



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil

A influência das condições de cura nas propriedades das argamassas de cal para revestimentos antigos

DORA ALEXANDRA FERREIRA DOS SANTOS

Licenciada em Engenharia Civil

Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Edificações no âmbito do protocolo de cooperação entre o ISEL e o LNEC

Orientadores:

Doutora Maria do Rosário Veiga
Doutora Ana Cristina Gaminha Ribeiro Borges Azevedo

Júri:

Presidente: Mestre Manuel Brazão Farinha
Vogais:
Professora Maria Paulina Faria Rodrigues
Doutora Maria do Rosário Veiga
Doutora Ana Cristina Gaminha Ribeiro Borges Azevedo

Janeiro de 2014

*“Não há assunto tão velho que não possa
ser dito nada de novo sobre ele”*

Fiódor Dostoiévski

AGRADECIMENTOS

Com este trabalho termino mais uma fase académica. Não fora o apoio e incentivo de algumas pessoas, a quem quero aqui deixar expresso o meu agradecimento, ela não teria sido concluída.

Às minhas orientadoras, Engenheira Rosário Veiga, Investigadora Principal com Habilitação e Chefe do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, e Doutora Cristina Borges, Professora Adjunta do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, pela confiança em mim depositada para a realização deste trabalho, quer a nível experimental quer a nível teórico, por todo o estímulo e por todo o conhecimento partilhado.

Ao Doutor Santos Silva, do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, por ter sido o intermediário com a empresa Lusical que gentilmente cedeu a cal aérea hidratada que tornou possível a execução deste trabalho.

Aos técnicos do LERevPa por todo o apoio prestado, Ana Maria, Luís Carmo, Acácio Monteiro e Bento Sabala, bem como ao Engenheiro Pina dos Santos e técnicos do LEPC, Cátia Alves, José Carlos e Manuel Sadio.

Ao Engenheiro Sandro Botas pelo apoio prestado no ensaio de porosidade aberta.

À Engenheira Ana Rita Santos pela partilha de opiniões.

Às Engenheiras Sofia Malanho e Nádía Lampreia e Dra. Sílvia Costa pelo apoio e incentivo.

Às minhas colegas de curso, Susana Almeida e Amélia Reis, por terem sido compinchas.

Aos meus irmãos, Maria Lúcia e João Alfredo, à minha cunhada Juana Fortes, às minhas sobrinhas Bárbara Santos e Laura Santos e à D. Hélida Espinosa que tantas vezes ficaram com a minha filha para eu poder ir a aulas e a exames.

À Engenheira Ana Cristian com quem tanto aprendi e tanto me apoiou.

À minha filha Maria Luísa e ao meu companheiro Mário Frias que tantas vezes foram privados da minha presença.

E por fim, aos meus pais, que, mais uma vez, acreditaram e investiram.

RESUMO

A cal, usada como principal ligante de argamassas até à generalização do uso do cimento, marca uma forte presença nos revestimentos de edifícios antigos.

A conservação dos revestimentos antigos nem sempre é possível sendo, por vezes, necessária a sua substituição.

A escolha de uma argamassa de substituição deve assentar no estudo dos materiais das argamassas presentes no edifício de forma a garantir a compatibilidade química, física e mecânica com os materiais pré existentes.

O objetivo deste trabalho é estudar a influência das condições de cura das argamassas de cal bem como a influência da granulometria da areia e ainda mostrar que existem diferenças consideráveis nas propriedades das argamassas quando realizadas com um traço em volume ou em massa e estudar a sua adequabilidade para argamassas de revestimento de edifícios antigos.

Neste trabalho são estudadas oito argamassas com base em cal aérea hidratada, que diferem no tipo de granulometria da areia, (areia do rio Tejo ou areia do rio Tejo com granulometria corrigida), no tipo de traço (em massa ou em volume) e no tipo de cura (cura seca ou cura húmida). São descritos os ensaios realizados, apresentados e analisados os resultados obtidos, relacionadas, entre si, as características estudadas e analisada a adequabilidade das argamassas para substituir revestimentos antigos.

Palavras-chave: Argamassa de cal, granulometria, cura, traço, argamassa de substituição, revestimentos para edifícios antigos

ABSTRACT

The lime, used as the main mortar binder until the widespread use of cement, has a strong presence in coatings of old buildings.

The conservation of old coatings is not always possible, it is sometimes necessary to replace it.

The choice of a replacement mortar should be based on the study of the materials in present coating of the building to ensure chemical, physical and mechanical compatibility with the pre-existing materials.

The aim of this work is to study the influence of the curing conditions of lime mortars as well as the influence of grain size of the sand and still show that there are considerable differences in the properties of mortars when mixed with a ratio in volume or mass and study their suitability for mortar coating of old buildings.

In this work are studied eight mortars based on hydrated air lime, that differ in the type of grain size (sand of the Tagus River or sand of the Tagus River with corrected grain size), in the type of ratio (by weight or by volume), and in the type of curing (dry curing or wet curing). The tests performed are described, the results are presented and analyzed, the studied characteristics are related to each other, and the suitability of mortar to replace old coatings analyzed.

Keywords: Lime mortar, particle size, curing, ratio, replacement mortar, renders for old buildings

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento e justificação do tema	1
1.2. Objetivo do trabalho	2
1.3. Estrutura e organização do texto.....	2
2. ARGAMASSAS	5
2.1. Introdução	5
2.2. Argamassas de cal.....	6
2.2.1. Introdução.....	6
2.2.2. Composições	7
2.2.3. Características.....	8
2.3. Argamassas para substituição	12
2.3.1. Introdução.....	12
2.3.2. Requisitos	13
2.3.3. Algumas formulações para substituição já estudadas	17
3. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL	19
3.1. Introdução	19
3.2. Traço.....	19
3.3. Caracterização do material.....	21
3.3.1. Massa volúmica aparente dos constituintes em pó e granular	21
3.3.2. Análise granulométrica dos agregados	22
3.3.3. Composição química da cal	23
3.4. Preparação da argamassa	24
3.5. Ensaio em estado fresco	25
3.5.1. Massa volúmica da argamassa em pasta	25
3.5.2. Consistência por espalhamento	26
3.6. Provetes.....	27
3.6.1. Preparação	27
3.6.2. Identificação.....	28
3.7. Curas estudadas	30
3.8. Ensaio no estado endurecido	32
3.8.1. Massa volúmica da argamassa endurecida	32
3.8.2. Módulo de elasticidade dinâmico	33
3.8.3. Resistência à tração por flexão e à compressão	34
3.8.4. Coeficiente de absorção de água por capilaridade	36

3.8.5.	Porosidade Aberta	38
3.8.6.	Carbonatação	41
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	43
4.1.	Introdução	43
4.2.	Material	43
4.2.1.	Análise granulométrica	44
4.2.2.	Massa volúmica aparente dos constituintes em pó.....	46
4.3.	Caracterização das argamassas no estado fresco	46
4.4.	Caracterização das argamassas no estado endurecido	48
4.4.1.	Massa volúmica.....	48
4.4.2.	Módulo de elasticidade dinâmico	51
4.4.3.	Resistência à tração por flexão e à compressão	53
4.4.4.	Absorção capilar e secagem	58
4.4.5.	Coeficiente de absorção de água por capilaridade	61
4.4.6.	Porosidade aberta	62
4.4.7.	Carbonatação	63
5.	ANÁLISE RELACIONAL	67
5.1.	Correlação entre as características das argamassas	67
5.2.	Avaliação das resistências dos provetes de capilaridade	72
5.3.	Influência da granulometria do agregado	74
5.4.	Influência da dosagem de ligante – traço	75
5.5.	Influência da cura.....	76
5.6.	Desempenho como argamassas para revestimentos antigos.....	77
6.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	81
6.1.	Conclusões	81
6.2.	Desenvolvimentos futuros	83
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXO 1 – VALORES INDIVIDUAIS	I	
ANEXO 2 – VALORES MÉDIOS	XXXIII	
ANEXO 3 – FICHAS TÉCNICAS	XLIII	

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1 – Representação esquemática da metodologia de caracterização de argamassas antigas seguida no LNEC (SANTOS SILVA, 2002)	8
--	---

Capítulo 3

Figura 3.1 – Aparelho para determinação da massa volúmica dos produtos em pó.....	21
Figura 3.2 – Vibrador de peneiros	23
Figura 3.3 – Preparação da argamassa.....	24
Figura 3.4 – Recipiente cilíndrico	26
Figura 3.5 – Mesa de espalhamento.....	27
Figura 3.6 – Compactação com pilão.....	28
Figura 3.7 – Alisamento da superfície com talocha	28
Figura 3.8 – Moldes com provetes	28
Figura 3.9 – Identificação dos provetes	29
Figura 3.10 – Identificação dos provetes	29
Figura 3.11 – Provetes com traço ponderal desmoldados após 2 dias	31
Figura 3.12 – Provetes com traço ponderal desmoldados após 2 dias	31
Figura 3.13 – Provetes em cima das ripas metálicas	32
Figura 3.14 – Cura seca	32
Figura 3.15 – Cura húmida – alternância molhagem/secagem	32
Figura 3.16 – Medição do comprimento.....	33
Figura 3.17 – Medição da largura	33
Figura 3.18 – Medição da altura.....	33
Figura 3.19 – Medição da massa	33
Figura 3.20 – Equipamento para medição da frequência fundamental de ressonância.....	34
Figura 3.21 – Medição da frequência fundamental de ressonância	34
Figura 3.22– Ensaio de resistência à tração por flexão	35
Figura 3.23– Ensaio de resistência à compressão	36
Figura 3.24 – Lâmina de água	37
Figura 3.25 – Tina com placa	37
Figura 3.26 – Exsicador e bomba de vácuo.....	40
Figura 3.27 – Imersão dos provetes.....	40

Figura 3.28 – Provetes imersos	40
Figura 3.29 – Provetes à pressão atmosférica.....	40
Figura 3.30 – Pesagem hidrostática.....	40
Figura 3.31 – Provetes onde se realizou o ensaio de carbonatação (sendo que os da esquerda se encontram completamente carbonatados e os da direita parcialmente carbonatados)...	41

Capítulo 4

Figura 4.1 – Percentagem de material retido por peneiro.....	44
Figura 4.2 – Curva granulométrica dos agregados.....	45
Figura 4.3 – Evolução da massa volúmica ao longo do tempo.....	49
Figura 4.4 – Análise por tipo de areia da evolução da massa volúmica ao longo do tempo.....	49
Figura 4.5 – Análise por tipo de traço da evolução da massa volúmica ao longo do tempo.....	50
Figura 4.6 – Análise por tipo de cura da evolução da massa volúmica ao longo do tempo.....	50
Figura 4.7– Evolução do módulo de elasticidade dinâmico ao longo do tempo.....	51
Figura 4.8 – Análise por tipo de areia da evolução do módulo de elasticidade ao longo do tempo.....	52
Figura 4.9 – Análise por tipo de traço da evolução do módulo de elasticidade ao longo do tempo.....	52
Figura 4.10 – Análise por tipo de cura da evolução do módulo de elasticidade ao longo do tempo....	53
Figura 4.11– Evolução da resistência à tração por flexão ao longo do tempo	54
Figura 4.12 – Análise por tipo de areia da evolução da resistência à tração por flexão ao longo do tempo	55
Figura 4.13 – Análise por tipo de traço da evolução da resistência à tração por flexão ao longo do tempo	55
Figura 4.14 – Análise por tipo de cura da evolução da resistência à tração por flexão ao longo do tempo	56
Figura 4.15 – Evolução da resistência à compressão ao longo do tempo	56
Figura 4.16 – Análise por tipo de areia da evolução da resistência à compressão ao longo do tempo57	
Figura 4.17 – Análise por tipo de traço da evolução da resistência à compressão ao longo do tempo57	
Figura 4.18 – Análise por tipo de cura da evolução da resistência à compressão ao longo do tempo 58	
Figura 4.19 – Evolução da absorção capilar e secagem aos 28 dias.....	59
Figura 4.20 – Evolução da absorção capilar e secagem aos 91 dias.....	59
Figura 4.21 – Evolução da absorção capilar e secagem aos 182 dias.....	60
Figura 4.22 – Evolução da absorção capilar e secagem aos 364 dias.....	60
Figura 4.23 – Evolução do coeficiente de capilaridade (10 min) ao longo do tempo	62
Figura 4.24 – Evolução do coeficiente de capilaridade (90-10 min) ao longo do tempo.....	62
Figura 4.25 – Porosidade aberta aos 364 dias	63

Figura 4.26 – Carbonatação das argamassas com areia do rio Tejo aos 364 dias.....	64
Figura 4.27 – Carbonatação das argamassas com areia com granulometria corrigida aos 364 dias..	65
Figura 4.28 – Carbonatação aos 91 dias nas argamassas A2-2 (esquerda) e B1-2 (direita)	66

Capítulo 5

Figura 5.1 – Relação módulo de elasticidade/resistência à tração.....	67
Figura 5.2 – Relação resistência à tração por flexão/resistência à compressão das argamassas ao longo do tempo	68
Figura 5.3 – Características mecânicas aos 28 (esquerda) e aos 91 (direita) dias.....	68
Figura 5.4 – Características mecânicas aos 182 (esquerda) e aos 364 (direita) dias.....	69
Figura 5.5 – Resistência à compressão versus Coeficiente de capilaridade (10 min) das argamassas aos 28 (esquerda) e aos 91 (direita) dias	70
Figura 5.6 – Resistência à compressão versus Coeficiente de capilaridade (10 min) das argamassas aos 182 (esquerda) e aos 364 (direita) dias	71
Figura 5.7 – Coeficiente de capilaridade (10 min) aos 364 dias versus Porosidade aberta das argamassas.....	71
Figura 5.8 – Resistência à compressão aos 364 dias versus Porosidade aberta das argamassas.....	72
Figura 5.9 – Resistência à tração por flexão aos 364 dias versus Porosidade aberta das argamassas	72
Figura 5.10 – Comparação de valores da massa volúmica	73
Figura 5.11 – Comparação de valores do módulo de elasticidade	73
Figura 5.12 – Comparação de valores da resistência à tração por flexão.....	74
Figura 5.13 – Comparação de valores da resistência à compressão.....	74
Figura 5.14 – Avaliação do Módulo de Elasticidade	79
Figura 5.15 – Avaliação da Resistência à Tração por Flexão.....	79
Figura 5.16 – Avaliação da Resistência à Compressão	79
Figura 5.17 – Avaliação do Coeficiente de Absorção Capilar.....	79

Anexo 2

Figura A.2.1 – Absorção capilar às 24 h - consultar Quadro 3.3	xxxviii
Figura A.2.2 – Absorção capilar máxima - consultar Quadro 3.3	xxxviii

Anexo 3

Figura A.3.1 – Ficha técnica da cal aérea hidratada.....	xlx
--	-----

ÍNDICE DE QUADROS

Capítulo 2

Quadro 2.1 – Composições, traços, coeficiente de capilaridade por contacto e resistência à compressão de algumas argamassas já estudadas.....	10
Quadro 2.2 – Composições, traços, coeficiente de capilaridade por contacto e resistência à compressão de algumas argamassas já estudadas (continuação).....	11
Quadro 2.3 – Limites estabelecidos para as características mecânicas das argamassas quando não são conhecidas as características do suporte (VEIGA, et al., 2004); (VEIGA, 2009).....	15
Quadro 2.4 – Limites estabelecidos para as características de comportamento à água das argamassas quando não são conhecidas as características do suporte (VEIGA, et al., 2004); (VEIGA, 2009)	16
Quadro 2.5 – Composição e características de algumas argamassas de substituição já estudadas ..	18

Capítulo 3

Quadro 3.1 – Argamassas, seus constituintes e respectivos traços	20
Quadro 3.2 – Composição química da cal	24
Quadro 3.3 – Identificação das argamassas, seus constituintes, tipo de traço e tipo de cura	29
Quadro 3.4 – Argamassas em estudo.....	30

Capítulo 4

Quadro 4.1 – Características geométricas dos agregados.....	45
Quadro 4.2 – Massa volúmica aparente dos constituintes	46
Quadro 4.3 – Massa volúmica da argamassa em pasta e consistência por espalhamento.....	47

Capítulo 5

Quadro 5.1 – Percentagens dos valores máximos atingidos na caracterização mecânica.....	69
Quadro 5.2 – Análise da adequação das argamassas para revestimentos de edifícios antigos	78

Anexo 1

Quadro A.1.1 – Análise granulométrica da areia	iii
Quadro A.1.2 – Massa volúmica aparente dos constituintes	iv
Quadro A.1.3 – Massa volúmica da argamassa em pasta - consultar Quadro 3.1	v
Quadro A.1.4 – Consistência por espalhamento - consultar Quadro 3.1	vi
Quadro A.1.5 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão	vii

Quadro A.1.6 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade	viii
Quadro A.1.7 – Dados obtidos no ensaio de secagem.....	ix
Quadro A.1.8 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão	x
Quadro A.1.9 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade	xi
Quadro A.1.10 – Dados obtidos no ensaio de secagem.....	xii
Quadro A.1.11 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão	xiii
Quadro A.1.12 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade	xiv
Quadro A.1.13 – Dados obtidos no ensaio de secagem.....	xv
Quadro A.1.14 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão	xvi
Quadro A.1.15 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade	xvii
Quadro A.1.16 – Dados obtidos no ensaio de secagem.....	xviii
Quadro A.1.17 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão	xix
Quadro A.1.18 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade	xx
Quadro A.1.19 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão	xxi
Quadro A.1.20 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade	xxii
Quadro A.1.21 – Dados obtidos no ensaio de secagem.....	xxiii
Quadro A.1.22 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão	xxiv
Quadro A.1.23 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade	xxv
Quadro A.1.24 – Dados obtidos no ensaio de secagem.....	xxvi
Quadro A.1.25 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão	xxvii
Quadro A.1.26 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade	xxviii
Quadro A.1.27 – Dados obtidos no ensaio de secagem.....	xxix
Quadro A.1.28 – Valores obtidos no ensaio de Porosidade aberta realizado aos provetes com mais de um ano - consultar Quadro 3.3	xxx
Quadro A.1.29 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão - consultar Quadro 3.3	xxxi

Anexo 2

Quadro A.2.1 – Massa volúmica - consultar Quadro 3.3	xxxv
--	------

Quadro A.2.2 – Módulo de elasticidade dinâmico - consultar Quadro 3.3.....	xxxv
Quadro A.2.3 – Resistências à tração por flexão e à compressão - consultar Quadro 3.3.....	xxxvi
Quadro A.2.4 – Valores de absorção capilar às 24 h e máxima - consultar Quadro 3.3.....	xxxvii
Quadro A.2.5 – Coeficientes de capilaridade - consultar Quadro 3.3.....	xxxix
Quadro A.2.6 – Porosidade aberta após um ano - consultar Quadro 3.3.....	xl
Quadro A.2.7 – Caracterização mecânica dos provetes de capilaridade após um ano - consultar Quadro 3.3	xli

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento e justificação do tema

As intervenções de conservação e reabilitação em edifícios “antigos” têm aumentado significativamente nos últimos anos.

Nos edifícios, por estarem muito expostos a ações potencialmente destrutivas, os revestimentos exteriores são os primeiros a mostrar degradação. Por isso também, nas obras de conservação e reabilitação os revestimentos são um dos primeiros elementos a serem intervencionados, não só pelo aspeto estético que conferem ao edifício mas também devido à sua função de camada protetora da estrutura e como tal sacrificial.

Embora organismos internacionais, que trabalham para a conservação e proteção dos sítios património cultural, aconselhem a que se intervenha o mínimo, há a tendência para extrair e substituir os revestimentos na totalidade.

A falta de conhecimento das características dos revestimentos presentes nos edifícios, especialmente ao nível das argamassas, e o ainda parco estudo em possíveis argamassas de substituição em muito têm contribuído para o uso de materiais prejudiciais aos revestimentos existentes, no caso de reparações pontuais, ou mesmo da estrutura de suporte, no caso de substituição total.

Uma vez que em Portugal o uso do cimento só se generaliza por volta dos anos 50 do séc. XX, faz todo o sentido que a cal tenha sido o material principal empregue no fabrico de argamassas até essa data, o que tem vindo a ser provado por estudos efetuados em diversos edifícios anteriores a essa época.

A cal necessita da presença de dióxido de carbono para endurecer (carbonatar) – processo que pode demorar vários anos a completar-se.

A existência de edifícios em zonas muito húmidas com revestimentos de cal tem suscitado a questão: “como foi possível que as argamassas se mantenham até aos nossos dias uma vez que estão em constante presença de humidade?”

A instabilidade climática também levanta questões quanto à “correta” carbonatação das argamassas expostas às intempéries, pois nem sempre o “clima de Primavera” apresenta as mesmas condições.

1. Introdução

O uso de agregados com diferentes composições granulométricas pode traduzir-se em diferentes comportamentos por parte das argamassas, quer mecânicos quer físicos.

O feliz aumento da interdisciplinaridade na conservação e reabilitação de edifícios, até há pouco tempo, matéria quase exclusiva de arquitetos e engenheiros civis, leva à necessidade de mostrar as diferenças entre um traço em volume (usado em obra) e um traço em massa (usado em laboratório pelos investigadores especialistas em química).

É no seguimento destas questões que surge este trabalho cujo objetivo é verificar qual “a influência das condições de cura nas propriedades de argamassas de cal para revestimentos antigos”, nomeadamente nas propriedades mecânicas e físico-químicas.

1.2. Objetivo do trabalho

Com esta dissertação, baseada num trabalho laboratorial, pretende-se avaliar a influência das condições de cura das argamassas de cal bem como a influência da granulometria da areia. Pretende-se ainda mostrar que existem diferenças consideráveis nas propriedades das argamassas quando realizadas com um traço em volume ou em massa e estudar a adequabilidade das argamassas para revestimento de edifícios antigos.

1.3. Estrutura e organização do texto

O texto da dissertação está organizado em seis capítulos:

O primeiro capítulo consiste na introdução ao trabalho. É feito o enquadramento e justificação do tema, definidos os objetivos da dissertação e descrita a estrutura e organização do texto.

No segundo, Estado da Arte, é apresentada a pesquisa bibliográfica realizada e feita a sua análise de forma a enquadrar o problema e conhecer o trabalho já realizado no domínio das argamassas de revestimento, nomeadamente as argamassas de cal, argamassas de revestimento de edifícios antigos e argamassas de substituição.

A apresentação do trabalho experimental é feita no terceiro capítulo com a descrição das formulações e curas estudadas, da caracterização do material, da preparação das argamassas e dos ensaios efetuados no estado fresco e no estado endurecido.

No quarto capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos no trabalho experimental realizado em laboratório e que passou pela caracterização dos constituintes e

das argamassas no estado fresco e endurecido. A análise dos resultados baseou-se na avaliação de:

- A evolução das características das argamassas ao longo do tempo;
- A influência nas características das argamassas do traço, da granulometria e das condições de cura.

No quinto capítulo, Análise relacional, faz-se a discussão dos resultados procurando-se esclarecer as relações entre os parâmetros variados nos ensaios e as características das argamassas.

Por fim, no capítulo Conclusões e desenvolvimentos futuros, fazem-se algumas considerações sobre o trabalho realizado, e apresentam-se as conclusões retiradas ao longo do trabalho e deixam-se propostas para desenvolvimentos futuros.

1. Introdução

2. ARGAMASSAS

2.1. Introdução

Nos edifícios, os revestimentos desempenham um papel muito importante. Têm a função de proteger a estrutura, da ação da água, da ação direta dos agentes climáticos, das ações mecânicas de choque e erosão, da ação química da poluição e dos sais solúveis contidos nos materiais, na água e no solo, a função de regularizar as alvenarias e, ainda, uma função decorativa, comunicando as intenções arquitetónicas dos edifícios (VEIGA, et al., 2004); (VEIGA, 2005); (VEIGA, 2009).

Aos revestimentos exteriores acresce a função de impermeabilizar as paredes. Dada a sua exposição, funcionam, ainda, como camada sacrificial do edifício e, como tal, a sua degradação processa-se com relativa facilidade, o que leva à necessidade de obras de conservação (VEIGA, et al., 2004); (VEIGA, 2005); (VEIGA, 2009).

Nas intervenções sobre revestimentos antigos devem respeitar-se, tanto quanto possível, os princípios de autenticidade histórica. A primeira opção a considerar deve ser a conservação dos revestimentos existentes, recorrendo a tratamentos como consolidações ou reparações pontuais, preservando o valor cultural do edifício e reduzindo os riscos de incompatibilidade quer de técnicas quer de materiais. Não sendo esta possível, devem ser tidos em consideração: o valor histórico e artístico do edifício e do revestimento em particular (considerando também a raridade e o valor técnico), o estado de conservação do suporte, o estado de conservação do revestimento e a compatibilidade com o uso previsto, e recorrer-se a substituições parciais ou totais dos revestimentos (ICOMOS, 1964); (VEIGA, et al., 2004); (VEIGA, 2009); (VEIGA, 2010); (SANTOS, et al., 2012).

Vários estudos (MARGALHA, et al., 2002); (SANTOS SILVA, 2002); (MAGALHÃES, et al., 2006); (VELOSA, 2006); (MAGALHÃES, et al., 2011) concluíram que em Portugal, muitos dos edifícios históricos estão revestidos com rebocos à base de cal. Estes rebocos, estão por vezes em boas condições, com boa coesão e adesão ao suporte, no entanto, por vezes apresentam degradação superficial como resultado de colonização biológica, eflorescências e fissuras superficiais. Quando apresentam um elevado estado de degradação e a substituição é necessária, a aplicação de rebocos incompatíveis pode provocar degradação prematura da alvenaria. Assim sendo, intervenções com materiais compatíveis são, nesse caso, a questão principal a ter em conta.

2.2. Argamassas de cal

2.2.1. Introdução

Argamassas com base, principalmente, em cal são encontradas em todo o mundo, tanto em estruturas de alvenaria maciças de edifícios defensivos, residenciais e cerimoniais, como em construções vernáculas de pequeno porte (HUGHES, 2010).

A cal foi um ligante usado desde tempos ancestrais, e com continuado uso até aos tempos atuais, sendo o seu fabrico e a sua incorporação em argamassas relatados com frequência; as primeiras alusões conhecidas a este material datam da Época Romana (VELOSA, 2006).

Os revestimentos exteriores dos edifícios apresentam grande diversidade de constituição e de acabamento, tendo, naturalmente, variado ao longo dos séculos com o tipo de suporte, com a localização das construções e com a respetiva tipologia (VEIGA, 2006).

A utilização da cal como ligante quase único implicava um modelo de constituição multicamada cujo teor em ligante aumentava, dando maior plasticidade à argamassa e contribuindo para a facilidade de aplicação da mesma, e a granulometria do agregado diminuía com a aproximação do exterior, permitindo um acabamento mais liso, muito usual em edifícios antigos. Os traços volumétricos (razão ligante: agregado) eram orientados pelo princípio de se obter a máxima compacidade, sendo pretendido que a quantidade de cal adicionada preenchesse por completo os vazios deixados pelos grãos da areia. Desta forma, o traço dependia não só da granulometria e forma dos grãos da areia usada como também da própria finura da cal. A máxima eficiência era resultante do uso de cals finas e areias bem graduadas e pouco angulosas que com maior facilidade se conjugavam entre si deixando menores vazios (VEIGA, 2006); (MARGALHA, 2010).

Veiga (VEIGA, 2006) refere que a proporção de 1:3 seria, em princípio, adequada para as misturas mais otimizadas, enquanto para areias de grãos muito arredondados e granulometrias muito descontínuas poderia ser necessário um traço de 1:2 ou mesmo de 1:1,5.

De uma forma geral as intervenções a realizar em paredes de edifícios antigos implicam o uso de revestimentos de substituição ou de reparação compatíveis e duráveis e, portanto, com comportamento físico-químico semelhante aos materiais existentes. Importa assim conhecer as características químicas, físicas e mecânicas das argamassas antigas (MAGALHÃES, et al., 2006).

Segundo Lanas, et al. (LANAS, et al., 2003) fatores como o uso massivo de cimento *Portland* na indústria da construção, as baixas resistências atribuídas às argamassas de cal, o tempo que estas demoram a endurecer e a falta de estudos rigorosos sobre as características e propriedades das argamassas de cal contribuíram para que as argamassas com base em cal caíssem em desuso.

2.2.2. Composições

Os revestimentos exteriores antigos são constituídos por argamassas de cal aérea e agregados, de proveniência quer natural quer artificial (VEIGA, 2006); (BORGES, et al., 2010).

Velosa refere que Vitruvius mencionava a areia de mina como sendo de ótima qualidade, superior à de rio, não sendo no entanto a mais adequada para a incorporação em rebocos por provocar fissuração, sendo a de rio a mais apropriada para o efeito. A mesma autora, ainda citando Vitruvius, refere que este mencionava a utilização de uma parte de cal para três partes de areia de rio, tal como Alberti e Palladio (VELOSA, 2006).

As atuais técnicas de caracterização química e mineralógica de revestimentos antigos permitem a determinação bastante rigorosa da composição relativamente aos constituintes minerais existentes e aos compostos químicos formados que podem causar a degradação (MAGALHÃES, et al., 2006).

Uma metodologia de caracterização físico-química (SANTOS SILVA, 2002) estabelecida no Laboratório Nacional de Engenharia Civil e aplicada ao estudo de argamassas antigas tem permitido ficar a conhecer as composições de algumas argamassas presentes em edifícios de diferentes características de norte a sul do nosso país (Quadro 2.1 e Quadro 2.2). Essa metodologia está esquematizada na Figura 2.1.

2. Estado da arte

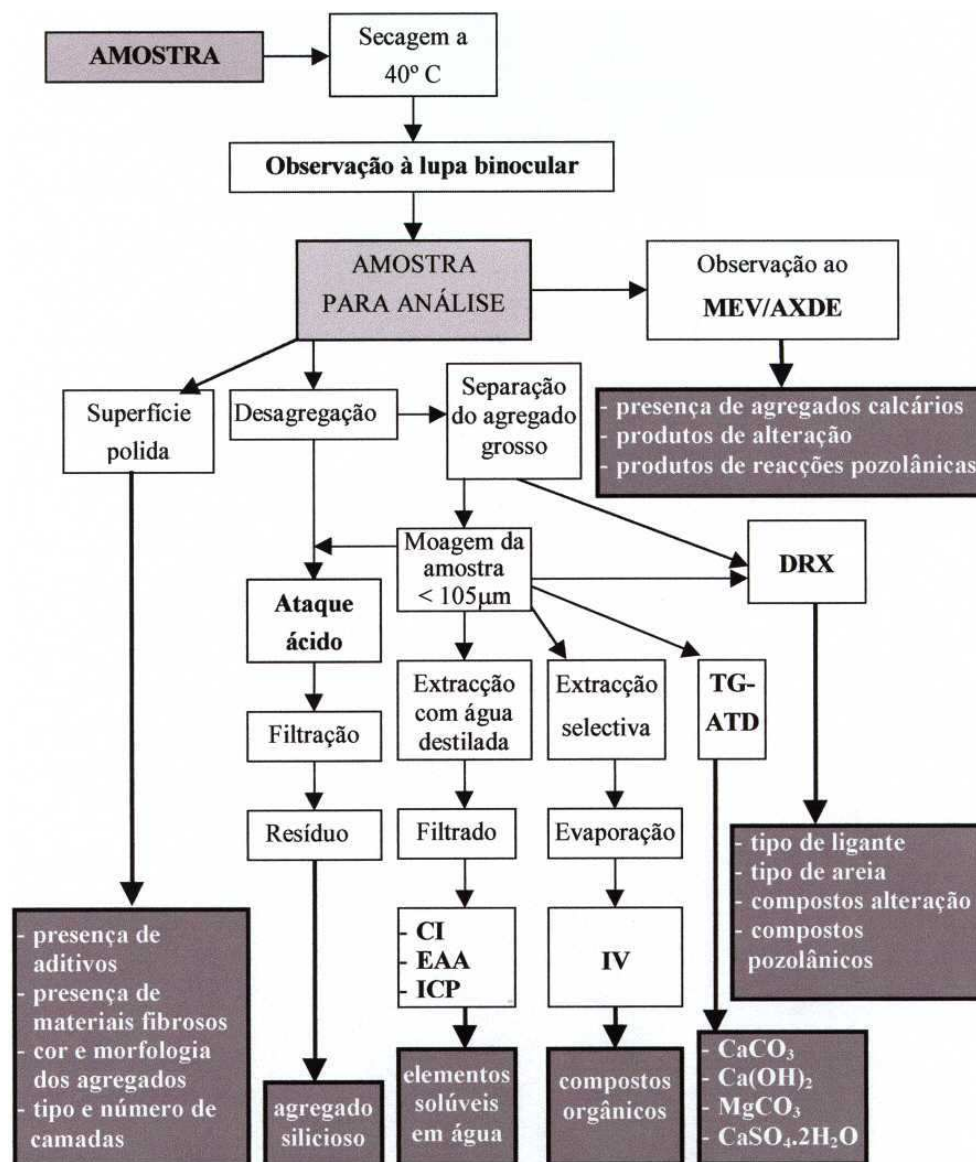


Figura 2.1 – Representação esquemática da metodologia de caracterização de argamassas antigas seguida no LNEC (SANTOS SILVA, 2002)

2.2.3. Características

As características das argamassas antigas são extremamente variáveis, dependendo dos seus constituintes, selecionados consoante a localização dos edifícios e a sua exposição (VELOSA, 2006).

A caracterização física e mecânica de argamassas antigas, devido à dimensão, quantidade e estado de conservação das amostras recolhidas em obra, nem sempre é fácil e o uso de métodos normalizados de ensaio torna-se impossível (MAGALHÃES, et al., 2006); (VEIGA, 2009).

Métodos de ensaio para amostras antigas, extraídas de obra, irregulares e friáveis têm vindo a ser desenvolvidos, sempre com validação dos mesmos, e têm permitido conhecer as características físicas e mecânicas dos revestimentos, conforme se pode observar nos Quadro 2.1 e Quadro 2.2, com a finalidade de não só conhecer e avaliar o respetivo estado de conservação, como auxiliar na formulação de argamassas de substituição (MAGALHÃES, et al., 2006); (VEIGA, 2009).

O conhecimento da resistência mecânica permite avaliar o estado de conservação da argamassa e o tipo de intervenção a efetuar. A absorção de água interligada com a porosidade dá-nos a conhecer o comportamento da argamassa face à água (VELOSA, 2006).

Para além do conhecimento das características químicas e mineralógicas, as características mecânicas e físicas são fundamentais para atingir o conhecimento do material, no entanto, estas informações podem não ser suficientes para se reproduzir uma argamassa com um comportamento semelhante, pois as condições de aplicação, as tecnologias usadas, as características do suporte, etc. podem conferir comportamentos muito diferentes (MAGALHÃES, et al., 2006); (VELOSA, 2006); (VEIGA, 2009).

Amostras de argamassas retiradas de edifícios datados do século I ao XIX, com grau de degradação dos revestimentos baixo, médio e alto¹ foram estudadas e a composição encontrada na maioria das argamassas foi de cal aérea e areia. Não foi possível determinar o traço em todas as argamassas, no entanto, naquelas em que isso foi conseguido, este variou entre os traços ponderais² de 1:3 e 1:10 (ligante: agregado) (MAGALHÃES, et al., 2006).

