2 [cm]	100% terra (referência), terra com substituição (em % de massa) por 1% e 3% de fibras de cevada ou trigo, 1% e 3% de fibras de cevada ou trigo + 5% ou 10% de gesso, 1% e 3% de fibras de cevada ou trigo + 5% ou 10% de cimento	21,7°C e 56,1% HR durante 60 dias; secagem a 70°C até massa constante (DIN EN 12570)	Equilibrium Moisture Content - EMC (DIN EN ISO 12271)	Influência Fibras: fibras trigo: 10°C – EMC de 3,4% (1%) e 3,7% (3%), 40°C – EMC de 3,2% (1%) e 3,3% (3%); fibras cevada: 10°C – EMC de 3,4% (1%) e 3,5% (3%), 40°C – EMC de 3,3% (1%) e 3,4% (3%); Influência cimento: 1% fibras trigo: 10°C – EMC de 4,22% (0%), 4,21% (5%) e 3,65% (10%), 40°C – EMC de 3,52% (0%), 3,36% (5%) e 3,12% (10%); 1% fibras cevada: 10°C – EMC de 3,78% (0%), 3,59% (5%) 3 3,25% (10%), 40°C – EMC de 2,83% (0%), 2,83% (5%) e 2,66% (10%); 3% fibras: EMC ↑ com ↑ HR até 65%, ↓ entre 65 e 80% HR e ↑ com HR acima de 80%; Influência gesso: 1% fibras trigo: 10°C – EMC de 3,43% (0%), 3,37% (5%) e 3,32% (10%), 40°C – EMC de 3,33% (0%), 3,09% (5%) e 3,03% (10%); fibras cevada: 10°C – EMC de 3,58% (0%), 3,17% (5%) e 2,35% (10%), 40°C – 3,15% (0%), 3,03% (5%) e 2,19% (10%), EMC ↑ com ↑ HR até 65%, ↓ entre 65 e 80% HR e ↑ com HR acima de 80%	EMC dos blocos ↑ com ↑ da HR e ↓ com ↑ da T°; EMC dos blocos com adição de cevada é > do que EMC dos blocos com fibra de trigo; EMC ↑ gradualmente para HR > 65%, para HR entre 65-80% é constante e ↑ para HR > 80%; ↑ % de fibras de 1% para 3% ↑ EMC; EMC ↓ com ↑ % de gesso e cimento; adição de fibras tem mais efeitos no EMC que adição de cimento e gesso
Ashour et al. (2015b)	Idem ao anterior	12x6x24 [cm]	Idem ao anterior	Idem ao anterior	λ (ASTM C 1113-99)	λ argamassa referência: 0,961 W/(m.K); λ argamassas com fibras: 0,300 (3% trigo) e 0,621 (1% cevada) W/(m.K); λ argamassas com fibras+cimento ou gesso: 0,325 (1% cevada + 5% cimento) a 0,640 (1% cevada + 10% gesso) W/(m.K)	↑ % de fibras de trigo e cevada ↓ λ quando comparada com argamassa de ref.; λ ↑ com ↑ % de gesso, λ ↑ quando comparada com blocos apenas com fibras; λ ↑ com ↑ % de cimento, λ ↓ com ↑ % de cimento quando comparado com blocos sem adição de cimento e 1% fibras de trigo, λ ↑ com ↑ % de cimento quando comparado com blocos sem adição de cimento e 1% fibras de trigo e cevada
Delinière et al. (2014)	Argamassas de terra argilosa pré-doseadas (argamassas 1 a 4 - predominância da montmorillonite, clorite e ilite; argamassa 5 - predominância da caulinite)	40x40x160 [mm] ; camada de reboco sobre placas de betão previamente executadas (530x220 [mm])	Argamassas 1 e 2: pré-doseadas; Argamassa 3 - 33% terra argilosa, 67% areia (1:2); Argamassas 4 e 5 - 29% terra argilosa, 71% areia (1:2,5):	23°C e 50% HR até massa constante; base do molde foi retirada e provetes virados ao contrário para facilitar endurecimento e; desmoldagem total	Análise granulométrica: via húmida (fracção grossa), método da pipeta NF P 94-057 (fracção fina), preparação das argamassas (EN 1015-2), espalhamento (EN 1015-3), Mv (fresca) (recipiente cilíndrico e compactado EN 196-1), RI, Rt e Rc (DIN 18947 e EN 1015-11), A (EN 1015-12 e procedimento por corte)	Teor de água: 16,8 (1) a 20,5% (2); espalhamento: 160 (5) a 185 (1) mm; Mv (fresco): 2,0 (2) e 2,1 (1,3,4,5) g/cm ³ ; Mv (endurecido): 1,7 (2,3,5) e 1,8 (1,4) g/cm ³ ; RI: 1,5 (3) a 2,5 (5%); Rt: 0,49 (3) a 0,69 (1) MPa; Rc: 1,3 (3) a 2,1 (1) MPa; As: 6 (2,5) a 84 (4) kPa (procedimento standart), 111 (4) a 140 (1) kPa (procedimento modificado apenas argamassas 1, 2 e 4)	Resultados de acordo com DIN 18947; a RI relacionada com o teor de argila; argamassas com Rt e Rc semelhantes excepto a argamassa 3 que tem valores < devido a ↓ quantidade de argila, argilas de natureza diferente não têm influência nos valores de resistência mecânica; resultados de As segundo a norma foram dispersos e <, alteração do procedimento melhorou resultados de As, 3 argamassas cumpriram o limite da classe S II da DIN 18947, dvidas se a força perpendicular aplicada nos suportes é a mais indicada para simular o comportamento in situ, teste de tensão de corte poderá ser mais apropriado

Quadro A.1.1 – Quadro-síntese referente a estudos de produtos com base em terra (continuação)

Ref Bibl.	Produto	Provetes	Formulação	Cura	Ensaios/Normas	Resultados	Conclusões
Emiroglu et al. (2015)	Argamassas de terra pré-doseadas (argila vermelha (72% ilite e 28% caolinite) e argila amarela (71% ilite e 29% caolinite), areia)	Tijolos com camada de reboco; cúbicos: 50x50x50 [mm]	Argamassa de referência: 1 unidade argila e 35% água; C10S0 a C1S9 (ex: C1S9 = 1 un. de argila e 9 un. de areia em peso)	Desmoldados ao fim dos dois dias, mais 1 dia em condições laboratoriais, 24h no forno à T=??	Ensaio expedito: queda da bola, corte (brilho). Ensaio no estado endurecido: retracção resistência à compressão (EN 196-1)	Melhor rácio argila/areia pertencente à argamassa C3S7; Rc argila vermelha: 2 (C2S8) a 9 (R) MPa; Rc argila amarela: 3 (C2S8) e 13 (C9S1) MPa; Rc argila vermelha (sujeita a T°): Rc (60°) – 1,5 (C2S8) a 7 (R) MPa, Rc (105°) – 2 (C2S8) a 9,5 (R) MPa; Rc (argila vermelha – teor de água): Rc (30%) – 4,2 MPa; Rc (40%) – 4,1 MPa; Rc (50%) – 3,4 MPa; Rc (60%) – 2,8 MPa; Rc (70%) – 2,2 MPa	Fissuras superficiais ↓ com ↑ da quantidade de água da mistura e facilita a aplicação; elevada quantidade de água ↓ Rc; o rácio argila/areia óptimo pode ser facilmente determinado através de ensaios expeditos; rácios óptimos: C3S7 e C4S6; teor de humidade afecta bastante Rc; Rc para argamassas secas a 105° ↑ 21,52% para todas as argamassas; Rc ↓ com a ↓ da quantidade de argila
Faria et al. (2016)	Argamassa de terra pré-doseada para reboco (terra ilítica e areia siliciosa da região do Algarve, fibras de aveia)	40x40x160 [mm]; camada de reboco com 15 mm sobre tijolo com 29,5x19,5 [mm], Ø 90mm e 15 e 20 mm; 500x200 [mm] e 15mm; aplicação de reboco sobre parede de alvenaria de tijolo	-	Ambiente de laboratório	Baridade (EN 11097-3), análise granulométrica (EN 1015-1), espalhamento (EN 1015-3), penetrómetro (EN 1015-4), Mv (fresca) (EN 1015-6), teor de ar (EN 1015-7), retenção de água (EN 1015-8), Ri, Mv (aparente), Rt, Rc, Ra, As, adsorção e desadsorção (DIN 18947), Cs (Drdácký et al. 2015), absorção de água por capilaridade (EN 15801 e EN 1015-18), secagem (EN 16322), λ (manual do equipamento)	Baridade: 1.17 ± 0.01 kg/dm ³ , espalhamento (mm): 178.8±2,5 (equip. obra) 182.3±2,5 (lab); penetrómetro (mm): 2,4±0,1 (lab); Mv (fresca) (kg/dm ³): 2,05 (equip. obra), 2,11 (obra); teor de ar (%): 2,8 (equip. obra), 2,5 (lab); retenção de água (%): 67,5±1,3 (lab); teor de água (%): 20,1±0,1 (equip. obra), 19,4±0,3 (lab); RI (%): primas: 0,21±0,01 e 0,61 (Teste de Alcock), planares: 0,32±0,0 (lado + longo) e 0,58±0,23 (lado + curto), Cs: 0,10±0,01 g; Ra (g): circulares: 18,1±3,1 (escova dura), 3,9±0,5 (escova média), 0,3±0,0 (escova mole), tijolo: 11,2±2,2 (escova dura), 4,5±0,5 (escova média); Ed: 3610±128 N/mm ² ; Rt: 0,3±0,0 N/mm ² ; Rc: 1,1±0,1 N/mm ² ; As: 0,15±0,03 N/mm ² ; μ: 8,0±0,3; Sd: 0,16±0,01 m; CC (kg/(m ² .min ^{0,5})): 0,5±0,06 (resina), 0,86±0,04 (polietileno), 1,84±0,34 (simples); DR (kg/(m ² .h)): 0,30±0,01 (resina), 0,33±0,02 (polietileno), 0,64±0,06 (simples); IS: 0,15±0,01 (resina), 0,19±0,01 (polietileno), 0,12±0,02 (simples); λ (W/(m.K)): Ø9 cm (1,5 cm): 0,8±0,0, Ø9 (2,0 cm): 0,9±0,0; planares: 0,9±0,0; tijolo: 0,9±0,1; prismas: 1,0±0,0	Argamassa apresenta boa trabalhabilidade. Também apresenta boas resistências mecânicas quando comparadas com argamassas de cal; baixa aderência ao suporte; alta capacidade de adsorção e desadsorção provando que a argila tem um papel importante nesta característica; argamassas cumpriram todos os requisitos impostos pela norma DIN 18947
Gomes et al. (2012a)	Argamassas de terra (caulinítica) para reparação de paredes de taipa com adições de fibras vegetais e cal aérea ou hidráulica	50x50x50 [mm]; 40x40x160 [mm]	Traço vol. 1:3 de terra:areia (referência), traço 1:3 com adição de fibras e cal aérea ou hidráulica (relativa à % de massa de terra)	7 dias em sala condicionada, desmoldagem aos 7 dias, mantendo-se na sala até aos 90 dias. Argamassas com cal aérea sujeitas a 7 dias na câmara de carbonatação aos 28 dias.	Espalhamento (EN 1015-3), Mv aparente (EN 1015-6), Ri (ensaio de Alcock), absorção água por capilaridade (procedimento No. II.6 da RILEM), secagem (procedimento No. II.5 da RILEM), Ed (EN 14146), Rt e Rc (EN 1015-11)	Espalhamento: 163 (10 e 15% c. aérea+fibras) a 172 (10 e 15% c. aérea, 10 e 15% c. hidráulica) mm, Mv (aparente): 1,77 (15% c. aérea+fibras) a 1,88 (15% c. hidráulica) kg/dm ³ , Ri: linear - 0,23% (10% c. aérea+fibras) a 1,77% (10% c. aérea), volumétrica – 0,95 (ref+fibras) a 7,83% (5% c. aérea); Ed: 500 (5% c. aérea+fibras) a 1200 (5% c. hidráulica) MPa; Rt: 0,06 (5% c. aérea+fibras) a 0,175 (ref) MPa; Rc: 0,1 (5% c. aérea) a 0,5 (ref) MPa; CC: 0,05 (5% c. hidráulica+fibras) e 0,52 kg/m ² s ^{1/2} (15% c. aérea)	Adição de fibras: RI ↓ para todas argamassas excepto para argamassas com cal hidráulica com fibras, não há influência clara no CC, não retardou a secagem, não há influência clara no Ed, Rc ↑ e não acontece o mesmo para Rt, crescimento biológico nas argamassas com adição de fibras retardado por presença de cal aérea e > % de cal hidráulica; Tipo de ligante: não há ligação aparente entre RI e volumétrica e teor de ligante, cal aérea tem pior comportamento face à capilaridade, IS não retarda, baixas % de ligante não apresentam melhoria para Rt e Rc

Quadro A.1.1 – Quadro-síntese referente a estudos de produtos com base em terra (continuação)

