



Gonçalo Manuel Dias Pinheiro

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Influência do siloxano nas características físicas e mecânicas de argamassas de cal hidráulica natural

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

Orientador: Luís Gonçalo Correia Baltazar, Professor Auxiliar,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof^ª. Doutora Maria Teresa G. Santana

Arguente: Prof. Doutor Fernando Farinha da Silva Pinho

Vogal: Prof. Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro 2018

Copyright © 2018, Gonçalo Manuel Dias Pinheiro, FCT/UNL e UNL

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

Agradecimentos

A conclusão da presente dissertação representa o fecho de um ciclo. Durante o percurso tive a oportunidade de me cruzar com pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram de forma decisiva para que fosse possível chegar até aqui. A todos eles o meu agradecimento eterno.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Professor Luís Baltazar, orientador desta dissertação, por me ter aceite como seu orientando. Obrigado por toda a disponibilidade, ajuda, transmissão de conhecimentos e dedicação patente na sua profissão. É, para mim, um exemplo que me irá nortear no trabalho e na vida.

Em segundo lugar, quero agradecer ao Eng.º Vítor Silva pela ajuda incansável na realização da componente laboratorial que compõe a dissertação.

Um agradecimento especial ao Professor Fernando Pinho pela disponibilização das pastilhas para a realização do ensaio de aderência.

Agradeço à Faculdade, através de todos os docentes do DEC (Departamento de Engenharia Civil) pelos conhecimentos transmitidos ao longo do meu percurso académico. Em particular ao Professor Fernando Henriques pela sua capacidade de lecionar de forma cativante. Foi um privilégio.

De uma forma geral, a todos os meus amigos e companheiros de Faculdade. Não poderei deixar de mencionar os seguintes nomes: Adérito Saruga, Afonso Lino, Amândio Costa, André Rodrigues, Ana Galveias, Ana Gameiro, Anita Flambó, Carina Romano, Carolina Carmo, Diogo Reis, Duarte Meneses, Fábio Carrasqueira, João Afonso, Margarida Ferreira, Marcelo Rechestre, Margarida Martins, Mariana Costa, Miguel Barosa, Miguel Henriques, Nuno Cabaço, Nuno Peres, Ricardo Sequeira, Rita Branquinho, Rute Casqueiro, Sérgio Francisco e Tiago Neto.

Agradecer a toda a minha família, em particular aos meus pais, Ana e José Pinheiro, por todo o sacrifício, amor e apoio incondicional.

Ao meu avô, António Venâncio Dias Júnior, que já não estando entre nós, foi, é e será sempre a minha paixão. A ti dedico-te este trabalho.

A todos,

Muito Obrigado

Resumo

A procura de agregados é realizada por amplos sectores industriais, como a produção de vidro, produtos eletrónicos e aeronáuticos, sendo que a sua maioria é utilizada na construção, principalmente na produção de betão e argamassa.

A AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação) e toda a indústria que lhe está associada, é um dos principais responsáveis na exploração dos recursos naturais, por utilizar em larga escala matéria-prima não renovável, como por exemplo, os agregados na produção de cimento, betão e argamassas. A extração de areia provoca impactos ambientais irreversíveis, ao nível do ecossistema e paisagístico. Além dos impactos ambientais, a extração negligente de agregados tem provocado acidentes graves, com perdas de vidas humanas e patrimoniais, como é o exemplo da queda parcial da Ponte Hintze Ribeiro, Entre-os-Rios, em 2001.

Nas últimas décadas, com aumento da conscientização relativamente às questões ambientais, têm sido tomadas algumas medidas de forma a reduzir os impactos provocados pelas indústrias que exploram os recursos naturais, nomeadamente, através da imposição de leis e normas ambientais, aumento das sanções e coimas. Na área da Engenharia Civil têm sido desenvolvidos trabalhos relativos à substituição de agregados por resíduos de diversas origens, em argamassas de cal e cimento.

A presente dissertação procura analisar e melhorar o desempenho de argamassas termicamente melhoradas através da substituição do agregado por resíduos de madeira, com vista a contribuir para que esta seja uma solução de futuro no combate pela preservação da natureza, dos habitats e do ecossistema do nosso planeta.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi realizada uma campanha experimental com o objetivo de analisar o comportamento de argamassas termicamente melhoradas, através da incorporados de resíduos de madeira, com e sem hidrófugo. Com a utilização do siloxano nas misturas de madeira pretende-se colmatar os aspetos menos positivos da incorporação de resíduos de madeira nas argamassas, nomeadamente a elevada absorção de água deste material. Para uma caracterização das argamassas a ensaiar, procedeu-se à realização de ensaios das argamassas no estado fresco e endurecido.

Após a análise dos ensaios no estado fresco e no estado endurecido das argamassas, conclui-se que a presença de hidrófugo nos resíduos de madeira contribui de forma significativa para a redução da absorção de água por capilaridade, melhora a resistência aos cloretos, diminuição da porosidade aberta e torna a argamassa impermeável à água sob baixa pressão. A substituição do agregado natural pelos resíduos de madeira conduz a uma redução das resistências mecânicas e a melhorias significativas na condutibilidade térmica.

Palavras chave: Argamassa, Reboco, Resíduos de Madeira, Hidrófugo, Cal Hidráulica, Sustentabilidade.

Abstract

The demand for aggregates is carried out by large industrial sectors, such as the production of glass, electronic and aeronautical products, but most of them are used in building industry, mainly in the production of concrete and mortar.

The AECO (Architecture, Engineering, Construction and Owner-operated) and the whole industry associated with it, are responsible for exploiting natural resources, as they use non-renewable materials large-scale, for example aggregates, in the production of cement, concrete and mortars. The extraction of sand may cause irreversible environmental impacts, on ecosystems and landscape. In addition to the environmental impacts, the negligent extraction of aggregates has caused serious accidents, with human and patrimonial losses, as the example of the partial fall of the bridge Hintze Ribeiro, Entre-os-Rios, in 2001.

In recent decades, with an increase awareness of environmental issues, some measures have been taken to reduce the impacts caused by industries exploiting natural resources, in particular through the enforcement of laws and Environmental standards, increase of sanctions and fines. In the Civil engineering area, work has been carried out concerning the substitution of aggregates by residues from different origins, in lime and cement mortar.

The present thesis seeks to analyse and improve the performance of thermally enhanced mortars, replacing the aggregate by wood particles, keeping in view the contribution to a future solution to protect the Nature, preserve habitats and ecosystem of our planet.

For the development of the work, an experimental campaign was conducted with the aim of analysing the behavior of thermally improved mortars, through the incorporation of wood particles, with and without hydrophobic. With the use of siloxane in wood mixtures it is intended to cover the less positive aspects of the incorporation of wood wastes in mortars, namely the high-water absorption of this material. For a characterization of the mortar to be rehearsed, was tested mortars in the fresh and hardened states.

After the analysis of the tests of the mortars in the fresh and hardened states, it is concluded that the presence of hydrophobic in wood residues contributes significantly to reduce the water absorption through capillarity, improves the resistance to chlorides, decreases the open porosity and makes the mortar impermeable to water under low pressure. Replacing the natural aggregate by wood residues leads to a reduction of mechanical resistances and significant improvements in thermal conductivity.

Key words: Mortar, Plaster, Wood Residues, Hydrofuge, Hydraulic Lime, Sustainability.

Índice

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	ENQUADRAMENTO GERAL.....	1
1.2	OBJETIVOS E METODOLOGIA.....	3
1.3	ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
2	ESTADO DA ARTE	5
2.1	ANÁLISE DO CONHECIMENTO.....	5
2.1.1	<i>Considerações gerais.....</i>	5
2.1.2	<i>Argamassas para Reboco.....</i>	6
2.1.3	<i>Características das argamassas para reboco de paredes antigas</i>	8
2.2	CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS	10
2.2.1	<i>Agregados</i>	10
2.2.2	<i>Ligante</i>	11
2.2.3	<i>Água.....</i>	14
2.2.4	<i>Adjuvantes</i>	14
2.3	ARGAMASSA COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS.....	15
2.3.1	<i>Considerações gerais.....</i>	15
2.3.2	<i>Trabalhos experimentais de referência.....</i>	16
2.4	RESÍDUOS DE MADEIRA.....	17
2.4.1	<i>Enquadramento</i>	17
2.4.2	<i>Caracterização</i>	19
2.4.3	<i>Processo de fabrico</i>	19
2.4.4	<i>Produção mundial</i>	22
2.4.5	<i>Aplicações e vantagens.....</i>	23
3	CAMPANHA EXPERIMENTAL	25
3.1	INTRODUÇÃO	25
3.2	PLANIFICAÇÃO DA CAMPANHA EXPERIMENTAL	25
3.3	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	27
3.3.1	<i>Processo de obtenção dos resíduos de madeira</i>	27
3.3.2	<i>Análise granulométrica dos agregados.....</i>	29
3.3.3	<i>Baridade.....</i>	32
3.3.4	<i>Água.....</i>	33
3.3.5	<i>Ligante</i>	33
3.3.6	<i>Superplastificante</i>	34
3.3.7	<i>Siloxano.....</i>	34
3.4	PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS	34
3.4.1	<i>Composição das argamassas</i>	34
3.4.2	<i>Elaboração das argamassas</i>	35
3.4.3	<i>Provetes</i>	35
3.5	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	37
3.5.1	<i>Consistência por espalhamento</i>	37
3.5.2	<i>Massa volúmica aparente no estado fresco</i>	37
3.5.3	<i>Retenção de água</i>	38
3.6	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	39
3.6.1	<i>Massa volúmica aparente geométrica.....</i>	39

3.6.2	<i>Condutibilidade térmica</i>	40
3.6.3	<i>Módulo de elasticidade dinâmico</i>	40
3.6.4	<i>Resistência à tração por flexão</i>	41
3.6.5	<i>Resistência à compressão</i>	42
3.6.6	<i>Massa volúmica aparente e porosidade aberta</i>	43
3.6.7	<i>Absorção de água por capilaridade</i>	44
3.6.8	<i>Secagem</i>	45
3.6.9	<i>Resistência aos cloretos</i>	47
3.6.10	<i>Permeabilidade sob baixa pressão</i>	48
3.6.11	<i>Aderência ao suporte</i>	49
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	51
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	51
4.1.1	<i>Consistência por espalhamento</i>	51
4.1.2	<i>Massa volúmica aparente no estado fresco</i>	52
4.1.3	<i>Retenção de água</i>	54
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	55
4.2.1	<i>Massa volúmica aparente geométrica</i>	55
4.2.2	<i>Condutibilidade térmica</i>	56
4.2.3	<i>Módulo de elasticidade dinâmico</i>	57
4.2.4	<i>Resistência à tração por flexão</i>	58
4.2.5	<i>Resistência à compressão</i>	59
4.2.6	<i>Massa volúmica aparente e porosidade aberta</i>	60
4.2.7	<i>Absorção de água por capilaridade</i>	62
4.2.8	<i>Secagem</i>	65
4.2.9	<i>Resistência aos cloretos</i>	68
4.2.10	<i>Permeabilidade sob baixa pressão</i>	70
4.2.11	<i>Aderência ao suporte</i>	71
4.3	SÍNTESE GLOBAL DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	72
5	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	77
5.1	CONCLUSÕES FINAIS	77
5.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	78

Índice de figuras

Figura 1.1 - Extração de areia na ilha de North Stradbroke, Austrália	1
Figura 1.2 - Extração ilegal de areia na Índia	2
Figura 1.3 - Alterações no canal do rio Poyang, China	2
Figura 1.4 - Queda parcial do tabuleiro da Ponte Hintze Ribeiro em 2001	3
Figura 2.1 - Classificação das argamassas quanto à sua aplicação.	5
Figura 2.2 - Classificação das argamassas quanto ao número de ligantes.	5
Figura 2.3 - Classificação das argamassas de reboco segundo a norma NP EM 998-1:2016 ...	8
Figura 2.4 - Classificação dos Ligantes	11
Figura 2.5 - Classificação dos ligantes minerais hidrófilos	12
Figura 2.6 - Ciclo da cal hidráulica natural, adaptado de Monteiro, D. (2017).....	14
Figura 2.7 - Pellets comerciais, adaptado de Cunha, A. (2013)	19
Figura 2.8 - Moinho de martelos da Calibras, adaptado de Barbosa, M. (2008)	21
Figura 3.1 - Esquema de organização de ensaios	26
Figura 3.2 - Embalagem comercial de Pellets de madeira	27
Figura 3.3 - Máquina de moagem Retsch.....	27
Figura 3.4 - Esquema com os vários componentes da máquina de moagem Retsch SK 100..	28
Figura 3.5 - Curvas granulométricas e módulos de finura dos resíduos de madeira 12P, 20P, 30P, 120P	29
Figura 3.6 - Peneiração do agregado.	30
Figura 3.7 - Diferentes granulometrias da areia amarela para reboco areipor®.	30
Figura 3.8 - Curva granulométrica do saco 1 da areia amarela para reboco areipor®.	31
Figura 3.9 - Curva granulométrica do saco 2 da areia amarela para reboco areipor®.	31
Figura 3.10 - Ensaio da baridade.....	33
Figura 3.11 - Misturador mecânico do laboratório.	35
Figura 3.12 - Ensaio da massa volúmica aparente no estado fresco.	38
Figura 3.13 - Ensaio de retenção de água.....	39
Figura 3.14 - Equipamento ISOMET 2104 utilizado no ensaio de condutibilidade térmica.	40
Figura 3.15 - Equipamento ZEUS Resonance Meter.	41
Figura 3.16 - Ensaio de resistência à tração por flexão.....	42
Figura 3.17 - Ensaio de resistência à compressão.....	42
Figura 3.18 - Amostras utilizadas no ensaio de massa volúmica aparente e porosidade aberta	43
Figura 3.19 - Ensaio de determinação de massa volúmica aparente e porosidade aberta.....	44
Figura 3.20 - Ensaio de absorção de capilaridade	45
Figura 3.21 - Ensaio de secagem.....	46
Figura 3.22 - Tubos de Karsten aplicados nos provetes de monocamada.....	48
Figura 3.23 - Tipologias de rotura definidas pela norma EN 1015-12:2000 (CEN, 2000)	49

Figura 4.1 - Valores do ensaio e valores limite da consistência por espalhamento de acordo com a norma EN 105-2:1998 (CEN, 1998)	51
Figura 4.2 - Valores do ensaio da massa volúmica aparente.....	53
Figura 4.3 - Valores do ensaio de retenção de água.....	54
Figura 4.4 - Valores do ensaio de retenção de água.....	55
Figura 4.5 - Valores do ensaio e valores máximos da condutibilidade térmica de forma a serem classificados como argamassas térmicas de acordo com a norma NP EN 998-1:2016 (IPQ, 2016)	56
Figura 4.6 - Valores do ensaio de tração à flexão	58
Figura 4.7 - Valores do ensaio à compressão	59
Figura 4.8 - Valores da massa volúmica aparente	61
Figura 4.9 - Valores da porosidade aberta	61
Figura 4.10 - Curvas de absorção de água por capilaridade.....	63
Figura 4.11 - Valores dos coeficientes de capilaridade das argamassas.....	63
Figura 4.12 - Curvas de secagem.....	65
Figura 4.13 - Valores da taxa de secagem.....	66
Figura 4.14 - Valores do índice de secagem.....	66
Figura 4.15 - Grau de degradação em função dos ciclos de ensaio de resistência aos cloretos	68
Figura 4.16 - Valores de absorção de água sob baixa pressão	70
Figura 4.17 - Curva de absorção de água sob baixa pressão.....	70
Figura 4.18 - Curva de absorção de água sob baixa pressão (primeiros 12 minutos)	71
Figura 4.19 - Resultado do ensaio de aderência ao suporte na argamassa (Ref.)	72

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Classificação das argamassas por funções – relevância dos requisitos técnicos. . . 9	9
Tabela 2.2 - Requisitos dos rebocos a usar em edifícios antigos..... 10	10
Tabela 2.3 - Síntese de estudos de referência de argamassas com incorporação de resíduos. 17	17
Tabela 3.1 - Número e abertura de malha dos peneiros utilizados na peneiração dos pellets.. 28	28
Tabela 3.2 - Número e abertura de malha dos peneiros ASTM utilizados na peneiração do agregado..... 30	30
Tabela 3.3 - Número e abertura de malha dos peneiros ASTM utilizados na peneiração do agregado..... 32	32
Tabela 3.4 - Baridades dos materiais soltos ou granulares que compõem as argamassas..... 33	33
Tabela 3.5 - Composição das argamassas..... 35	35
Tabela 4.1 - Resultados do ensaio de consistência por espalhamento. 51	51
Tabela 4.2 - Resultados do ensaio da massa volúmica aparente no estado fresco. 52	52
Tabela 4.3 - Percentagem em massa dos constituintes das argamassas. 53	53
Tabela 4.4 - Resultados do ensaio de retenção de água..... 54	54
Tabela 4.5 - Resultados do ensaio da massa volúmica aparente geométrica..... 55	55
Tabela 4.6 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica..... 56	56
Tabela 4.7 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica de outros autores..... 57	57
Tabela 4.8 - Resultados do módulo de elasticidade dinâmico..... 57	57
Tabela 4.9 - Resultados do ensaio da resistência à tração por flexão..... 58	58
Tabela 4.10 - Resultados do ensaio de resistência à tração por flexão de outros autores..... 59	59
Tabela 4.11 - Resultados do ensaio da resistência à compressão..... 60	60
Tabela 4.12 - Resultados do ensaio de resistência à compressão de outros autores..... 60	60
Tabela 4.13 - Resultados da massa volúmica aparente e da porosidade aberta 61	61
Tabela 4.14 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade 62	62
Tabela 4.15 - Resultados do ensaio de secagem. 65	65
Tabela 4.16 - Resultados do ensaio de absorção de água sob baixa pressão..... 70	70
Tabela 4.17 - Resultados do ensaio de aderência ao suporte..... 71	71
Tabela 4.18 - Síntese dos resultados obtidos nos ensaios..... 73	73

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

Constituintes das argamassas

- 12P** - Resíduos de madeira com granulometria grossa
- 20P** - Resíduos de madeira com granulometria intermédia
- 30P** - Resíduos de madeira com granulometria fina
- 120P** - Resíduos de madeira com granulometria muito fina
- NHL5** - Cal hidráulica natural NHL5 produzida pela SECIL Martingança
- SP** - Superplastificante ViscoCrete 225 powder produzido pela Sika®

Argamassas

- Ref.** – Argamassa de cal hidráulica natural, denominada por referência
- 10%S** - Argamassa de cal hidráulica natural, com substituição de 10% de volume de areia por resíduos de madeira sem hidrófugo
- 20%S** - Argamassa de cal hidráulica natural, com substituição de 20% de volume de areia por resíduos de madeira sem hidrófugo
- 40%S** - Argamassa de cal hidráulica natural, com substituição de 40% de volume de areia por resíduos de madeira sem hidrófugo
- 10%C** - Argamassa de cal hidráulica natural, com substituição de 10% de volume de areia por resíduos de madeira com tratamento prévio de hidrófugo
- 20%C** - Argamassa de cal hidráulica natural, com substituição de 20% de volume de areia por resíduos de madeira com tratamento prévio de hidrófugo
- 40%C** - Argamassa de cal hidráulica natural, com substituição de 40% de volume de areia por resíduos de madeira com tratamento prévio de hidrófugo

Parâmetros, siglas e símbolos

- FCT/UNL** - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
- DEC** - Departamento de Engenharia Civil
- RCD** - Resíduos de construção e demolição
- PEAD** - Polietileno de alta densidade
- MF** - Módulo de finura [–]
- D** - Máxima dimensão do agregado [mm]
- d** - Mínima dimensão do agregado [mm]

ρ_m – Massa volúmica aparente da argamassa no estado fresco [kg/m^3]

R - Percentagem de água retida [%]

$m v_{\text{apg}}$ - Massa volúmica aparente geométrica [kg/m^3]

R_t - Resistência à tração por flexão [Mpa]

R_c - Resistência à compressão [Mpa]

MVA - Massa volúmica aparente [kg/m^3]

PA - Porosidade aberta [%]

Cc - Coeficiente de capilaridade [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$]

VA - Valor assintótico [kg/m^2]

TS - Taxa de secagem [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

IS - Índice de secagem [-]

λ - Condutibilidade Térmica [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]

$C^t_{\text{absorção}}$ - Coeficiente de absorção de água líquida sob baixa pressão [$\text{ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$]

a/I - Relação água/ligante [Volume]

1 Introdução

1.1 Enquadramento geral

O séc. XXI depara-se com problemas ambientais a nível global. As principais causas prendem-se com a utilização de recursos não renováveis, para a satisfação das necessidades quotidianas da Humanidade. Estas necessidades têm-se tornado cada vez maiores devido à melhoria das condições de vida e ao aumento exponencial de população que se verificou no último século e o seu previsível aumento. O relatório das Nações Unidas: “2017 Revision of World Population Prospects”, indica uma população global de 7,6 mil milhões, prevendo-se que em 2030 e 2100 o valor rondará os 8,6 e 11,2 mil milhões, respetivamente.

Todos os anos cerca de 53 mil milhões de toneladas de areia e cascalho são extraídos, representando o maior volume de matéria prima usado na terra a seguir à água. A sua extração excede em muito a taxa de renovação natural, resultante do processo erosivo ao longo de milhares de anos (Chilamkurthy, K. et al., 2016).

Apesar de os desertos cobrirem 20% da superfície terrestre, e destes 20%, cerca de 20% a 30% serem cobertos por areia, a sua utilização, em certos casos, não é possível devido à falta de requisitos e padrões exigidos pelas indústrias (Gavriletea, M.D., 2017).

De acordo com Peduzzi, P. (2014), a procura de agregados é realizada por amplos sectores industriais, como a produção de vidro, produtos eletrónicos e aeronáuticos. Em todo o caso, a maior parte é utilizada na construção, principalmente na produção de cimento.

A substituição de agregados naturais por agregados britados tem sido a solução encontrada pela indústria da construção civil para resolver o problema do esgotamento das jazidas, bem como o impacto ambiental gerado pela sua extração (Carasek, H et al., 2016).

A AECO e toda a indústria que lhe está associada é um dos principais responsáveis na exploração dos recursos naturais, por utilizar em larga escala matéria-prima não renovável, como por exemplo, na produção de cimento, betão e argamassas. A extração de areia provoca impactos ambientais irreversíveis, ao nível do ecossistema e paisagístico (Figura 1.1).



Figura 1.1 - Extração de areia na ilha de North Stradbroke, Austrália.

Fonte: Dave Hunt (The Guardian. 2016)

A areia é vital para a manutenção e preservação dos rios e da orla costeira. A extração desregulada e ilegal de areia tornou-se numa ameaça para o ambiente a uma escala global. Esta conduz a alterações geométricas e ao aumento da velocidade de escoamento do canal, originando a erosão das margens do rio e podo em risco o habitat natural existente. A remoção da vegetação e a destruição do perfil do solo põe em perigo os habitats terrestres e aéreos, que dependem deles, devido à redução de fauna no local. A destruição das dunas também é um fator

a ter em conta. As dunas desempenham um papel importante no sistema das praias sendo a barreira natural às tempestades e à erosão provocada pelas ondas e marés. Servem de habitat para muitos animais e plantas de pequenas dimensões que são parte da fauna marinha e costeira, cuja perda é uma ameaça para outras espécies (Pitchaiah, 2017).

Podem ser referidos, entre muitos outros, os casos de estudo no rio Periyar (estado de Kerala), Índia e o do lago Poyang, China. As melhorias económicas verificadas na década de 70, conduziram a um aumento de construção e, conseqüentemente, à necessidade de maiores volumes de agregados. A extração de areia ao longo das últimas quatro a cinco décadas traduz-se já em danos irreversíveis, devido à falta de grãos de menor dimensão no rio (Shiekha, E. J. et al., 2014). A *Figura 1.2* ilustra a extração ilegal de areia que ocorre na Índia.



Figura 1.2 - Extração ilegal de areia na Índia.

Fonte: AP (livemint. 2015)

A exploração mineira de areia no lago de Poyang (maior lago de água doce da China), fez com que a cota de água no lago decrescesse dramaticamente. Este acontecimento deve-se ao aumento da profundidade e largura do canal provocado pela extração de areia (Lai, X. et al., 2014). As alterações no canal do rio Poyong, referidas anteriormente, são apresentadas na *Figura 1.3*.

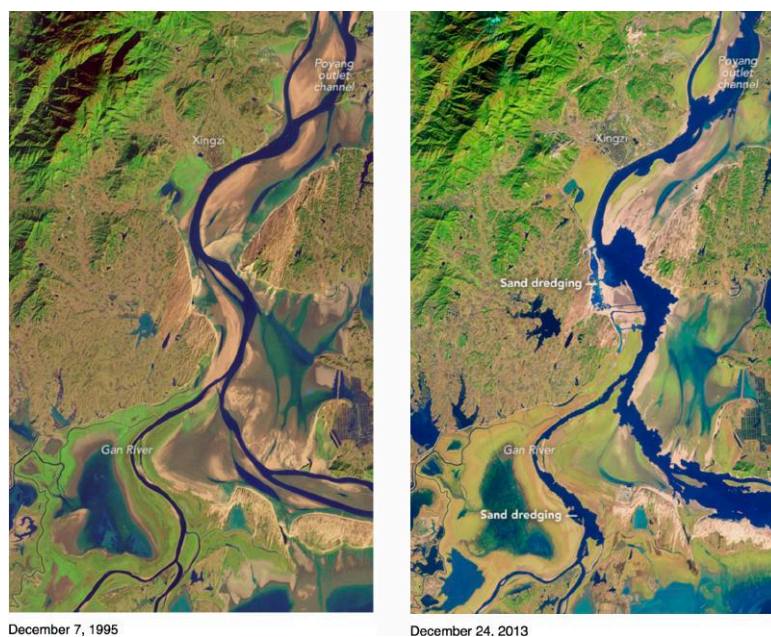


Figura 1.3 - Alterações no canal do rio Poyang, China.

Fonte: Image of the day - March 18 (NASA earth observatory. 2016)

Alem dos impactos ambientais mencionados anteriormente, a extração negligente de areia tem provocado acidentes graves, com perdas de vidas humanas e patrimoniais, como é o exemplo da queda parcial da Ponte Hintze Ribeiro, Entre-os-Rios, em 2001 (Figura 1.4).

“No dia 4 de Março de 2001, (...) o desabamento do quarto pilar da Ponte Hintze Ribeiro provocou a queda parcial da estrutura do tabuleiro da ponte. Um autocarro com 53 pessoas a bordo e três viaturas ligeiras, com seis ocupantes, são atirados para as águas (...) do rio Douro. Cinquenta e nove pessoas perderam a vida” (Expresso, 2016).

“A erosão, a extração de areias, as fortes chuvas e as descargas das barragens foram as principais causas da queda da Ponte Hintze Ribeiro (...) Para a comissão de inquérito do acidente, “o mecanismo provável de colapso da ponte consistiu na queda do quarto pilar por perda de sustentação do terreno sob a base do caixão de fundação e no subsequente colapso da estrutura do tabuleiro (...) A comissão apurou ainda que nas últimas três décadas o perfil longitudinal do que é hoje a albufeira da barragem de Crestuma “sofreu um forte e generalizado abaixamento, que nalguns pontos chega a atingir os 28 metros” (Público, 2001).



Figura 1.4 - Queda parcial do tabuleiro da Ponte Hintze Ribeiro em 2001.

Fonte: Rui Duarte Silva (Expresso, 2016)

Em suma, dado os problemas ambientais existentes, a necessidade de arranjar formas de reduzir a exploração dos recursos naturais é um imperativo. Têm sido tomadas algumas medidas para controlar e reduzir os impactos provocados pelas indústrias que exploram os recursos naturais, nomeadamente, através da imposição de leis e normas ambientais, aumento das sanções e coimas. Sendo a AECO a maior responsável pela extração de areia e cascalho no planeta, existe urgência em procurar e encontrar soluções para a redução do consumo, por parte desta indústria, em particular.

A presente dissertação procura analisar e melhorar a utilização de argamassas termicamente melhoradas através da substituição de agregado natural por resíduos de madeira, com vista a contribuir para que esta seja uma solução de futuro no combate pela preservação da natureza, dos habitats e do ecossistema do nosso planeta.

1.2 Objetivos e metodologia

A presente dissertação tem como objetivo aprofundar conhecimentos sobre argamassas termicamente melhoradas à base cal hidráulica natural (NHL5), através da substituição de areia

natural por diferentes percentagens de resíduos de madeira, com e sem tratamento à base de siloxano. Com a utilização de siloxano pretende-se dar resposta a alguns aspetos menos positivos associados à incorporação de resíduos de madeira (exemplo, a elevada capacidade de absorção por parte da madeira), nas argamassas de reboco.

Com base na premissa anterior foi realizado um plano de trabalho e uma campanha experimental preliminar. Ao nível do plano de trabalho, foram determinados os ensaios para caracterizar as argamassas a serem formuladas, as diferentes percentagens de resíduos de madeira que substituem a areia natural e os materiais necessários para a realização da campanha experimental. Para aferir as quantidades de material necessários foram determinados os módulos de finura da areia, dos resíduos de madeira (grosso, intermedio, fino e muito fino) e as respetivas baridades incluindo a NHL.

No âmbito da campanha experimental preliminar, começou-se por analisar o pré-tratamento dos resíduos de madeira com diferentes dosagens de hidrófugo. Para tal, foram testados diferentes traços para a solução aquosa de siloxano, tendo como objetivo aferir aquele que garantisse as melhores propriedades hidrófugas, sem comprometer as granulometrias das partículas de madeira. Posteriormente foram realizados provetes standard de argamassas com diferentes traços volumétricos (ligante:agregado) com o intuito de atestar a integridade e durabilidade dos provetes nos ensaios previstos.

Após a análise dos provetes foram adotados traços em volume de 1:2 (ligante:agregado). Como se pôde verificar, a presença de madeira em elevadas percentagens traduz-se na desagregação dos provetes e daí a necessidade de um traço mais forte. Em relação às percentagens volumétricas de madeira para substituir o agregado natural foram selecionadas as de 10%, 20% e 40%. Inicialmente estava prevista uma percentagem volumétrica maior que as anteriores (60%), que não pôde ser testada, devido à desagregação dos provetes na desmoldagem.

De referir, que no âmbito desta campanha preliminar foram analisados dois tipos de superplastificante, um na forma líquida e outro em pó. A escolha recaiu sobre o superplastificante em pó devido aos melhores resultados obtidos em termos da fluidez da argamassa com a utilização de menor quantidade.

1.3 Estrutura e organização do trabalho

Esta dissertação é composta por 5 capítulos, bibliografia e anexo. Em seguida é apresentada uma descrição geral dos temas abordados em cada capítulo.

No capítulo 1, *Introdução*, é feito um enquadramento geral, onde são explicitados os motivos e as razões para o desenvolvimento do tema, são apresentados os objetivos e a metodologia, o que se pretende e como foi planeada, a estrutura e a organização do trabalho.

No capítulo 2, *Argamassas*, é realizada uma abordagem dos conhecimentos existentes sobre as argamassas de reboco, onde são apresentadas as suas características e os seus constituintes. É feita uma análise sobre os conhecimentos gerais relativos aos resíduos de madeira e às argamassas com resíduos de madeira incorporados.

No capítulo 3, *Campanha experimental*, é apresentada a planificação da campanha experimental, as características dos materiais constituintes das argamassas, a sua caracterização no estado fresco e no estado endurecido.

No capítulo 4, *Apresentação e discussão de resultados*, são mostrados os resultados obtidos, é realizada a análise comparativa entre ambos e são retiradas as conclusões.

No capítulo 5, *Conclusões e desenvolvimentos futuros*, são apresentadas as conclusões gerais, as considerações finais e propostas para desenvolvimentos futuros.

No final da dissertação estão presentes a bibliografia e o anexo.

2 Estado da Arte

2.1 Análise do conhecimento

2.1.1 Considerações gerais

A argamassa pode ser definida como uma mistura de um ou mais ligantes orgânicos ou inorgânicos, agregados, e ou adjuvantes (Pinto, A.P., et al., 2006).

De acordo com Pinto, A.P., et al. (2018), a utilização de argamassas data desde as primitivas civilizações humanas sob a forma de barro misturado com água na construção de abrigos. O uso do fogo conduziu à descoberta das propriedades aglutinantes das argilas e dos calcários, quando em contacto com água. O conhecimento de algumas rochas vulcânicas permitiu o desenvolvimento dos ligantes devido às propriedades hidráulicas que estas conferem às argamassas quando adicionadas à água. As causas da hidraulicidade das argamassas foram descobertas por Vicat, sec. XIX, quando demonstrou que a presença de calcários em argilas e pozolanas na cal aérea estavam, de certo modo, relacionadas com as características hidráulicas das argamassas. A revolução industrial conduziu a avanços tecnológicos que proporcionaram o desenvolvimento de técnicas de transformação de materiais. Como consequência surgiram novos materiais, nomeadamente, os ligantes hidráulicos artificiais como, por exemplo, o cimento. Até à data, os principais ligantes utilizados eram a cal aérea simples ou misturada com pozolanas e o gesso. Em meados do sec. XIX, com a capacidade de se produzir industrialmente a cal hidráulica, começou-se a incrementar o uso do cimento. Com o decorrer do tempo esta tendência viria a acentuar-se. As alterações socio-económicas e a importância que a sociedade moderna atribui à preservação cultural dos edifícios históricos permitiu o crescimento da utilização dos denominados ligantes antigos, em particular a cal aérea e hidráulica.

Na atualidade, as argamassas são utilizadas em construção nova e em intervenções de reabilitação e conservação de edifícios existentes. Na construção nova são utilizadas no assentamento de alvenarias, em rebocos de paredes (interiores e exteriores) e tetos, no tratamento de juntas, em camadas de enchimento ou de regularização de pavimentos e coberturas. Relativamente à conservação e reabilitação de edifícios, as argamassas são utilizadas na reparação de anomalias estruturais, em revestimentos, na substituição de rebocos, quando não cumprem o papel de proteção dos suportes, no tratamento de juntas ineficientes, entre outros (Faria, P., 2012). Como se pode concluir pelo paragrafo anterior, as argamassas podem ser classificadas de acordo com as suas diferentes utilizações. Em seguida é apresentada de forma esquemática (*Figura 2.1*), os principais campos de aplicação das argamassas, segundo, Pinto, A.P., et al. (2005). Para os mesmos autores, quanto à composição do ligante, as argamassas podem dividir-se em dois tipos (*Figura 2.2*).

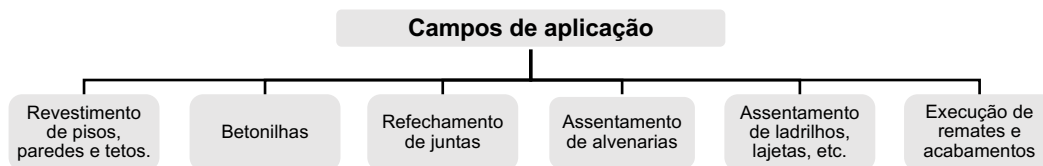


Figura 2.1 - Classificação das argamassas quanto à sua aplicação.

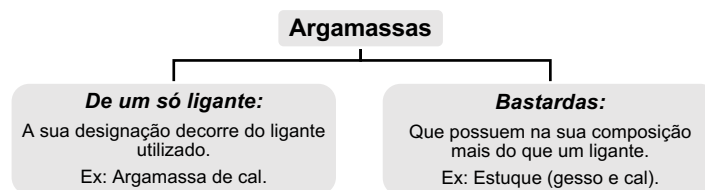


Figura 2.2 - Classificação das argamassas quanto ao número de ligantes.

2.1.2 Argamassas para Reboco

De forma simplificada, todas as argamassas são efetuadas com base em ligantes e agregados, tendo como principal função a de constituir uma camada de proteção ao suporte (Faria, P., 2012).

Os diferentes tipos de revestimentos fazem parte da nossa história. Através do seu estudo obtemos conhecimentos relativos à proveniência de materiais e as tecnologias utilizadas numa determinada época e local. A riqueza e diversidade das fachadas mostram-nos a importância de as manter e preservar a sua história, cultura e património (Margalha, M., 2011). Para tal, as argamassas de revestimento devem proteger a parede da ação da água, da ação direta dos agentes climáticos, de ações mecânicas de choque e erosão, da ação química da poluição e dos sais solúveis contidos nos materiais, na água e no solo. A fim de desempenhar essas funções, o revestimento deve ter resistência mecânica suficiente, ser relativamente deformável, apresentar impermeabilidade suficiente e bom comportamento aos sais. O número de camadas, a respetiva espessura, a composição relativa dessas camadas e a tecnologia de aplicação são aspetos tão importantes como o material utilizado (Veiga, M. e Carvalho, F., 2002).

De forma sucinta, o parágrafo anterior refere que: as camadas de reboco além da sua função protetora, também possuem, muitas vezes, uma função decorativa relevante. São assim testemunho do tempo e do passado, devendo ser preservadas devido à sua importância técnica, histórica e estética. (Tavares, M.V. et al., 2003).

As argamassas de revestimento podem ser realizadas em obra ou serem pré-doseadas de fábrica. A argamassa pré-doseada de fábrica, além dos constituintes correntes, contém, normalmente, adições e adjuvantes, em saco ou silo, prontas a amassar e aplicar (Faria, P., 2012).

Como se pode constatar, além das argamassas poderem ser classificadas consoante o seu tipo de aplicação e o quando à composição do ligante, apresentadas anteriormente no presente capítulo, podem também ser classificadas consoante o seu processo de fabrico. De acordo com a *European Mortar Industry Organisation (EMO)*, como nos apresenta, Pinto, A.P., et al. (2005), relativamente ao processo de fabrico, as argamassas podem dividir-se em:

- **Argamassa industrial:** argamassa doseada e misturada em fábrica. Pode apresentar-se em “pó”, requerendo apenas a adição de água, ou em “pasta”, já amassada fornecida pronta a aplicar;
- **Argamassa pré-doseada:** componentes doseados em fábrica e fornecidos para obra, onde serão misturados segundo instruções e condições do fabricante;
- **Argamassa industrial semiacabada:** argamassa pré-doseada, a modificar em obra;
- **Argamassa pré-misturada:** componentes doseados e misturados em fábrica, fornecidos à obra, onde serão adicionados outros componentes que o fabricante especifica ou também fornece;
- **Argamassa feita em obra (tradicional):** argamassa composta por constituintes “tradicionais” (por exemplo: ligantes, agregados e água), doseados e misturados em obra;
- **Argamassa em pasta (fresca):** argamassa doseada, misturada e amassada, pronta a aplicar;
- **Argamassa hidráulica:** argamassa que contém um ligante mineral hidráulico, que endurece com água;

- **Argamassa em dispersão:** argamassa de ligante (s) orgânico(s), na forma de polímeros em dispersão aquosa, com aditivos orgânicos, agregados minerais e/ou cargas finas. A mistura está pronta a aplicar;
- **Argamassa de resina reativa:** mistura de resinas sintéticas, cargas finas e/ou agregados minerais e aditivos orgânicos que endurecem por reação química. Os componentes pré-doseados são embalados prontos a misturar.