¹ Classificação feita com base na análise visual

² Um traço ponderal de 1:3 corresponde, aproximadamente, a um traço 1:1 em volume, o que significa que quando comparamos um traço ponderal 1:3 com um traço volumétrico 1:3, o ponderal tem uma maior quantidade de ligante

2. Estado da arte

Quadro 2.1 – Composições, traços, coeficiente de capilaridade por contacto e resistência à compressão de algumas argamassas já estudadas

	Tipo de Edifício	Localização	Época de construção	Composição	Traço ⁽¹⁾	Ccc ⁽²⁾ [kg/m ² .min ^{1/2}]	Rc ⁽³⁾ [MPa]
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Militar	Lisboa	Séc. XIX	Cal aérea e areia siliciosa	1:4 1:5 1:6	0,70 3,60 1,90	1,2 1,8 3,0
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Militar	Evoramonte	Séc. XII	Cal aérea e areia siliciosa	1:6	n.d.	1,6
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Militar	Mértola	Séc. IV – V	Cal aérea e agregado silicioso	1:3	0,70	1,5
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Militar	Mértola	Séc. IV	Cal aérea e agregado silicioso	1:5	0,30	3,5
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Militar	Amieira do Tejo	Séc. XVI	Cal aérea e areia siliciosa	1:3	0,71	3,6
(MAGALHÃES, et al., 2011)	Militar	Carcavelos	Séc. XVI	Cal aérea e areia siliciosa	n.d.	1,41	2,3
(MAGALHÃES, et al., 2011)	Militar	Oeiras	Séc. XVII	Cal aérea e areia ⁽⁴⁾	n.d.	0,18	7,1
(MAGALHÃES, et al., 2011)	Religioso	Elvas	Séc. XVI	Cal aérea e areia ⁽⁵⁾	1: 3,5 ⁽⁶⁾	0,65	5,9

n.d. – não determinado

(1) – Traço ponderal aproximado (ligante: agregado)

(2) – Coeficiente de capilaridade por contacto aos 5 minutos

(3) – Resistência à compressão

(4) – Areia de naturezas siliciosa e calcária

(5) – Areia de naturezas siliciosa e dolomítica

(6) – 3,5 = 3 agregado silicioso + 0,5 agregado calcário

Quadro 2.2 – Composições, traços, coeficiente de capilaridade por contacto e resistência à compressão de algumas argamassas já estudadas (continuação)

	Tipo de Edifício	Localização	Época de construção	Composição	Traço ⁽¹⁾	Ccc ⁽²⁾ [kg/m ² .min ^{1/2}]	Rc ⁽³⁾ [MPa]
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Religioso	Mértola	Séc. XII	Gesso e agregados ⁽⁴⁾	1: 0,2: 6,5 ⁽⁵⁾	3,27	3,5
(MAGALHÃES, et al., 2011)	Religioso	Évora		Cal ⁽⁶⁾	n.d.	0,74	3,3
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Industrial	Troia	Séc. I – VI	Cal aérea e areia ⁽⁷⁾	4:1:12 ⁽⁸⁾	0,43	4,5
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Industrial	Lisboa	Séc. XVIII	Cal aérea e areia ⁽⁹⁾	n.d.	3,20	2,2
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Industrial	Queluz	Desconhecida	Cal aérea e areia siliciosa	1:6	1,21	2,2
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Industrial	Troia	Séc. I – VI	Cal aérea e areia siliciosa	1:5	2,22	2,5
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Palácio		Séc. XVIII	Cal aérea e areia siliciosa e alguma calcária	1:10	1,05	2,1
(MAGALHÃES, et al., 2006)	Corrente	Lisboa	Séc. XVIII - XIX	Cal aérea e areia de natureza quartzosa	1:3	0,92	0,8

n.d. – não determinado

(1) – Traço ponderal aproximado (ligante: agregado)

(2) – Coeficiente de capilaridade por contacto aos 5 minutos

(3) – Resistência à compressão

(4) – Argamassa constituída essencialmente por gesso e uma pequena quantidade de agregados do tipo silicioso e calcário

(5) – 1 (agregado): 0,2 (Ca (OH)₂): 6,5 (gesso)

(6) – Cal aérea de natureza dolomítica ou mistura de cal cálcica com dolomítica

(7) – Areia de três tipos: siliciosa, calcária, dolomítica

(8) – Cal: areia siliciosa: pedra calcária

(9) – Areia de dois tipos (siliciosa e calcária)

2. Estado da arte

Os coeficientes de absorção de água por capilaridade obtidos variam entre 0,18 e 3,27 kg/(m².min^{1/2}) aos 5 min. Os valores das resistências à compressão apresentam-se entre 0,8 e 7,1 MPa. Na comparação feita entre estas duas características Magalhães, et al. (MAGALHÃES, et al., 2006) concluíram haver uma correlação em que se observa uma tendência para um aumento da absorção de água com a redução da resistência. Quanto à análise realizada “resistência vs aspetos da composição” verificou-se que as melhores resistências foram obtidas em argamassas com misturas de agregados de diferentes naturezas; argamassas com um único tipo de agregado apresentaram resistências inferiores; de onde se conclui que a associação, numa mesma composição de argamassas, de agregados de diferentes naturezas (nomeadamente calcários e/ou basálticos) aos agregados siliciosos parece contribuir para o incremento da resistência.

É ainda possível verificar que, em geral, os edifícios destinados a usos militares, vocacionados ao cuidado com a defesa, e os edifícios religiosos são de construção mais cuidada que os edifícios correntes, verificando-se que possuem argamassas particularmente resistentes e duráveis (MAGALHÃES, et al., 2011).

2.3. Argamassas para substituição

2.3.1. Introdução

O revestimento forma com o seu suporte um conjunto uno, funcionando aquele como proteção e complemento deste mesmo suporte. Deste modo, a eficácia do revestimento no desempenho do seu papel, estará sempre dependente do comportamento do suporte (CAVACO, 2005). Numa ação de reabilitação dever-se-á ter em conta essa especificidade do suporte; no entanto, não nos podemos esquecer que este tipo de intervenção apenas acontece por previamente ter ocorrido uma degradação da construção. Essa degradação implicará uma intervenção que, dependendo do valor do edifício em geral e do revestimento em particular, do estado de conservação do revestimento e da disponibilidade de meios, em termos de tecnologia, mão-de-obra, tempo e verbas, pode levar à necessidade de substituição de parte do reboco ou da sua totalidade (VEIGA, 2009).

Para especificar uma argamassa de reparação é necessário que haja um entendimento dos requisitos que esta deve satisfazer. Isto significa que as características de desempenho da argamassa são limitadas por vários fatores, incluindo as condições ambientais a que se encontra exposta a alvenaria e as propriedades do suporte sobre o qual é aplicada. O objetivo deveria ser sempre o de conseguir a melhor compatibilidade entre o substrato e a

argamassa de reparação no que diz respeito às propriedades no estado endurecido (HUGHES, 2010).

Para assegurar a durabilidade, e considerando as propriedades do substrato, devem ser cumpridos os requisitos de compatibilidade em combinação com os requisitos estruturais e ambientais (HUGHES, 2010).

Durante o século XX, no restauro de estruturas de alvenaria, houve uma tendência para substituir os rebocos antigos por rebocos compostos por argamassas com base em cimento. No entanto, em vários casos recentes, foram detetadas extensas anomalias devidas à incompatibilidade das argamassas com base em cimento e os materiais antigos. Estas argamassas têm uma grande quantidade de sais solúveis, potencialmente perigosos para a degradação de rebocos antigos devido aos ciclos de cristalização e/ou hidratação; são menos permeáveis que as argamassas de cal, retêm água em excesso, o que pode dar início a um processo de alteração, e apresentam valores de resistência à compressão muito elevados, o que pode vir a ser uma fonte de problemas no caso dos restauros (LANAS, et al., 2003).

As argamassas de cal aérea são as mais compatíveis, mecânica, estrutural e quimicamente com alvenarias antigas. Estas têm uma composição mais próxima das argamassas antigas, sendo as mais convenientes para utilizar na sua reabilitação pois asseguram compatibilidade entre os constituintes (RODRIGUES, 2003), são mais deformáveis e permitem acomodar movimentos da estrutura (LANAS, et al., 2003).

2.3.2. Requisitos

Os requisitos estabelecidos para as argamassas a usar como reboco de edifícios antigos são consideravelmente diferentes daqueles para as argamassas a utilizar em edifícios novos, devido a critérios de compatibilidade³: menor resistência, maior deformabilidade, capilaridade superior e permeabilidade ao vapor de água e teores de sais solúveis inferiores. Também a diversidade de parâmetros a ter em consideração e analisar é superior em edifícios antigos devido à relevância em preservar os materiais pré existentes (VEIGA, et al., 2010).

³ Compatibilidade significa que os novos materiais (e a intervenção) não contribuem para a degradação dos elementos pré existentes (VEIGA, et al., 2010).

2. Estado da arte

Nas argamassas de reboco são considerados, por Hughes (HUGHES, 2010), muito importantes os requisitos de aderência ao suporte, resistência à penetração de água, resistência aos ciclos gelo-degelo, a dilatação térmica e o comportamento à molhagem e secagem.

A escolha das argamassas para as substituições deve ser baseada num conjunto de requisitos que estas devem satisfazer (VEIGA, et al., 2002); (VEIGA, et al., 2004); (VEIGA, 2009); (VEIGA, et al., 2010):

1. *Não degradar os elementos pré-existentes, nomeadamente as alvenarias* – Os novos revestimentos não devem:
 - introduzir tensões excessivas num suporte eventualmente fraco e com deficiências de coesão;
 - contribuir para reter água no interior da parede ou para alterar o seu transporte para que esta passe a atravessar mais frequentemente elementos antigos, degradando-os;
 - conter sais solúveis que possam contaminar os elementos em contacto;
 - comprometer os elementos mais antigos devido a irreversibilidade de aplicação ou irreparabilidade.
2. *Ter capacidade para proteger os elementos mais antigos* – Os revestimentos de substituição devem cumprir a principal função dos revestimentos, que consiste em proteger o suporte da água, das ações externas de choque e das solicitações de natureza química e biológica.
3. *Não descaracterizar o edifício* – Os revestimentos de substituição devem ter semelhança de aspeto a curto prazo e envelhecimento semelhante – o que, em geral, implica materiais da mesma natureza.
4. *Ser durável (e contribuir para a durabilidade do conjunto)* – As intervenções em edifícios antigos, embora se destinem a garantir o papel protetor dos revestimentos devem garantir essa proteção durante períodos de tempo razoáveis. Os revestimentos de substituição e os revestimentos sujeitos a tratamentos de consolidação devem ter alguma durabilidade, sob pena de se tornarem economicamente inviáveis.

De forma a poderem cumprir estes requisitos, aos 90 dias, as argamassas de substituição devem ter resistência à flexão e à compressão e módulo de elasticidade semelhantes às das argamassas originais e inferiores às do suporte; resistência ao arrancamento inferior à

resistência à tração do suporte; força máxima desenvolvida por retração restringida inferior à resistência à tração do suporte, assegurando desta forma a compatibilidade mecânica.

A compatibilidade física fica garantida se a permeabilidade ao vapor de água e absorção capilar forem semelhantes aos rebocos pré existentes e inferiores ao suporte (de forma a permitir a evaporação da água absorvida, o novo reboco não deve bloquear a passagem do vapor de água que circula devido ao gradiente de pressão de vapor de água entre o interior e o exterior do edifício, retendo-o no seio da alvenaria).

Para garantir a compatibilidade química é exigido que as novas argamassas tenham um baixo teor em sais solúveis e que sejam formuladas para resistir aos efeitos de cristalização dos sais (VEIGA, et al., 2002); (VEIGA, 2009); (VEIGA, et al., 2010).

Os limites estabelecidos, numa aproximação conservativa, para as características mecânicas e de comportamento à água das argamassas para substituição de edifícios antigos são apresentadas nos quadros seguintes (Quadro 2.3 e Quadro 2.4)

Quadro 2.3 – Limites estabelecidos para as características mecânicas das argamassas quando não são conhecidas as características do suporte (VEIGA, et al., 2004); (VEIGA, 2009)

Argamassa	Características mecânicas [MPa]			Aderência [MPa]	Comportamento à retração restringida			
	Rt	Rc	E		Fr _{máx} [N]	G [N.mm]	CSAF	CREF [mm]
Reboco exterior	0,2 – 0,7	0,4 – 2,5	2000 – 5000	0,1 – 0,3 ou rotura coesiva pelo reboco	<70	>40	>1,5	>0,7
Reboco interior	0,2 – 0,7	0,4 – 2,5	2000 – 5000	0,1 – 0,3 ou rotura coesiva pelo reboco	<70	>40	>1,5	>0,7
Juntas	0,4 – 0,8	0,6 – 3,0	3000 – 6000	0,1 – 0,5 ou rotura coesiva pelo junta	<70	>40	>1,5	>0,7

Rt – Resistência à tração por flexão

Rc – Resistência à compressão

E – Módulo de elasticidade

Fr_{máx} – Força máxima devida à retração restringida

G – Energia de rotura por tração

CSAF – Coeficiente de segurança à abertura da primeira fenda

CREF – Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação

2. Estado da arte

Quadro 2.4 – Limites estabelecidos para as características de comportamento à água das argamassas quando não são conhecidas as características do suporte (VEIGA, et al., 2004); (VEIGA, 2009)

Argamassa	Ensaio clássico		Ensaio com humidímetro		
	S _D [m]	C [kg/m ² .min ^{1/2}]	M [h]	S [h]	H [mv.h]
Reboco exterior	<0,08	<1,5;> 1,0	>0,1	<120	<16 000
Reboco interior	<0,10	-		<120	-
Juntas	<0,10	<1,5;> 1,0	>0,1	<120	<16 000

S_D – Espessura da camada de ar de difusão equivalente

C – Coeficiente de capilaridade

M – Atraso na molhagem

S – Período de humedecimento

H – Intensidade de molhagem

Os requisitos apresentados são uma simplificação do problema global da definição de compatibilidade mas permitem uma primeira abordagem às novas argamassas quando não existe conhecimento pormenorizado das características dos materiais pré existentes. No entanto, quando possível, deve ser feita uma caracterização detalhada do suporte ou outros materiais originais restantes da estrutura. Quando nem as características do suporte nem do revestimento são quantificáveis, devem ser usados valores médios-baixos, por forma a garantir que não vai haver deterioração da alvenaria (VEIGA, et al., 2010).

Segundo Van Hees (VAN HEES, 2010) para argamassas de substituição têm de ser tidos em conta os seguintes aspetos:

- Argamassa e alvenaria existentes;
- Materiais e estruturas circundantes;
- Condições ambientais;
- Custos.

O mesmo autor (VAN HEES, 2010) refere ainda que a argamassa deve ser feita tão trabalhável e duradoura quanto possível (tendo em conta a compatibilidade). Tendo em mente a resistência mecânica necessária e a rigidez devem ser considerados:

- O ligante e tipo de agregado;
- A relação ligante / agregado;
- Os aditivos;
- A cor;
- A porosidade e distribuição de tamanho de poro;

— A absorção de água e a secagem.

Os aspetos referidos são fundamentais na decisão da formulação de uma argamassa de substituição.

A obtenção simultânea dos vários tipos de compatibilidade exige, na prática, o uso de materiais com composições de base semelhantes aos originais (VEIGA, 2010).

Veiga (VEIGA, 2010) refere ainda que, no caso de revestimentos antigos à base de cal, deverá, em geral, optar-se por argamassas de substituição também com base em cal e estudar depois composições mais ou menos complexas para preencher os diferentes requisitos, recorrendo a misturas com outros ligantes, a agregados estudados e, eventualmente, a adjuvantes e adições que melhorem alguns aspetos do comportamento.

Dada a complexidade de muitos projetos de restauro considera-se importante que todas as disciplinas envolvidas cooperem e cheguem a decisões equilibradas e devidamente fundamentadas (VAN HEES, 2010).

2.3.3. Algumas formulações para substituição já estudadas

Veiga et al. (VEIGA, et al., 2010) num estudo efetuado a várias composições e traços, baseados nas proporções “vitruvianas” (1:3 – ligante: agregado), de argamassas para substituição concluíram que argamassas de cal aérea são materiais compatíveis, mas têm valores muito próximos dos limites inferiores de compatibilidade, por isso devem ser usadas em alvenaria mais fraca e condições ambientais amenas. No entanto, é sabido que a carbonatação da cal aérea é um processo de longa duração e que estas argamassas continuam a melhorar a sua resistência e compacidade ao longo do tempo. Assim, é previsível que, a longo prazo, essas argamassas sejam adequadas até mesmo para condições bastante severas, como aconteceu com as argamassas de cal aérea pré existentes.

No que diz respeito a condições de exposição severas, o grupo atrás referido, concluiu que algumas formulações de cal aérea e adições pozolânicas oferecem boas possibilidades. Argamassas com cal aérea e pozolana natural de Cabo Verde, cal aérea e argila expandida, cal aérea e metacaulino e cal aérea e sílica fumo parecem ter comportamentos adequados para a maioria dos usos, especialmente se as proporções forem otimizadas. Não são conhecidas desvantagens específicas, além de algumas possíveis dificuldades na aplicação

2. Estado da arte

e algumas fissuras, devido ao insuficiente conhecimento sobre as condições de cura e dosagem de água para este tipo de materiais (VEIGA, et al., 2010).

Argamassas de cimento e cal têm um campo de aplicação possível para alvenaria antiga e resistente em condições climáticas e ambientais agressivas, especialmente se a ascensão capilar não é temida, embora haja sempre alguns riscos de introdução de sais solúveis na alvenaria. A análise dos intervalos de resultados obtidos das argamassas estudadas e a comparação desses valores com os requisitos de compatibilidade para edifícios antigos, com exigências específicas para os diferentes tipos de alvenaria e as condições físicas, climáticas e ambientais específicas, permitem uma seleção informada dos melhores materiais para cada caso. Compatibilidade com elementos pré-existentes, a durabilidade de todo o edifício e, num plano secundário, a durabilidade da própria argamassa deve sempre orientar a escolha (VEIGA, et al., 2010).

No Quadro 2.5 apresenta-se uma síntese de traços e composições de alguns estudos efetuados e referidos anteriormente.

Quadro 2.5 – Composição e características de algumas argamassas de substituição já estudadas

	Traço volumétrico	Composição	Rt [MPa]	Rc [MPa]	E [MPa]	C [kg/m ² .min ^{1/2}]
(VEIGA, et al., 2008)	1:1:6	WC:AL:TS	0,7-1,6	2,1-5,1	4770	1,0-1,8
(VEIGA, et al., 2008)	1:3:12	C:AL:TS	0,5	0,9	3010	2,0
(VEIGA, et al., 2008)	1:3 1:1,5+1,5	HL:wgSS HL:TS:CS	1,0-1,2	2,6-3,1	7400-7510	1,3-1,9
(VEIGA, et al., 2008)	1:1:3+3	HL:AL:TS:CS	0,3	0,6	1850	1,8
(VEIGA, et al., 2008)	1:3	AL:Areia	0,2-0,8	0,6-1,6	2330-4100	1,1-1,6
(VEIGA, et al., 2008)	1:0,5:2,5	AL:CVP:TS	0,3	1,1-1,4	2770	1,3
(VEIGA, et al., 2008)	1:0,25:2,5	AL:SF:TS	0,6	1,5	2550	1,4
(VEIGA, et al., 2008)	1:1:4	AL:ECF:TS	0,5	2,3	4020	2,3
(MARGALHA, 2010)	1:3,5	LP:MS	0,2	0,4	1880	2,2

SS – Areia Siliciosa; CS – Areia de Corroios; wgSS – Areia Siliciosa bem graduada; TS – Areia do rio Tejo; C – Cimento; WC – Cimento Branco; AL – Cal aérea; HL – Cal hidráulica; NHL – Cal hidráulica Natural; CVP – Pozolana de Cabo Verde; SF – Sílica fumo; ECF – Argila expandida; LP – Cal em pasta; MS – Areia de Santa Margarida (6 porções de grossa e 1 porção de fina)

3. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL

3.1. Introdução

No presente capítulo é apresentado o trabalho experimental que consistiu no estudo de quatro formulações de argamassas, com duas composições distintas, sujeitas a duas curas diferentes.

Todo o trabalho experimental foi realizado no Núcleo de Revestimento e Isolamentos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

O desenvolvimento do trabalho começou pela análise granulométrica das areias e determinação da massa volúmica aparente de todos os constituintes.

Seguidamente foi determinada a quantidade de água de amassadura, predefinindo o espalhamento de forma a garantir a trabalhabilidade. Em cada argamassa no estado fresco foi determinada a consistência por espalhamento e a massa volúmica.

Para a caracterização da argamassa no estado endurecido foram efetuados quinze provetes prismáticos (40x40x160 mm) de cada argamassa. Dos quais, doze foram utilizados na determinação da massa volúmica, determinação do módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão aos 28, 91, 182 e 364 dias de idade, carbonatação aos 364 dias e por fim porosidade aberta, e três para a determinação do coeficiente de absorção capilar, por se tratar de um ensaio não destrutivo, nas mesmas idades.

Segundo Margalha (MARGALHA, 2010) as características das argamassas de cal aérea devem ser estudadas em idades avançadas porque o processo de carbonatação é muito lento.

3.2. Traço

O traço de uma argamassa corresponde à relação entre ligante(s) e agregado(s). Foi escolhido o traço 1:3 por ser a proporção mais adequada para uma argamassa de recuperação (VEIGA, 2006).

3. Apresentação do trabalho experimental

Conforme se pode observar no Quadro 3.1 a um traço em massa de 1:3 corresponde um traço em volume de 1:0,8 aproximadamente, a um traço em volume de 1:3 corresponde um traço em massa de 1:12 aproximadamente.

Fica-se, então, também com as características de uma argamassa de traço, em volume, de 1:1, aproximadamente.

As partículas de maior dimensão têm uma superfície específica inferior às partículas mais pequenas, pelo que necessitarão de menos ligante para serem envolvidas. As partículas mais finas preenchem os espaços deixados pelas outras e o ligante os restantes (ROJAS, 2002); (CAVACO, 2005).

Teoricamente, uma areia bem graduada teria no mínimo 33% de vazios e como se procura que o ligante vá preencher os vazios existentes no agregado há uma tendência para o traço 1:3, em que uma parte de cal irá preencher os vazios da areia.

Quadro 3.1 – Argamassas, seus constituintes e respetivos traços

Argamassa	Ligante	Agregado		Traço	
	Ca	ART	ARC	Ponderal	Volumétrico
A1	×	×		1:3	1:0,8
A2	×	×		1:11,8	1:3
B1	×		×	1:3	1:0,7
B2	×		×	1:12,5	1:3

Ca – Cal aérea hidratada; ART – Areia do rio Tejo;
ARC – Areia do rio Tejo com granulometria corrigida

Das formulações a estudar, duas têm um traço volumétrico de 1:3 (ligante: agregado) e as outras duas têm um traço ponderal de 1:3.

Normalmente, em engenharia civil, é considerada a relação em volume, por ser mais fácil de transpor para obra, uma vez que aí os traços são feitos ao balde (COSTA, 1955). No entanto, com o aumento do estudo da composição de argamassas por parte de investigadores especialistas em química, que por sua vez, normalmente, trabalham em massa, surgiu a necessidade de comparar as propriedades do mesmo traço em massa e em volume para que fique registado que existem diferenças, como se suspeitava.

As composições das argamassas foram constituídas, uma por cal aérea hidratada e areia de rio e outra por cal aérea hidratada e areia de rio corrigida.

3.3. Caracterização do material

A caracterização do material constituinte das argamassas foi efetuada através do ensaio de massa volúmica aparente dos constituintes em pó e da análise granulométrica dos agregados.

Além da caracterização do material usado na composição das argamassas, o conhecimento da massa volúmica aparente permitirá também converter o traço volumétrico, correntemente utilizado em obra, numa relação de massas, essencial, também, para uma dosagem rigorosa em laboratório, e a análise granulométrica permitirá compreender melhor o comportamento de cada constituinte e a sua influência na estrutura porosa da argamassa.

3.3.1. Massa volúmica aparente dos constituintes em pó e granular

A massa volúmica aparente dos constituintes é obtida com base no Cahier 2669-4 CSTB (CSTB, 1993).

O ensaio efetua-se com recurso a um aparelho (Figura 3.1) constituído por dois recipientes, um cónico colocado na parte superior do suporte e outro cilíndrico de massa (m_0), colocado por debaixo do anterior. A amostra é colocada, com o auxílio de uma concha, no recipiente cónico com a parte inferior fechada e sem compactar. No fim de estar cheio abre-se a parte inferior, o constituinte vai descendo por gravidade para o recipiente cilíndrico, com 0,5 l de capacidade, colocado abaixo do recipiente cónico (se necessário pode recorrer-se a uma espátula para ajudar o pó a descer). Com o auxílio da espátula, em cutelo, alisa-se a superfície pelo contorno do recipiente. O exterior do recipiente é limpo e determina-se a sua massa (m_1).



Figura 3.1 – Aparelho para determinação da massa volúmica dos produtos em pó

A massa volúmica aparente do constituinte é obtida através da expressão (1).

3. Apresentação do trabalho experimental

$$\rho_m = \frac{m_1 - m_2}{0,5} \quad (1)$$

Em que:

ρ_m – Massa volúmica aparente do constituinte [kg/m^3];

m_0 – Massa do recipiente vazio [g];

m_1 – Massa do recipiente cheio [g].

Para cada constituinte são realizadas 3 medições, resultando a massa volúmica da média dos valores individuais expressa em kg/m^3 .

Os resultados deste ensaio vão permitir a conversão dos traços volumétricos em traços em massa.

3.3.2. Análise granulométrica dos agregados

A granulometria de um agregado corresponde à distribuição das percentagens das partículas de determinadas dimensões que o compõem.

A análise granulométrica dos agregados é realizada com base na EN 1015-1 (CEN, 1998), no entanto, os peneiros escolhidos para a realização deste ensaio são os usados no Método Interno, do Núcleo de Materiais Metálicos do Departamento de Materiais do Laboratório Nacional de Engenharia Civil: “Análise granulométrica do resíduo insolúvel das argamassas”.

A areia foi seca até massa constante⁴, em estufa ventilada, à temperatura de 105 ± 5 °C.

A análise granulométrica da areia é efetuada usando um vibrador de peneiros (Figura 3.2). Estes são encaixados uns nos outros, com um progressivo aumento da abertura da malha, de maneira a que o peneiro de baixo tenha malha com abertura inferior ao que se encontra por cima. Uma toma de 0,2 kg (m_{total}) é colocada no peneiro de maior malha e coloca-se o conjunto de peneiros em vibração horizontal durante 5 minutos. Os constituintes do agregado, descendo por gravidade, vão ficando retidos no peneiro da granulometria correspondente. Os peneiros são retirados e individualmente são peneirados manualmente,

⁴ Considerou-se massa constante quando as pesagens efetuadas em intervalos de 2 h não diferiam mais de 0,2 g.

durante aproximadamente um minuto, até não se verificar passagem de grãos, de seguida procede-se à pesagem da massa obtida em cada peneiro ($m_{peneiro}$).



Figura 3.2 – Vibrador de peneiros

A percentagem retida em cada peneiro (R) corresponde ao quociente entre a massa obtida em cada peneiro ($m_{peneiro}$) e a massa total de amostra (m_{total}). Com a percentagem de material retido em cada peneiro (expressão (2)), é desenhada a curva granulométrica do agregado.

$$R = \frac{m_{peneiro}}{m_{total}} \quad (2)$$

Em que:

R – Percentagem retida em cada peneiro [%];

$m_{peneiro}$ – Massa do peneiro com o agregado retido [g];

m_{total} – Massa da amostra [g].

3.3.3. Composição química da cal

A composição química da cal foi retirada de um estudo que avalia a influência da relação ligante:agregado nas propriedades mecânicas e mineralógicas das argamassas de cal aérea e metacaolino (GAMEIRO, et al., 2013).

3. Apresentação do trabalho experimental

Quadro 3.2 – Composição química da cal

Material	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
% em massa	0,01	0,15	0,01	3,09	76,74	0,02	0,04	0,01

3.4. Preparação da argamassa

As argamassas são realizadas com base na norma europeia EN 1015-2 (CEN, 1998).

Os constituintes, cujas quantidades foram previamente determinadas de acordo com o traço pretendido, são introduzidos na cuba (Figura 3.3 a)) e misturados com a colher de pedreiro. Coloca-se a cuba na misturadora e esta é ligada na velocidade mais lenta, dando-se início à contagem do tempo de mistura. Nos primeiros 15 segundos introduz-se a água e deixa-se que a mistura se efetue durante os 135 segundos seguintes. Para-se a misturadora, retira-se a cuba e mexe-se a pasta, recorrendo a uma colher de pedreiro, por forma a juntar os eventuais constituintes acumulados no fundo. Coloca-se novamente a cuba (Figura 3.3 b)) na misturadora por mais 30 segundos.

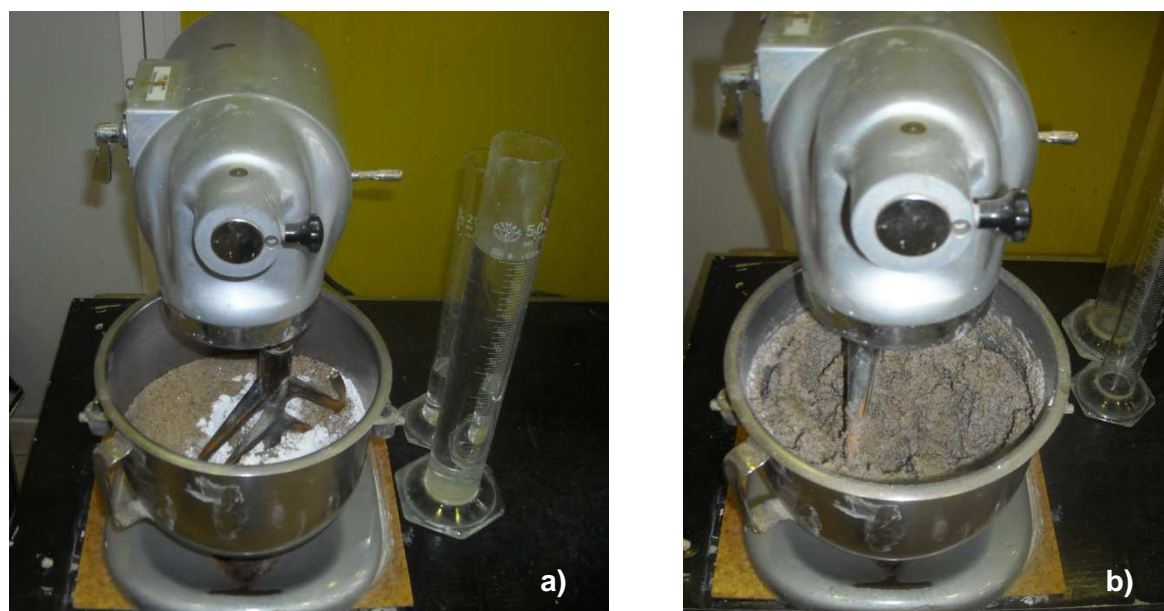


Figura 3.3 – Preparação da argamassa

A preparação das argamassas foi realizada em três fases. A primeira correspondeu à realização dos provetes com areia do rio Tejo, a segunda à realização dos provetes com

areia com granulometria corrigida para as idades de 182 e 364 dias e a terceira à realização dos provetes com areia com granulometria corrigida para as restantes idade, 28 e 91 dias.

O ensaio de espalhamento, com o objetivo de obter argamassas com a mesma consistência, foi o critério de uniformização usado entre as várias amassaduras.

A quantidade de água utilizada foi a mínima indispensável para que a argamassa tivesse uma boa trabalhabilidade e não ultrapassasse os valores estipulados para este estudo (145 ± 5 mm).

Segundo Veiga (VEIGA, 1997), a argamassa de revestimento deve poder ser facilmente aplicada, de modo a obterem-se boas aderência e compacidade e bom rendimento, e deve poder ser trabalhada à superfície para que o aspeto final do reboco seja satisfatório.

Margalha (MARGALHA, 2010) refere que a quantidade de água adicionada tem de ser a necessária para permitir que as argamassas possam ser aplicadas, facilitando a maneabilidade e a trabalhabilidade, alertando para que se for em quantidade excessiva, serão afetadas a porosidade, a compacidade e a absorção de água por capilaridade, diminuindo resistência mecânica e aumentando a retração.

3.5. Ensaio em estado fresco

Imediatamente após a mistura da argamassa procede-se aos ensaios da pasta.

3.5.1. Massa volúmica da argamassa em pasta

A massa volúmica da argamassa em pasta é obtida com base na EN 1015-6 (CEN, 1998).

Mede-se a massa de um recipiente cilíndrico metálico (Figura 3.4) com capacidade de um litro (m_0). Com a ajuda de uma colher de pedreiro coloca-se argamassa no recipiente até meia altura. Efetua-se uma primeira compactação da argamassa elevando um lado do recipiente aproximadamente 30 mm, repete-se este passo 10 vezes alternando o lado elevado. Enche-se o recipiente, faz-se nova compactação da argamassa e retira-se o excesso com ajuda de uma espátula, em cutelo, pelo contorno do recipiente. Limpa-se o recipiente de possíveis restos no exterior e mede-se a massa do mesmo (m_1).

3. Apresentação do trabalho experimental



Figura 3.4 – Recipiente cilíndrico

A massa volúmica da argamassa em pasta é obtida através da expressão (3).

$$\rho_m = \frac{m_1 - m_0}{V} \quad (3)$$

Em que:

ρ_m – Massa volúmica da argamassa em pasta [kg/m^3];

m_0 – Massa do recipiente vazio [g];

m_1 – Massa do recipiente cheio [g];

V – Volume do recipiente [l].

O resultado do ensaio é dado pela média aritmética de duas determinações e expresso em kg/m^3 .

3.5.2. Consistência por espalhamento

A consistência por espalhamento é obtida com base na EN 1015-3 (CEN, 1999).

Antes do ensaio a argamassa é mexida durante 5 a 10 segundos com a colher de pedreiro.

Num molde troncocónico, centrado no disco da mesa de espalhamento (Figura 3.5), introduz-se a argamassa com ajuda de uma colher de pedreiro, aproximadamente até meio do molde, compacta-se com dez pancadas de um pilão. Acaba-se de encher o molde e volta-se a compactar com outras dez pancadas, retira-se o excesso com uma espátula, em cutelo, e limpa-se a mesa de eventuais restos de argamassa. Aguarda-se 15 segundos e lentamente retira-se o molde na vertical. Rodando o manípulo da mesa 15 vezes com uma velocidade de aproximadamente 1 volta por segundo, a argamassa vai-se espalhar no disco.

Com uma craveira mede-se o diâmetro da pasta em duas direções perpendiculares. O espalhamento é obtido a partir da média das duas direções.



Figura 3.5 – Mesa de espalhamento

O resultado do ensaio é dado pela média aritmética de duas determinações e expresso em mm.

Notas:

- a) Caso a mesa de espalhamento não tenha sido usada nas 24 h anteriores rodar o manípulo da mesma 10 vezes antes do ensaio.
- b) Como garantia de uniformidade, o ensaio deve ser realizado em todas as amassaduras.

3.6. Provetes

3.6.1. Preparação

Após a caracterização das argamassas no estado fresco prepararam-se os moldes para a realização dos ensaios no estado endurecido, com base na EN 1015-11 (CEN, 1999).