Ref Bibl.	Produto	Provetes	Formulação	Cura	Ensaio/Normas	Resultados	Conclusões
Gomes et al. (2012b)	Argamassas de terra (caulinítica) para reparação de paredes de taipa com adições de fibras vegetais (cânhamo) e cal aérea ou hidráulica ou cimento	50x50x50 [mm]; 40x40x160 [mm]	Traço vol. 1:3 de terra:areia (referência), traço 1:3 com adição de fibras, cal aérea ou hidráulica e cimento portland ou romano (relativa à % de massa de terra)	7 dias em sala condicionada, desmoldagem aos 7 dias, mantendo-se na sala até aos 90 dias. Argamassas com cal aérea sujeitas a 7 dias na sala de carbonatação aos 28 dias.	Espalhamento (EN 1015-3), Mv aparente (EN 1015-6), RI (ensaio de Alcock), absorção água por capilaridade (procedimento No. II.6 da RILEM), secagem (procedimento No. II.5 da RILEM), Ed (EN 14146), Rt e Rc (EN 1015-11)	Espalhamento: 163 (10 e 15% c. aérea+fibras) a 180 (15% portland) mm, Mv (aparente): 1,77 (155 c. aérea+fibras) a 1,90 (15% portland) kg/dm ³ , RI: linear - 0,18% (15% portland+fibras) a 1,94% (10% natural), volumétrica - 0,95 (ref+fibras) a 7,83% (5% c. aérea); Ed: 183 (15% portland) a 1239 (5% natural+fibras) MPa; Rt: 0,04 (15% portland) a 0,25 (10% natural+fibras) MPa; Rc: 0,11 (5% c. aérea) a 0,58 (10% natural+fibras) MPa; ID: 0,121 (5% c. hidráulica e romano) a 0,187 (15% portland+fibras); CC: 0,050 (5% c. hidráulica+fibras) a 0,682 (15% portland+fibras) kg/m ² ^{1/2}	Adição de fibras: RI ↓ para todas argamassas excepto par argamassas com cal hidráulica, não há influência clara no CC, IS ↑, não há influência clara no Ed, Rt e Rc ↓, crescimento biológico nas argamassas com fibra de cânhamo excepto nas que contêm cal aérea hidratada; Tipo de ligante: não há ligação aparente entre RI e Rvolumétrica e teor de ligante, CC ↑ com % de ligante, IS retarda com ↑ do teor de ligante, Ed ↓ com o ↑ do teor de ligante para todas as argamassas excepto as de cal aérea hidratada com e sem fibras, não há relação clara entre Rc e Rt e teor de ligante
Lima et al. (2016b)	Argamassas de terra (ilítica do "barrocal" algarvio) para reboco interior	40x40x160 [mm]; Ø 90mm e 20 mm; 500x200 [mm] e 15mm; sobre tijolo: camada de 20 mm de reboco	Terra:areia com diferentes traços vol.: 1:2; 1:2,5; 1:3; 1:4	28 dias em sala condicionada com T de 23 ± 3°C e uma HR de 65 ± 5%	Espalhamento, RI, Mv (fresca e aparente), Rt, Rc, As, adsorção e desadsorção de vapor de água, todos realizados de acordo com a norma DIN 18947	Espalhamento: 162 (E1S2,5) a 173 (E1S3) mm; Mv (fresco): 2,05 (E1S4) a 2,13 (E1S3) kg/dm ³ ; Mv (aparente): 1,84 (E1S4) a 1,96 (E1S2,5) kg/dm ³ ; RI: 0,3% (E1S4) a 1,4% (E1S2); Rt: 0,22 (E1S4) a 0,27 (E1S2) N/mm ² ; Rc: 0,53 (E1S4) a 0,99 (E1S2) N/mm ² ; As: 0,07 N/mm ² ; Adsorção (12h): 53,7 (E1S4) a 72,3 (E1S2) g/m ²	Ensaio de RI confirma a baixa expansibilidade da terra, argamassas não atingiram os limites mínimos definidos pela norma para Rt e Rc, mas As atinge limites mínimos, resistência pode ser melhorada com adição de fibras. Comportamentos semelhantes na adsorção/desadsorção com atraso na desadsorção
Lima & Faria (2016)	Argamassas de terra (ilítica do "barrocal" algarvio) para reboco interior com adição de fibras vegetais (typha e aveia)	40x40x160 [mm]; Ø 90mm e 20 mm; 500x200 [mm] e 15mm; sobre tijolo: camada de 20 mm de reboco	Traço vol. 1:3 de terra:areia (referência), traço 1:3 com adições (volume total de componentes secos): 10% e 20% fibras de aveia, 20%, 40% e 80% fibras de typha	28 dias em sala condicionada com T de 23 ± 3°C e uma HR de 65 ± 5%	Espalhamento, RI, Mv (fresca e aparente), Rt, Rc, As, adsorção e desadsorção de vapor de água, todos realizados de acordo com a norma DIN 18947: λ (manual do equipamento)	Espalhamento: 162,8 (20% aveia) a 174,6 (40% typha) mm; Mv (fresca): 1,93 (20% aveia) a 2,13 (ref) kg/dm ³ ; Mv (aparente): 1,66 (20% aveia) a 1,91 (ref) kg/dm ³ ; RI: 0,13% (10% aveia) a 0,85% (ref); Rt: 0,20 (10% aveia) a 0,29 (40% typha) N/mm ² ; Rc: 0,55 (10% aveia) a 1,02 (40% typha) N/mm ² ; As: 0,07 (ref) a 0,11 (80% typha) N/mm ² ; Adsorção (12h): 66,33 (20% typha) a 68 (ref) g/m ² ; λ: 0,99 (205 aveia) a 1,45 (20% typha) W/(m.K)	Fibras ↓ RI, mas a partir de certo ponto as fibras revelam comportamento oposto, talvez devido à maior quantidade de água na amassadura; ↑ do volume de fibras ↓ λ; fibras de aveia ↓ Rt e Rc, fibras de typha ↑ Rt e Rc, ambas as fibras são benéficas para As; Comportamentos semelhantes na adsorção/desadsorção com atraso na desadsorção, melhorado pela adição das fibras
Santos et al. (2014)	Argamassas de terra pré-doseadas para reboco interior (terra ilítica, fibras de aveia com 1 e 2 cm, areia siliciosa)	Aplicação por projecção em murete, 40x40x160 [mm]; sobre tijolo: camada de 1,5 cm de reboco; Ø 90mm e 15 e 20 mm; 500x200x15 [mm]	2 misturas: misturada mecanicamente in situ; reproduzida em laboratório: misturada com berbequim em contínuo durante 5 minutos depois da introdução de água	Em sala condicionada com T de 20±2°C e 65±5% HR	Baridade (EN 1097-9), espalhamento (EN 1017-3); Mv (fresco) (EM 1015-6); teor de ar (EN 1015-7), teor de água (perda de peso de amostra seca em estufa), penetrómetro (EN 1015-4), retenção de água (prEN 1015-8); abaixamento; Rt e Rc (DIN 18947 e EN 1015-11); Ed (EN 14146); As (EN 1015-12); λ (manual do equipamento); adsorção (DIN 18947)	Baridade: 1,17±0,01 kg/dm ³ ; espalhamento (mm): 178,8±2,5 (in situ), 182,3±2,5 (lab); abaixamento (mm): 14,2 (lab); penetrómetro (mm): 2,4±0,1 (lab); Mv (fresco) (kg/dm ³): 2,03 (in situ), 2,11 (lab); teor de ar (%): 2,8 (in situ), 2,5 (lab); retenção de água (%): 67,5±1,3 (lab); teor de água (%): 20,1±0,1 (in situ), 19,4±0,3 (lab); laboratório: Mv: 1,77±0,02 kg/dm ³ ; Ed: 3610±128 N/mm ² ; Rt: 0,3±0,0 N/mm ² ; Rc: 1,1±0,1 N/mm ² ; As: 0,15±0,03 N/mm ² ; λ (W/(m.K)): circulares: 0,8±0,0 (1,5cm), 0,9±0,0 (2cm); planares: 0,9±0,0; prismáticos: 0,9±0,1; sobre tijolo: 0,9±0,0	Espalhamento e massa volúmica de acordo com a DIN 18947; reduzida RI; Mv pertence à classe 1,8 da DIN 18947; as resistências mecânicas pertencem à classe SI, os valores obtidos são compatíveis com outras argamassas para reboco, nomeadamente cal; λ apresenta valores consistentes, característica não se traduz num grande acréscimo térmico devido à reduzida espessura das argamassas de reboco interior; adsorção de vapor de água enquadra-se na classe WSIII, boa resistência ao fogo

Quadro A.1.1 – Quadro-síntese referente a estudos de produtos com base em terra (continuação)

Ref Bibl.	Produto	Provetes	Formulação	Cura	Ensaio/Normas	Resultados	Conclusões
Santos et al. (2015)	Argamassas de terra para reboco interior com variação da granulometria da areia e adição de fibras (2 argamassas pré-doseadas, terra íltica, areia de granulometria fina e grossa, fibras de aveia)	Ø 90mm e 20 mm	Argamassas de laboratório: traço vol. 1:3 de terra:areia (referência), traço 1:3 com variação da granulometria da areia e adição de fibras; argamassas pré-doseadas: terra, areia fina e fibras (com equipamento de obra, de laboratório)	20±3°C de temperatura e 65±5% de HR	Espalhamento (EN 1015-3), λ (manual do equipamento), permeabilidade ao vapor de água (DIN 18947), higroscopicidade (DIN 18947)	Espalhamento: 161,5 (pré-doseada lab) a 192,5 (30% areia grossa+45% areia fina+5% fibras) mm; λ: 0,72 (45% areia grossa+30% areia fina) a 1,01 (pré-doseada lab) W/(m.K); Sd: 0,13 (25% argila+75% areia fina) a 0,16 (P0) m; μ: 6,97 (pré-doseada lab) a 8,00 (pré-doseada equip. obra)	Valores de λ próximos dos valores para argamassas de cal aérea, melhoram com a presença de fibras; argamassas não ultrapassam muito o limite de permeabilidade ao vapor de água definido para rebocos interiores; granulometria da areia e adição de fibras influenciam pouco capacidade adsorção e desadsorção sendo a argila quem mais influencia
Stazi et al. (2016)	Argamassas de terra com adições (fibras de cevada (A), solução polimérica nanoestruturada de silicone (B), emulsão aquosa de derivados de silicone (C), mistura pré-doseada de calcário com ácidos gordos e polímeros sintéticos (D)) e tratamentos de superfície (emulsão nanoestruturada de silicone (E), suspensão nanoestruturada de titania e sílica (F), emulsão aquosa de silano-siloxano (G) e emulsão aquosa de cera de abelha (H))	2 paredes (taipa e barro): 100x30x100 [cm] com camada de 20 mm de reboco, tijolos com camada de 20 mm de reboco, provetes em moldes de PVC	referência (1:4 (terra:areia)+ água), ref+ areia de 1 mm de diâmetro, ref+adições; ref+tratamentos de superfície (% de massa do componente argiloso); foram ainda testados vários traços: 1:1, 1:1,5, 1:2, 1:2,5, 1:4 e 1:5	Paredes: 3 meses em laboratório a T° e HR ambiente (paredes cobertas com plástico e placas de madeira para regular secagem e efeitos da retração; Restantes provetes: 15 dias em laboratório a T° e HR ambiente	Testes preliminares: retração e aderência ao suporte (procedimento de Hammar et al., 2013); Restantes: compressão não confinada (ISO/TS 17892-2), permeabilidade ao vapor de água (EN 15803); ensaio de molhagem; coloração da superfície, absorção de água por capilaridade (II.4 RILEM), ensaio de erosão superficial (Geelong e spray – NZS 4298)	Tensão de corte: ref – 19 MPa (parede de taipa e barro), parede de taipa: 24 (solução B; C e D) a 44 (A) kPa, parede de barro: 12 (ref+areia de 1 mm) a 24 (B) kPa; compressão não confinada: parede de taipa – 3,41 e 4,49 MPa, parede de barro – 2,71 e 3,56 MPa; ref – 1,42 e 1,45 MPa; ref+areia 1 mm – 1,18 e 1,128 MPa; A – 1,18 e 1,23 MPa; B – 1,28 e 1,34 MPa; C – 0,91 e 0,99 MPa; D – 1,36 e 1,39 MPa; permeabilidade ao vapor de água: 5,16x10 ⁻¹¹ (parede taipa), 2,33x10 ⁻¹¹ (parede barro), 2,42x10 ⁻¹¹ (ref, ref+areia 1 mm), ref+adições - 1,98x10 ⁻¹¹ (C) a 2,34x10 ⁻¹¹ (A), ref+trat superfície – 2,01x10 ⁻¹¹ (G) a 2,19x10 ⁻¹¹ (F); μ – 4 (parede taipa), 8(parede terra, ref, ref+areia 1mm), ref+adições - 8 (B) a 10 (C), ref+ trat. superfície – 9 (E, F e H) e 10 (G); Sd (m) – 1,20 (parede taipa), 2,40 (parede barro), 0,16 (ref, ref+areia 1mm), ref+adições – 0,16 (A) a 0,20 (C), ref trat. superfície – 0,18 (F e H) e 0,20 (G)	Traço com melhores características é 1:4. As fibras de cevada promovem melhor controle da retração. Todas as argamassas são compatíveis física e mecanicamente com a parede de terra. Ao contrário das adições, todos os tratamentos de superfície com exceção do tratamento de silano-siloxano, provocaram alterações na cor das argamassas. A adição de fibras de cevada e utilização de areia com 1 mm de diâmetro > taxa de absorção e uma alteração na força de adesão. A mistura com aditivo de agregados de calcário e o tratamento com titania e sílica não têm qualquer efeito na argamassa quanto à resistência à água. O tratamento de cera de abelha e o de partículas de sílica ↑ molhagem das argamassas, mas quando expostos à erosão eficácia ↓. O aditivo de partículas de silicone ↑ resistência à erosão, mas ↓ absorção de água. O aditivo com derivados orgânicos de silicone tem > resistência à erosão, mas também > taxa de absorção de água. O tratamento de silano-siloxano é o único produto que combina uma boa resistência à erosão com uma boa capacidade de repelir a água.
Zak et al. (2016)	Argamassas de terra argilosa (50% esmectite, 30% ilite, 10% caulinite e 10% vermiculite) com substituição por fibras vegetais (linho e cânhamo), cimento e gesso, para execução de tijolos de terra;	12x6x24 [cm]	100% terra (ref), terra com sub (em % de massa) por 1% e 3% de fibras de linho e cânhamo, e/ou 5% ou 10% de gesso ou cimento	-	Rt (EN 1015-11)	Rc argamassa referência: 4,3 N/mm ² ; Rc argamassas com fibras: 3,5 (1% cânhamo) a 4,4 (3% linho) N/mm ² ; Rc argamassas com fibras + cimento: 0,3 (3% cânhamo + 5% cimento) a 0,6 (3% cânhamo + 10% cimento) N/mm ² , Rc argamassas com fibras + gesso: 0,8 (3% cânhamo + 10% gesso) a 3,6 (3% linho + 10% gesso) N/mm ²	Fibras não apresentam melhorias quanto à Rc; argamassas com gesso não apresentam melhorias quanto à Rc devido à elevada quantidade de água na produção, adição de cimento ↓ Rc e pode dever-se à % de cimento não ser suficiente para envolver a terra na totalidade

Quadro A.1.2- Quadro-síntese referente a estudos de produtos com base em terra e/ou gesso