Em comparação com as argamassas realizadas em obra, as argamassas pré-doseadas possibilitam uma maior constância de qualidade e um maior conhecimento das características obtidas quando aplicadas sobre suportes correntes. Para aplicações sobre suportes antigos é necessário verificar a sua adequabilidade e compatibilidade (Faria, P., 2012).

De acordo com Veiga, M. (1988), em Portugal, os revestimentos exteriores de paredes mais utilizados são os constituídos por argamassas de ligantes minerais, principalmente hidráulicos, mas também aéreos, vulgarmente designados por rebocos. Devido à dificuldade de dosar uma argamassa de reboco de forma a que o revestimento resultante seja, em simultâneo, pouco suscetível à fendilhação, pouco permeável à água, bastante permeável ao vapor de água e bem aderente ao suporte, a sua aplicação é realizada através de várias camadas com diferentes funções.

A mesma autora refere ainda que o crespido (ou salpisco, ou chapisco), destina-se a proporcionar boa aderência ao suporte, conferindo-lhe, por um lado, uma rugosidade que facilita a ligação mecânica, e por outro lado, favorecendo a homogeneização da absorção pelo suporte. Para cumprir esses objetivos a argamassa que o constitui deve ser muito rica em ligante, muito fluida e aplicada de forma descontínua e rugosa. As camadas de regularização ou de base têm como função assegurar a regularização do paramento e prestar o contributo mais significativo para a impermeabilização da parede. A espessura de cada camada não deve ultrapassar 20 mm, pelo que pode ser aplicada em mais do que uma camada para garantir a conveniente regularização. Estas camadas devem fendilhar pouco, ter boa capacidade de impermeabilização e uma boa capacidade de regularização, devendo, portanto, ser uma argamassa com menor dosagem de ligante (relativamente ao crespido), mais compacta através da utilização de agregados com granulometria mais extensa (i.e, menos mono-granulométrica). Se existir mais do que uma camada, cada uma deve ter menor teor de ligante que a antecede, para que as tensões transmitidas durante a retração não tendam a fendilhar a camada inferior e seja cada vez menor a suscetibilidade à fendilhação. Cada camada deve ser bem apertada durante a aplicação para melhorar a sua compactidade. A camada de acabamento destina-se a proteger as camadas subjacentes e a conferir um acabamento adequado ao reboco. Sendo a camada que fica exposta, é importante que não fendilhe e a areia que a constitui deve conter a dimensão dos grãos que corresponde ao acabamento pretendido. A argamassa desta camada deve ser mais fraca (menos rica em ligante) que a última da camada base, para melhorar o comportamento à fendilhação, facilitar a evaporação da água e da chuva absorvida.

Entre as várias camadas deve haver tempos de espera suficientes para que se possa processar a secagem e dar a maior parte da retração. Só assim as camadas funcionarão plenamente e a respetiva retração poderá ser relativamente independente. Deste modo, as fendas que se formarem apenas interessarão uma camada e não toda a espessura do revestimento (Veiga, M., 1988).

A norma *NP EN 998-1:2016 (IPQ, 2016)*, define parâmetros para a classificação das argamassas no estado endurecido, em termos de resistência à compressão e absorção capilar. Apresenta ainda classificações de argamassas de reboco segundo, as propriedades e/ou uso, a sua conceção e o seu processo produtivo (*Figura 2.3*), já explicitadas no presente capítulo.

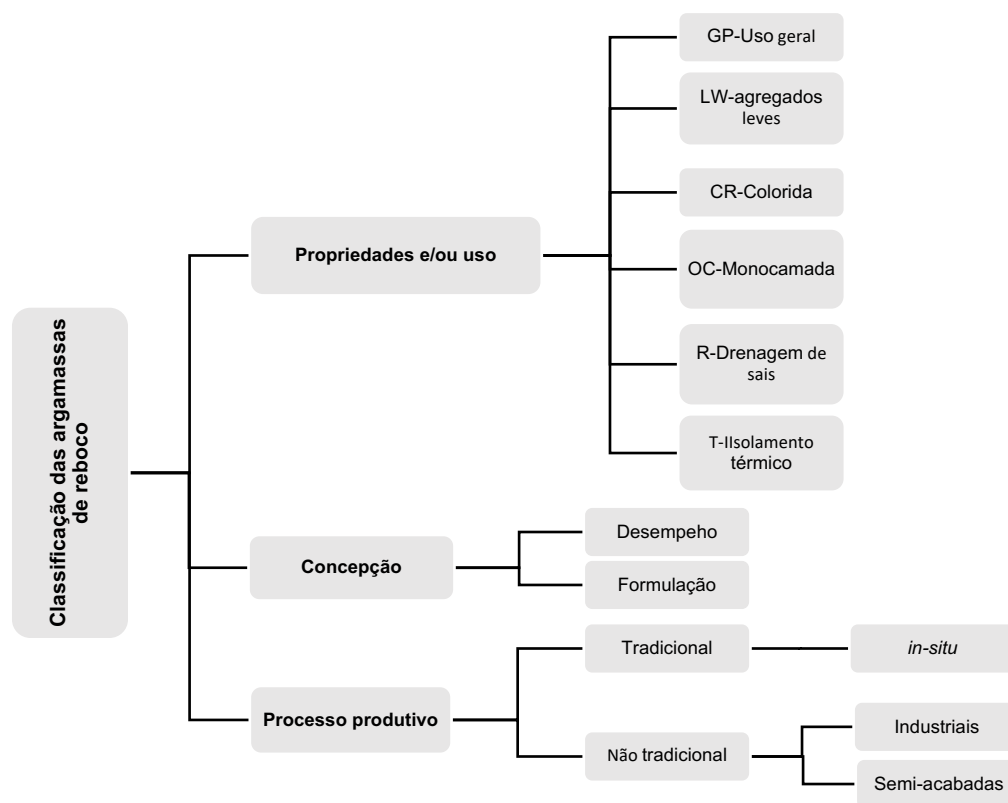


Figura 2.3 - Classificação das argamassas de reboco segundo a norma NP EM 998-1:2016.

2.1.3 Características das argamassas para reboco de paredes antigas

Os revestimentos de paredes de ligante mineral, vulgarmente designados por rebocos, são de utilização muito antiga em toda a Europa. Durante séculos vêm cumprindo as funções de regularização das alvenarias, impermeabilização das fachadas, proteção das paredes contra ações externas, acabamento e suporte de decoração, adaptando-se, sucessivamente, à evolução da tecnologia, das correntes arquitetónicas e estéticas e da mão-de-obra existente (Veiga, M., 2005).

Em Portugal são conhecidos rebocos com centenas e até milhares de anos, em boas condições de conservação e com capacidade funcional. Para cumprirem as funções que lhes estão destinadas nos edifícios os revestimentos de ligante mineral devem verificar determinadas exigências funcionais. Os rebocos a aplicar em paredes de edifícios antigos têm funções específicas, devido à natureza e ao comportamento geral dessas paredes, muito diferentes das atuais. Assim, têm vindo a ser estabelecidos requisitos adaptados a essas funções específicas, capazes de garantir, nomeadamente, a compatibilidade com os elementos pré-existentes e, nessa medida, contribuir para o bom desempenho global e para a durabilidade dos edifícios (Veiga, M., 2005).

De acordo com, Veiga, M. (2012), as argamassas de alvenarias históricas podem ser classificadas de acordo com a função que desempenham. Ao desempenharem diferentes papéis, estas possuem também características específicas totalmente diferentes. Desta forma, podem ser classificadas como:

- **Argamassas de assentamento:** função estrutural;
- **Argamassas de assentamento de azulejos:** função de colagem;
- **Argamassas de refechamento de juntas:** funções de proteção à água, ao ar e decorativa;

- **Argamassa de reboco exterior:** funções de proteção às ações externas, nomeadamente à água e outras ações climáticas e decorativas;
- **Argamassa de reboco interior:** funções estéticas, de conforto e decorativas;
- **Barramentos de estuques exteriores e interiores:** funções decorativas e de proteção complementar.

Os requisitos técnicos a exigir às argamassas com diferentes funções são diversos e apresentam diferentes graus de importância. O mesmo autor, referindo o Comité da RILEM TC 203 (RHM – Repair Mortars for Historical Masonry), define a relevância desses requisitos para cada tipo de argamassa (*Tabela 2.1*).

Tabela 2.1 - Classificação das argamassas por funções – relevância dos requisitos técnicos.

Classificação das argamassas por funções					
Requisitos Técnicos	Relevância dos requisitos técnicos				
	Assentamento	Refechamento de justas	Reboco exterior	Caldas (grout)	Revestimento interior
Aderência	3	3	3	2	3
Resistência mecânica (flexão e compressão)	2*	2*	1*	2*	1*
Deformabilidade e elasticidade (E)	3	3	2	3	1
Proteção às ações climáticas					
Resistência à penetração da água	2	3	3	1	1
Resistência ao gelo	2	3	3	1	0
Dilatação térmica	1	1	3	1	3
Permeabilidade ao vapor de água	2	3	3	1	3
Comportamento à molhagem e secagem	2	3	3	1	2
Estética	1	3	3	0	3
Requisitos técnicos de argamassas (0 = sem importância a 3 = muito importante)					
* in relation to the substrate the strenght and deformability values for mortar should be less than the masonry units.					

Os rebocos antigos tinham funções semelhantes aos atuais, mas os requisitos necessários para as cumprir eram significativamente diferentes. A diferença dos requisitos a cumprir, deve-se, por um lado, ao modo de funcionamento das paredes ser muito diverso do das paredes atuais e, por outro, os materiais usados na execução da argamassa e os elementos de construção possuírem características distintas. Desta forma, as paredes eram mais espessas, mais porosas, mais deformáveis que as atuais e não tinham, em geral, cortes de capilaridade. Para se conseguir um grau de impermeabilização satisfatório, uma capacidade de proteção e uma durabilidade elevada, recorria-se a uma execução cuidada e à técnica de multicamada, com camadas finas e muito diferenciadas. Assim, os revestimentos eram geralmente constituídos pelas seguintes camadas principais: (i) camada de regularização e proteção: emboço; reboco (propriamente dito); esboço, (ii) camadas de proteção, acabamento e decoração: barramento (ou guarnecimento); pintura, em geral mineral; ornamentação (alguns casos) (Veiga, M., 2005).

Como refere Veiga, M. (2005), as camadas de regularização e proteção eram constituídas por argamassas de cal aérea e areia, eventualmente com adições minerais e aditivos orgânicos. Normalmente, as camadas internas tinham granulometria mais grosseira que as externas e a deformabilidade e porosidade iam aumentando das camadas internas para as externas, promovendo assim um bom comportamento às deformações estruturais e à água. Cada uma das camadas principais referidas podia, por sua vez, ser constituída por várias subcamadas, permitindo, para a mesma espessura total, uma melhor capacidade de proteção e durabilidade. Os barramentos ou guarnecimentos eram constituídos por massas finas de pasta de cal, ou de pasta de cal com pó de pedra, também geralmente aplicadas em várias subcamadas, com granulometria decrescente das mais interiores para as exteriores. Estas camadas eram muito importantes para a proteção do revestimento, verificando-se que, quando se destacam, se assiste a uma degradação rápida do reboco subjacente. A coloração das

superfícies era conferida pela incorporação de agregados com cor selecionada, de terras ou de pigmentos minerais na última camada de barramento, ou por camadas posteriores de pintura, geralmente de cal, aditivada com pigmentos e outras adições minerais. As superfícies podiam ser ornamentadas, pintadas com policromia e técnicas da pintura mural (a fresco ou a seco) ou simplesmente coloridas de vários modos.

De acordo com o mesmo autor, nas intervenções em edifícios antigos a primeira opção a considerar deve ser a conservação dos revestimentos existentes, se necessário recorrendo a reparações pontuais, ou, se tal se justificar, a operações de consolidação. Quando se verifica a necessidade de substituir, parcialmente ou na totalidade, as argamassas existentes, devem escolher-se argamassas adequadas a esse uso específico, verificando determinados requisitos funcionais e estéticos.

As argamassas de reboco utilizadas em reabilitação têm de ter como característica fundamental a compatibilidade física, mecânica e química com o suporte em que são aplicadas, de modo a poderem garantir a referida proteção. Assim sendo, as argamassas mais utilizadas em paredes mais antigas, tendo em consideração a referida compatibilidade, são as que utilizam como ligante a cal aérea ou a cal hidráulica, em função das características do suporte e das exigências funcionais requeridas (Faria, P. et al., 2014).

Existem atualmente diversos estudos de investigação, nacionais e estrangeiros, que apontam composições possíveis e metodologias para a formulação de argamassas a usar para obter rebocos compatíveis. De um modo geral os rebocos recomendados devem verificar os requisitos fundamentais estabelecidos na *Tabela 2.2* (Veiga, M. e Tavares, M., 2002).

Tabela 2.2 - Requisitos dos rebocos a usar em edifícios antigos.

Argamassa	Características mecânicas aos 90 d (MPa)			Aderência ao suporte Ra (MPa)	Comportamento às forças desenvolvidas por retração restringida Fr máx (N)* G (N.m)	Comportamento à água Ensaio clássico			Comportamento térmico Características térmicas	
	Resistência à tração Rt	Resistência à compressão Rc	Módulo de elasticidade E			Permeância ao vapor de água (m)	Coefficiente de capilaridade C (kg/m ² .h ^{1/2})	Porosidade		
Requisito geral, a aplicar quando se conhecem as características do suporte.	Características mecânicas semelhantes às das argamassas originais e inferiores às do suporte.			Resistência ao amarramento (Ra) inferior à resistência inferior à tração do suporte.	Força máxima desenvolvida por retração restringida (Fr máx) inferior à resistência de tração do suporte.	Capilaridade e permeabilidade ao vapor de água semelhantes às argamassas originais e superiores às do suporte.			Porosidade e porosimetria semelhante às das argamassas originais e com maior percentagem de poros grandes que o suporte.	Coefficiente de dilatação térmica e condutibilidade térmica semelhante aos das argamassas originais e à do suporte.
Reboco exterior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000-5000	0,1 - 0,3 ou com rotura coesiva pelo reboco	<70 >40	<0,08	<12; >8	-	-	
Reboco interior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000-5000	0,1 - 0,3 ou com rotura coesiva pelo reboco		<0,10	-			
Juntas	0,4 - 0,8	0,6 - 3,0	3000-6000	0,1 - 0,5 ou com rotura coesiva pela argamassa		<0,10	<12; >8			

2.2 Constituintes das Argamassas

2.2.1 Agregados

Os agregados podem ser classificados como finos ou grossos de acordo com a dimensão das partículas, entre as que passam ou ficam retidas no peneiro nº 4 da série principal ASTM. É assim definido como grosso e fino aquele cuja dimensão for superior e inferior a 4,75mm, respetivamente. O que distingue a argamassa do betão é a dimensão dos agregados a incorporar, sendo no caso do betão é utilizado agregado fino e grosso, e no caso das argamassas apenas fino (Monteiro, D., 2017). De acordo com a sua origem podem ser naturais ou artificiais (Braga, M., 2010). As areias naturais são o resultado da desagregação de rochas mais antigas, podendo ser de sedimentação hidráulica (os constituintes detriticos são transportados pela água) ou de sedimentação eólica (os constituintes detriticos são transportados pelo vento) (Rato, V., 2006). Em Portugal predomina o uso de areias de rio e de mar, convenientemente lavadas, ao

invés das britadas, já utilizadas em maior escala noutros países. Do ponto de vista químico podem ser distinguidas em dois grupos principais: areias siliciosas (quartzosas e graníticas) e calcárias (Margalha, M., 2011). As areias siliciosas são as mais utilizadas e podem ser lavadas ou conter algum teor de argila (Faria, P., 2012). Os agregados das argamassas são geralmente areias (Faria, P., 2012), possuem formato granular, maioritariamente inertes e são classificados de acordo com a sua composição granulométrica (Braga, M., 2010). Estes representam a componente maioritária das argamassas, sendo assim os principais responsáveis pelo comportamento das argamassas. Fatores como a dureza, a forma dos grãos, a granulometria e a porosidade dos agregados afetam o comportamento das argamassas. Os agregados conferem coesão à mistura através da ligação dos seus grãos ao ligante (Machado, S., 2014). De salientar a importância da utilização de uma mistura de areias com dimensões mais grossas e mais finas, de modo a garantir um melhor arranjo das partículas, conduzindo a argamassas com melhores resistências mecânicas, compactidade e trabalhabilidade (Carneiro, J., 2012). Nas obras de construção civil em geral, o que se verifica é a utilização de areias de uma determinada região que, por uma questão de proximidade, torna o material mais económico (Margalha, M., 2011).

2.2.2 Ligante

Um ligante é um produto que ganha presa e endurece, podendo aglomerar outros materiais, tais como agregado grosso e areia. Estes podem ser classificados como ligantes hidrófobos e hidrófilos, podendo os últimos subdividir-se em aéreos ou hidráulicos, como se apresenta na *Figura 2.4* (Coutinho, J., 2006).

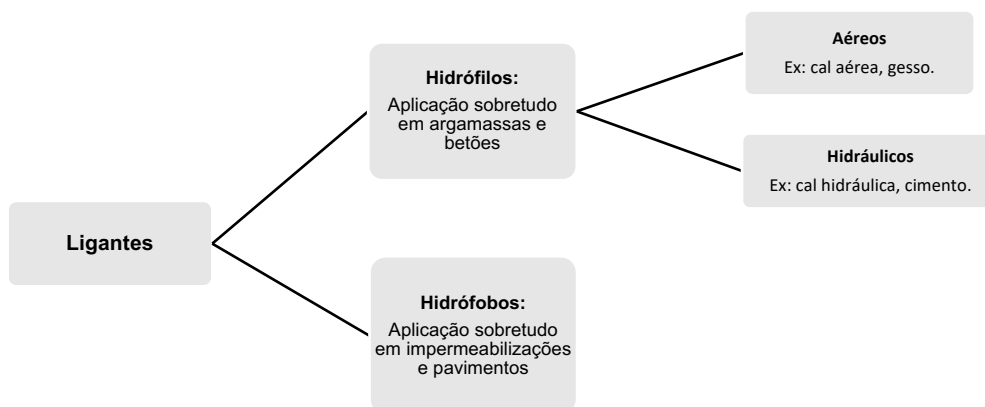


Figura 2.4 - Classificação dos Ligantes.

Um ligante hidrófilo é um ligante que tem afinidade com a água e misturado com ela forma uma pasta que endurece, podendo, como qualquer ligante, aglomerar outros materiais. É constituído por matéria sólida finamente moída. Como foi referido anteriormente, estes podem ser subdivididos em aéreos ou hidráulicos. Um ligante hidrófilo aéreo é um ligante que misturado com a água forma uma pasta que endurece na presença de dióxido de carbono, não resistindo tanto à água, comparativamente ao ligante hidráulico, após o endurecimento. Um ligante hidrófilo hidráulico é um ligante que misturado com a água forma uma pasta que endurece mesmo na ausência de dióxido de carbono ou submerso em água e a pasta endurecida resiste à água (Coutinho, J., 2006).

De acordo com o mesmo autor, um ligante hidrófobo é um ligante em que a água não tem qualquer papel na produção e endurecimento do aglomerante, repelindo-a após o endurecimento. É constituído por substâncias mais ou menos viscosas que endurecem por arrefecimento, por evaporação dos seus dissolventes ou por reação química entre diferentes componentes. Apresentam-se, sob a forma de líquidos viscosos ou soluções resinosas (alcatrão, asfalto, entre outros).

Os ligantes, de acordo com a sua origem, podem ser classificados como minerais ou orgânicos. Os ligantes de natureza mineral são geralmente fabricados a partir de rochas naturais. Os ligantes de natureza orgânica são obtidos a partir de substâncias animais ou vegetais. É nos

ligantes de natureza mineral que encontramos os principais materiais utilizados nas argamassas. Neste grupo inserem-se os ligantes aéreos e os ligantes hidráulicos já referidos anteriormente. Os ligantes de natureza mineral são obtidos a partir de rochas naturais, que conhecemos como calcários ou mármore. As deposições da pedra são frequentemente contaminadas por impurezas que ao longo dos tempos vão fazendo parte integrante das rochas. Em termos mineralógicos os calcários ou mármore podem ser classificados pela maior ou menor presença, em percentagem, de carbonato de cálcio (CaCO_3) (Margalha, M., 2011):

- **Muito puros:** $\text{CaCO}_3 > 98\%$;
- **Puros:** CaCO_3 entre 96 a 98%;
- **Margosos:** CaCO_3 entre 90 a 96%;
- **Margas:** CaCO_3 entre 75% a 90%.

A autora refere ainda que as rochas mais puras são aquelas que dão origem às “cais gordas”. O produto final obtido através da cozedura, faz diferir os materiais entre si devido a três fatores fundamentais: temperatura da cozedura, natureza da rocha e quantidades presentes de sílica, alumina e ferro.

De acordo com a norma *NP EN 459-1: 2015 (IPQ, 2015)*, das cais de construção, as cais aéreas subdividem-se em *cálcicas (CL)* ou *dolomíticas (DL)*. As cais com propriedades hidráulicas podem classificar-se como *cais hidráulicas naturais (NHL)*, *cais hidráulicas (HL)* ou *cais formuladas (FL)* (Monteiro, D., 2017).

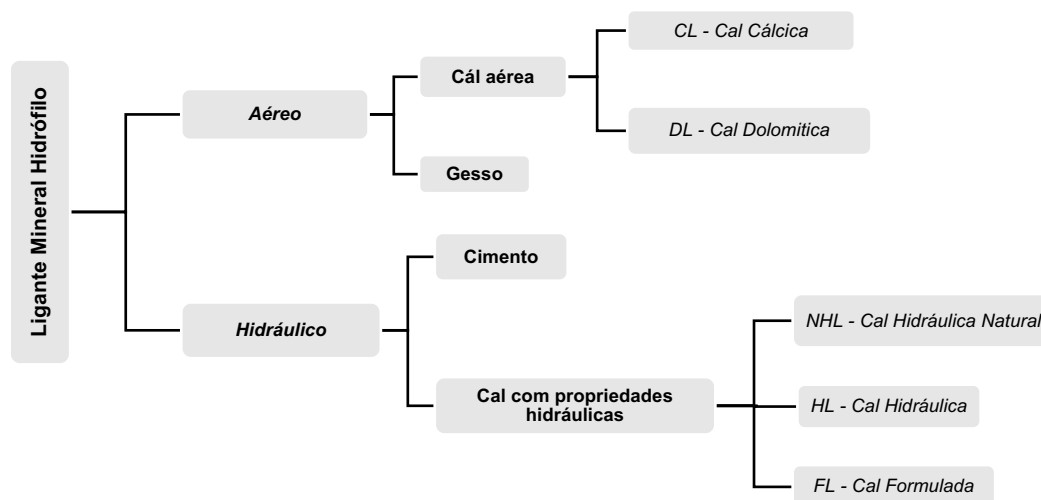


Figura 2.5 - Classificação dos ligantes minerais hidrófilos.

Os ligantes mais correntes em argamassas são os cimentos e as cais. Tradicionalmente, em camadas de acabamento de rebocos interiores é também utilizado o gesso. Atualmente este ligante pode ser utilizado em argamassas pré-doseadas, geralmente em conjunto com outros ligantes. (Faria, P., 2012).

Cais com propriedades hidráulicas

A necessidade de se construir em zonas marítimas e fluviais levou o mundo científico a procurar ligantes capazes de endurecerem debaixo de água. Em 1812, Collet-Descotils, professor francês da *École des Mines*, de Paris, descobre que a cozedura de calcários siliciosos provoca a dissolução da sílica dos ácidos e a sua combinação com a cal, conferindo-lhe propriedades hidráulicas. Graças a este fenómeno, o engenheiro e cientista francês Vicat, (1786-

1861), foi o primeiro a compreender o mecanismo que leva ao endurecimento das cais com pozolanas e dos cimentos (Carneiro, J., 2012).

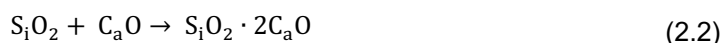
A cal hidráulica é um ligante hidráulico que resulta da cozedura de rochas calcárias (CaCO_3) com teores de argila compreendidos entre 5% e 20%. A presença de argila nos calcários permite a obtenção de silicatos e aluminatos de cálcio, que conferem hidraulicidade à cal hidráulica e, deste modo, capacidade de endurecimento tanto ao ar como em condições de imersão em água (Gomes, A., 2013). O nível de hidraulicidade será tanto quanto a quantidade de argila presente e dependerá da temperatura de cozedura e do tempo a que a mesma ocorre nessa temperatura (Carneiro, J., 2012).

O processo de fabrico da cal hidráulica é semelhante ao da cal aérea. A matéria-prima é britada de modo a se obterem fragmentos de dimensão adequada à fase seguinte, que é a cozedura (Gomes, A., 2013). A preparação da cal hidráulica é feita em fornos, verificando-se as seguintes fases (Coutinho, J., 2006):

- Entre os 500°C e 700°C ocorre a desidratação da argila;
- Por volta dos 850°C ocorre a decomposição do calcário;



- Entre os 1000 e 1100°C ocorre a reação da sílica e alumina da argila com o óxido de cálcio (CaO), originando silicatos (2.9) e aluminatos (2.10).



Quanto mais alta for a temperatura de cozedura (até 1500°C) e a percentagem de argila (sílica e alumina) for maior a reacção é mais completa, isto é, a quantidade de silicatos e aluminatos de cálcio é maior, diminuindo a quantidade de óxido de cálcio livre e no extremo as reacções serão semelhantes às que se passam no fabrico do cimento. Portanto, a cerca de 1000°C a reação é parcial e os produtos formados são uma mistura de silicatos e aluminatos de cálcio com óxido de cálcio livre e ainda um pó inerte que é silicato bicálcico formado por pulverização durante o arrefecimento (657°C). A cal retirada do forno deve ser extinta, não só com o fim de eliminar a cal viva (CaO), mas muito especialmente para provocar a pulverização de toda a cal hidráulica. É este fenómeno que distingue a cal hidráulica do cimento Portland, ou seja, a finura da cal hidráulica é parcialmente obtida por extinção da cal viva e não por moagem (Coutinho, J., 2006).

Segundo a *norma NP EN 459-1:2015 (IPQ, 2015)*, como foi referido anteriormente, das cais de construção, as cais com propriedades hidráulicas classificam-se como *cal hidráulica natural (NHL)*, *cal hidráulica (HL)* e *cal formulada (FL)*. A *cal hidráulica natural (NHL)* resulta apenas da cozedura de calcário margoso com teor de argila entre os 5% e os 20% e não contem adições. Quando o teor de argila se situa entre os 20% e os 40% combinado com temperaturas na ordem dos 1300°C, resulta no cimento natural. A *cal hidráulica (HL)* obtém-se por cozedura de calcário margoso e é constituído por adições tais como cimento, escória de alto-forno, cinzas volantes, files calcários e outros materiais adequados. É um ligante hidráulico constituído por silicatos e aluminatos de cálcio e um baixo teor em hidróxido de cálcio e apresenta a propriedade de fazer presa e endurecer debaixo de água. A *cal formulada (FL)* é uma cal com propriedades hidráulicas constituída maioritariamente por cal aérea e/ou cal hidráulica natural com adição de material hidráulico e/ou pozolanas (Monteiro, D., 2017).

Como já se referiu, a cal hidráulica é composta por uma parte de cal aérea hidratada e por silicatos e aluminatos de cálcio. Ao ser misturada com água, a cal hidratada inicia um processo de presa e endurecimento, semelhante ao já descrito para a cal aérea, ocorrendo a evaporação da água de amassadura e a carbonatação da cal hidratada através da sua reacção

com o dióxido de carbono do ar (Gomes, A., 2013). Na *Figura 2.6*, apresenta-se o ciclo da cal hidráulica natural.

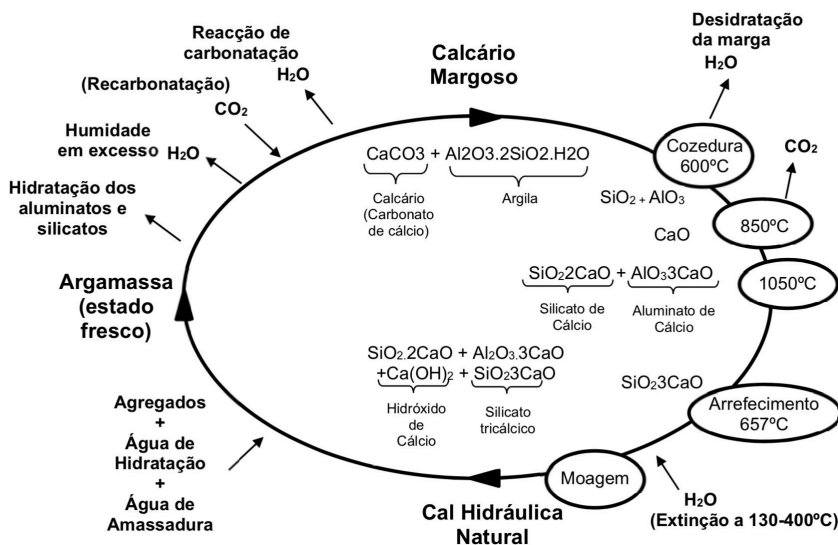


Figura 2.6 - Ciclo da cal hidráulica natural, adaptado de Monteiro, D. (2017).

Na presente dissertação foi utilizada cal hidráulica natural na formulação das argamassas, com vista à realização da campanha experimental.

2.2.3 Água

A água é essencial para a produção das argamassas, conferindo características aglomerantes aos ligantes hidrófilos, sendo responsável pela consistência no estado fresco e pelo processo de endurecimento. Este parâmetro influencia certas propriedades e características de comportamento das argamassas, nomeadamente a porosidade e resistências mecânicas. A quantidade de água da amassadura é determinada tendo em conta o tipo de ligante, o traço da argamassa, a granulometria da areia e a quantidade de água presente no próprio agregado. A água utilizada na formulação de argamassas é sempre superior à necessária para a hidratação do ligante, devido à necessidade de “molhar” os agregados de modo a que esta seja aglutinada pelo ligante, e para conferir a fluidez necessária à aplicação. Por forma a desempenhar adequadamente a sua função, a água utilizada deve apresentar-se isenta de impurezas e de preferência potável, pelo que não deve conter matéria orgânica e terrosa, assim como sais dissolvidos, caso contrário, com o decorrer do tempo poderão surgir eflorescências que degradam o reboco e a pintura. Neste âmbito é de todo desaconselhável o uso de água do mar, pois apresenta um teor de sais elevado (cloretos e sulfatos, principalmente). O excesso de água reduz a resistência da argamassa e a falta desta faz com que apareçam fendas (Machado, S., 2014; Mendonça, B., 2011; Fontes, A., 2007). De referir, que quando a temperatura da água é superior a 30°C o processo de endurecimento da argamassa é acelerado, e que quando as temperaturas são inferiores a 7°C retardam este processo. (Fontes, A., 2007).

2.2.4 Adjuvantes

O objetivo da utilização de agentes adjuvantes é alterar algumas características de uma argamassa por ação física, química ou mecânica, sem, no entanto, modificar o seu aspeto visual (exceto nos casos em que a alteração visual é propositada, exemplo dos pigmentos). A quantidade de adjuvante, que deve ser adicionado durante a amassadura da argamassa, não deve ultrapassar os 5% da massa do ligante (Marques, S., 2005).

Em seguida, apresenta-se os adjuvantes utilizados no fabrico de argamassas descritos na presente dissertação (Fontes, A., 2007; Marques, S., 2005):

- **Plastificantes ou redutores de água**

Melhoram a trabalhabilidade sem que seja necessário aumentar a quantidade de água de amassadura, permitindo reduzir o teor de água e, eventualmente, o teor de ligante, o que resulta numa menor retração da argamassa. A argamassa fica mais densa e com maior resistência mecânica. O seu princípio de funcionamento baseia-se na dispersão das partículas do ligante durante a fase aquosa da argamassa, aumentando a sua superfície específica e facilitando a sua hidratação. Como efeitos secundários surgem o retardamento da presa, e consequentemente, uma redução das resistências iniciais;

- **Impermeabilizantes ou hidrófugos**

São vulgarmente constituídos por partículas insolúveis muito finas que vão ocupar o sistema poroso, como cinzas volantes, escórias ou pumitos, reduzindo a penetração da água no revestimento e abrandando o transporte capilar. Assim, estes adjuvantes melhoram a capacidade de impermeabilização, e consequentemente reduzem o potencial de eflorescência e a degradação devida ao gelo-degelo por restringirem a quantidade de água no sistema. No entanto, é necessário algum cuidado na sua utilização, particularmente em argamassas de cal aérea, pois originam uma redução da permeabilidade ao vapor de água. Quando existe fendilhação não têm, contudo, qualquer efeito. Podem limitar a aderência entre camadas e ao próprio suporte, e o seu efeito tem, nalguns casos, uma durabilidade limitada;

2.3 Argamassa com incorporação de resíduos

2.3.1 Considerações gerais

Na construção civil, pelo menos desde a antiga Roma, são reaproveitados materiais para incorporação em argamassas, com o objetivo de melhorar o comportamento e a durabilidade face à presença de água e a outros agentes agressivos (Faria, P. et al., 2014).

A última metade do século XX ficou marcada por uma enorme mudança no setor da construção. Surgiram novos produtos e, aliados a estes, novas técnicas, novos sistemas construtivos e ritmos de trabalho mais exigentes. Efetivamente surgiram prazos para execução das obras mais reduzidos, o que alterou por completo a forma de construir. Este ritmo efémero conduziu ao uso generalizado de argamassas cimentícias, colocando em desuso a utilização de argamassas de cal e levando ao esquecimento de técnicas e conhecimentos até então utilizados. Foi dado privilégio à construção nova e despromeu-se a reabilitação e conservação dos edifícios existentes. Todavia, principalmente a partir da década de 80, começou a verificar-se uma mudança de mentalidades em Portugal. Tornou-se consensual a necessidade socioeconómica em reabilitar o património edificado (Rodrigues, A. et al., 2014).

As intervenções de conservação e restauro a realizar sobre edifícios antigos devem respeitar o funcionamento original dos revestimentos, caso contrário pode provocar patologias mais graves que as anteriormente encontradas, exigindo assim um bom conhecimento da constituição e funcionamento dos revestimentos antigos (Tavares, M.V. et al., 2003).

A crescente procura de argamassas técnicas que satisfaçam os requisitos impostos pelos edifícios antigos tem conduzido a indústria das argamassas a desenvolver e apresentar várias soluções para a área da reabilitação. Concretamente o estudo do comportamento de argamassas com materiais mais sustentáveis que possam oferecer ao mercado produtos adequados, compatíveis com os edifícios em questão e economicamente viáveis (Rodrigues, A. et al., 2014).

A utilização destes materiais pode também contribuir, para além de aspetos técnicos, ainda em questões de economia e conservação do meio ambiente. A sua utilização para a produção de argamassas, faz com que este processo seja mais sustentável pois podem ser reintroduzidos no processo produtivo grandes quantidades de resíduos que, de outra forma, seriam depositados em aterro (Faria, P. et al., 2014).

Desta forma, a aposta em conseguir obter um comportamento melhorado das argamassas passa pela introdução de novos ou menos correntes materiais na sua constituição, em particular os de origem sustentável. A formulação de uma argamassa para reboco com características térmicas, implica não só um conhecimento profundo das suas matérias-primas, mas também uma avaliação às diferentes combinações de componentes, de modo a otimizar propriedades no estado fresco e endurecido (Brás, A. et al., 2012).

2.3.2 Trabalhos experimentais de referência

Como foi referido anteriormente, a AECO é um dos maiores exploradores de areia e cascalho do planeta. A necessidade de reduzir a utilização destes recursos não renováveis tornou-se um imperativo, dadas as causas ambientais irreversíveis, provocadas pela extração desregulada e ilegal de agregados. Associado às questões ambientais, a necessidade de encontrar argamassas técnicas que cumpram os requisitos necessários, impostos à construção nova e à conservação e restauro do património edificado, conduziu ao desenvolvimento de uma série de estudos por parte da comunidade científica.

Ao longo das últimas duas décadas têm sido desenvolvidos trabalhos relativos à substituição de agregados por resíduos de diversas origens, em argamassas de cal e cimento. Os estudos têm como objetivo final a análise da viabilidade das argamassas. É feita uma caracterização geral e são realizados testes que, por um lado, tem o objetivo de averiguar se as argamassas cumprem os requisitos mínimos para serem utilizados em obra e, por outro, se foram verificadas melhorias ao nível do desempenho térmico.

Na página seguinte, *Tabela 2.3*, é apresentada uma síntese dos trabalhos desenvolvidos, relativos à substituição de agregados nas argamassas por resíduos de diversas origens. Na mesma tabela são referidos os resíduos utilizados, os autores, o tipo de ligante utilizado, o traço das argamassas, as percentagens de substituição de resíduos e a utilização ou não de aditivos e adjuvantes.

Tabela 2.3 - Síntese de estudos de referência de argamassas com incorporação de resíduos.

Resíduo Utilizado	Autor	Ligante	Traço	Integração de resíduo	Aditivos/ adjuvantes	
RCD	Braga, M., (2010)	Cimento	1:4 (Volume)	Substituição de areias por finos de RCD 5/10/15%	-	
	Neno, C., (2010)			Substituição de areias por finos de RCD 20/50/100%		
	Barra, A., (2011)			Substituição integral de areia por agregado reciclado, ou normalizado		
	Machado, S., (2014)			1:3 (Volume)		Substituição integral de areia por agregado reciclado
Madeira	Bederina, M., et al., (2007)	Cimento	1:3 (Volume)	Substituição de areias por aparas 6,87/13,74/20,61/27,47/34,34%	SP 1,5%	
	Corinaldesi, V., et al., (2010)			1:2/1:3 (Volume)	Substituição de areias por aparas e serradura 2,5/5/10%	SP 1,09-1,43%
	Martinho, P., (2017)			1:0,96 (Volume)	Substituição de areia por resíduos de madeira de pellets 10/20/30/40%	SP 0,3-0,55%
	Gil, M., et al., (2010)			1:1 (Volume)	Substituição de areias por serradura 0,5/1/3%	-
	Monteiro, D., (2017)			Cal Hidráulica HL5	1:3 (Volume)	Substituição de areias por resíduos de madeira de pellets de várias granulometrias 18/21/29/32%
Cortiça	Martins, M., (2010)	Cal Hidráulica e Cimento	0,5:0,5:3 (Volume)	Substituição de areias por resíduos de cortiça de várias granulometrias 40/60/80/100%	-	
	Brás, A., et al., (2013)	Cimento	1:3 (Massa)	Substituição de areias por granulado de cortiça 10/20/40/50/70/80%	SP 0,3-2%	
	Melo, H. (2014)		1:3 (Volume)	Substituição de areias por granulado de cortiça 80%	-	
Cerâmica	Matias, G. (2014)	Cal Hidráulica Natural	1:3/1:4 (Volume)	Substituição de areias por resíduos cerâmicos (tijolo, telha e vaso) 5/10/15%	-	
PEAD	Melo, A. (2011)	Cimento	1:6 (Massa)	Substituição de areia por PEAD 10/17/25%	SP 0,24%	

No capítulo 4, *Apresentação e discussão de resultados*, é feita uma análise comparativa entre os resultados obtidos nos ensaios decorrentes da campanha experimental e os resultados de alguns autores, referidos na tabela anterior.