Tendo em consideração os ensaios a realizar, foram moldados quinze provetes prismáticos com as dimensões de 40x40x160 mm, dos quais doze serão usados para a determinação da massa volúmica no estado endurecido, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à flexão e à compressão aos 28, 91, 182 e 364 dias de idade e três para a determinação do coeficiente de absorção capilar e coeficiente de água retida por superfície, nas mesmas idades.

Os moldes prismáticos usados encontram-se em conjuntos de três moldes. Estes são preenchidos com duas camadas de argamassa que se compactam com um pilão

3. Apresentação do trabalho experimental

(Figura 3.6), dando 25 pancadas uniformemente distribuídas em cada uma das camadas. Para que os provetes não apresentem vazios, para além da compactação referida na norma são dadas mais quatro pancadas elevando individualmente cada lado do molde cerca de 2 cm. Utilizando uma talocha, a superfície é alisada (Figura 3.7), retirando o excesso de argamassa presente.



Figura 3.6 – Compactação com pilão



Figura 3.7 – Alisamento da superfície com talocha



Figura 3.8 – Moldes com provetes

De seguida os moldes (Figura 3.8) são colocados numa sala com condicionamento de 20 ± 2 °C de temperatura e 65 ± 5 % de HR.

3.6.2. Identificação

A identificação dos provetes é da máxima importância quer para a cura, quer para o correto manuseamento dos mesmos para ensaio.

A nomenclatura escolhida para a identificação dos provetes (Figura 3.9) prende-se com o tipo de areia usada, o tipo de traço e o tipo de cura, conforme se exemplifica na Figura 3.10, em que os quatro primeiros caracteres estão de acordo com a identificação

3. Apresentação do trabalho experimental

efetuada no local onde se realizaram os provetes (LNEC), X corresponde ao tipo de areia, Y ao tipo de traço, Z ao tipo de cura e n ao número de ordem do provete.

Neste texto apenas se considerou relevante usar os caracteres X , Y e Z , tal como se encontra assinalado na Figura 3.10

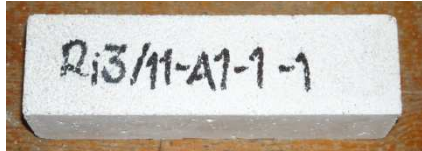


Figura 3.9 – Identificação dos provetes

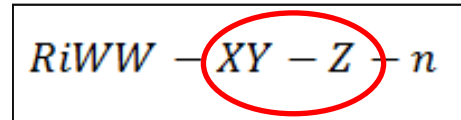


Figura 3.10 – Identificação dos provetes

No Quadro 3.3 estão identificadas todas as argamassas, seus constituintes, tipo de traço e tipo de cura.

Quadro 3.3 – Identificação das argamassas, seus constituintes, tipo de traço e tipo de cura

Argamassa ⁵	Ligante	Agregado		Traço		Cura	
	Ca	ART	ARC	Ponderal	Volumétrico	Seca	Húmida
A1-1	×	×		×		×	
A1-2	×	×		×			×
A2-1	×	×			×	×	
A2-2	×	×			×		×
B1-1	×		×	×		×	
B1-2	×		×	×			×
B2-1	×		×		×	×	
B2-2	×		×		×		×

Ca – Cal aérea hidratada; ART – Areia do rio Tejo;
ARC – Areia do rio Tejo com granulometria corrigida

⁵ **A1-1** – areia de rio Tejo, traço em massa e cura seca; **A1-2** – areia de rio Tejo, traço em massa e cura húmida; **A2-1** – areia de rio Tejo, traço em volume e cura seca; **A2-2** – areia de rio Tejo, traço em volume e cura húmida; **B1-1** – areia de rio Tejo com granulometria corrigida, traço em massa e cura seca; **B1-2** – areia de rio Tejo com granulometria corrigida, traço em massa e cura húmida; **B2-1** – areia de rio Tejo com granulometria corrigida, traço em volume e cura seca; **B2-2** – areia de rio Tejo com granulometria corrigida, traço em volume e cura húmida.

3. Apresentação do trabalho experimental

A amostra B1-1 vem do estudo em curso, “Caracterização de revestimentos antigos sujeitos à ação da água e a condições salinas severas e desenvolvimento de argamassas de cal sustentáveis com incorporação de subprodutos industriais para a reabilitação de rebocos com este tipo de exposição, encabeçado pela Dra Cristina Borges sob a Orientação da Eng^a Rosário Veiga, Dr. Santos Silva e Professora Paulina Faria (BORGES, et al.).

3.7. Curas estudadas

As curas a que foram sujeitos os provetes de argamassa são caracterizadas pelas seguintes condições:

- 20±2 °C de temperatura e 65±5 % de HR (humidade relativa), doravante designada por cura seca;
- 20±2 °C de temperatura e 65±5 % de HR e aspersão duas vezes ao dia de água corrente, doravante designada por cura húmida – alternância molhagem/secagem.

A existência de edifícios em zonas muito húmidas com revestimentos de cal tem suscitado a questão: “como foi possível que as argamassas se mantenham até aos nossos dias uma vez que estão em constante presença de humidade?”. A instabilidade climática também levanta questões quanto à “correta” carbonatação das argamassas expostas às intempéries, pois nem sempre o clima de Primavera apresenta as mesmas condições. Margalha (MARGALHA, 2010) refere que a cura das argamassas num ambiente húmido pode ter influência positiva na compacidade da argamassa.

No Quadro 3.4 apresentam-se as formulações, composições, curas e respetivas designações adotadas.

Quadro 3.4 – Argamassas em estudo

Cura	Seca		Húmida	
Traço ponderal 1:3	Ca + ART	A1-1	Ca + ART	A1-2
	Ca + ARC	B1-1	Ca + ARC	B1-2
Traço volumétrico 1:3	Ca + ART	A2-1	Ca + ART	A2-2
	Ca + ARC	B2-1	Ca + ARC	B2-2

Ca – Cal aérea hidratada; ART – Areia Rio Tejo;
ARC – Areia Rio Tejo com granulometria corrigida

O tempo de desmoldagem dependeu do traço da argamassa ser ponderal ou volumétrico. Os provetes com traço ponderal foram desmoldados após 2 dias.

Os provetes com traço volumétrico ao fim de 2 dias ainda se encontravam muito frágeis, optando-se, por isso, pela sua desmoldagem ao fim de 5 dias. No entanto, e embora menos frágeis, partiram-se alguns deles. Os primeiros destes provetes submeteram-se à cura prevista, húmida, inicialmente efetuada com os provetes assentes na vertical numa bancada coberta com polietileno, o que fazia com que a água se acumulasse na base dos mesmos fragilizando-a e iniciando-se um processo de absorção capilar antes do tempo previsto o que originou a queda de muitos destes provetes, conforme se pode observar nas Figura 3.11 e Figura 3.12, passando então a fazer-se a cura com os provetes assentes em ripas metálicas (Figura 3.13) para que a água não se acumulasse na base dos provetes e não se iniciasse a ascensão capilar que os fragilizava, especialmente os com traço volumétrico, tendo-se então optado pelo desmolde dos mesmos aos 7 dias.

O sucedido pode ser justificado pelo referido por Margalha na sua tese de doutoramento (MARGALHA, 2010). A autora refere que antes de carbonatar a cal é solúvel em água, o que as torna muito suscetíveis nas primeiras horas ou dias de aplicação.

Após desmoldagem, uns provetes foram mantidos apenas sob o condicionamento da sala onde foram armazenados até à data de ensaio – cura seca (Figura 3.14) –, e outros, além do condicionamento da sala, foram aspergidos com água doce duas vezes por dia – cura húmida – alternância molhagem/secagem (Figura 3.15), dando-se início à contagem do tempo de cura.

A aspersão foi efetuada com os provetes na vertical, sendo todos os lados molhados bem como o topo superior do provete. O topo inferior, base assente nas ripas, era molhado indiretamente com a água que escorria do provete.



Figura 3.11 – Provetes com traço ponderal desmoldados após 2 dias



Figura 3.12 – Provetes com traço ponderal desmoldados após 2 dias

3. Apresentação do trabalho experimental

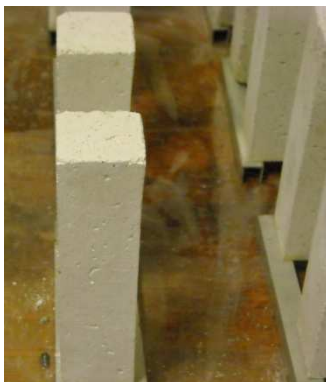


Figura 3.13 – Provetes em cima das ripas metálicas



Figura 3.14 – Cura seca



Figura 3.15 – Cura húmida – alternância molhagem/secagem

3.8. Ensaio no estado endurecido

Os parâmetros usados neste estudo para a caracterização da argamassa no estado endurecido são: massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à compressão e à tração por flexão, coeficiente de absorção capilar e porosidade aberta.

3.8.1. Massa volúmica da argamassa endurecida

Aos provetes que vão ser ensaiados para a determinação do módulo de elasticidade, da resistência à tração por flexão e à compressão é feita a medição, com o auxílio de uma craveira, do comprimento (Figura 3.16), de três larguras (Figura 3.17), de três alturas (Figura 3.18) e da massa (Figura 3.19) de cada um.

O ensaio realiza-se em três provetes e a massa volúmica (ρ) é calculada através da expressão (4).

$$\rho = \frac{m}{c.b.d} \cdot 10^6 \quad (4)$$

Em que:

ρ – Massa volúmica [kg/m³];

m – Massa do provete [g];

c – Comprimento do provete [mm];

b – Média de três larguras do provete [mm];

d – Média de três alturas do provete [mm].



Figura 3.16 – Medição do comprimento

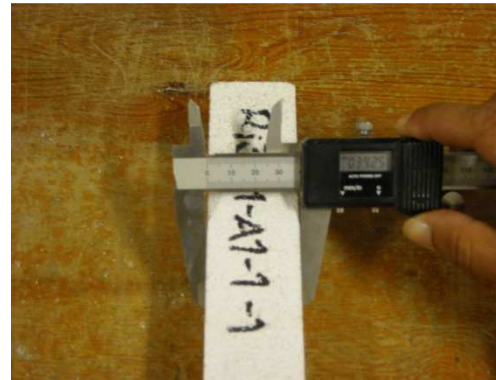


Figura 3.17 – Medição da largura

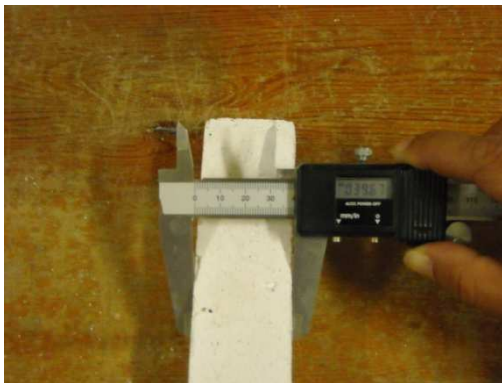


Figura 3.18 – Medição da altura



Figura 3.19 – Medição da massa

A massa volúmica da argamassa endurecida é obtida pela média aritmética, arredondada às dezenas, dos valores de três provetes e expressa em kg/m³.

3.8.2. Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico é determinado com base na NP EN 14146 (IPQ, 2006)

O ensaio incide sobre três provetes e, o módulo de elasticidade (E), é determinado a partir da medição da frequência fundamental de ressonância (f) de cada provete (Figura 3.21),

3. Apresentação do trabalho experimental

posto em vibração longitudinalmente. O seu valor, em MPa, é dado pela seguinte expressão (5).

$$E = 4c^2 \cdot f^2 \cdot \rho \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

Em que:

E – Módulo de elasticidade dinâmico [MPa];

c – Comprimento do provete [m];

f – Frequência fundamental de ressonância [Hz];

ρ – Massa volúmica [kg/m³].



Figura 3.20 – Equipamento para medição da frequência fundamental de ressonância

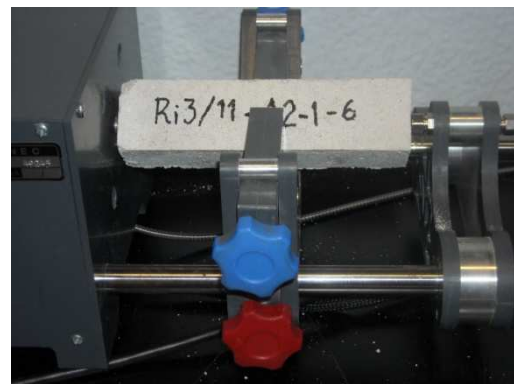


Figura 3.21 – Medição da frequência fundamental de ressonância

Nota:

- A frequência fundamental de ressonância corresponde à frequência mais baixa para a qual se obtém a amplitude máxima.

O módulo de elasticidade dinâmico é obtido pela média aritmética, arredondada às dezenas, dos valores de três provetes e expresso em MPa.

3.8.3. Resistência à tração por flexão e à compressão

A resistência à tração por flexão e à compressão é obtida com base na EN 1015-11 (CEN, 1999).

No ensaio de resistência à tração por flexão o provete é colocado com as faces de moldagem em contacto com os cilindros de apoio (Figura 3.22). É aplicada, sem choque, uma carga concentrada, a meio vão, com um aumento uniforme que pode variar entre os

10 N/s e os 50 N/s para que a rotura se dê no intervalo de 30 s a 90 s. A força de rotura de flexão (F_f) corresponde à máxima força registada pela máquina.



Figura 3.22– Ensaio de resistência à tração por flexão

A resistência à tração por flexão (R_t), de cada provete, é obtida pela expressão (6).

$$R_t = 1,5 \cdot \frac{F_f \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (6)$$

Em que:

R_t – Resistência à tração por flexão [N/mm²];

F_f – Força de rotura de flexão [N];

l – Distância entre cilindros de apoio [mm];

b – Média de três larguras do provete [mm];

d – Média de três alturas do provete [mm].

O ensaio incide sobre três provetes e os valores individuais são arredondados às 5 centésimas.

A resistência à tração por flexão é obtida pela média aritmética, arredondada às décimas, dos valores individuais dos três provetes e expressa em MPa.

Para o ensaio de resistência à compressão são usadas as metades obtidas no ensaio de resistência à tração por flexão colocadas com as faces de moldagem em contacto com as bases do aparelho (Figura 3.23) usado para o ensaio. É aplicada, sem choque, uma carga com um aumento uniforme que pode variar entre os 50 N/s e os 500 N/s para que a rotura se dê no intervalo de 30 s a 90 s. A força de rotura de compressão (F_c) corresponde à máxima força registada pela máquina.

3. Apresentação do trabalho experimental

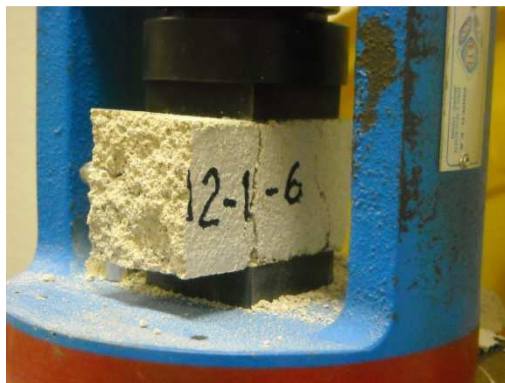


Figura 3.23– Ensaio de resistência à compressão

A resistência à compressão, de cada provete, é obtida pela expressão (7).

$$R_c = \frac{F_c}{40.d} \quad (7)$$

Em que:

R_c – Resistência à compressão [N/mm^2];

F_c – Força de rotura de compressão [N];

d – Média de três alturas do provete [mm].

O ensaio incide sobre três provetes e os valores individuais são arredondados às 5 centésimas.

A resistência à compressão é obtida pela média aritmética, arredondada às décimas, dos valores dos três provetes e expressa em MPa.

3.8.4. Coeficiente de absorção de água por capilaridade

O coeficiente de absorção de água por capilaridade é obtido com base na EN1015-18 (CEN, 2002).

De acordo com a Norma EN 1015-18 (CEN, 2002), a absorção de água por capilaridade deve ser medida com meios-provetes, (40 x 40 x 80) mm, no entanto nos ensaios foram utilizados provetes inteiros que, segundo Margalha (MARGALHA, 2010), traduzem melhor a absorção de água porque a água ascende, durante mais tempo, sem que os poros estejam saturados de água.

Imediatamente antes de dar início ao ensaio são registadas as medidas da largura e altura, da face que irá estar em contacto com a água, para posterior cálculo da área de contacto,

bem como a massa de cada um dos provetes. De seguida, os provetes são colocados em cima de umas barras que se encontram dentro de uma tina de acrílico, com altura suficiente para que esta possa ser coberta com uma placa do mesmo material de forma a minimizar a evaporação da água na mesma, e coloca-se uma lâmina de água de 10 mm (Figura 3.24), tapa-se a tina com a placa atrás referida (Figura 3.25) e começa-se a contar o tempo.

O ensaio realiza-se numa sala condicionada sujeita a 20 ± 2 °C de temperatura e 65 ± 5 % de HR

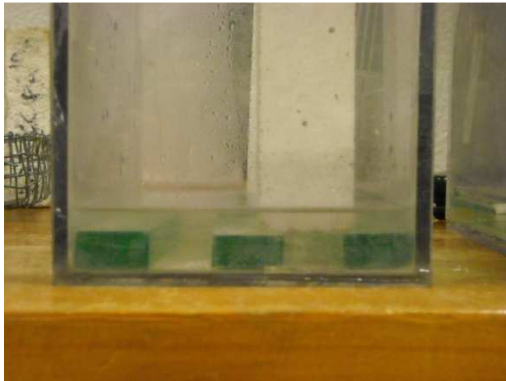


Figura 3.24 – Lâmina de água

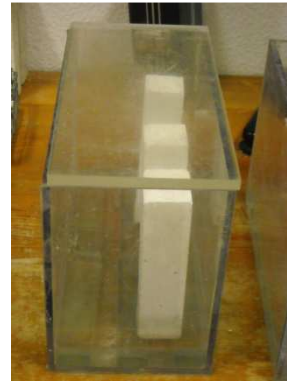


Figura 3.25 – Tina com placa

São registadas as massas dos provetes após 10, 30, 60, 90, 180, 300 e 480 min e depois de 24 h em 24 h até à saturação (considerou-se que um provete estava saturado quando a sua massa num intervalo de 24 h variava menos de 0,05 g, o que equivale a uma diferença de aproximadamente 0,01% da massa inicial, entre leituras).

A água absorvida é determinada pela diferença entre a massa do provete num dado momento (m_f) e a massa do mesmo seco (m_i). A absorção capilar é dada pelo quociente entre a água absorvida e a área de contacto. O coeficiente de absorção capilar (C_c) é dado pelo declive da reta da absorção capilar em função da raiz quadrada do tempo. O que se traduz pela seguinte expressão (8).

$$C_c = \frac{(m_f - m_i) / A_c}{\sqrt{t_f} - \sqrt{t_i}} \quad (8)$$

Em que:

C_c – Coeficiente de absorção capilar [$\text{kg}/(\text{m}^2 \text{min}^{1/2})$];

m_f – Massa do provete no instante final [g];

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

3. Apresentação do trabalho experimental

A_c – Área de contacto [m^2];

t_f – Instante final [min];

t_i – Instante inicial [min].

O ensaio incide sobre três provetes e os valores individuais são arredondados às 5 centésimas.

O coeficiente de absorção de água por capilaridade é obtido pela média aritmética, arredondada às décimas, dos valores dos três provetes e expresso em $kg/(m^2min^{1/2})$.

3.8.5. Porosidade Aberta

A porosidade é definida como a quantidade de ar existente no interior de uma argamassa endurecida. Este volume de ar pode resultar da natureza dos constituintes da argamassa, dos processos usados na sua execução ou da forma de aplicação (BOTAS, 2009).

A estrutura porosa afeta as principais características da argamassa tais como as resistências mecânicas, a permeabilidade à água e ao vapor de água, a absorção de água por capilaridade, a suscetibilidade às deformações, entre outras (BOTAS, 2009).

Botas (BOTAS, 2009) citando Rato (RATO, 2006), refere que podem distinguir-se dois tipos de porosidade: a porosidade aberta e a porosidade fechada. A porosidade fechada é constituída por poros ou agrupamentos de poros que estão isolados no interior do material. Geralmente, considera-se negligenciável a percentagem de porosidade fechada. A porosidade aberta forma uma rede contínua de vazios pois os poros comunicam todos entre si e com a superfície do material. Apenas este tipo de porosidade aberta contribui para o transporte de fluidos através do material. A porosidade aberta pode ainda apresentar um tipo distinto de poros, os poros cegos que apenas por uma das suas extremidades contactam com a rede porosa aberta.

A maioria dos autores distingue os poros pela sua dimensão: micróporos, poros capilares e grandes poros. Essa distinção em intervalos é fundamental.

Os micróporos, que representam geralmente a menor percentagem da porosidade da argamassa, possuem diâmetros inferiores a $0,02 \mu m$ (são os que têm menor importância na influência da porosidade e no comportamento do material); Os poros capilares têm diâmetros de $0,02$ a $1 \mu m$ e são os principais responsáveis pela absorção de água por capilaridade (são os que constituem a maior parte da porosidade das argamassas e são

formados, geralmente, pelo espaço que a água livre liberta depois de evaporar); Os grandes poros possuem diâmetros superiores a 1 μm e são causados por diversos fatores de entre os quais: tipo de ligante, tipo e quantidade de agregado, relação água ligante, ar aprisionado na mistura, ou a um introdutor de ar se for o caso de uso do mesmo (estes poros aparecem em maiores quantidades nas argamassas com ligantes aéreos) (BOTAS, 2009).

Este ensaio foi realizado com base na NP EN 1936 (IPQ, 2008).

Os provetes usados são resultantes do ensaio de compressão aos 364 dias.

Primeiramente os provetes são secos numa estufa ventilada a uma temperatura de 60 ± 5 °C, até massas constantes. Posteriormente são retirados e colocados à temperatura ambiente.

Numa balança com precisão de 0,01 g, é determinada a massa (m_1) dos provetes. De seguida são colocados num exsiccador cuja pressão é diminuída até ao valor de $2,0\pm 0,7$ kPa, com recurso a uma bomba de vácuo (Figura 3.26), provocando uma sucção de modo a que o ar no interior dos poros da argamassa seja maioritariamente retirado, e, nestes, seja facilitada a entrada de água. Decorridas 24 horas, faz-se com que, lentamente (Figura 3.27), penetre no exsiccador a quantidade de água necessária para a total imersão dos provetes (Figura 3.28), verifica-se a pressão, e mantém-se por 24 horas, após as quais se retira a tampa do exsiccador mantendo os provetes imersos e à pressão atmosférica, durante mais 24 horas. Após este tempo é determinada a massa dos provetes em imersão (m_2) (os provetes são suspensos num suporte colocado na parte inferior da balança – pesagem hidrostática (Figura 3.30)); seguidamente a sua superfície é enxugada com um pano húmido (eliminando apenas o excesso de água) e determinada a sua massa, desta vez saturados (m_3).

A porosidade aberta P_{ab} é determinada de acordo com a seguinte expressão (9).

$$P_{ab} = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} \times 100 \quad (9)$$

Em que:

P_{ab} – Porosidade aberta [%];

m_1 – massa do provete seco [g];

m_2 – massa do provete saturado imerso [g];

m_3 – massa do provete saturado [g].

3. Apresentação do trabalho experimental

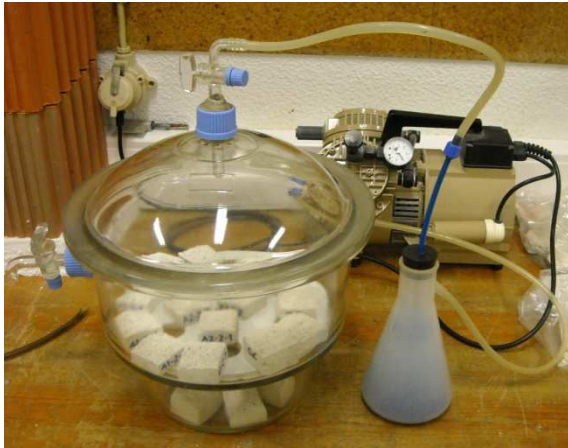


Figura 3.26 – Exsicador e bomba de vácuo



Figura 3.27 – Imersão dos provetes



Figura 3.28 – Provetes imersos



Figura 3.29 – Provetes à pressão atmosférica

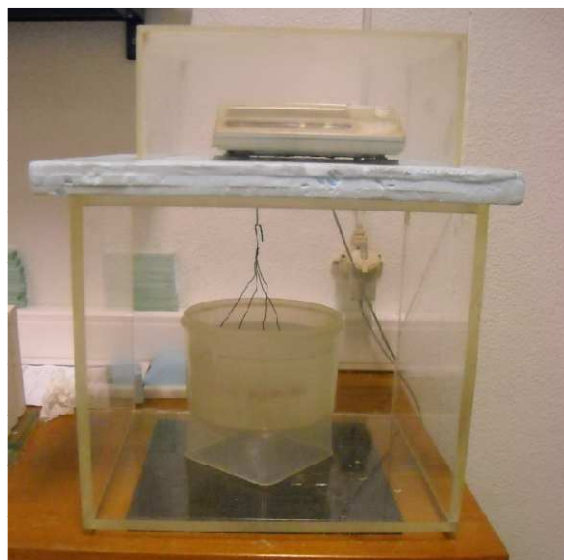


Figura 3.30 – Pesagem hidrostática

O ensaio da porosidade aberta permite determinar o volume dos poros com ligação ao exterior e os poros com comunicação com outros poros. É admitido que a porosidade aberta assume uma proporção maioritária na porosidade total da argamassa, assim, para efeitos de análise de resultados é desprezada a porosidade fechada (BOTAS, 2009)

3.8.6. Carbonatação

O ensaio de carbonatação é realizado com base na recomendação CPC-18 da RILEM (RILEM, 1988).

O ensaio consiste na aplicação de uma solução de 1% de fenolftaleína em álcool etílico a 70% e água a 30% sobre a superfície a analisar o que permite avaliar a presença de carbonato de cálcio. A mudança de cor da solução de fenolftaleína (de incolor para rosa), que se faz notar em poucos minutos, indica a zona do provete não carbonatada.



Figura 3.31 – Provete onde se realizou o ensaio de carbonatação (sendo que os da esquerda se encontram completamente carbonatados e os da direita parcialmente carbonatados)

Margalha (MARGALHA, 2010) concluiu que o processo de carbonatação é favorecido com humidade elevada e grande concentração de dióxido de carbono.

3. Apresentação do trabalho experimental

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Introdução

No presente capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos com a realização do trabalho experimental, descrito no capítulo anterior, caracterizando as diferentes argamassas, nos estados fresco e endurecido, assim como os seus constituintes.

Tendo sido este trabalho iniciado no final do primeiro semestre do mestrado, foi possível, tal como era desejado, a realização de ensaios a provetes com um ano de idade.

4.2. Material

O material usado neste estudo foi, como ligante, cal aérea hidratada em pó, como agregado, areia do rio Tejo na sua composição original e areia do rio Tejo com uma granulometria corrigida.

A cal aérea hidratada em pó, produzida pela *Lusical*, é de origem nacional e tem sido muito usada em estudos anteriores, permitindo por isso uma comparação de resultados. Segundo o fabricante, é uma cal de construção utilizada como ligante, individual ou incorporada nas misturas formuladas. Aplicada principalmente nos rebocos e, numa forma geral, na construção civil. Tem um elevado teor em hidróxido de cálcio, baixo teor de água livre e óxido de magnésio e uma granulometria inferior a 125 μm , segundo ficha técnica do produtor (Anexo 3).

A areia do rio Tejo é siliciosa de natureza quartzosa, tem um grão sub-angular, pouco esférico e dimensões variáveis (MARGALHA, 2010), é muito usada na região de Lisboa e tem sido, por isso, muito usada em estudos anteriores, permitindo assim comparação de resultados.

A areia do rio Tejo com granulometria corrigida, foi usada no sentido de obter uma curva granulométrica aproximada à das argamassas antigas que mostraram bom desempenho e boa durabilidade.

Assim, pretende-se, não só, estudar uma areia com uma distribuição granulométrica mais correta como, também, possibilitar a comparação de resultados com outros estudos que usem a mesma curva granulométrica.

4. Apresentação e análise dos resultados

A água, elemento aglutinador entre o ligante e o agregado, fundamental para que a argamassa ganhe trabalhabilidade e possa ser aplicada (CAVACO, 2005), utilizada foi da rede pública. Nas argamassas de cal aérea, a água tem ainda a função de assegurar a dissolução do dióxido de carbono, agindo como catalisador da reação.

4.2.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica dos agregados servirá para avaliar a influência das percentagens de finos nas características das argamassas.

Segundo Cavaco (CAVACO, 2005), a curva granulométrica deverá apresentar mais partículas de dimensão média, sendo esta percentagem decrescente para ambos os lados.

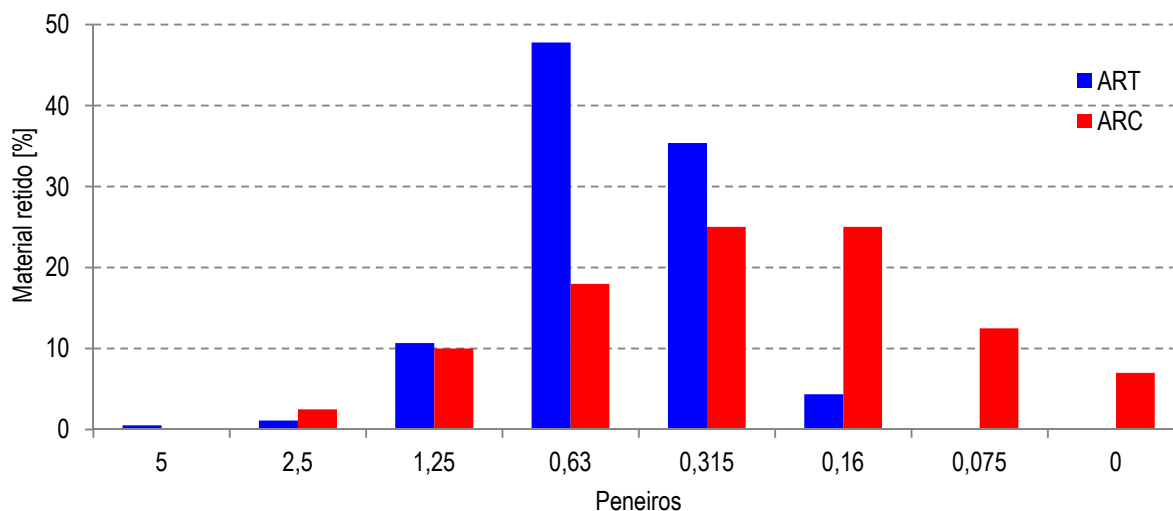


Figura 4.1 – Percentagem de material retido por peneiro

Como se pode observar na Figura 4.1, a areia com granulometria corrigida tem uma distribuição mais equilibrada das várias dimensões de partículas.

Cavaco (CAVACO, 2005) refere ainda que a percentagem e a forma da partícula terão grande influência na definição da percentagem de vazios do revestimento. Quanto menor for a percentagem de vazios, menor será a quantidade de ligante e água necessária para a execução da argamassa e, por conseguinte, menor será a retração.

A areia do rio Tejo com granulometria corrigida tem uma maior percentagem de finos, pelo que se espera que as argamassas com ela executadas tenham uma melhor trabalhabilidade, relativamente às executadas com areia do rio Tejo, bem como melhores características mecânicas.

4. Apresentação e análise dos resultados

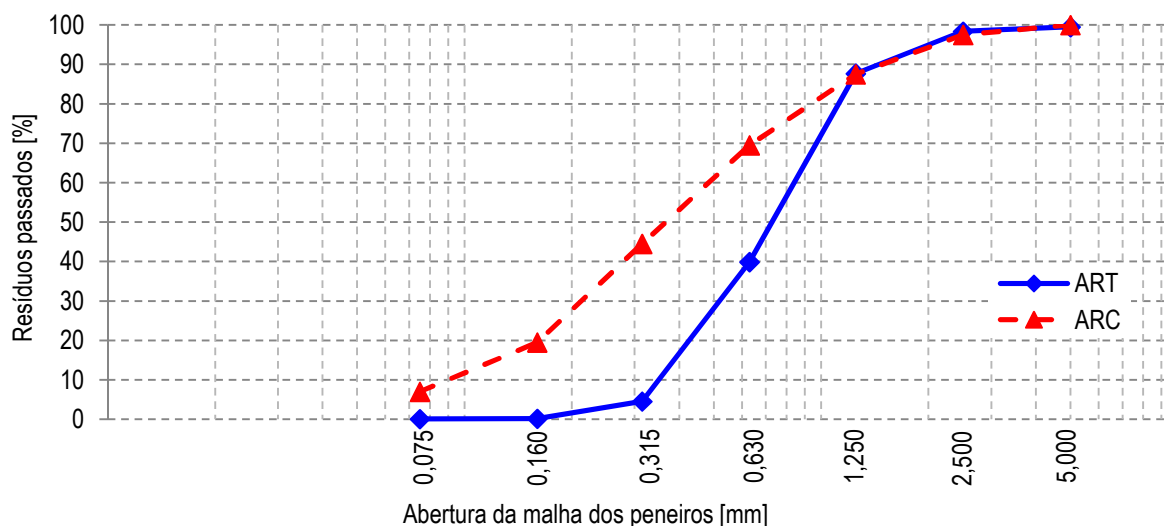


Figura 4.2 – Curva granulométrica dos agregados

ART – Areia do rio Tejo; ARC – Areia do rio Tejo com granulometria corrigida

Determinou-se ainda o módulo de finura seguindo as indicações de Sousa Coutinho (SOUSA COUTINHO, 1988), isto é, efetuando a divisão por 100 da soma das percentagens totais que ficam retidas em cada peneiro.

Considerou-se a dimensão máxima (D_{max}) do agregado como a menor abertura da malha do peneiro através da qual passa uma quantidade de agregado igual ou superior a 90%, e a mínima (D_{min}) como a maior abertura através da malha do peneiro através da qual passa uma quantidade de agregado igual ou inferior a 5%.

Os resultados obtidos para o módulo de finura, D_{max} e D_{min} são apresentados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Características geométricas dos agregados

Agregado	ART	ARC
Módulo de finura	3,70	2,75
D_{max} [mm]	2,5	2,5
D_{min} [mm]	0,160	0

ART – Areia do rio Tejo;

ARC – Areia do rio Tejo com granulometria corrigida

4. Apresentação e análise dos resultados

4.2.2. Massa volúmica aparente dos constituintes em pó

Os resultados das médias das três determinações feitas para a obtenção dos valores das massas volúmicas dos constituintes e os respetivos desvios padrão apresentam-se no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Massa volúmica aparente dos constituintes

Material	Massa volúmica aparente [kg/m ³]	
	Média	σ
Ca	357	5,9
ART	1428	2,1
ARC	1509	2,4

Ca – Cal aérea hidratada; ART – Areia do rio Tejo;
ARC – Areia do rio Tejo com granulometria corrigida

O valor obtido para a massa volúmica da cal é coerente com a bibliografia consultada (VEIGA, 1997); (RATO, 2006); (VELOSA, 2006); (PENAS, 2008); (BOTAS, 2009) que varia entre os 325 e 450 kg/m³, o mesmo acontece com a areia do rio Tejo que na bibliografia consultada (VEIGA, 1997); (PENAS, 2008); (BOTAS, 2009); (MARGALHA, 2010) varia entre 1400 e 1500 kg/m³.