Ref Bibl.	Produto	Provetes	Formulação	Cura	Ensaios/Normas	Resultados	Conclusões
Khalil et al. (2014)	Argamassas de compósito de gesso (gesso industrial) com adição de resíduos (casca de arroz, escória, carbonato de cálcio e polímero de PVA)	-	Argamassa de gesso (ref), argamassa de gesso + adição de 0,2 até 10% de casca de arroz, escória, carbonato de cálcio e polímero de PVA (adição em % de massa de gesso)	T° entre 20 a 25°C e HR entre 60 a 70%	Rácio água/componente sólido, tempo de presa, porosidade aparente, Mv (aparente), Rc aos 7 e 28 dias	Porosidade aparente (PA): casca de arroz - 37 (0,2%) a 41% (0%) (7d), 35 (0,6%) a 39% (0%) (28d); escória - 40 (0%) a 42% (10%) (7d), 34 (7%) a 39% (0%) (28d); PVA - 38 (0,6%) a 40% (3%) (7d), 34 (5%) a 39% (0 e 0,2%) (28d), carbonato de cálcio - 41 (0%) a 44% (10%) (7d), 32 (0,6%) a 39% (0%) (28d); Mv aparente (g/cm ³): casca de arroz - 1,12 (0,8 e 1%) a 1,16 (0%) (7d), 1,12 (0,6, 0,8 e 1%) a 1,14 (0%) (28d); escória - 1,07 (10%) a 1,16 (0%) (7d), 1,07 (5%) a 1,15 (0%) (28d); PVA - 1,09 (10%) a 1,22 (0,8%) (7d), 1,10 (0,2%) a 1,14 (0,8%) (28d); carbonato de cálcio - 1,13 (0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1%) a 1,17 (0%) (7d), 1,11(0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1%) a 1,17 (5%) (28d); Rc (MPa): casca de arroz - 6 (5%) a 13 (0,4%) (7d), 7 (5%) a 17 (0,4%) (28d); escória - 11 (10%) a 13 (5%) (7d), 11 (3%) a 20 (10%) (28d), PVA - 9 (0,6%) a 12 (3%) (7d), 14 (0,6%) a 17 (3%) (28d); carbonato de cálcio - 10 (10%) a 13 (3%) (7d), 12 (1%) a 15 (3%) (28d)	Ordem do rácio água/sólido segundo as adições: casca de arroz > escória > carbonato de cálcio > polímero de PVA; ordem do tempo de presa segundo as adições: escória < ref < casca de arroz < carbonato de cálcio < PVA; PA das argamassas aos 28 dias é menor que PA das argamassas aos 7 dias ordem da PA segundo as adições: carbonato de cálcio > escória > PVA > casca de arroz; argamassas com 28 dias têm Mv ligeiramente > à Mv das argamassas com 7 dias, ordem da Mv segundo as adições: polímero PVA > carbonato de cálcio > escória > casca de arroz; Rc das argamassas aos 28 dias é > à das argamassas com 7 dias, ordem da Rc segundo as adições: escória > carbonato de cálcio > PVA > casca de arroz
Mattonç & Bignamini (2012)	Argamassas de terra (montmorillonit) e gesso com adições de origem natural (óleo de linhaça, glúten de trigo, caseína, cera de abelha, goma de cacto, emulsão acrílica, pó de vinil)	-	Argamassas de terra e 20% gesso (A); ad. 6% óleo de linhaça (B); ad. 2% glúten (C); ad. 9,6% caseína (D); ad. 3% cera de abelha + 3% óleo de linhaça (E); ad. goma de cacto (F); ad. 4,8% emulsão acrílica (G); ad. 1,8 pó de vinil (H) (adição em % de massa de terra seca)	-	Absorção de água por capilaridade (tubos de Karsten, medições com intervalo de 1 a 15 mins); erosão superficial (Geelong e ensaio de erosão por spray de acordo com NZS 4298), análise de cor por espectrometria, ensaio XRD (difracção raio-x) e FTIR (infravermelhos com transformada de Fourier)	Absorção de água por capilaridade: 31 cm ³ /3 mins (D) a 40 cm ³ /5,5 mins (B); erosão por spray: 4 mm (H) a 22 mm (F); Geelong: argamassas pouco afectadas pela erosão com um índice de erosão 2 segundo a norma	Óleo de linhaça e caseína ↑ resistência à erosão enquanto cera de abelha, pó de vinil e emulsão acrílica também apresentam boa protecção mas mais limitada; todos os produtos ↓ absorção de água por capilaridade em especial a caseína, embora tenha causado fissuras na superfície das argamassas e alterado também a sua cor.

Quadro A.1.2 – Quadro-síntese referente a estudos de produtos com base em terra e/ou gesso (continuação)

Ref Bibl.	Produto	Provetes	Formulação	Cura	Ensaios/Normas	Resultados	Conclusões
Pundir et al. (2015)	Misturas de gesso-superplastificante de performance melhorada (β -hemidratado de sulfato de cálcio, solfunados de melamina-formaldeído);	25x25x25 [mm]; 100x25x25 [mm]	Referência: 100% argamassa de gesso (G1); argamassa de gesso+adição de superplastificante em percentagem de 0,1 a 1% (relativa à % de massa de gesso) (G2 a G8)	Desmoldagem 2 horas após moldagem e mantidos a T° ambiente durante 24h, secos em forno a 42±2°C durante 2 dias, arrefecidos a temperatura ambiente	Tempo de presa (IS 2542 – Part I), Rt e Rc, absorção de água (IS 2532 – Part II), porosidade, Mv aparente, condutividade eléctrica, XRD, TGA, FTIR, SEM	Consistência: 58% (G1), 40% (G8) a 56,6% (G2); tempo de presa: 28 min (G1), 15 (G7 e G8) a 26 (G2) min; Rt: 3,6 MPa (G1), 4 (G2) a 5,5 (G8) MPa; Rc: 7,9 MPa (G1), 8,5 (G2) a 14 (G8) MPa; Mv aparente: 1,36 g/cc (G1), 1,3 (G2) a 1,52 (G8) g/cc	Eficiência da resistência à água: G8>G7>G6>G5>G4>G3>G2>G1; adição do superplastificante reduziu a consistência das argamassas devido a > dispersão do gesso na água; resultados da condutividade eléctrica mostram aceleração na taxa de hidratação da argamassa β -hemidratada governada pela adsorção e interação química das moléculas do superplastificante; a formação de uma textura densa e compacta de cristais na matriz modificada do gesso é responsável por \uparrow resistência mecânica e resistência à água; a substância gelatinosa formada pela interação química das moléculas do superplastificante e dos iões de cálcio preenchem os poros da matriz de gesso \downarrow a porosidade e a absorção de água das argamassas;
Vimmrová et al. (2014)	Misturas de gesso calcinado-cal-metacaulino (CLM) (Gesso cinzento (G-2 B II – CSN 72 2301), cal hidratada (CSN EN 459-1) e metacaulino)	40x40x160 [mm]; 70x70x70 [mm]; \varnothing 120 mm e 30 mm	% em massa; R: 67% gesso, 33% cal, 0% metacaulino; M1: 65% gesso, 27% cal, 8% metacaulino; M2: 85% gesso, 7% cal, 8% metacaulino; M3: 65% gesso, 19% cal, 16% metacaulino; M4: 65% gesso, 27% cal, 8% metacaulino; M5 (mistura óptima): 68,3% gesso, 22,36% cal, 9,34% metacaulino	Secos a 50°C até massa constante	Densidade de matriz (picnometria de hélio), Mv aparente (CSN EN 12390-7), porosidade aberta, Ed (CSN 73 1371), Rflexão e Rc (CSN EN 13454-2), λ (manual do equipamento), permeabilidade ao vapor de água (CSN EN ISO 12572	Densidade de matriz: 2342 (R) a 2383 (M5) kg/m ³ ; Mv aparente: 919 (M4) a 1171 (M5) kg/m ³ ; porosidade aberta: 0,503 (M5) a 0,611 (M4) m ³ /m ³ ; Rflexão: 1,34 (R) a 5,79 (M5) MPa; Rc: 4,75 (M4) a 16,11 (M5) MPa; Ed: 2458 (M4) a 4340 (M5) MPa; λ : 0,198 (M4) a 0,348 (M5) W/(m.K); D5/50%: 3,22x10 ⁻⁶ (M5) a 5,80x10 ⁻⁶ (R) m ² /s; μ 5/50%: 3,97 (R) a 7,16 (M5); D97/50%: 1,07x10 ⁻⁶ (M2) a 9,89x10 ⁻⁶ (M1) m ² /s; μ 97/50%: 1,90 (R) a 3,31 (M5)	Os componentes do sistema gesso-cal-metacaulino e água actuam de forma sinérgica, não é simples encontrar a composição óptima; a optimização simplex sequencial é uma ferramenta útil para projectar as pastas CLM; a adição de metacaulino \uparrow as características mecânicas das argamassas comparando com a argamassa de referência: Rc \uparrow + 3x, Rflexão \uparrow + 4x, Ed \uparrow 2x; λ das argamassas CLM \uparrow com \downarrow da porosidade aberta, mas apresenta sempre valores reduzidos; aplicação de metacaulino \downarrow ligeiramente D

Quadro A.1.3 – Quadro-síntese referente a estudos de produtos com base em cal e terra

Ref Bibl.	Produto	Provetes	Formulação	Cura	Ensaio/Normas	Resultados	Conclusões
Jamú (2013); Faria et al. (2013); Faria et al. (2014)	Argamassas de cal aérea e terra (caulinítica);	40x40x160 [mm]; camada de 20 mm reboco sobre tijolo; murete de taipa: camada de 20 mm de reboco sobre murete de taipa	Traço 1:2 de cal aérea: areia siliciosa (referência); traço 1:2 com substituição (% de massa relativa à cal) por terra argilosa (5%, 10%, 25% e 50%)	Prismáticos e sobre tijolo: cura standart com aspersão nos primeiros 4 dias, desmoldagem dos provetes após 7 dias e permanência na sala condicionada até aos 28 e 90 dias	Resistência superficial por esclerómetro pendular (ASTM C805), λ (manual do equipamento), absorção de água por baixa pressão-tubos de Karsten (Fe Pa 39 e Test No II.4 RILEM), baridade (NP EN 1097-3), análise granulométrica via seca (NP EN 933-1), espalhamento (EN 1015-3), Mv (fresco) (EN 1015-6), teor de ar (EN 1015-7), retenção de água (prEN 1015-8), dureza superficial-SHORE A (ASTM D2240), velocidade de propagação de ultrassons (Fe Pa 43), porosimetria e porosidade aberta mercúrio (manual do equipamento), Ed (EN 14146), Rt e Rc (EN 1015-11), porosidade aberta e Mv aparente pelo método hidrostático (NP EN 1936), capilaridade (EN 1015-18, EN 15801), secagem (No II.5 RILEM), resistência aos sulfatos (NP EN 12370)	Espalhamento: 145,8±4,0 (50% terra) a 151,6±4,3 (10% terra) mm; Mv (fresco): 1926 (ref) a 1960 (25% terra) kg/m ³ ; teor de ar: 4,3 (ref) a 5,1 (50% terra) %; retenção de água: 88,9 (50% terra) a 91,7 (5% terra) %; Tijolo: Ds: 55,1±8,8 (ref) a 64,1±6,3 (10% terra) (28d), 52,4±17,6 (50% terra) a 65,7±9,2 (ref) (90d); λ (W/(m.K)): 0,38±0,08 (5% terra) a 0,62±0,04 (25% terra) (28d), 0,42±0,10 (5% terra) a 0,62±0,16 (25% terra) (90d); velocidade ultrassons (m/s): 1210±142 (5% terra) a 1462±148 (25% terra) (28d), 892±347 (25% terra) a 936±109 (ref) (90d); coeficiente absorção de 4 ml (kg/m ² min ^{1/2}): 5,98 (ref) a 16,21 (%0% terra) (28d), 1,90 (ref) a 11,31 (%0% terra) (90d); coeficiente de absorção 60" (kg/m ² min ^{1/2}): 11,48 (25% terra) a 32,68 (50% terra) (28d), 3,91 (ref) a 15,51 (5% terra) (90d); Prismas: Ed: 2229±90 (50% terra) a 2914±42 (10% terra) MPa; Rc: 0,51±0,04 (50% terra) a 0,72±0,02 (10% terra) MPa; Rt: 0,24±0,01 (50% terra) a 0,35±0,02 (1% terra) MPa; porosidade aberta: 29,4±0,8 (ref) a 31,0±0,7 (5% terra) %; Mv aparente: 1552±15 (5% terra) a 1594±18 (ref) kg/m ³ ; λ : 0,69±0,04 (50% terra) a 0,77±0,10 (10% terra) W/(m.K); CC: 3,24±0,17 (10% terra) a 4,42±0,01 (50% terra) kg/m ² min ^{1/2} ; valor assintótico: 19,49±0,35 (50% terra) a 20,94±0,27 (25% terra) kg/m ² h; taxa de secagem: 0,23±0,04 (25% terra) a 0,28±0,02 (50% terra) kg/m ² ; IS: 0,16±0,04 (10% terra) a 0,19±0,02 (ref); resistência aos sulfatos (Δ m): -43,62±4,51 (10% terra) a -64,88±0,92 (50% terra)	Boa trabalhabilidade das argamassas; terra não influência Mv no estado fresco mas \uparrow teor de ar; % < de terra são mais benéficas para λ \downarrow da quantidade de poros menores com \uparrow da % de terra; argamassas aplicadas nos muretes mostram vantagens com incorporação de terra: melhor aplicabilidade, melhor resistência superficial, ultrassons propagam-se mais rapidamente; Provetes prismáticos: λ \downarrow com \uparrow da % de terra, argamassa com 10% de terra tem melhor Rt, Rc e Ed, introdução de 10% de terra é a mais vantajosa quanto à absorção de água por capilaridade e taxa de secagem. No geral a argamassa com 10% de terra é a que reúne as melhores características; em alguns aspectos a introdução da terra em argamassas de cal aproxima o seu comportamento a uma argamassa com traço 1:3, mas melhorias na resistência mostram que traço 1:2 é mais forte; argamassa com 10% de terra deveria ter sido aplicada no murete de taipa, embora a argamassa com 25% de terra também tenha revelado bom comportamento.

Notas do Quadro A.1 a A.3: As – Aderência ao suporte; Cs – Perda de massa por falta de coesão superficial; CC – Coeficiente de capilaridade; Ds – Dureza superficial; IS – Índice de secagem; Mv – Massa volúmica; Ra – Resistência à abrasão; RI – retracção linear por secagem; Rc – Resistência à compressão; Rt – Resistência à tracção; Sd – Espessura da camada de ar de difusão equivalente; μ – Factor de resistência à difusão; λ – Condutibilidade térmica

A.2 – Ficha Técnica, Ficha de Segurança e Declaração de Desempenho do Gesso

GESSO ESTUQUE





DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O GESSO ESTUQUE é um gesso hemihidratado não aditivado, de cor branca. É comercializado em forma de pó muito fino, pronto a amassar mecanicamente com água, para aplicação manual.

EMBALAGEM

Sacos de papel de 30 kg, sacos de 5 kg, big bags ou a granel.

UTILIZAÇÃO

Gesso de aplicação manual, recomendado para estucar paredes e tetos pelo método tradicional.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Relação Gesso/Água: 1:60 kg/l
 Tempo de Início de Presa: 12min ± 3min
 Tempo de Fim de Presa: 28min ± 5min

Expansão linear (1 hora): máx. 0,20%
 Resistência à Flexão (seco): ~ 52 kg/cm²
 Resíduo:
 Peneiro 500 micron: ± 0,100%
 Peneiro 300 micron: ± 0,650%

GESSO ESTUQUE GESSOS



ARMAZENAMENTO

O armazenamento do produto deve ser feito em local seco e medianamente ventilado.



INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Estes produtos podem ser misturados com cal hidratada.

As proporções de gesso e água referidas são utilizadas nos métodos de ensaio Internos da SIVAL, para gesso acabado de produzir. Na prática, podem ser ajustadas de acordo com as necessidades de cada aplicação individual, desde que a consistência se adeque ao fim a que se destina.

Note-se, no entanto, que essas alterações influenciarão várias características do produto obtido, nomeadamente densidade, tempos de presa, resistência e expansão.

Os produtos com base em gesso devem armazenar-se em ambiente seco, pois a absorção de humidade pode produzir alterações das suas propriedades físicas, tais como diminuição da resistência e alongamento dos tempos de presa. Para salvaguardar a qualidade do produto durante a sua utilização, os sacos abertos e parcialmente usados devem ser devidamente dobrados e fechados.

Validade do produto - 6 a 9 meses, dependendo das condições de armazenamento.

Uma vez que as condições de manuseamento e aplicação dos nossos produtos estão fora do nosso controlo, a nossa responsabilidade limita-se unicamente à qualidade das máquinas, não contemplando qualquer anomalia decorrente do seu uso inadequado.

GESSO ESTUQUE GESSOS

FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA

Em conformidade com o Regulamento (CE) N° 1907/2006
 Produtos: GESSO ESTUQUE e GESSO ESTUQUE EXPO
 Data de impressão: 30-07-2013



Data de atualização: 30-07-2013

1. Identificação da substância/preparação e da sociedade/empresa

- 1.1 **Nome comercial:** GESSO ESTUQUE e GESSO ESTUQUE EXPO
 1.2 **Utilização:** Estuque de paredes e tectos pelo método tradicional.
 1.3 **Apresentação:** Sacos de papel "kraft" contendo 30 kg do produto, big-bags ou a granel.
 1.4 **Produtor / Fornecedor:** SIVAL – Gessos Especiais, Lda.
 Sede: Rua Rodrigues Cordeiro, 34
 2400-216 Leiria
 Tel. 244 815 054 Fax 244 815 063
 Fábrica: Rua Emídio Oliveira Faria
 2425-879 Souto da Carpalhosa
 Tel. 244 619 170 Fax 244 614 690
Telefone em caso de emergência - 112

2. Identificação dos perigos

Não aplicável. Até à data não são conhecidos riscos específicos associados ao seu manuseamento. Por favor siga as informações contidas nesta Ficha de Dados de Segurança.

3. Composição/informação sobre os componentes

- 3.1 **Caracterização química:**
 Sulfato de cálcio natural > 90% CAS: 7778-18-9
 $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (x = 0, ½, 2) EINECS: 231-900-3
 3.2 **Impurezas perigosas:** Não são conhecidas.
 3.3 **Informações adicionais:** VLE-MP de partículas no ar – 10 mg/m³ (Norma NP 1798:2004)
 Este produto não necessita ser rotulado de acordo com as directivas comunitárias e a regulamentação de substâncias perigosas.

4. Primeiros socorros

- 4.1 **Em caso de inalação:** Não são necessários cuidados específicos.
 4.2 **Em caso de contacto com os olhos:** Em caso de contacto accidental, lavar abundantemente com água.
 4.3 **Em caso de contacto com a pele:** Não são necessários cuidados específicos.
 4.4 **Em caso de ingestão:** Lavar a boca e beber grandes quantidades de água, pois existe o risco de solidificação.
 4.5 **Informações a fornecer a um médico:** Sal neutro (sulfato de cálcio hemi-hidratado), não irritante. Não são conhecidas reacções alérgicas. O produto reage com a água.

5. Medidas de combate a incêndios

- 5.1 **Meios de extinção adequados:** Qualquer meio de combate às chamas.
 5.2 **Meios de extinção que não devem ser utilizados por razões de segurança:** Nenhum.
 5.3 **Perigos especiais resultantes da exposição à própria preparação, aos produtos de combustão ou aos gases produzidos:** Acima de 700°C, pode haver decomposição do produto, com libertação de SO₂.
 5.4 **Equipamento especial de protecção para o combate a incêndios:** Nenhum.
 5.5 **Informação adicional:** Produto não combustível. Escolher os meios de combate a incêndios adequados às substâncias que o rodeiam. Solidifica com água.

6. Medidas a tomar em caso de fugas accidentais

- 6.1 **Precauções individuais:** Evitar a formação de poeiras.
 6.2 **Precauções ambientais:** Não são necessárias.

Página 1 de 3

FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA

Em conformidade com o Regulamento (CE) N° 1907/2006
 Produtos: GESSO ESTUQUE e GESSO ESTUQUE EXPO
 Data de impressão: 30-07-2013



Data de atualização: 30-07-2013

6. Medidas a tomar em caso de fugas accidentais (cont.)

6.3 **Métodos de recolha/limpeza:** De preferência, recolher seco. Com água, forma revestimento escorregadio.

7. Manuseamento e armazenagem

7.1 **Manuseamento:** Não é necessário adoptar medidas especiais de protecção, se manuseado correctamente. Evitar a inalação e o contacto com os olhos.

7.2 Armazenagem:**DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO N° 070 (DDP-070)**

1. Código de identificação único do produto-tipo: Gesso para uso direto, de aplicação manual, ou posterior processamento (produtos em pó) A1/S/7

2. Número do tipo, do lote ou da série, ou quaisquer outros elementos que permitam a identificação do produto de construção, nos termos do n° 4 do artigo 11°: Nome do produto, data de produção e número da paleta (marcado na embalagem)

3. Utilização ou utilizações previstas do produto de construção, de acordo com a especificação técnica harmonizada aplicável, tal como previsto pelo fabricante: Estucar paredes e tetos pelo método tradicional e produção de massas e colas.

4. Nome, designação comercial ou marca comercial registada e endereço de contacto do fabricante, nos termos do n° 5 do artigo 11°:
 SIVAL – Gessos Especiais, Lda.
 Rua Emídio Oliveira Faria – Várzeas
 2425 – 879 Souto da Carpalhosa
 Tel: (+351) 244 619 170 / Fax: (+351) 244 614 690 / www.sival.pt

5. Se aplicável, nome e endereço de contacto do mandatário cujo mandato abrange os atos especificados no n° 2 do artigo 12°: Não Aplicável

6. Sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto de construção tal como previsto no anexo V: Sistema 4

7. No caso de uma declaração de desempenho relativa a um produto de construção abrangido por uma norma harmonizada: Não Aplicável

8. No caso de uma declaração de desempenho relativa a um produto de construção para o qual tenha sido emitida uma Avaliação Técnica Europeia: Não Aplicável

9. Desempenho declarado

Caraterísticas essenciais	Desempenho	Especificações técnicas harmonizadas
Reação ao fogo	A1	EN 13279-1:2008
Isolamento acústico a sons aéreos	NPD	
Resistência térmica	NPD	

Quando, nos termos do artigo 37° ou do artigo 38°, tenha sido utilizada documentação técnica específica, os requisitos a que o produto obedece:
 Não aplicável

10. O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 é conforme com o desempenho declarado no ponto 9.

A presente declaração de desempenho é emitida sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 4.

Assinado por e em nome do fabricante por:

Pedro Faria, Sócio-Gerente
 (nome e cargo)

Souto da Carpalhosa, 1 de Julho de 2013
 (local e data de emissão)

(assinatura)


FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA

Em conformidade com o Regulamento (CE) N° 1907/2006
 Produtos: GESSO ESTUQUE e GESSO ESTUQUE EXPO
 Data de impressão: 30-07-2013

Data de atualização: 30-07-2013

11. Informação toxicológica

- 11.1 Testes de toxicidade:**
 Toxicidade oral aguda - Não tóxico.
 Efeitos irritantes/corrosivos - Não irritante.
- 11.2 Experiências científicas realizadas:**
 Observações relevantes para a classificação/outras observações - Nenhumas.

12. Informação ecológica

Até à data não se conhecem efeitos eco-tóxicos nocivos causados por este produto.

13. Questões relativas à eliminação

- 13.1 Produto:** Pode ser reutilizado sem qualquer tratamento, desde que não tenha sido contaminado.
- 13.2 Resíduos:**
 Reciclagem – Não necessita monitorização.
 Eliminação – Aplica-se a legislação em vigor. A deposição comum em aterro pode originar a produção de sulfureto de hidrogénio (ácido sulfídrico).

Lista da proposta de códigos de resíduos/designação de resíduos, de acordo com a EWC:

Código n°	Explicação
10 13 06	Partículas e poeiras (excepto 10 13 12 e 10 13 13) – Portaria n° 209/2004 de 3 de Março de 2004

13.3 Embalagens usadas:

Podem ser recicladas, desde que previamente esvaziadas e bem sacudidas.

14. Informações relativas ao transporte

Classificado como mercadoria não perigosa, segundo as regulamentações nacionais e internacionais das diferentes modalidades de transporte.
 Evitar o contacto com humidade, durante o transporte do produto.

15. Informação sobre regulamentação

- 15.1 Rotulagem:** Não obrigatória.
15.2 Regulamentação nacional: Portaria n° 732-A/06, Dec.-Lei n° 290/2001, Dec.-Lei n°82/2003.

16. Outras informações

- 16.1 Frases R relevantes:** Nenhuma.

Este documento trata-se da quarta versão da FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA do GESSO ESTUQUE e do GESSO ESTUQUE EXPO.

As indicações nele contidas baseiam-se no estado actual dos nossos conhecimentos. Destinam-se apenas à descrição dos requisitos de segurança dos produtos a que se referem e não devem, portanto, ser interpretadas como uma garantia de qualidade ou de qualquer propriedade específica dos mesmos.

A.3 – Resultados individuais obtidos na caracterização dos materiais constituintes das argamassas

Quadro A.3.1 - Baridade dos materiais constituintes

Constituinte	Referência Constituinte	Data Ensaio	Volume Referência [cm ³]	Massa						Baridade		
				Medição 1 [g]	Medição 2 [g]	Medição 3 [g]	Medição 4 [g]	Medição 5 [g]	Medição 6 [g]	Média LAB [g/cm ³]	Média SI [kg/m ³]	Desvio Padrão [kg/m ³]
Earth	E	04-06-2014	749	986,7	984,7	987,9	-	-	-	1,3170	1317,0	1,8
Sand Ref	S	04-06-2014	749	1192,4	1192,7	1191,7	-	-	-	1,5918	1591,8	0,6
Sand Fine	SF	02-02-2016	1000	1502,2	1502,0	1501,4	1499,3	1496,9	1498,4	1,5000	1500,0	0,3
Sand Coarse	SC	02-02-2016	1000	1529,1	1534,4	1528,7	1519,4	1529,1	1526,7	1,5279	1527,9	2,6
Gypsum	G	02-02-2016	1000	652,1	644,1	659,1	654,8	653,5	649,0	0,6521	652,1	6,1

SI – Sistema Internacional de Unidades

Quadro A.3.2 - Análise granulométrica da terra (Earth – E)

Peneiro [n°]	Malha [mm]	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Massa Retida		Massa Passada [%]
		m retida [kg]	m retida [%]	m retida [kg]	m retida [%]	m retida [kg]	m retida [%]	Média [%]	Desvio Padrão [%]	
m Inicial		1,0569	100,0	1,0205	100,0	1,0144	100,0	-	-	-
3/8"	9,500	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0	0,0	100,0
4	4,750	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0	0,0	100,0
8	2,360	0,0011	0,1	0,0014	0,1	0,0013	0,1	0,1	0,0	99,9
16	1,190	0,0965	9,1	0,1017	10,0	0,0979	9,7	9,6	0,3	90,3
30	0,600	0,2585	24,5	0,2749	26,9	0,2344	23,1	24,8	1,6	65,5
50	0,300	0,2617	24,8	0,2347	23,0	0,2317	22,8	23,5	0,9	41,9
100	0,150	0,2061	19,5	0,2035	19,9	0,2017	19,9	19,8	0,2	22,2
200	0,075	0,1212	11,5	0,1142	11,2	0,1426	14,1	12,2	1,3	9,9
400	0,038	0,0978	9,3	0,0761	7,5	0,0896	8,8	8,5	0,8	1,4
Resíduo de fundo		0,0107	1,0	0,0117	1,1	0,0116	1,1	1,1	0,1	0,3
Massa total passada		1,0536	99,7	1,0182	99,8	1,0108	99,6	99,7	0,1	99,7
Diferença de massa		0,0033	0,3	0,0023	0,2	0,0036	0,4	0,3	0,1	0,3
Data do ensaio		03-02-2016		03-02-2016		03-02-2016				
Operador		DC		DC		DC				

Quadro A.3.3 - Análise granulométrica da areia de referência (Sand – S)

Peneiro [n°]	Malha [mm]	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Massa Retida		Massa Passada [%]
		m retida [kg]	m retida [%]	m retida [kg]	m retida [%]	m retida [kg]	m retida [%]	Média [%]	Desvio Padrão [%]	
m Inicial		1,0376	100,0	1,0535	100,0	1,0290	100,0	-	-	-
3/8"	9,500	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0	0,0	100,0
4	4,750	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0	0,0	100,0
8	2,360	0,0032	0,3	0,0037	0,4	0,0044	0,4	0,4	0,0	99,6
16	1,190	0,0747	7,2	0,0647	6,1	0,0571	5,5	6,3	0,7	93,3
30	0,600	0,4023	38,8	0,3676	34,9	0,3149	30,6	34,8	3,3	58,6
50	0,300	0,3911	37,7	0,4022	38,2	0,3954	38,4	38,1	0,3	20,5
100	0,150	0,1563	15,1	0,2002	19,0	0,2358	22,9	19,0	3,2	1,5
200	0,075	0,0069	0,7	0,0111	1,1	0,0153	1,5	1,1	0,3	0,4
400	0,038	0,0022	0,2	0,0029	0,3	0,0035	0,3	0,3	0,1	0,1
Resíduo de Fundo		0,0004	0,0	0,0003	0,0	0,0007	0,1	0,0	0,0	0,1
Massa total passada		1,0371	100,0	1,0527	99,9	1,0271	99,8	99,9	0,1	99,9
Diferença de massa		0,0005	0,0	0,0008	0,1	0,0019	0,2	0,1	0,1	0,1
Data do ensaio		03-02-2016		03-02-2016		03-02-2016				
Operador		DC		DC		DC				

Quadro A.3.4 - Análise granulométrica da areia fina (Sand Fine – SF)