2.4 Resíduos de Madeira

2.4.1 Enquadramento

Desde o início do século passado que o mundo tem sofrido com a exploração dos seus recursos naturais e com a poluição atmosférica. O petróleo, por exemplo, considerada uma fonte tradicional de energia, foi tão continuamente extraído que, atualmente, já se começa a esgotar nos seus poços, apenas um século após o início da sua utilização efetiva (Sá, A., 2009). A perspectiva de esgotamento dos recursos fósseis naturais utilizados como combustível, bem como danos ao meio ambiente, causados pelo processo da sua utilização, resultou na necessidade de se investigar alternativas (Cunha, A., 2013). De uma forma genérica, os estudos desenvolvidos, partem de uma mesma motivação, a necessidade de reduzir a elevada dependência externa de combustíveis fósseis e a urgência em adotar medidas que reduzam as fontes emissoras de gases de efeito de estufa (Saião, M., 2009). Com a ratificação do Protocolo de Quioto assumiu-se o compromisso da redução de emissão dos gases geradores do efeito de estufa (Barbosa, M., 2008).

Neste âmbito a biomassa desempenha um papel importante na substituição de combustíveis fósseis para produção de energia térmica ou elétrica, e em processos de combustão (Fernandes, P., 2015). Pode ser produzida com recurso a várias fontes de matéria-prima tais como resíduos de limpeza de matas e da exploração florestal, desperdícios da indústria da madeira e resíduos agrícolas. Desta forma são aproveitados resíduos que normalmente não são utilizados ou devidamente valorizados. No entanto, também se pode proceder à produção de biomassa dedicada exclusivamente para este fim, como por exemplo árvores de rápido crescimento (Barbosa, M., 2008).

O *Decreto-Lei nº 127/2013* define biomassa como os “produtos que consistem, na totalidade ou em parte, numa matéria vegetal proveniente da agricultura ou da silvicultura que pode ser utilizada como combustível para efeitos de recuperação do seu teor energético, bem como os seguintes resíduos, quando utilizados como combustível” (Fernandes, P., 2015):

- Matéria-prima vegetal resultantes de atividades nos domínios da agricultura e da silvicultura;
- Resíduos vegetais da indústria de transformação de produtos alimentares, se o calor gerado for recuperado;
- Resíduos vegetais fibrosos da indústria de pasta virgem e de produção de papel, se forem coincinerados no local de produção e se o calor gerado for recuperado;
- Matérias-primas de cortiça;
- Resíduos de madeira, com exceção dos resíduos de madeira que possam conter compostos orgânicos halogenados ou metais pesados resultantes de tratamento com conservantes de madeira ou com revestimento, incluindo, nomeadamente, os resíduos de madeira deste tipo provenientes de resíduos de construção e demolição.

Atualmente, a combustão continua a ser a tecnologia de biomassa mais usada mundialmente. No entanto, a biomassa tem um número de propriedades desafiantes que a tornam mais difícil de lidar do que os tradicionais combustíveis fósseis. A peletização é um caminho eficiente para melhorar os combustíveis de biomassa para se obter mais energia e reduzir os custos de armazenamento, manuseamento e transporte (Cunha, A., 2013). Os pellets de madeira, uma das formas mais avançadas de utilização do potencial energético da biomassa florestal, são um combustível sólido granulado de resíduos prensados de madeira. Estes podem ser produzidos por densificação, compactação ou aglomeração da biomassa florestal, proporcionam uma série de vantagens, quando em comparação com a utilização da biomassa no estado natural, principalmente no que se refere ao armazenamento, manuseamento e facilidade de transporte, bem como devido à uniformização do material (Carvalho, N., 2011).

Deste modo, os pellets representam uma boa alternativa como fonte de energia, apresentando diversas vantagens relativamente aos combustíveis fósseis. Combustíveis esses que se apresentam hoje em dia muito instáveis relativamente ao seu preço, com tendência de aumentos sucessivos. Este fator, aliado a políticas de incentivo ao consumo de energias limpas e à procura da independência dos combustíveis fósseis, são razões para a crescente utilização de fontes energéticas alternativas (Barbosa, M., 2008).

Portugal dispõe de um elevado potencial no domínio das fontes de energia renováveis. No campo da biomassa é possível aproveitar uma fração significativa da mesma a partir da vasta área florestal disponível, bem como resultante do setor agrícola. Além de se promover o aproveitamento dos resíduos e reduzir os riscos de incêndio nas florestas, também se valoriza o setor rural, através da criação de novos negócios locais e, conseqüentemente, da geração de novos postos de trabalho, já que a biomassa está disponível em praticamente todas as zonas do país (Barros, C., 2013).

2.4.2 Caracterização

Os pellets surgiram, no cenário mundial, para solucionar a crise do petróleo na década de 70, na América do Norte. Na Finlândia, o estudo da peletização tem origem desde a década de 1980, mas os projetos foram levados a um impasse, principalmente devido à queda nos preços do petróleo e, portanto, à falta de competitividade. O uso de pellets de madeira aumentou acentuadamente na década de 1990, na Suécia, Dinamarca, Áustria e na América do Norte. A subida dos preços do combustível fóssil forçou a busca de um combustível alternativo para ser usado no aquecimento industrial e comercial. Hoje, os pellets oferecem uma forma útil de aquecimento para casas unifamiliares, competindo com os sistemas de aquecimento de petróleo e eletricidade (Cunha, A., 2013).

Estes podem ser produzidos a partir de resíduos de florestas ou de madeira que já foi utilizada ou a partir de material virgem (Cunha, A., 2013). Consistem na densificação da biomassa seca, triturada e moída até à forma de serrim. Apresentam tamanhos normalizados, com 6 ou 8 mm de diâmetro e comprimentos entre os 3,15 e os 45 mm (Barros, C., 2013). A sua densidade deve ser superior a 1,10 kg/dm e devem conter um teor de humidade bastante baixo, menor que 12% (Barbosa, M., 2008).



Figura 2.7 - Pellets comerciais, adaptado de Cunha, A. (2013).

No sentido de proceder à uniformização de critérios e ao desenvolvimento de um sistema de normalização europeu único para os pellets, o *Comité Europeu de Normalização* desenvolveu a norma *EN 14961-2, Solid Biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2: Wood Pellets for non-industrial use*. Em termos dos pellets de madeira a norma *EN 14961-2*, define três classes de qualidade: a *ENplus-A1*, a *ENplus-A2* e a *PT-B*, definindo quais os parâmetros a caracterizar e os valores a cumprir, consoante a classe de qualidade (Carvalho, N., 2011).

2.4.3 Processo de fabrico

A produção de pellets contempla alguns processos, nomeadamente, a trituração de resíduos formando pequenas lascas. De seguida devem ser secas de modo a conter um teor muito baixo de humidade. Estas devem ser moídas formando um serrim bastante fino, por sua vez o serrim é prensado em máquinas indicadas para o efeito, a que se dá o nome de peletizadoras de modo a obter a sua forma pretendida e no final deve-se acondicionar convenientemente (Barbosa, M., 2008).

O processo de produção de pellets, engloba, as seguintes fases (Carvalho, N., 2011):

- Reação e armazenamento de matérias-primas;
- Descasque e destroçamento da madeira;
- Moagem verde;
- Secagem e armazenamento intermédio;

- Moagem seca;
- Peletização;
- Arrefecimento;
- Armazenagem;
- Ensacamento.

1. Receção e armazenamento de matérias-primas

A matéria-prima pode ser madeira em rolos, de pinho ou de eucalipto ou ser madeira já triturada, designada por serrim ou estilha, proveniente essencialmente, da indústria transformadora. Dada a necessidade de assegurar a existência de stocks de matéria-prima, esta é armazenada em locais apropriados (Carvalho, N., 2011).

A limpeza dos resíduos de biomassa é um processo que se reflete diretamente na qualidade do produto final acabado e na conservação dos componentes da linha produção (Barbosa, M., 2008).

2. Descasque e destroçamento da madeira

Tendo em conta que a matéria-prima para a produção de pellets é proveniente de várias fontes, tais como: resíduos de limpeza de matas, exploração florestal, desperdícios da indústria da madeira e resíduos agrícolas, há necessidade de reduzir o seu tamanho para uma maior eficiência e facilidade de processamento (Barbosa, M., 2008).

É neste sector que se inicia o processo de fabrico de pellets, existindo duas linhas distintas (Carvalho, N., 2011):

- **Descasque e destroçamento de rolaria:** é a fase inicial do processo onde se executa o descasque da rolaria e a trituração da madeira pelo denominado destroçador de rolaria. A madeira triturada (estilha) é armazenada e posteriormente utilizada no processo.
- **Destroçamento de biomassa:** trata-se igualmente da fase inicial do processo na qual a biomassa é triturada no denominado destroçador de biomassa para posterior queima com o intuito de produzir energia térmica para o sector de secagem.

3. Moagem verde:

Trata-se da fase na qual a madeira já triturada (estilha) é reduzida a partículas de menor dimensão, ficando semelhante ao serrim. Para o efeito, utilizam-se moinhos de martelos. Posteriormente é armazenada em silos (Carvalho, N., 2011).

4. Secagem e armazenamento intermédio:

A maioria dos desperdícios de madeira é composta por serrim e a estilha provenientes das serrações e das florestas. Como o índice de humidade médio se situa entre os 50 a 60%, a secagem torna-se uma etapa necessária para a preparação dos resíduos a refinar (Sá, A., 2009).

No processo de produção de pellets há a necessidade de reduzir a humidade existente nos resíduos de biomassa para uma humidade de cerca de 10%. Para tal são utilizados secadores (Barbosa, M., 2008).

A secagem é a etapa que consome mais energia na produção de pellets. O secador é o responsável pela extração da água existente na matéria-prima e, conseqüentemente, no serrim produzido pela moagem verde. A energia térmica necessária a este processo provém de uma fornalha na qual é queimada a biomassa anteriormente triturada (Carvalho, N., 2011).

Após a secagem o material pode ser acondicionado em silos em ambiente húmido de forma a conseguir uma temperatura e um índice de humidade necessários para facilitar a sua maleabilidade e manuseamento (Sá, A., 2009).

5. Moagem seca:

Na moagem seca realiza-se a homogeneização dimensional do serrim, fator que promove o aumento da densidade e, conseqüentemente, o poder calorífico dos pellets. Após a secagem, o material, já com os níveis de humidade pretendidos, é novamente triturado para ser homogeneizado relativamente à dimensão, através de moinhos de martelos (Carvalho, N., 2011).

Os moinhos de martelos consistem basicamente num rotor formado por vários discos acoplados a um eixo que por sua vez, os discos são interligados por pinos e estes suportam os martelos. Lateralmente, o rotor é envolvido por telas perfuradas que têm o diâmetro dos seus furos determinados de acordo com a necessidade de granulação do produto a ser moído. O processo inicia-se com a entrada da biomassa na câmara do rotor onde se dá o primeiro contacto com os martelos. Ao receber o impacto, as partículas de biomassa são projetadas contra as telas até que as partículas estejam reduzidas a um tamanho que permita a sua passagem através dos furos da tela (Barbosa, M., 2008).



Figura 2.8 - Moinho de martelos da Calibras, adaptado de Barbosa, M. (2008).

6. Peletização

O processo de peletização efetuado pelas peletizadoras são uma parte muito importante na linha de produção de pellets. Trata-se, portanto, de um processo em que as partículas de biomassa anteriormente trituradas, o serrim, são prensadas e desta forma obrigadas a aglomerar-se, formando os pellets (Barbosa, M., 2008).

Ao compactar, as substâncias resinosas existentes na madeira permitem a aglutinação das partículas de pequena dimensão, alguns milímetros, o que possibilita a obtenção de aglomerados coerentes, fáceis de embalar e transportar (Sá, A., 2009).

Dependendo do material a ser pelletizado, é necessária uma série de ajustes, os mais críticos dos quais ocorrem através da alteração da matriz. Ao alterar-se a dimensão dos orifícios ou o número dos orifícios na matriz irá alterar-se a resistência. A pressão adequada permite que a matéria-prima seja aquecida e amolecida de modo a ser remoldada e compactada na forma desejada (Carvalho, N., 2011).

7. Arrefecimento

Após a extrusão, devido à ação mecânica do sistema de compactação, as pellets estão muito quentes, entre 90°C a 100°C, e são arrefecidas ao ar ambiente ou através de um sistema de refrigeração até atingirem uma temperatura média de 25°C. Este arrefecimento torna a ligação das partículas mais forte e endurece as pellets, contribuindo, assim, para manter a sua qualidade durante o armazenamento (Sá, A., 2009).

Estes arrefecedores podem ter um ou dois tapetes transportadores com simples ou dupla passagem. Os arrefecedores verticais caracterizam-se por requerer uma menor área para a sua instalação, o seu funcionamento é também caracterizado por um fluxo de ar que passa através de uma cama de pellets (Barbosa, M., 2008).

Durante o arrefecimento, os pellets tornam-se rígidos e perdem humidade, de modo que o teor de humidade final, após o arrefecedor, pode chegar aos 6%. No entanto, dado que os pellets estarão sujeitos à humidade do ar envolvente, o seu teor de humidade irá estabilizar entre 8% e 10% (Carvalho, N., 2011).

8. Armazenagem

Após o processo de fabrico acima descrito, os pellets podem ser armazenados em silos, quando a sua distribuição for a granel, ou introduzidos em máquinas de pesagem e de embalagem automática, quando forem comercializados em sacos. Desde que armazenados em local seco, os pellets não se degradam com o tempo (Carvalho, N., 2011).

2.4.4 Produção mundial

A produção industrial de pellets teve início nos Estados Unidos da América aquando das crises do petróleo, entre 1973 e 1979, tendo-se este combustível constituído como uma das alternativas ao petróleo. No entanto, quando o preço do petróleo baixou, o consumo de pellets diminuiu também. A partir da década de 1990, tem ocorrido o aumento da produção de pellets, devido à promoção por parte de alguns países, através de incentivos fiscais, como medida contra o aquecimento global e a dependência energética (Carvalho, N., 2011).

Em termos ambientais, os pellets são neutros em emissões de CO₂, e como são produzidos localmente as emissões do transporte são reduzidas. Os pellets são mais baratos que os combustíveis fósseis no aquecimento residencial e mais confortáveis que outras energias renováveis, uma vez que o seu sistema é contínuo e independente de condições atmosféricas, ao contrário dos sistemas de energia solar. Outra grande vantagem do mercado de pellets é a acessibilidade, uma vez que não precisa de uma rede de distribuição como o gás natural, por isso, consegue penetrar em mercados com maior facilidade (Gonçalves, E., 2016).

Estima-se que o crescimento global da biomassa utilizada se situa entre 112 e 220 mil milhões de toneladas por ano. O uso de biomassa como combustível para gerar energia tem vindo a crescer em muitas partes do mundo, sendo que contribui atualmente entre 9% e 13% da energia mundial (Fernandes, P., 2015).

Os pellets são cada vez mais um mercado em crescimento, principalmente na Europa. O paradigma atual é de rutura com os combustíveis fósseis devido aos seus efeitos nefastos que cada vez mais são uma realidade no nosso dia a dia. Assim sendo, a consciencialização desta problemática mundial pode potenciar o consumo de pellets, que substitui os combustíveis fósseis no aquecimento doméstico (Gonçalves, E., 2016).

Na Europa existem atualmente mais de 450 empresas produtoras de pellets. O Reino Unido, Dinamarca, Suécia e Alemanha são os países onde o consumo deste combustível se irá acentuar mais nos próximos anos, muito devido à volatilidade e ao aumento do preço dos combustíveis fósseis. Os maiores exportadores de pellets são as repúblicas do Báltico, a

Finlândia, a Rússia, a Polónia e o Canadá. O Canadá estima que cerca de 60% da sua produção seja utilizada em centrais termoelétricas europeias (Carvalho, N., 2011).

Em Portugal, o aparecimento das instalações de produção de Pellets datam do ano 2005. Em 2011, mais de 90% dos pellets produzidos foram exportados, principalmente para o Norte da Europa, sendo o consumo anual em 2008 estimado de 10 mil toneladas. O território português é muito rico em matérias-primas que podem ser utilizadas como fontes de biocombustível, sendo que quase um terço do território é floresta. Cerca de 4,3 milhões de metros cúbicos de volume sólido de madeira por ano, pode ser usado como combustível. O principal problema da falta de consumo interno tem sido a falta de reconhecimento por parte dos clientes de pequena escala que os pellets são uma boa alternativa de combustível. Apesar dos benefícios atuais na aquisição de novos equipamentos para a energia renovável, estes são insuficientes para cobrir a enorme discrepância de investimento de capital no aquecimento pellets quando comparado com gás natural (Cunha, A., 2013).

2.4.5 Aplicações e vantagens

De acordo com Cunha, A. (2013) o uso de pellets pode ter três aplicações distintas:

- **Produção de calor comercial e residencial:** fornos de padarias, fornos cerâmicos, aquecimento de estufas, aquecimento de moradias e de prédios, aquecimento central e das águas sanitárias de casas e empresas;
- **Produção de calor e eletricidade:** cogeração;
- **Produção de eletricidade:** através de combustão dedicada ou gaseificação e centrais termo elétricas.

O potencial mercado consumidor de pellets será composto essencialmente pelo sector doméstico e edifícios públicos, onde o consumo de energia térmica para aquecimento é bastante elevado, com principal destaque para piscinas, escolas, hospitais, pavilhões gimnodesportivos, hotéis, entre outros. No sector da indústria a sua utilização é também bastante significativa, onde a necessidade de energia térmica para aplicação em processos, como por exemplo: de cura, secagem, cozedura ou aquecimento, que implicam grandes consumos energéticos. Assim sendo, indústrias do sector alimentar, da cerâmica, do sector agrícola ou metalúrgico, entre outros, são sectores de potencial utilização de pellets. No sector doméstico e em edifícios públicos a utilização de pellets para produção de energia térmica passa pela implementação de sistemas adequados para o efeito. Estes podem ser utilizados como substitutos de equipamentos já existentes, onde são utilizados outros combustíveis. Atualmente existe a possibilidade de adaptação desses equipamentos para o funcionamento a pellets, nomeadamente caldeiras com funcionamento a gásóleo. De igual modo, nos diferentes sectores industriais a alteração de sistemas que funcionam com outros combustíveis para funcionamento a pellets é também possível em alguns casos (Barbosa, M., 2008).

Existem exemplos de projetos bem-sucedidos que incluem o aquecimento de estufas, de pequenos estabelecimentos de ensino, de empresas ou prédios de escritórios e de complexos habitacionais (os sistemas coletivos de aquecimento urbano são uma realidade comum em diversos países) (Carvalho, N., 2011).

Desta forma, podem ser enumeradas várias vantagens provenientes da utilização de pellets em detrimento da utilização de combustíveis não renováveis:

- Os pellets de madeira são o combustível sólido mais limpo. Devido às caldeiras de combustão altamente eficientes desenvolvidas ao longo dos últimos anos, a emissão de compostos químicos, como óxidos de nitrogénio, ou compostos orgânicos voláteis, é muito reduzida, o que torna os pellets uma das formas de aquecimento menos poluentes disponíveis atualmente no mercado (Barbosa, M., 2008);

- A combustão é muito mais eficiente e liberta muito menos fumo que a lenha normal. Isto é devido ao baixo teor de humidade dos pellets, resultado do tratamento efetuado na transformação de pellets (Barbosa, M., 2008);
- O seu tamanho reduzido permite dosear unidade a unidade a quantidade que vai ser queimada para produção de energia (Barbosa, M., 2008);
- Uma tonelada de pellets de madeira produz sensivelmente a mesma energia que uma tonelada e meia de madeira. Assim sendo, os pellets de madeira ocupam muito menos espaço de armazenamento e de transporte (Barbosa, M., 2008);
- Redução da dependência energética em reação aos combustíveis fósseis como o gás e o petróleo representa um ponto muito importante, devido ao crescente aumento dos preços destes combustíveis e à diminuição das suas reservas (Barbosa, M., 2008; Helena, S. e Morais, C., 2012);
- Aposta nos recursos endógenos como forma de criação de riqueza. Cumpre os três grandes objetivos da sustentabilidade: coesão social, desenvolvimento económico e proteção do ambiente (Helena, S. e Morais, C., 2012);
- Aumento do número de empregos criados, diretos e indiretos (para produção, colheita e utilização), e do crescimento industrial. Estimula a criação e/ou dinamização de outras empresas locais e regionais, nomeadamente no sector dos transportes de carga e dos serviços florestais (Helena, S. e Morais, C., 2012);
- A matéria-prima para a produção de pellets apresenta uma grande disponibilidade e versatilidade. A matéria-prima pode ser proveniente de diversas fontes, pode provir de resíduos florestais, industriais ou agrícolas e de plantações dedicadas (Barbosa, M., 2008);
- É a única energia renovável que pode ser convertida em combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos, por meio de tecnologias de conversão conhecidas e nas três principais formas energéticas: eletricidade, calor e combustível (Helena, S. e Morais, C., 2012);
- Redução dos riscos de incêndios florestais. Como uma das fontes de matéria-prima para a produção de pellets é os resíduos provenientes da limpeza das florestas, este fator contribui significativamente para a redução do risco de incêndios (Barbosa, M., 2008; Helena, S. e Morais, C., 2012);
- Ajuda a manter a saúde da floresta através de uma melhor gestão, que por sua vez fornece o habitat para animais selvagens, e reduzem a erosão dos solos, o escoamento de nutrientes, e protegem os ecossistemas aquáticos (Helena, S. e Morais, C., 2012);
- Preços mais atrativos quando comparados com outros combustíveis. O uso de resíduos florestais e também dos desperdícios provenientes da indústria da madeira permite a obtenção da matéria-prima a baixos custos (Barbosa 2008; Helena, S. e Morais, C., 2012);
- O transporte e armazenamento de pellets são tarefas muito mais simples, devido à sua grande densidade e ao baixo risco de inflamação (Barbosa, M., 2008).

Como foi referido, além dos efeitos ambientais positivos, existem também diversos aspetos económicos e sociais envolvidos, nomeadamente a criação de postos de trabalho resultantes da colheita, tratamento e transporte da biomassa. A longo prazo, por cada Gigawatt-hora gerado, a bioenergia poderá permitir a geração de 1,75 novos empregos, surgindo como fonte de criação de uma rede de emprego significativa, contribuindo nomeadamente para o desenvolvimento sustentável de áreas rurais na União Europeia e na maior parte dos outros países (Barbosa, M., 2008).

3 Campanha experimental

3.1 Introdução

O presente capítulo descreve a campanha experimental relativamente ao estudo efetuado sobre argamassas termicamente melhoradas, através da substituição de agregados por resíduos de madeira com e sem o tratamento prévio com hidrófugo (siloxano).

A campanha experimental contemplou uma fase preliminar com o intuito de se testarem as argamassas a formular na fase seguinte. Durante a campanha experimental preliminar foram analisados diferentes traços (ligante:agregado), diferentes composições ao nível das percentagens de resíduos incorporados, a utilização de superplastificante líquido ou em pó, o traço da solução aquosa de siloxano nos resíduos de madeira e seus efeitos nas argamassas. Depois desta análise foram realizados provetes para atestar a integridade e capacidade dos provetes resistirem aos ensaios previstos. Tendo por base o conhecimento adquirido na campanha experimental preliminar procedeu-se à planificação da campanha experimental.

De referir que, quer a campanha experimental preliminar, quer a campanha experimental foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Engenharia Civil (DEC) na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL).

3.2 Planificação da campanha experimental

Para a realização da campanha experimental foram formulados sete tipos de argamassas com o traço volumétrico de 1:2 (ligante:agregado), seis delas com incorporação de resíduos de madeira e a restante sem resíduos de madeira, denominada por referência. Das seis argamassas com resíduos de madeira, em três foram utilizados resíduos de madeira previamente hidrófugados com uma solução de siloxano, nas restantes foram apenas introduzidos os resíduos de madeira sem qualquer alteração. Relativamente aos primeiros, foi realizada uma solução de hidrófugo através da diluição em água na proporção em massa de 2:1 (hidrófugo:água). A mistura de resíduos de madeira com a solução aquosa de siloxano, referida anteriormente, foi realizada na proporção de massa de 1:1 (resíduos de madeira:solução de hidrófugo). A solução foi posteriormente colocada em estufa de forma a evaporar o solvente do hidrófugo (siloxano). Em todas as argamassas foi introduzido um superplastificante em pó, na quantidade de 0,5% da massa do ligante. A campanha experimental foi repartida em três fases distintas descritas em seguida.

Primeira fase da campanha experimental: a primeira fase refere-se à obtenção e caracterização dos materiais, que engloba a análise granulométrica da areia, a trituração e peneiração dos pellets e a determinação das respetivas baridades dos constituintes das argamassas. Através do módulo de finura, foi formulada uma mistura de resíduos de madeira granulometricamente idêntica à areia, de modo a que, quando substituída, não se verificasse uma variação acentuada na constituição e dimensão das partículas. É feita então uma análise dos ensaios necessários para a caracterização das argamassas, tanto no estado fresco como no estado endurecido, bem como o tipo e número de provetes a realizar. Após a determinação das baridades são convertidos os traços de volume em massas e determinadas as quantidades de material necessárias para a campanha experimental. Ainda nesta fase, foi identificado e quantificado o tipo de material necessário para se realizarem os respetivos ensaios.

Segunda fase da campanha experimental: prende-se com a formulação de argamassas e a sua caracterização no estado fresco. Para a caracterização no estado fresco foram realizados os seguintes ensaios:

- Consistência por espalhamento;
- Retenção de água;
- Massa volúmica aparente no estado fresco.

Terceira fase da campanha experimental: por último, na terceira fase, são realizados os provetes e os ensaios para a caracterização das argamassas no estado endurecido. Após os 28 dias, tempo de cura dos provetes com propriedades hidráulicas, foram realizados os seguintes ensaios:

- Massa volúmica aparente geométrica;
- Módulo de elasticidade dinâmico;
- Resistência à tração por flexão;
- Resistência à compressão;
- Massa volúmica aparente e porosidade aberta;
- Resistência aos cloretos;
- Condutibilidade térmica;
- Aderência;
- Permeabilidade sob baixa pressão;
- Absorção de água por capilaridade;
- Secagem.

Para a caracterização das argamassas no estado endurecido foram realizados três tipos de provetes, sendo eles prismáticos, bolachas e sobre suporte cerâmico (tijolos) de acordo com o tipo de ensaio a realizar, perfazendo um total de cento e cinco provetes. No esquema seguinte é apresentada a ordem cronológica dos onze ensaios, mencionados anteriormente, referindo o tipo e o número de provetes testados nas sete argamassas, bem como o total de provetes ensaiados.

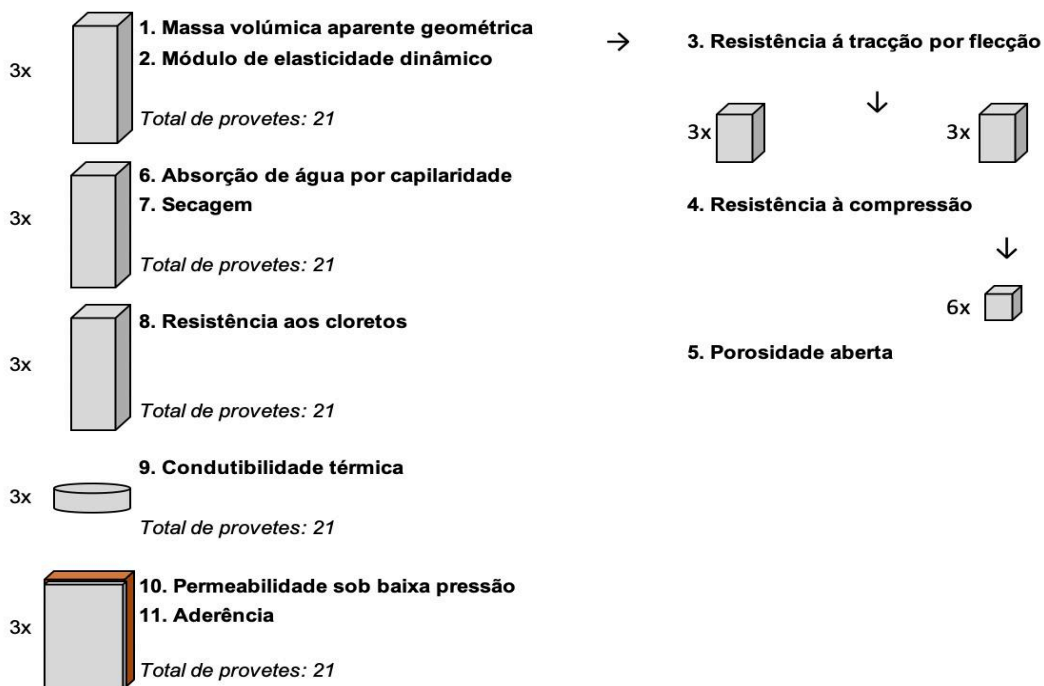


Figura 3.1 - Esquema de organização de ensaios.

3.3 Caracterização dos materiais

3.3.1 Processo de obtenção dos resíduos de madeira

Como foi referido anteriormente, a biomassa pode ser obtida com recurso a várias fontes de matéria-prima, tais como: resíduos de limpeza de matas e da exploração florestal, desperdícios da indústria da madeira e resíduos agrícolas. Portugal é o espelho da falta de aproveitamento deste recurso, apesar do extenso território florestal que possui. Em resultado, nos últimos anos, o território português tem sido devastado pelos incêndios, com elevadas perdas materiais e vidas humanas. A solução que a presente dissertação pretende reforçar, passa pela aplicação da matéria prima (resultante da limpeza das florestas e matas) em argamassas termicamente melhoras, i.e, argamassas cujo agregado é substituído parcialmente por materiais “sustentáveis” (por exemplo, resíduos de madeira). Devido à impossibilidade de recolha de matéria prima para a obtenção dos resíduos de madeira, recorreu-se à moagem dos pellets de madeira, cuja caracterização foi realizada no *Capítulo 2.4*. A moagem da matéria prima, presente na *Figura 3.2*, tem como objetivo a formulação de uma mistura de resíduos de madeira granulometricamente idêntica à da areia utilizada.



Figura 3.2 - Embalagem comercial de Pellets de madeira.

A moagem da amostra foi realizada em duas fases, através de duas máquinas diferentes. A primeira fase compreende a redução da amostra em granulometria muito grossa a intermédia. Na segunda fase é obtida uma granulometria fina a muito fina. Na primeira fase foi utilizada uma máquina trituradora Retsch, do Departamento de Ciências da Terra da FCT-UNL, apresentada na *Figura 3.3*.



Figura 3.3 - Máquina de moagem Retsch.

Parte do material resultante da moagem pela máquina trituradora Retsch é novamente triturada para a obtenção de granulometria fina a muito fina. Para a obtenção desta

granulometria, na segunda fase foi utilizada uma máquina *Retsch SK 100* (Figura 3.4), do Departamento de Engenharia Civil da FCT-UNL.



1: Interruptor; 2: Manivela de acesso ao interior da câmara de moagem; 3: Câmara de moagem; 4: Orifício de entrada para a colocação do material para moagem; 5: Orifício de saída do material moído.

Figura 3.4 - Esquema com os vários componentes da máquina de moagem Retsch SK 100.

A câmara de moagem tem incorporada lâminas ajustáveis e diferentes tipos de filtros que permitem a passagem de granulometrias mais grossas ou mais finas, consoante o seu diâmetro de abertura. Para o processo de moagem, foi feito o ajuste das lâminas e do filtro a utilizar. Foi repetido o processo com diferentes regulações nas lâminas e utilizadas várias aberturas de filtros, de forma a obter-se granulometrias finas a muito finas.

Em seguida, foram realizadas peneirações, com peneiros da *Série ASTM*, para a divisão das várias granulometrias obtidas no processo de moagem e colocados em sacos de acordo com o peneiro em que ficaram retidos. O número e abertura de peneiros utilizados é apresentado na *Tabela 3.1*:

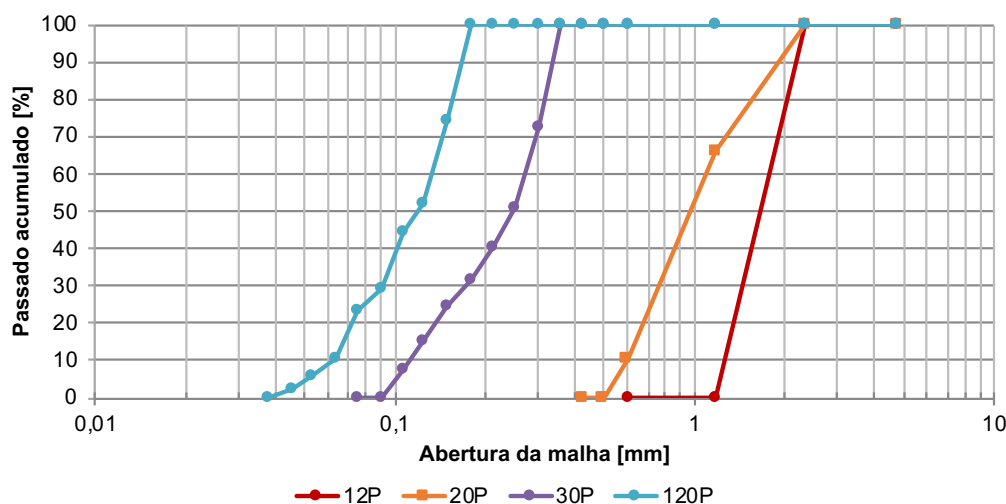
Tabela 3.1 - Número e abertura de malha dos peneiros utilizados na peneiração dos pellets.

Número do peneiro	Abertura da Malha [mm]
1" 1/2	38,1*
1"	25,4
3/4"	19,1*
3/8"	9,51*
nº 4	4,75*
nº 8	2,36*
nº 16	1,18*
nº 30	0,6*
nº 40	0,425
nº 45	0,355
nº 50	0,3*
nº 60	0,25
nº 70	0,212
nº 80	0,18
nº 100	0,15*
nº 140	0,106
nº 200	0,075*
nº 400	0,038
Refugo	
* Peneiros da série principal	

Com vista à substituição dos agregados por resíduos de madeiras nas argamassas incorporadas com pellets de madeira, foram utilizadas as curvas granulométricas e respetivas

nomenclaturas presentes na dissertação de Monteiro, D. (2017). Em baixo são apresentadas as várias nomenclaturas, respetivas curvas granulométricas e módulos de finura:

- 12P - Resíduos de madeira com granulometria grossa;
- 20P - Resíduos de madeira com granulometria intermédia;
- 30P - Resíduos de madeira com granulometria fina;
- 120P - Resíduos de madeira com granulometria muito fina.



	12P	20P	30P	120P
MF	4,000	4,000	1,030	0,260
D [mm]	4,750	4,750	0,355	4,750
d [mm]	1,180	1,180	0,090	0,045

Figura 3.5 - Curvas granulométricas e módulos de finura dos resíduos de madeira 12P, 20P, 30P, 120P, adaptado de Monteiro, D. (2017).

Através dos módulos de finura e do conhecimento das percentagens retidas em cada peneiro das misturas 12P, 20P, 30P e 120P foram elaboradas duas misturas de resíduos de madeira granulometricamente equivalentes ao agregado utilizado, ou seja, com módulo de finura idêntico, com e sem tratamento de hidrófugo. A análise granulométrica é apresentada no capítulo seguinte.

3.3.2 Análise granulométrica dos agregados

O agregado utilizado na formulação das argamassas foi areia amarela para reboco da areipor®. A análise granulométrica dos agregados foi feita com base na norma NP EN 933-1:2014 (IPQ, 2014). Em seguida apresenta-se o procedimento realizado.

Procedimento:

Colocação da amostra num tabuleiro metálico a levar à estufa ventilada até massa constante. Entende-se por massa constante quando a diferença entre duas pesagens consecutivas, em intervalos de 24h, não for superior a 0,1% da massa do provete. Retirar o tabuleiro da estufa e deixar arrefecer até à temperatura ambiente. Com a amostra à temperatura ambiente proceder ao seu esquartelamento em três partes. Colocação no agitador mecânico, por ordem decrescente de abertura de malha os peneiros da Série ASTM que termina com o

refugo, *Tabela 3.2*. Pesagem e colocação de uma das partes da amostra no peneiro superior, ou seja, de maior malha e respetiva tampa. Após o aperto manual da série de peneiros ao agitador, este é acionado durante 15min. Quando terminada a peneiração, são pesados e registados numa tabela a massa retida em cada peneiro, incluindo o recipiente denominado por refugo.

Tabela 3.2 - Número e abertura de malha dos peneiros ASTM utilizados na peneiração do agregado.

Número do peneiro	Abertura da Malha [mm]
3/8"	9,51*
nº 4	4,75*
nº 8	2,36*
nº 16	1,18*
nº 30	0,6*
nº 40	0,425
nº 45	0,355
nº 50	0,3*
nº 60	0,25
nº 70	0,212
nº 80	0,18
nº 100	0,15*
nº 140	0,106
nº 200	0,075*
nº 400	0,038
Refugo	
* Peneiros da série principal	



Figura 3.6 - Peneiração do agregado.



Figura 3.7 - Diferentes granulometrias da areia amarela para reboco areipor®.

Através dos resultados obtidos, é construída a curva granulométrica e determinada a máxima dimensão do agregado (D), a mínima dimensão do agregado (d) e o módulo de finura (MF). A curva granulométrica é a representação gráfica que traduz o passado acumulado, em percentagem, em cada peneiro relativo à massa total. A máxima dimensão do agregado (D) representa o peneiro de menor abertura em que passa uma quantidade de agregado superior a 90%. Por sua vez, a mínima dimensão do agregado (d) representa o peneiro de maior dimensão em que passa uma quantidade inferior ou igual a 5%. O módulo de finura (MF) traduz a dimensão do peneiro médio, que representa o agregado, e calcula-se através da soma dos retidos acumulados nos peneiros da série principal (com exceção do peneiro nº 200), dividido por 100, como se pode verificar pela *equação 3.1*.

$$MF = \frac{\% \text{ de retido acumulado da série principal (excepto peneiro nº 200)}}{100} \quad (3.1)$$

Para uma determinação mais exata do módulo de finura (MF), foram analisadas duas amostras de dois sacos, denominados por *Saco 1* e *Saco 2*, de areia amarela para reboco da *areipor®*, apresentados em seguida:

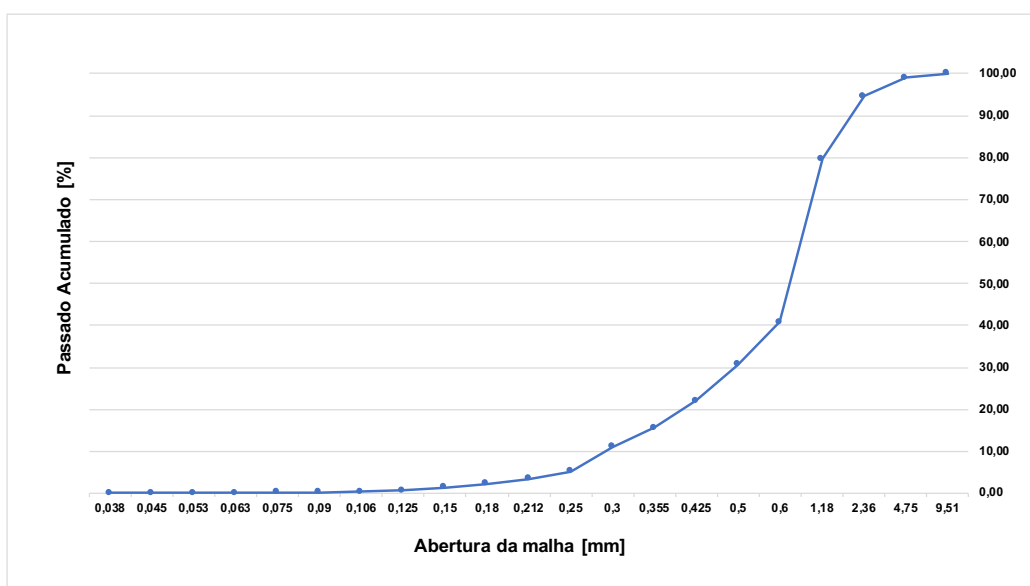


Figura 3.8 - Curva granulométrica do saco 1 da areia amarela para reboco areipor®.