Para a areia do Rio Tejo com granulometria corrigida não temos termo de comparação, no entanto podemos concluir que o aumento da massa volúmica, devida ao aumento do teor de finos, vai permitir realizar argamassas mais compactas, com menor volume de poros.

4.3. Caracterização das argamassas no estado fresco

A consistência por espalhamento e a massa volúmica foram determinadas para todas as amassaduras.

No Quadro 4.3, são apresentados os valores médios obtidos de consistência por espalhamento e massa volúmica para as diferentes argamassas e os respetivos desvios padrão. Apenas se apresentam os valores consoante o tipo de areia usada e o tipo de traço uma vez que a cura não tem influência nestes valores.

Quadro 4.3 – Massa volúmica da argamassa em pasta e consistência por espalhamento

Argamassa ⁶	Relação ponderal água/ligante	Consistência por espalhamento [mm]		Massa Volúmica [kg/m ³]	
		Média	σ	Média	σ
A1	1,10	150	0,3	1850	2,4
A2	1,90	145	0,4	1920	10,1
B1	1,10	150	0,6	1850	2,2
B2	2,40	145	2,6	1960	2,3

Verificou-se que as argamassas com traço em massa, mais ricas em ligante, necessitam de uma menor quantidade de água para se obter uma boa trabalhabilidade, independentemente do tipo de areia. Já nas argamassas com traço em volume verificou-se a necessidade de uma maior quantidade de água, sendo superior para as argamassas com areia com granulometria corrigida, o que não é de estranhar uma vez que estas têm uma maior quantidade de partículas de agregado para molhar.

Para as argamassas com maior quantidade de ligante foi necessário um espalhamento superior para o mesmo tipo de trabalhabilidade.

Rodrigues refere que as argamassas deverão ter uma trabalhabilidade aceitável, sem que para tal seja necessário adicionar água em excesso; (proporcionalmente ao aumento de água da amassadura vai também aumentar a retração da argamassa e, conseqüentemente, a sua fissuração) (RODRIGUES, 2004).

Neste trabalho considerou-se como aceitável um espalhamento de 145 ± 5 mm, valores normalmente usados para argamassas com base em cal.

O aumento do teor em finos das areias usadas, o aumento do teor em ligante e o aumento da quantidade de água de amassadura são fatores que permitem melhorar a trabalhabilidade, mas que têm conseqüências gravosas para outras características do reboco (VEIGA, 1997).

⁶ A1 – areia de rio Tejo e traço em massa; A2 – areia de rio Tejo e traço em volume; B1 – areia de rio Tejo com granulometria corrigida e traço em massa; B2-1 – areia de rio Tejo com granulometria corrigida e traço em volume.

4. Apresentação e análise dos resultados

A maior quantidade de água adicionada tem repercussões em algumas características das argamassas porque no período de secagem parte dessa água evapora criando espaços vazios na argamassa (MARGALHA, 2010).

As argamassas com maior quantidade de cal e menor quantidade de água apresentam menores massas volúmicas, o que seria de esperar pois a cal tem uma massa volúmica bastante inferior à da areia, de qualquer um dos tipos.

4.4. Caracterização das argamassas no estado endurecido

A caracterização das argamassas no estado endurecido passou pela determinação de parâmetros mecânicos e físicos. Nos mecânicos foram determinados a massa volúmica, o módulo de elasticidade dinâmico, a resistência à tração por flexão e a resistência à compressão. Nos físicos foi acompanhada a absorção capilar e secagem, determinado o coeficiente de absorção de água por capilaridade e determinada a porosidade aberta. Foi ainda registada a carbonatação.

Os resultados destes ensaios vão ser comparados com resultados obtidos em estudos anteriores efetuados em argamassas para substituição com base em cal e traço idêntico.

Os valores individuais e médias e desvios padrão dos ensaios são apresentados nos Anexo 1 e Anexo 2, respetivamente.

4.4.1. Massa volúmica

A massa volúmica do produto endurecido foi determinada a partir dos provetes que depois foram usados para os ensaios de determinação do módulo de elasticidade dinâmico, determinação da resistência à tração por flexão e determinação da resistência à compressão nas mesmas idades.

No Quadro A.2.1 do Anexo 2, são apresentados os valores médios obtidos para as massas volúmicas das várias argamassas nas várias idades e os respetivos desvios padrão.

Na Figura 4.3, pode observar-se a evolução da massa volúmica ao longo do tempo e constatar-se que as argamassas com areia com granulometria corrigida apresentam valores mais elevados de massa volúmica quando comparados com os das argamassas com o mesmo traço e o mesmo tipo de cura.

4. Apresentação e análise dos resultados

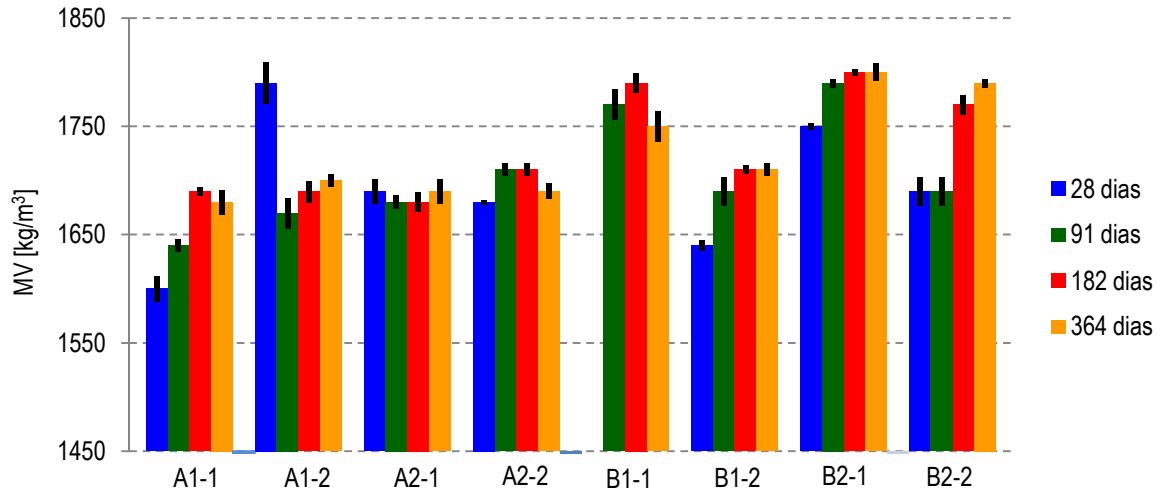


Figura 4.3 – Evolução da massa volúmica ao longo do tempo

Fazendo agora uma análise por variável, conclui-se que, conforme se pode observar na Figura 4.4 e já tinha sido detetado anteriormente, as argamassas com areia com granulometria corrigida apresentam valores mais elevados de massa volúmica, o que poderá estar relacionado com a diferença entre as massas volúmicas dos constituintes.

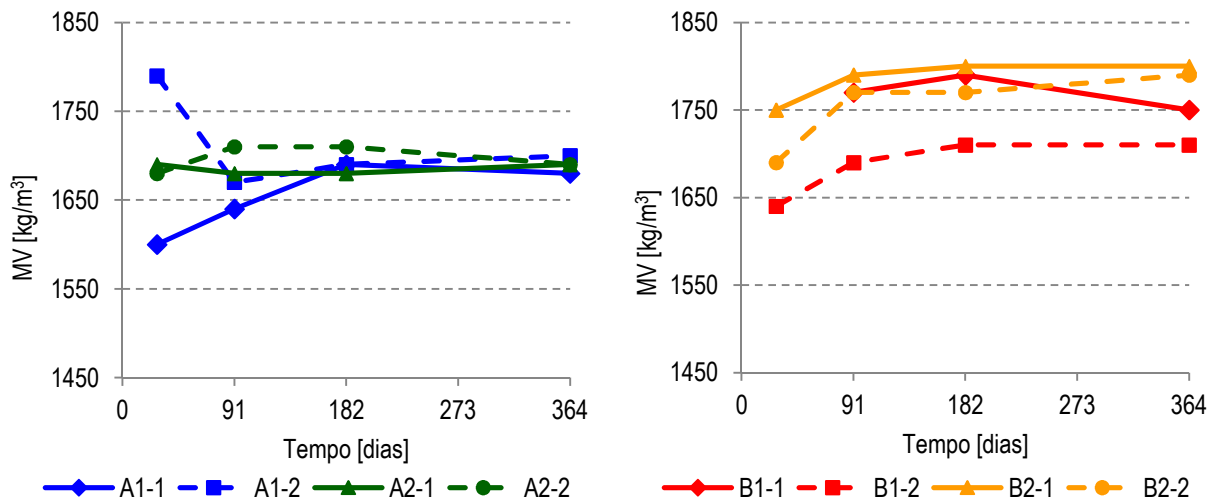


Figura 4.4 – Análise por tipo de areia da evolução da massa volúmica ao longo do tempo

Quanto ao tipo de traço, apresentado na Figura 4.5, não se observam diferenças significativas.

4. Apresentação e análise dos resultados

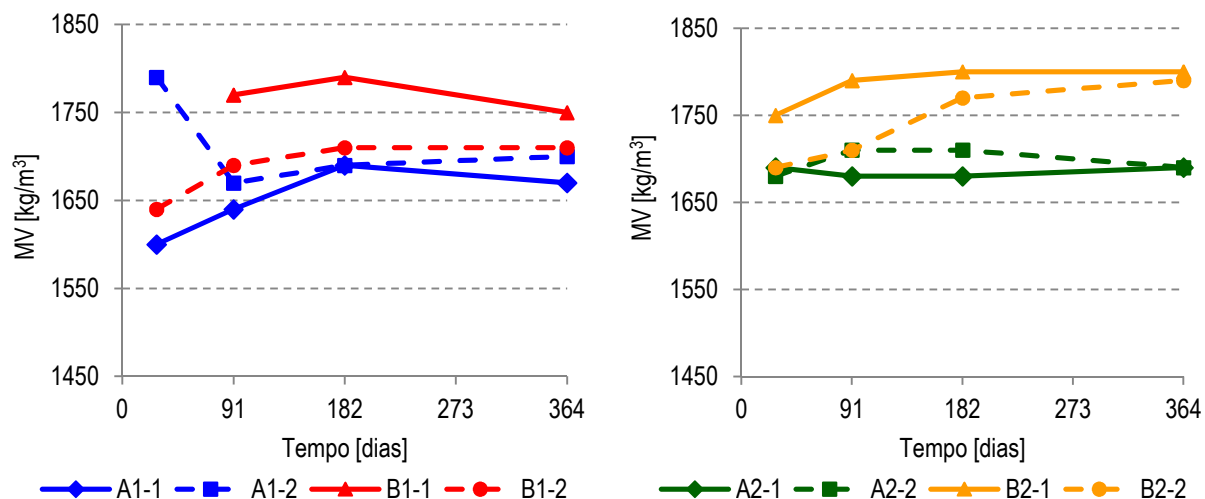


Figura 4.5 – Análise por tipo de traço da evolução da massa volúmica ao longo do tempo

Já no que diz respeito ao tipo de cura, visível na Figura 4.6, constata-se que, para as argamassas com areia corrigida e cura seca, as massas volúmicas são superiores, o que nos poderá levar a concluir que, para esta característica, a cura húmida pode não ser benéfica.

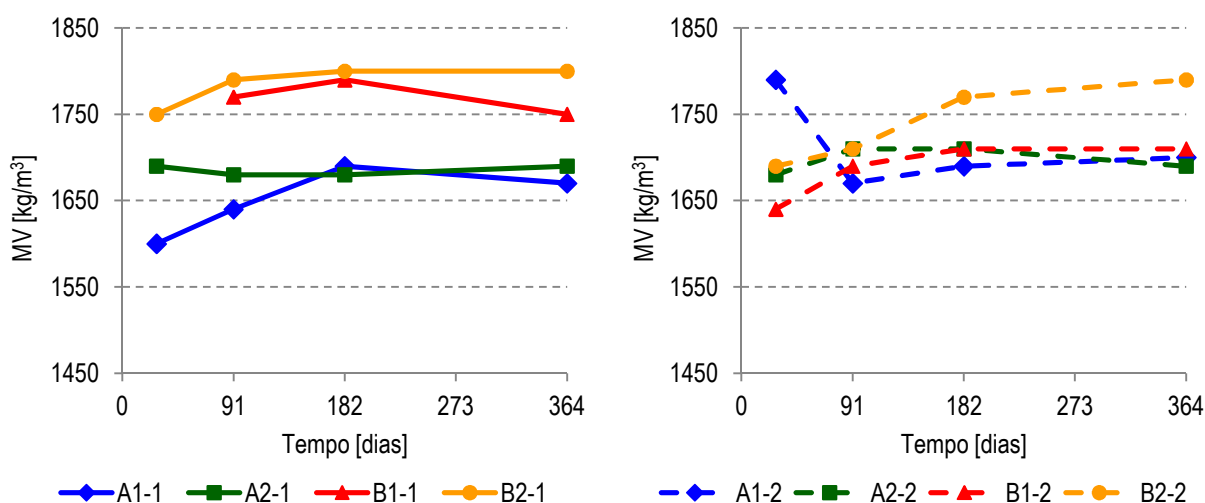


Figura 4.6 – Análise por tipo de cura da evolução da massa volúmica ao longo do tempo

Regra geral, constata-se um aumento da massa volúmica ao longo do tempo, não obstante que esse aumento seja pouco expressivo em algumas argamassas.

Comparando estes resultados com os obtidos no ensaio de determinação da massa volúmica da argamassa em pasta verifica-se que as diferenças que eram visíveis entre traço em massa e traço em volume já são pouco perceptíveis.

4.4.2. Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade surge como um indicador da capacidade de absorção de tensões, portanto da resistência à fendilhação, e ainda de compatibilidade com o suporte em termos de deformabilidade (PENAS, 2008).

O ensaio foi realizado numa sala condicionada com 23 ± 2 °C e 50 ± 5 % HR.

Os valores médios obtidos no ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico e os respetivos desvios padrão são apresentados no Quadro A.2.2 do Anexo 2.

Os valores registados aos 91 dias, para as argamassas com traço em volume e areia do rio Tejo, são semelhantes aos obtidos por Veiga (VEIGA, et al., 2008) para argamassas de cal aérea com traço 1:3. No entanto, e embora não exista termo de comparação para as outras argamassas, estas também apresentam valores dentro dos obtidos pelos mesmos investigadores (consulte-se Quadro 2.5 do capítulo 2), com exceção para a argamassa B1-1 que apresenta valores muito elevados.

Conforme se pode observar na Figura 4.7, o módulo de elasticidade foi aumentando ao longo do tempo, sendo superior nas argamassas com cura húmida.

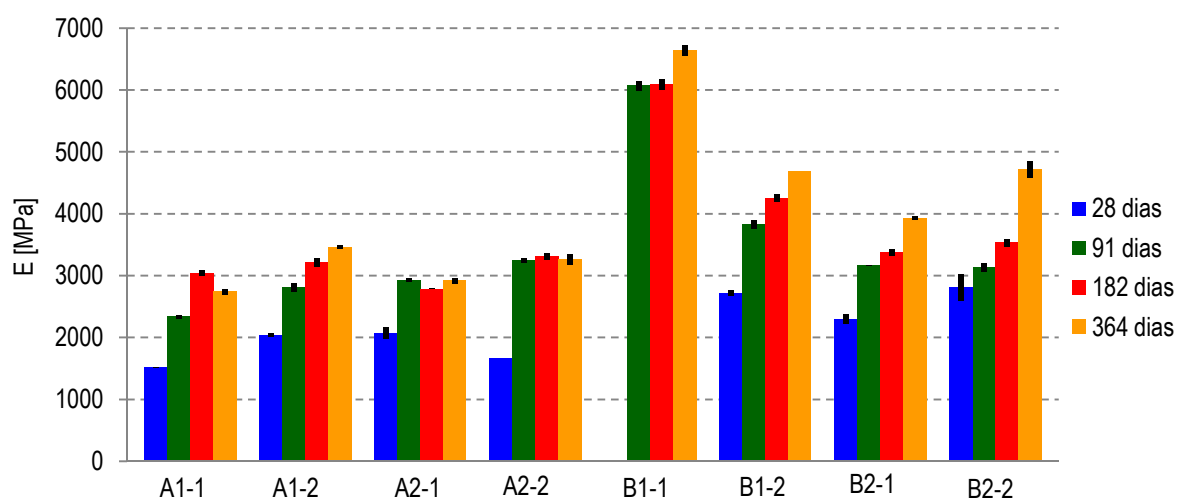


Figura 4.7– Evolução do módulo de elasticidade dinâmico ao longo do tempo

4. Apresentação e análise dos resultados

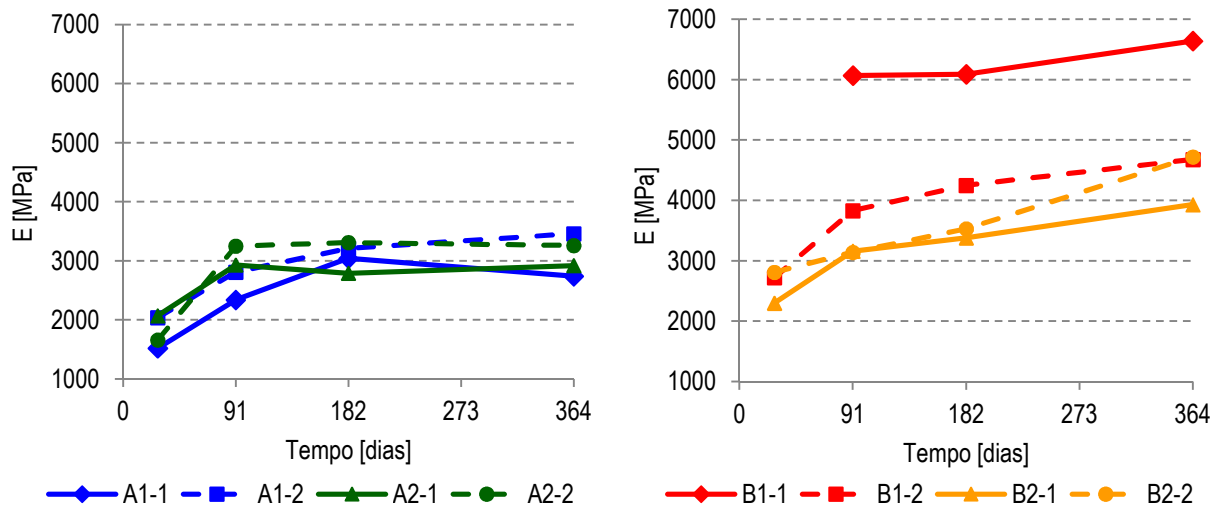


Figura 4.8 – Análise por tipo de areia da evolução do módulo de elasticidade ao longo do tempo

Analisando as argamassas pelo tipo de areia verifica-se que nem o traço nem a cura provocam variações significativas, especialmente para as com areia do rio Tejo. Relembra-se que a argamassa B1-1, neste ensaio, apresentou valores muito elevados, daí que esta análise não entre em conta com ela (Figura 4.8).

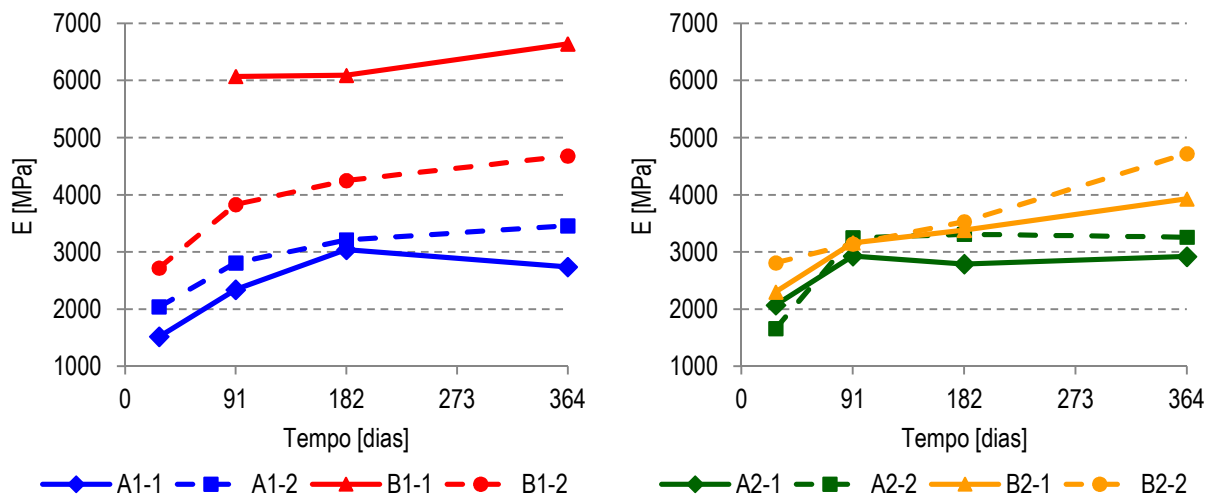


Figura 4.9 – Análise por tipo de traço da evolução do módulo de elasticidade ao longo do tempo

Focando-nos no traço, constata-se que as argamassas com areia corrigida atingem valores mais elevados que as argamassas com o mesmo tipo de cura e traço em massa – maior dosagem de ligante. Já para as areias com traço em volume as diferenças entre tipos de cura não é significativa (Figura 4.9).

4. Apresentação e análise dos resultados

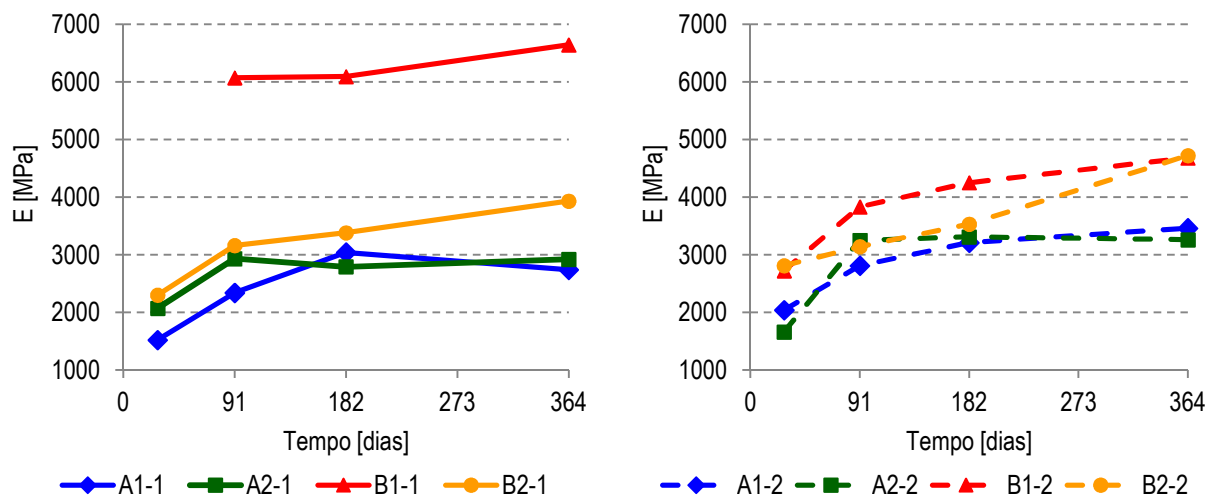


Figura 4.10 – Análise por tipo de cura da evolução do módulo de elasticidade ao longo do tempo

Quando se agrupa as argamassas pelo tipo de cura, verifica-se que as com granulometria corrigida, independentemente do tipo de traço, atingem valores mais altos (Figura 4.10).

Conclui-se, então, que, comparando o mesmo tipo de traço e o mesmo tipo de cura, as argamassas com areia com granulometria corrigida apresentam valores mais elevados, o que é explicável pela maior compactidade.

4.4.3. Resistência à tração por flexão e à compressão

A determinação da resistência à compressão e tração por flexão aparece como uma medida de durabilidade, mas também fornece indicações sobre o risco de introdução de tensões no suporte (PENAS, 2008).

As argamassas de cal aérea quando executadas e aplicadas corretamente apresentam baixa retração, elevada deformação, valores de resistência mecânica baixos, elevada porosidade e permeabilidade ao vapor de água. Apesar dos baixos valores de resistência mecânica, prevê-se que estes aumentem devido à fixação do dióxido de carbono do ar (RODRIGUES, 2004).

Quando um revestimento é aplicado sobre um suporte de baixa resistência mecânica, não deve ele próprio ser muito forte nem muito rígido, para não transmitir tensões elevadas que possam deteriorar o suporte (compatibilidade mecânica) (VEIGA, 1997).

Os ensaios foram realizados na sala condicionada onde os provetes estiveram em cura (20±2 °C e 65±5% HR).

4. Apresentação e análise dos resultados

No Quadro A.2.3 do Anexo 2 podem observar-se os valores médios resultantes dos ensaios de determinação da resistência à tração por flexão e compressão e os respectivos desvios padrão.

Tal como com o módulo de elasticidade os valores, aos 91 dias, são semelhantes aos obtidos por Veiga (VEIGA, et al., 2008) para argamassas de cal aérea com traço 1:3, com exceção para as argamassas com areia com granulometria corrigida e traço em massa (consulte-se Quadro 2.5 do capítulo 2).

Conforme se pode observar na Figura 4.11, há uma grande variação nos valores de resistência à tração por flexão, no entanto, nas argamassas com traço em massa, maior dosagem de ligante, dá-se uma subida até aos 182 dias, já nas argamassas com traço em volume acontece o inverso, os valores diminuem até aos 182 dias e aos 364 dias apresentam um aumento considerável, no caso das argamassas com cura húmida (alternância molhagem/secagem). As argamassas com traço em volume apresentam valores inferiores de resistência à tração por flexão quando comparadas com argamassas com o mesmo tipo de areia, traço em massa e o mesmo tipo de cura.

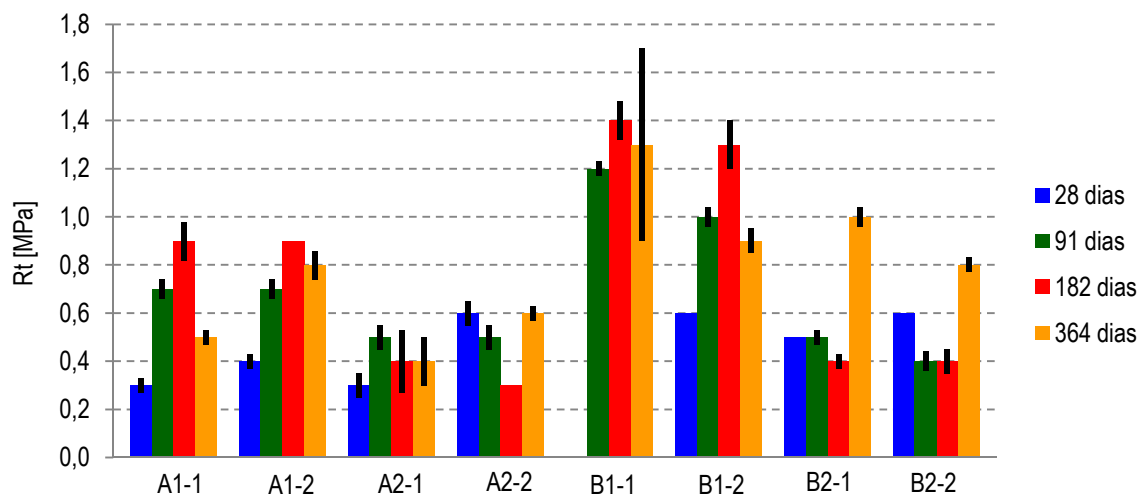


Figura 4.11– Evolução da resistência à tração por flexão ao longo do tempo

4. Apresentação e análise dos resultados

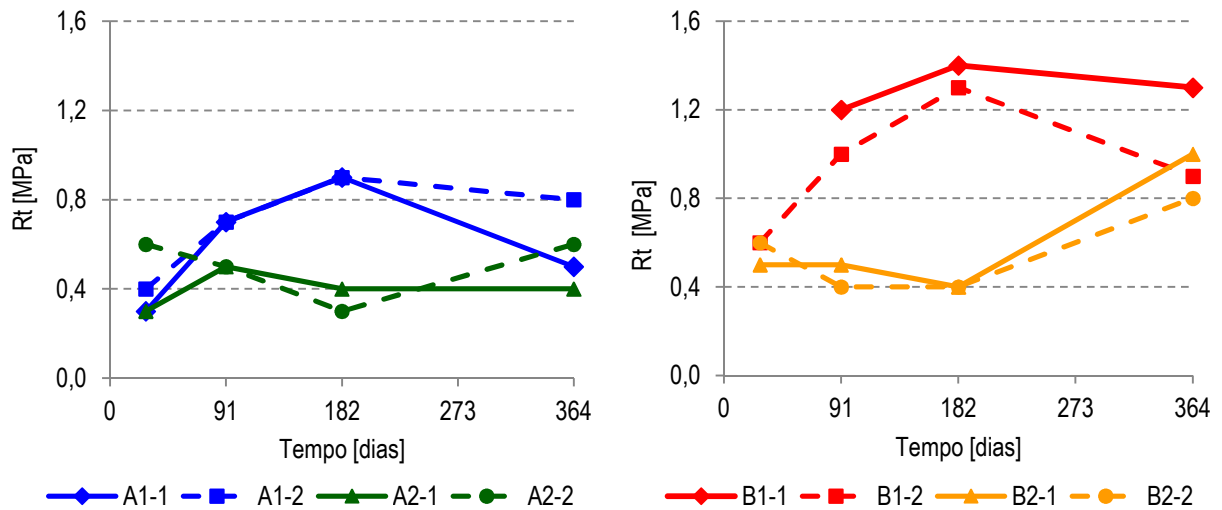


Figura 4.12 – Análise por tipo de areia da evolução da resistência à tração por flexão ao longo do tempo

As argamassas com traço em massa apresentam valores mais elevados de resistência à tração por flexão, aproximando-se das com traço em volume com o aumento da idade (Figura 4.12).

Analisando as argamassas pelo tipo de traço (Figura 4.13), verifica-se que as com areia corrigida apresentam valores mais elevados e que nas com traço em massa a resistência à tração por flexão o valor mais elevado é aos 182 dias, evidenciando uma diminuição do valor das mesmas com um ano de idade.

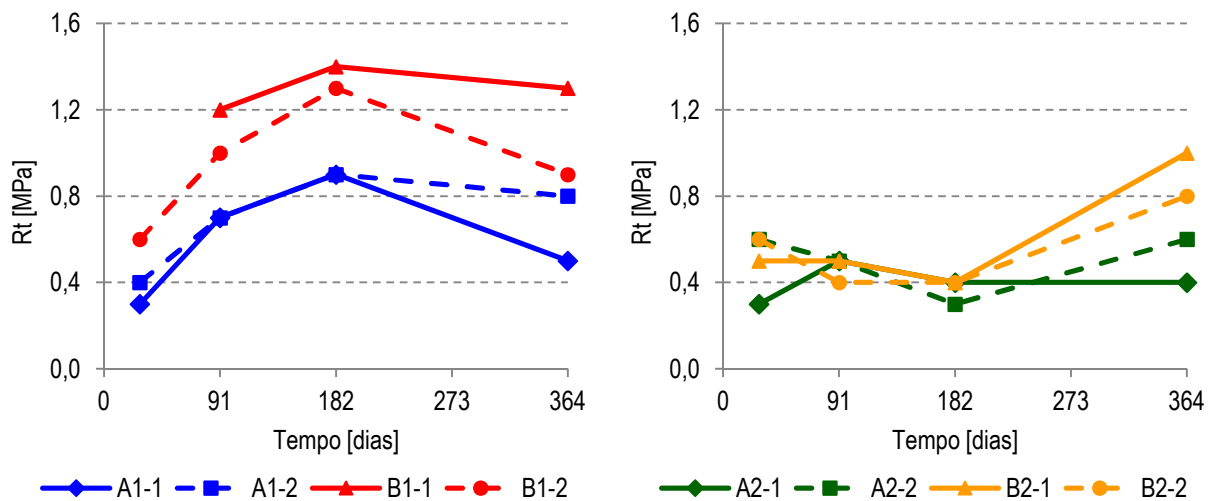


Figura 4.13 – Análise por tipo de traço da evolução da resistência à tração por flexão ao longo do tempo

Embora o comportamento ao longo do tempo das argamassas com traço em volume seja oscilante (Figura 4.13), estas atingem a sua resistência à tração por flexão máxima aos 364

4. Apresentação e análise dos resultados

dias (data limite máximo para este estudo – pretende-se com isto lembrar que os valores poderão vir a ser superiores para idades mais avançadas).

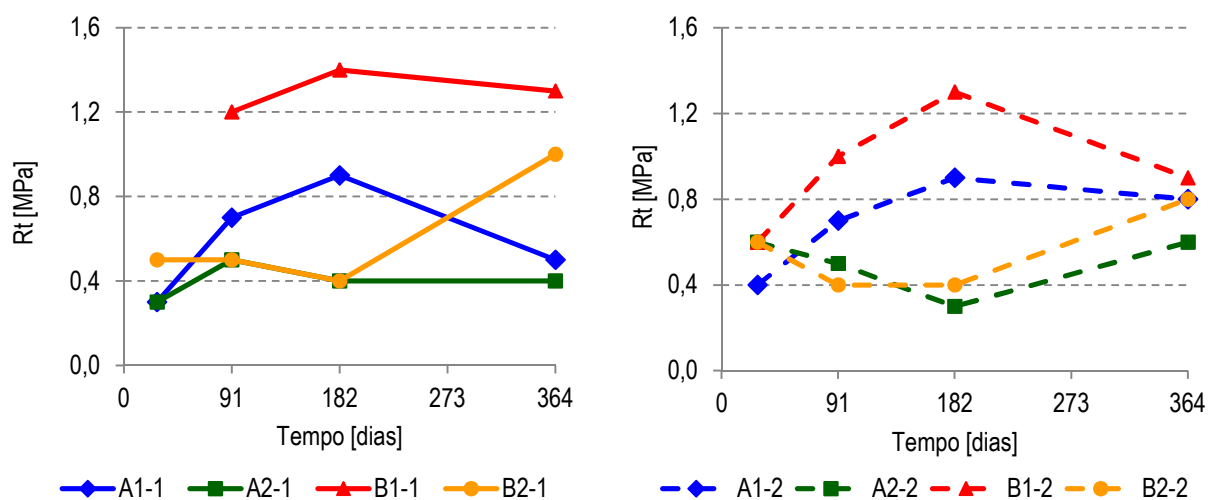


Figura 4.14 – Análise por tipo de cura da evolução da resistência à tração por flexão ao longo do tempo

Apesar de as argamassas com areia com granulometria corrigida apresentarem valores ligeiramente mais elevados que as mesmas com areia do rio Tejo parece ser o traço o fator determinante na diferença de valores de resistência à tração (Figura 4.13).

Na Figura 4.15, pode observar-se a variação da resistência à compressão ao longo do tempo, e verificar-se que até aos 182 dias esta vai aumentando e mantém valores muito próximos aos 364 dias com exceção das argamassas com cura seca que apresenta uma diminuição significativa, isto para as argamassas com areia do rio Tejo.