Peneiro [n°]	Malha [mm]	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Massa Retida		Massa Passada [%]
		m retida [kg]	m retida [%]	m retida [kg]	m retida [%]	m retida [kg]	m retida [%]	Média [%]	Desvio Padrão [%]	
m Inicial		1,0451	100,0	1,0548	100,0	1,0596	100,0	-	-	-
3/8"	9,500	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0	0,0	100,0
4	4,750	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0	0,0	100,0
8	2,360	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0	0,0	100,0
16	1,190	0,0030	0,3	0,0024	0,2	0,0023	0,2	0,2	0,0	99,8
30	0,600	0,0879	8,4	0,0732	6,9	0,0804	7,6	7,6	0,6	92,1
50	0,300	0,6245	59,8	0,5756	54,6	0,5891	55,6	56,6	2,2	35,5
100	0,150	0,3191	30,5	0,3890	36,9	0,3731	35,2	34,2	2,7	1,3
200	0,075	0,0097	0,9	0,0134	1,3	0,0129	1,2	1,1	0,2	0,1
400	0,038	0,0005	0,0	0,0006	0,1	0,0008	0,1	0,1	0,0	0,1
Resíduo de Fundo		0,0002	0,0	0,0004	0,0	0,0003	0,0	0,0	0,0	0,0
Massa total passada		1,0449	100,0	1,0546	100,0	1,0589	99,9	100,0	0,0	100,0
Diferença de massa		0,0002	0,0	0,0002	0,0	0,0007	0,1	0,0	0,0	0,0
Data do ensaio		03-02-2016		03-02-2016		03-02-2016				
Operador		DC		DC		DC				

Quadro A.3.5 - Análise granulométrica da areia grossa (Sand Coarse – SC)

Peneiro [n°]	Malha [mm]	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Massa Retida		Massa Passada [%]
		m retida [kg]	m retida [%]	m retida [kg]	m retida [%]	m retida [kg]	m retida [%]	Média [%]	Desvio Padrão [%]	
m Inicial		1,0281	100,00	1,0253	100,00	1,0594	100,00	-	-	-
3/8"	9,500	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0	0,0	100,0
4	4,750	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0	0,0	0,0	100,0
8	2,360	0,1027	10,0	0,0833	8,1	0,0854	8,1	8,7	0,9	91,3
16	1,190	0,3361	32,7	0,3192	31,1	0,3178	30,0	31,3	1,1	60,0
30	0,600	0,4535	44,1	0,4492	43,8	0,4881	46,1	44,7	1,0	15,3
50	0,300	0,1179	11,5	0,1403	13,7	0,1456	13,7	13,0	1,1	2,4
100	0,150	0,0130	1,3	0,0249	2,4	0,0174	1,6	1,8	0,5	0,6
200	0,075	0,0028	0,3	0,0056	0,5	0,0026	0,2	0,4	0,1	0,2
400	0,038	0,0010	0,1	0,0019	0,2	0,0010	0,1	0,1	0,0	0,1
Resíduo de Fundo		0,0006	0,1	0,0002	0,0	0,0001	0,0	0,0	0,0	0,1
Massa total passada		1,0276	100,0	1,0246	99,9	1,0580	99,9	99,9	0,0	99,9
Diferença de massa		0,0005	0,0	0,0007	0,1	0,0014	0,1	0,1	0,0	0,1
Data do ensaio		03-02-2016		03-02-2016		03-02-2016				
Operador		DC		DC		DC				

A.4 – Traços volumétricos e mássicos das argamassas formuladas

Quadro A.4.1 - Traços volumétricos

Referência Argamassa Laboratório	Referência Argamassa Publicação	Traço Volumétrico Terra:Areia:Gesso	Rácios Volumétricos				Volumes			
			Terra [%]	Areia [%]	Adição [%]	Água [%]	Terra [cm³]	Areia [cm³]	Adição [cm³]	Água [cm³]
Z07	E1S3	1:3	25,00	75,00	-	19,58	600	1800	-	470
Z15	E1S3_G5	1:3:0,2	25,00	75,00	5,00	20,42	600	1800	120	490
Z16	E1S3_G10	1:3:0,4	25,00	75,00	10,00	22,08	600	1800	240	530
Z17	E1S3_G20	1:3:0,8	25,00	75,00	20,00	24,58	600	1800	480	590
Z18	E1SF3	1:3	25,00	75,00	-	24,58	600	1800	-	590
Z19	E1SC3	1:3	25,00	75,00	-	21,25	600	1800	-	510

Volume Total da Cuba [cm³]	2400
----------------------------	------

Quadro A.4.2 - Traços mássicos

Referência Argamassa Laboratório	Referência Argamassa Publicação	Traço Ponderal Terra:Areia:Gesso	Massas Parciais			Massas Totais			Rácios Mássicos				Água/Terra	Água/Ligante
			Terra/Ligante [g]	Areia [g]	Adição Ligante [g]	Total Seco [g]	Total Adição [g]	Água [g]	Terra [%]	Areia [%]	Adição [%]	Água [%]		
Z07	E1S3	1:3,6	790,20	2865,26	-	3655,50	-	469,00	21,62	78,38	-	12,83	0,594	0,594
Z15	E1S3_G5	1:3,6:0,1	790,20	2865,26	78,25	3733,71	78,25	489,89	21,16	76,74	2,10	13,12	0,620	0,564
Z16	E1S3_G10	1:3,6:0,2	790,20	2865,26	156,50	3811,96	156,50	529,88	20,73	75,16	4,11	13,90	0,671	0,560
Z17	E1S3_G20	1:3,6:0,4	790,20	2865,26	313,01	3968,47	313,01	589,87	19,91	72,20	7,89	14,86	0,746	0,535
Z18	E1SF3	1:3,4	790,20	2700,06	-	3490,26	-	589,87	22,64	77,36	-	16,90	0,746	0,746
Z19	E1SC3	1:3,5	790,20	2750,22	-	3540,42	-	509,88	22,32	77,68	-	14,40	0,645	0,645

A.5 – Resultados individuais obtidos na caracterização das argamassas no estado fresco

Quadro A.5.1 - Consistência por espalhamento

Referência Argamassa Laboratório	Referência Argamassa Publicação	Espalhamento Amassadura 1			Espalhamento Amassadura 2			Espalhamento Amassadura 3			Espalhamento Média [mm]	Espalhamento Desvio Padrão [mm]
		Medição 1 [mm]	Medição 2 [mm]	Medição 3 [mm]	Medição 1 [mm]	Medição 2 [mm]	Medição 3 [mm]	Medição 1 [mm]	Medição 2 [mm]	Medição 3 [mm]		
Z07	E1S3	175	173	172	172	174	173	-	-	-	173,17	1,07
Z15	E1S3_G5	173	176	175	168	167	168	165	164	163	168,78	4,52
Z16	E1S3_G10	155	157	157	166	167	166	169	168	171	164,00	5,64
Z17	E1S3_G20	175	170	174	174	176	176	176	174	174	174,33	1,76
Z18	E1SF3	173	175	174	171	172	173	174	173	174	173,22	1,13
Z19	E1SC3	173	175	174	172	170	172	174	174	175	173,22	1,55

Quadro A.5.2 - Consistência por abaixamento

Referência Argamassa Laboratório	Referência Argamassa Publicação	Abaixamento Amassaduras			Abaixamento Média [mm]	Abaixamento Desvio Padrão [mm]
		Amassadura 1 [mm]	Amassadura 2 [mm]	Amassadura 3 [mm]		
Z07	E1S3	18	19	-	18,50	0,50
Z15	E1S3_G5	17	18	18	17,67	0,47
Z16	E1S3_G10	20	18	17	18,33	1,25
Z17	E1S3_G20	17	17	16	16,67	0,47
Z18	E1SF3	17	17	16	16,67	0,47
Z19	E1SC3	18	17	17	17,33	0,47

Quadro A.5.3 - Consistência por penetrômetro

Referência Argamassa Laboratório	Referência Argamassa Publicação	Penetração Amassaduras			Penetração Média [mm]	Penetração Desvio Padrão [mm]
		Amassadura 1 [mm]	Amassadura 2 [mm]	Amassadura 3 [mm]		
		Z07	E1S3	14	-	-
Z15	E1S3_G5	18	17	18	17,67	0,47
Z16	E1S3_G10	17	18	20	18,33	1,25
Z17	E1S3_G20	14	23	21	19,33	3,86
Z18	E1SF3	18	18	17	17,67	0,47
Z19	E1SC3	17	17	17	17,00	0,00

Quadro A.5.4 - Massa volúmica

Referência Argamassa Laboratório	Referência Argamassa Publicação	Volume Referência [cm ³]	Massa Provetes			Massa Volúmica			Massa Volúmica			
			Amassadura 1	Amassadura 2	Amassadura 3	Amassadura 1	Amassadura 2	Amassadura 3	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
			[g]	[g]	[g]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/dm ³]	[kg/dm ³]
Z07	E1S3	1000	2130,7	-	-	2,1307	-	-	2130,7000	-	2,1307	-
Z15	E1S3_G5	1000	2064,8	2074,4	2082,6	2,0648	2,0744	2,0826	2073,9333	7,2743	2,0739	0,0073
Z16	E1S3_G10	1000	2096,8	2079,4	2084,1	2,0968	2,0794	2,0841	2086,7667	7,3495	2,0868	0,0073
Z17	E1S3_G20	1000	2082,2	2076	2074,1	2,0822	2,0760	2,0741	2077,4333	3,4586	2,0774	0,0035
Z18	E1SF3	1000	2008,5	2022,7	2025,2	2,0085	2,0227	2,0252	2018,8000	7,3544	2,0188	0,0074
Z19	E1SC3	1000	2082,3	2098	2102,6	2,0823	2,0980	2,1026	2094,3000	8,6906	2,0943	0,0087

A.6 – Resultados individuais para cada provete obtidos na caracterização das argamassas no estado endurecido

Quadro A.6.1 - Retracção linear por secagem aos 26 dias

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	provete	molde [mm]						provete [mm]						variação dim. [mm]			retração linear [%]												
							largura			altura			comp.		média		largura			altura			comp.		largura		altura		comprimento					
							esq.	dir.	esq.	dir.	cen.	largura	altura	esq.	dir.	esq.	dir.	cen.	largura	altura	Δ	Δ	Δ	provete	média	d.p	provete	média	d.p	provete	média	d.p		
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	01-03-2016	26 dias	DC	Z15.1	39,90	39,77	40,40	40,15	159,22	39,84	40,26	39,37	39,67	40,17	40,33	157,92	39,52	40,25	0,32	0,02	1,30	0,8	0,5	0,4	0,1	0,0	0,3	0,8	1,3	0,3		
						Z15.2	39,89	39,97	40,43	39,92	160,06	39,93	40,18	39,65	39,62	40,52	40,20	157,72	39,64	40,36	0,30	-0,19	2,34	0,7									-0,5	1,5
						Z15.3	39,73	39,69	40,38	40,54	159,94	39,71	40,46	39,58	39,63	40,30	40,54	157,74	39,61	40,42	0,10	0,04	2,20	0,3									0,1	1,4
						Z15.4	39,78	40,01	40,63	40,43	159,57	39,90	40,53	39,56	39,65	40,23	40,42	157,16	39,61	40,33	0,29	0,20	2,41	0,7									0,5	1,5
						Z15.5	39,97	38,88	40,97	40,17	159,30	39,43	40,57	39,56	39,58	40,50	40,62	157,54	39,57	40,56	-0,15	0,01	1,76	-0,4									0,0	1,1
						Z15.6	39,93	40,03	40,31	40,60	159,69	39,98	40,46	39,57	39,69	40,40	40,51	157,23	39,63	40,46	0,35	0,00	2,46	0,9									0,0	1,5
Z16	E1S3_G10	04-02-2016	01-03-2016	26 dias	DC	Z16.1	39,96	39,97	40,73	40,50	159,37	39,97	40,62	39,58	39,49	40,61	40,38	157,84	39,54	40,50	0,43	0,12	1,53	1,1	1,5	0,7	0,3	-0,7	0,6	1,0	1,1	0,2		
						Z16.2	39,75	39,95	40,65	39,95	159,14	39,85	40,30	39,60	39,58	40,21	40,81	157,40	39,59	40,51	0,26	-0,21	1,74	0,7									-0,5	1,1
						Z16.3	39,93	39,96	40,26	40,21	159,57	39,95	40,24	39,60	39,56	40,80	41,27	157,60	39,58	40,94	0,37	-0,70	1,97	0,9									-1,7	1,2
						Z16.4	40,95	40,65	40,40	40,40	159,32	40,80	40,40	39,94	39,66	40,71	40,53	157,85	39,80	40,62	1,00	-0,22	1,47	2,5									-0,5	0,9
						Z16.5	40,51	40,60	40,99	40,37	159,97	40,56	40,68	39,61	39,77	40,66	41,24	157,70	39,69	40,95	0,87	-0,27	2,27	2,1									-0,7	1,4
						Z16.6	40,54	40,37	40,34	40,15	159,70	40,46	40,25	39,76	39,69	40,95	40,58	158,14	39,73	40,77	0,73	-0,52	1,56	1,8									-1,3	1,0
Z17	E1S3_G20	04-02-2016	01-03-2016	26 dias	DC	Z17.1	39,36	39,80	40,39	40,60	159,73	39,58	40,50	39,54	39,68	41,27	41,14	159,40	39,61	41,21	-0,03	-0,71	0,33	-0,1	0,3	0,6	-1,8	-1,5	1,4	0,2	0,1	0,1		
						Z17.2	39,85	39,90	40,66	39,77	159,30	39,88	40,22	38,84	39,82	40,23	40,92	159,32	39,33	40,58	0,55	-0,36	-0,02	1,4									-0,9	-0,0
						Z17.3	39,98	40,02	40,14	39,92	159,38	40,00	40,03	39,73	39,74	41,76	41,21	159,33	39,74	41,49	0,27	-1,46	0,05	0,7									-3,6	0,0
						Z17.4	39,99	38,89	40,63	40,90	160,37	39,44	40,77	39,66	39,75	40,56	40,63	160,04	39,71	40,60	-0,27	0,17	0,33	-0,7									0,4	0,2
						Z17.5	39,67	39,89	40,95	39,30	160,22	39,78	40,13	39,68	39,75	41,35	40,82	159,88	39,72	41,09	0,06	-0,96	0,34	0,2									-2,4	0,2
						Z17.6	39,87	39,81	40,27	40,25	159,77	39,84	40,26	39,61	39,80	40,61	40,60	-	39,71	40,61	0,14	-0,34	-	0,3									-0,9	-
Z18	E1SF3	05-02-2016	01-03-2016	26 dias	DC	Z18.1	40,01	39,60	40,47	40,06	160,10	39,81	40,27	39,65	39,45	40,45	40,30	159,65	39,55	40,38	0,26	-0,11	0,45	0,6	0,8	0,4	-0,3	-0,3	0,6	0,3	0,1	0,1		
						Z18.2	39,98	39,93	40,75	40,37	159,69	39,96	40,56	39,26	39,69	40,49	40,32	159,75	39,48	40,41	0,48	0,16	-0,06	1,2									0,4	-0,0
						Z18.3	39,95	39,87	39,97	40,01	160,10	39,91	39,99	39,40	39,66	40,65	40,46	160,05	39,53	40,56	0,38	-0,57	0,05	1,0									0,2	0,1
						Z18.4	39,95	39,96	40,14	39,90	159,37	39,96	40,02	39,77	40,07	39,90	39,97	159,20	39,92	39,94	0,03	0,08	0,17	0,1									-0,7	0,2
						Z18.5	39,89	40,15	39,80	40,72	159,59	40,02	40,26	39,23	40,01	40,54	40,53	159,24	39,62	40,54	0,40	-0,27	0,35	1,0									0,0	0,0
						Z18.6	39,86	39,72	39,87	40,22	159,27	39,79	40,05	39,50	39,46	39,59	40,44	159,24	39,48	40,02	0,31	0,03	0,03	0,8									0,1	0,0
Z19	E1SC3	05-02-2016	01-03-2016	26 dias	DC	Z19.1	39,70	40,00	40,47	40,25	159,57	39,85	40,36	39,80	39,58	40,36	40,13	159,55	39,69	40,25	0,16	0,11	0,02	0,4	1,1	0,6	0,3	-0,3	0,5	0,0	0,1	0,2		
						Z19.2	40,05	40,14	40,95	40,24	159,34	40,10	40,60	39,54	39,67	40,89	40,36	159,23	39,61	40,63	0,49	-0,03	0,11	1,2									-0,1	0,1
						Z19.3	40,40	40,20	40,52	40,20	159,59	40,30	40,36	39,41	39,86	40,73	40,67	159,47	39,64	40,70	0,66	-0,34	0,12	1,7									-0,8	0,1
						Z19.4	40,06	39,74	40,31	40,21	159,56	39,90	40,26	39,01	39,55	40,47	40,80	159,43	39,28	40,64	0,62	-0,37	0,13	1,6									-0,9	0,1
						Z19.5	39,97	40,12	41,12	39,81	159,55	40,05	40,47	39,32	39,47	40,67	40,22	159,75	39,40	40,45	0,65	0,02	-0,20	1,6									0,0	-0,1
						Z19.6	39,86	38,89	40,53	40,21	159,57	39,38	40,37	38,96	39,57	40,84	40,30	158,87	39,27	40,57	0,11	-0,20	0,70	0,3									-0,5	0,4