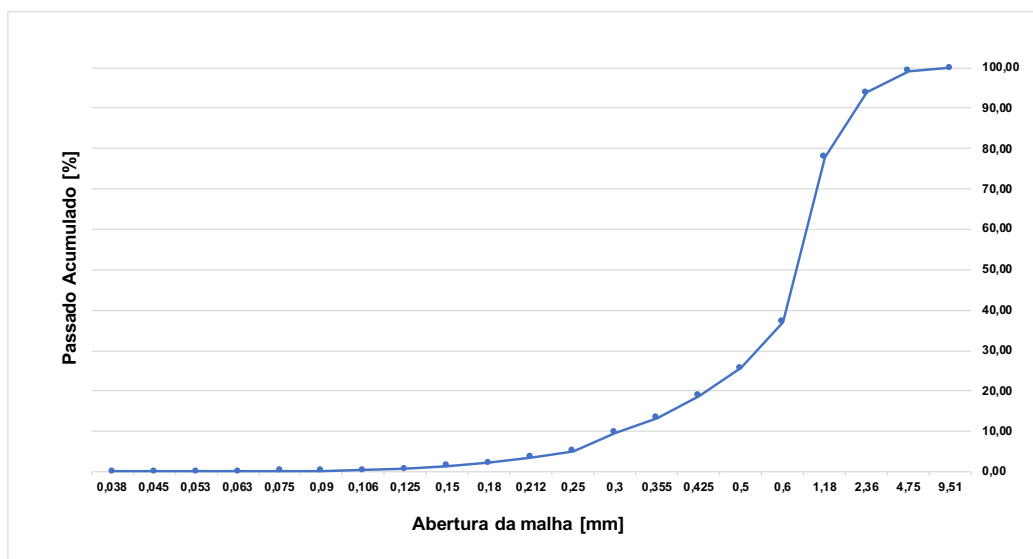


Figura 3.9 - Curva granulométrica do saco 2 da areia amarela para reboco areipor®.

Na *Tabela 3.3*, são apresentados os parâmetros granulométricos das duas amostras analisadas.

Tabela 3.3 - Número e abertura de malha dos peneiros ASTM utilizados na peneiração do agregado.

Areia	MF	D [mm]	d [mm]
Saco 1	3,27	2,36	0,212
Saco 2	3,19	2,36	0,212

Obtiveram-se valores do módulo de finura (*MF*) idênticos e resultados exatamente iguais para a máxima e mínima dimensão do agregado, *D* e *d*, respetivamente. Tal era espetável devido ao facto de ser uma areia comercial, com requisitos técnicos definidos e devidamente caracterizada. O valor do módulo de finura (*MF*) utilizado foi de 3,2, resultante da média aritmética do módulo de finura do *Saco 1* e *Saco 2*.

3.3.3 Baridade

A baridade foi realizada com base na norma *NP EN 1097-3:2002 (IPQ, 2002)* e na ficha de ensaio *Fe 15 (FCT/UNL, 1996)*. Esta traduz-se na determinação da massa de materiais soltos ou granulares que preenchem um recipiente de volume conhecido. É através da baridade que são convertidos os traços volumétricos em quantidades em massa. Em seguida, apresenta-se o procedimento realizado com vista à sua determinação.

Procedimento:

Com vista à determinação do volume do recipiente metálico pesa-se o recipiente metálico vazio (m_0) e a placa de vidro (m_1). Enche-se o recipiente metálico com água à temperatura ambiente. Rasar a água em excesso e tapar com a placa de vidro tendo cuidado para retirar as bolhas de ar e determinar a massa do conjunto (m_2). Determinar o volume do recipiente pela *equação 3.2*. Colocação da amostra num tabuleiro metálico a levar à estufa ventilada até massa constante. Após o arrefecimento da amostra procede-se à sua redução através do esquartelamento em três partes. Introdução da amostra esquartelada no funil obturado. A extremidade do funil dista 5cm do topo do recipiente metálico. Desobturar o funil de forma a amostra preencher o recipiente. Com a régua rasar o excedente de material solto ou granular e pesar o conjunto (m_3). Determinar a baridade através da *equação 3.3*.

$$V = \frac{m_2 - (m_1 + m_0)}{\rho_{H_2O}} \quad (3.2)$$

$$Ba = \frac{m_3 - m_0}{V} \quad (3.3)$$

Onde,

$V [m^3]$ – Volume do recipiente metálico cilíndrico;

$m_0 [kg]$ – Massa do recipiente metálico cilíndrico;

$m_1 [kg]$ – Massa da placa de vidro quadrangular;

$m_2 [kg]$ – Massa do recipiente metálico cheio de água tapado pela placa de vidro;

$m_3 [kg]$ – Massa da amostra e do recipiente metálico cilíndrico;

$\rho_{H_2O} [kg/m^3]$ – Massa volúmica da água a 20°C que corresponde a 998 kg/m³.



Figura 3.10 - Ensaio da baridade.

As baridades obtidas dos materiais soltos ou granulares que compõem as argamassas a serem formuladas são apresentados na *Tabela 3.4*.

Tabela 3.4 - Baridades dos materiais soltos ou granulares que compõem as argamassas.

Material	Baridade Média [kg/dm ³]	Desvio Padrão [kg/dm ³]
Areia amarela	1,4767	0,0059
Cal Hidráulica NHL5	0,7943	0,0030
RM sem Hidrófugo	0,4708	0,0006
RM com Hidrófugo	0,3315	0,0010

3.3.4 Água

Na formulação das argamassas foi utilizada água potável proveniente da rede pública que abastece os laboratórios do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL).

Foi utilizada a quantidade necessária para que ocorra a hidratação do ligante de forma a obter-se um grau de trabalhabilidade adequado a cada tipo de argamassa. Esta noção tem por base o conhecimento de que em excesso a água reduz a resistência da argamassa e que a sua falta se traduz no aparecimento de fendas (Machado, S., 2014; Mendonça, B., 2011; Fontes, A., 2007). A temperatura da água foi um fator tido em conta, não tendo sido utilizada água com temperatura inferior a 7°C e superior a 30°C, como refere Fontes, A. (2007).

3.3.5 Ligante

O ligante utilizado na formulação de argamassas presentes na dissertação foi a cal hidráulica natural, NHL5, produzida pela *SECIL Martingança* na Fábrica da Macieira.

A ficha técnica do produto, refere que a *Secil NATURAL LIME NHL 5* é uma cal hidráulica natural, constituída por silicatos e aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio, obtida por cozedura de calcário margoso, seguida de moagem. Esta é classificada como NHL5, segundo a *NP EN 459-1 (IPQ, 2015)*.

Após a abertura do saco, houve o cuidado de o acondicionar, fechando-o após a sua utilização e mantendo-o longe de fontes de calor e humidade. Desta forma foram garantidas as suas propriedades e características aquando da sua utilização na formulação das argamassas.

3.3.6 Superplastificante

Na formulação das argamassas do presente trabalho, foi utilizado o superplastificante em pó, ViscoCrete 225 powder produzido pela Sika® na quantidade de 0,5% da massa do ligante.

Como é referido na ficha técnica do produto, o ViscoCrete 225 powder é um superplastificante de terceira geração, à base de policarboxílico em pó, indicado para a indústria do betão. Possui um mecanismo de ação em que os grânulos de cimento são dispersos, obtendo-se uma capacidade de separação e dispersão mais elevadas. Apresenta ainda uma evidente capacidade de reduzir a quantidade de água utilizada.

3.3.7 Siloxano

O Siloxano é um tipo de hidrófugo, composto na sua maioria, por ligações silico-oxigénio. Neste âmbito, foi utilizado o hidrófugo à base de solução de silicone (PDMS), Sinkagard® 700S, produzido pela Sika® na formulação de argamassas com hidrófugo.

Como é referido na ficha do produto, o Sinkagard® 700S é uma impregnação repelente de água monocomponente para superfícies absorventes, que penetra facilmente nos poros abertos da superfície, proporcionando uma repelência de água duradoura, sem alterar a capacidade de difusão de vapor da superfície. Esta está em conformidade com os requisitos da norma NP EN 1504-2:2004 (IPQ, 2004) para impregnações hidrofóbicas, com profundidade de penetração de Classe I.

Como se mencionou anteriormente, para a utilização do siloxano foi realizada uma solução aquosa através da sua diluição na proporção em massa de 2:1 (hidrófugo:água). A mistura de resíduos de madeira com a solução aquosa de hidrófugo foi efetuada na proporção de massa de 1:1 (resíduos de madeira: solução de hidrófugo).

3.4 Produção das argamassas

3.4.1 Composição das argamassas

Na presente dissertação foram formuladas sete tipos de argamassas de revestimento, seis delas com incorporação de resíduos de madeira e a restante sem resíduos de madeira, denominada por referência.

Após a campanha experimental preliminar, foi definido um traço volumétrico para todas as argamassas de 1:2 (ligante agregado) e as percentagens de substituição de 10%, 20% e 40% para as argamassas com resíduos de madeira incorporados.

No ensaio, procurou-se obter os valores de espalhamento para este tipo de argamassas, apresentados pela norma EN 1050-3:1999 (CEN, 1999), ou seja, um espalhamento de 175 ± 10 mm. De forma a promover uma melhor trabalhabilidade na argamassa com uma menor quantidade de água foi introduzido um superplastificante em pó, na quantidade de 0,5% da massa do ligante. Através do ensaio de espalhamento foi determinado a relação água-ligante (a/l) de cada argamassa. Para tal, foi definido um valor base de água-ligante (a/l) e realizou-se o ensaio de espalhamento de modo a verificar se as argamassas cumprem os valores definidos pela norma (175 ± 10 mm). Caso não se verificasse o resultado dentro da gama de valores definido pela norma, aumentava-se ou diminuía-se a quantidade de água introduzida na argamassa e realizava-se de novo o ensaio.

Na página seguinte, Tabela 3.5, são apresentadas as composições em termos de percentagem de resíduos de madeira, utilização ou não de hidrófugo, relação água-ligante (a/l) e a quantidade de superplastificante utilizado na formuladas das argamassas na dissertação.

Tabela 3.5 - Composição das argamassas.

Argamassa	RM [%]	Utilização de Hidrófugo na mistura de RM	Relação a/l [volume]	SP [% da massa do ligante]
Ref.	0	não	0,64	
10%S	10	não	0,87	
20%S	20	não	1,08	
40%S	40	não	1,36	0,5
10%C	10	sim	0,77	
20%C	20	sim	0,87	
40%C	40	sim	1,18	

3.4.2 Elaboração das argamassas

Através do conhecimento das baridades, das dosagens apresentadas na *Tabela 3.4*, e tendo por base o conhecimento dos ensaios a realizar, o tipo e o número de provetes necessários, procedeu-se à determinação das quantidades em massa para a elaboração das argamassas.

A elaboração das argamassas tem como referência a norma *EN 1015-2:1998* (CEN,1998) e a ficha de ensaio *Fe 19* (FCT-UNL, 1996). Em seguida apresenta-se o procedimento realizado.

Procedimento:

Pesagem dos agregados, das misturas de resíduos de madeira com e sem hidrófugo (siloxano) na balança de precisão de 0,1g. Pesagem do superplastificante na balança de precisão de 0,001g. Colocação dos constituintes secos da argamassa no balde metálico (cuba) pertencente ao misturador mecânico de laboratório. Ligar o misturador mecânico com os constituintes secos das argamassas durante 30 s. Ligar novamente o misturador mecânico durante 90s, sendo que nos primeiro 30 s é adicionada gradualmente a água, nos restantes é realizada a amassadura da argamassa. Retirar o balde metálico (cuba) e com a colher de pedreiro misturar novamente a argamassa com o objetivo de limpar material que se tenham alojado na sua parede.



Figura 3.11 - Misturador mecânico do laboratório.

3.4.3 Provetes

Com o objetivo de se caracterizar as argamassas a serem formuladas foram realizados três ensaios no estado fresco e onze no estado endurecido. Para a realização dos ensaios no estado endurecido foram necessários realizar um total de cento e cinco provetes, três amostras de cada argamassa para cada ensaio, do tipo prismático, bolachas circulares e monocamada

aplicada em tijolo cerâmico. A esquematização da organização dos ensaios é apresentada na *Figura 3.1*.

Provetes Prismáticos

A elaboração dos provetes prismáticos de dimensões 40x40x16 mm, tem por base a ficha de ensaio *Fe 19 (FCT-UNL, 1996)*. Foram utilizados provetes prismáticos nos ensaios de massa volúmica aparente geométrica, módulo de elasticidade dinâmico, absorção de água por capilaridade, secagem e resistência aos cloretos. Em seguida apresenta-se o procedimento realizado.

Procedimento:

Aplicação da quantidade estritamente necessária do óleo descofrante através de pincelagem dos moldes prismáticos triplos em aço. Colocação do molde na mesa compactador e aperto do mesmo à estrutura pertencente ao compactador. Colocação da argamassa nos moldes até metade do seu volume e acionar o compactador até serem realizadas as 20 pancadas. Encher a totalidade dos moldes e acionar novamente o compactador até serem realizadas as 20 pancadas. Com a colher de pedreiro rasar a superfície de forma a esta ficar lisa.

Bolachas circulares

As bolachas circulares utilizadas são provenientes do corte de um tupo de pvc com 85 mm de diâmetro e 2 cm de espessura. Foram usadas bolachas circulares no ensaio de condutibilidade térmica. Em seguida é apresentado o procedimento realizado.

Procedimento:

Colocação do azulejo de dimensões 150x150 mm com a superfície vítrea virada para cima num balcão horizontal. No topo do azulejo são colocadas as bolachas circulares de pvc. A argamassa é então colocada no interior das bolachas de pvc, da periferia para o centro, exercendo alguma pressão de modo a minimizar o volume de vazios. No final, com a colher de pedreiro, é rasada a superfície de forma a esta ficar lisa.

Provetes de monocamada de argamassa aplicada em tijolo

Foram realizados provetes de monocamada aplicada em tijolos cerâmicos de dimensões 20x30x7 cm, para os ensaios de permeabilidade sob baixa pressão (tubos de Karsten) e aderência. Em seguida é apresentado o procedimento para a realização deste tipo de provete.

Procedimento:

Humedecimento do molde de madeira e da superfície do tijolo onde vai ser aplicada a argamassa. Colocação do tijolo dentro do molde de madeira num pavimento horizontal. A diferença de altura entre o molde de madeira (9cm) e o tijolo (7cm) corresponde à espessura de monocamada de argamassa, ou seja, do reboco (2cm). No topo do molde de madeira é colocada estrutura de madeira. Esta pretende de certa forma garantir que a argamassa a aplicar no tijolo seja igualmente compactada. Por ação exclusiva da gravidade, do topo da estrutura de madeira deixa-se cair a argamassa para o tijolo. Quando o volume correspondente à espessura do reboco está totalmente preenchido é retirada a estrutura de madeira. Em seguida com o auxílio da colher de pedreiro rasar a superfície. Com recurso à talocha, aplicando a menor pressão possível, é alisada a superfície.

3.4.4 Condições de cura dos provetes

Posteriormente à sua realização os provetes foram colocados numa sala de ambiente condicionado do DEC (FCT-UNL), durante 28 dias, em condições de 20,8±3°C e humidade relativa de 56,0±5%.

Os provetes prismáticos foram identificados e descofrados ao sétimo dia após a sua realização, permanecendo em suportes de poliestireno, nos restantes 21 dias, na sala de ambiente condicionada, mencionada anteriormente, com as mesmas condições de cura. Após os 28 dias de cura deu-se início à realização dos ensaios.

3.5 Caracterização das argamassas no estado fresco

3.5.1 Consistência por espalhamento

A consistência de uma argamassa fresca representa uma medida da sua fluidez e/ou grau de molhagem e fornece uma indicação sobre a deformabilidade dessas argamassas quando submetidas a determinado tipo de tensão (Cruz, N., 2008).

O ensaio de consistência por espalhamento foi realizado com base na norma *EN 1015-3:1998 (CEN, 1998)*. Este apresenta a gama de valores admissíveis para o espalhamento das argamassas de 175 ± 10 mm. Através dos valores anteriormente referidos é determinada a quantidade de água de cada argamassa. Após a conclusão da amassadura é realizado o ensaio de consistência por espalhamento, cujo procedimento realizado é descrito em seguida.

Procedimento:

Com o pano molhado, humedecer a mesa de espalhamento e o molde troncocónico. Colocar o molde centrado e com a abertura maior para baixo na mesa de espalhamento. Preenchimento do molde até metade do seu volume com argamassa. Utilizando o varão devidamente humedecido esta é apiloada 25 vezes. Preenche-se totalmente o volume do molde troncocónico e repete-se o procedimento, rasando o material em excesso com a colher de pedreiro. Retirar com cuidado o molde troncocónico e com recurso à manivela realizar 15 pancadas em 15s. Com a régua e o auxílio da craveira mede-se o diâmetro da argamassa em quatro direções identificadas na mesa de espalhamento. Os valores do espalhamento obtêm-se através da média dos quatro diâmetros.

3.5.2 Massa volúmica aparente no estado fresco

A massa volúmica aparente no estado fresco é a relação entre a massa de argamassa introduzida num recipiente próprio, sob determinadas condições de compactação e o volume do recipiente. Desta forma, quanto maior for a massa volúmica, menor será a quantidade de vazios e, por consequência, melhores serão as características mecânicas e de impermeabilidade (Pinto, A.P. et al., 2006).

O ensaio de massa volúmica aparente no estado fresco foi realizada tendo como referência a norma *EN 1015-6:1998 (CEN, 1998)*. O procedimento realizado é apresentado em seguida.

Procedimento:

Determinação da massa do recipiente cilíndrico, humedecido pelo pano (m_0). Com recurso à colher de pedreiro preenche-se o recipiente cilíndrico em cima da bancada de trabalho, até metade da sua capacidade com argamassa. Inclinar a aresta do recipiente até esta distar 3 cm da bancada de trabalho e deixar cair por ação da gravidade. Repetir o processo indicado anteriormente, num total de 10 vezes, variando a direção para que se obtenha uma compactação uniforme. Preencher na totalidade o recipiente cilíndrico e repetir o processo. Com a colher de pedreiro rasar a argamassa em excesso no topo do recipiente. Limpar as superfícies do recipiente e pesar a massa do conjunto (m_1). Determinar a massa volúmica aparente no estado fresco através da equação 3.4.

$$\rho_m = \frac{m_1 - m_0}{V} \quad (3.4)$$

Onde,

ρ_m [kg/m³] – Massa volúmica aparente da argamassa no estado fresco;

m_0 [kg] – Massa do recipiente metálico cilíndrico;

m_1 [kg] – Massa da amostra e do recipiente metálico cilíndrico;

V [m³] – Volume do recipiente metálico cilíndrico.



Figura 3.12 - Ensaio da massa volúmica aparente no estado fresco.

3.5.3 Retenção de água

Como o próprio nome indica o ensaio de retenção de água pretende determinar a capacidade de a argamassa fresca reter a água de amassadura quando exposta à sucção do suporte, permitindo o desenvolvimento adequado da presa e endurecimento (Pinto. A.P. et al., 2006).

O ensaio para determinar a capacidade de retenção de água em argamassas no estado fresco foi realizado com base na ficha de ensaio Fe 32 (FCT-UNL, 2000), que tem como referência a pré-norma prEN 1015-8:1999 (CEN, 1999). Em seguida é apresentado o procedimento realizado no ensaio.

Procedimento:

Determinação das massas do molde metálico cilíndrico vazio (m_v) e das 35 folhas de papel de filtro (m_{pf}). Com recuso à espátula enche-se o molde metálico com argamassa a ensaiar e rasa-se a superfície de forma a ficar plana e lisa. Limpar a superfície do molde e determinar a massa do conjunto (m_{c1}). Na superfície da argamassa são colocadas as duas gazes de algodão e em cima as 35 folhas de papel de filtro. Colocação do azulejo mecânico com o vidro virado para as folhas de papel de filtro. Inverter o conjunto e colocar o peso na base do molde metálico e iniciar de imediato o cronómetro. Após 5 minutos retira-se o peso do topo, inverte-se novamente o conjunto e retira-se o azulejo, as 35 folhas de papel de filtro e as duas gazes. Determina-se a massa das 35 folhas de papel de filtro e das duas gazes (m_{c2}). Através da equação 3.5 determina-se a massa de água utilizada na argamassa colocada no molde (m_a) e pela equação 3.6 a percentagem da água retida (R).

$$m_a = \frac{a_g \cdot (m_{c1} - m_v)}{\sum_{i=1}^n (c_i) + a_g} \quad (3.5)$$

$$R = \frac{m_a - (m_{c2} - m_{pf})}{m_a} \cdot 100 \quad (3.6)$$

Onde,

m_v [g] – Massa do molde metálico vazio;

m_{pf} [g] – Massa das 35 folhas de papel de filtro;

m_{c1} [g] – Massa do molde metálico com argamassa;

m_{c2} [g] – Massa do conjunto composto pelas duas gazes e 35 papéis de filtro;

a_g [g] – Massa de água usada na preparação da argamassa;

c_i [g] – Massa de cada um dos outros constituintes utilizados na argamassa;

m_a [g] – Massa de água utilizada na argamassa colocada no molde;

R [%] – Percentagem de água retida.



Figura 3.13 - Ensaio de retenção de água.

3.6 Caracterização das argamassas no estado endurecido

3.6.1 Massa volúmica aparente geométrica

Com o objetivo de se determinar a massa volúmica aparente geométrica procedeu-se à realização do ensaio expedito cujo procedimento é apresentado em seguida.

Procedimento:

De forma a se obter um volume mais preciso dos provetes prismáticos são realizadas em duas faces perpendiculares, uma medição longitudinal (A_1 e B_2) e três medições perpendiculares à longitudinal, duas nas extremidades e uma no meio, em cada uma das faces (a_1, a_2, a_3, b_1, b_2 e b_3). As dimensões finais de cada parâmetro, apresentados em seguida, são o resultado da média aritmética dos valores obtidos, *equação 3.7, 3.8 e 3.9*. O volume de cada provete prismático (V_i) é determinado através da *equação 3.10*. Após se determinar o volume de cada provete é determinada a sua massa (m_i). A massa volúmica aparente geométrica ($m_{v,app}$) é determinada através da *equação 3.11*.

$$L = \frac{A_1 + B_2}{2} \quad (3.7)$$

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} \quad (3.8)$$

$$b = \frac{b_1 + b_2 + b_3}{3} \quad (3.9)$$

$$V_i = \frac{a \cdot b \cdot L}{3} \quad (3.10)$$

$$mv_{apg} = \frac{m_i}{V_i} \cdot 10^6 \quad (3.11)$$

Onde,

L [mm] – Comprimento longitudinal do provete;

a_i e b_i [mm] – Dimensão da secção “quadrada” do provete;

V_i [mm³] – Volume aparente geométrico de cada provete prismático;

m_i [g] – Massa de cada provete prismático;

mv_{apg} [kg/m³] – Massa volúmica aparente geométrica.

3.6.2 Condutibilidade térmica

No ensaio de condutibilidade térmica foram utilizados provetes circulares, vulgarmente denominados por bolachas circulares de argamassa, secos numa estufa ventilada até massa constante a uma temperatura de $60 \pm 5^\circ\text{C}$. Considera-se massa constante quando a diferença entre duas pesagens sucessivas, intervaladas de 24 horas, é menor ou igual a 0,1% da massa do provete.

Para a determinação da condutibilidade térmica foi utilizado o aparelho ISOMET model 2104 (heat transfer analyser) e a sonda API 210412 para uma de valores entre 0,3 e 2,0 ou 0,04 e 0,3 W/(m · K) consoante o tipo de argamassa a ensaiar. Após estes serem secos na estufa ventilada foram deixados a arrefecer até à temperatura ambiente e colocados sobre uma placa cortiça aglomerada de forma a garantir condições de fronteira homogénea, com a face lisa virada para cima, ou seja, aquela que durante a cura esteve em contacto com o azulejo. No topo do provete é colocada a sonda de gama apropriada ao tipo de provete, conectada ao equipamento ISOMET model 2104 e pressiona-se a tecla F2, correspondente à opção “Thermal Conductivity”.

Após algum tempo é lido no visor do aparelho o valor da condutibilidade térmica (λ). Este procedimento foi realizado em todos os provetes circulares, ou seja, para cada tipo de argamassa foram obtidos três valores resultantes das três amostras. O valor da condutibilidade de cada argamassa resulta da média aritmética das condutibilidades térmicas das amostras e é expressa em W/(m · K).



Figura 3.14 - Equipamento ISOMET 2104 utilizado no ensaio de condutibilidade térmica.

3.6.3 Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi realizado com base na ficha de ensaio *Fe 08 (FCT-UNL, 1996)*, através da emissão de vibrações e respetiva medição da frequência de ressonância longitudinal em quatro pontos de cada provete, dadas pelo equipamento “ZEUS Resonance Meter” (Figura 3.15).



Figura 3.15 - Equipamento ZEUS Resonance Meter.

Os provetes prismáticos, utilizados neste ensaio, foram previamente secos numa estufa ventilada até massa constante à temperatura de $60 \pm 5^\circ\text{C}$.

O módulo de elasticidade dinâmico traduz-se na capacidade de uma argamassa absorver deformações, ou seja, a um material mais rígido corresponde a um módulo de elasticidade dinâmico mais elevado. Desta forma, a partir do módulo de elasticidade dinâmico é possível caracterizar uma argamassa em termos de resistência à fendilhação e compatibilidade com o suporte, ao nível da deformabilidade (Martinho, P., 2017).

O ensaio inicia-se com a introdução dos dados geométricos, L , a_i e b_i e a massa de cada provete, m_i , no programa de cálculo, apresentados no ensaio da massa volúmica aparente geométrica. Em seguida, são colocados os provetes sobre o suporte do equipamento de forma a que um dos topos fique em contato com a fonte emissora de ultrassons e o outro em contato com a fonte recetora. Como foi referido anteriormente, são realizadas quatro medições em cada provete, através da rotação em torno do seu eixo longitudinal com a amplitude de um quarto de rotação, de forma a se determinar com mais rigor o valor do módulo de elasticidade dinâmico.

3.6.4 Resistência à tração por flexão

Terminados os ensaios não destrutivos, massa volúmica aparente geométrica e módulo de elasticidade dinâmico, referente à primeira série de provetes prismáticos realizados (*Figura 3.1*), procede-se à realização dos ensaios destrutivos, resistência à tração por flexão e resistência à compressão.

O primeiro ensaio a ser realizado é o de resistência à tração por flexão, com base na norma *EN 1015-11:1999 (CEN, 1999)* e na ficha de ensaio *Fe 27 (FCT-UNL, 1999)*. Este foi efetuado através de uma máquina universal de forças, “*ZWICK Z050*”, equipada com uma célula de carga de 2 kN aplicada a meio vão do provete.

O ensaio consiste na colocação dos provetes prismáticos com as faces laterais de moldagem em contato com a célula que transmite a carga e os suportes, cujos apoios distam 100 mm. Dá-se início ao ensaio com a aplicação da carga a meio vão a uma velocidade de 0,7 mm/min que conduz à rotura do provete. A rotura verifica-se através de um valor de pico evidenciado no gráfico, força [N] – deslocamento [mm], construído pelo software da máquina durante o ensaio. O valor de pico, dado pelas ordenadas, corresponde à força máxima de tração por flexão (F_t). Uma vez registada a força máxima de tração por flexão em todos os provetes prismáticos, determina-se a resistência à tração através da *equação 3.12*.

$$R_t = \frac{F_t \cdot L}{b \cdot a^2} \cdot 1,5 \quad (3.12)$$

Onde,

R_t [Mpa] – Resistência à tração por flexão;

F_t [N] – Força máxima de tração por flexão;

L [mm] – Distância entre os apoios;

a [mm] – Dimensão segundo o eixo de maior inércia;

b [mm] – Dimensão segundo o eixo de menor inércia.



Figura 3.16 - Ensaio de resistência à tração por flexão.

3.6.5 Resistência à compressão

Com as metades dos provetes prismáticos resultantes do ensaio à tração por flexão, procede-se à realização do ensaio de resistência à compressão. Este ensaio foi realizado com base na norma *EN 1015-11:1999* (CEN, 1999) e a ficha de ensaio *Fe 27* (FCT-UNL, 1999). Para a determinação da resistência à compressão foi utilizada uma máquina universal de forças, “ZWICK Z050”, equipada com uma célula de carga e um dispositivo metálico disposto perpendicularmente ao eixo onde é aplicada a força, para compressão de prismas com secção de $40 \times 40 \text{ mm}^2$ (Figura 3.20).

À semelhança do ensaio anterior, os provetes são colocados de forma a que as suas faces laterais fiquem em contacto com o dispositivo metálico. Desta forma garante-se o contacto total do provete com o dispositivo de secção $40 \times 40 \text{ mm}^2$. O ensaio consiste na aplicação da carga à velocidade de $1,2 \text{ mm/min}$ que conduz o provete à rutura. A rutura verifica-se através de um valor de pico evidenciado no gráfico, força [N] – deslocamento [mm], construído pelo software da máquina durante o ensaio. Regista-se o valor de pico, dado pelas ordenadas, corresponde à força máxima de compressão (F_c) e determina-se a resistência à compressão através da equação 3.13.

$$R_c = \frac{F_c}{S} \quad (3.13)$$

Onde,

F_c [N] – Força máxima de compressão;

S [mm^2] – Secção de aplicação da carga sobre o provete;

R_c [Mpa] – Resistência à compressão.



Figura 3.17 - Ensaio de resistência à compressão.

3.6.6 Massa volúmica aparente e porosidade aberta

Das partes laterais dos provetes resultantes do ensaio da resistência à compressão determina-se a massa volúmica aparente e porosidade aberta. O ensaio foi realizado tendo como referência a norma *NP EN 1936:2008 (IPQ, 2008)* e a ficha de ensaio *Fe 02 (FCT-UNL, 1996)*. Foram ensaiadas seis amostras de cada argamassa (*Figura 3.18*), colocadas previamente em estufa a $60\pm 5^\circ\text{C}$ até massa constante. Entende-se por massa constante quando a diferença entre duas pesagens consecutivas, em intervalos de 24h, não for superior a 0,1% da massa do provete. Em seguida, apresenta-se o procedimento realizado.



Figura 3.18 - Amostras utilizadas no ensaio de massa volúmica aparente e porosidade aberta.

Procedimento:

Colocação dos provetes a ensaiar numa estufa ventilada a $60\pm 5^\circ\text{C}$ até massa constante. Deixar arrefecer até temperatura ambiente e determinar a massa seca de cada provete (m_s). Em seguida colocam-se os provetes no exsiccador, durante 24h, ligado a uma bomba de vácuo que reduz gradualmente a pressão até 2667 Pa (*Figura 3.19a*).

Realizadas as 24h, introduz-se água lentamente a uma temperatura de 15°C a 20°C , até à imersão completa dos provetes. Este processo tem uma duração aproximada de 15 minutos. Aciona-se a bomba por mais 24h. Após as 24 horas, desliga-se a bomba de vácuo e abre-se a válvula de forma a que no interior do exsiccador as condições de pressão sejam iguais à atmosférica.

Os provetes permanecem por 24h nas condições descritas anteriormente. Retirar o provete submerso do exsiccador e realiza-se a pesagem em imersão, denominada por pesagem hidrostática, (m_h) (*Figura 3.19b*). Após a pesagem hidrostática, com o auxílio de um pano húmido é retirada a água exterior ao provete e procede-se à pesagem do provete saturado (m_{st}). Com base nos resultados das pesagens, obtém-se a massa volúmica aparente (MVA) e a porosidade aberta (PA), através das equações 3.14 e 3.15, respetivamente.

$$\text{MVA} = \frac{m_s}{m_{st} - m_h} \cdot \rho_{H_2O} \quad (3.14)$$

$$\text{PA} = \frac{m_{st} - m_s}{m_{st} - m_h} \cdot 100 \quad (3.15)$$

Onde,

MVA [kg/m^3] – Massa volúmica aparente;

PA [%] – Porosidade aberta;

m_s [g] – Massa seca de cada provete;

m_h [g] – Massa hidrostática de cada provete;

m_{st} [g] – Massa saturada de cada provete;

ρ_{H_2O} [kg/m³] – Massa volúmica da água a 20°C que corresponde a 998 kg/m³.



Figura 3.19 - Ensaio de determinação de massa volúmica aparente e porosidade aberta: (a) exsiccador; (b) aparato da pesagem hidrostática.

3.6.7 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado com base na norma *EN 1015-18:2002 (CEN, 2002)* e a ficha de ensaio *Fe 06 (FCT-UNL, 1999)*, na sala condicionada do DEC a uma temperatura de $20,8\pm 3^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $56,0\pm 5\%$.

O ensaio permite verificar a influência da incorporação de areias de diferentes granulometrias na absorção de água por capilaridade da argamassa endurecida, já que se trata de um fator da maior importância no que se refere ao estudo dos rebocos (Cruz, N., 2008).

Neste âmbito são determinados dois parâmetros relevantes em argamassas de reboco, o coeficiente de capilaridade (**Cc**) e o valor assintótico (**VA**). O coeficiente de capilaridade traduz a velocidade com que a água é absorvida numa fase inicial e o valor assintótico indica a quantidade máxima de água absorvida pela argamassa.

Antes da realização do ensaio os provetes prismáticos foram secos numa estufa ventilada à temperatura de $60\pm 5^\circ\text{C}$ até massa constante e preparada a impermeabilização a aplicar na face lateral dos provetes. Foi realizado ainda um “plano de pesagens” (com os instantes de colocação de cada provete na água e a respetiva hora de cada medição) de forma a uniformizar a duração do tempo dos provetes em contacto com a água. Em seguida apresenta-se o procedimento realizado.

Procedimento:

Colocação dos provetes prismáticos a ensaiar numa estufa ventilada a $60\pm 5^\circ\text{C}$ até massa constante. Deixar arrefecer até à temperatura ambiente e preparar a impermeabilização dos provetes. A impermeabilização dos provetes consiste na mistura de resina colofónia e cera de abelha na proporção em massa de 1:1. Os constituintes são introduzidos num recipiente metálico e aquecidos na placa de aquecimento até a mistura ficar homogénea. Aplica-se de forma cuidadosa a impermeabilização nas faces laterais, ou seja, todas as faces exceto as faces de seção “quadrada” dos provetes utilizando pincel e trincha e tendo o cuidado de não deixar zonas com pouca impermeabilização. Com o auxílio da craveira digital regista-se a seção “quadrada” que estará em contacto com água no decorrer do ensaio e regista-se a massa de todos os provetes após a camada de impermeabilização arrefecer. Em seguida é preparada a caixa de plástico onde serão introduzidos os provetes. A preparação consiste na colocação do tabuleiro metálico com rede de plástico, apoiado sobre tijolos, e da introdução de uma quantidade de água, fora do recipiente metálico, de forma a garantir condições de saturação e, no seu interior, de forma a criar uma lâmina de 5 mm.

Posteriormente são colocados os provetes no recipiente metálico com um desfasamento temporal, de forma a se fazerem pesagens de cada um dos provetes nos instantes, 0, 5, 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 300, 360 min, e após os 360 min a cada 24h até que a diferença entre massas de duas pesagens sucessivas seja inferior a 1%. A caixa foi mantida fechada de forma a que as condições de ambiente fossem mantidas e verificada a lâmina de água, repondo água sempre que necessário de forma a manter-se os 5 mm. Sempre que foram realizadas pesagens teve-se o cuidado de deslocar o provete até à balança sem deixar que este pingasse sobre outros provetes.

À medida que de vão obtendo os valores das massas nos vários instantes constrói-se o gráfico que relaciona a quantidade de água absorvida por área de base [kg/m^2], em função da raiz quadrada de tempo [$\text{s}^{0,5}$]. Determinação do coeficiente de capilaridade (C_c) através do cálculo do declive do troço inicial do gráfico, que representa a absorção de água inicial, expresso em [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$]. Determinação do valor assintótico (VA), equação 3.16, que corresponde à quantidade de água absorvida pelo provete em cada instante. Este valor é atingido quando a diferença entre pesagens sucessivas é inferior a 1%, ou seja, quando a condição para se terminar o ensaio é atingida.

$$VA = \frac{m_{tf} - m_{t0}}{S} \cdot 100 \quad (3.16)$$

Onde,

S [mm^2] – Secção da base do provete que está em contacto com água;

m_{t0} [g] – Massa dos provetes nos instantes 0, antes de se dar início ao ensaio;

m_{tf} [g] – Massa dos provetes no instante correspondente ao fim do ensaio;

VA [kg/m^2] – Valor assintótico.



Figura 3.20 - Ensaio de absorção de capilaridade.

3.6.8 Secagem

Após o ensaio de absorção de água por capilaridade, com os provetes prismáticos saturados, realizou-se o ensaio de secagem, como referência a norma EN 16322:2013 (CEN, 2013) e a ficha de ensaio Fe 07 (FCT-UNL, 1996). Este permite avaliar a facilidade com que as argamassas constituintes dos provetes perdem a água absorvida. Igualmente ao ensaio anterior, este foi realizado na sala condicionada do DEC a uma temperatura de $20,8 \pm 3^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $56,0 \pm 5\%$.

Antes do ensaio propriamente dito procedeu-se à colocação de película aderente de polietileno nas faces onde se tinha aplicado a mistura impermeabilizadora e na base “quadrada” em contato com a água no ensaio de absorção de água por capilaridade de forma a garantir que a secagem decorre de forma unidirecional. Para garantir que o papel aderente não se soltava foram colocados dois elásticos nas extremidades dos provetes. O procedimento é descrito em seguida.