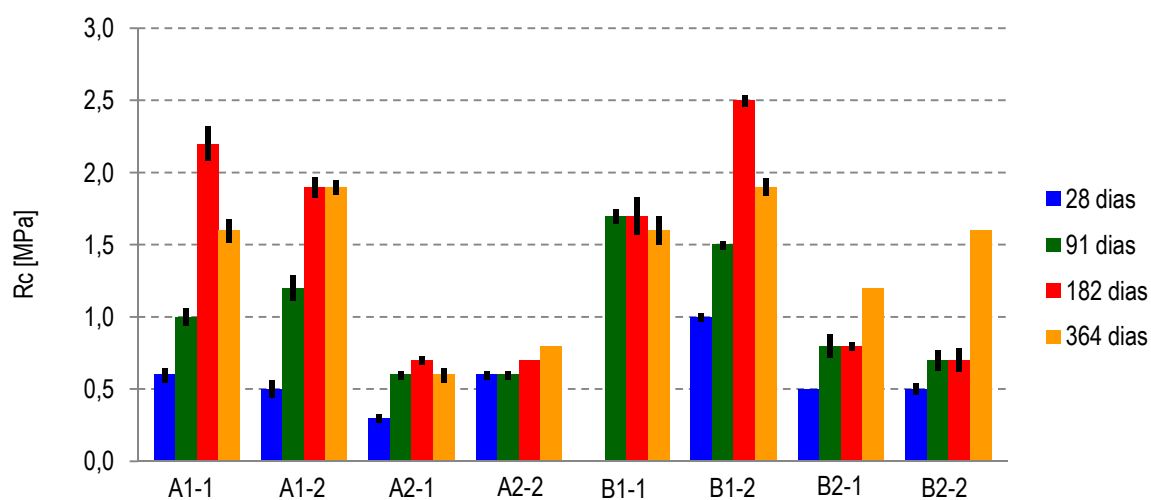


Figura 4.15 – Evolução da resistência à compressão ao longo do tempo

4. Apresentação e análise dos resultados

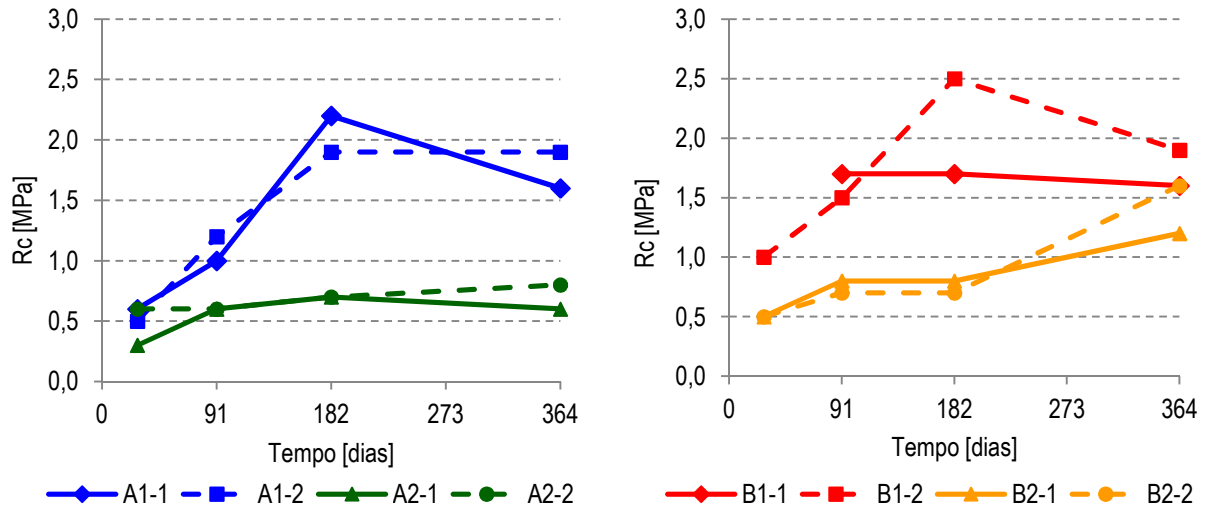


Figura 4.16 – Análise por tipo de areia da evolução da resistência à compressão ao longo do tempo

O tipo de areia parece estar associado a uma diminuição do valor da resistência no caso do traço em massa e a um aumento no caso do traço em volume (Figura 4.16), mesmo assim são as com traço em massa que apresentam valores mais elevados, o que seria de esperar uma vez que a maior dosagem de ligante leva a uma maior compactidade.

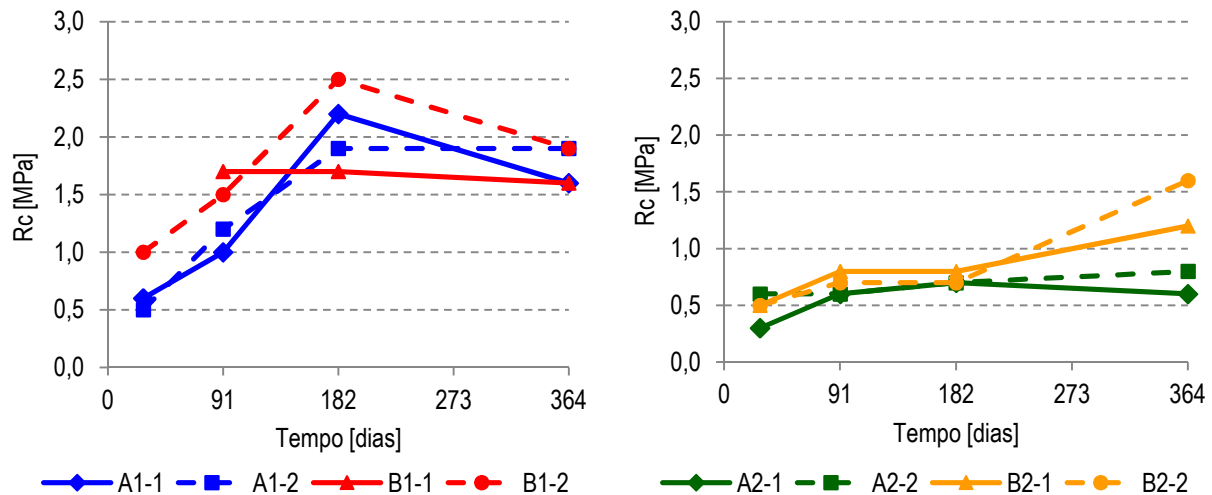


Figura 4.17 – Análise por tipo de traço da evolução da resistência à compressão ao longo do tempo

Verificou-se também que as argamassas com areia corrigida e traço em massa dão valores superiores, o que era expectável pois, além da maior dosagem de ligante já referida, a distribuição granulométrica da areia usada torna-as mais compactas (Figura 4.17).

4. Apresentação e análise dos resultados

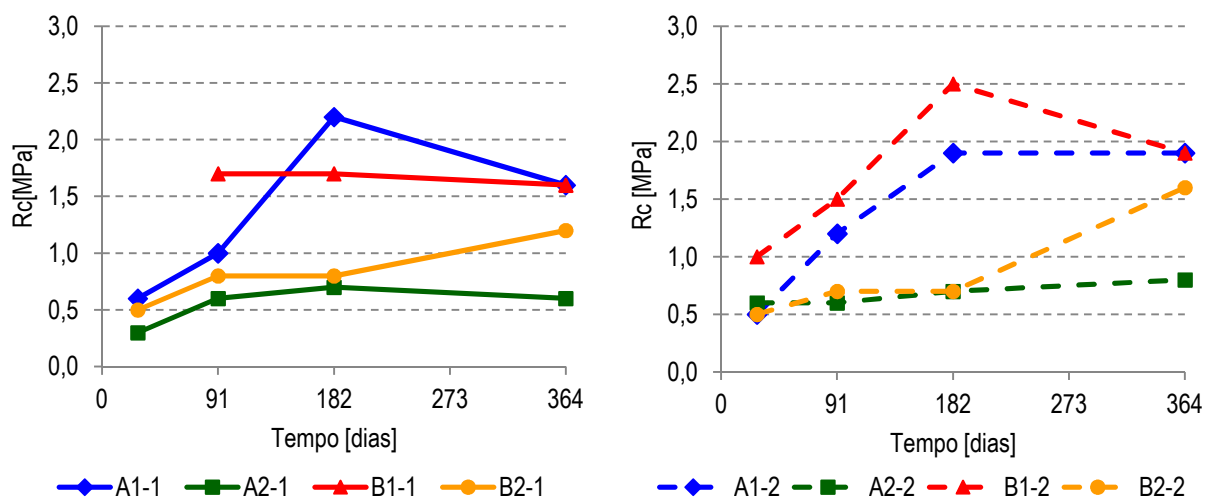


Figura 4.18 – Análise por tipo de cura da evolução da resistência à compressão ao longo do tempo

O tipo de cura apenas parece ter influência nas argamassas com traço em massa, maior dosagem de ligante.

4.4.4. Absorção capilar e secagem

A absorção de água por capilaridade é um parâmetro que permite determinar a resistência que as argamassas apresentam à penetração da água, o que se torna importante quando estas são aplicadas em paramentos exteriores. Os coeficientes médios de capilaridade das diversas argamassas dão uma ideia comparativa da sua microestrutura e do seu comportamento (MARGALHA, 2010)

O facto de a argamassa absorver uma grande quantidade de água poderá não ser muito prejudicial, desde que esta tenha a capacidade de a perder quando as condições atmosféricas assim o permitem. Com a medição da secagem ao longo do tempo pretende-se complementar a informação dos ensaios de absorção de água por capilaridade (MARGALHA, 2010).

Segundo Santiago (SANTIAGO, 2007) a estrutura porosa da argamassa influencia a sua durabilidade, pois interfere na secagem desta.

4. Apresentação e análise dos resultados

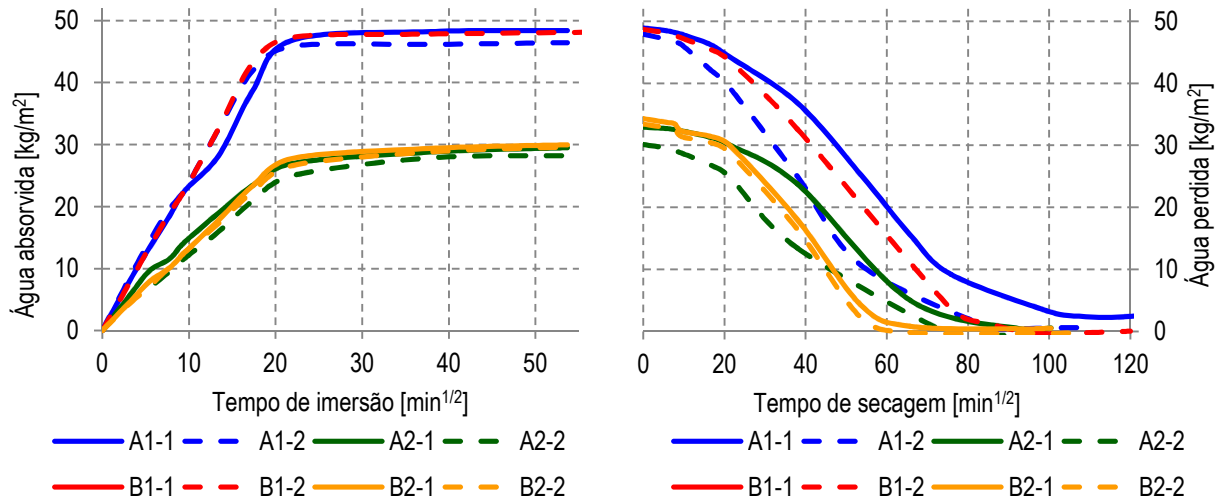


Figura 4.19 – Evolução da absorção capilar e secagem aos 28 dias

Conforme se pode observar nas Figura 4.19 a Figura 4.22, as argamassas com traço em massa absorvem maiores quantidades de água no mesmo espaço de tempo o que se vai traduzir em coeficientes de absorção capilar superiores.

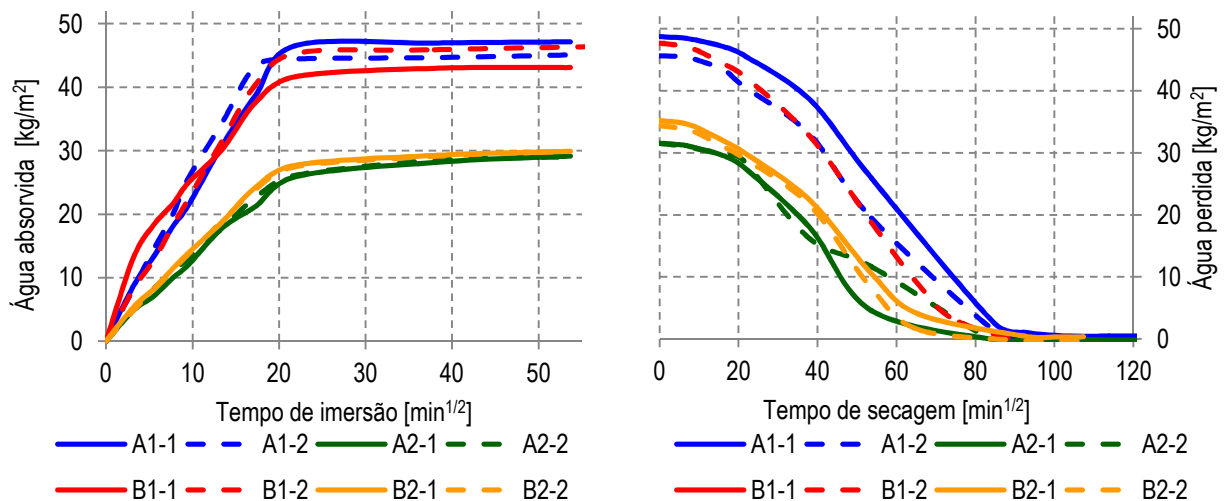


Figura 4.20 – Evolução da absorção capilar e secagem aos 91 dias

4. Apresentação e análise dos resultados

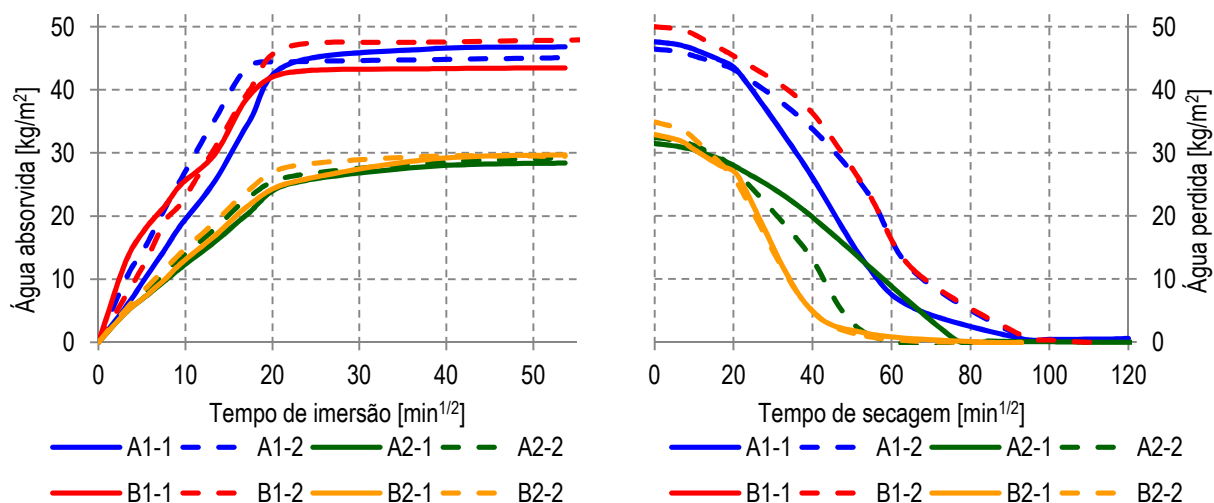


Figura 4.21 – Evolução da absorção capilar e secagem aos 182 dias

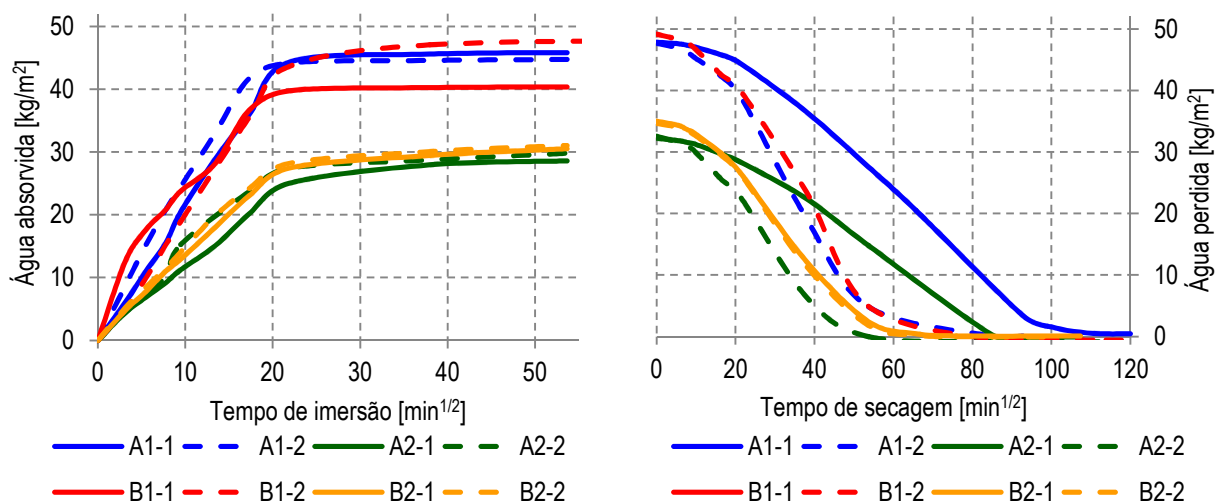


Figura 4.22 – Evolução da absorção capilar e secagem aos 364 dias

Nem a granulometria das areias, nem a cura parecem ser um fator relevante para a diferenciação da absorção capilar das argamassas, verifica-se que o seu comportamento as permite agrupar pelo tipo de traço.

Considerou-se terminada a secagem quando um provete estava seco, isto é, quando atingia um valor próximo da sua massa inicial e a variação desta era reduzida.

Neste tipo de argamassas o que nos mais importa é a capacidade que elas têm de voltar a adquirir a sua massa inicial, ou seja de perder a água absorvida, e a rapidez com que isso acontece, independentemente do ponto de partida da secagem.

As argamassas com traço em volume e areia com granulometria corrigida (B2) secam mais rápido que as outras argamassas, demoram entre três a quatro dias a atingir a massa inicial, com exceção aos 91 dias que demoram perto de seis dias.

As outras argamassas levam cerca de seis a atingirem a massa inicial, com exceção da argamassa com areia do rio Tejo, traço em volume e cura húmida (A2-2) que aos 182 e 364 dias demora perto de três dias.

A demora na secagem aos 364 dias das argamassas com areia do rio Tejo e cura seca (A1-1 e A 2-1) pode indiciar a existência de mais poros pequenos que vão dificultar a secagem, existência essa que pode explicar a diminuição das resistências na mesma idade.

É ainda possível verificar, por observação das Figura 4.19 à Figura 4.22, das Figura A.2.1 e Figura A.2.2 e do Quadro A.2.4 do Anexo 2, que às 24h (aproximadamente 40 min^{1/2}) a absorção era muito próxima da absorção máxima, isto é, a massa do provete não aumentou muito até se atingir aquela que se considerou a absorção máxima ou saturação dos provetes. Verifica-se, ainda, que as argamassas com maior absorção capilar são as com traço em massa, tanto às 24 horas como a máxima, o que pode estar relacionado com a porosidade aberta.

4.4.5. Coeficiente de absorção de água por capilaridade

A capilaridade costuma ser quantificada através do coeficiente de capilaridade, característica do material, dado pela massa de água absorvida por capilaridade num dado intervalo de tempo, por unidade de área de superfície do provete em contacto com a água, dividida pela diferença entre as raízes quadradas dos dois extremos do intervalo de tempo considerado (VEIGA, 1997).

No Quadro A.2.5 do Anexo 2, podem observar-se os valores de coeficiente de capilaridade obtidos neste ensaio. Comparando os valores aos 91 dias com os de Veiga (VEIGA, et al., 2008) para argamassas de cal aérea com traço 1:3, nota-se que apenas as argamassas com traço em volume se aproximam dos valores obtidos por esse grupo de investigadores (consulte-se Quadro 2.5 do capítulo 2).

Os poros grandes absorvem água mais rapidamente que os poros pequenos, portanto a absorção rápida (taxa 0-5 min) significa poros grandes (VEIGA, 2009).

Neste estudo não foi medida a absorção capilar aos 5 min, no entanto, observando a taxa de absorção aos 10 min (Figura 4.23) e tendo em consideração a constatação acima apresentada, pode concluir-se que as argamassas com traço em massa têm poros maiores do que as com traço em volume.

4. Apresentação e análise dos resultados

Conforme se pode observar nas Figura 4.23 e Figura 4.24, e era expectável, a taxa de absorção vai diminuindo com o passar do tempo.

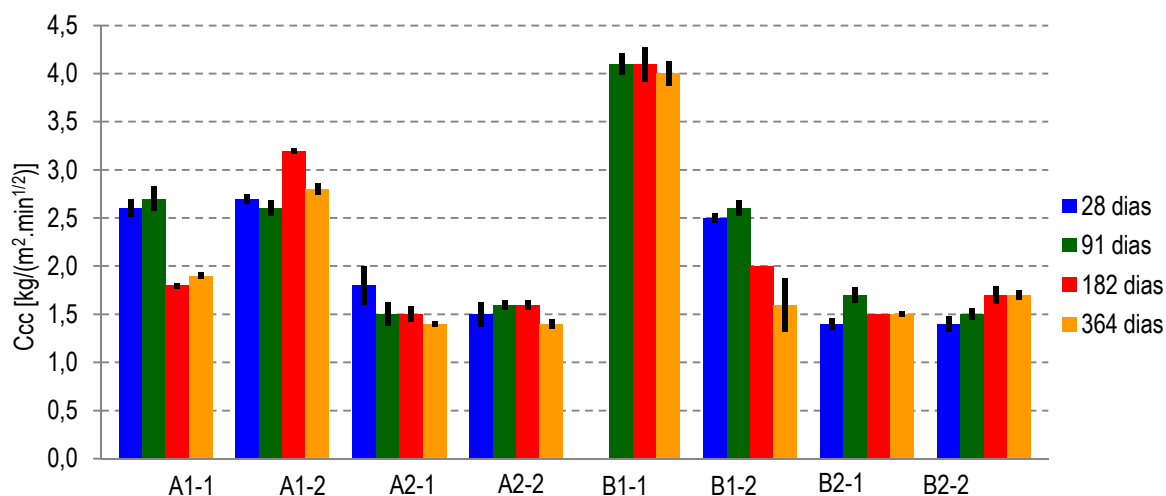


Figura 4.23 – Evolução do coeficiente de capilaridade (10 min) ao longo do tempo

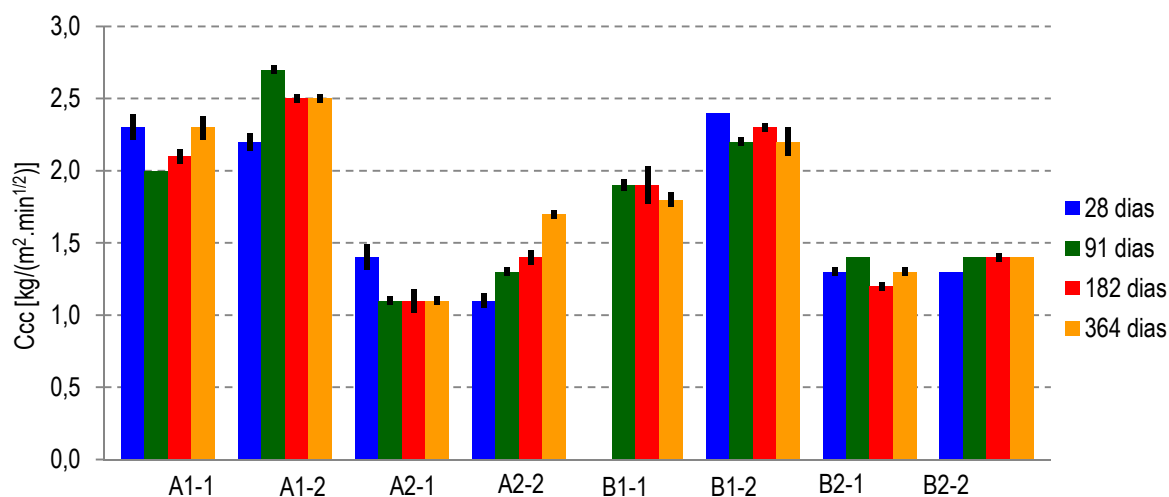


Figura 4.24 – Evolução do coeficiente de capilaridade (90-10 min) ao longo do tempo

4.4.6. Porosidade aberta

A porosidade das argamassas de cal aérea é uma propriedade determinante pois controla a absorção e o movimento da água, esta interfere na carbonatação sendo necessária a entrada do dióxido de carbono presente na atmosfera reagindo com o hidróxido de cálcio. Valores de porosidade elevados associados à presença de água originam argamassas com valores baixos de resistência mecânica (VICENTE, 2012). Veiga (VEIGA, 2009), citando Rato (RATO, 2006), refere que a maior porosidade e a maior dimensão dos poros aumentam a absorção de água total e também a taxa de absorção de água (medida pelo

4. Apresentação e análise dos resultados

coeficiente de capilaridade) das argamassas, enquanto os poros de menores dimensões originam maiores pressões e portanto maiores alturas de capilaridades ascendente.

A determinação da porosidade aberta permite saber o volume dos poros com ligação ao exterior e dos poros com comunicação com outros poros.

O ensaio foi realizado numa sala condicionada com 20 ± 2 °C e 65 ± 5 % HR.

No Quadro A.2.6 do Anexo 2, são apresentados os valores médios obtidos no ensaio de determinação de porosidade aberta e os respetivos desvios padrão.

Conforme se pode observar na Figura 4.25, as argamassas com maior dosagem de ligante são as que apresentam maior percentagem de porosidade aberta, o que vai de encontro ao que se observou na absorção capilar, pois foram estas as argamassas que apresentaram maiores taxas de absorção, e ao que Botas (BOTAS, 2009) refere, em argamassas de cal aérea, quantidades consideráveis do ligante em relação ao agregado (traços fortes) causam um aumento da porosidade devido à finura e superfície específica da cal. Dentro das argamassas com traço volumétrico, as efetuadas com areia corrigida são as que apresentaram menor percentagem de porosidade aberta, o que vai de encontro aos valores de massas volúmica (são os mais elevados).

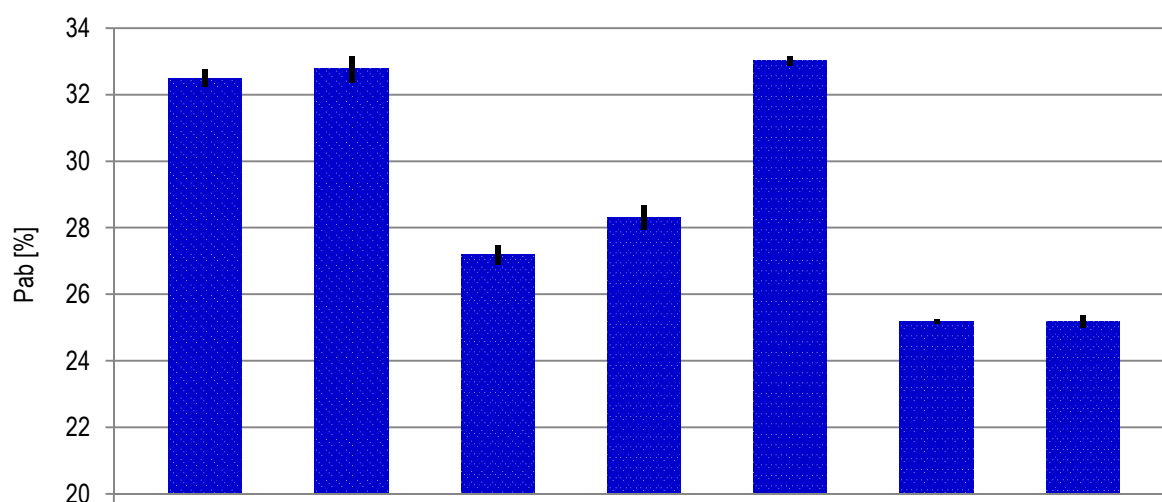


Figura 4.25 – Porosidade aberta aos 364 dias

4.4.7. Carbonatação

Rodrigues (RODRIGUES, 2004), citando Van Balen, refere que o processo de carbonatação pode ser dividido num processo de difusão de dióxido de carbono, seguido por uma reação química em que se formam cristais de carbonato de cálcio e que a deposição de cristais de

4. Apresentação e análise dos resultados

carbonato de cálcio, durante o mesmo, altera a estrutura porosa da argamassa e influencia as suas propriedades higroscópicas.

A mesma autora (RODRIGUES, 2004) afirma que a velocidade de carbonatação é afetada pelo teor em água e em cal na argamassa, temperatura, concentração de dióxido de carbono e humidade relativa ambiente; que para que esta seja otimizada cerca de 50% do volume dos poros devem estar cheios de água – os capilares mais finos ficam cheios de água e os mais largos permanecem disponíveis para a difusão do CO₂ para o interior e para a dissipação do vapor de água e, por fim, adverte que argamassas com altos teores de cal carbonatam mais lentamente por existir mais hidróxido de cálcio disponível num mesmo volume e levar mais tempo a que se transforme em carbonato.

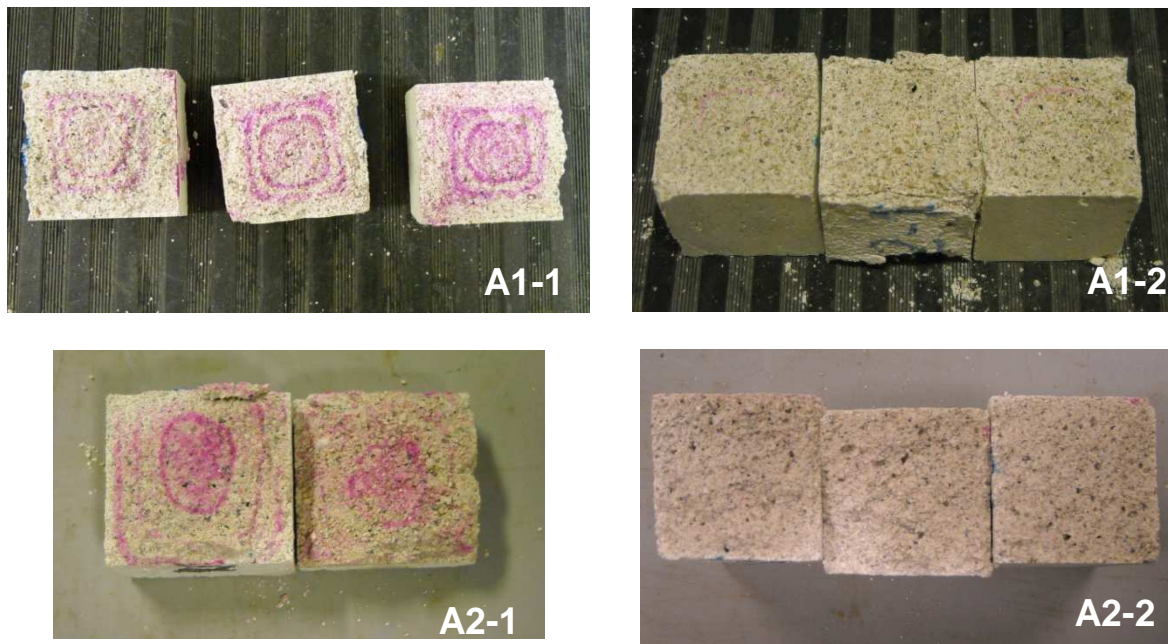


Figura 4.26 – Carbonatação das argamassas com areia do rio Tejo aos 364 dias

Lawrence et al. (LAWRENCE, et al., 2007) refere que a carbonatação altera a micro estrutura da argamassa, não só aumentando as propriedades mecânicas da mesma como afetando a sua estrutura porosa e por isso melhorando as suas características de transporte de água.

Num estudo efetuado na universidade de Bath, Lawrence et al (LAWRENCE, et al., 2007), concluíram que a porosidade aberta total da cal aérea diminui com a carbonatação.

Esta diminuição dá-se com uma alteração da estrutura porosa. A quantidade de poros com 0,1 µm de diâmetro, que não estão envolvidos no processo de carbonatação, aumenta devido à transformação em calcite, bem como a quantidade de poros menores que 0,03 µm,

4. Apresentação e análise dos resultados

por se formarem novos poros. O aumento dos poros pequenos implica a diminuição dos poros grandes, o que reduz a taxa de carbonatação.

Os mesmos autores referem ainda que para a carbonatação ocorrer é essencial a presença de água, uma vez que esta precisa que o dióxido de carbono se dissolva. O hidróxido de cálcio é acedido pelo dióxido de carbono dissolvido. A carbonatação envolve cinco estágios:

1. Difusão do dióxido de carbono gasoso através dos poros da argamassa;
2. Dissolução do dióxido de carbono na água intersticial;
3. Dissolução do hidróxido de cálcio na água intersticial;
4. Solução reação entre o hidróxido de cálcio e o dióxido de carbono;
5. Precipitação do carbonato de cálcio.

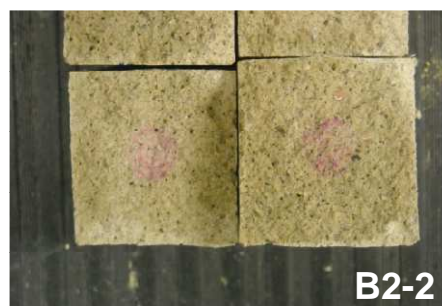


Figura 4.27 – Carbonatação das argamassas com areia com granulometria corrigida aos 364 dias

Conforme se pode observar nas Figura 4.26 e Figura 4.27, pela área de hidróxido de cálcio não carbonatado, zona a magenta, a cura teve influência na carbonatação das argamassas. Ao fim de um ano as argamassas com cura húmida já se encontravam completamente carbonatadas.

Quando comparamos duas argamassas com cura seca e areia do rio Tejo, como por exemplo a argamassa A1-1, traço em massa, e a argamassa A2-1, traço em volume, reparamos que a que tem uma maior dosagem de ligante leva mais tempo a carbonatar, ou seja, apresenta uma maior área não carbonatada, o que é justificável pelo facto de ter maior

4. Apresentação e análise dos resultados

quantidade de hidróxido de cálcio para carbonatar, no entanto, das duas, é a que tem maior percentagem de porosidade aberta.

Fazendo a comparação com duas argamassa com o mesmo traço, em volume, e a mesma cura, seca, constatamos que a com areia corrigida apresenta uma menor área de carbonatação, o que pode estar relacionado com o facto de esta (B2-1) ser mais compacta por a areia ter mais finos, logo a penetração do dióxido de carbono é dificultada.



Figura 4.28 – Carbonatação aos 91 dias nas argamassas A2-2 (esquerda) e B1-2 (direita)

A influência do aumento de teor em cal verificada aos 91 dias nas argamassas A2 e B1, areia do rio Tejo com traço em volume e areia do rio Tejo com granulometria corrigida (Figura 4.28), não se verifica ao fim de um ano.

No entanto, estudos recentes indicam que o aumento de características mecânicas para argamassas com maior teor de cal pode voltar a ser bastante visível ao fim de alguns anos (MARGALHA, 2013).