	Provete partido, não contabilizado para a média de desvio padrão
	Expansão dos provetes

Quadro A.6.2 - Retração linear por secagem aos 33 dias

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	proвете	molde [mm]						proвете [mm]						variação dim. [mm]			retração linear [%]												
							largura		altura		comp.	média		largura		altura		comp.	média		largura	altura	comp.	largura		altura		comprimento						
							esq.	dir.	esq.	dir.	cen.	largura	altura	esq.	dir.	esq.	dir.	cen.	largura	altura	Δ	Δ	Δ	proвете	média	d.p	proвете	média	d.p	proвете	média	d.p		
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	01-03-2016	26 dias	DC	Z15.1	39,90	39,77	40,40	40,15	159,22	39,84	40,28	39,65	39,94	39,92	39,87	158,82	39,80	39,90	0,04	0,38	0,40	0,1	0,0	0,7	0,9	0,5	0,4	0,3	0,7	0,2		
						Z15.2	39,89	39,97	40,43	39,92	160,06	39,93	40,18	39,78	39,64	40,07	39,78	158,37	39,71	39,93	0,22	0,25	1,69	0,6									0,6	1,1
						Z15.3	39,73	39,69	40,38	40,54	159,94	39,71	40,46	39,78	39,49	40,41	40,12	158,91	39,64	40,27	0,07	0,20	1,03	0,2									0,5	0,6
						Z15.4	39,78	40,01	40,63	40,43	159,57	39,90	40,53	39,96	39,71	40,06	40,17	158,13	39,84	40,12	0,06	0,41	1,44	0,2									1,0	0,9
						Z15.5	39,97	38,88	40,97	40,17	159,30	39,43	40,57	39,94	39,98	40,16	41,19	158,22	39,96	40,68	-0,53	-0,10	1,08	-1,4									-0,3	0,7
						Z15.6	39,93	40,03	40,31	40,60	159,69	39,98	40,46	39,84	39,59	40,25	40,40	158,50	39,72	40,33	0,27	0,13	1,19	0,7									0,3	0,7
Z16	E1S3_G10	04-02-2016	01-03-2016	26 dias	DC	Z16.1	39,96	39,97	40,73	40,50	159,37	39,97	40,62	39,92	39,85	40,45	40,29	158,44	39,89	40,37	0,08	0,24	0,93	0,2	1,4	1,1	0,6	0,3	0,6	0,7	0,2			
						Z16.2	39,75	39,95	40,65	39,95	159,14	39,85	40,30	39,69	39,65	39,97	39,94	158,40	39,67	39,96	0,18	0,34	0,74	0,5								0,9	0,5	
						Z16.3	39,93	39,96	40,26	40,21	159,57	39,95	40,24	39,57	39,93	40,27	40,31	158,04	39,75	40,29	0,20	-0,06	1,53	0,5								-0,1	1,0	
						Z16.4	40,95	40,65	40,40	40,40	159,32	40,80	40,40	39,91	39,66	40,48	40,48	158,48	39,79	40,48	1,02	-0,08	0,84	2,5								-0,2	0,5	
						Z16.5	40,51	40,60	40,99	40,37	159,97	40,56	40,68	39,94	39,07	40,07	40,43	158,56	39,51	40,25	1,05	0,43	1,41	2,6								1,1	0,9	
						Z16.6	40,54	40,37	40,34	40,15	159,70	40,46	40,25	39,60	39,34	40,39	40,62	158,63	39,47	40,51	0,98	-0,26	1,07	2,4								-0,6	0,7	
Z17	E1S3_G20	04-02-2016	01-03-2016	26 dias	DC	Z17.1	39,36	39,80	40,39	40,60	159,73	39,58	40,50	40,45	39,88	39,79	40,01	159,34	40,17	39,90	-0,59	0,60	0,39	-1,5	-0,6	0,7	1,5	0,2	0,8	0,2	0,2			
						Z17.2	39,85	39,90	40,66	39,77	159,30	39,88	40,22	40,32	40,12	40,49	40,43	159,36	40,22	40,46	-0,34	-0,24	-0,06	-0,9								-0,6	-0,0	
						Z17.3	39,98	40,02	40,14	39,92	159,38	40,00	40,03	40,03	39,85	40,21	40,12	159,51	39,94	40,17	0,06	-0,13	-0,13	0,2								-0,3	-0,1	
						Z17.4	39,99	38,89	40,63	40,90	160,37	39,44	40,77	40,06	39,65	40,31	40,36	159,51	39,86	40,34	-0,42	0,43	0,86	-1,1								1,1	0,5	
						Z17.5	39,67	39,89	40,95	39,30	160,22	39,78	40,13	39,98	40,00	39,94	40,45	159,73	39,99	40,20	-0,21	-0,07	0,49	-0,5								-0,2	0,3	
						Z17.6	39,87	39,81	40,27	40,25	159,77	39,84	40,26	39,62	39,71	40,51	40,19	-	39,67	40,35	0,18	-0,09	-	0,4								-0,2	-	
Z18	E1SF3	05-02-2016	01-03-2016	25 dias	DC	Z18.1	40,01	39,60	40,47	40,06	160,10	39,81	40,27	39,77	39,56	40,30	39,96	159,58	39,67	40,13	0,14	0,14	0,52	0,4	0,7	0,3	0,3	-0,1	0,6	0,1	0,2			
						Z18.2	39,98	39,93	40,75	40,37	159,69	39,96	40,56	39,33	39,66	40,48	40,31	159,82	39,50	40,40	0,46	0,17	-0,13	1,2								0,4	-0,1	
						Z18.3	39,95	39,87	39,97	40,01	160,10	39,91	39,99	39,35	39,58	40,32	40,22	159,78	39,47	40,27	0,44	-0,28	0,32	1,1								-0,7	0,2	
						Z18.4	39,95	39,96	40,14	39,90	159,37	39,96	40,02	39,49	39,93	40,54	40,13	159,29	39,71	40,34	0,24	-0,32	0,08	0,6								-0,8	0,1	
						Z18.5	39,89	40,15	39,80	40,72	159,59	40,02	40,26	39,40	40,06	39,97	40,09	159,38	39,73	40,03	0,29	0,23	0,21	0,7								0,6	0,1	
						Z18.6	39,86	39,72	39,87	40,22	159,27	39,79	40,05	39,43	39,93	40,34	40,23	159,46	39,68	40,29	0,11	-0,24	-0,19	0,3								-0,6	-0,1	
Z19	E1SC3	05-02-2016	01-03-2016	25 dias	DC	Z19.1	39,70	40,00	40,47	40,25	159,57	39,85	40,36	39,79	39,71	39,91	39,66	159,31	39,75	39,79	0,10	0,58	0,26	0,3	-0,8	4,1	1,4	0,5	0,7	0,2	-0,0	0,1		
						Z19.2	40,05	40,14	40,95	40,24	159,34	40,10	40,60	39,31	39,47	40,05	39,90	159,33	39,39	39,98	0,70	0,62	0,01	1,8									1,5	0,0
						Z19.3	40,40	40,20	40,52	40,20	159,59	40,30	40,36	39,28	39,78	40,45	40,47	159,70	44,26	40,46	-3,96	-0,10	-0,11	-9,8									-0,2	-0,1
						Z19.4	40,06	39,74	40,31	40,21	159,56	39,90	40,26	39,57	39,78	40,27	40,47	159,51	39,68	40,37	0,23	-0,11	0,05	0,6									-0,3	0,0
						Z19.5	39,97	40,12	41,12	39,81	159,55	40,05	40,47	39,36	39,13	40,20	40,30	159,71	39,25	40,25	0,80	0,22	-0,16	2,0									0,5	-0,1
						Z19.6	39,86	38,89	40,53	40,21	159,57	39,38	40,37	39,16	39,30	40,33	40,29	159,69	39,23	40,31	0,15	0,06	-0,12	0,4									0,1	-0,1

	Proвете partido, não contabilizado para a média de desvio padrão
	Expansão dos provetes

Quadro A.6.3 - Massa volúmica aparente aos 26 dias

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	proвете	dimensões médias provete			volume [dm³]	massa [g]	massa volúmica [dm³]	massa vol. média [dm³]	massa vol. d.p [dm³]
							largura	altura	comp.					
							[mm]	[mm]	[mm]					
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	01-03-2016	26 dias	DC	Z15.1	39,52	40,25	157,92	0,251	474,914	1,891	1,883	0,011
						Z15.2	39,64	40,36	157,72	0,252	475,769	1,886		
						Z15.3	39,61	40,42	157,74	0,253	478,253	1,894		
						Z15.4	39,61	40,33	157,16	0,251	475,092	1,893		
						Z15.5	39,57	40,56	157,54	0,253	471,241	1,864		
						Z15.6	39,63	40,46	157,23	0,252	472,392	1,874		
Z16	E1S3_G10	04-02-2016	01-03-2016	26 dias	DC	Z16.1	39,54	40,50	157,84	0,253	485,603	1,922	1,887	0,025
						Z16.2	39,59	40,51	157,40	0,252	482,945	1,913		
						Z16.3	39,58	40,94	157,60	0,255	484,528	1,898		
						Z16.4	39,80	40,62	157,85	0,255	478,362	1,875		
						Z16.5	39,69	40,95	157,70	0,256	476,712	1,860		
						Z16.6	39,73	40,77	158,14	0,256	475,512	1,857		
Z17	E1S3_G20	04-02-2016	01-03-2016	26 dias	DC	Z17.1	39,61	41,21	159,40	0,260	472,707	1,817	1,808	0,039
						Z17.2	39,33	40,58	159,32	0,254	474,465	1,866		
						Z17.3	39,74	41,49	159,33	0,263	475,439	1,810		
						Z17.4	39,71	40,60	160,04	0,258	464,753	1,802		
						Z17.5	39,72	41,09	159,88	0,261	454,730	1,743		
						Z17.6	39,71	40,61	-	0,000	0,000	0,000		
Z18	E1SF3	05-02-2016	01-03-2016	25 dias	DC	Z18.1	39,55	40,38	159,65	0,255	452,617	1,775	1,772	0,015
						Z18.2	39,48	40,41	159,75	0,255	449,371	1,764		
						Z18.3	39,53	40,56	160,05	0,257	452,620	1,764		
						Z18.4	39,92	39,94	159,20	0,254	451,328	1,778		
						Z18.5	39,62	40,54	159,24	0,256	448,040	1,752		
						Z18.6	39,48	40,02	159,24	0,252	452,792	1,800		
Z19	E1SC3	05-02-2016	01-03-2016	25 dias	DC	Z19.1	39,69	40,25	159,55	0,255	475,871	1,867	1,864	0,014
						Z19.2	39,61	40,63	159,23	0,256	471,809	1,842		
						Z19.3	39,64	40,70	159,47	0,257	476,445	1,852		
						Z19.4	39,28	40,64	159,43	0,254	479,144	1,883		
						Z19.5	39,40	40,45	159,75	0,255	474,215	1,863		
						Z19.6	39,27	40,57	158,87	0,253	474,523	1,875		

	Proвете partido, não contabilizado para a média de desvio padrão
	Dados provenientes da folha Retração Linear_26d