Procedimento:

Aplicação da película aderente de polietileno nas faces dos provetes onde tinha sido aplicada a impermeabilização e a base “quadrada” em contato com água no ensaio de absorção de água por capilaridade, ou seja, em todas as faces do provete, exceto, a base “quadrada” que não esteve em contato com a água no referido ensaio. De forma a garantir que o papel aderente não se solta durante o ensaio foram aplicados de dois elásticos na extremidade dos provetes (Figura 3.25). Determinação da massa saturada dos provetes (m_0). Colocação dos provetes numa bancada metálica lisa e horizontal na sala condicionada do DEC a uma temperatura de $20,8\pm 3^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $56,0\pm 5\%$. São registadas as massas dos provetes em intervalos de 2h até perfazerem 8h. Após as 8h, são efetuados registos de 24h em 24h até que se verifique a condição presente na equação 3.17. Para cada determinação de massa efetuada, é calculado o respetivo teor de água (Q_i), através da equação 3.18. Constrói-se a curva de secagem que relaciona o teor de água [%] em função do tempo [h]. A taxa de secagem (TS) é determinada através do declive inicial da curva de secagem e representa a velocidade de secagem inicial do provete, expressa em $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$. Calcula-se o índice de secagem (IS), grandeza adimensional, através da equação 3.19 presente na ficha de ensaio Fe 07 (FCT-UNL, 1996).

$$1 \geq \frac{m_0 - m_{i-1}}{m_0 - m_i} \geq 0,9 \quad (3.17)$$

$$Q_i = \frac{m_i - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (3.18)$$

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(Q_{i-1} + Q_i)}{2} \cdot (t_i - t_{i-1}) \right]}{Q_0 \cdot t_f} \quad (3.19)$$

Onde,

m_0 [g] – Massa do provete saturado correspondente a instantes 0, antes de se dar início ao ensaio de secagem;

m_s [g] – Massa do provete seco no instante correspondente ao início do ensaio de capilaridade;

m_i [g] – Massa do provete no instante i ;

Q_i [%] – Teor de água no instante i ;

IS [–] – Índice de secagem;

t_i [h] – Instante i ;

t_f [h] – Instante correspondente ao final de ensaio, ou seja, que verifica a equação 3.17.



Figura 3.21 - Ensaio de secagem.

3.6.9 Resistência aos cloretos

Do ponto de vista dos requisitos a cumprir pelas argamassas a aplicar em rebocos considera-se que estas devem garantir a proteção dos substratos e que, sem que esta premissa seja posta em causa, deverão dentro do possível assegurar ao máximo a sua durabilidade (Faria, P., 2005). Neste âmbito foi realizado o ensaio de resistência aos cloretos com base na norma *NP EN 12370:2001 (IPQ, 2001)*. Para tal foram utilizados a última série de provetes prismáticos, como se apresenta na *Figura 3.1*.

Previamente à realização do ensaio os provetes prismáticos foram secos numa estufa ventilada à temperatura de $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ até massa constante. Entende-se por massa constante quando a diferença entre duas pesagens consecutivas, em intervalos de 24h, não for superior a 0,1% da massa do provete. Em seguida apresenta-se o procedimento realizado no ensaio de resistência aos cloretos.

Procedimento:

Colocação dos provetes a ensaiar numa estufa ventilada a $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ até massa constante. Enquanto os provetes arrefecem até massa constante é preparada a solução aquosa de cloreto de sódio. Em 100g de solução, 14g corresponde ao cloreto de sódio dissolvido nas restantes 86g de água. Após a dissolução completa do cloreto de sódio na água, verte-se a solução para a caixa de plástico. Quando os provetes atingem a temperatura ambiente é determinada a massa do provete seco m_0 . A partir do instante em que foi determinada a massa do provete seco são realizadas pesagens de 24h em 24h. Na caixa de plástico é vertido o volume necessário de forma a que com os provetes introduzidos fiquem totalmente submersos. A distância entre o topo dos provetes e a solução aquosa deve permanecer na seguinte gama de valores, 8 ± 2 mm. Sempre que necessário foi introduzida solução de forma a que fosse cumprido o valor anteriormente apresentado. Estes devem ser dispostos de forma a que a distância entre os provetes seja pelo menos de 10 mm e a distância dos provetes às partes laterais da caixa não seja inferior a 20 mm. Os provetes são colocados durante um período de $1\text{h}\pm 15$ min na solução aquosa e em seguida introduzidos na estufa a $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante $44\text{h}\pm 6$ h. Após perfazer as $44\text{h}\pm 6$ h são retirados da estufa e colocados à temperatura ambiente durante $2\text{h}\pm 30$ min. Durante este tempo realiza-se o registo fotográfico. Após as $2\text{h}\pm 30$ min, os provetes são colocados novamente na solução aquosa e repete-se o ciclo descrito anteriormente. Entende-se assim como ciclo o processo que começa com a retirada dos provetes da solução aquosa e termina com a sua introdução na mesma solução. No total foram realizados 17 ciclos de um mínimo de 15 ciclos. Construiu-se um gráfico que apresenta uma avaliação qualitativa, cujos critérios se referem ao nível de degradação, compreendidos entre o grau 0 e 5, descritas por Monteiro, D., (2017) e apresentados em seguida.

Grau 0 – Não apresenta alterações detetáveis à vista desarmada;

Grau 1 – Apresente um ligeiro grau de deterioração (alterações na coloração da superfície);

Grau 2 – Amostras alteradas, algumas fissuras finas, pouco profundas e de pequena expansão na superfície dos provetes;

Grau 3 – Amostras bastante alteradas, mostrando fissuras profundas e/ou um certo grau de empolamento na superfície e/ou perda de massa pouco significativa;

Grau 4 – Amostras extremamente alteradas, apresentando fendas de elevada profundidade e/ou empolamentos de elevada dimensão e/ou perda considerável de massa;

Grau 5 – Colapso do provete, restando apenas algumas partes.

No *anexo I*, são apresentados os registos fotográficos dos provetes relativos aos ciclos realizados no ensaio de resistência dos provetes.

3.6.10 Permeabilidade sob baixa pressão

A capacidade de estanquidade dos revestimentos distingue-se como a sua aptidão, em relação à água que neles penetra devida à ação combinada da chuva e do vento sobre a sua superfície, de forma a atrasar no tempo o instante em que a água atinge o suporte, limitar a quantidade de água que atinge o suporte e reter a água junto ao suporte durante o mínimo tempo possível de modo a favorecer a secagem do revestimento (Apps, C., 2011). Para a caracterização das argamassas neste âmbito procedeu-se à realização do ensaio à permeabilidade sob baixa pressão (tubos de Karsten). O ensaio teve como referência a norma *EN 16302:2013 (CEN, 2013)* e a ficha de ensaio *Fe 23 (FCT-UNL, 1996)*. Foram utilizados a série de provetes de monocamada aplicada em tijolo cerâmico, como é apresentado no esquema da *Figura 3.1*.

Previamente à realização do ensaio os provetes foram secos numa estufa ventilada à temperatura de $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ até massa constante. Entende-se por massa constante quando a diferença entre duas pesagens consecutivas, em intervalos de 24h, não for superior a 0,1% da massa do provete. Em seguida é mostrados o procedimento realizado no referido ensaio.

Procedimento:

Colocação dos provetes na estufa ventilada a $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ até massa constante. Enquanto os provetes arrefecerem à temperatura ambiente é aplicada na base do cachimbo um cordão de plasticina vegetal. Após o arrefecimento dos provetes até à temperatura ambiente, pressiona-se a base do cachimbo que contém o cordão de plasticina de forma a garantir a estanquidade da água nessa zona (*Figura 3.22*). Inicia-se a introdução cuidadosa de água no interior do cachimbo de forma a evitar a formação de bolhas, e liga-se o cronómetro digital quando a água atinge o nível 0 da graduação do tubo. Regista-se o valor do cachimbo a cada minuto até serem absorvidos os 4 ml e com o auxílio da craveira determina-se a área aproximada da seção de absorção S [cm^2]. Foram realizados 3 ensaios em zonas diferentes para cada provete de monocamada aplicada em tijolo cerâmico.



Figura 3.22 - Tubos de Karsten aplicados nos provetes de monocamada.

Apos a obtenção dos dados referidos anteriormente, para cada um dos ensaios, constrói-se um gráfico que relaciona a quantidade de água absorvida (Q_i) e o respetivo tempo (T_i).

$$Q_i = \frac{4 - m_i}{S} \quad (3.20)$$

Onde,

S [ml/cm^2] – Secção da base do provete que está em contato com água;

m_i [ml] – Quantidade de água na graduação do cachimbo no instante i .

3.6.11 Aderência ao suporte

O ensaio de aderência ao suporte foi realizado com base na norma *EN 1015-12:2000* (CEN, 2000) e foram utilizados os mesmos provetes monocamada aplicados em tijolo no ensaio de permeabilidade sob baixa pressão (tubos de Karsten). Quando se deu por concluído o ensaio anteriormente referido, os provetes foram novamente secos numa estufa ventilada a $60\pm 5^\circ\text{C}$ até massa constante. Após os provetes estarem à temperatura ambiente foram realizados cortes com o auxílio da rebarbadora em formato quadrangular ($5\times 5\text{ cm}$), para se proceder à realização do ensaio. A norma *EN 1015-12:2000* (CEN, 2000) define três tipologias de rotura no ensaio de arrancamento: rotura tipo a, tipo b e tipo c. A primeira é também designada de rotura adesiva e ocorre por perda de aderência na interface. As roturas tipo b e c são coesivas, e acontecem, respetivamente, no seio da camada de reboco e no suporte. Se ocorrer uma rotura do tipo a, o resultado do ensaio é igual à tensão de aderência. Quando ocorrem roturas do tipo b e c, o resultado do ensaio é considerado um limite inferior da tensão de aderência, sendo utilizado no cálculo da sua média. Quando a rotura ocorre pela cola entre a argamassa e a pastilha, o resultado do ensaio é nulo e por consequente é rejeitado (Gaspar, S., 2011). As três tipologias de rotura no ensaio de arrancamento apresentam-se em seguida na *Figura 3.23*.

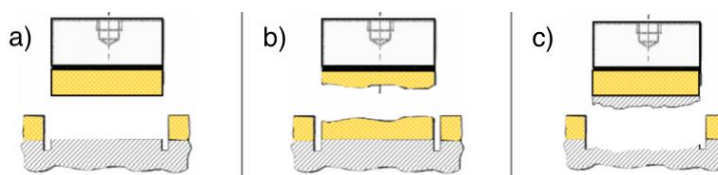


Figura 3.23 - Tipologias de rotura definidas pela norma *EN 1015-12:2000* (CEN, 2000), adaptado de Gaspar, S. (2011).

Em seguida são apresentados os procedimentos realizados no referido ensaio.

Procedimento:

Colocação dos provetes na estufa ventilada a $60\pm 5^\circ\text{C}$ até massa constante. Com o auxílio da rebarbadora são realizados cortes de secção quadrada ($5\times 5\text{ cm}$) nos provetes de monocamada. Com a trincha e o aspirador remover as partículas resultantes dos cortes realizados. Aplicação da cola epóxi na base da pastilha metálica. Colocação das pastilhas metálicas pressionando-as de forma cuidadosa para garantir a existência de cola em toda a área de contacto. Deixou-se endurecer durante 2h. Após as duas horas coloca-se o provete com as pastilhas metálicas na máquina universal de forças “ZWICK Z050” incorporada com um dispositivo que permite a realização do arrancamento a uma velocidade de 3 mm/min .

Deu-se início ao puxe até à rutura do provete que corresponde à força máxima exibida através de um pico no gráfico realizado pelo software da máquina. A força máxima corresponde à força de rotura (F_r). Com recurso à craveira digital regista-se a área de rotura do provete e determina-se a tensão de aderência (σ_a) através da *equação 3.21*, apresentada na página seguinte.

$$\sigma_a = \frac{F_r}{S} \quad (3.21)$$

Onde,

S [mm^2] – Secção da superfície de rotura;

F_r [N] – Força de rotura;

σ_a [MPa] – Força de rotura.

4 Apresentação e discussão de resultados

4.1 Caracterização das argamassas no estado fresco

4.1.1 Consistência por espalhamento

Na *Tabela 4.1* apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de consistência por espalhamento das argamassas formuladas e o respetivo desvio padrão.

Tabela 4.1 - Resultados do ensaio de consistência por espalhamento.

Argamassa	RM [%]	Relação a/l [volume]	Espalhamento [mm]	Desvio Padrão [mm]	Altura no centro [mm]
Ref.	0	0,64	168	0,4	19
10%S	10	0,87	171	1,1	16
20%S	20	1,08	167	0,8	17
40%S	40	1,36	176	0,4	18
10%C	10	0,77	175	1,3	17
20%C	20	0,87	167	1,1	18
40%C	40	1,18	172	1,1	20

A *Figura 4.1*, apresenta sob a forma do gráfico de barras o espalhamento de cada argamassa, bem como os valores limite apresentados pela norma 1015-2:1998 (CEN, 1998).

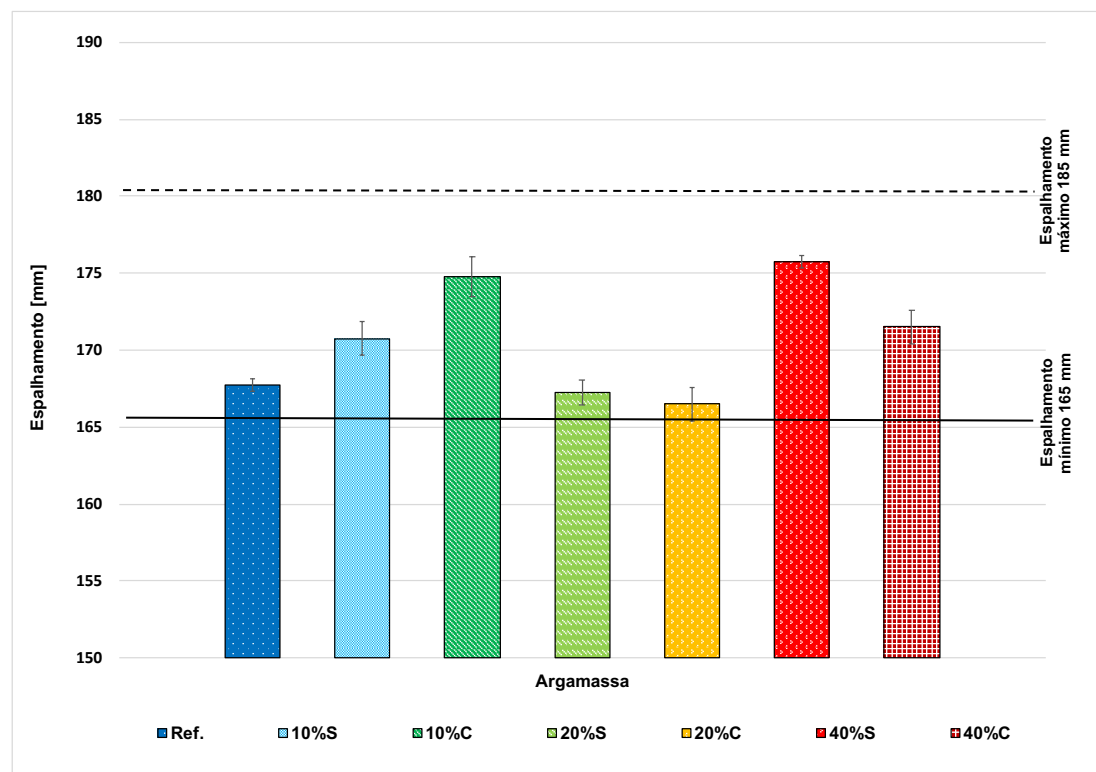


Figura 4.1 - Valores do ensaio e valores limite da consistência por espalhamento de acordo com a norma EN 105-2:1998 (CEN,1998).

Todas as argamassas verificam os valores de espalhamento adequados para argamassas de reboco (175 ± 10 mm), referidos pela norma EN 1015-2:1998 (CEN, 1998). Tendo como objetivo minimizar a quantidade de água, por um lado e, por outro, obter-se argamassas com boa trabalhabilidade, procurou-se um valor do espalhamento entre os 165mm e os 175mm. De forma a poder realizar-se uma comparação mais rigorosa entre argamassas com percentagens iguais de substituição de resíduos de madeira, com e sem hidrófugo (siloxano),

procurou-se que o valor de espalhamento fosse semelhante. Pelo motivo referido anteriormente e tendo por base o valor médio de espalhamento das argamassas com resíduos de madeira incorporados (171mm), determinou-se o valor de espalhamento da argamassa de referência (168mm).

Com base nos resultados obtidos no ensaio de espalhamento podem ser retiradas as seguintes conclusões:

- Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas, com e sem hidrófugo, maior é a necessidade de introdução de água, ou seja, maior a relação entre água-ligante;
- Para percentagens iguais de resíduos de madeira incorporados e valores de espalhamento idênticos, as argamassas com hidrófugo, apresentam uma relação água-ligante menor em comparação com as sem hidrófugo;
- A argamassa de referência, Ref., apresenta o valor mais baixo em termos de relação água;
- Os valores da altura da argamassa no centro da mesa são idênticos. A maior diferença de altura ocorre entre a argamassa 10%S e a 40%C, com os valores de 16mm e 20mm, respetivamente.

É importante referir que a utilização de superplastificante (SP) em pó contribuiu de forma significativa para melhoria da trabalhabilidade das argamassas, permitindo a introdução de uma menor quantidade de água durante a amassadura.

4.1.2 Massa volúmica aparente no estado fresco

Na *Tabela 4.2*, são mostrados os resultados referente ao ensaio da massa volúmica aparente no estado fresco. Os mesmos são apresentados na forma de gráfico de barras na *Figura 4.2*.

Tabela 4.2 - Resultados do ensaio da massa volúmica aparente no estado fresco.

Argamassa	RM [%]	Massa volúmica fresca [kg/m ³]	Desvio Padrão [kg/m ³]
Ref.	0	1889,0	21,0
10%S	10	1667,6	11,9
20%S	20	1572,0	8,2
40%S	40	1470,2	30,5
10%C	10	1854,2	1,9
20%C	20	1804,7	3,8
40%C	40	1613,7	4,3

Evidenciou-se no processo de amassadura e manuseamento das argamassas com incorporação de resíduos de madeira o seu aspeto “esponjoso” referido no trabalho experimental realizado por Martinho, P. (2017) e Monteiro, D. (2017). Este aspeto foi mais evidente com o aumento da percentagem de resíduos presentes na argamassa. Como é referido por Monteiro, D. (2017), a consistência esponjosa deve-se à introdução de ar no momento da amassadura devido ao formato característico das fibras dos resíduos de madeira.

Com base nos valores obtidos no ensaio de massa volúmica aparente podem ser retiradas as seguintes conclusões sobre as argamassas analisadas:

- Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas, com e sem hidrófugo, menor é o valor da massa volúmica obtidos. Este resultado era espectável, uma vez que a baridade da mistura de resíduos de madeira, com e sem hidrófugo, é bastante

inferior à baridade da areia amarela, como se apresenta na *Tabela 3.4*. Verifica-se ainda que a massa volúmica das argamassas, com e sem hidrófugo, é inferior à de referência. Este resultado deve-se à menor percentagem de areia presente nas argamassas com resíduos de madeira incorporados. A baridade da areia é cerca de 3,1 vezes maior que a mistura de resíduos de madeira sem hidrófugo e 4,5 vezes maior que a mistura de resíduos de madeira com hidrófugo, como se pode ver na *Tabela 3.4*;

- Para percentagens iguais, em volume, de substituição de agregado por resíduos de madeira, as massas volúmicas das argamassas sem hidrófugo revelaram-se menores do que as com hidrófugo. À primeira vista este resultado não era espectacular, uma vez que a baridade da mistura de resíduos de madeira sem hidrófugo é ligeiramente superior à baridade da mistura de resíduos de madeira com hidrófugo. Após a análise da *Tabela 4.3*, conclui-se que a maior percentagem em massa de areia por parte das argamassas com hidrófugo em comparação com as argamassas sem hidrófugo, é determinante no resultado da massa volúmica das argamassas. Em suma, a maior percentagem em massa de areia por parte das argamassas com hidrófugo, sobrepõe-se à maior percentagem de água presente nas argamassas sem hidrófugo e consequentemente o seu valor em termos de massa volúmica aparente no estado fresco é maior. Note-se que a baridade da areia é, cerca de 1,5 vezes superior à massa volúmica da água.

Tabela 4.3 - Percentagem em massa dos constituintes das argamassas.

Argamassa	Água [% em massa]	Ligante NHL5 [% em massa]	Areia [% em massa]	RM [% em massa]	Superplastificante [% em massa]	Total [% em massa]
Ref.	11,9	18,6	69,3	0,0	0,1	100,0
10%S	16,3	18,7	62,7	2,2	0,1	100,0
20%S	20,4	18,9	56,2	4,5	0,1	100,0
40%S	26,8	19,7	44,0	9,4	0,1	100,0
10%C	14,8	19,2	64,3	1,6	0,1	100,0
20%C	17,3	19,9	59,3	3,3	0,1	100,0
40%C	24,8	21,1	47,0	7,0	0,1	100,0

Em seguida apresenta-se os resultados da massa volúmica aparente presentes na *Tabela 4.2*, sob a forma de gráfico.

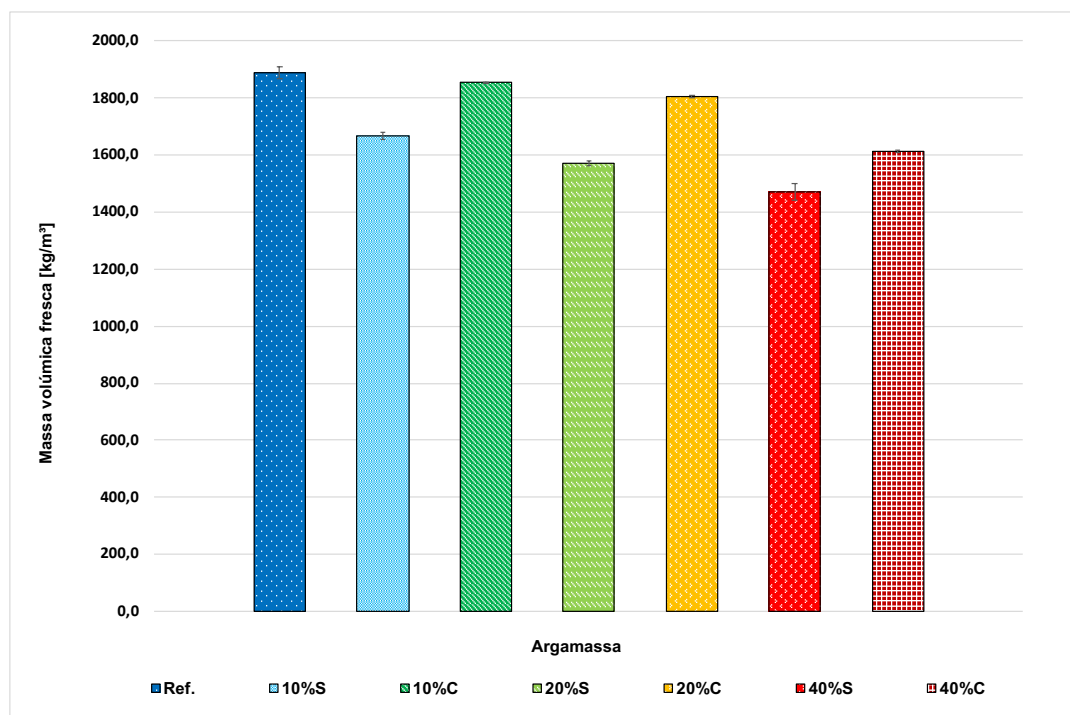


Figura 4.2 - Valores do ensaio da massa volúmica aparente.

4.1.3 Retenção de água

Os valores correspondentes ao ensaio de retenção de água registados para cada uma das argamassas encontram-se na *Tabela 4.4*, e sob a forma de gráfico de barras na *Figura 4.3*.

Tabela 4.4 - Resultados do ensaio de retenção de água.

Argamassa	RM [%]	Relação a/l [volume]	Retenção de água [kg/m ³]	Desvio Padrão [%]
Ref.	0	0,64	87,3	1,3
10%S	10	0,87	76,3	1,3
20%S	20	1,08	84,3	1,2
40%S	40	1,36	90,6	0,6
10%C	10	0,77	87,2	0,9
20%C	20	0,87	87,5	0,3
40%C	40	1,18	88,5	0,7

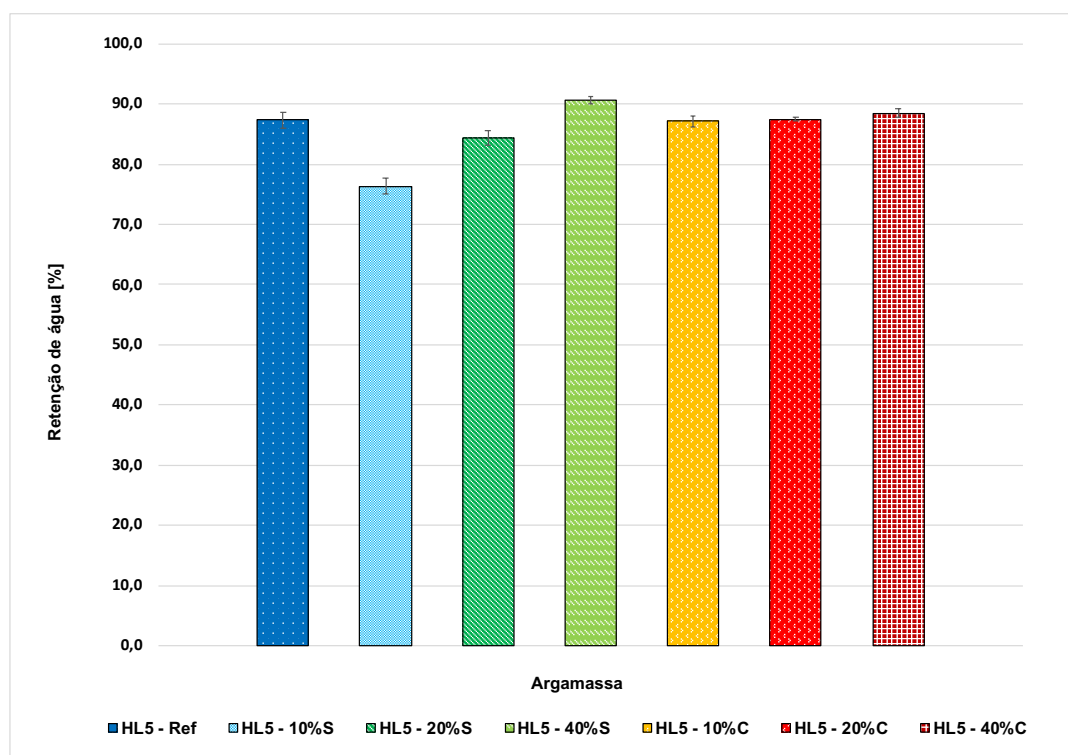


Figura 4.3 - Valores do ensaio de retenção de água.

Realizando uma análise da Tabela 4.4 e da Figura 4.3 verifica-se que com o aumento das percentagens de resíduos de madeira nas argamassas, com e sem hidrófugo, os valores de retenção de água também aumentam. Nas argamassas sem hidrófugo o aumento da percentagem de resíduos de madeira incorporados traduz-se numa maior absorção de água por parte das partículas de madeira e consequentemente a água fica “retida” na argamassa, resultando na menor absorção por parte dos papeis de filtro. Nas argamassas com hidrófugo, os valores para a retenção de água mantiveram-se constantes com o incremento da dosagem de resíduos. Note-se que os valores obtidos nas argamassas anteriormente referidas são semelhantes ao valor obtido na argamassa de referência.

De uma forma geral pode concluir-se que para as argamassas com a mesma percentagem de resíduos de madeira incorporados o valor de retenção de água é inferior nas argamassas sem hidrófugo comparativamente com as com hidrófugo. A exceção verifica-se para a argamassa 40%C, onde o valor da retenção de água é inferior à argamassa 40%S. Este resultado deve-se à elevada percentagem de resíduos de madeira presentes na argamassa sem hidrófugo, 40%S. Entre o período de ensaios, as partículas de madeira sem hidrófugo foram

absorvendo a água constituinte da argamassa até ficarem saturadas. Durante o período de ensaio, a menor presença de água na argamassa resultou, em consequência direta, na menor absorção de água por parte dos papéis de filtro. Na argamassa 40%C, este fenômeno não ocorre devido à repulsa da água por parte do hidrófugo que reveste as partículas de madeira.

4.2 Caracterização das argamassas no estado endurecido

4.2.1 Massa volúmica aparente geométrica

Na *Tabela 4.5*, são apresentados os resultados referentes ao ensaio da massa volúmica aparente no estado fresco. Os mesmos são ilustrados na forma de gráfico de barras na *Figura 4.4*.

Tabela 4.5 - Resultados do ensaio da massa volúmica aparente geométrica

Argamassa	RM [%]	Massa Volúmica Aparente Geométrica [kg/m ³]	Desvio Padrão [%]
Ref.	0	1747,2	11,3
10%S	10	1555,0	6,3
20%S	20	1402,7	7,6
40%S	40	978,2	8,1
10%C	10	1641,6	7,0
20%C	20	1572,7	0,3
40%C	40	1338,2	2,2

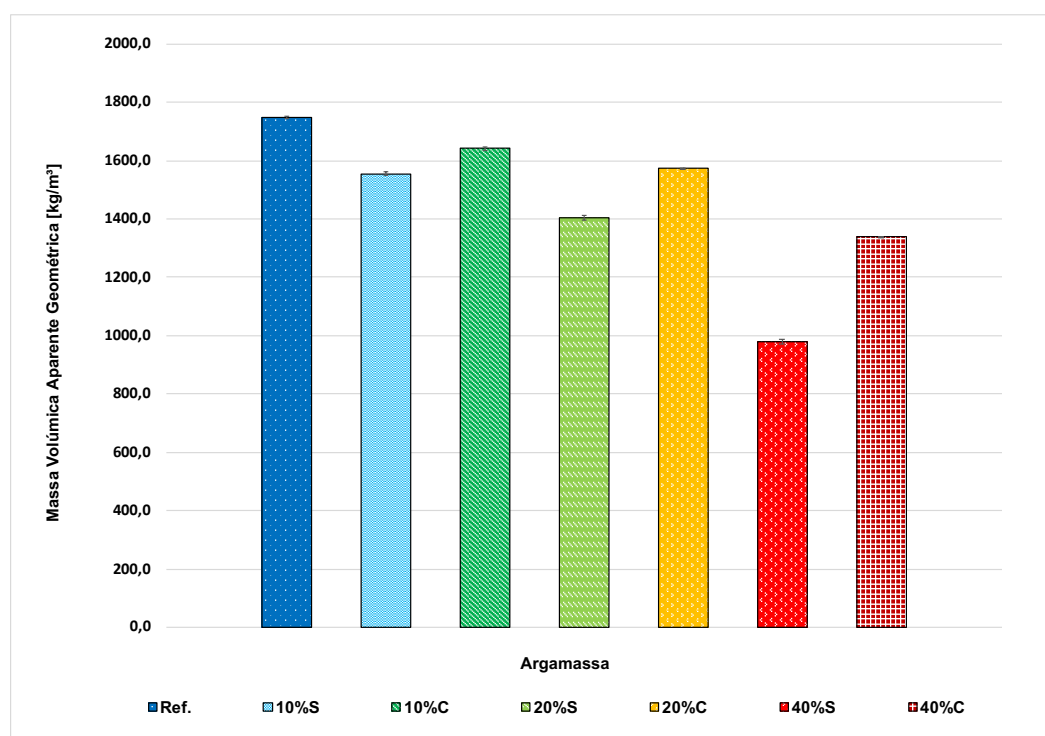


Figura 4.4 - Valores do ensaio de retenção de água.

Analisando a *Tabela 4.5* e a *Figura 4.4* pode concluir-se que ocorre uma diminuição da massa volúmica aparente geométrica com o aumento da percentagem de resíduos de madeira introduzidos. Este resultado era espectável e reforça os resultados obtidos no ensaio da massa volúmica fresca.

À semelhança dos resultados obtidos no ensaio da massa volúmica aparente no estado fresco, para percentagens iguais de substituição de agregado por resíduos de madeira, as massas volúmicas aparentes geométricas das argamassas sem hidrófugo revelaram-se menores do que as com hidrófugo. Como foi referido, apesar da baridade da mistura de resíduos de madeira sem hidrófugo ser ligeiramente superior à baridade da mistura de resíduos de madeira com hidrófugo (*Tabela 3.4*), a maior percentagem em massa de areia por parte das argamassas com hidrófugo em comparação com as argamassas sem hidrófugo faz com que estas possuam maiores valores de massa aparente geométrica (*Tabela 4.3*).

Conclui-se ainda pela análise da *Tabela 4.5* e da *Figura 4.4*, que a argamassa de referência apresenta o maior valor de massa volúmica aparente, em comparação com as argamassas com resíduos de madeira incorporados. Este facto deve-se à menor baridade das misturas de resíduos de madeira, com e sem hidrófugo, em comparação com a baridade da areia.

4.2.2 Condutibilidade térmica

Os resultados e os respetivos desvio padrão obtidos no ensaio de condutibilidade térmica são apresentados na *Tabela 4.6*. Na *Figura 4.5* são apresentados sob a forma de gráfico de barra os valores da *Tabela 4.6* e os valores máximos da condutibilidade térmica de forma a serem classificados como argamassas térmicas de acordo com a norma *NP EN 998-1:2016 (IPQ, 2016)*.

Tabela 4.6 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica.

Argamassa	RM [%]	Condutibilidade Térmica [W/(m·K)]	Desvio Padrão [W/(m·K)]
Ref.	0	1,46	0,18
10%S	10	0,63	0,03
20%S	20	0,36	0,02
40%S	40	0,19	0,00
10%C	10	0,74	0,00
20%C	20	0,52	0,01
40%C	40	0,22	0,00

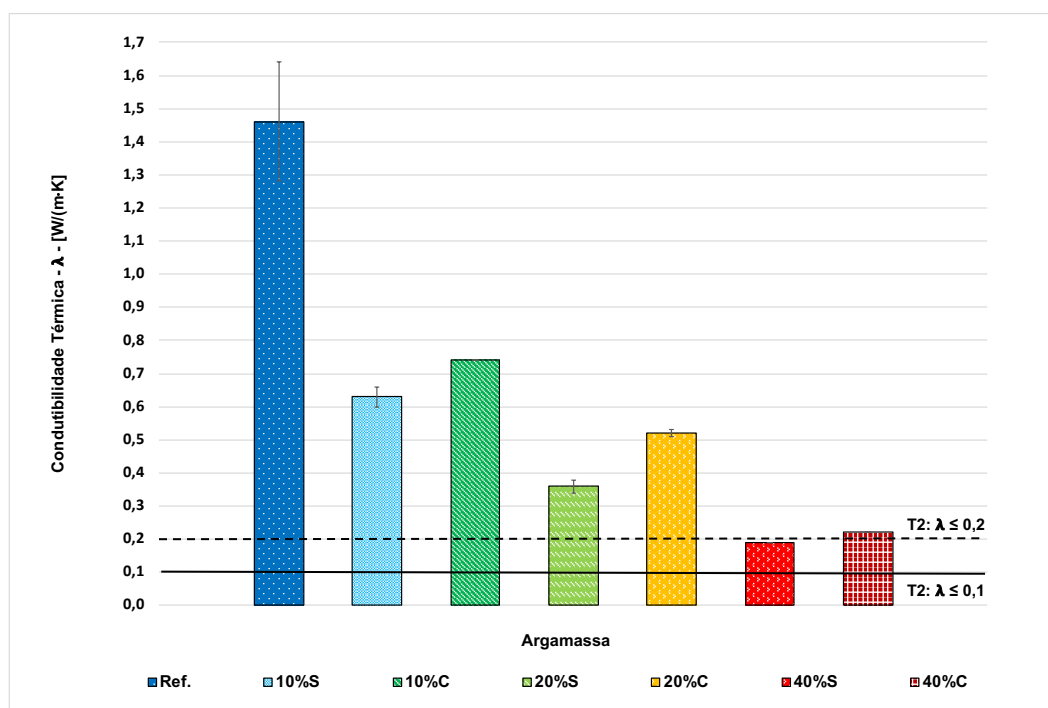


Figura 4.5 - Valores do ensaio e valores máximos da condutibilidade térmica de forma a serem classificados como argamassas térmicas de acordo com a norma *NP EN 998-1:2016 (IPQ, 2016)*.

Após a análise da *Tabela 4.6* e da *Figura 4.5* verifica-se que a incorporação de resíduos de madeira nas argamassas faz baixar abruptamente o valor da condutibilidade térmica. Este resultado era espectável e deve-se ao valor da condutibilidade térmica das misturas de resíduos de madeira ser bastante inferior à da areia. Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados na argamassa mais baixo é o valor da condutibilidade térmica.

Para igual percentagem de resíduos de madeira verifica-se que a condutibilidade térmica das argamassas sem hidrófugo é menor do que as argamassas com hidrófugo. Este resultado baseia-se no facto da porosidade aberta (PA), para percentagens iguais de resíduos de madeira incorporados, ser maior nas argamassas sem hidrófugo comparativamente as com hidrófugo. A análise pode ainda ser feita através da massa volúmica aparente (MVA). Como as argamassas sem hidrófugo, para percentagens iguais de resíduos incorporados, apresentam menor valor de MVA do que as com hidrófugo, o valor da condutibilidade térmica para as argamassas sem hidrófugo também será menor. Os valores da MVA e da PA são apresentados na *Tabela 4.10* e na *Figura 4.10*.

Apenas a argamassa 40%S tem um valor inferior a 0,2 [W/(m · K)], que corresponde à categoria T2 do parâmetro principal de classificação das argamassas térmicas de acordo com a norma NP EN 998-1:2016 (IPQ, 2016).

Em seguida, na *Tabela 4.7* apresentam-se os resultados obtidos pelos autores, Monteiro D., (2017) e Martinho, P., (2017).

Tabela 4.7 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica de outros autores.

Argamassa [% de RM]	Condutibilidade Térmica [W/(m · K)]	Condutibilidade Térmica [W/(m · K)]
0	0,97	1,98
10	-	1,37
20	0,24	1,06
40	-	0,76
Autor	Monteiro, D. (2017)	Martinho, P. (2017)

Analisando a *Tabela 4.7*, pode concluir-se que a tendência de decréscimo da condutibilidade térmica com o aumento da percentagem de resíduos de madeira, também é verificada pelos autores referidos.

4.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico

Os valores obtidos no ensaio do módulo de elasticidade são apresentados na *Tabela 4.8*.

Tabela 4.8 - Resultados do módulo de elasticidade dinâmico.

Argamassa	RM [%]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]	Desvio Padrão [%]
Ref.	0	8640,58	114,46
10%S	10	2692,83	113,77
20%S	20	1299,67	84,48
40%S	40	299,58	20,98
10%C	10	3985,00	53,46
20%C	20	2980,75	51,13
40%C	40	966,92	32,80

Como registou, Monteiro, D. (2017) e Martinho, P. (2017), ocorre uma queda acentuada dos valores do módulo de elasticidade obtidos para as argamassas com resíduos de madeira incorporados comparativamente com a argamassas de referência. Este resultado deve-se à maior porosidade aberta (PA) existente nas argamassas com resíduos de madeira incorporados.

Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas, menor o valor do módulo de elasticidade dinâmico. Este resultado verificou-se tanto para as argamassas com resíduos de madeira incorporados com hidrófugo como sem hidrófugo. Verificou-se, para as mesmas percentagens de resíduos de madeira, valores superiores para as argamassas com hidrófugo comparativamente com as sem hidrófugo.

De uma forma geral, como é referido por Monteiro, D., (2017) os valores obtidos para as argamassas com resíduos de madeira traduzem qualitativamente uma maior valia para argamassa de revestimento de edifícios antigos, devido a apresentarem uma melhor deformabilidade, resultando num melhor comportamento face às deformações que possam ocorrer no suporte.

4.2.4 Resistência à tração por flexão

Os resultados e os respetivos desvio padrão obtidos no ensaio de tração por flexão são apresentados na *Tabela 4.9*. Na *Figura 4.6* são apresentados sob a forma de gráfico de barra os valores da *Tabela 4.9*.

Tabela 4.9 - Resultados do ensaio da resistência à tração por flexão.

Argamassa	RM [%]	Resistência à tração por flexão [MPa]	Desvio Padrão [%]
Ref.	0	1,18	0,10
10%S	10	0,36	0,08
20%S	20	0,21	0,03
40%S	40	0,13	0,03
10%C	10	0,58	0,03
20%C	20	0,49	0,03
40%C	40	0,26	0,06

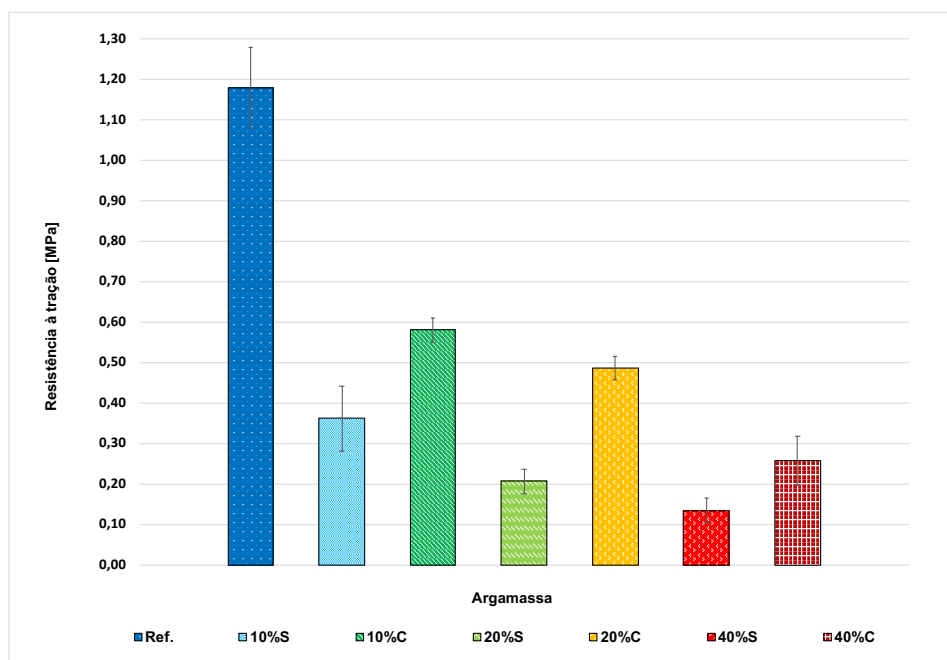


Figura 4.6 - Valores do ensaio de tração à flexão.

Analisando a Tabela 4.9 e a evolução registada na Figura 4.6 verifica-se uma queda para as argamassas com resíduos de madeira incorporados em comparação com a argamassa de referência. Como era expectável a incorporação dos resíduos de madeira nas argamassas traduz-se numa menor coesão das argamassas. Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira presente nas argamassas menor o valor da resistência à tração. Para iguais

percentagens de resíduos de madeira incorporados, verificaram-se valores mais elevados no ensaio de tração à flexão para as argamassas com hidrófugo, comparativamente com as argamassas sem hidrófugo. A menor compacidade (maior PA), resultante da substituição do agregado por resíduos de madeira faz com que as conclusões anteriormente ditas sejam, de certa forma expectáveis.

Em seguida, na *Tabela 4.10* apresentam-se os resultados obtidos pelos autores, Monteiro D., (2017) e Martinho, P., (2017).

Tabela 4.10 - Resultados do ensaio de resistência à tração por flexão de outros autores.

Argamassa [% de RM]	Resistência à tração por flexão [MPa]	Resistência à tração por flexão [MPa]	Resistência à tração por flexão [MPa]
0	0,77	6,68	0,52
10	-	6,46	-
20	0,10	4,19	-
40	-	3,62	-
Autor	Monteiro, D. (2017)	Martinho, P. (2017)	Faria, P., et al. (2012)

Analisando a *Tabela 4.10*, pode concluir-se que a tendência de decréscimo da resistência à tração por flexão com o aumento da percentagem de resíduos de madeira, também é verificada pelos autores referidos. Em termos de resultados, para iguais percentagens de resíduos de madeira incorporados, nota-se uma diferença substancial entre os valores obtidos por Martinho, P., (2017) e os resultados obtidos na campanha experimental realizada. Esta disparidade de valores são consequência do diferente tipo de ligante utilizado. No trabalho realizado por Martinho, P., (2017) foi utilizado cimento como ligante enquanto, na presente dissertação, foi utilizada cal hidráulica natural. Na *Tabela 2.2 (Capítulo 2.1.3)*, são apresentados valores adequados à resistência à tração por flexão (R_t) para rebocos (exteriores e interiores) a usar em edifícios antigos. De acordo com os autores, estes valores então compreendidos entre os 0,2 e 0,7 MPa. Analisando os resultados obtidos (*Tabela 4.9*), conclui-se que todas as argamassas testadas se encontram dentro deste valor, excetuando, a argamassa Ref. e a 40%S.

4.2.5 Resistência à compressão

Na *Figura 4.7* são apresentados sob a forma de gráfico de barras os resultados referentes ao ensaio de resistência à compressão. Os mesmos são apresentados na página seguinte, *Tabela 4.11*.

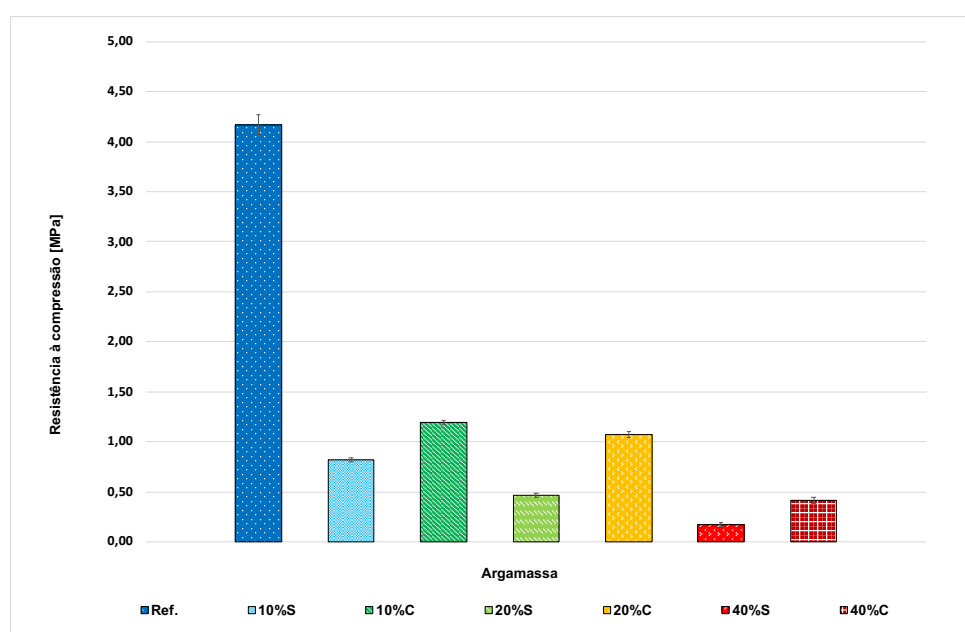


Figura 4.7 - Valores do ensaio à compressão.

Tabela 4.11 - Resultados do ensaio da resistência à compressão.

Argamassa	RM [%]	Resistência à compressão [MPa]	Desvio Padrão [%]
Ref.	0	4,17	0,10
10%S	10	0,82	0,02
20%S	20	0,46	0,02
40%S	40	0,17	0,02
10%C	10	1,20	0,02
20%C	20	1,08	0,03
40%C	40	0,42	0,03

Tal como se registou nos resultados à tração por flexão, ocorreu uma queda abrupta, no valor de resistência à compressão para as argamassas com resíduos de madeira incorporados comparativamente com a argamassa de referência.

Analisando a *Tabela 4.11* e a *Figura 4.7* verifica-se que para as argamassas com resíduos de madeira a resistência à tração diminui com o aumento da percentagem de resíduos. O resultado anteriormente descrito era previsível devido aos valores obtidos no ensaio de tração por flexão. Como foi referido, estes resultados devem-se à menor compactidade (maior PA das argamassas quanto maior a percentagem de resíduos incorporados).

Na *Tabela 4.12* apresentam-se os resultados obtidos pelos autores, Monteiro D., (2017) e Martinho, P., (2017).

Tabela 4.12 - Resultados do ensaio de resistência à compressão de outros autores.

Argamassa [% de RM]	Resistência à compressão [MPa]	Resistência à compressão [MPa]	Resistência à compressão [MPa]
0	2,35	46,04	0,92
10	-	26,20	-
20	0,15	15,82	-
40	-	10,88	-
Autor	Monteiro, D. (2017)	Martinho, P. (2017)	Faria, P., et al. (2012)

Analisando a *Tabela 4.12*, pode concluir-se que a tendência de decréscimo da resistência à compressão com o aumento da percentagem de resíduos de madeira, também é verificada pelos autores referidos.

Em termos de resultados, para iguais percentagens de resíduos de madeira incorporados, nota-se uma diferença substancial dos valores obtidos por Martinho, P., (2017) comparativamente com os resultados obtidos na campanha experimental realizada.

De acordo os autores Veiga, M. e Tavares, M. (2002), os valores recomendados para a resistência compressão (R_c), em rebocos de edifícios antigos, estão compreendidos entre 0,4 e 2,5 MPa (*Tabela 2.2*). Analisando a *Tabela 4.11*, conclui-se que todas as argamassas analisadas (excetuando a Ref. e 40%S) cumprem os valores descritos por estes autores.

4.2.6 Massa volúmica aparente e porosidade aberta

Os resultados e os respetivos desvio padrão obtidos para a massa volúmica aparente (MVA) e para a porosidade aberta (PA) são apresentados na página seguinte na *Tabela 4.13* e sob a forma de gráfico de barras, na *Figura 4.8* e na *Figura 4.9*, respetivamente.

Embora sejam apresentados os valores de PA para as argamassas com hidrófugo incorporado, estes encontram-se adulterados, i.e, não correspondem ao valor real. A presença de hidrófugo nos provetes impede a sua saturação completa.

Tabela 4.13 - Resultados da massa volúmica aparente e da porosidade aberta.

Argamassa	RM [%]	Massa Vol. Aparente [kg/m ³]	Desvio Padrão [kg/m ³]	Porosidade Aberta [%]	Desvio Padrão [%]
Ref.	0	1781,1	18,3	20,2	0,6
10%S	10	1590,2	13,5	28,7	0,5
20%S	20	1431,0	5,6	32,9	0,6
40%S	40	993,5	14,6	51,1	1,1
10%C	10	1667,8	6,2	24,2	0,7
20%C	20	1589,3	11,2	17,3	1,2
40%C	40	1355,9	21,3	21,6	0,6

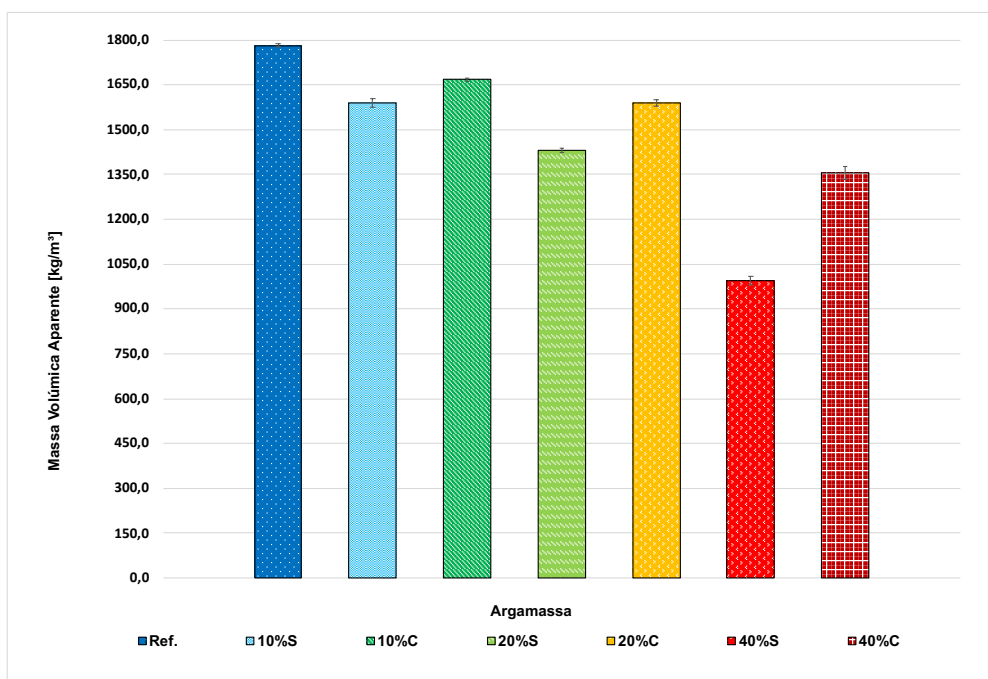


Figura 4.8 - Valores da massa volúmica aparente.

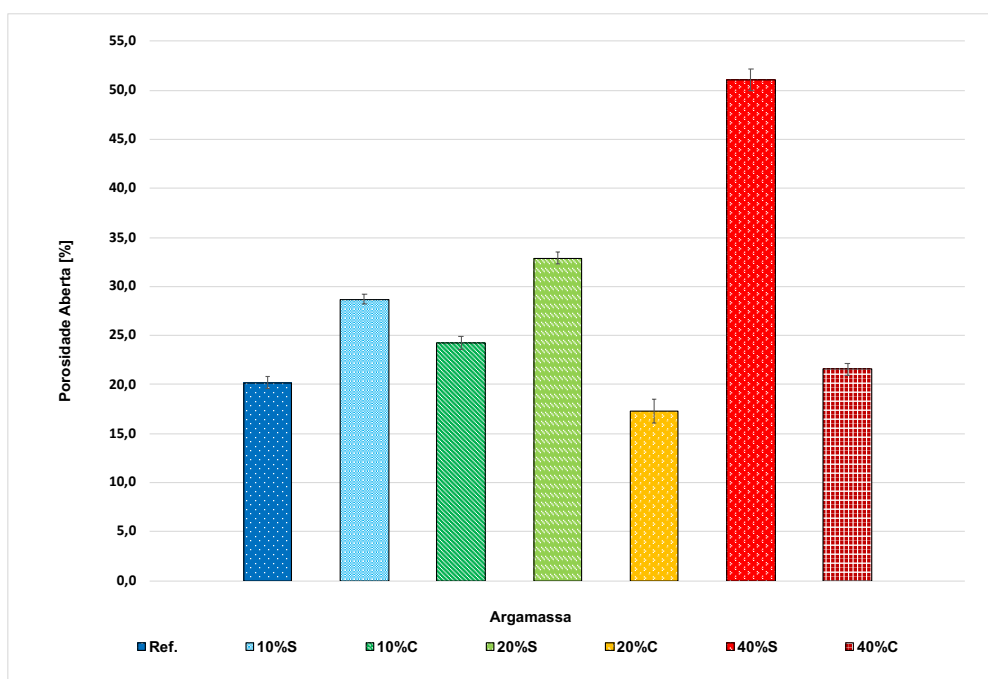


Figura 4.9 - Valores da porosidade aberta.

Com base na análise dos resultados, presentes na *Tabela 4.13* e na *Figura 4.8*, referentes ao ensaio de massa volúmica, retirou-se as seguintes conclusões:

- O máximo valor da massa volúmica aparente registou-se para a argamassa de referência. Este valor era expectável, uma vez que a baridade da areia é muito superior à baridade da mistura de resíduos de madeira com e sem hidrófugo. Desta forma, a massa volúmica das argamassas com agregados substituídos por resíduos de madeira apresenta uma massa volúmica inferior à argamassa de referência. Os resultados da baridade dos constituintes das argamassas estão presentes na *Tabela 3.4*;

- Verificou-se que com o aumento da percentagem dos resíduos de madeira nas argamassas com e sem hidrófugo a massa volúmica aparente diminui. Este resultado baseia-se na justificação apresentada no ponto anterior. Quanto maior a substituição do agregado por resíduos de madeira, menor será a massa volúmica da argamassa. Os resultados da baridade dos constituintes das argamassas podem ser consultados, como referido anteriormente, na *Tabela 3.4*;

- Para igual percentagem de resíduos de madeira, verificou-se um valor inferior para as argamassas com mistura de resíduos de madeira sem hidrófugo em comparação com as argamassas com mistura de madeira com hidrófugo;

Os resultados da porosidade aberta estão diretamente ligados com os resultados da massa volúmica aparente, ou seja, quanto maior a massa volúmica, menor a porosidade aberta das argamassas. Desta forma, para as argamassas sem hidrófugo, o aumento da percentagem de resíduos de madeira traduz-se na diminuição da porosidade.

Analisando a *Figura 4.9*, constata-se, na maioria dos casos, para as argamassas com hidrófugo incorporado, que com o aumento da percentagem de resíduos de madeira o valor da porosidade aberta diminui. Este resultado pode estar relacionado com o ajuste das partículas de madeira com hidrófugo com os constituintes da argamassa. A presença de hidrófugo e um diferente ajuste das partículas pode resultar numa maior ou menos dificuldade de saída do ar incorporado na argamassa durante o período de cura.

4.2.7 Absorção de água por capilaridade

Os resultados e os respetivos desvio padrão obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade são apresentados na *Tabela 4.14*. Na *Figura 4.10* apresentam-se as curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas, ou seja, a absorção de água de cada argamassa por unidade de área em função da raiz de tempo. Na *Figura 4.10* são apresentados os valores dos coeficientes de capilaridade das argamassas.

Tabela 4.14 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Argamassa	RM [%]	Coefficiente de capilaridade [kg/(m ² ·s ^{1/2})]	Desvio Padrão [kg/(m ² ·s ^{1/2})]	Valor assíntótico [kg/m ²]	Desvio Padrão [kg/m ²]
Ref.	0	0,051	0,005	25,038	0,877
10%S	10	0,105	0,001	41,708	1,136
20%S	20	0,113	0,004	43,854	0,695
40%S	40	0,200	0,013	54,678	0,932
10%C	10	0,037	0,006	23,927	1,760
20%C	20	0,008	0,003	10,244	0,236
40%C	40	0,007	0,000	7,575	0,498

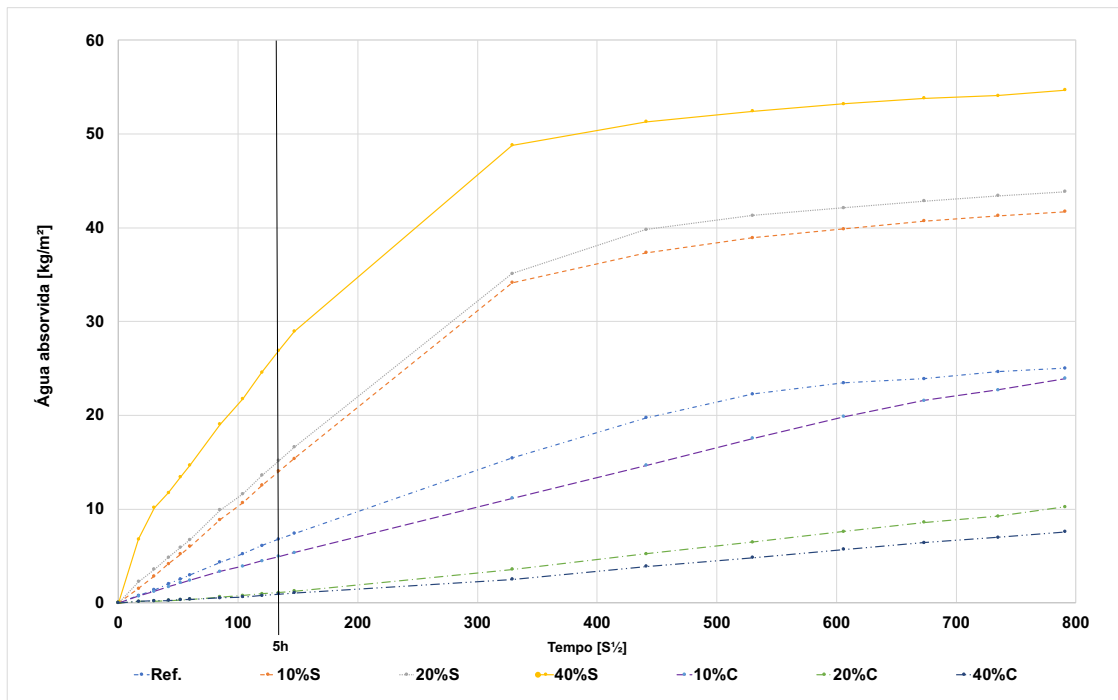


Figura 4.10 - Curvas de absorção de água por capilaridade.

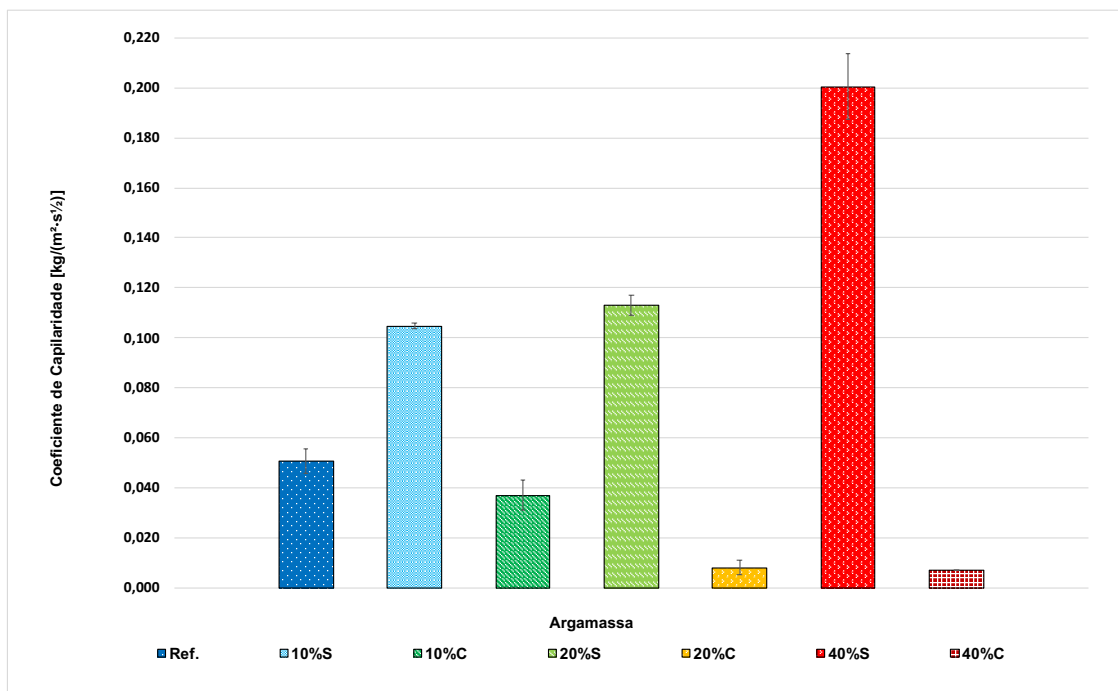


Figura 4.11 - Valores dos coeficientes de capilaridade das argamassas.

Os fenômenos da ocorrência de forças de sucção capilar, que dão origem à absorção de água por capilaridade podem ser explicados pela equação de Young-Laplace (Henriques F, 2011).

$$\Delta P = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{r} \quad (4.1)$$

Onde,

ΔP – Diferença de pressão capilar;

σ – Tensão superficial do líquido;

θ – Ângulo de contato;

r – Raio do poro.

Como no trabalho realizado por Monteiro, D. (2017), na determinação do coeficiente de capilaridade foram consideradas as 5 primeiras horas, assinaladas na *Figura 4.10*, com a convicção de este ser o troço inicial da curva que melhor traduz o período inicial, apresentando um declive constante.

Após 172 horas verificou-se que a diferença entre pesagens sucessivas era inferior a 1% da massa provete, que corresponde à estabilização da absorção de água e deu-se por finalizado o ensaio. Note-se que apesar da diferença entre pesagens sucessivas ser inferior a 1 %, a tendência é crescente, como nos apresenta a *Figura 4.10*.

Analisando a *Tabela 4.14* e a *Figura 4.10* podem ser retiradas as seguintes conclusões, relativamente ao valor assintótico obtidos nas argamassas:

- Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas maior é o valor assintótico (VA). A maior percentagem de resíduos de madeira incorporados, resulta numa maior porosidade aberta (PA) e conseqüentemente capacidade de absorção de armazenamento de água;

- Para as argamassas com hidrófugo, o contrário do que se verifica para as argamassas sem hidrófugo, quanto maior a percentagem de substituição de resíduos de madeira incorporados menor é o VA. Este resultado ocorre, uma vez que quanto maior a percentagem de resíduos de madeira com hidrófugo maior é o teor de hidrófugo presente na argamassa. Deste forma, apesar de a porosidade aumentar, com a percentagem de resíduos de madeira incorporados, esta não é acessível à água. Para percentagens iguais de resíduos de madeira incorporados, as argamassas sem hidrófugo apresentam valores assintóticos substancialmente superiores comparativamente às argamassas com hidrófugo. Este resultado traduz a maior capacidade por parte das argamassas sem hidrófugo de armazenar água. A presença de hidrófugo dificulta a absorção de água por parte das argamassas, diminuindo a quantidade de água armazenada no mesmo período de tempo em comparação com as argamassas sem hidrófugo;

- As argamassas sem hidrófugo apresentam todas elas valores assintóticos superiores comparativamente com a argamassas de referência. Ao contrário, as argamassas com hidrófugo apresentam todas elas valores assintóticos inferiores ao valor obtido na argamassa de referência. De salientar a semelhança de valores entre a argamassa 10%C e a argamassa de referência (Ref.).

Analisando a *Tabela 4.14* e a *Figura 4.11*, relativamente ao coeficiente de capilaridade podem ser retiradas as seguintes conclusões:

- Para as argamassas com hidrófugo, ao contrário do que se verifica para as argamassas sem hidrófugo, quanto maior é a percentagem de substituição de resíduos de madeira, menor é o valor do Cc. À semelhança do que foi referido no VA, este resultado ocorre, uma vez que, quanto maior a percentagem de resíduos de madeira com hidrófugo maior é a percentagem de Hidrófugo utilizado. Deste forma, apesar de a porosidade aumentar com a percentagem de resíduos de madeira incorporados, esta não é acessível à água, absorvendo menos água no período inicial;

- Para percentagens iguais de resíduos de madeira incorporados, as argamassas sem hidrófugo apresentam valores substancialmente superiores comparativamente com as argamassas com hidrófugo. Estes resultados devem-se à grande higroscopicidade da madeira sem tratamento de hidrófugo, evidenciada em trabalhos anteriormente realizados. A capacidade

por parte das argamassas sem hidrófugo de absorver mais água durante o período inicial conduz a anomalias (degradação por ação de sais, gelo-degelo, entre outros). Com a incorporação do hidrófugo procurou-se colmatar este fenómeno;

- As argamassas sem hidrófugo apresentam todas valores do Cc superiores comparativamente à argamassa de referência. Ao contrário, as argamassas com hidrófugo apresentam todas elas valores do Cc inferiores ao valor obtido na argamassa de referência. De salientar a semelhança de valores entre a argamassa 10%C e a argamassa de referência (Ref.).

Para as argamassas sem hidrófugo verificou-se a tendência apresentada por Martinho, P., (2017), ou seja, o aumento do coeficiente de capilaridade com o aumento da percentagem de resíduos incorporados. Este pressuposto não pôde ser confirmado no trabalho desenvolvido por Monteiro, D., (2017). A *Tabela 2.2*, apresentada no *Capítulo 2.1.3*, indica valores recomendados relativos ao coeficiente de capilaridade (8 a 12), expressos em $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})]$, para argamassas de reboco de edificios antigos. Convertendo para as unidades $[(\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}))]$, a gama de valores passa a ser entre 0,133 e 0,200. Analisando a *Tabela 4.14*, conclui-se que nenhuma das argamassas analisadas está dentro da gama de valores apresentada por Veiga, M. e Tavares, M. (2002).

4.2.8 Secagem

Após a realização do ensaio de capilaridade realizou-se o ensaio de secagem. Na *Tabela 4.15* estão apresentados os resultados relativos ao ensaio de secagem, bem como os respetivos desvio padrão. Nas *Figuras 4.12, 4.13 e 4.14* são apresentadas as curvas de secagem, os valores da taxa de secagem e os valores do índice de secagem, respetivamente.

Tabela 4.15 - Resultados do ensaio de secagem.

Argamassa	RM [%]	Taxa de Secagem $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$	Desvio Padrão $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$	Índice de Secagem [-]	Desvio Padrão [-]
Ref.	0	0,065	0,004	0,918	0,004
10%S	10	0,167	0,029	0,848	0,009
20%S	20	0,163	0,004	0,811	0,004
40%S	40	0,149	0,014	0,839	0,012
10%C	10	0,108	0,008	0,828	0,002
20%C	20	0,015	0,001	0,952	0,006
40%C	40	0,024	0,006	0,928	0,011

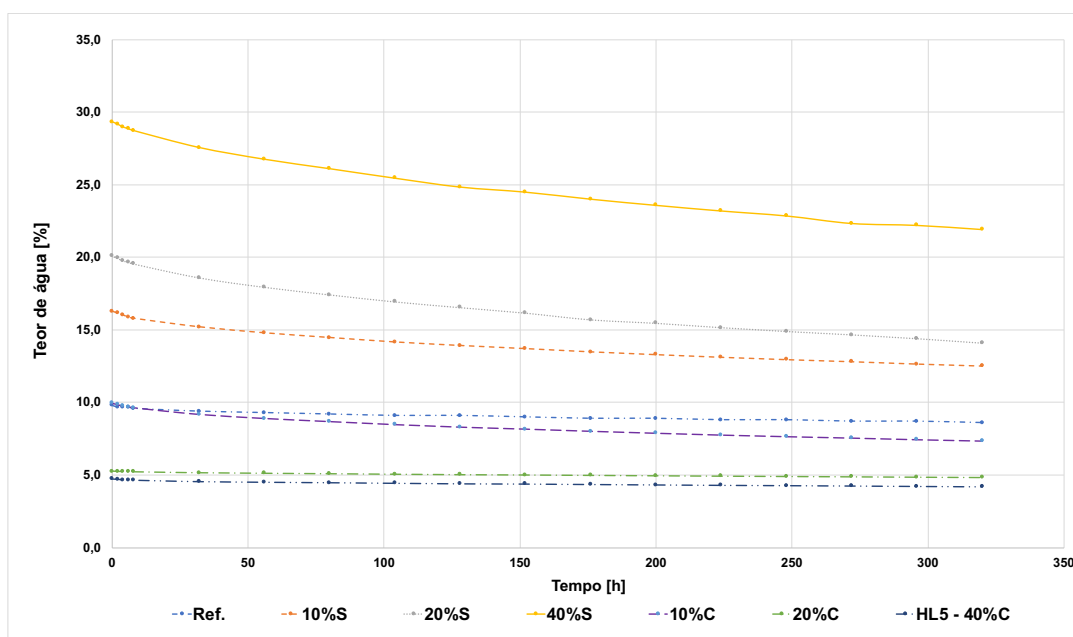


Figura 4.12 - Curvas de secagem.

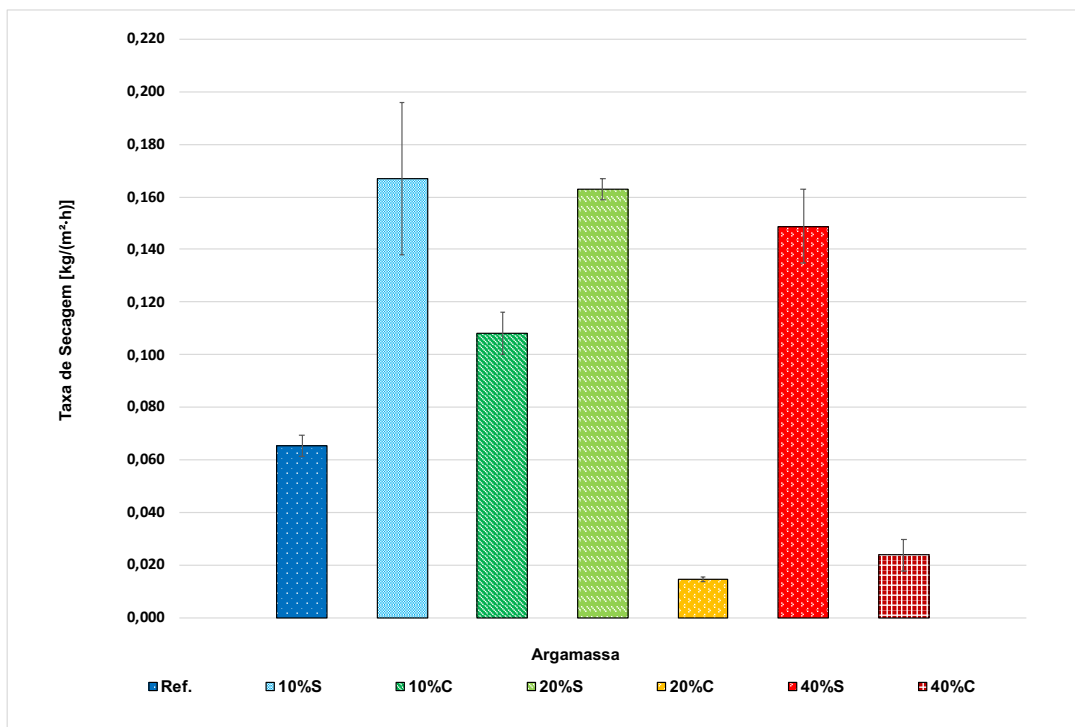


Figura 4.13 - Valores da taxa de secagem.

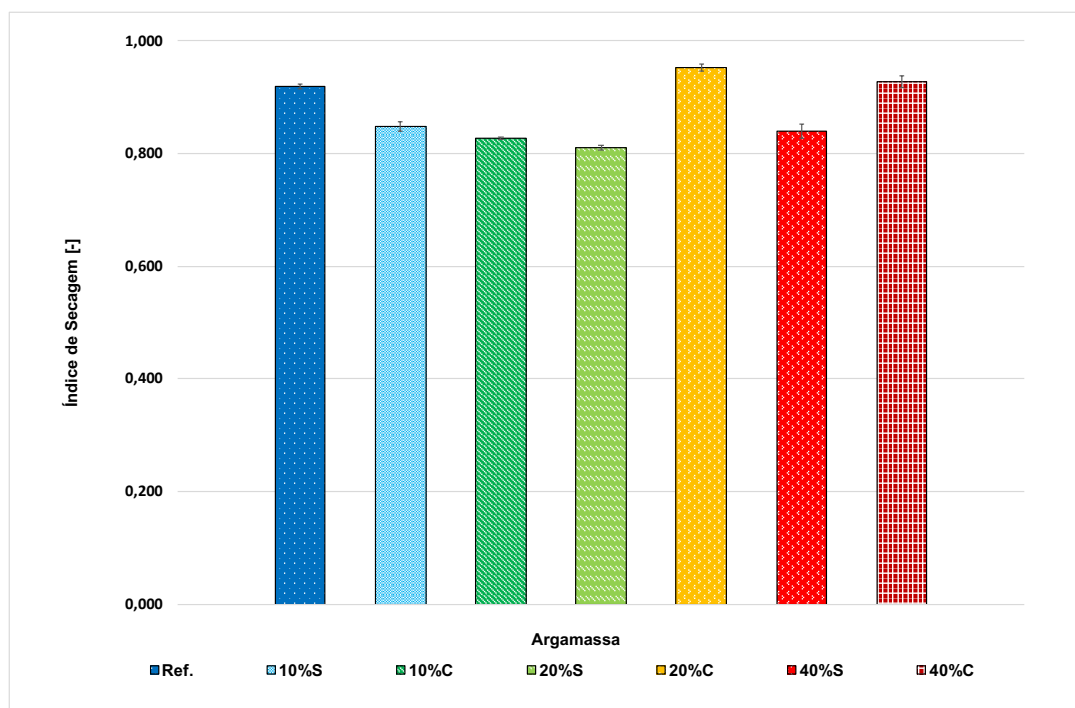


Figura 4.14 - Valores do índice de secagem.

Observando a *Tabela 4.15*, relativamente ao teor de água e a *Figura 4.12*, pode concluir-se que no geral as argamassas não apresentam quedas bruscas do teor de água. Note-se que as argamassas sem hidrófugo, Ref. e 10%C apresentam um comportamento semelhante no processo de secagem. O teor de água durante o período inicial de tempo apresenta uma ligeira curva, numa fase intermédia um troço mais linear decrescente e na fase final um troço linear com menor declive que o anterior, a que corresponde ao início da estabilização. As argamassas 20%C e 40%C apresentam um comportamento praticamente igual. O teor de água ao longo de todo o ensaio apresenta um troço linear com praticamente declive nulo (troço horizontal).

Analisando a *Figura 4.12*, pode retirar-se as seguintes conclusões relativamente aos valores iniciais do teor de água:

- Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas sem hidrófugo maior é o teor de água inicial. Desta forma a presença de madeira, traduz-se numa maior capacidade de armazenamento de água no interior das argamassas;

- Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporado nas argamassas com hidrófugo menor é o teor de água inicial. Este facto explica-se pela existência de hidrófugo na argamassa. Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira, maior a quantidade de hidrófugo e conseqüentemente, maior a dificuldade absorção de água por parte da argamassa. Desta forma, os valores iniciais do teor de água são menores. Os factos anteriormente descritos podem ser verificados pelos resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade presente na *Tabela 4.14*;

- As argamassas sem hidrófugo apresentam valores bastante superiores ao da argamassa de referência (Ref.);

- Com exceção da argamassa 10%C que apresenta um valor similar à argamassa de referência, Ref., esta apresenta valores consideravelmente superiores;

- A argamassa de referência (Ref.) e a argamassa 10%C cruzam-se, fazendo com que o teor de água final para argamassa 10%C seja menor que a de referência (Ref.). Para as restantes argamassas não se verifica tal acontecimento.