5. ANÁLISE RELACIONAL

5.1. Correlação entre as características das argamassas

A tendência para a fendilhação por retração será tanto maior quanto mais elevada for a retração e quanto maior for a relação módulo de elasticidade/resistência à tração (VEIGA, 1997). Contudo, dado que, nas argamassas tradicionais, o módulo de elasticidade e a resistência à tração são grandezas interdependentes, constata-se que as características determinantes para melhorar a resistência à fendilhação de uma argamassa de revestimento, são, essencialmente, uma retração reduzida e um módulo de elasticidade baixo (VEIGA, et al., 1994).

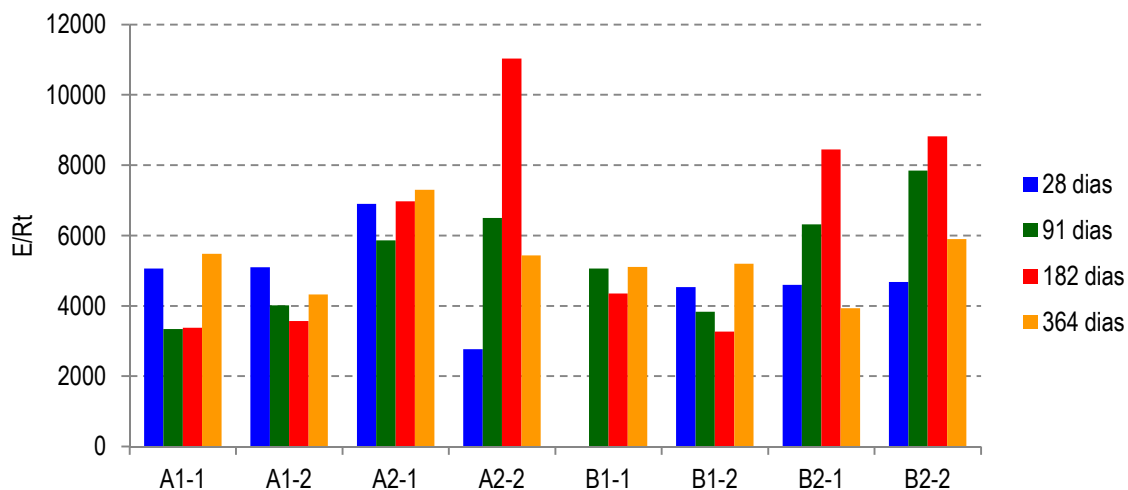


Figura 5.1 – Relação módulo de elasticidade/resistência à tração

Por observação da Figura 5.1, o tipo de traço parece ser um fator determinante para esta relação, pois para o mesmo tipo de cura e o mesmo tipo de areia as argamassas com traço em volume apresentam um valor mais elevado, o que pode permitir concluir que estas, menos ricas em ligante, têm menor resistência à tração por flexão, logo têm maior tendência para a fendilhar por terem menor resistência em relação às tensões criadas. Há ainda que ter em consideração que estas foram aquelas que para uma trabalhabilidade idêntica precisaram de mais água.

Veiga (VEIGA, et al., 1994) refere ainda que a relação resistência à tração/resistência à compressão, também é um indicador significativo, já que um valor alto traduz um comportamento mais dúctil e permite, de certo modo, otimizar a resistência às tensões de tração criadas, sem, por outro lado transmitir esforços muito elevados ao suporte.

5. Análise relacional

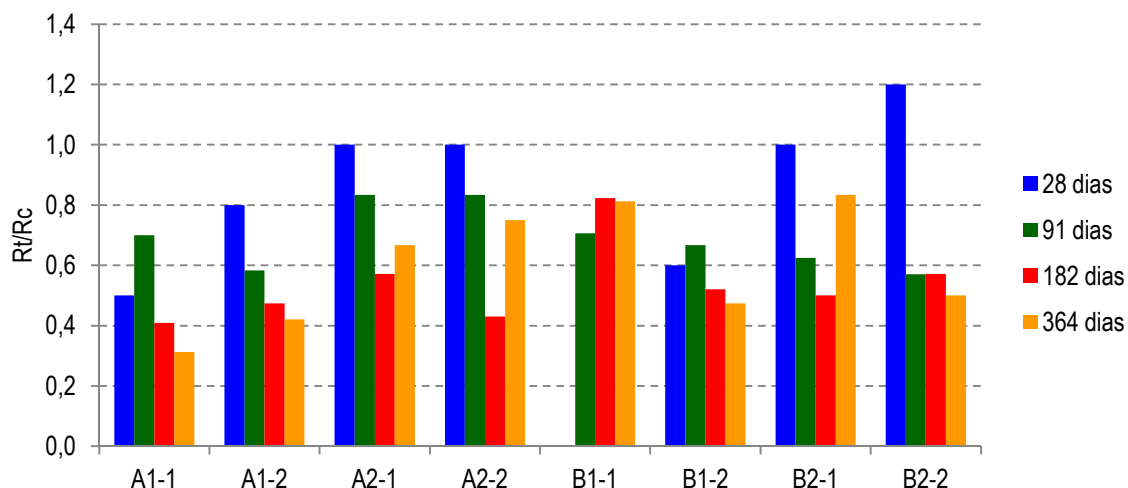


Figura 5.2 – Relação resistência à tração por flexão/resistência à compressão das argamassas ao longo do tempo

As argamassas com traço em volume parecem ser as que terão um melhor comportamento nas idades mais reduzidas, no que diz respeito à interação com o suporte, conforme se pode observar na Figura 5.2, o que vai no sentido contrário da relação módulo de elasticidade/resistência à tração.

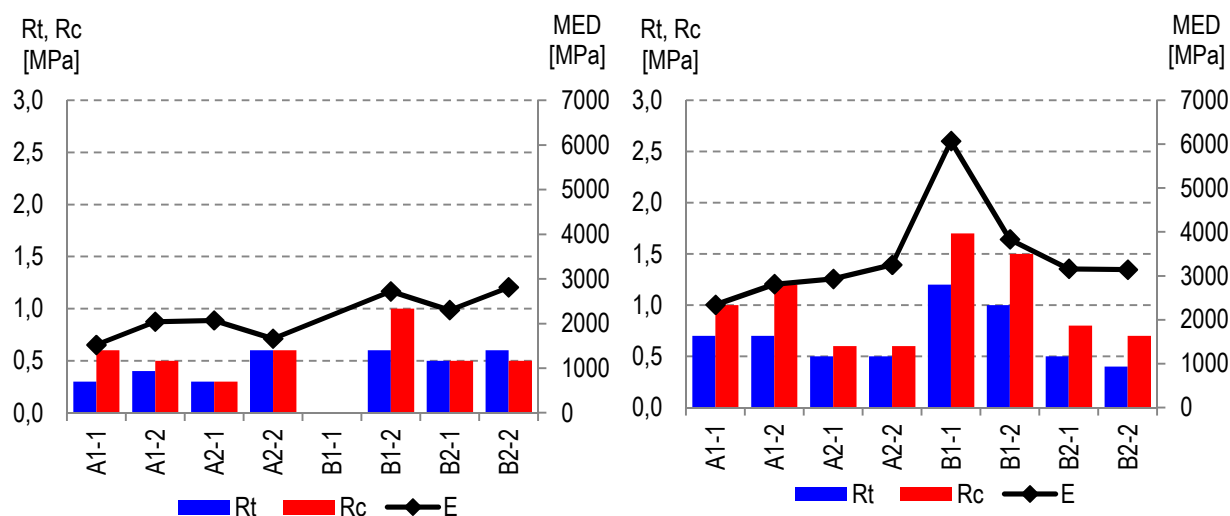


Figura 5.3 – Características mecânicas aos 28 (esquerda) e aos 91 (direita) dias

5. Análise relacional

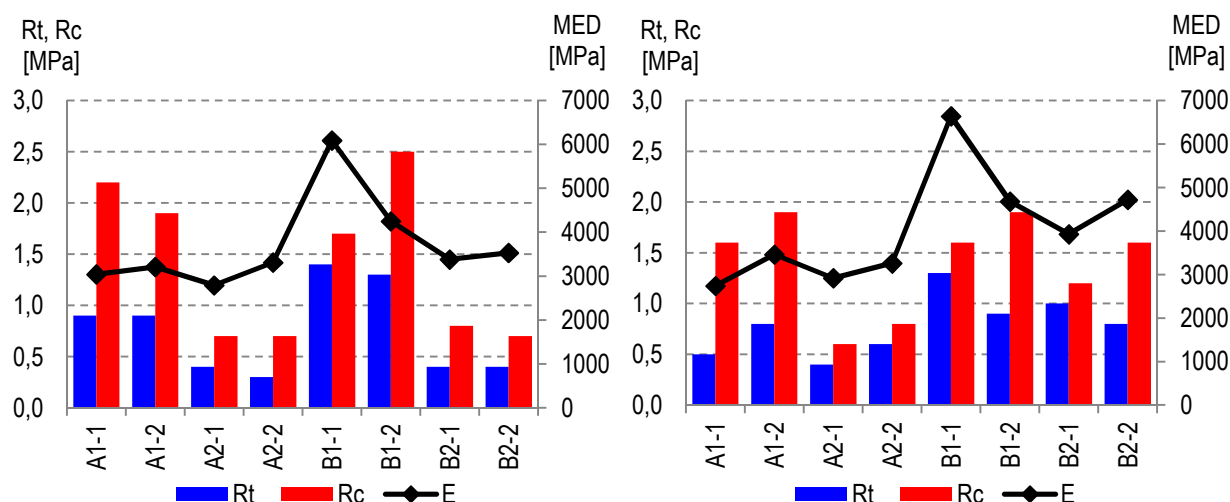


Figura 5.4 – Características mecânicas aos 182 (esquerda) e aos 364 (direita) dias

Conforme se pode observar nas Figura 5.3 e Figura 5.4, as características mecânicas das argamassas seguem todas a mesma tendência. A um aumento do módulo de elasticidade corresponde um aumento da resistência à tração por flexão e um aumento da resistência à compressão, como era expectável.

Quadro 5.1 – Percentagens dos valores máximos atingidos na caracterização mecânica

Ensaio	Idade [dias]	A1-1	A1-2	A2-1	A2-2	B1-1	B1-2	B2-1	B2-2
Mv	28	95	100	100	98	-	96	97	94
	91	97	93	99	100	99	99	99	99
	182	100	94	99	100	100	100	100	99
	364	99	95	100	99	98	100	100	100
E	28	50	59	71	50	-	58	59	60
	91	77	81	100	98	91	82	80	67
	182	100	93	95	100	91	91	86	75
	364	90	100	100	98	100	100	100	100
Rt	28	33	44	60	100	-	46	50	75
	91	78	78	100	83	86	77	50	50
	182	100	100	80	50	100	100	40	50
	364	56	89	80	100	93	69	100	100
Rc	28	27	26	43	75	-	40	42	31
	91	45	63	86	75	100	60	67	44
	182	100	100	100	88	100	100	67	44
	364	73	100	86	100	94	76	100	100

No Quadro 5.1, podemos observar que os valores máximos nem sempre foram os obtidos nas idades mais avançadas. O valor máximo de massa volúmica foi obtido, para mais de

5. Análise relacional

metade das argamassas, aos 182 dias, no entanto aos 364 esse valor encontrava-se muito próximo do máximo, acima dos 95%. Para a maioria das argamassas o valor máximo do módulo de elasticidade foi obtido aos 364 dias. O valor máximo de resistência à tração por flexão variou entre os 182 dias e os 364 dias, tal como o de resistência à compressão. A redução em alguns destes valores pode estar relacionada com micro fissuração, que embora não seja visível pode afetar muito o comportamento das argamassas, principalmente na resistência à flexão

Margalha (MARGALHA, 2013) refere que estudos por ela realizados lhe tinham permitido constatar que após uma descida nos valores das resistências aos 360, as argamassas mais ricas em ligante, estudadas em idades superiores a 5 anos tinham demonstrado uma subida significativa desses mesmos valores. Ou seja, tal como já havia sido referido atrás, é possível que as argamassas avaliadas neste estudo, em idades mais avançadas, também elas possam vir a atingir valores superiores aos registados ao fim de 1 ano.

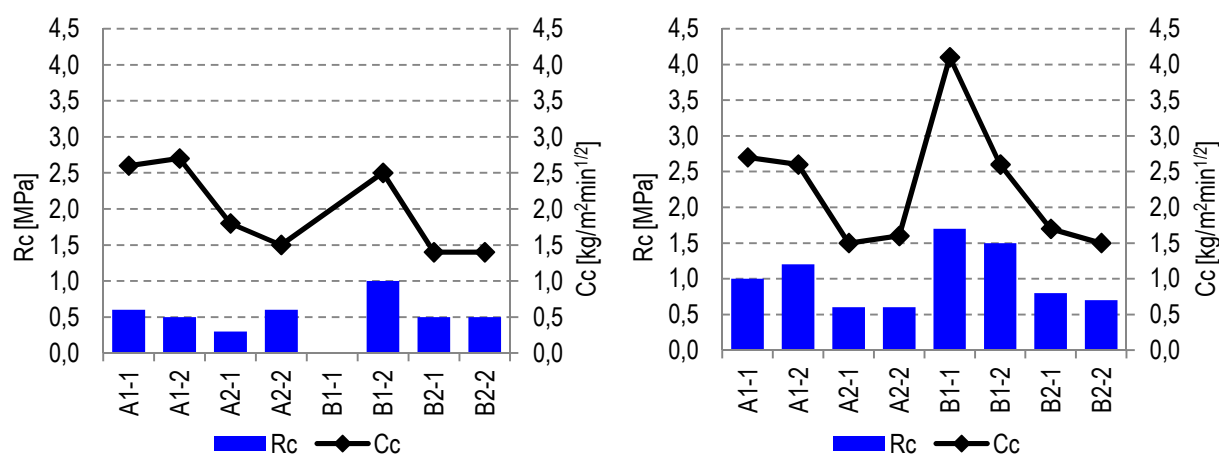


Figura 5.5 – Resistência à compressão versus Coeficiente de capilaridade (10 min) das argamassas aos 28 (esquerda) e aos 91 (direita) dias

Se pensarmos que as argamassas cujos coeficientes de capilaridade aos 10 min são as que têm maior quantidade de poros de maior dimensão, seria de esperar que essas mesmas argamassas tivessem valores de resistência baixos (inferiores aos das argamassas com Cc inferiores), no entanto, não foi o que se verificou, tal como pode ser observado nas Figura 5.5 e Figura 5.6.

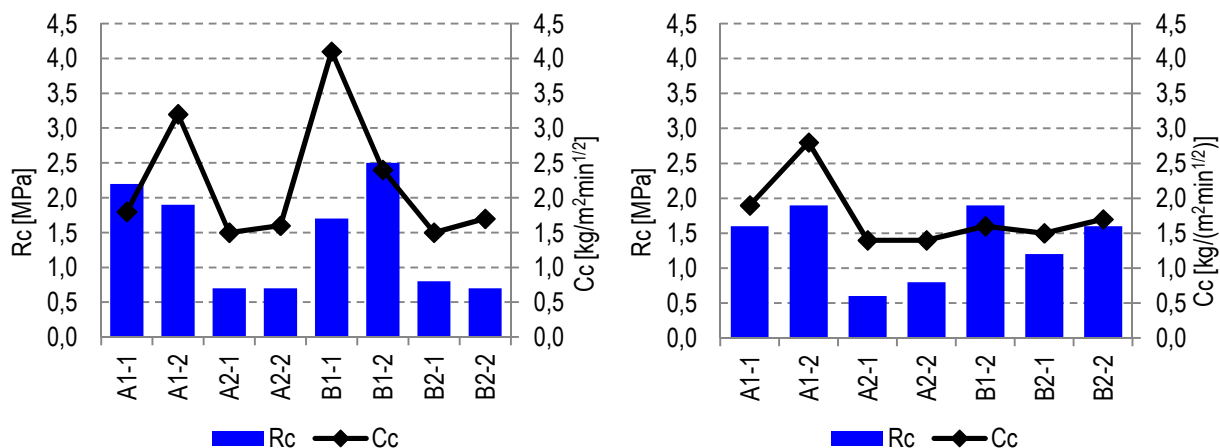


Figura 5.6 – Resistência à compressão versus Coeficiente de capilaridade (10 min) das argamassas aos 182 (esquerda) e aos 364 (direita) dias

Comparando os valores do coeficiente de absorção de água por capilaridade aos 10 min com os de porosidade aberta (Figura 5.7) verifica-se que os valores mais elevados de porosidade correspondem às maiores taxas de absorção e estes correspondem às argamassas com maior dosagem de ligante. Se nos focarmos nas argamassas com traço em volume constatamos que as com areia do rio Tejo têm maiores valores de porosidade aberta e menores taxas de absorção capilar.

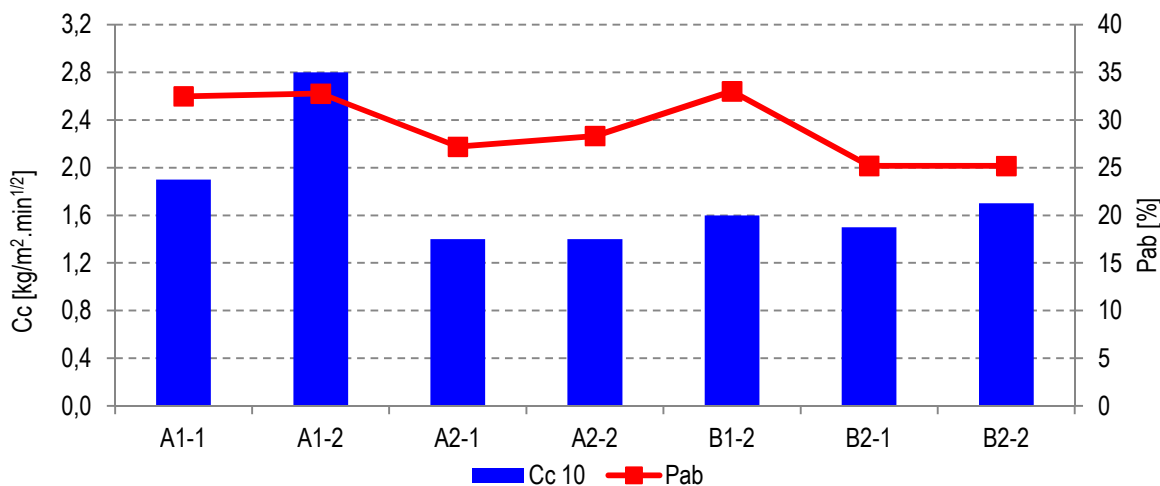


Figura 5.7 – Coeficiente de capilaridade (10 min) aos 364 dias versus Porosidade aberta das argamassas

Por observação da Figura 5.8, verifica-se que aos maiores valores de resistência à compressão correspondem os valores mais elevados de porosidade aberta, contrariamente ao que seria de esperar, pensando que a maiores valores de porosidade equivalem mais poros, logo argamassas menos resistentes. No entanto isto é explicável pelo facto destas argamassas serem também as que têm maior dosagem de ligante.

5. Análise relacional

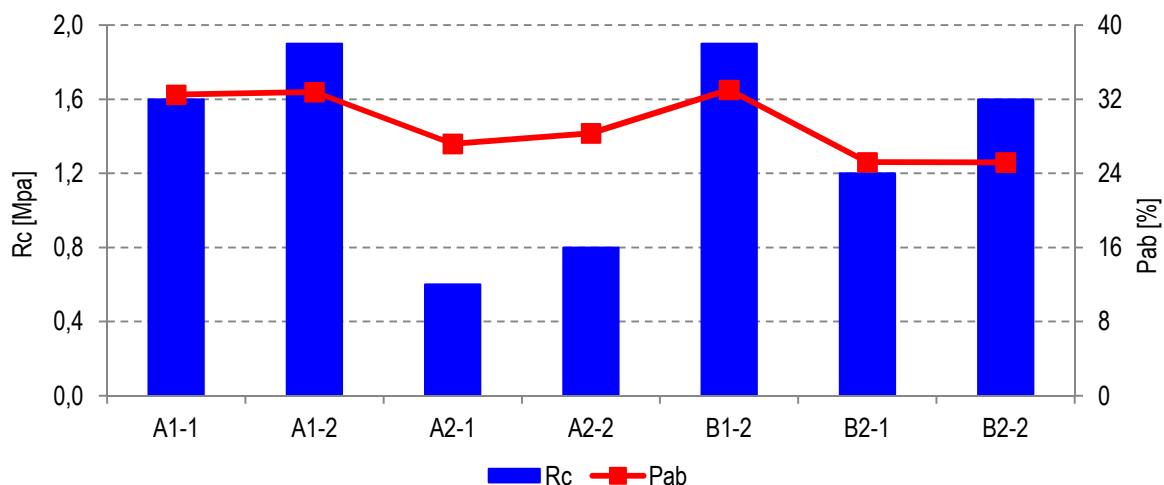


Figura 5.8 – Resistência à compressão aos 364 dias versus Porosidade aberta das argamassas

Embora para a relação da resistência à tração por flexão com a porosidade aberta não se possa afirmar que os valores mais elevados de uma correspondam aos valores mais elevados de outra, não acontece o que era espectável. A uma diminuição de porosidade corresponde uma diminuição de resistência. As argamassas com menor dosagem de ligante apresentam menores valores de resistência e de porosidade.

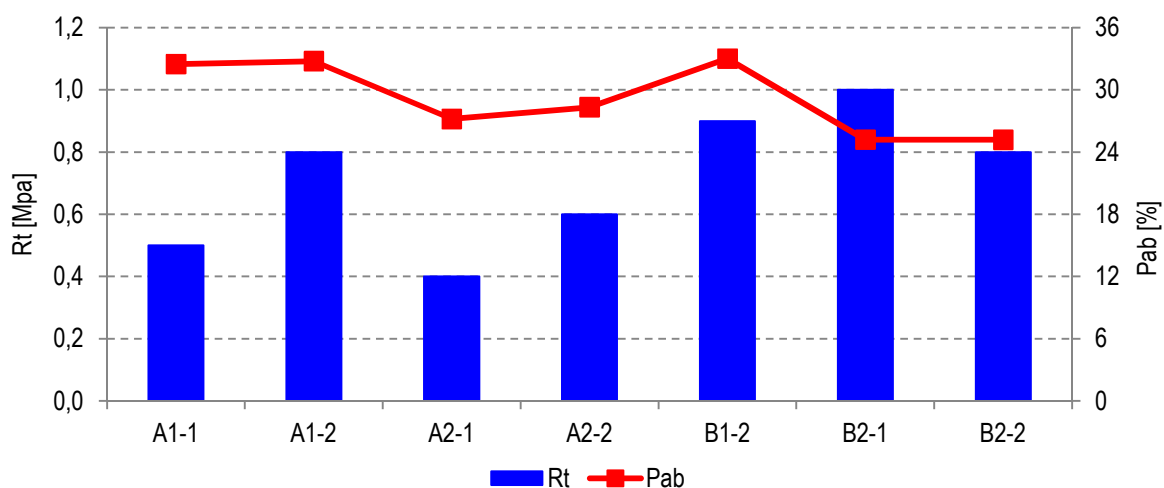


Figura 5.9 – Resistência à tração por flexão aos 364 dias versus Porosidade aberta das argamassas

5.2. Avaliação das resistências dos provetes de capilaridade

Tendo como objetivo uma maior aproximação ao que se passa com as argamassas aplicadas no exterior dos edifícios, com os provetes com que se realizaram os ensaios de

capilaridade nas várias idades, realizou-se a caracterização mecânica dos mesmos, ao fim de um ano.

Os resultados obtidos são apresentados no Quadro A.1.29 do Anexo 1 e no Quadro A.2.7 do Anexo 2.

Foi feita uma comparação dos resultados obtidos (Figura 5.10 a Figura 5.13) com estes provetes, com mais de 1 ano de idade, e os resultados obtidos aos 364 dias, 1 ano de idade.

As variações detetadas nos valores da massa volúmica não foram significativas, tanto os aumentos como as diminuições rondaram os 1%.

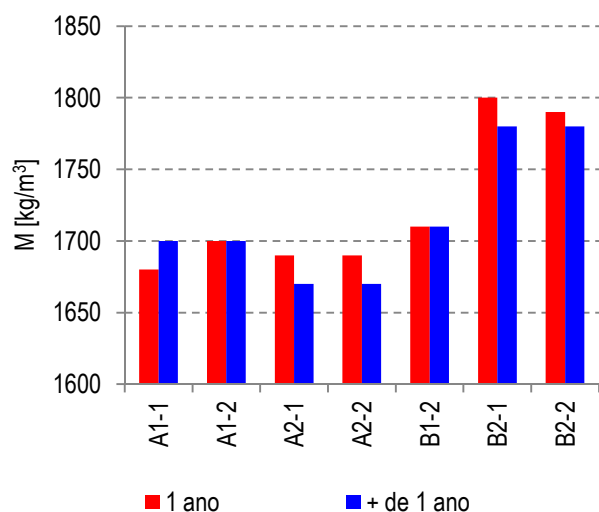


Figura 5.10 – Comparação de valores da massa volúmica

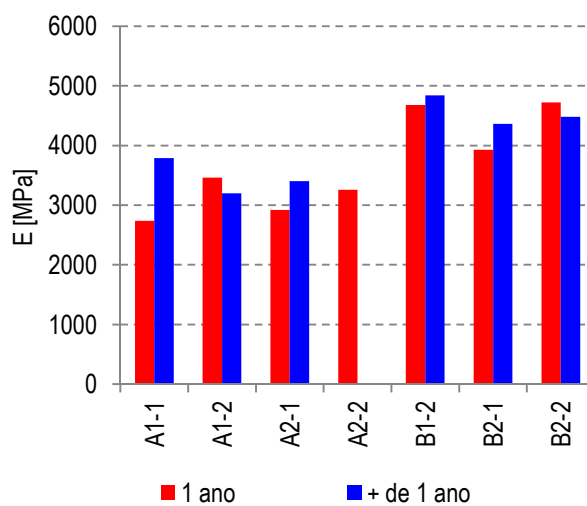


Figura 5.11 – Comparação de valores do módulo de elasticidade

Quanto ao módulo de elasticidade, os valores da argamassa com areia do rio Tejo, traço em volume e cura húmida foram muito dispares pelo que se optou não os considerar. A argamassa com cura húmida, traço em massa e areia do rio Tejo, foi a que sofreu o maior decréscimo, 8%, a seguir foi a com areia corrigida, traço em volume e cura húmida, com uma diminuição de 5%. As restantes argamassas todas mostraram incrementos, 3% para a com areia corrigida, traço em massa e cura húmida, 11% para a com areia corrigida, traço em volume e cura seca, 16% para a com areia do rio Tejo, traço em volume e cura seca e 38% para a com areia do rio Tejo, traço em massa e cura seca.

A argamassa com areia do rio Tejo, traço em massa e cura seca foi a que evidenciou um aumento de mais do dobro, 120%, dos valores de resistência à tração por flexão. Registou-se um incremento de 25% na argamassa com areia do rio Tejo, traço em volume e cura seca, na argamassa com areia corrigida, traço em massa e cura húmida, o incremento foi de

5. Análise relacional

33%, e na argamassa com areia corrigida, traço em volume e cura húmida, de 13%. Sofreu um decréscimo a argamassa com areia do rio Tejo, traço em massa e cura húmida, 13%, e a argamassa com areia corrigida, traço em volume e cura seca, 20%.

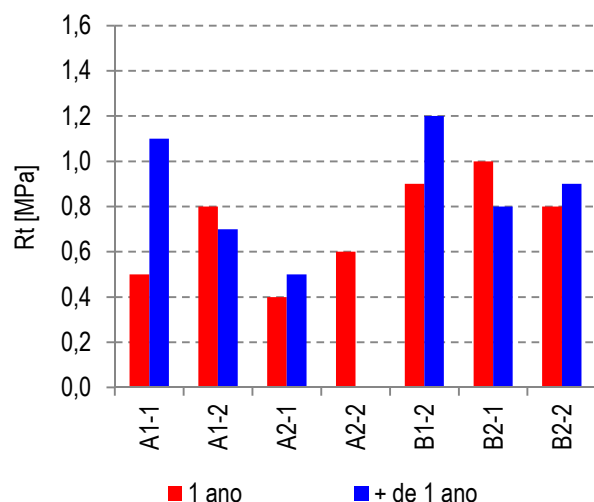


Figura 5.12 – Comparação de valores da resistência à tração por flexão

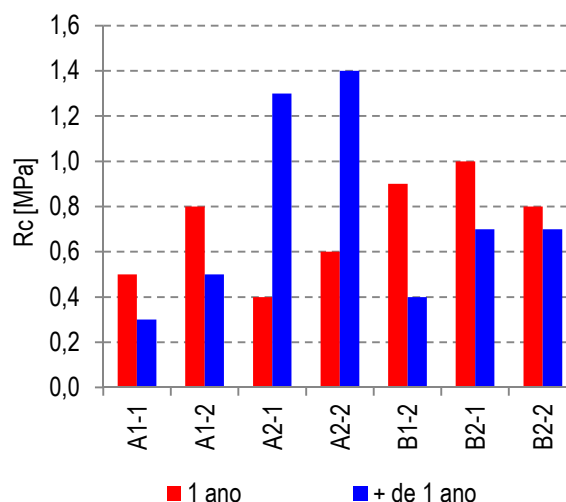


Figura 5.13 – Comparação de valores da resistência à compressão

Na resistência à compressão apenas as argamassas com areia do rio Tejo e traço em volume evidenciaram incrementos, sendo de mais do triplo para a com cura seca, 225%, e mais do dobro para a com cura húmida, 133%. As restantes argamassas todas sofreram diminuição nos seus valores, sendo que as com traço em massa foram as que apresentaram maiores diminuições, 56% para a com areia corrigida e cura húmida, 40% para a com areia do rio Tejo e cura seca e 38% para a com areia do rio Tejo e cura húmida. As argamassas com areia corrigida e traço em volume apresentaram decréscimos de 30% para a cura seca e 13% para a cura húmida.

5.3. Influência da granulometria do agregado

Analisaram-se os valores aos 364 dias e considerou-se como referência a granulometria da areia de rio Tejo.

No que diz respeito à massa volúmica aparente da argamassa endurecida, verificou-se que a correção da granulometria da areia representou um aumento de cerca de 4% para as argamassas com traço em massa e cura seca e de 1%, para as com cura húmida, um aumento de cerca de 7%, para as argamassas com traço em volume e cura seca e de 6% para as com cura húmida e o mesmo tipo de traço.

Para o módulo de elasticidade as diferenças verificadas foram bastante significativas, sendo de mais do dobro para as argamassas com traço em massa e cura seca, 142%, e para as com cura húmida verificou-se um aumento de cerca de 35%. Para as argamassas com traço em volume os aumentos foram de cerca de 35% para a cura seca e de cerca de 45 % para a cura húmida.

A resistência à tração por flexão das várias argamassas aumentou, sendo de mais do dobro para as com traço em massa e cura seca, 160%, de metade para as com traço em volume e cura seca, de 13% para as com traço em massa e cura húmida e de 33% para as com traço em volume e cura húmida.

As argamassas com traço em volume mostraram aumentos nos valores da resistência à compressão de 100% independentemente da cura. As com traços em massa mantiveram os valores.

As argamassas com traço em massa e cura seca sofreram um decréscimo nos valores de absorção capilar às 24h de 16%. As outras argamassas evidenciaram, todas, acréscimos de 5%.

Apenas as argamassas com traço em volume e cura seca apresentaram um acréscimo do valor do coeficiente absorção de água por capilaridade (90-10 min), 30%. As restantes evidenciaram reduções, sendo de cerca de 20% para as argamassas com cura húmida e de 10% para as argamassas com traço em massa e cura seca.

5.4. Influência da dosagem de ligante – traço

Analisaram-se os valores aos 364 dias e considerou-se como referência o traço em volume.

Na massa volúmica aparente da argamassa endurecida a diferença de traço representou uma diminuição de cerca de 1% nas argamassas com cura seca e areia do rio Tejo e um aumento de 1% para o mesmo tipo de areia e cura húmida, uma diminuição de cerca de 4% nas argamassas com areia com granulometria corrigida e cura húmida e de 3% para as com cura seca.

As argamassas com areia do rio Tejo e cura seca sofreram uma diminuição dos valores do módulo de elasticidade na ordem dos 6%, já as argamassas com cura húmida tiveram um aumento de cerca de 6% para as com areia do rio Tejo. As com areia corrigida e cura seca apresentaram um incremento de 70% e as com cura húmida sofrera uma diminuição de 1%.

A influência das condições de cura nas propriedades das argamassas de cal para revestimentos antigos

5. Análise relacional

A areia corrigida e cura seca ou cura húmida permitiram um aumento de cerca de 30% nos valores da resistência à tração por flexão, já as com areia do rio Tejo mostraram um incremento de 33% para as com cura húmida e de 25% para as com cura seca.

Os valores de resistência à compressão apresentaram grandes incrementos, para as argamassas com areia do rio Tejo, de 136% para as com cura húmida e de 167% para as com cura seca, já para as com areia corrigida foram de 33% para as com cura seca e de 19% para as com cura húmida.

Relativamente à absorção capilar às 24h, todas as argamassas apresentaram incrementos, sendo para as com areia do rio Tejo de 63% e 55% para as cura seca e húmida, respetivamente. Para as argamassas com areia corrigida os aumentos foram de 37% para a cura seca e 57% para a cura húmida.

O coeficiente absorção de água por capilaridade (90-10 min) das argamassas com areia do rio Tejo e cura seca aumentou para o dobro, nas argamassas com o mesmo tipo de areia mas cura húmida o incremento apresentado foi de 47%. As argamassas com areia corrigida apresentaram incrementos inferiores, 43% para a cura húmida e 38% para a cura seca.

5.5. Influência da cura

Analisaram-se os valores aos 364 dias e considerou-se como referência a cura seca.

Apenas para as argamassas com areia do rio Tejo e traço em massa se verificou aumento nos valores da massa volúmica aparente da argamassa endurecida, aproximadamente 1%, para as com traço em volume os valores mantiveram-se. Nas argamassas com areia corrigida verificou-se uma diminuição nos valores, 2% para as argamassas com traço em massa e 1% para as com traço em volume.

No que respeita o módulo de elasticidade as argamassas com areia corrigida e traço em massa sofreram uma a redução de 20% aproximadamente, já as com areia de rio Tejo e o mesmo tipo de traço apresentaram um incremento de 26%. As argamassas com areia do rio Tejo e traço em volume mostraram um aumento de 12% e as com areia corrigida e o mesmo tipo de traço apresentaram um acréscimo de 20%.

As argamassas com areia com granulometria corrigida apresentaram diminuições dos valores da resistência à tração por flexão, sendo de 31% para as com traço em massa e de

20% para as com traço em volume. As com areia do rio Tejo mostraram incrementos da ordem dos 50% para o traço em volume e de 60% para o traço em massa.

A resistência à compressão das argamassas com areia do rio Tejo mostrou incrementos de 19% para as com traço em massa e de 33% para as com traço em volume, para as com areia corrigida os incrementos foram de 19% para as com traço em massa e de 33% para as com traço em volume.

Nos valores de absorção capilar às 24h apenas as argamassas com areia do rio Tejo e traço em massa sofreram um abaixamento de 2%, as com traço em volume mostraram um aumento de 3%, próximo dos 2% alcançados pelas argamassas com areia corrigida e traço em volume, já as com areia corrigida e traço em massa evidenciaram um incremento de 17%.