Quadro A.6.4 - Massa volúmica aparente aos 33 dias

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	provete	dimensões médias provete			volume [dm³]	massa [g]	massa volúmica [dm³]	massa vol. média [dm³]	massa vol. d.p [dm³]
							largura [mm]	altura [mm]	comp. [mm]					
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	08-03-2016	33 dias	DC	Z15.1	39,80	39,90	158,82	0,252	474,608	1,882	1,872	0,021
						Z15.2	39,71	39,93	158,37	0,251	475,409	1,893		
						Z15.3	39,64	40,27	158,91	0,254	477,857	1,884		
						Z15.4	39,84	40,12	158,13	0,253	474,750	1,879		
						Z15.5	39,96	40,68	158,22	0,257	470,927	1,831		
						Z15.6	39,72	40,33	158,50	0,254	471,998	1,859		
Z16	E1S3_G10	04-02-2016	08-03-2016	33 dias	DC	Z16.1	39,89	40,37	158,44	0,255	485,266	1,902	1,896	0,019
						Z16.2	39,67	39,96	158,40	0,251	482,587	1,922		
						Z16.3	39,75	40,29	158,04	0,253	484,170	1,913		
						Z16.4	39,79	40,48	158,48	0,255	478,010	1,873		
						Z16.5	39,51	40,25	158,56	0,252	476,348	1,889		
						Z16.6	39,47	40,51	158,63	0,254	475,158	1,874		
Z17	E1S3_G20	04-02-2016	08-03-2016	33 dias	DC	Z17.1	40,17	39,90	159,34	0,255	472,363	1,850	1,823	0,031
						Z17.2	40,22	40,46	159,36	0,259	474,074	1,828		
						Z17.3	39,94	40,17	159,51	0,256	474,988	1,856		
						Z17.4	39,86	40,34	159,51	0,256	464,344	1,811		
						Z17.5	39,99	40,20	159,73	0,257	454,353	1,770		
						Z17.6	39,67	40,35	-	-	-	-		
Z18	E1SF3	05-02-2016	08-03-2016	32 dias	DC	Z18.1	39,67	40,13	159,58	0,254	452,322	1,781	1,772	0,008
						Z18.2	39,50	40,40	159,82	0,255	448,970	1,761		
						Z18.3	39,47	40,27	159,78	0,254	452,206	1,781		
						Z18.4	39,71	40,34	159,29	0,255	450,805	1,767		
						Z18.5	39,73	40,03	159,38	0,253	447,624	1,766		
						Z18.6	39,68	40,29	159,46	0,255	452,356	1,775		
Z19	E1SC3	05-02-2016	08-03-2016	32 dias	DC	Z19.1	39,75	39,79	159,31	0,252	475,514	1,887	1,844	0,080
						Z19.2	39,39	39,98	159,33	0,251	471,344	1,879		
						Z19.3	44,26	40,46	159,70	0,286	476,091	1,665		
						Z19.4	39,68	40,37	159,51	0,255	478,827	1,874		
						Z19.5	39,25	40,25	159,71	0,252	473,858	1,878		
						Z19.6	39,23	40,31	159,69	0,253	474,212	1,878		

	Provete partido, não contabilizado para a média de desvio padrão
	Dados provenientes da folha Retração Linear_33d

Quadro A.6.5 - Módulo de elasticidade dinâmico

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	provete	massa [g]	dimensões médias provete			módulo de elasticidade dinâmico				mod. elasticid. média [MPa]	mod. elasticid. média [MPa]	mod. elasti. d.p [MPa]
								largura [mm]	altura [mm]	comp. [mm]	afereção 1 [MPa]	afereção 2 [MPa]	afereção 3 [MPa]	afereção 4 [MPa]			
Z07	E1S3	02-06-2014	14-07-2014	42 dias	DC + VS	Z07.1	490,781	39,91	40,35	159,24	-	-	873	4818	4606	4354	180
											-	932	1369	4648			
											-	-	4385	4628			
											-	-	810	4571			
					DC + VS	Z07.2	488,545	39,90	40,63	159,38	-	1449	4343	5652	4374		
											-	813	4507	5784			
											1033	1375	4322	6122			
											-	1135	4324	5728			
					DC + VS	Z07.3	488,206	39,88	40,32	159,17	-	-	4485	5614	4320		
											1383	4225	5673	4482			
											-	4249	4500	6415			
											-	-	-	-			
					DC + VS	Z07.4	492,735	39,86	40,36	159,30	-	-	4516	5645	4346		
											-	4265	4529	5721			
											-	4262	4487	6009			
											-	4340	4677	5903			
					DC + VS	Z07.5	483,585	39,93	40,04	159,54	-	4256	4667	6029	4149		
											-	4311	4702	6037			
											-	4034	4426	7100			
											-	3993	4395	7033			
					DC + VS	Z07.6	490,354	40,01	39,39	159,19	-	4391	4894	6917	4331		
											4291	4391	4409	7268			
											-	4199	4492	7342			
											-	-	4444	8851			
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	08-03-2016	33 dias	DC + VS	Z15.1	474,608	39,80	39,90	158,82	-	-	5136	7830	5050	5036	104
											-	-	5083	7219			
											937	1355	5056	7117			
											872	1100	4976	7203			
					DC + VS	Z15.2	475,409	39,71	39,93	158,37	-	-	5072	13096	5095		
											-	-	5127	7167			
											-	-	5079	7205			
											-	-	5101	7205			
					DC + VS	Z15.3	477,857	39,64	40,27	158,91	-	-	5172	7150	5193		
											-	-	5219	7141			
											-	1135	5218	8151			
											-	-	5162	7192			
					DC + VS	Z15.4	474,750	39,84	40,12	158,13	-	1150	4999	7233	4980		
											-	1775	5008	12335			
											-	1146	4950	7223			
											-	1071	4962	7207			
					DC + VS	Z15.5	470,927	39,96	40,68	158,22	-	-	4882	7643	4875		
											-	1107	4808	7158			
											-	-	4938	11816			
											-	-	4871	7249			
					DC + VS	Z15.6	471,998	39,72	40,33	158,50	-	-	4986	11797	5027		
											-	-	5000	7048			
											-	-	5012	7117			
											-	-	5109	7933			

	Provete Partido
	Dados provenientes da folha Retração Linear_33d e Massa Volúmica_33d

Quadro A.6.5 - Módulo de elasticidade dinâmico (continuação)

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	proвете	massa [g]	dimensões médias provete			módulo de elasticidade dinâmico				mod. elasticid. média [MPa]	mod. elasticid. média [MPa]	mod. elasticid. d.p [MPa]	
								largura [mm]	altura [mm]	comp. [mm]	aferição 1 [MPa]	aferição 2 [MPa]	aferição 3 [MPa]	aferição 4 [MPa]				
Z16	E183_G10	04-02-2016	08-03-2016	33 dias	DC + VS	Z16.1	485,266	33,83	40,37	158,44	-	-	6477	7200	6393	6107	412	
											-	-	6417	7254				
											-	1290	6277	7181				
					DC + VS	Z16.2	482,587	33,67	33,96	158,40	-	-	6402	7134	6585			
											-	-	6604	7411				
											-	-	6655	7381				
					DC + VS	Z16.3	484,170	33,75	40,29	158,04	-	-	1425	6496	6403			
											-	-	1387	6583				7260
											-	-	6321	7200				
					DC + VS	Z16.4	478,010	33,73	40,48	158,48	-	-	6171	7253	6060			
											-	-	6283	7903				
											-	-	6232	7884				
					DC + VS	Z16.5	476,348	33,51	40,25	158,56	-	-	610	7753	5644			
											-	-	6031	7076				
											-	-	6072	7217				
					DC + VS	Z16.6	475,158	33,47	40,51	158,63	-	-	6025	7219	5557			
											-	-	5676	7142				
											-	-	5615	7052				
Z17	E183_G20	04-02-2016	08-03-2016	33 dias	DC + VS	Z17.1	472,363	40,17	33,90	153,34	-	-	5543	7722	7148	7174	75	
											-	-	5602	7631				
											-	-	5536	7702				
					DC + VS	Z17.2	474,074	40,22	40,46	153,36	-	-	5542	7635	7176			
											-	-	7180	7789				
											-	-	7129	7752				
					DC + VS	Z17.3	474,388	33,34	40,17	153,51	-	-	7146	7728	7251			
											-	-	7135	7801				
											-	-	7191	7879				
					DC + VS	Z17.4	464,344	33,86	40,34	153,51	-	-	7184	7846	7232			
											-	-	7141	7838				
											-	-	7187	7853				
					DC + VS	Z17.5	454,353	33,83	40,20	153,73	-	-	7267	7906	7062			
											-	-	7184	7810				
											-	-	7270	8000				
					DC + VS	Z17.6	-	33,67	40,35	-	-	-	7281	7837	-			
											-	-	7273	7831				
											-	-	7280	7819				
-	-	7233	7940	-	-	7142	7836	-	-									
-	-	7064	7507	-	-	7076	7541	-	-									
-	-	7070	7508	-	-	7036	7443	-	-									
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									

	Proвете Partido
	Dados provenientes da folha Retração Linear_33d e Massa Volúmica_33d

Quadro A.6.5 - Módulo de elasticidade dinâmico (continuação)

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	proвете	massa [g]	dimensões médias provete			módulo de elasticidade dinâmico				mod. elasticid. média [MPa]	mod. elasticid. média [MPa]	mod. elasticid. d.p [MPa]
								largura [mm]	altura [mm]	comp. [mm]	aferição 1 [MPa]	aferição 2 [MPa]	aferição 3 [MPa]	aferição 4 [MPa]			
Z18	EISF3	05-02-2016	08-03-2016	32 dias	DC + VS	Z18.1	452,322	39,67	40,13	159,58	-	801	3545	8443	3557	3564	46
											-	-	3563	8180			
											-	-	3536	8363			
					DC + VS	Z18.2	448,970	39,50	40,40	159,82	-	-	3577	8150	3573		
											-	-	3543	8561			
											-	-	3604	8537			
					DC + VS	Z18.3	452,206	39,47	40,27	159,78	-	-	3566	8653	3492		
											-	-	3579	8556			
											-	-	3490	8262			
					DC + VS	Z18.4	450,805	39,71	40,34	159,29	-	-	3505	8183	3577		
											-	-	3497	8127			
											-	-	3485	8216			
					DC + VS	Z18.5	447,624	39,73	40,03	159,38	-	-	3583	8157	3590		
											-	-	3601	8036			
											-	-	3581	8078			
					DC + VS	Z18.6	452,356	39,68	40,29	159,46	-	-	3538	8195	3595		
											-	-	3522	8150			
											-	-	3643	8272			
Z19	EISF3	05-02-2016	08-03-2016	32 dias	DC + VS	Z19.1	475,514	39,75	39,79	159,31	-	-	3743	7067	3753	3786	43
											-	-	3784	7010			
											-	-	3735	7109			
					DC + VS	Z19.2	471,344	39,39	39,38	159,33	-	-	3750	7083	3811		
											-	-	3789	7149			
											-	-	3816	7137			
					DC + VS	Z19.3	476,091	44,26	40,46	159,70	-	-	3794	7075	3788		
											-	-	3843	7201			
											-	-	3808	7312			
					DC + VS	Z19.4	478,827	39,68	40,37	159,51	-	-	3743	7379	3794		
											-	-	3804	7269			
											-	-	3796	7105			
					DC + VS	Z19.5	473,858	39,25	40,25	159,71	-	-	3834	7008	3803		
											-	-	3746	7123			
											-	-	3739	7226			
					DC + VS	Z19.6	474,212	39,23	40,31	159,69	-	-	3796	7135	3771		
											-	-	3839	7321			
											-	-	3728	7246			
-	-	3841	7309														
-	-	3803	7199														
-	-	3799	7152														
-	-	3738	7215														
-	-	3730	7149														
-	-	3815	7280														

Provete Partido

Dados provenientes da folha Retração Linear_33d e Massa Volúmica_33d

Quadro A.6.6 - Resistência à tracção por flexão

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	provete	secção provete		tracção				
							largura [mm]	altura [mm]	ensaio [N°]	força [N]	resistência [N/mm²]	média [N/mm²]	d.p [N/mm²]
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	08-03-2016	33 dias	DC	Z15.1	39,80	39,90	1183	152,0953	0,360	0,366	0,026
						Z15.2	39,71	39,93	1184	159,3779	0,378		
						Z15.3	39,64	40,27	1185	176,184	0,411		
						Z15.4	39,84	40,12	1186	143,6922	0,336		
						Z15.5	39,96	40,68	1187	148,4539	0,337		
						Z15.6	39,72	40,33	1188	159,9381	0,371		
Z16	E1S3_G10	04-02-2016	08-03-2016	33 dias	DC	Z16.1	39,89	40,37	1189	277,581	0,641	0,583	0,061
						Z16.2	39,67	39,96	1190	261,0549	0,618		
						Z16.3	39,75	40,29	1191	267,7774	0,622		
						Z16.4	39,79	40,48	1192	245,0891	0,564		
						Z16.5	39,51	40,25	1193	195,511	0,458		
						Z16.6	39,47	40,51	1194	256,5733	0,594		
Z17	E1S3_G20	04-02-2016	08-03-2016	33 dias	DC	Z17.1	40,17	39,90	1195	377,0171	0,884	0,893	0,055
						Z17.2	40,22	40,46	1196	346,7662	0,790		
						Z17.3	39,94	40,17	1197	392,9829	0,915		
						Z17.4	39,86	40,34	1198	403,3468	0,933		
						Z17.5	39,99	40,20	1199	405,3074	0,941		
						Z17.6	39,67	40,35	-	-	-		
Z18	E1SF3	05-02-2016	08-03-2016	32 dias	DC	Z18.1	39,67	40,13	1200	109,7999	0,258	0,250	0,017
						Z18.2	39,50	40,40	1201	94,3943	0,220		
						Z18.3	39,47	40,27	1202	110,0381	0,258		
						Z18.4	39,71	40,34	1203	105,0381	0,244		
						Z18.5	39,73	40,03	1204	117,0825	0,276		
						Z18.6	39,68	40,29	1205	104,1978	0,243		
Z19	E1SC3	05-02-2016	08-03-2016	32 dias	DC	Z19.1	39,75	39,79	1206	78,7085	0,188	0,198	0,017
						Z19.2	39,39	39,98	1207	82,0698	0,196		
						Z19.3	44,26	40,46	1208	82,9102	0,172		
						Z19.4	39,68	40,37	1209	96,075	0,223		
						Z19.5	39,25	40,25	1210	84,3106	0,199		
						Z19.6	39,23	40,31	1211	90,7529	0,214		

	Provete partido, não contabilizado para a média de desvio padrão
	Dados provenientes da folha Retração Linear_33d

Quadro A.6.7 - Resistência à compressão

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	proвете	seção provete		compressão				
							largura [mm]	altura [mm]	ensaio [N°]	força [N]	resistência [N/mm²]	média [N/mm²]	d.p [N/mm]
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	09-03-2016	34 dias	DC	Z15.1	39,80	39,90	1224	1653,109	1,041	1,033	0,045
						Z15.2	39,71	39,93	1225	1763,8589	1,113		
						Z15.3	39,64	40,27	1226	1607,6885	1,007		
						Z15.4	39,84	40,12	1227	1671,8945	1,046		
						Z15.5	39,96	40,68	1228	1567,0334	0,964		
						Z15.6	39,72	40,33	1229	1640,2124	1,024		
Z16	E1S3_G10	04-02-2016	09-03-2016	34 dias	DC	Z16.1	39,89	40,37	1230	2893,2219	1,797	1,478	0,191
						Z16.2	39,67	39,96	1231	2486,9539	1,569		
						Z16.3	39,75	40,29	1232	2473,7759	1,545		
						Z16.4	39,79	40,48	1233	1926,743	1,196		
						Z16.5	39,51	40,25	1234	2285,3626	1,437		
						Z16.6	39,47	40,51	1235	2116,8549	1,324		
Z17	E1S3_G20	04-02-2016	09-03-2016	34 dias	DC	Z17.1	40,17	39,90	1236	4616,4258	2,881	2,265	0,309
						Z17.2	40,22	40,46	1237	3044,0649	1,871		
						Z17.3	39,94	40,17	1238	3659,2146	2,281		
						Z17.4	39,86	40,34	1239	3339,8647	2,078		
						Z17.5	39,99	40,20	1240	3599,7747	2,240		
						Z17.6	39,67	40,35	1241	3587,1582	2,241		
Z18	E1SF3	05-02-2016	09-03-2016	33 dias	DC	Z18.1	39,67	40,13	1242	1262,8226	0,793	0,771	0,079
						Z18.2	39,50	40,40	1243	981,6041	0,615		
						Z18.3	39,47	40,27	1244	1352,5442	0,851		
						Z18.4	39,71	40,34	1245	1227,7754	0,767		
						Z18.5	39,73	40,03	1246	1200,5789	0,755		
						Z18.6	39,68	40,29	1247	1354,2261	0,847		
Z19	E1SC3	05-02-2016	09-03-2016	33 dias	DC	Z19.1	39,75	39,79	1253	1000,3892	0,633	0,626	0,055
						Z19.2	39,39	39,98	1252	1074,689	0,683		
						Z19.3	44,26	40,46	1251	947,3981	0,529		
						Z19.4	39,68	40,37	1250	1102,1668	0,688		
						Z19.5	39,25	40,25	1249	1000,1083	0,633		
						Z19.6	39,23	40,31	1248	932,538	0,590		