A taxa de secagem (TS) traduz a rapidez com que as argamassas perdem água. A análise é feita através do declive do troço inicial da curva de secagem. Considerado o período inicial de 8 horas, foram obtidos os resultados apresentados na *Tabela 4.15* e sob a forma de gráfico na *Figura 4.13*. Analisando os resultados podem retirar-se as seguintes conclusões:

- Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados menor são os valores da TS, ou seja, mais difícil é perder água na fase inicial (menos rápido a secar). Mostramos que a incorporação de resíduos de madeira traduz-se num aumento da capacidade de reter de água no interior da argamassa e uma maior dificuldade de secagem;

- A argamassa 10%C apresenta um valor bastante superior em comparação com as restantes argamassas com hidrófugo. Ao contrário do que acontece nas argamassas sem hidrófugo, nas argamassas com hidrófugo o valor da TS para a argamassa 40%C é maior do que para a argamassa 40%S. Pode concluir-se deste resultado que para uma determinada percentagem a combinação de hidrófugo com a madeira traduz-se numa maior facilidade de perda de água e conseqüente maior facilidade de secagem inicial;

- As argamassas sem hidrófugo apresentam valores bastante superiores na taxa de secagem (TS), em comparação com os valores obtidos nas argamassas com hidrófugo. Este dado é muito importante na utilização de uma a argamassa para reboco. A permanência de humidade num reboco, e a conseqüente dificuldade de secagem, conduz ao aparecimento de anomalias (por exemplo, perda de desempenho térmico, desenvolvimento de colonizações biológicas, entre outros). Como foi referido anteriormente a presença de hidrófugo traduz-se apenas numa maior dificuldade em perder água numa fase inicial;

- O valor da TS para a argamassa de referência (Ref.) é bastante inferior ao das argamassas sem hidrófugo.

O Índice de Secagem (IS) é uma grandeza adimensional que traduz a dificuldade de secagem. Quanto maior o valor do IS, maior a dificuldade de as argamassas secarem. Observando a *Tabela 4.15* e a *Figura 4.13* pode concluir-se que:

- O ensaio apresenta valores díspares não se podendo determinar com precisão a influência da percentagem de resíduos de madeira nos valores do IS;

• O ensaio apresenta valores dispares não se podendo aferir com precisão a influência da percentagem de resíduos de madeira no IS;

• Para percentagens mais elevadas de resíduos de madeira incorporados, como é o caso dos 20% e 40%, a presença de hidrófugo traduz-se numa maior dificuldade de secagem e consequente maior valor do IS;

• O valor do IS para a argamassa de referência é bastante superior ao das argamassas sem hidrófugo;

• O valor do IS para a argamassa de referência (Ref.) é inferior ao das argamassas com hidrófugo, à exceção da argamassa 10%C, que apresenta um valor consideravelmente superior ao da argamassa de referência.

4.2.9 Resistência aos cloretos

Os resultados obtidos no ensaio de resistência aos cloretos estão apresentados na *Figura 4.15*. O registo fotográfico efetuado no decorrer do ensaio aos vários provetes prismáticos estão presentes no *anexo I*.

Argamassa	Provetes	Grau de degradação em função dos ciclos																	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ref.	3.1a	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
	3.1b	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
	3.1c	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
10%S	6.2a	1	1	2	2	4	4	4	4	5									
	6.2b	1	1	1	2	3	3	4	4	4	5								
	6.2c	1	1	1	1	2	3	4	4	4	4	4	4	5					
20%S	6.3a	0	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	
	6.3b	0	1	1	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	
	6.3c	1	1	1	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	5				
40%S	7.4a	1	2	2	3	3	5												
	7.4b	1	1	2	2	3	3	5											
	7.4c	1	1	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
10%C	7.5a	1	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
	7.5b	1	2	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	7.5c	1	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5		
20%C	7.6a	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
	7.6b	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
	7.6c	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
40%C	7.7a	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
	7.7b	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
	7.7c	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3

Figura 4.15 - Grau de degradação em função dos ciclos de ensaio de resistência aos cloretos.

Como foi descrito no *Capítulo 3.6.9*, a avaliação da degradação dos provetes pelos ciclos correspondentes ao ensaio de resistência aos cloretos, foi feita com base na escala qualitativa semelhante à apresentada por Monteiro, D. (2017), que refere os seguintes critérios de degradação:

Grau 0 – Não apresenta alterações detetáveis à vista desarmada;

Grau 1 – Apresente um ligeiro grau de deterioração (alterações na coloração da superfície);

Grau 2 – Amostras alteradas, algumas fissuras finas, pouco profundas e de pequena expansão na superfície dos provetes;

Grau 3 – Amostras bastante alteradas, mostrando fissuras profundas e/ou um certo grau de empolamento na superfície e/ou perda de massa pouco significativa;

Grau 4 – Amostras extremamente alteradas, apresentando fendas de elevada profundidade e/ou empolamentos de elevada dimensão e/ou perda considerável de massa;

Grau 5 – Colapso do provete, restando apenas algumas partes.

Analisando a *Figura 4.15*, verifica-se que as argamassas com 10%S e 20%S apresentam uma degradação progressiva ao longo dos ciclos. No entanto a rotura dos provetes (3.1a, 3.1b e 3.1c) pertencentes à argamassa 20%S ocorreram antes que os provetes (6.2a, 6.2b e 6.2c), pertencentes à argamassa 10%S. Este facto deve-se à maior massa volúmica dos provetes com 10% de resíduos de madeira sem hidrófugo comparativamente com os de 20%. Em suma, no decorrer dos ciclos de resistência aos cloretos, o peso próprio, a utilização de hidrófugo e a percentagem de resíduos de madeira, são os fatores com mais influência na durabilidade dos provetes.

Os provetes (7.4a e 7.4b), da argamassa 40%S não apresentaram uma degradação progressiva (comportamento frágil). Deste modo, o colapso ocorre de forma inesperada dado ao grau de degradação visível. A elevada percentagem de resíduos de madeira sem hidrófugo (grande capacidade de absorção de água) faz com que estes se degradem internamente muito mais rapidamente que os restantes com 10% e 20% (consequência do efeito de expansibilidade da madeira quando molhada). Os provetes da argamassa 40%S apresentam maior capacidade de absorção (quando presentes na solução de cloreto de sódio) e uma maior capacidade de secagem (quando dentro da estufa). Esta capacidade elevada de absorção e secagem da solução aquosa de cloretos, promove a formação de cristais nos poros da argamassa e a consequente perda de integridade. A ação do peso próprio (molhado) mais o estado de degradação interno originou colapso frágil dos provetes (7.4a e 7.4b).

Todas as argamassas com hidrófugo incorporado apresentam uma deterioração mais progressiva relativamente às argamassas sem hidrófugo. A argamassa 10%C apresenta uma deterioração maior em menos tempo comparativamente com as restantes. Pode-se concluir que uma maior presença de hidrófugo contribui na retardação da deterioração, dificultando a absorção da solução por parte dos provetes (menor variação de massa quando seco, após ser introduzido na solução aquosa de cloretos). Como se pode observar a argamassa 40%C apresenta um grau de deterioração mais grave em menos tempo comparativamente com a 20%C. Neste caso, apesar da maior presença de hidrófugo da argamassa 40%C, também existe o aspeto negativo da maior presença de percentagem de resíduos de madeira (maior porosidade aberta; menor resistência mecânica; menor compactidade), maior perda de coesão de elementos mesmo absorvendo menos água que a argamassa 20%C.

A argamassa de referência apresenta de uma forma geral, muito maior resistência à deterioração do que as argamassas com resíduos de madeira sem hidrófugo. Conclui-se que a presença de madeira sem hidrófugo nas argamassas é um fator de perda de coesão e de deterioração dos provetes.

Fazendo uma análise comparativa entre as argamassas 20%C, 40%C e a Ref. pode-se dizer que a deterioração ao longo dos ciclos é similar. A presença de hidrófugo contribui de forma significativa para a preservação dos provetes aos ciclos.

Em suma, para iguais percentagens de resíduos de madeira incorporados, as argamassas com hidrófugo, apresentam uma grande melhoria nos resultados obtidos aos ciclos do ensaio de resistência aos cloretos comparativamente com as argamassas com resíduos de madeira sem hidrófugo.

4.2.10 Permeabilidade sob baixa pressão

Os resultados do ensaio da permeabilidade sob baixa pressão e os respectivos desvio padrão são apresentados na Tabela 4.16. Os valores são apresentados sob a forma de gráfico de barras na Figura 4.16. Na Figura 4.17 apresenta-se os valores da curva de absorção de água sob baixa pressão e na Figura 4.18 os 12 primeiros minutos do gráfico apresentado na Figura 4.17.

Tabela 4.16 - Resultados do ensaio de absorção de água sob baixa pressão.

Argamassa	RM [%]	C'absorção [ml/(cm ² ·min ^{1/2})]	Desvio Padrão [kg/(cm ² ·s ^{1/2})]
Ref.	0	0,12	0,00
10%S	10	0,12	0,00
20%S	20	0,32	0,01
40%S	40	1,52	0,10
10%C	10	0,00	0,00
20%C	20	0,00	0,00
40%C	40	0,00	0,00

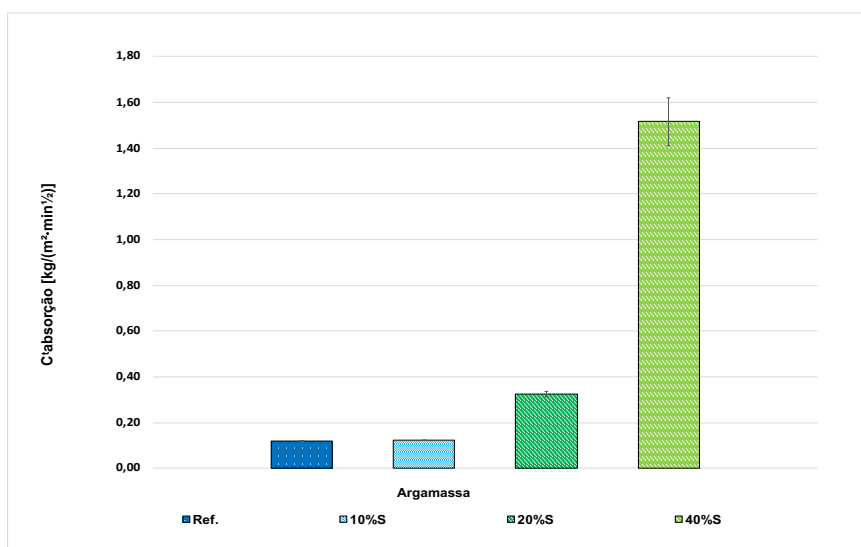


Figura 4.16 - Valores de absorção de água sob baixa pressão.

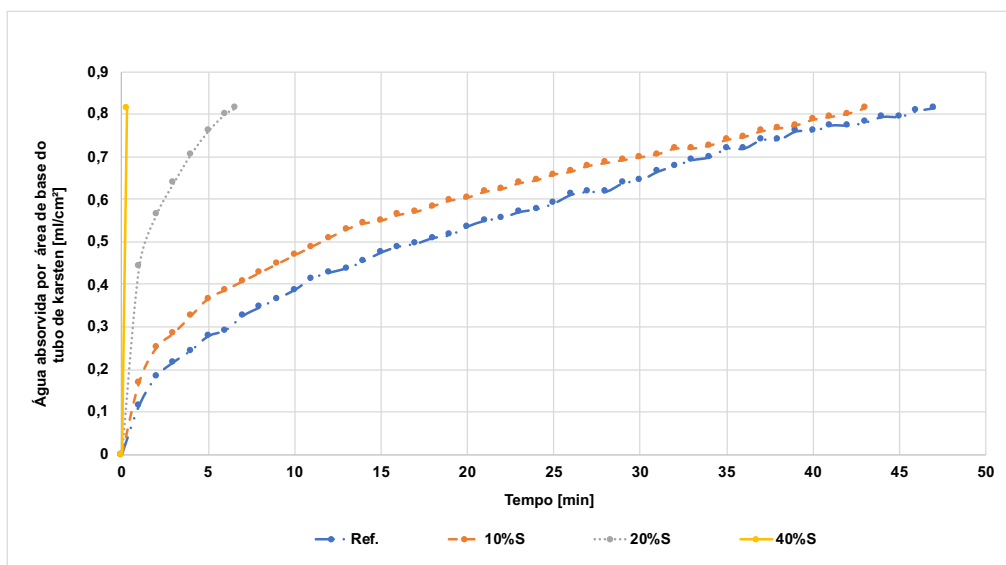


Figura 4.17 - Curva de absorção de água sob baixa pressão.

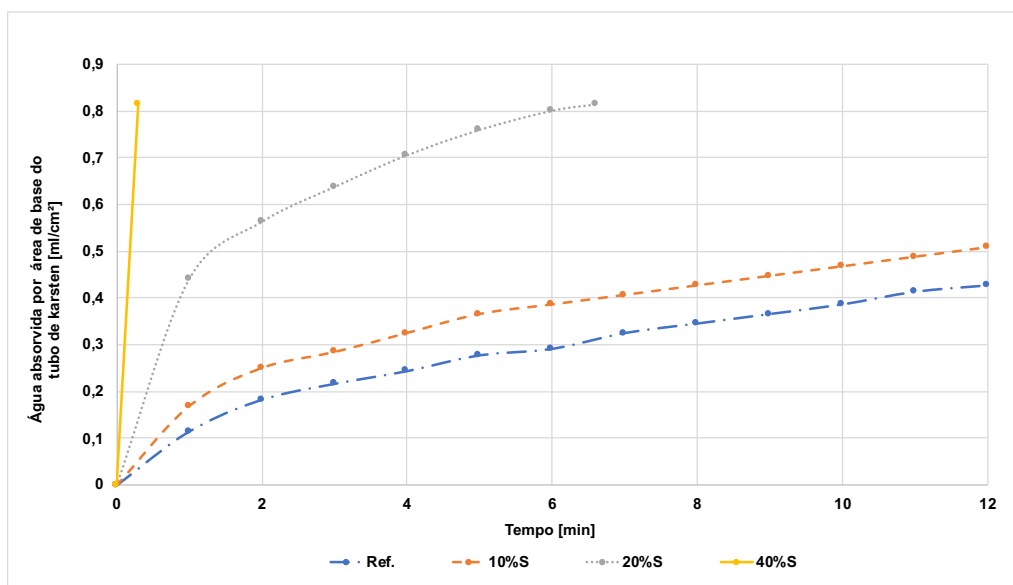


Figura 4.18 - Curva de absorção de água sob baixa pressão (primeiros 12 minutos).

Com base na análise dos resultados apresentados na *Tabela 4.16* e *Figura 4.16*, podem ser retiradas as seguintes conclusões relativamente ao C^t absorção:

- Independentemente da percentagem de resíduos de madeira, a presença de hidrófugo nas argamassas conduziu a uma absorção de água sob baixa pressão nula durante um período de 3h;

- Relativamente às argamassas com resíduos de madeira sem hidrófugo, o aumento da percentagem de resíduos incorporados resulta no aumento do coeficiente de absorção de água sob baixa pressão. Este resultado acompanha os resultados obtidos da porosidade aberta e do ensaio de absorção de água por capilaridade, apresentados anteriormente na *Figura 4.10* e *Figura 4.11*, respetivamente;

- O valor do coeficiente de absorção a baixa pressão da argamassa 10%S é aproximadamente igual ao da argamassa de referência (Ref.). Para a argamassa de 20%S o valor já apresenta um valor 2,7 vezes maior que o da argamassa de referência (Ref.). Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados na argamassa maior é a diferença entre os valores comparativamente com a argamassa Ref.

4.2.11 Aderência ao suporte

Na *Tabela 4.17* estão presentes os resultados referentes ao ensaio de aderência ao suporte e o respetivo tipo de rotura.

Tabela 4.17 - Resultados do ensaio de aderência ao suporte.

Argamassa	RM [%]	σ aderência [MPa]	Desvio Padrão [MPa]	Tipo de Rotura
Ref.	0	0,115	0,020	Tipo a
10%S	10	0,080	0,020	Misto (a;b)
20%S	20	0,062	0,010	Tipo b
40%S	40	0,000	0,000	Tipo b
10%C	10	0,036	0,020	Misto (a;b)
20%C	20	0,001	0,000	Misto (a;b)
40%C	40	0,000	0,000	Tipo b



Figura 4.19 - Resultado do ensaio de aderência ao suporte na argamassa (Ref.).

Analisando a *Tabela 4.17*, pode-se concluir que a argamassa de referência (Ref.) possui o maior valor para a tensão de aderência ao suporte comparativamente às argamassas com e sem hidrófugo. A descida do valor da tensão de aderência acentua-se com o aumento da percentagem de resíduos de madeira. Para a argamassa 10%S e 10%C, o valor reduz cerca de 0,3 e 0,7 vezes, respetivamente, em comparação com a argamassa de referência (Ref.).

O dado anteriormente referido mostra uma descida abrupta do valor de aderência com a introdução de uma pequena percentagem de resíduos de madeira. O tipo de rotura ocorrido pela argamassa de referência (tipo a) é distinto do das argamassas com resíduos de madeira incorporados (tipo b e misto).

Para percentagens iguais de resíduos de madeira incorporados, as argamassas sem hidrófugo apresentam maiores valores de aderência ao suporte que as argamassas sem hidrófugo. A presença de hidrófugo torna as partículas de madeira impermeáveis e promove superfícies de contacto de menor rugosidade. Como quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas, maior a percentagem de hidrófugo, maior será a falta de coesão mencionada anteriormente. Esta maior aderência pode ainda dever-se à menor quantidade de água utilizada (consequência do uso de hidrófugo) o que provoca menor porosidade aberta e consequentemente maior superfície de contacto com o suporte.

Por outro lado (independentemente de existir hidrófugo ou não) o aumento do teor de resíduos provoca um aumento do ar incorporado (consistência esponjosa), que compromete a aderência no estado endurecido. Convém salientar que para a percentagem de 40% de resíduos de madeira incorporados a tensão de aderência ao suporte é de aproximadamente zero.

De acordo com os autores Veiga, M. e Tavares, M. (2002) os valores recomendados para a aderência ao suporte (R_a) para rebocos (exteriores e interiores) em edifícios antigos estão compreendidos entre 0,1 a 0,3 MPa (*Tabela 2.2*). Analisando a *Tabela 4.17*, apenas a argamassa de referência (Ref.) está entre os valores apresentados pelos autores.

4.3 Síntese Global dos resultados obtidos

A *Tabela 4.18*, apresentada na página seguinte, mostra o resumo dos valores médios obtidos nos ensaios realizados em argamassas no estado fresco e endurecido. Em seguida é apresentada uma apreciação sumária dos resultados apresentados.

Tabela 4.18 - Síntese dos resultados obtidos nos ensaios.

	Parâmetro de Ensaio	Argamassas																
		Ref.	10%S	20%S	40%S	10%C	20%C	40%C										
Constituição	Resíduos de Madeira [%]	0	10	20	40	10	20	40										
	Resíduos de Madeira [% em massa]	0	2,2	4,5	9,4	1,6	3,3	7,0										
	Areia [% em massa]	69,3	62,7	56,2	44,0	64,3	59,3	47,0										
	Ligante NHL5 [% em massa]	18,6	18,7	18,9	19,7	19,2	19,9	21,1										
	Água [% em massa]	11,9	16,3	20,4	26,8	14,8	17,3	24,8										
	Superplastificante [% em massa]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1										
Estado Fresco	Espalhamento [mm]	168	171	167	176	175	167	172										
	Massa volúmica fresca [kg/m³]	1889,0	1667,6	1572,0	1470,2	1854,2	1804,7	1613,7										
	Retenção de água [kg/m³]	87,3	76,3	84,3	90,6	87,2	87,5	88,5										
Estado Endurecido	Massa Volúmica Aparente Geométrica [kg/m³]	1747,2	1555,0	1402,7	978,2	1641,6	1572,7	1338,2										
	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]	8640,58	2692,83	1299,67	299,58	3985,00	2980,75	966,92										
	Resistência à tração por flexão [MPa]	1,18	0,36	0,21	0,13	0,58	0,49	0,26										
	Resistência à compressão [MPa]	4,17	0,82	0,46	0,17	1,20	1,08	0,42										
	Massa Vol. Aparente [kg/m³]	1781,1	1590,2	1431,0	993,5	1667,8	1589,3	1355,9										
	Porosidade Aberta [%]	20,2	28,7	32,9	51,1	24,2	17,3	21,6										
	Coefficiente de capilaridade [kg/(m²·s ^{1/2})]	0,051	0,105	0,113	0,200	0,037	0,008	0,007										
	Valor assintótico [kg/m³]	25,038	41,708	43,854	54,678	23,927	10,244	7,575										
	Taxa de Secagem [kg/(m²·h)]	0,065	0,167	0,163	0,149	0,108	0,015	0,024										
	Índice de Secagem [-]	0,918	0,848	0,811	0,839	0,828	0,952	0,928										
	C'absorção [ml/(cm²·min ^{1/2})]	0,12	0,12	0,32	1,52	0,00	0,00	0,00										
	σ aderência [MPa]	0,115	0,080	0,062	0,000	0,036	0,001	0,000										
			Rotura tipo a	Rotura mista (a;b)	Rotura tipo b	Rotura tipo b	Rotura mista (a;b)	Rotura mista (a;b)	Rotura tipo b									
	Grau de degradação em função dos ciclos (Cloretos)																	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ref.	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
10%S	1	1	1	2	3	3	4	4	4	5								
20%S	0	1	1	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5		
40%S	1	2	2	2	3	4	5											
10%C	1	2	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
20%C	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
40%C	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3

Os parâmetros avaliados no estado fresco resultam da realização dos ensaios de consistência por espalhamento, massa volúmica aparente e retenção de água.

Verificou-se que todas as argamassas apresentaram valores de espalhamento adequados para argamassas de reboco (175±10mm), referidos pela norma EN 1015-2:1998 (CEN, 1998). Conclui-se ainda que quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas, com e sem hidrófugo, maior é a necessidade de introdução de água, ou seja, maior a relação entre água-ligante. Para percentagens iguais de resíduos de

madeira incorporados e valores de espalhamento idênticos, as argamassas com hidrófugo, apresentaram uma relação água-ligante menor em comparação com as sem hidrófugo. É de salientar que a utilização de superplastificante (SP) em pó contribuiu de forma significativa para melhoria da trabalhabilidade das argamassas, permitindo a introdução de uma menor quantidade de água de amassadura.

Em relação à massa volúmica no estado fresco concluiu-se que quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas, com e sem hidrófugo, menor é o valor da massa volúmica obtidos. Este resultado era espectável devido à baridade da mistura de resíduos de madeira, com e sem hidrófugo, ser bastante inferior à baridade da areia. Para percentagens iguais, em volume, de substituição de areia por resíduos de madeira, os valores da massa volúmica fresca das argamassas sem hidrófugo revelaram-se menores do que as com hidrófugo. A maior percentagem em massa de areia por parte das argamassas com hidrófugo, sobrepõe-se à maior percentagem de água presente nas argamassas sem hidrófugo e conseqüentemente o seu valor em termos de massa volúmica aparente no estado fresco é maior. Note-se que a baridade da areia é, cerca de 1,5 vezes superior à massa volúmica da água. De referir que no processo de amassadura e manuseamento das argamassas com incorporação de resíduos de madeira o seu aspeto “esponjoso” referido no trabalho experimental realizado por Martinho, P. (2017) e Monteiro, D. (2017). Este aspeto foi mais evidente com o aumento da percentagem de resíduos presentes na argamassa.

Relativamente aos valores obtidos no ensaio de retenção de água verificou-se que com o aumento das percentagens de resíduos de madeira nas argamassas, com e sem hidrófugo, os valores de retenção de água também aumentam. Nas argamassas sem hidrófugo o aumento da percentagem de resíduos de madeira incorporados traduz-se numa maior absorção de água por parte das partículas de madeira. Nas argamassas com hidrófugo, os valores para a retenção de água mantiveram-se constantes com o incremento da dosagem de resíduos. De uma forma geral pode concluir-se que para as argamassas com a mesma percentagem de resíduos de madeira incorporados o valor de retenção de água é inferior nas argamassas sem hidrófugo comparativamente com as com hidrófugo. A exceção verificou-se para a argamassa 40%C, onde o valor da retenção de água é inferior à argamassa 40%S.

Os parâmetros determinados no estado endurecido resultam da realização dos ensaios de massa volúmica aparente geométrica, condutibilidade térmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão, resistência à compressão, massa volúmica aparente e porosidade aberta, absorção de água por capilaridade, secagem, permeabilidade sob baixa pressão (tubos de Karsten) e aderência ao suporte.

Do ensaio de massa volúmica aparente geométrica concluiu-se que ocorre uma diminuição da massa volúmica aparente geométrica com o aumento da percentagem de resíduos de madeira introduzidos. Este resultado era espectável e reforça os resultados obtidos no ensaio da massa volúmica fresca. À semelhança dos resultados obtidos no ensaio da massa volúmica aparente no estado fresco, para percentagens iguais de substituição de agregado por resíduos de madeira, as massas volúmicas aparentes geométricas das argamassas sem hidrófugo revelaram-se menores do que as com hidrófugo.

Relativamente aos valores obtidos no ensaio de condutibilidade térmica verificou-se que a incorporação de resíduos de madeira nas argamassas faz baixar abruptamente o valor da condutibilidade térmica. Este resultado deve-se ao valor da condutibilidade térmica as misturas de resíduos de madeira ser bastante inferior à da areia. Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados na argamassa mais baixo é o valor da condutibilidade térmica. Para igual percentagem de resíduos de madeira verifica-se que a condutibilidade térmica das argamassas sem hidrófugo é menor do que as argamassas com hidrófugo. Este resultado baseia-se no facto da porosidade aberta (PA), para percentagens iguais de resíduos de madeira incorporados, ser maior nas argamassas sem hidrófugo comparativamente às com hidrófugo.

Tal como no ensaio anteriormente referido, no ensaio do módulo de elasticidade dinâmico verificou-se uma queda acentuada dos valores do módulo de elasticidade obtidos para as argamassas com resíduos de madeira incorporados comparativamente com a argamassa de referência, demonstrando argamassas mais deformáveis. Este resultado deve-se à maior porosidade aberta (PA) existente nas argamassas com resíduos de madeira incorporados.

Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas, menor o valor do módulo de elasticidade dinâmico. Para iguais percentagens de resíduos de madeira, foram obtidos valores superiores para as argamassas com hidrófugo comparativamente com as sem hidrófugo.

Em relação à resistência à tração por flexão e compressão pode concluir-se que a incorporação de resíduos de madeira se traduz numa redução do valor das resistências mecânicas. Este resultado era espectável pois quanto maior a percentagem de resíduos de madeira menor será a coesão e compacidade das argamassas. Para iguais percentagens de resíduos de madeira incorporados, verificaram-se valores mais elevados no ensaio de tração à flexão para as argamassas com hidrófugo, comparativamente com as argamassas sem hidrófugo. Verificou-se que todas as argamassas testadas se encontram dentro dos valores recomendados para a resistência à tração por flexão em rebocos de edifícios antigos, apresentados na *Tabela 2.2 (Capítulo 2.1.3)*, à exceção da argamassa de Ref. e 40%S. No caso da resistência à compressão também se verificou que as argamassas analisadas (excetuando a Ref. e 40%S) cumprem os valores descritos pelos autores Veiga, M. e Tavares, M. (2002), na referida tabela.

Com base nos resultados obtidos no ensaio de massa volúmica aparente e porosidade aberta conclui-se que, com o aumento da percentagem dos resíduos de madeira nas argamassas, com e sem hidrófugo, a massa volúmica aparente diminui. Quanto maior a substituição do agregado por resíduos de madeira, menor será a massa volúmica da argamassa. Para igual percentagem de resíduos de madeira, verificou-se um valor inferior para as argamassas com mistura de resíduos de madeira sem hidrófugo em comparação com as argamassas com mistura de madeira com hidrófugo. Os resultados da porosidade aberta estão diretamente ligados com os resultados da massa volúmica aparente, ou seja, quanto maior a massa volúmica, menor a porosidade aberta das argamassas. Note-se que a presença de hidrófugo nos provetes impede a sua saturação completa e, desta forma, os resultados apresentados encontram-se adulterados.

Relativamente aos valores obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade verificou-se que quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas maior é o valor assintótico (VA). A maior percentagem de resíduos de madeira incorporados, resulta numa maior porosidade aberta (PA) e conseqüentemente capacidade de absorção de armazenamento de água. Para as argamassas com hidrófugo, ao contrário do que se verifica para as argamassas sem hidrófugo, quanto maior a percentagem de substituição de resíduos de madeira incorporados menor é o valor assintótico (VA). Para percentagens iguais de resíduos de madeira incorporados, as argamassas sem hidrófugo apresentam valores assintóticos substancialmente superiores comparativamente às argamassas com hidrófugo. Este resultado traduz a maior capacidade por parte das argamassas sem hidrófugo de armazenar água. A presença de hidrófugo dificulta a absorção de água por parte das argamassas, diminuindo a quantidade de água armazenada no mesmo período de tempo em comparação com as argamassas sem hidrófugo. Quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados maior é o valor do coeficiente de capilaridade (Cc). Para as argamassas com hidrófugo, ao contrário do que se verifica para as argamassas sem hidrófugo, quanto maior é a percentagem de substituição de resíduos de madeira, menor é o valor do Cc. Para percentagens iguais de resíduos de madeira incorporados, as argamassas sem hidrófugo apresentam valores substancialmente superiores comparativamente com as argamassas com hidrófugo. Estes resultados devem-se à grande higroscopicidade da madeira sem tratamento de hidrófugo. A *Tabela 2.2*, referida anteriormente e apresentada no *Capítulo 2.1.3*, indica valores recomendados relativos ao coeficiente de capilaridade, para argamassas de reboco de edifícios antigos. Verificou-se que nenhuma das argamassas analisadas está dentro da gama de valores apresentada por Veiga, M. e Tavares, M. (2002).

O ensaio de secagem pressupõe a análise de vários parâmetros, nomeadamente, o teor de água, a taxa de secagem (TS) e o índice de secagem (IS). Relativamente ao teor de água pode concluir-se que no geral as argamassas não apresentam quedas bruscas do teor de água. As argamassas sem hidrófugo, Ref. e 10%C apresentam um comportamento semelhante no processo de secagem. O teor de água durante o período inicial de tempo apresenta uma ligeira curva, numa fase intermédia um troço mais linear decrescente e na fase final um troço linear com menor declive que o anterior, a que corresponde ao início da estabilização. As argamassas 20%C

e 40%C apresentam um comportamento praticamente igual. O teor de água ao longo de todo o ensaio apresenta um troço linear com praticamente declive nulo (troço horizontal). Conclui-se ainda que quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas sem hidrófugo maior é o teor de água inicial. Desta forma a presença de madeira, traduz-se numa maior capacidade de armazenamento de água no interior das argamassas. Por sua vez, quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporado nas argamassas com hidrófugo menor é o teor de água inicial. Analisando os resultados relativos à taxa de secagem (TS) concluiu-se que quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados menor são os valores da TS, ou seja, mais difícil é perder água na fase inicial (menos rápido a secar). Mostra-nos que a incorporação de resíduos de madeira traduz-se num aumento da capacidade de reter de água no interior da argamassa e uma maior dificuldade de secagem. A argamassa 10%C apresenta um valor bastante superior em comparação com as restantes argamassas com hidrófugo. Ao contrário do que acontece nas argamassas sem hidrófugo, nas argamassas com hidrófugo o valor da TS para a argamassa 40%C é maior do que para a argamassa 40%S. Retira-se deste resultado que para uma determinada percentagem a combinação de hidrófugo com a madeira traduz-se numa maior facilidade de perda de água e conseqüente maior facilidade de secagem inicial. As argamassas sem hidrófugo apresentam valores bastante superiores na taxa de secagem (TS), em comparação com os valores obtidos nas argamassas com hidrófugo. Este dado é muito importante na utilização de uma a argamassa para reboco. A permanência de humidade num reboco, e a conseqüente dificuldade de secagem, conduz ao aparecimento de anomalias (por exemplo, perda de desempenho térmico, desenvolvimento de colonizações biológica, entre outros). Como foi referido anteriormente a presença de hidrófugo traduz-se apenas numa maior dificuldade em perder água numa fase inicial. Relativamente ao índice de secagem (IS) foram obtidos valores díspares não se podendo determinar com precisão a influência da percentagem de resíduos de madeira neste parâmetro.

No decorrer do ensaio de resistência aos cloretos concluiu-se que o peso próprio, a utilização de hidrófugo e a percentagem de resíduos de madeira, são os fatores com mais influência na durabilidade dos provetes. De forma geral as argamassas com hidrófugo incorporado apresentam uma deterioração mais progressiva relativamente às argamassas sem hidrófugo. A elevada presença de resíduos de madeira sem hidrófugo conduz á rutura do provete de forma frágil (não progressiva). O mesmo não se verifica para as argamassas com hidrófugo incorporado. Em suma, para iguais percentagens de resíduos de madeira incorporados, as argamassas com hidrófugo, apresentam uma grande melhoria nos resultados obtidos aos ciclos do ensaio de resistência aos cloretos comparativamente com as argamassas com resíduos de madeira sem hidrófugo.

Dos resultados obtidos no ensaio da permeabilidade sob baixa pressão (tubos de Karsten) verificou-se que independentemente da percentagem de resíduos de madeira presentes, a presença de hidrófugo nas argamassas conduziu a uma absorção de água sob baixa pressão nula durante o ensaio. Relativamente às argamassas com resíduos de madeira sem hidrófugo, o aumento da percentagem de resíduos incorporados resulta no aumento do coeficiente de absorção de água sob baixa pressão. Este resultado acompanha os resultados obtidos da porosidade aberta e do ensaio de absorção de água por capilaridade, referidos anteriormente.

Em relação ao ensaio de aderência ao suporte pode concluir-se que a argamassa de referência (Ref.) possui o maior valor para a tensão de aderência ao suporte comparativamente às argamassas com e sem hidrófugo. Recorrendo à classificação segundo a norma *EN 1015-12:2000 (CEN, 2000)*, que define três tipologias de rotura no ensaio de arrancamento, rotura adesiva (rotura na interface do revestimento e suporte) e coesiva (rotura ao nível do revestimento ou ao nível do suporte), verificou-se que para percentagens iguais de resíduos de madeira incorporados, as argamassas sem hidrófugo apresentam maiores valores de aderência ao suporte que as argamassas sem hidrófugo. Este resultado deve-se à baixa aderência/ligação entre as partículas do agregado e a pasta de cal hidráulica conseqüência da presença de hidrófugo. Como quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas, maior a percentagem de hidrófugo, maior será a falta de coesão mencionada anteriormente. Verificou-se que apenas a argamassa de referência (Ref.) está entre os valores recomendados para rebocos de edifícios antigos apresentados pelos autores Veiga, M. e Tavares, M. (2002) na *Tabela 2.2*. De referir que para a percentagem de 40% de resíduos de madeira incorporados a tensão de aderência ao suporte é de aproximadamente zero.

5 Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1 Conclusões finais

A presente dissertação teve como objetivo principal contribuir para o aprofundamento dos conhecimentos relativos a argamassas de reboco de cal hidráulica natural (NHL5), termicamente melhoradas com a incorporação de resíduos de madeira. A utilização abusiva dos recursos naturais tem conduzido a danos irreparáveis no ecossistema do planeta terra, nomeadamente a indústria de argamassas, devido à extração insustentável de areia e cascalho. Desta forma o trabalho desenvolvido procura analisar a viabilidade da incorporação de resíduos de madeira, provenientes da biomassa, como forma de substituição do agregado em argamassas. Para tal foram testados três tipos de argamassas (traço volumétrico 1:2), a de referência (sem incorporação de resíduos de madeira), resíduos de madeira com e sem hidrófugo. Para as argamassas com resíduos de madeira incorporados, foram testadas as percentagens de 10, 20 e 40% de substituição de agregado. Com a utilização de hidrófugo procurou-se colmatar alguns aspetos negativos oriundos da incorporação da madeira em argamassas, nomeadamente, a sua grande higroscopicidade e capacidade de retenção de água. De referir que devido à impossibilidade de recolha de resíduos de madeira antes do processo de paletização, estes foram obtidos através da moagem de pellets de madeira fabricados industrialmente.

Fazendo uma síntese global dos resultados obtidos, pode concluir-se que a presença de hidrófugo conduziu a melhorias significativas nos parâmetros de retenção de água, absorção de água por capilaridade, ensaio de secagem e permeabilidade sob baixa pressão (Tubos de Karsten). No ensaio de retenção de água verificou-se que nas argamassas sem hidrófugo, o aumento da percentagem de resíduos de madeira, conduziu a uma maior absorção de água. Ao contrário do que se verificou nas argamassas sem hidrófugo, os valores para a retenção de água mantiveram-se constantes com o incremento da dosagem de resíduos nas argamassas com hidrófugo. Relativamente ao ensaio de absorção de água por capilaridade concluiu-se que, ao contrário do que se verifica nas argamassas sem hidrófugo, nas argamassas com hidrófugo, quanto maior a percentagem de substituição de resíduos de madeira, menor é o valor assintótico (VA). Para as argamassas com hidrófugo quanto maior é a percentagem de substituição de resíduos de madeira, menor é o valor do coeficiente de capilaridade (Cc). O mesmo não se verifica nas argamassas sem hidrófugo. No ensaio de secagem foram analisados os parâmetros relativos ao teor de água, a taxa de secagem (TS) e o índice de secagem (IS). Do ensaio conclui-se que quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados nas argamassas sem hidrófugo maior é o teor de água inicial. Por sua vez, quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporado nas argamassas com hidrófugo menor é o teor de água inicial. As argamassas sem hidrófugo apresentam valores bastante superiores na taxa de secagem (TS), em comparação com os valores obtidos nas argamassas com hidrófugo. De referir que este dado é muito importante na utilização de uma argamassa para reboco, uma vez que, a permanência de humidade num reboco pode conduzir ao aparecimento de anomalias (por exemplo, perda de desempenho térmico, desenvolvimento de colonizações biológicas, entre outros). Relativamente ao índice de secagem (IS) foram obtidos valores díspares não se podendo determinar com precisão a influência da percentagem de resíduos de madeira neste parâmetro. A presença de hidrófugo nas argamassas conduziu, de uma forma geral, a uma deterioração mais progressiva relativamente às argamassas sem hidrófugo, no ensaio de resistência aos cloretos. A elevada presença de resíduos de madeira sem hidrófugo conduz á rutura do provete de forma frágil (não progressiva). O mesmo não se verifica para as argamassas com hidrófugo. Por fim, dos resultados obtidos no ensaio da permeabilidade sob baixa pressão (tubos de Karsten) verificou-se que independentemente da percentagem de resíduos de madeira presentes, a presença de hidrófugo nas argamassas conduziu a uma absorção de água sob baixa pressão nula durante o ensaio. Relativamente às argamassas com resíduos de madeira sem hidrófugo, o aumento da percentagem de resíduos incorporados resulta no aumento do coeficiente de absorção de água sob baixa pressão. Este resultado acompanha os resultados obtidos do ensaio de absorção de água por capilaridade, referidos anteriormente.