As argamassas que apresentaram maior aumento nos valores de coeficiente absorção de água por capilaridade (90-10) foram as com traço em volume e areia do rio Tejo, de 70%, as com o mesmo tipo de areia mas traço em massa mostraram um incremento de 25%. As argamassas com areia corrigida tiveram um aumento de cerca de 10%, 11% para as com traço em massa e de 8% para as com traço em volume.

5.6. Desempenho como argamassas para revestimentos antigos.

Uma vez que é intenção do presente estudo contribuir para a conservação e restauro dos revestimentos do nosso país passa-se agora a uma análise comparativa dos resultados obtidos com os limites estabelecidos para argamassas de substituição para revestimentos antigos.

Não esquecendo que o ideal será sempre caracterizar os revestimentos existentes e com base nesses resultados formular uma argamassa de substituição tendo em consideração os pontos referidos em 2.3.2, uma vez que estes limites estabelecidos servem apenas para uma primeira aproximação ao que será ideal.

Da avaliação, feita com base no Quadro 5.2 e nas Figura 5.14 a Figura 5. 17, conclui-se, como seria de esperar, que todas as argamassas estudadas apresentam, de um modo geral, características adequadas para edifícios antigos, com exceção dos valores dos coeficientes de capilaridade um pouco elevados das argamassas mais ricas em ligante, principalmente nas realizadas com areia do rio Tejo, e do valor de módulo de elasticidade também ligeiramente elevado da argamassa com maior teor de ligante e areia corrigida.

5. Análise relacional

Para uma melhor avaliação do seu comportamento como argamassas de substituição deve-se realizar mais ensaios, para o seu uso num caso específico, deve também ser realizada uma avaliação do estado de conservação do suporte e do restante revestimento, bem como devem ser aferidas as características dos mesmos, quer ao nível físico, como químico, como mecânico e averiguar a eventual compatibilidade entre eles.

Quadro 5.2 – Análise da adequação das argamassas para revestimentos de edifícios antigos

Argamassa ⁷		Características mecânicas [MPa]			Comportamento à água [kg/(m ² .min ^{1/2})]
		E	Rt	Rc	Ccc 90-10
Caracterização/Avaliação	A1-1	2410	0,7	1,0	2,0
		<i>Adequado</i>	<i>No limite</i>	<i>Adequado</i>	<i>Elevado</i>
	A1-2	2810	0,7	1,2	2,7
		<i>Adequado</i>	<i>No limite</i>	<i>Adequado</i>	<i>Elevado</i>
	A2-1	2930	0,5	0,6	1,1
		<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>
	A2-2	3250	0,5	0,6	1,3
		<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>
	B1-1	6070	1,2	1,7	1,5
		<i>Elevado</i>	<i>Elevado</i>	<i>Adequado</i>	<i>No limite</i>
	B1-2	3730	1,0	1,5	2,2
		<i>Adequado</i>	<i>Elevado</i>	<i>Adequado</i>	<i>Elevado</i>
	B2-1	3210	0,5	0,8	1,4
		<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>
B2-2	3140	0,4	0,7	1,4	
	<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>	<i>Adequado</i>	

⁷ **A1-1** – areia de rio Tejo, traço em massa e cura seca; **A1-2** – areia de rio Tejo, traço em massa e cura húmida; **A2-1** – areia de rio Tejo, traço em volume e cura seca; **A2-2** – areia de rio Tejo, traço em volume e cura húmida; **B1-1** – areia de rio Tejo com granulometria pré definida, traço em massa e cura seca; **B1-2** – areia de rio Tejo com granulometria pré definida, traço em massa e cura húmida; **B2-1** – areia de rio Tejo com granulometria pré definida, traço em volume e cura seca; **B2-2** – areia de rio Tejo com granulometria pré definida, traço em volume e cura húmida.

5. Análise relacional

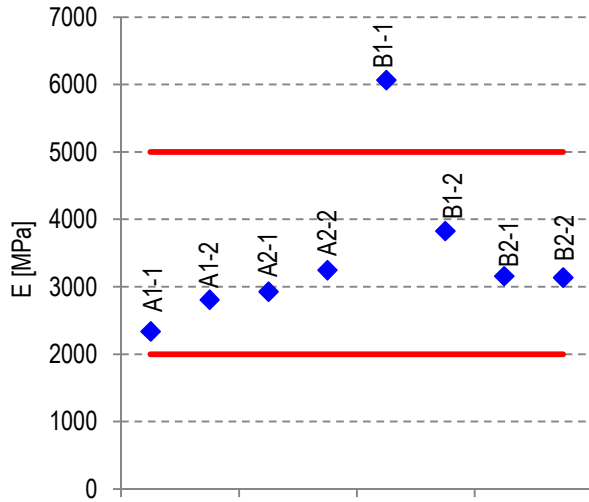


Figura 5.14 – Avaliação do Módulo de Elasticidade

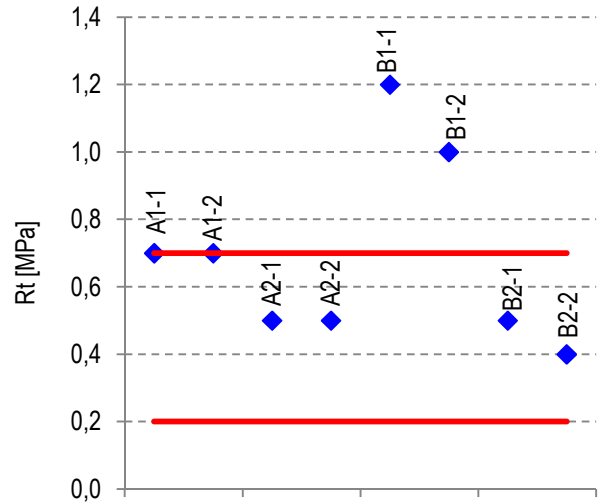


Figura 5.15 – Avaliação da Resistência à Tração por Flexão

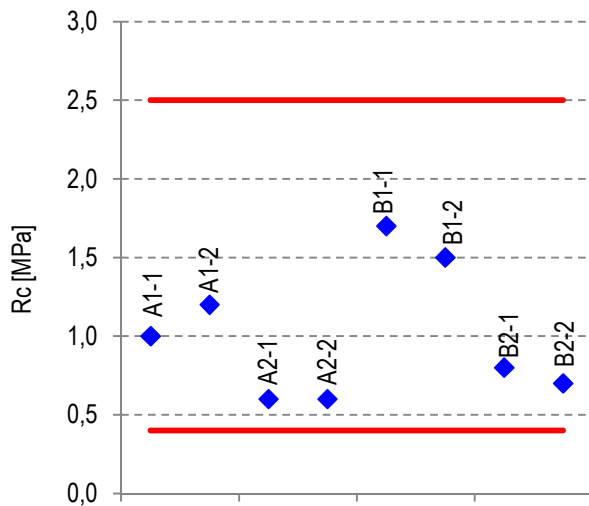


Figura 5. 16 – Avaliação da Resistência à Compressão

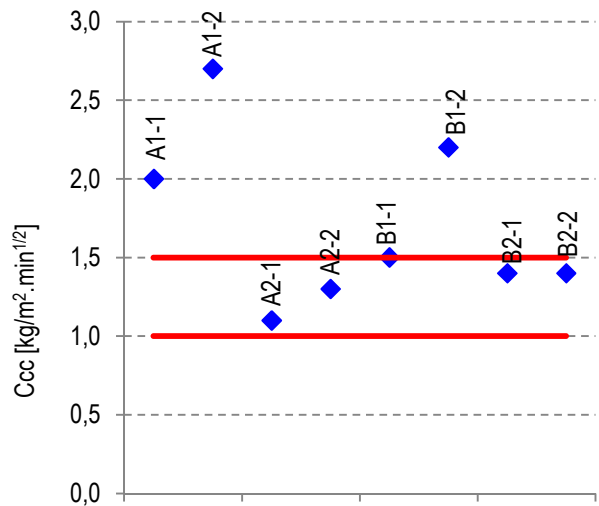


Figura 5. 17 – Avaliação do Coeficiente de Absorção Capilar

5. Análise relacional

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. Conclusões

Quanto ao comportamento das argamassas no estado fresco verificou-se que: as argamassas com traço em massa, mais ricas em ligante, necessitam de uma menor quantidade de água para se obter uma boa trabalhabilidade, independentemente do tipo de areia; as argamassas com traço em volume, menos ricas em ligante, necessitam de uma maior quantidade de água, quantidade essa, que é superior para as argamassas com areia com granulometria corrigida. Foi também verificado que para as argamassas com maior quantidade de ligante foi necessário um espalhamento superior para obter o mesmo tipo de trabalhabilidade.

A cura dos provetes não foi um processo muito fácil, pois no seu início houve algumas peripécias que levaram a que se alterassem alguns procedimentos definidos inicialmente, como o tempo dos provetes dentro dos moldes e a colocação em bancada dos provetes de cura húmida (alternância seco/molhado).

As argamassas com areia com granulometria corrigida apresentam valores mais elevados de massa volúmica, o que poderá estar relacionado com a diferença entre as massas volúmicas dos constituintes.

Quanto às características mecânicas, as argamassas com areia corrigida e traço mais rico em ligante, em massa, são as que atingem valores mais elevados.

No que diz respeito à caracterização física constatou-se que as argamassas com traço em massa absorvem maiores quantidades de água e apresentam coeficientes de absorção capilar superiores. No que se refere à porosidade aberta verificou-se que as argamassas com maior dosagem de ligante (traço em massa) são as que têm maior percentagem de poros, o que justifica a maior absorção de água.

A carbonatação das argamassas foi nitidamente influenciada pelo tipo de cura. Ao fim de um ano as argamassas com cura húmida já se encontravam completamente carbonatadas.

Da correlação entre as características das argamassas, efetuada na análise relacional, conclui-se que:

6. Conclusões e desenvolvimentos futuros

- as argamassas com traço em volume são as que terão um melhor comportamento nas idades mais reduzidas, no que diz respeito à interação com o suporte;
- as características mecânicas das argamassas seguem todas a mesma tendência (a um aumento do módulo de elasticidade corresponde um aumento da resistência à tração por flexão e um aumento da resistência à compressão);
- os valores máximos das características mecânicas nem sempre são os obtidos ao fim de um ano;
- ao contrário do que seria de esperar, as argamassas que apresentam maiores coeficientes de capilaridade nos primeiros minutos não são as que apresentam resistências mais baixas, obtidas pelas argamassas com menor teor em ligante;
- as variações de valores obtidos dos ensaios realizados aos provetes provenientes do ensaio de capilaridade não apresentam uma tendência, com exceção da argamassa com areia do rio Tejo, traço em volume e cura seca que apresenta incrementos nos valores das resistências.

Quando se analisam os valores das características das argamassas ao fim de 1 ano verifica-se que:

1. Alterar a granulometria da areia, leva ao aumento dos valores de quase todas as características das argamassas, exceto para as características físicas de algumas argamassas, traço em volume e traço em massa e cura húmida;
2. Quando se altera o tipo de traço, apenas para a argamassa com areia do rio Tejo e cura húmida os valores de todas as características aumentam, e os valores de massa volúmica diminuem nas restantes;
3. Alterar o tipo de cura, permite incrementar os valores das características das argamassas com areia do rio Tejo, exceto para a absorção capilar às 24h da argamassa com traço em massa. As argamassas com areia corrigida apresentam os valores de massa volúmica e resistência à tração por flexão reduzidos e os restantes aumentados, exceção para a com traço em massa cujo valor de módulo de elasticidade também diminui.

Quanto ao desempenho enquanto argamassas de substituição, verificou-se que todas as argamassas estudadas apresentam, de um modo geral, características adequadas para edifícios antigos, com exceção dos valores dos coeficientes de capilaridade um pouco elevados das argamassas mais ricas em ligante, principalmente nas realizadas com areia do rio Tejo, e do valor de módulo de elasticidade também ligeiramente elevado da argamassa com maior teor de ligante e areia corrigida.

6.2. Desenvolvimentos futuros

Os resultados obtidos por vezes apontam em direções opostas, por isso considera-se importante:

- Conhecer melhor a estrutura porosa, utilizando porosimetria de mercúrio. Com efeito, em determinadas situações, é-se levado a acreditar na existência de poros grandes, embora noutras pareça ser predominante a existência de micróporos;
- Seria interessante, também, determinar as características estruturais e geométricas das estruturas cristalinas e produtos de alteração presentes nas amostras o que pode ser obtido através de análise mineralógica por difractometria de raios X, análise termogravimétrica e térmica diferencial.

Estes dois pontos poderão vir a ser ultrapassados com ensaios a realizar, posteriormente, nos restos de provetes do ensaio de determinação de resistência à compressão que foram guardados no âmbito do presente estudo.

Refere-se ainda como interessante de realizar:

- Variações da cura de forma a simular melhor o ambiente de obra e não ser tão agressivo, vindo a estar seco uma boa percentagem do tempo, em oposição ao que se estudou;
- O acompanhamento destes estudos durante mais tempo. Propõe-se a realização de provetes para a possibilidade de realizar ensaios em idades superiores a 5 anos, de preferência todo o conjunto de ensaios realizado em idades mais jovens.

6. Conclusões e desenvolvimentos futuros

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES C., SANTOS SILVA A. e VEIGA R. Role of aggregates in durability of air lime mortars: influence of curing conditions. - Glasgow, Scotland: 3rd Historic Mortars Conference.

BORGES C., VEIGA R. e SANTOS SILVA A. Ancient Mortars under action of Marine Environment: a Physico-Chimical Characterization. - Praga, Republica Checa : [s.n.], 2010. - pp. 29-41.

BOTAS S. Avaliação do comportamento de argamassas em climas frios - Dissertação apresentada para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Reabilitação de Edifícios - Lisboa : UNL-FCT, 2009.

CAVACO L. Técnicas de aplicação de argamassas de revestimento em edifícios antigos. Influência no desempenho - Tese de Mestrado pelo Instituto Superior Técnico - Lisboa : IST, 2005.

CEN Methods of test for mortar for masonry - Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis) - Brussels : European Committee for Standardization, 1998. - EN 1015-1.

CEN Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar - Brussels : European Committee for standardization, 1999. - EN 1015-11.

CEN Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar - Brussels : European Committee for Standardization, 2002. - EN 1015-18.

CEN Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars - Brussels : European Committee for Standardization, 1998. - EN 1015-2.

CEN Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table) - Brussels : European Committee for Standardization, 1999. - EN 1015-3.

7. Referências bibliográficas

CEN Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar - Brussels : European Committee for Standardization, 1998. - EN 1015-6.

COSTA F. P. Enciclopédia prática da construção civil - Lisboa : Portugália Editora, 1955. - Caderno 13.

CSTB Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation - Paris : Centre Scientifique et Technique du Batiment, 1993. - cahier 2669-4.

GAMEIRO A.; SANTOS SILVA, A.; FARIA, P.; GRILO, J.; BRANCO, T.; VEIGA, R.; VELOSA, A. Physical and chemical assessment of lime-metakaolin mortars: Influence of binder:aggregate ratio - Cement and Concrete Composites. - 2013. - pp. 264-271.

HUGHES J. The role of mortar in masonry: an introduction to requirements for the design of repair mortars - RILEM TC 203 - RHM Final workshop. - Prague : [s.n.], 2010. - pp. 1287-1294.

ICOMOS International Charter for the Conservation and Restauration of Monuments and Sites - Venice Charter 1964 - IInd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments. - Venice : ICOMOS, 1964.

IPQ Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta. - Lisboa : IPQ, 2008. - NP EN 1936.

IPQ Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo (através da medição da frequência de ressonância fundamental). - Lisboa : IPQ, 2006. - NP EN 14146.

LANAS J. e ALVAREZ J. I. Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior - Cement and Concrete Research. - [s.l.] : Elsevier Ltd, 2003. - pp. 1867-1876.

LAWRENCE R. M.; MAYS, T. J.; RIGBY, S. P.; WALKER, P.; D'AYALA, D. Effects of carbonation on the pore structure of non-hydraulic lime mortars - Cement and concrete research. - [s.l.] : Elsevier, 2007. - pp. 1059-1069.

MAGALHÃES A. C. e VEIGA M. R. Avaliação da resistência de amostras de argamassas históricas recolhidas em obra - Metodologia e correlação de resultados - Lisboa : LNEC, 2006 - Relatório

7. Referências bibliográficas

MAGALHÃES A. C., SANTOS SILVA A. e VEIGA M. R. Argamassas Antigas. Produtos resultantes de reações químicas ao longo do tempo - IX Seminário Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (IX SBTA). - Belo Horizonte (Brasil) : [s.n.], 2011.

MARGALHA M. G. ; BEIRÃO, T.; BASTOS, A.; SANTOS SILVA, A. Castelo de Paderne - Projeto de consolidação e recuperação - Caderno de Edifícios nº 2 - Revestimentos de paredes em edifícios antigos. - Lisboa : LNEC, 2002.

MARGALHA M. G. Comunicação apresentada no Seminário Limecontech. - Lisboa : [s.n.], 2013.

MARGALHA M. G. Ligantes aéreos minerais. Processos de extinção e o factor tempo na sua qualidade - Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil - Lisboa : IST, 2010.

PENAS F. Argamassas de cal hidráulica para revestimento de paredes - Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil - Lisboa : IST, 2008.

RATO V. Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas - Tese apresentada para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil na Especialidade do Património Edificado - Lisboa : UNL-FCT, 2006.

RILEM CPC-18 Measurement of hardened concrete carbonatation depth - Materials and structures. - [s.l.] : Materials and structures, 1988.

RODRIGUES M. P. Argamassas de revestimento para alvenarias antigas - Contribuição para o estudo da influência dos ligantes - Tese apresentada para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil na especialidade de Reabilitação do Património Edificado pela UNL, FCT - Lisboa : Universidade Nova de Lisboa, 2004.

RODRIGUES M. P. Estudo comparativo de diferentes argamassas tradicionais de cal aérea e areia - PATORREB. - Porto : PATORREB, 2003.

ROJAS I. G. Artes de la cal - Alcala : Instituto Español de Arquitectura, 2002.

SANTIAGO C. Argamassas tradicionais de cal - Salvador - Bahia : EDUFBA, 2007.

SANTOS A. R. e VEIGA M. R. Argamassas compatíveis para edifícios antigos - Jornadas LNEC - Engenharia para a sociedade. Investigação e inovação. Cidades em desenvolvimento. - Lisboa : LNEC, 2012.

7. Referências bibliográficas

SANTOS SILVA A. Caracterização de argamassas antigas - casos paradigmáticos - Caderno de Edifícios nº 2 - Revestimentos de paredes em edifícios antigos. - Lisboa : LNEC, 2002.

SOUSA COUTINHO A. Fabrico e propriedades do betão - Lisboa : LNEC, 1988. - Vol. I.

VAN HEES R. Repair mortars for historic masonry. From problem to intervention: a decision process - RILEM TC 203-RHM Final workshop. - Prague : [s.n.], 2010.- pp. 1337-1342.

VEIGA M. R. ; AGUIAR, J.; SANTOS SILVA, A.; CARVALHO, F. Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos - Lisboa : LNEC, 2004. - Vol. CED 9.

VEIGA M. R. ; FRAGATA, A.; VELOSA, A. L.; MAGALHÃES, A. C.; MARGALHA, M. G. Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings - International Journal of Architectural Heritage. - [s.l.] : Taylor & Francis Group, LLC, 2010. - pp. 177-195.

VEIGA M. R.; FRAGATA, A.; VELOSA, A.; MAGALHÃES, A. Substitution mortars for application in historical buildings exposed to sea environment. Analysis of the viability of several types of compositions. - 1st International Conference: "Construction Heritage in Coastal and Marine Environments". - Lisboa : [s.n.], 2008.

VEIGA M. R. Comportamento de argamassas de revestimento de paredes - Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação- Tese de Doutoramento pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Lisboa : LNEC, 1997.

VEIGA M. R. Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigencias gerais e requisitos específicos para edifícios antigos - Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos. - Lisboa : LNEC, 2005.

VEIGA M. R. Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos - Métodos e materiais - Lisboa : LNEC, 2009.

VEIGA M. R. e CARVALHO F. Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar - Caderno de Edifícios nº 2 - Revestimentos de paredes em edifícios antigos. - Lisboa : LNEC, 2002.

7. Referências bibliográficas

VEIGA M. R. e CARVALHO F. R. Argamassas de revestimento na reabilitação do património urbano - 2º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios . - Lisboa : LNEC, 1994.

VEIGA M. R. Estratégias de intervenção em revestimentos históricos - Encontro Nacional de Conservação e Reabilitação de Estruturas - REPAR 2010. - Lisboa : LNEC, 2010.

VEIGA M. R. Os revestimentos antigos e a identidade dos edifícios - Arquitectura Ibérica. - Lisboa : Caleidoscópico, 2006. - Reabilitação : Vol. nº 12.

VEIGA M. Rosário Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos - métodos e materiais - Lisboa : LNEC, 2009. - Vol. TPI 58.

VELOSA A. Argamassas de cal com pozolanas para revestimentos de paredes antigas - Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil - Aveiro : Universidade de Aveiro, 2006.

VICENTE A. Caracterização de revestimentos sujeitos à ação da água e sais -Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil - Lisboa : ISEL, 2012.

7. Referências bibliográficas

ANEXO 1 – VALORES INDIVIDUAIS

Quadro A.1.1 – Análise granulométrica da areia

Malha do peneiro [mm]	Areia do Rio Tejo		Areia do Rio Tejo com granulometria corrigida	
	% do material retido	% do material que passa	% teórica do material retido	% teórica do material que passa
5	0,51	99,49	0,00	100,00
2,5	1,12	98,37	2,50	97,50
1,25	10,69	87,68	10,00	87,50
0,63	47,79	39,89	18,00	69,50
0,315	35,36	4,53	25,00	44,50
0,16	4,37	0,16	25,00	19,50
0,075	0,08	0,08	12,50	7,00
0	0,08	0,00	7,00	0,00

Anexo 1 – Valores individuais

Quadro A.1.2 – Massa volúmica aparente dos constituintes

Identificação do produto	Dados do recipiente de medida		Massa medida	Massa volúmica aparente [kg/m ³]	
	Volume [dm ³]	Massa [g]	[g]	Valores individuais	Média
Cal Aérea Hidratada	0,5	379,4	554,8	351	357
	0,5	379,4	558,9	359	
	0,5	379,4	560,5	362	
Areia do Rio Tejo	0,5	379,4	1092,3	1426	1428
	0,5	379,4	1094,4	1430	
	0,5	379,4	1093,2	1428	
Areia do Rio Tejo com granulometria corrigida	0,5	379,4	1135,0	1511	1509
	0,5	379,4	1132,7	1507	
	0,5	379,4	1134,5	1510	

Quadro A.1.3 – Massa volúmica da argamassa em pasta
- consultar Quadro 3.1

Identificação da argamassa	Dados do recipiente de medida	Massa medida	Massa volúmica aparente [kg/m ³]	
	Massa [g]	[g]	Valores individuais	Média
A1	464	2314	1850	1850
	464	2313	1849	
	464	2309	1846	
A2	464	2376	1912	1920
	464	2390	1926	
	464	2395	1931	
B1	464	2317	1853	1850
	464	2315	1851	
	464	2320	1856	
B2	464	2420	1956	1960
	464	2425	1961	
	464	2422	1958	

Anexo 1 – Valores individuais

Quadro A.1.4 – Consistência por espalhamento
- consultar Quadro 3.1

Identificação da argamassa	Valores [mm]		Média por provete	Média
A1	149	154	152	150
	154	148	151	
	153	150	152	
A2	143	144	144	145
	143	143	143	
	143	143	143	
B1	148	149	149	150
	147	152	150	
	148	151	150	
B2	142	141	142	145
	140	141	141	
	145	146	146	

Argamassa A1-1 → Argamassa de cal aérea e areia de rio Tejo, traço ponderal e cura seca

Quadro A.1.5 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão

Idade [dias]	Provete	Dimensões [mm]			Massa [g]	E	Rt	Rc	
		C	L	A		Frequência [Hz]	Força [N]	Força [N]	
								e	d
28	4	156,96	39,44	40,24	394,95	3115,3	128	850	972
	5	156,91	39,45	40,13	397,05	3115,6	119	933	924
	6	157,11	39,24	40,31	399,72	3316,5	146	996	1064
91	7	156,71	39,32	40,09	406,92	3961,5	271	1643	1800
	8	156,76	39,38	40,12	405,02	3831,8	266	1506	1612
	9	156,57	39,26	40,35	406,44	3805,1	197	1433	1713
182	10	157,30	39,38	39,56	415,34	4275,5	361	3190	3655
	11	157,11	39,37	39,52	412,76	4234,0	379	3610	3153
	12	157,04	39,46	39,62	415,11	4290,4	321	3657	3802
364	13	156,66	39,28	39,97	415,53	4088,7	213	2607	2463
	14	156,91	39,37	40,03	413,94	4037,0	197	2493	2350
	15	159,89	39,29	40,20	412,26	4061,9	226	2699	2622

C – comprimento; L – largura; A – altura; E – Módulo de elasticidade dinâmico; Rt – Resistência à tração por flexão; Rc – Resistência à compressão; e – esquerdo; d – direito.

Anexo 1 – Valores individuais

Quadro A.1.6 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	397,96	396,09	399,44	409,01	408,32	412,83	414,36	413,67	418,53	418,42	418,21	423,18
10	410,09	409,11	411,94	422,38	421,27	426,86	422,93	422,46	427,26	427,85	427,88	432,75
30	418,66	417,79	419,96	429,51	428,38	434,16	430,27	429,93	434,48	435,42	435,75	440,22
60	426,59	425,80	427,46	437,06	436,02	441,62	437,25	437,38	441,36	443,32	441,09	447,96
90	432,99	432,25	433,64	442,12	441,10	446,48	442,83	443,38	446,84	450,13	451,25	454,60
180	441,80	441,62	442,03	457,30	456,20	460,52	453,61	454,60	457,41	463,12	464,65	467,32
300	458,32	457,61	458,32	469,90	469,07	472,33	467,99	469,56	471,50	474,25	475,95	478,27
480	470,84	469,86	472,00	481,34	481,01	485,14	482,31	483,51	485,84	487,42	488,47	491,68
1440	472,67	471,45	475,15	481,74	481,50	486,18	486,15	485,85	490,83	489,45	489,53	494,63
2880	472,94	471,73	475,44	482,06	481,80	486,44	486,61	486,48	491,32	489,80	489,87	494,98
4320	473,15	472,02	475,71	482,33	482,12	486,72	487,32	487,19	491,87	490,22	490,36	495,32
5760	473,16	472,01	475,72	482,51	482,25	486,89	—	—	—	490,75	491,00	495,89
8640	—	—	—	—	—	—	488,08	487,70	492,53	—	—	—
10080	473,66	472,57	475,28	482,99	482,74	487,29	488,10	487,65	492,49	491,73	491,66	496,63
11520	—	—	—	483,30	482,94	487,55	—	—	—	491,89	491,82	496,79
12960	—	—	—	483,47	483,12	487,71	—	—	—	491,97	491,83	496,84
14400	—	—	—	483,62	483,27	487,77	—	—	—	492,07	491,96	496,93
15840	—	—	—	483,68	483,27	487,91	—	—	—	492,23	492,05	497,03
20160	—	—	—	483,81	483,41	488,01	—	—	—	492,63	492,51	497,47
21600	—	—	—	483,95	483,52	488,18	—	—	—	492,68	492,55	497,51
23040	—	—	—	484,00	483,59	488,21	—	—	—	492,72	492,60	497,58
24480	—	—	—	484,20	483,72	488,32	—	—	—	—	—	—
25920	—	—	—	484,63	484,26	488,87	—	—	—	493,00	492,91	497,93
30240	—	—	—	484,50	484,10	488,71	—	—	—	493,19	493,09	498,11
31680	—	—	—	484,60	484,14	488,76	—	—	—	493,18	493,11	498,13

Quadro A.1.7 – Dados obtidos no ensaio de secagem

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	473,66	472,57	475,28	484,60	484,14	488,76	488,10	487,65	492,49	493,18	493,11	498,13
30	473,01	471,97	475,20	484,38	483,89	488,46	487,46	487,06	491,84	492,76	492,66	497,75
60	472,56	471,51	475,10	484,04	483,58	488,09	486,89	486,52	491,30	492,36	492,30	497,40
90	472,06	471,06	474,61	483,74	483,32	487,79	486,36	486,02	490,79	491,94	491,93	497,05
270	469,53	468,67	472,02	482,11	481,67	485,96	483,50	483,28	488,01	489,71	489,88	495,05
450	466,66	465,02	469,15	480,06	479,52	484,11	480,50	480,36	484,98	487,37	487,83	493,01
1440	454,30	454,94	456,86	468,85	468,82	472,74	457,26	457,74	462,20	474,29	475,97	480,95
2880	435,81	437,85	437,97	448,18	449,96	452,87	431,68	433,74	438,07	459,08	462,71	467,41
4320	420,49	423,07	422,98	—	—	—	421,74	422,52	427,19	447,12	452,14	456,69
5760	410,88	412,46	413,15	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7200	—	—	—	412,60	412,56	416,59	—	—	—	—	—	—
8640	—	—	—	410,49	410,10	414,42	414,99	414,52	419,45	421,99	424,31	429,15
10080	402,32	401,29	404,47	409,83	409,20	413,71	414,94	414,31	419,24	419,86	421,05	426,04
11520	401,33	400,10	403,54	409,69	408,94	413,54	—	—	—	419,05	419,51	424,55
12960	401,06	399,71	403,34	409,73	408,98	413,59	415,05	414,34	419,30	418,92	418,98	424,02
14400	401,31	399,90	403,66	—	—	—	415,18	414,50	419,48	419,00	418,96	424,01
15840	401,45	400,02	403,83	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Anexo 1 – Valores individuais

Argamassa A1-2 → Argamassa de cal aérea e areia de rio Tejo, traço ponderal e cura húmida

Quadro A.1.8 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão

Idade [dias]	Provete	Dimensões [mm]			Massa [g]	E	Rt	Rc	
		C	L	A		Frequência [Hz]	Força [N]	Força [N]	
								e	d
28	4	156,11	39,25	39,86	442,70	3394,0	158	883	848
	5	156,32	39,31	39,90	438,97	3443,4	169	956	833
	6	156,19	39,43	40,02	437,77	3404,5	156	587	843
91	7	156,43	39,27	39,67	410,03	4191,7	374	1999	2052
	8	156,62	39,24	39,42	404,93	4094,7	294	1830	1554
	9	156,41	39,23	39,85	404,50	4158,4	265	1825	1627
182	10	155,99	39,30	39,67	407,94	4376,4	356	2578	1678
	11	155,97	39,24	39,42	409,53	4426,7	345	2930	3153
	12	156,08	39,37	39,62	410,41	4450,5	220	3148	2703
364	13	155,67	39,24	39,42	411,32	4560,3	315	3264	2864
	14	156,09	39,32	39,88	414,98	4595,9	286	2984	2848
	15	155,94	39,39	39,38	410,73	4558,0	277	3035	3004

C – comprimento; L – largura; A – altura; E – Módulo de elasticidade dinâmico; Rt – Resistência à tração por flexão; Rc – Resistência à compressão; e – esquerdo; d – direito.

Quadro A.1.9 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	394,29	395,55	396,12	406,03	402,47	403,93	410,77	408,64	410,35	413,63	411,30	413,17
10	407,85	408,73	409,32	418,48	415,89	416,97	426,52	424,54	425,93	427,24	425,37	426,76
30	417,40	417,87	418,47	427,84	425,45	426,45	434,86	432,72	434,20	437,31	435,12	436,91
60	425,75	425,88	426,22	436,61	434,43	435,10	444,49	442,34	443,65	445,85	443,96	445,71
90	430,52	430,60	430,74	445,27	443,19	443,74	451,23	449,14	450,46	451,64	449,92	451,67
180	445,90	446,21	445,51	459,07	456,82	457,33	466,43	463,94	465,16	464,91	463,11	464,97
300	460,35	461,14	459,87	473,34	470,59	471,36	479,83	476,72	478,41	478,95	476,58	478,60
480	465,80	466,73	467,60	475,02	471,80	473,55	480,83	477,44	479,84	483,19	480,01	482,36
1440	466,28	467,18	468,04	475,38	472,13	473,87	481,37	477,98	480,44	483,82	480,62	482,99
2880	466,69	467,62	468,51	476,11	472,85	474,40	481,86	478,45	480,91	484,15	480,82	483,20
7200	467,29	468,22	469,08	477,27	473,89	475,52	483,03	479,62	482,01	485,26	481,98	484,33
8640	467,52	468,43	469,41	477,14	473,74	475,47	483,42	479,99	482,38	485,63	482,34	484,71
10080	467,63	468,57	469,54	477,02	473,55	475,40	483,47	480,06	482,40	485,88	482,68	485,09
11520	467,84	468,71	469,70	—	—	—	483,50	480,10	482,59	486,15	482,86	485,22
12960	468,00	468,87	470,13	—	—	—	483,64	480,30	482,76	486,40	483,06	485,45
17280	468,41	469,27	470,22	—	—	—	484,00	480,61	483,11	487,00	483,77	486,07
18720	468,50	469,38	469,41	—	—	—	483,98	480,58	483,05	487,36	484,03	486,26
20160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	487,49	484,22	486,43
21600	468,72	469,60	470,41	—	—	—	—	—	—	487,66	484,38	486,62
23040	468,84	469,71	470,51	—	—	—	—	—	—	487,56	484,30	486,62
27360	469,09	470,16	470,88	—	—	—	—	—	—	487,94	484,71	487,03
28800	469,19	470,07	470,79	—	—	—	—	—	—	487,94	484,76	487,12
30240	469,14	470,00	470,80	—	—	—	—	—	—	488,17	484,89	487,26
31680	—	—	—	—	—	—	—	—	—	488,23	485,00	487,37
33120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	488,25	485,00	487,45
37440	—	—	—	—	—	—	—	—	—	488,67	485,35	487,78
38880	—	—	—	—	—	—	—	—	—	488,68	485,36	487,80
40320	—	—	—	—	—	—	—	—	—	488,63	485,36	487,93

Anexo 1 – Valores individuais

Quadro A.1.10 – Dados obtidos no ensaio de secagem

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	469,14	470,00	470,80	477,02	473,55	475,40	483,98	480,58	483,05	488,63	485,36	487,93
30	467,86	468,66	469,58	476,94	473,50	475,10	483,46	480,06	482,50	487,41	484,10	486,61
60	467,16	467,93	468,90	476,55	473,09	474,58	483,03	479,65	482,06	486,42	483,12	485,57
90	466,46	467,19	468,21	476,10	472,66	474,14	482,42	479,07	481,44	485,14	481,84	484,24
270	460,34	460,74	462,34	473,38	470,20	471,59	480,36	476,99	479,13	480,23	476,59	479,54
450	455,25	455,38	459,22	470,43	467,31	465,45	478,37	475,02	476,94	476,01	471,26	474,23
1440	432,97	431,18	438,76	457,91	454,59	454,41	466,60	463,19	464,01	444,41	441,94	441,91
2880	410,43	409,24	416,14	436,73	434,57	432,30	449,89	446,26	445,92	421,04	419,21	420,49
4320	—	—	—	—	—	—	428,86	426,30	426,76	—	—	—
7200	395,63	396,51	397,65	407,53	405,38	405,40	—	—	—	413,73	411,44	413,34
8640	395,11	396,34	396,78	405,19	403,01	403,50	412,21	409,80	411,54	413,73	411,43	413,32
10080	395,26	396,51	396,83	404,17	401,94	402,93	411,49	409,16	410,99	—	—	—
11520	395,37	396,64	396,94	403,67	401,50	402,83	411,35	409,09	410,99	—	—	—
12960	—	—	—	403,66	401,50	402,89	411,36	409,16	411,06	—	—	—
17280	—	—	—	403,76	401,58	403,05	—	—	—	—	—	—

Argamassa A2-1 → Argamassa de cal aérea e areia de rio Tejo, traço volumétrico e cura seca

Quadro A.1.11 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão

Idade [dias]	Provete	Dimensões [mm]			Massa [g]	E	Rt	Rc	
		C	L	A		Frequência [Hz]	Força [N]	Força [N]	
								e	d
28	4	159,22	39,91	40,34	432,46	3425,3	98	466	377
	5	158,98	39,97	40,12	429,68	3544,1	121	518	560
	6	157,69	40,16	39,97	431,53	3747,4	144	543	544
91	7	159,44	40,10	40,13	431,88	4137,8	228	1088	1055
	8	158,53	40,04	40,19	428,43	4147,7	194	917	993
	9	159,23	40,18	39,94	432,10	4151,0	184	1050	940
182	10	159,66	40,38	39,82	433,19	4023,5	191	1005	1178
	11	159,74	40,13	39,77	425,72	4048,0	104	1156	1065
	12	159,58	40,00	39,72	426,39	4038,0	134	1209	1116
364	13	159,51	39,92	39,82	427,22	4137,0	111	960	805
	14	159,52	40,01	39,71	427,28	4087,5	144	769	821
	15	159,40	39,84	39,97	432,64	4132,3	203	934	944

C – comprimento; L – largura; A – altura; E – Módulo de elasticidade dinâmico; Rt – Resistência à tração por flexão; Rc – Resistência à compressão; e – esquerdo; d – direito.