Dados provenientes da folha Retração Linear_33d

Quadro A.6.8 - Aderência ao suporte

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	ensaio nº	provete	tipo de rotura ⁽¹⁾ [a,b,c]	força ⁽²⁾ (Ø 50 mm) [N]	tensão ⁽²⁾ (Ø 50 mm) [MPa]	diâmetro ⁽³⁾				área secção [mm ²]	tensão corrigida ⁽⁴⁾ [MPa]	tensão média [MPa]	tensão d.p [MPa]
											aferição 1 [mm]	aferição 2 [mm]	aferição 3 [mm]	média [mm]				
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	29-03-2016	54 dias	DC	ensaio 1	Z15.2	a	48,67	0,02	47,86	48,2	48,1	48,05	1813,58	0,027	0,073	0,038
						ensaio 2	Z15.2	b	128,94	0,07	46,94	47,75	47,59	47,43	1766,59	0,073		
						ensaio 3	Z15.2	b	212,84	0,11	47,46	47,72	47,19	47,46	1768,82	0,120		
Z16	E1S3_G10	04-02-2016	29-03-2016	54 dias	DC	ensaio 1	Z16.2	a	207,53	0,11	48,94	49,27	48,49	48,90	1878,05	0,111	0,064	0,043
						ensaio 2	Z16.2	a	13,71	0,01	49,09	48,64	48,25	48,66	1859,66	0,007		
						ensaio 3	Z16.2	a	135,06	0,07	47,89	47,74	47,68	47,77	1792,26	0,075		
Z17	E1S3_G20	04-02-2016	29-03-2016	54 dias	DC	ensaio 1	Z17.2	a	129,50	0,07	48,58	47,05	48,52	48,05	1813,33	0,071	0,062	0,013
						ensaio 2	Z17.2	a	81,39	0,04	48,56	48,25	48,86	48,56	1851,77	0,044		
						ensaio 3	Z17.2	a	131,73	0,07	48,85	48,09	48,65	48,53	1849,74	0,071		
Z18	E1SF3	05-02-2016	07-04-2016	62 dias	DC	ensaio 1	Z18.2	b	4,48	0,00	48,05	48,2	47,78	48,01	1810,31	0,002	0,019	0,012
						ensaio 2	Z18.2	a	48,20	0,02	47,5	47,73	47,32	47,52	1773,30	0,027		
						ensaio 3	Z18.2	b	45,95	0,02	45,35	46,93	46,47	46,25	1680,02	0,027		
Z19	E1SC3	05-02-2016	07-04-2016	62 dias	DC	ensaio 1	Z19.2	b	50,72	0,03	37,02	39,8	39,69	38,84	1184,61	0,043	0,046	0,006
						ensaio 2	Z19.2	b	49,88	0,03	41,8	39,76	38,1	39,89	1249,53	0,040		
						ensaio 3	Z19.2	a	77,62	0,04	43,15	42,78	42,53	42,82	1440,07	0,054		

Nota (1) – Tipos de rotura: (nula) rotura adesiva no plano de colagem; (a) rotura adesiva no plano da interface com o suporte; (b) rotura coesiva do reboco; (c) rotura coesiva do suporte.

Nota (2) – Valor de tensão de rotura apresentado pelo aparelho de ensaio para um diâmetro teórico de 50mm, e correspondente força aplicada.

Nota (3) – Valores de aferição do diâmetro da secção de rotura dos provetes.

Quadro A.6.9 – Resistência à abrasão

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	ensaio nº	provete	massa inicial [kg]	massa final [kg]	massa diferença [g]	abrasão média [g]	abrasão d.p [g]
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	16-03-2016	41 dias	DC	ensaio 1	Z15.1	4,1143	4,1142	0,1	0,275	0,109
					DC	ensaio 2	Z15.2	4,1142	4,1138	0,4		
					DC	ensaio 3	Z15.3	4,1138	4,1135	0,3		
					DC	ensaio 4	Z15.4	4,1135	4,1132	0,3		
Z16	E1S3_G10	04-02-2016	16-03-2016	41 dias	DC	ensaio 1	Z16.1	4,0997	4,0996	0,1	0,075	0,043
					DC	ensaio 2	Z16.2	4,0996	4,0996	0,0		
					DC	ensaio 3	Z16.3	4,0996	4,0995	0,1		
					DC	ensaio 4	Z16.4	4,0995	4,0994	0,1		
Z17	E1S3_G20	04-02-2016	16-03-2016	41 dias	DC	ensaio 1	Z17.1	4,1929	4,1929	0,0	0,025	0,043
					DC	ensaio 2	Z17.2	4,1929	4,1929	0,0		
					DC	ensaio 3	Z17.3	4,1929	4,1929	0,0		
					DC	ensaio 4	Z17.4	4,1929	4,1928	0,1		
Z18	E1SF3	05-02-2016	16-03-2016	40 dias	DC	ensaio 1	Z18.1	4,0112	4,0060	5,2	4,425	0,460
					DC	ensaio 2	Z18.2	4,0060	4,0017	4,3		
					DC	ensaio 3	Z18.3	4,0017	3,9977	4,0		
					DC	ensaio 4	Z18.4	3,9977	3,9935	4,2		
Z19	E1SC3	05-02-2016	16-03-2016	40 dias	DC	ensaio 1	Z19.1	4,3256	4,3247	0,9	1,025	0,083
					DC	ensaio 2	Z19.2	4,3247	4,3236	1,1		
					DC	ensaio 3	Z19.3	4,3236	4,3225	1,1		
					DC	ensaio 4	Z19.4	4,3225	4,3215	1,0		

Quadro A.6.10 – Coesão superficial

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	ensaio nº	provete	massa inicial [g]	massa final [g]	massa diferença [g]	coesão média [g]	coesão d.p [g]
Z07	E1S3	02-06-2014	10-04-2016	678 dias	DC	ensaio 1	Z07.1	0,108	0,119	0,011	0,009	0,002
					DC	ensaio 2	Z07.2	0,109	0,117	0,008		
					DC	ensaio 3	Z07.3	0,111	0,122	0,011		
					DC	ensaio 4	Z07.4	0,111	0,117	0,006		
					DC	ensaio 5	Z07.5	0,113	0,123	0,010		
					DC	ensaio 6	Z07.6	0,116	0,123	0,007		
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	04-04-2016	60 dias	DC	ensaio 1	Z15.1	0,111	0,120	0,009	0,008	0,002
					DC	ensaio 2	Z15.2	0,116	0,124	0,008		
					DC	ensaio 3	Z15.3	0,108	0,113	0,005		
					DC	ensaio 4	Z15.4	0,105	0,113	0,008		
					DC	ensaio 5	Z15.5	0,104	0,112	0,008		
					DC	ensaio 6	Z15.6	0,102	0,113	0,011		
Z16	E1S3_G10	04-02-2016	04-04-2016	60 dias	DC	ensaio 1	Z16.1	0,106	0,118	0,012	0,006	0,004
					DC	ensaio 2	Z16.2	0,112	0,117	0,005		
					DC	ensaio 3	Z16.3	0,108	0,112	0,004		
					DC	ensaio 4	Z16.4	0,112	0,115	0,003		
					DC	ensaio 5	Z16.5	0,106	0,116	0,010		
					DC	ensaio 6	Z16.6	0,111	0,112	0,001		
Z17	E1S3_G20	04-02-2016	04-04-2016	60 dias	DC	ensaio 1	Z17.1	0,110	0,111	0,001	0,004	0,002
					DC	ensaio 2	Z17.2	0,111	0,116	0,005		
					DC	ensaio 3	Z17.3	0,106	0,112	0,006		
					DC	ensaio 4	Z17.4	0,107	0,112	0,005		
					DC	ensaio 5	Z17.5	0,110	0,113	0,003		
					DC	ensaio 6	Z17.6	0,111	0,112	0,001		
Z18	E1SF3	05-02-2016	04-04-2016	59 dias	DC	ensaio 1	Z18.1	0,113	0,123	0,010	0,013	0,006
					DC	ensaio 2	Z18.2	0,105	0,110	0,005		
					DC	ensaio 3	Z18.3	0,107	0,126	0,019		
					DC	ensaio 4	Z18.4	0,111	0,124	0,013		
					DC	ensaio 5	Z18.5	0,111	0,135	0,024		
					DC	ensaio 6	Z18.6	0,110	0,119	0,009		
Z19	E1SC3	05-02-2016	04-04-2016	59 dias	DC	ensaio 1	Z19.1	0,114	0,120	0,006	0,018	0,021
					DC	ensaio 2	Z19.2	0,109	0,113	0,004		
					DC	ensaio 3	Z19.3	0,105	0,124	0,019		
					DC	ensaio 4	Z19.4	0,112	0,175	0,063		
					DC	ensaio 5	Z19.5	0,108	0,120	0,012		
					DC	ensaio 6	Z19.6	0,109	0,111	0,002		

Quadro A.6.11 – Condutibilidade térmica

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	provete	ambiente da sala		condutibilidade térmica λ [W/m.K]	capacidade térmica vol cp [Jm ³ .K]10 ⁶	difusibilidade térmica a [m ² /s]10 ⁵	condutibilidade térmica		capacidade térmica volumétrica	
							temp. [°C]	humidade [%HR]				média λ [W/m.K]	d.p λ [W/m.K]	média cp [Jm ³ .K]10 ⁶	d.p cp [Jm ³ .K]10 ⁶
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	21-03-2016	46 dias	DC	Z15.1	19°	64%	1,420	1,540	0,922	1,540	0,059	1,728	0,096
						Z15.2	19°	64%	1,570	1,810	0,868				
						Z15.3	19°	64%	1,550	1,790	0,865				
						Z15.4	19°	64%	1,580	1,800	0,880				
						Z15.5	19°	64%	1,520	1,670	0,913				
						Z15.6	19°	64%	1,600	1,760	0,911				
Z16	E1S3_G10	04-02-2016	21-03-2016	46 dias	DC	Z16.1	19°	64%	1,430	1,580	0,900	1,438	0,016	1,622	0,090
						Z16.2	19°	64%	1,430	1,650	0,868				
						Z16.3	19°	64%	1,460	1,480	0,986				
						Z16.4	19°	64%	1,430	1,690	0,844				
						Z16.5	19°	64%	1,420	1,570	0,902				
						Z16.6	19°	64%	1,460	1,760	0,829				
Z17	E1S3_G20	04-02-2016	21-03-2016	46 dias	DC	Z17.1	19°	64%	1,210	1,740	0,699	1,268	0,065	1,563	0,140
						Z17.2	19°	64%	1,160	1,370	0,853				
						Z17.3	19°	64%	1,350	1,500	0,899				
						Z17.4	19°	64%	1,270	1,680	0,753				
						Z17.5	19°	64%	1,310	1,420	0,921				
						Z17.6	19°	64%	1,310	1,670	0,783				
Z18	E1SF3	05-02-2016	29-03-2016	53 dias	DC	Z18.1	23°	61%	1,130	1,750	0,643	1,177	0,028	1,722	0,064
						Z18.2	23°	61%	1,200	1,740	0,687				
						Z18.3	23°	61%	1,190	1,800	0,659				
						Z18.4	23°	61%	1,210	1,720	0,707				
						Z18.5	23°	61%	1,150	1,590	0,726				
						Z18.6	23°	61%	1,180	1,730	0,682				
Z19	E1SC3	05-02-2016	29-03-2016	53 dias	DC	Z19.1	23°	61%	1,420	1,680	0,845	1,458	0,030	1,623	0,080
						Z19.2	23°	61%	1,470	1,680	0,876				
						Z19.3	23°	61%	1,460	1,630	0,898				
						Z19.4	23°	61%	1,500	1,670	0,897				
						Z19.5	23°	61%	1,480	1,630	0,912				
						Z19.6	23°	61%	1,420	1,450	0,978				

Quadro A.6.12 – Dureza superficial

ref. arg. laboratório	ref. arg. publicação	data provete	data ensaio	idade provete	operador	provete	SHORE-A	dureza superficial	
								média	d.p
Z07	E1S3	02-06-2014	09-05-2016	707 dias	DC	Z07.1	97	95,8	1,1
						Z07.2	97		
						Z07.3	96		
						Z07.4	96		
						Z07.5	95		
						Z07.6	94		
Z15	E1S3_G5	04-02-2016	21-03-2016	46 dias	DC	Z15.1	92	94,2	2,8
						Z15.2	97		
						Z15.3	96		
						Z15.4	89		
						Z15.5	95		
						Z15.6	96		
Z16	E1S3_G10	04-02-2016	21-03-2016	46 dias	DC	Z16.1	92	95,2	2,0
						Z16.2	97		
						Z16.3	96		
						Z16.4	93		
						Z16.5	97		
						Z16.6	96		
Z17	E1S3_G20	04-02-2016	21-03-2016	46 dias	DC	Z17.1	96	97,0	0,8
						Z17.2	97		
						Z17.3	98		
						Z17.4	96		
						Z17.5	98		
						Z17.6	97		
Z18	E1SF3	05-02-2016	29-03-2016	53 dias	DC	Z18.1	97	96,8	0,7
						Z18.2	97		
						Z18.3	96		
						Z18.4	96		
						Z18.5	98		
						Z18.6	97		
Z19	E1SC3	05-02-2016	29-03-2016	53 dias	DC	Z19.1	90	93,7	2,1
						Z19.2	94		
						Z19.3	95		
						Z19.4	96		
						Z19.5	92		
						Z19.6	95		