Para as argamassas com resíduos de madeira incorporados (com e sem hidrófugo), foram obtidas melhorias significativas ao nível da condutibilidade térmica, comparativamente com a argamassa de referência (Ref.). Este resultado deve-se ao valor da condutibilidade térmica as misturas de resíduos de madeira ser bastante inferior à da areia. Desta forma, quanto maior a percentagem de resíduos de madeira incorporados na argamassa mais baixo é o valor da condutibilidade térmica.

5.2 Desenvolvimentos futuros

Apesar da análise completa dos vários tipos de argamassas apresentadas no trabalho, não foi possível ter em consideração todos os fatores relativos à sua formulação e avaliação. Desta forma são apresentados em seguida alguns aspetos e sugestões a ter em conta em trabalhos futuros:

- Analisar o moisture buffer value (MBV) destas argamassas;
- Consideração de traços volúmicos mais fortes de forma a contribuir para as resistências mecânicas das argamassas com resíduos de madeira incorporados;
- Analisar parâmetros relacionados com a reação ao fogo das argamassas segundo a norma *EN 13501-1:2007/A1:2009 (CEN, 2007:2009)*;
- Variações dimensionais influenciadas pela temperatura, e conseqüente influência na aderência;
- Analisar a influência de diferentes condições de cura dos provetes, como estes podem afetar resistências mecânicas e durabilidade;
- Estudo do desempenho das argamassas em diferentes idades de cura;
- Avaliação *in situ e em condições reais* das argamassas em suportes de edifícios antigos;
- Avaliar o comportamento acústico das argamassas;
- Análise da viabilidade de utilização direta de resíduos de madeira antes do processo de paletização;
- Analisar a resistência das argamassas a fungos e a colonizações biológicas;
- Realizar ensaios de desgaste à abrasão;
- Submeter as argamassas a ciclos de envelhecimento acelerado;
- Analisar a resistência das argamassas a ciclos de gelo-degelo.

Bibliografia

- Apps, C.A.C.P. (2011). *Avaliação da variabilidade da técnica de ensaio do tubo de Karsten na medição da permeabilidade à água líquida em revestimentos de ladrilhos cerâmicos e argamassas*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico.
- Areipor. (2018). *Declaração de desempenho – nº 5/2018, agregado 0/4*.
- Barbosa, M.T.C. (2008). *Análise da utilização de biomassa e resíduos florestais para a produção de pellets*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro.
- Barra, A. (2011). *Caracterização física e mecânica de argamassas não estruturais, com agregados finos reciclados*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Barros, C.S.A. (2013). *Produção de pellets para valorização de resíduos provenientes da indústria corticeira*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica. Universidade do Minho.
- Bederina, M., Marmoret, L., Mezreb, K., Khenfer, M. M., Bali, A., & Quéneudec, M. (2007). Effect of the addition of wood shavings on thermal conductivity of sand concretes: Experimental study and modelling. *Construction and Building Materials*, 21(3), pp. 662-668.
- Brás, A.A., Lear, M. e Faria, P. (2012). Argamassas com comportamento térmico melhorado com materiais sustentáveis. *2º Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono*, pp. 1-5.
- Brás, A.; Leal, M.; Faria, P. (2013). *Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPS mortars performance*. *Construction and Building Materials*, 49, pp. 315-327.
- Braga, M. (2010). *Desempenho de argamassas com agregados finos provenientes da trituração do betão. Efeito de filler e pozolânico*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico.
- Carasek, H., Araújo, R.C., Cascudo, O. e Angelim, R. (2016). Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade da massa das argamassas de revestimento. *Revista Matéria*. 21: 715.
- Carneiro, J.P.M.N. (2012). *Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural com Metacaulino*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Carvalho, N.P.R. (2011). *Implementação do plano de controlo, inspeção e ensaio na produção de pellets de madeira*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Tecnologias Ambientais. Instituto Politécnico de Viseu.
- Corinaldesi, V., Mazzoli, A., & Siddique, R. (2016). Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste. *Construction and Building Materials*, 123, pp. 281-289.
- CEN. (1998). *EN 1015-2:1998 – Methods of test for mortar for masonry. Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars*. Brussels, CEN.
- CEN. (1998). *EN 1015-6:1998 – Methods of test for mortar for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar*. Brussels, CEN.

- CEN. (1999). *EN 1015-11:1999 - Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels, CEN.
- CEN. (1999). *EN 1015-3:1999 - Methods of test for mortar for masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Brussels, CEN.
- CEN. (1999). *prEN 1015-8:1999 - Methods of test for mortar for masonry. Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar*. Brussels, CEN.
- CEN. (2000). *EN 1015-12:2000 - Methods of test for mortar for masonry. Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering of hardened mortar*. Brussels, CEN.
- CEN. (2002). *EN 1015-18:2002 - Methods of test for mortar for masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. Brussels, CEN.
- CEN. (2013). *EN 16302:2013 – Conservation of Cultural Heritage – Test methods – Determination of water absorption by pipe method*. Brussels, CEN.
- CEN. (2013). *EN 16322:2013 – Conservation of Cultural Heritage – Test methods – Determination of drying properties*. Brussels, CEN.
- Chilamkurthy, K., Marckson, A.V., Chopperla, S.T. e Santhanam, M. (2016). *A statistical overview of sand demand in Asia and Europe. International Conference UKIERE CTMC, Goa, India, June 2016*. pp. 2.
- Coutinho, J.S. (2006). *Materiais de construção 2 – 1ª Parte: Ligantes e Caldas*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cruz, N.T.C.C. (2008). *Estudo da Influência da Granulometria das Areias no Desempenho de Rebocos de Ligante Hidráulico. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil*. Instituto Superior Técnico.
- Cunha, A.I.T. (2013). *Estudo da possibilidade de utilização de resíduos em materiais cimentícios. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Faria, P. (2005). Resistência aos Cloretos e aos Sulfatos de Argamassas de Cal Aérea e diferentes Pozolanas. Seminário Internacional COMPASS – Sais Solúveis em Argamassas de Edifícios Antigos. Lisboa, LNEC, Fevereiro de 2005.
- Faria, P. (2012). Argamassas sustentáveis. *2º Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono*, pp. 1-12.
- Faria, P., Silva, V., Grilo, J., Carneiro, J., Branco, T., Mergulhão, D. e Antunes, R. (2012). Argamassas compatíveis com alvenarias históricas com base em cal hidráulica natural. *Conferência Internacional sobre reabilitação de estruturas antigas de alvenaria, Lisboa, 4 de maio de 2012*.
- Faria, P., Costa, J., Lourenço, T., Figueiredo, T. e Silva, V. (2014). Caracterização de Rebocos de Argamassas de Cal Aérea e de Cal Hidráulica Natural com Metacaulino e Resíduos Cerâmicos em Exposição Natural. *Argamassas 2014 - Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento*, Coimbra, 5-6 Junho de 2014. pp. 1-12.
- Faria, P. (2016) *Tecnologia dos Revestimentos – Slides de apoio às aulas*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade nova de Lisboa.
- FCT/UNL. (1996). *Pedras naturais e artificiais. Determinação da porosidade aberta*. Fichas de Ensaio: Fe 02. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

- FCT/UNL. (1996). *Pedras naturais e artificiais. Determinação do índice de secagem*. Fichas de Ensaio: Fe 07. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
- FCT/UNL. (1996). *Pedras naturais e artificiais. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico*. Fichas de Ensaio: Fe 08. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
- FCT/UNL. (1996). *Inertes para argamassas e betões. Determinação da baridade*. Fichas de Ensaio: Fe 15. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- FCT/UNL. (1996). *Análise de argamassas. Preparação de provetes*. Fichas de Ensaio: Fe 19. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- FCT/UNL. (1996). *Pedras naturais e artificiais. Absorção de água sob baixa pressão com cachimbo*. Fichas de Ensaio: Fe 23. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- FCT/UNL. (1999). *Análise de argamassas. Determinação da resistência à flexão e compressão*. Fichas de Ensaio: Fe 27. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- FCT/UNL. (1999). *Pedras naturais e artificiais. Determinação da absorção de água por capilaridade*. Fichas de Ensaio: Fe 06. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
- FCT/UNL. (2000). *Análise de argamassas. Determinação da retenção de água*. Fichas de Ensaio: Fe 32. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Fernandes, F. (2001). Erosão e extração de areias foram as causas da queda da ponte Hintze Ribeiro. *Público*. Acedido em 8, Julho, 2018, em: <https://www.publico.pt/2001/04/11/sociedade/noticia/erosao-e-extracao-de-areias-foram-as-causas-da-queda-da-ponte-hintze-ribeiro-18508>
- Fernandes, P.I.C. (2015). *Estudo da biomassa florestal residual consumida em centrais termoelétricas*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia da Energia e do Ambiente. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Fontes, A.C.B. (2007). *Influência das condições de cura na carbonatação de argamassas tradicionais com ligante à base de cal aérea – Métodos de análise*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico.
- Gaspar, M.G.S (2011). *Análise da interface entre elementos de parede e camadas de revestimento*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico.
- Gavriletea, M.D. (2017). Environmental Impacts of Sand Exploitation. Analysis of Sand Market. *Sustainability*. **9**: pp. 1118.
- Gomes, A., Pinto, A.P.F. e Pinto, J.B. (2013). *Materiais de Construção 1 – Gesso e Cal de Construção*. Instituto Superior Técnico.
- Gonçalves, E.A.M. (2016). *Consumo europeu de pellets e as suas variáveis explicativas*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Economia e Gestão do Ambiente. Faculdade de Economia do Porto.
- Helena, S. e Morais, C.B. (2012). *Avaliação da viabilidade técnica e económica da valorização de cepos, ramos e bichadas de eucalipto*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Economia e Gestão do Ambiente. Faculdade de Economia do Porto.

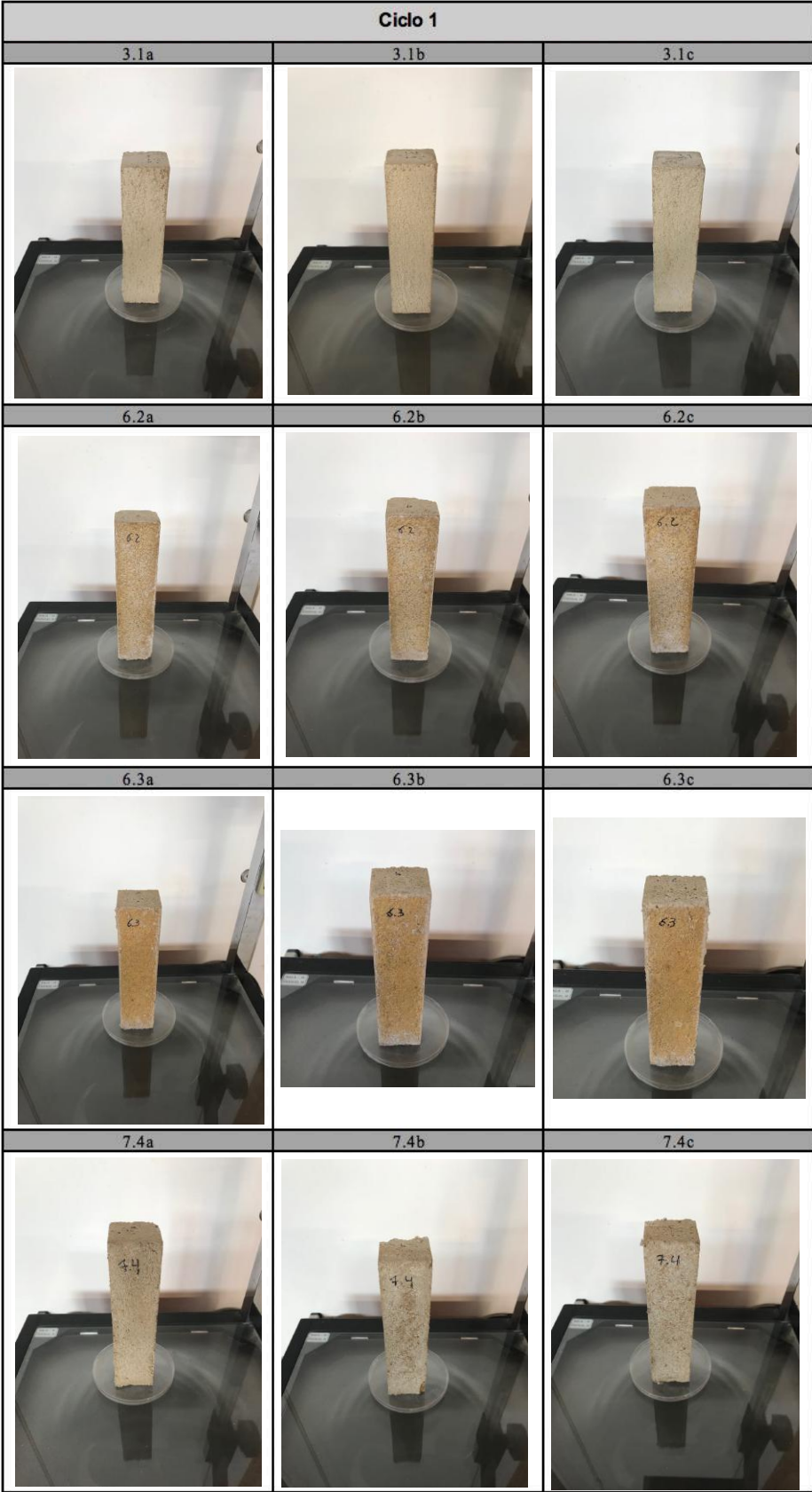
- Henriques, F. (2011). *Comportamento hidrotérmico de edifícios*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- IPQ. (2001). *NP EN 12370:2001 – Métodos de ensaio para pedra natural – Determinação da resistência à cristalização de sais*. Caparica, IPQ.
- IPQ. (2002). *NP EN 1097-3:2002 – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios*. Caparica, IPQ.
- IPQ. (2007). *NP EN 197-1:2001 – Cimento*. Caparica, IPQ.
- IPQ. (2008). *NP EN 1936:2008 – Métodos de ensaio para pedra natural - Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta*. Caparica, IPQ.
- IPQ. (2014). *NP EN 933-1:2014 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 1: Análise granulométrica – Método da peneiração*. Caparica, IPQ.
- IPQ. (2014). *NP EN 933-3. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: determinação da forma das partículas. Índice de achatamento*. Caparica, IPQ.
- IPQ (2015). *NP EN 459-1:2015 – Cal de construção. Parte 1: definições, especificações e critérios de conformidade*. Caparica, IPQ.
- IPQ. (2016). *NP EN 998-1:2016 – Especificação de argamassas para alvenarias – Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores*. Caparica, IPQ.
- Lai, X., Shankman, D., Huber, C., Yesou, H., Huang, Qun. e Jiang, J. (2014). Sand mining and increasing Poyang Lake’s discharge ability: A reassessment of causes for lake decline in China. *Journal of Hydrology*. **519**: pp. 1698.
- Machado, S.F.A. (2014). *Influência de agregados provenientes de RCD e cinzas volantes não-uniformes no desempenho de argamassas de cimento*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Margalha, M.G. (2011). *Argamassas*. Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património. Universidade de Évora – Engenharia Civil. pp. 1-32.
- Marques, S.M.F. (2005). *Estudo de argamassas de reabilitação de edifícios antigos*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro.
- Martinho, P. (2017). *Análise do Comportamento de argamassas com Incorporação de “pellets” de madeira*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Martins, C. (2016). Entre-os-Rios: 15 anos não é tempo suficiente. *Expresso*. Acedido em 8, Julho, 2018, em: <http://expresso.sapo.pt/sociedade/2016-03-04-Entre-os-Rios-15-anos-nao-e-tempo-suficiente#gs.WRLmg8s>
- Matias, G. (2014). *Argamassas de reabilitação com resíduos de cerâmica*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- Martins, M. (2010). *Comportamento físico de argamassas de reboco com granulado negro de cortiça*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.




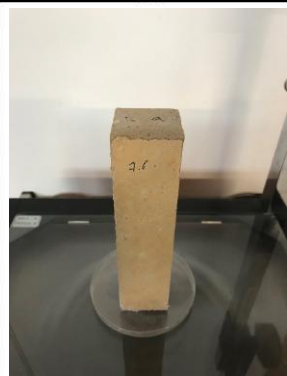





- Mello, A. (2011). *Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental urbana, Universidade Federal da Bahia.
- Melo, H. (2014). *Caracterização experimental do comportamento físico de argamassas de desempenho térmico melhorado*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Mendonça, B.V. (2007). *Estudo do Desempenho de Argamassas Hidráulicas – Influência do Ligante*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico.
- Monteiro, D.F.P. (2017). *Argamassas de cal hidráulica com resíduos de madeira na conservação de edifícios*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Neno, C. (2010). *Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Peduzzi, P. (2014). Sand rarer than one thinks. *Environmental Development*. **11**: pp. 209.
- Pinto, A.P.F., Gomes, A. e Pinto, J.B. (2006). *Materiais de Construção - Argamassas*. Instituto Superior Técnico. pp. 1-32.
- Pitchaiah, P.S. (2017). Impacts of Sand Mining on Environment – A Review. *International Journal of Geo informatics and Geological Science*. **4**: 1.
- Rato, V.N.P.M. (2006). *Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas*. Tese para a obtenção do grau académico de doutor em Engenharia Civil na especialidade de Reabilitação do Património Edificado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Rodrigues, A., Faria, P. e Flores-Colen, I. (2014). Argamassa Industrial para reabilitação de rebocos antigos. *Argamassas 2014 - Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento*, Coimbra, 5-6 Junho de 2014. pp. 1-11.
- Sá, A.J.F. (2009). *Caracterização da recolha de matéria-prima para a produção de pellets*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro.
- Saião, M.G.C.M. (2009). *Implementação de uma central de biomassa. Análise da sustentabilidade ambiental e económica*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico.
- Shiekha, E.J., Maya, K. e Padmalal, D. (2014). Environmental effects of river sand mining: a case study of Periyar river, Kerala, southwest India, pp. 115.
- Tavares, M.V., Aguiar, J. e Veiga, R. (2003). *Uma Metodologia de Estudo para a Conservação de Rebocos Antigos – O restauro através da Técnica de Consolidação*. pp. 1-9.
- United Nations. (2017). *World Population Prospects – 2017 Revision*. Key Findings & Advance Tables. UN. New York.
- Veiga, M. (1998). *Comportamento de Argamassas de Revestimento de Paredes – Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*, edição 1998, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Veiga, M. e Carvalho, F. (2002). *Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar*. Caderno de Edifícios. **2**: 1-20.

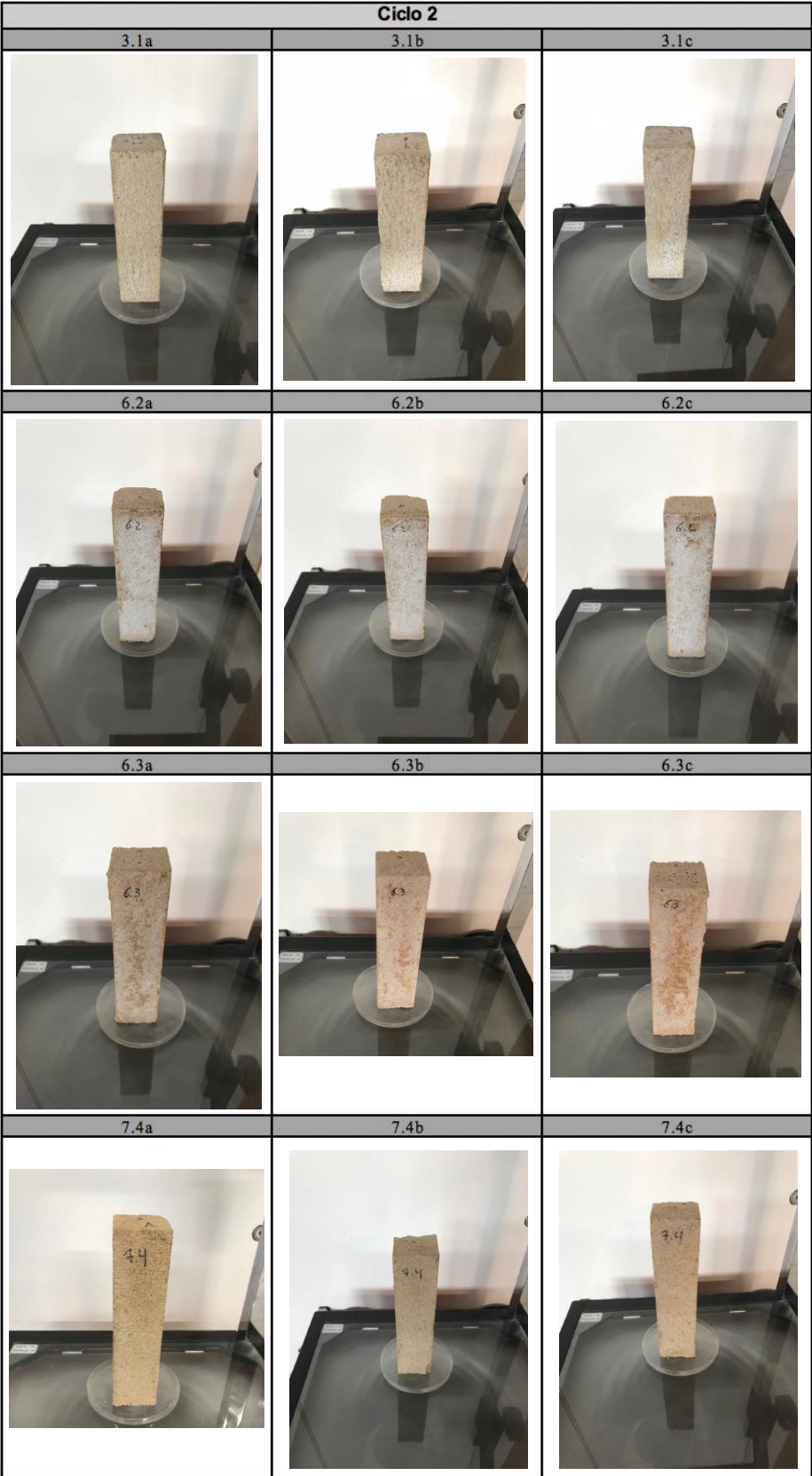
- Veiga, M. e Tavares, M. (2002). Características das Paredes Antigas. Requisitos dos Revestimentos por Pintura. *Atas de encontro: A indústria das tintas no início do séc. XXI*. Lisboa, APTETI, Outubro de 2002. pp. 1-16
- Veiga, M. (2003). Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes. *Atas do 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios*. Lisboa, LNEC, Maio de 2003. pp. 1-10.
- Veiga, M. (2005). Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos. *Seminário "Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos"*. Lisboa, LNEC, 14-15 Fevereiro de 2005. pp. 1-13.
- Veiga, M. (2012). Argamassas de Alvenaria Históricas. Funções e Características. *Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria (CIREA)*. Monte da Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL), 4 Maio de 2012. pp. 1-29.




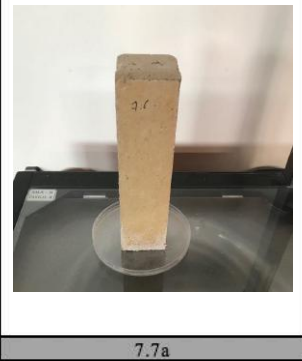



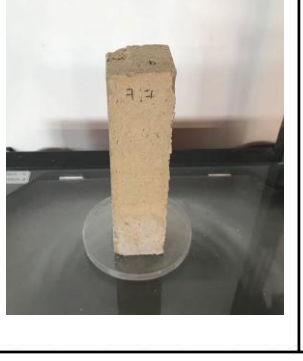
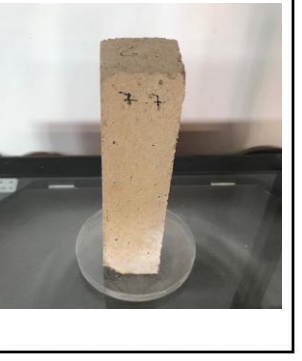
Anexo I

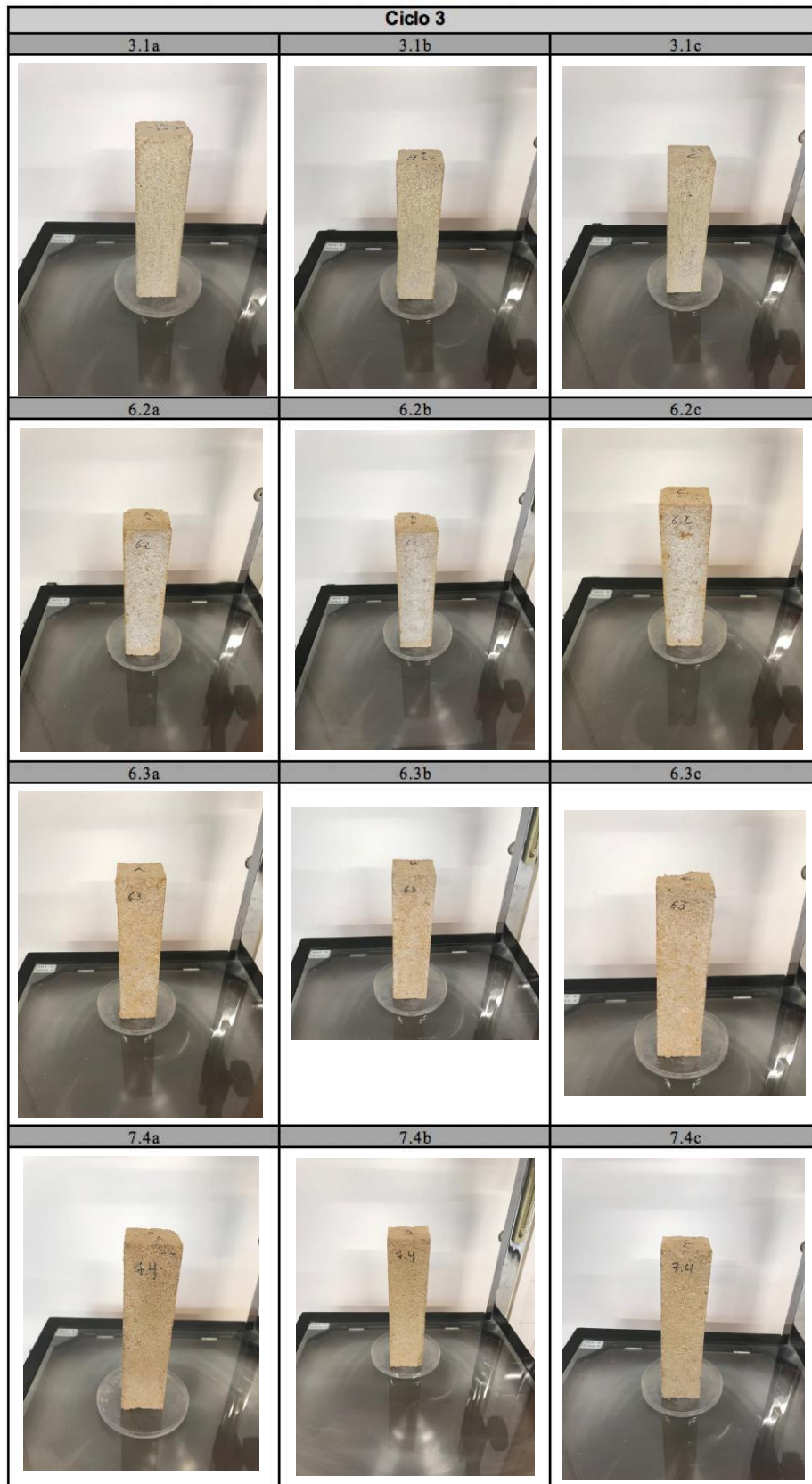
REGISTO FOTOGRÁFICO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA AOS CLORETOS




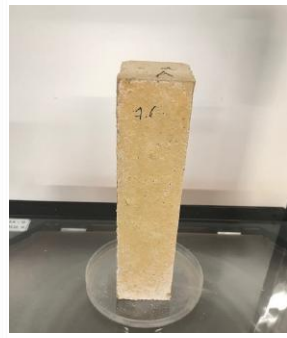







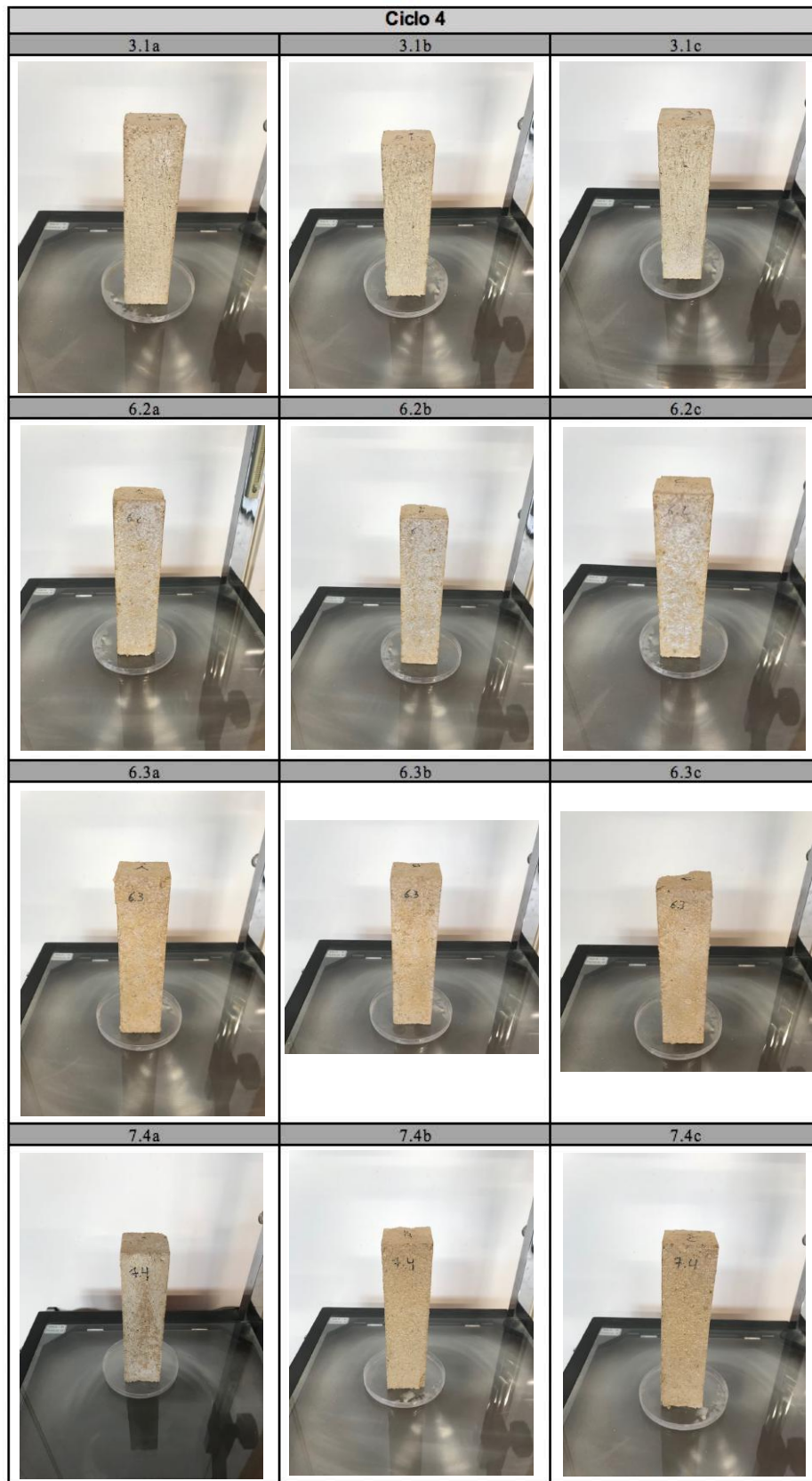
Ciclo 1		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		








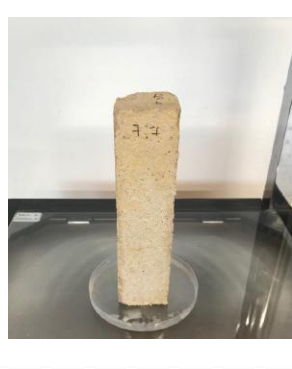



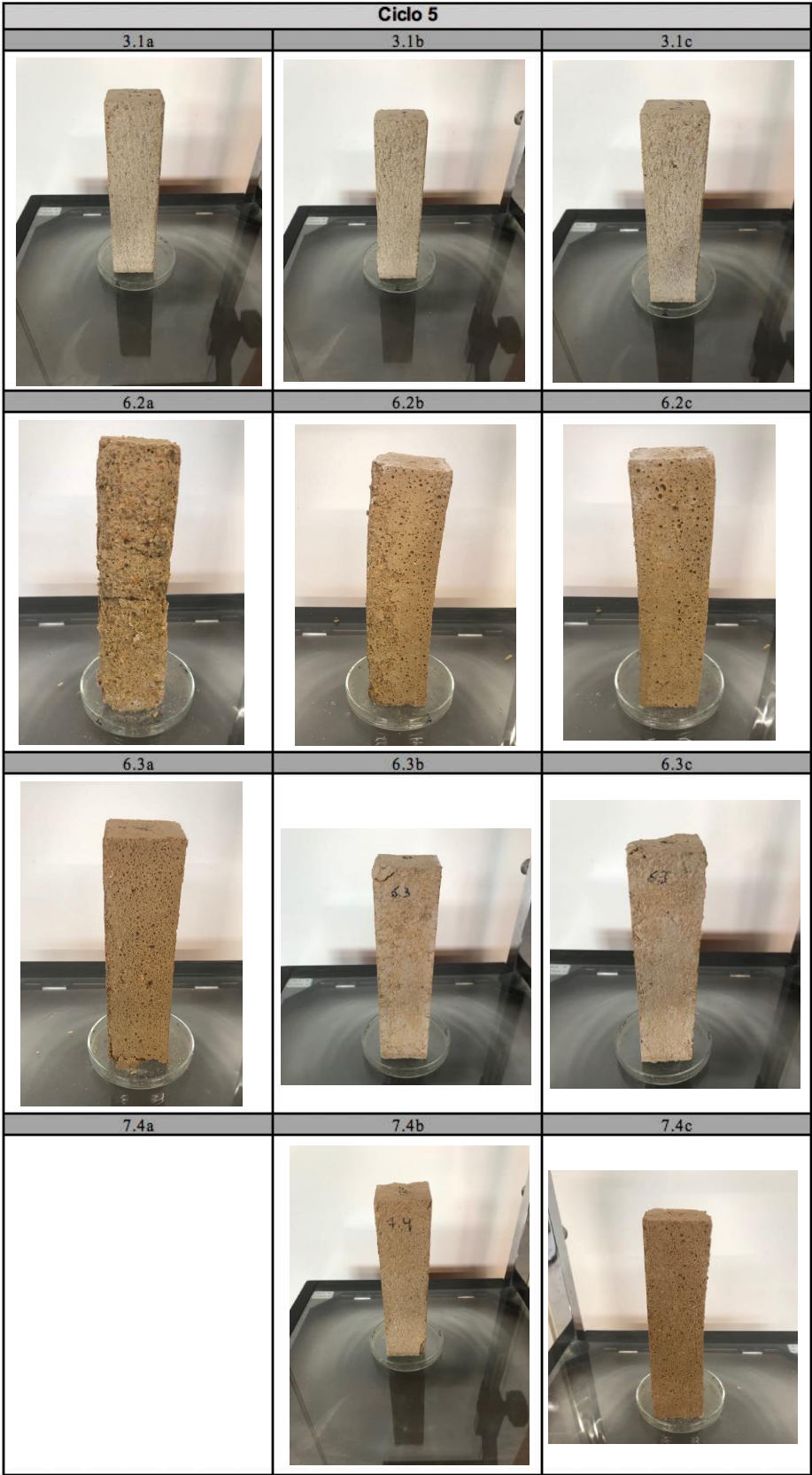
Ciclo 2		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		






















Ciclo 3		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		
























Ciclo 4		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		













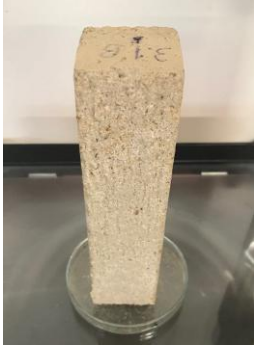







Ciclo 5		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		










Ciclo 6		
3.1a	3.1b	3.1c
		
6.2a	6.2b	6.2c
		
6.3a	6.3b	6.3c
		
7.4a	7.4b	7.4c
		





Ciclo 6		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		










Ciclo 7		
3.1a 	3.1b 	3.1c 
6.2a 	6.2b 	6.2c 
6.3a 	6.3b 	6.3c 
7.4a 	7.4b 	7.4c 









Ciclo 7		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		










Ciclo 8		
3.1a	3.1b	3.1c
		
6.2a	6.2b	6.2c
		
6.3a	6.3b	6.3c
		
7.4a	7.4b	7.4c
		









Ciclo 8		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		










Ciclo 9		
3.1a	3.1b	3.1c
		
6.2a	6.2b	6.2c
		
6.3a	6.3b	6.3c
		
7.4a	7.4b	7.4c
		

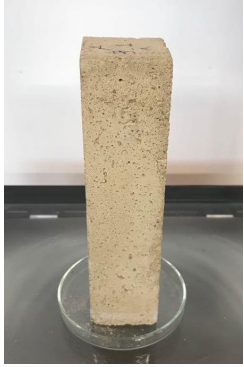






Ciclo 9		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		










Ciclo 10		
3.1a	3.1b	3.1c
		
6.2a	6.2b	6.2c
		
6.3a	6.3b	6.3c
		
7.4a	7.4b	7.4c
		







Ciclo 10		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		










Ciclo 11		
3.1a	3.1b	3.1c
		
6.2a	6.2b	6.2c
		
6.3a	6.3b	6.3c
		
7.4a	7.4b	7.4c
		







Ciclo 11		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		










Ciclo 12		
3.1a	3.1b	3.1c
		
36.2a	6.2b	6.2c
6.3a	6.3b	6.3c
		
7.4a	7.4b	7.4c
		





Ciclo 12		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		









Ciclo 13		
3.1a	3.1b	3.1c
		
6.2a	6.2b	6.2c
6.3a	6.3b	6.3c
		
7.4a	7.4b	7.4c
		




Ciclo 13		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		









Ciclo 14		
3.1a	3.1b	3.1c
		
6.2a	6.2b	6.2c
6.3a	6.3b	6.3c
		
7.4a	7.4b	7.4c
		


Ciclo 14		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		





Ciclo 15		
3.1a	3.1b	3.1c
		
6.2a	6.2b	6.2c
6.3a	6.3b	6.3c
7.4a	7.4b	7.4c
		

Ciclo 15		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		

Ciclo 16		
3.1a	3.1b	3.1c
		
6.2a	6.2b	6.2c
6.3a	6.3b	6.3c
7.4a	7.4b	7.4c

Ciclo 16		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
		

Ciclo 17		
3.1a	3.1b	3.1c
		
6.2a	6.2b	6.2c
6.3a	6.3b	6.3c
7.4a	7.4b	7.4c

Ciclo 17		
7.5a	7.5b	7.5c
		
7.6a	7.6b	7.6c
		
7.7a	7.7b	7.7c