Anexo 1 – Valores individuais

Quadro A.1.12 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	430,09	426,33	428,04	432,96	430,23	432,39	432,44	429,94	431,01	431,92	429,67	430,60
10	438,02	436,30	437,93	441,04	438,58	439,62	439,55	438,16	438,83	439,00	437,23	437,78
30	444,96	442,74	444,20	444,67	442,30	443,07	443,95	442,25	443,02	442,91	441,18	441,65
60	448,15	445,71	447,17	449,39	447,25	447,87	448,24	446,25	447,04	446,70	444,92	445,46
90	452,69	450,06	451,50	452,56	450,49	451,24	451,59	449,33	450,21	450,16	448,31	448,80
180	460,61	457,67	459,04	462,03	459,96	460,80	458,64	455,75	456,99	456,88	454,70	454,32
300	468,10	464,70	466,26	467,57	465,58	466,57	466,44	462,95	464,32	465,04	462,49	463,23
480	474,14	470,07	472,29	475,28	472,55	474,69	474,22	470,03	471,75	473,08	470,25	471,25
1440	476,92	473,06	475,54	479,24	475,69	478,64	478,21	474,78	476,58	477,93	474,64	476,33
2880	477,96	474,19	476,76	480,64	477,43	480,33	479,05	475,78	477,45	479,50	474,16	478,26
4320	478,74	475,09	477,63	481,28	477,92	481,00	480,31	477,06	478,56	480,76	477,87	479,93
5760	479,05	475,48	478,10	481,88	478,39	481,57	480,97	477,64	479,21	—	—	—
7200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	482,40	479,63	481,76
8640	—	—	—	—	—	—	—	—	—	482,51	479,77	481,91
10080	480,26	476,91	479,50	482,83	479,24	482,28	482,34	479,10	480,58	482,81	480,02	482,20
11520	480,67	477,30	479,83	483,15	479,62	482,66	482,60	479,31	480,79	—	—	—
12960	481,08	477,63	480,24	483,37	480,06	483,25	—	—	—	483,82	480,81	483,06
14400	481,40	478,03	480,50	483,70	480,36	483,33	482,83	479,59	481,08	—	—	—
15840	481,55	478,17	480,72	485,00	481,61	484,47	483,29	480,02	481,47	—	—	—
17280	—	—	—	—	—	—	—	—	—	484,19	481,40	483,65
18720	482,06	478,64	480,26	—	—	—	—	—	—	484,41	481,61	483,78
20160	482,35	478,89	481,60	484,53	481,09	484,07	484,02	480,75	482,21	484,46	481,61	483,78
21600	482,38	479,05	481,94	484,40	481,26	484,33	—	—	—	—	—	—
23040	—	—	—	—	—	—	484,21	480,89	482,35	—	—	—
24480	482,73	479,18	481,98	—	—	—	484,20	480,89	482,27	—	—	—
28800	482,79	479,57	482,63	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30240	483,21	479,60	482,79	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Quadro A.1.13 – Dados obtidos no ensaio de secagem

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	483,21	479,60	482,79	484,40	481,26	484,33	484,20	480,89	482,27	484,46	481,61	483,78
30	482,89	479,41	482,41	484,12	480,83	483,82	483,50	480,21	481,57	483,75	480,99	483,17
60	482,48	479,13	482,09	483,70	480,45	483,32	482,99	479,74	481,10	483,24	480,51	482,68
90	482,11	478,83	481,74	483,30	480,01	482,83	482,66	479,44	480,78	482,86	480,18	482,32
270	480,20	477,42	480,12	481,56	478,09	480,24	480,06	477,05	478,14	480,00	477,61	479,66
450	477,92	475,52	478,28	478,99	475,20	477,09	477,57	474,81	475,84	477,71	475,59	477,59
1440	466,11	466,10	468,64	464,36	457,57	461,72	466,28	464,19	464,81	467,57	466,40	467,76
2880	—	—	—	442,10	435,93	439,72	—	—	—	454,45	454,44	455,54
4320	435,16	435,83	437,99	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5760	—	—	—	—	—	—	432,99	431,01	431,87	—	—	—
7200	—	—	—	432,58	430,07	432,16	432,54	430,36	431,28	432,19	430,21	431,20
8640	430,70	426,81	428,82	432,58	430,09	432,19	432,38	430,18	431,16	431,72	429,48	430,49
10080	430,89	427,05	429,06	432,60	430,14	432,25	432,37	430,11	431,09	431,72	429,48	430,48
11520	—	—	—	432,56	430,12	432,23	432,30	430,01	430,99	431,73	429,47	430,48
12960	—	—	—	432,55	430,09	432,22	—	—	—	—	—	—
15840	—	—	—	—	—	—	432,22	429,95	430,93	—	—	—
17280	—	—	—	432,43	429,98	432,08	432,18	429,91	430,88	—	—	—
18720	—	—	—	432,09	429,99	431,79	432,21	429,93	430,89	—	—	—
20160	—	—	—	432,46	430,01	431,79	—	—	—	—	—	—

Anexo 1 – Valores individuais

Argamassa A2-2 → Argamassa de cal aérea e areia de rio Tejo, traço volumétrico e cura húmida

Quadro A.1.14 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão

Idade [dias]	Provete	Dimensões [mm]			Massa [g]	E	Rt	Rc	
		C	L	A		Frequência [Hz]	Força [N]	Força [N]	
								e	d
28	4	159,75	39,86	40,02	428,31	4007,7	194	1002	1002
	5	159,64	39,91	40,00	428,81	3980,1	239	998	918
	6	159,52	39,86	40,00	428,28	3939,8	228	990	921
91	7	159,55	39,88	40,05	433,42	4306,1	178	402	954
	8	159,69	39,88	39,92	434,77	4340,8	163	1127	955
	9	159,62	39,83	40,06	436,23	4318,5	193	1004	891
182	10	159,56	40,00	39,64	433,29	4382,2	88	718	729
	11	159,58	39,85	39,82	434,55	4361,1	103	1069	1105
	12	159,55	39,92	40,02	434,57	4330,7	107	1142	1079
364	13	159,85	39,75	39,58	427,45	4398,7	215	1269	1306
	14	159,83	39,85	39,42	424,52	4330,5	204	1324	1161
	15	159,67	39,93	39,60	425,58	4308,0	235	1309	1163

C – comprimento; L – largura; A – altura; E – Módulo de elasticidade dinâmico; Rt – Resistência à tração por flexão; Rc – Resistência à compressão; e – esquerdo; d – direito.

Quadro A.1.15 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	431,21	429,22	433,82	431,61	429,63	433,41	430,25	429,33	433,06	428,68	427,84	431,56
10	439,22	437,05	440,70	439,34	437,88	441,44	438,19	437,32	440,68	435,81	435,16	438,45
30	442,78	440,73	444,08	444,49	443,17	446,40	442,97	442,39	445,43	440,90	440,02	443,36
60	446,87	444,89	447,97	448,91	447,76	450,76	447,92	447,69	450,44	445,19	444,27	447,60
90	450,31	448,45	451,22	452,12	451,07	453,94	451,62	451,40	454,01	453,35	452,48	455,71
180	457,32	455,40	457,96	459,68	458,79	461,51	458,93	458,96	461,40	—	—	—
300	465,18	463,32	465,84	467,44	466,65	469,29	466,84	467,02	469,46	466,82	466,04	469,22
480	471,81	469,65	472,50	473,15	471,90	475,02	472,22	471,71	474,82	472,95	471,98	474,95
1440	476,73	473,70	477,36	476,96	475,26	478,97	475,82	474,97	478,57	474,78	473,84	477,63
2880	476,62	474,56	478,26	477,90	476,25	479,96	477,06	476,27	479,85	476,40	475,57	479,39
4320	478,35	475,29	479,02	478,61	476,99	480,59	477,83	477,03	480,75	477,28	476,40	480,33
5760	478,74	475,58	479,40	479,16	477,57	481,31	—	—	—	477,25	476,65	480,77
8640	—	—	—	—	—	—	479,18	478,35	482,16	—	—	—
10080	479,64	476,64	480,47	480,70	479,07	482,89	479,55	478,71	482,52	478,90	478,07	482,60
11520	479,95	476,97	480,83	480,93	479,33	483,15	479,70	478,64	482,68	479,03	478,28	482,65
12960	480,12	477,26	480,98	481,23	479,64	483,30	479,97	479,06	483,06	479,40	478,58	482,94
14400	480,19	477,38	481,10	481,25	479,86	483,50	480,19	479,18	483,28	479,56	478,61	483,01
15840	—	—	—	481,06	479,55	483,45	—	—	—	479,64	478,71	483,17
18720	—	—	—	—	—	—	480,66	479,77	483,88	—	—	—
20160	—	—	—	481,77	480,54	484,25	480,88	479,84	484,01	479,81	478,80	483,38
21600	—	—	—	481,82	480,75	484,43	481,05	479,99	484,20	480,01	478,89	483,45
23040	—	—	—	481,74	480,18	484,33	481,40	480,20	484,51	480,28	479,09	483,78
24480	—	—	—	—	—	—	481,55	480,51	484,70	480,43	479,33	483,93
25920	—	—	—	—	—	—	—	—	—	480,60	479,47	484,15
28800	—	—	—	—	—	—	482,16	481,01	485,43	—	—	—
30240	—	—	—	—	—	—	482,27	481,18	485,42	480,80	479,88	484,59
31680	—	—	—	—	—	—	482,22	481,15	485,49	480,68	479,68	484,46
33120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	480,61	479,53	484,37

Anexo 1 – Valores individuais

Quadro A.1.16 – Dados obtidos no ensaio de secagem

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	480,19	477,38	481,10	481,74	480,18	484,33	482,22	481,15	485,49	480,61	479,53	484,37
30	479,27	476,58	480,24	481,06	479,62	483,74	481,54	480,36	484,80	478,84	478,08	482,86
60	478,55	475,93	479,55	480,80	479,38	483,50	480,97	479,81	484,26	477,83	477,10	481,87
90	477,81	475,30	478,90	480,07	478,83	482,97	480,35	479,22	483,67	476,62	475,93	480,65
270	474,63	472,48	475,93	478,80	477,53	481,55	477,14	476,08	480,46	469,05	468,67	472,98
450	471,40	469,59	472,91	477,02	475,89	480,12	472,86	471,98	476,31	464,53	464,31	468,32
1440	452,60	452,14	453,97	456,05	455,12	461,28	453,80	453,36	457,19	438,27	438,37	442,29
2880	—	—	—	449,07	449,01	452,54	432,19	431,60	435,38	428,28	427,74	431,99
5760	431,02	428,30	432,07	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7200	430,94	428,17	431,98	430,41	429,28	432,97	428,91	428,11	431,81	426,73	426,75	430,88
8640	431,00	428,23	432,03	430,28	429,20	432,87	428,92	428,12	431,81	426,73	426,75	430,88
10080	—	—	—	—	—	—	—	—	—	426,65	426,74	430,86
11520	—	—	—	430,22	429,16	432,84	—	—	—	426,58	426,72	430,84
12960	—	—	—	430,18	429,09	432,79	—	—	—	426,51	426,71	430,83
17280	—	—	—	430,16	429,07	432,76	—	—	—	426,49	426,70	430,81
18720	—	—	—	430,17	429,07	432,79	—	—	—	—	—	—

Argamassa B1-1 → Argamassa de cal aérea e areia de rio Tejo com granulometria corrigida, traço ponderal e cura seca

Quadro A.1.17 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão

Idade [dias]	Provete	Dimensões [mm]			Massa [g]	E	Rt	Rc	
		C	L	A		Frequência [Hz]	Força [N]	Força [N]	
								e	d
91	7	156,35	39,63	39,52	432,60	5966,3	479	4892	4391
	8	156,32	38,95	39,78	431,60	5899,1	462	5012	4566
	9	157,27	39,19	39,76	429,80	5877,5	493	4932	4452
182	10	156,30	39,30	39,46	431,25	5965,3	521	4987	7895
	11	156,78	39,35	39,36	432,65	5866,1	562	5012	6987
	12	156,25	39,35	39,14	432,29	5877,2	569	5113	7015
364	13	156,68	39,68	39,83	432,93	6031,7	540	4892	7750
	14	157,41	39,57	39,95	433,31	6171,5	679	3656	7595
	15	156,36	39,53	39,60	432,84	6225,4	685	5021	7652

C – comprimento; L – largura; A – altura; E – Módulo de elasticidade dinâmico; Rt – Resistência à tração por flexão; Rc – Resistência à compressão; e – esquerdo; d – direito.

Anexo 1 – Valores individuais

Quadro A.1.18 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade

Tempo [min]	Massa [g]								
	91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	426,03	429,21	—	427,02	430,83	431,40	431,56	429,44	430,22
10	446,37	450,01	—	447,50	449,72	451,04	452,31	449,32	450,65
30	454,23	458,32	—	455,07	457,83	459,43	460,24	457,36	458,29
60	459,76	463,44	—	460,25	463,42	465,44	465,94	462,01	463,28
90	464,91	468,54	—	464,92	468,32	470,72	470,01	467,35	468,34
180	472,99	477,03	—	472,06	475,71	478,58	477,06	474,22	475,36
300	484,23	489,23	—	485,54	489,69	493,10	490,23	488,73	488,56
480	490,46	495,58	—	491,67	495,91	497,90	495,28	493,56	493,62
1440	492,33	497,85	—	492,65	496,75	498,79	496,01	494,62	494,25
2280	492,56	497,98	—	492,88	496,89	499,01	496,25	494,77	494,33
5760	492,61	498,21	—	492,86	497,01	499,06	496,32	494,81	494,41

Argamassa B1-2 → Argamassa de cal aérea e areia de rio Tejo com granulometria corrigida, traço ponderal e cura húmida

Quadro A.1.19 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão

Idade [dias]	Provete	Dimensões [mm]			Massa [g]	E	Rt	Rc	
		C	L	A		Frequência [Hz]	Força [N]	Força [N]	
								e	d
28	4	156,31	39,31	39,57	399,41	4121,2	328	1776	1405
	5	156,24	39,19	39,51	397,03	4084,7	219	1588	1576
	6	156,16	39,18	39,51	394,81	4163,0	216	1668	1668
91	7	156,33	39,09	39,75	413,35	4607,5	284	2549	2161
	8	156,15	39,26	40,18	414,74	4858,1	387	2618	2291
	9	156,33	39,31	40,22	414,33	4804,4	416	2613	2390
182	10	156,37	39,32	39,53	416,55	5071,7	488	4489	3617
	11	156,87	39,20	39,57	415,442	5022,9	468	3756	3754
	12	156,52	39,25	39,48	414,76	4999,4	527	40077	3876
364	13	156,05	39,22	39,71	416,35	5401,2	340	2485	3225
	14	156,17	39,28	39,64	413,79	5312,5	359	3135	2848
	15	156,32	39,17	39,62	414,55	5295,1	326	2962	3023

C – comprimento; L – largura; A – altura; E – Módulo de elasticidade dinâmico; Rt – Resistência à tração por flexão; Rc – Resistência à compressão; e – esquerdo; d – direito.

Anexo 1 – Valores individuais

Quadro A.1.20 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	399,15	399,02	403,04	409,65	410,20	413,59	411,14	412,15	415,56	415,08	415,17	419,56
10	411,10	411,28	414,96	421,97	423,28	426,40	422,45	424,56	426,31	422,21	424,42	426,40
30	420,03	420,31	424,01	429,12	430,22	433,40	431,11	433,03	435,10	429,97	432,50	433,42
60	428,34	428,72	432,36	437,73	439,02	441,95	441,02	442,92	445,25	438,44	440,96	441,20
90	434,05	434,50	438,12	444,10	445,44	448,28	445,03	446,99	449,40	444,14	446,99	447,18
180	449,35	450,27	453,54	458,41	460,08	462,55	458,64	460,78	463,32	—	—	—
300	465,41	467,00	469,94	472,11	474,18	476,54	472,36	474,78	477,28	469,31	473,01	473,33
480	472,17	473,26	476,46	479,84	481,27	484,48	483,50	485,25	488,48	481,79	485,39	486,30
1440	473,01	474,09	477,35	480,72	482,08	485,40	484,75	486,15	489,53	487,69	489,08	492,62
4320	—	—	—	481,86	483,30	486,52	—	—	—	—	—	—
5760	473,88	474,96	478,20	482,09	483,52	486,73	485,95	487,30	490,60	489,06	490,48	493,99
7200	474,05	475,20	478,42	482,25	483,63	486,88	486,20	487,47	490,83	489,26	490,67	494,25
8640	474,26	475,35	478,59	482,42	483,81	487,06	486,57	487,84	491,21	489,36	490,84	494,42
10080	474,42	475,51	478,75	482,55	483,91	487,08	486,67	488,06	491,46	489,59	491,01	494,60
11520	—	—	—	—	—	—	486,76	488,20	491,58	489,75	491,15	494,75
14400	—	—	—	482,91	484,29	487,50	—	—	—	—	—	—
15840	—	—	—	483,01	484,34	487,53	487,00	488,45	491,81	490,11	491,47	495,14
17280	—	—	—	483,07	484,41	487,60	487,10	488,53	491,89	490,27	491,57	495,25
18720	—	—	—	—	—	—	487,17	488,57	491,93	490,40	491,70	495,38
20160	—	—	—	483,19	484,56	487,75	487,28	488,68	492,09	490,55	491,83	495,52
21600	—	—	—	—	—	—	487,37	488,76	492,17	490,69	491,96	495,62
24480	—	—	—	483,34	484,69	487,91	—	—	—	—	—	—
25920	—	—	—	483,43	484,77	487,98	487,64	489,02	492,47	491,00	492,27	495,92
27360	—	—	—	—	—	—	487,73	489,09	492,53	491,05	492,34	495,99
28800	—	—	—	—	—	—	487,79	489,16	492,63	491,08	492,34	495,98
30240	—	—	—	483,53	484,88	488,09	487,82	489,17	492,65	—	—	—
31680	—	—	—	483,51	484,88	488,09	487,92	489,32	492,77	—	—	—
33120	—	—	—	483,56	484,94	488,14	—	—	—	—	—	—
36000	—	—	—	—	—	—	488,13	489,50	493,00	—	—	—
37440	—	—	—	—	—	—	488,20	489,60	493,05	—	—	—
38880	—	—	—	—	—	—	488,28	489,50	493,13	—	—	—
40320	—	—	—	—	—	—	488,34	489,57	493,21	—	—	—
41760	—	—	—	—	—	—	488,44	489,67	493,32	—	—	—
46080	—	—	—	—	—	—	488,74	489,98	493,64	—	—	—
47520	—	—	—	—	—	—	488,75	490,00	493,63	—	—	—

Quadro A.1.21 – Dados obtidos no ensaio de secagem

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	474,42	475,51	478,75	483,56	484,94	488,14	488,75	490,00	493,63	491,08	492,34	495,98
30	473,47	474,67	477,86	482,87	484,31	487,48	487,93	489,45	492,95	489,77	491,03	494,55
60	472,76	474,04	477,20	482,17	483,64	486,80	487,35	488,95	492,42	488,83	490,12	493,51
90	472,09	473,43	476,57	481,66	483,17	486,31	486,69	488,38	491,80	487,76	489,01	492,24
270	469,14	470,82	473,81	477,98	479,80	482,85	482,73	485,07	488,25	481,33	482,56	484,47
450	466,09	468,07	470,99	475,02	477,05	480,01	479,89	482,62	485,51	477,43	478,83	480,21
1440	448,21	451,75	453,60	459,56	462,26	464,82	467,43	471,78	475,29	451,11	454,65	453,76
2880	—	—	—	437,15	440,92	443,16	444,68	451,33	454,93	421,84	424,29	426,65
4320	—	—	—	421,29	425,04	427,41	425,22	431,65	434,87	—	—	—
5760	403,69	405,85	408,36	413,03	415,03	418,00	—	—	—	—	—	—
7200	400,65	401,93	404,73	—	—	—	—	—	—	414,15	414,87	418,39
8640	398,88	399,63	402,59	—	—	—	412,53	413,94	417,26	414,12	414,83	418,38
10080	398,47	398,96	401,90	406,95	407,72	410,84	411,62	412,63	415,95	414,08	414,84	418,36
11520	—	—	—	406,98	407,69	410,79	411,34	412,12	415,42	414,01	414,82	418,34
12960	—	—	—	—	—	—	411,25	411,91	415,21	413,99	414,79	418,32
14400	399,16	399,54	402,53	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17280	—	—	—	—	—	—	—	—	—	413,96	414,80	418,31
18720	—	—	—	—	—	—	411,46	412,12	415,44	—	—	—

Anexo 1 – Valores individuais**Argamassa B2-1 → Argamassa de cal aérea e areia de rio Tejo com granulometria corrigida, traço volumétrico e cura seca**

Quadro A.1.22 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão

Idade [dias]	Provete	Dimensões [mm]			Massa [g]	E	Rt	Rc	
		C	L	A		Frequência [Hz]	Força [N]	Força [N]	
								e	d
28	4	158,35	39,84	39,77	440,50	3684,2	200	730	740
	5	158,28	39,90	39,87	440,45	3594,1	197	698	715
	6	158,34	39,84	39,87	440,35	3585,7	192	721	696
91	7	158,21	39,76	39,69	446,46	4302,7	208	1359	1466
	8	158,33	39,76	39,70	447,50	4197,9	192	1299	1387
	9	158,42	39,76	39,54	444,00	4202,7	218	1149	1252
182	10	158,14	39,54	39,75	446,53	4302,1	147	1199	1160
	11	158,42	39,68	39,87	451,22	4319,4	148	1251	1274
	12	158,47	39,68	39,48	446,00	4360,2	144	1225	1127
364	13	158,70	39,60	39,85	447,53	4687,1	401	1942	1821
	14	158,23	39,69	39,54	447,78	4644,3	374	1965	1883
	15	158,24	39,65	39,78	448,59	4668,9	192	1913	1890

C – comprimento; L – largura; A – altura; E – Módulo de elasticidade dinâmico; Rt – Resistência à tração por flexão; Rc – Resistência à compressão; e – esquerdo; d – direito.

Quadro A.1.23 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	441,14	442,14	444,99	443,84	444,68	447,50	445,74	446,98	450,01	445,27	446,73	449,83
10	448,23	449,38	452,74	452,31	452,81	456,51	453,18	454,47	457,54	452,79	454,36	457,81
30	453,75	454,70	458,04	456,80	457,46	461,08	457,45	458,68	461,75	457,41	459,06	462,41
60	457,17	458,14	461,48	462,01	462,79	466,29	461,84	463,01	466,12	462,65	464,21	467,57
90	461,24	462,11	465,37	465,82	466,63	470,13	465,62	466,78	469,90	465,80	467,30	470,68
180	469,71	470,54	473,74	473,58	474,62	478,09	472,65	473,81	476,94	473,99	475,27	478,65
300	478,48	479,31	482,47	482,36	483,45	486,94	480,29	481,44	484,61	482,16	483,27	486,63
480	485,64	486,59	489,65	488,02	489,03	492,25	485,86	487,02	490,20	489,10	490,36	493,61
1440	488,08	489,29	492,29	490,66	491,52	494,48	491,74	493,09	496,13	492,20	493,64	496,81
2880	488,99	490,19	493,21	491,73	492,63	495,46	492,94	494,24	497,25	493,92	495,33	498,53
4320	489,72	490,93	493,94	492,55	493,38	496,28	493,30	494,57	497,70	494,58	496,04	499,22
5760	—	—	—	—	—	—	—	—	—	495,14	496,60	499,81
8640	490,60	491,85	494,83	494,10	494,91	497,83	495,16	496,42	499,46	—	—	—
10080	490,76	492,00	494,97	494,46	495,23	498,11	495,56	496,87	499,85	—	—	—
11520	491,36	492,63	495,53	494,82	495,63	498,42	496,11	497,34	500,29	—	—	—
12960	491,75	493,07	495,92	495,22	495,96	498,84	496,61	497,76	500,69	496,35	497,85	501,13
14400	—	—	—	495,46	496,17	499,10	496,74	497,90	500,81	496,65	498,17	501,40
15840	—	—	—	—	—	—	—	—	—	497,05	498,61	501,86
17280	492,98	494,26	497,12	—	—	—	—	—	—	497,30	498,89	501,96
18720	493,16	494,42	497,28	495,96	496,66	499,62	497,96	499,03	501,90	497,49	499,07	502,38
20160	493,34	494,58	497,43	496,16	496,88	499,86	498,22	499,28	502,14	—	—	—
21600	493,58	494,84	497,73	496,37	497,05	500,04	498,20	499,25	502,15	—	—	—
23040	493,82	495,06	497,96	496,70	497,38	500,42	—	—	—	497,89	499,47	502,77
24480	—	—	—	497,00	497,70	500,74	—	—	—	498,01	499,55	502,84
25920	—	—	—	—	—	—	—	—	—	498,15	499,73	503,04
27360	494,44	495,69	498,58	—	—	—	—	—	—	498,36	499,91	503,21
28800	494,71	495,95	498,82	497,84	498,48	501,58	—	—	—	498,62	500,14	503,44
30240	495,00	496,31	499,14	498,03	498,64	501,77	—	—	—	—	—	—
31680	495,21	496,32	499,29	498,2	498,78	501,94	—	—	—	—	—	—
33120	495,30	496,50	499,36	498,32	498,97	502,12	—	—	—	—	—	—
34560	—	—	—	498,54	499,15	502,32	—	—	—	—	—	—
37440	495,95	497,09	500,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38880	496,00	497,09	500,00	499,07	499,55	502,74	—	—	—	—	—	—
40320	—	—	—	499,21	499,73	502,89	—	—	—	—	—	—
41760	—	—	—	499,4	499,86	503,02	—	—	—	—	—	—
43200	—	—	—	499,53	500,01	503,16	—	—	—	—	—	—
44640	—	—	—	499,74	500,17	503,33	—	—	—	—	—	—
46080	—	—	—	500,42	500,84	503,99	—	—	—	—	—	—
47520	—	—	—	500,48	500,85	504,01	—	—	—	—	—	—

Anexo 1 – Valores individuais

Quadro A.1.24 – Dados obtidos no ensaio de secagem

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	496,00	497,09	500,00	500,48	500,85	504,01	498,20	499,25	502,15	500,82	503,06	505,37
30	495,03	496,17	499,08	499,85	500,38	503,39	497,06	498,06	500,78	499,89	502,04	504,38
60	494,60	495,74	498,66	499,22	499,78	502,78	496,13	497,14	499,75	498,93	500,90	503,27
90	492,73	493,90	496,80	498,58	499,16	502,16	494,89	495,95	498,41	498,20	500,01	502,42
270	491,31	492,59	495,51	494,93	495,67	498,58	490,58	491,26	494,48	493,39	494,25	496,85
450	488,98	490,33	493,19	492,01	493,01	495,89	487,99	488,56	491,27	488,86	489,75	491,59
1440	469,77	471,80	473,26	479,28	481,03	483,50	456,52	457,64	458,66	467,27	464,09	467,40
2880	447,65	449,10	451,59	459,20	461,96	465,45	448,01	449,27	452,09	449,49	450,82	452,80
4320	442,38	443,46	446,28	449,64	450,86	454,65	—	—	—	446,44	448,62	450,48
5760	—	—	—	—	—	—	—	—	—	445,98	448,29	450,11
7200	—	—	—	—	—	—	445,62	446,93	449,99	—	—	—
8640	441,66	442,81	445,71	444,54	445,23	448,19	445,61	446,94	450,00	—	—	—
10080	441,81	442,96	445,88	444,44	445,14	448,06	—	—	—	445,92	448,26	450,07
11520	—	—	—	444,46	445,18	448,09	—	—	—	—	—	—

Argamassa B2-2 → Argamassa de cal aérea e areia de rio Tejo com granulometria corrigida, traço volumétrico e cura húmida

Quadro A.1.25 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão

Idade [dias]	Provete	Dimensões [mm]			Massa [g]	E	Rt	Rc	
		C	L	A		Frequência [Hz]	Força [N]	Força [N]	
								e	d
28	4	158,19	39,74	39,76	425,96	4169,8	233	897	854
	5	158,66	39,90	39,79	424,47	3962,0	235	795	771
91	7	158,71	39,58	39,56	423,98	4239,2	163	1138	1087
	8	158,63	39,66	39,22	424,00	4288,7	139	1161	1256
182	10	158,64	39,76	39,63	443,83	4400,6	169	1048	1020
	11	158,61	39,56	39,78	439,09	4468,8	145	1070	1216
	12	158,52	39,65	39,73	441,94	4491,8	163	1066	1452
364	13	159,68	39,79	39,80	453,42	5135,2	320	2203	2728
	14	159,59	39,80	40,01	453,86	5015,2	307	2399	2604
	15	159,74	39,80	39,87	454,59	5102,8	310	2159	2727

C – comprimento; L – largura; A – altura; E – Módulo de elasticidade dinâmico; Rt – Resistência à tração por flexão; Rc – Resistência à compressão; e – esquerdo; d – direito.

Anexo 1 – Valores individuais

Quadro A.1.26 – Dados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	445,13	447,32	448,60	447,52	449,57	450,61	446,71	448,75	450,47	446,10	448,37	450,16
10	451,74	454,09	455,90	454,96	457,04	458,53	455,16	456,66	459,04	454,42	456,51	458,62
30	456,16	458,60	460,55	460,20	462,30	463,60	460,62	462,02	464,26	459,66	461,60	463,66
60	460,99	463,50	465,50	465,08	467,29	468,46	465,67	467,06	469,10	464,43	466,32	468,35
90	464,77	467,23	469,13	469,06	471,21	472,46	469,52	470,97	472,94	468,62	470,44	472,49
180	472,21	474,56	476,83	477,37	479,40	480,91	477,28	478,71	480,71	477,76	479,54	481,75
300	480,15	482,60	485,13	485,25	487,29	489,16	485,22	486,73	488,89	484,62	486,36	488,69
480	487,10	489,44	491,56	490,71	493,05	494,80	490,71	492,78	494,86	490,64	492,94	495,08
1440	490,81	493,08	494,70	493,31	495,70	497,26	493,24	495,43	497,48	493,42	495,96	498,14
2880	492,14	494,20	496,00	494,70	496,88	498,53	—	—	—	494,97	497,40	499,72
4320	493,28	495,20	497,02	495,47	497,64	499,42	—	—	—	495,84	498,16	500,49
5760	—	—	—	—	—	—	496,82	498,84	500,99	496,41	498,62	501,00
7200	—	—	—	—	—	—	497,10	499,09	501,27	—	—	—
8640	495,11	497,12	499,06	496,86	498,99	500,86	497,34	499,33	501,52	—	—	—
10080	495,33	497,33	499,30	497,22	499,37	501,25	497,53	499,52	501,69	497,32	499,54	501,93
11520	495,53	497,57	499,53	497,56	499,67	501,51	496,82	498,84	500,99	497,54	499,74	502,10
12960	495,84	497,87	499,84	498,02	500,08	501,97	—	—	—	497,76	499,96	502,34
14400	496,06	498,12	500,07	498,42	500,41	502,32	—	—	—	497,99	500,20	502,56
15840	—	—	—	—	—	—	498,52	500,49	502,66	498,27	500,48	502,84
17280	—	—	—	—	—	—	498,64	500,58	502,79	—	—	—
18720	496,65	498,76	500,80	499,27	501,30	503,22	498,80	500,73	502,91	—	—	—
20160	496,91	498,99	501,04	499,50	501,49	503,45	498,94	500,80	503,00	—	—	—
21600	497,21	499,33	501,46	499,63	501,64	503,61	499,06	500,91	503,08	—	—	—
23040	497,32	499,50	501,60	499,89	501,89	503,88	—	—	—	—	—	—
24480	497,42	499,59	501,77	499,96	501,75	504,04	—	—	—	—	—	—
25920	—	—	—	—	—	—	499,77	501,54	503,74	—	—	—
27360	—	—	—	—	—	—	499,82	501,70	503,9	—	—	—
28800	497,88	500,13	502,45	—	—	—	499,96	501,86	503,07	—	—	—
30240	497,87	500,14	502,44	—	—	—	500,16	501,94	504,15	—	—	—
31680	500,73	502,51	504,9	—	—	—	500,27	502,08	504,28	—	—	—
33120	500,88	502,66	505,03	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34560	501,12	502,85	505,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38880	501,8	503,56	505,98	—	—	—	500,90	502,71	504,95	—	—	—
40320	501,81	503,55	506,02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
48960	—	—	—	—	—	—	501,50	503,30	505,52	—	—	—
50400	—	—	—	—	—	—	501,67	503,45	505,68	—	—	—
51840	—	—	—	—	—	—	501,87	503,64	505,88	—	—	—
56160	—	—	—	—	—	—	502,01	503,75	505,94	—	—	—
57600	—	—	—	—	—	—	502,08	503,78	506,01	—	—	—
59040	—	—	—	—	—	—	502,15	503,82	506,07	—	—	—

Quadro A.1.27 – Dados obtidos no ensaio de secagem

Tempo [min]	Massa [g]											
	28 dias			91 dias			182 dias			364 dias		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	497,87	500,14	502,44	501,81	503,55	506,02	502,08	503,82	506,07	500,82	503,06	505,37
30	496,95	499,28	501,53	501,01	502,98	505,33	500,75	502,42	504,62	499,89	502,04	504,38
60	496,51	498,83	501,08	500,41	502,46	504,77	499,80	501,49	503,61	498,93	500,90	503,27
90	494,60	496,94	499,15	499,76	501,89	504,16	498,45	500,13	502,19	498,20	500,01	502,42
270	493,14	495,50	497,68	495,90	498,48	500,44	492,09	493,80	495,49	493,39	494,25	496,85
450	490,62	492,93	495,01	492,98	495,99	497,67	486,42	488,33	489,67	488,86	489,75	491,59
1440	468,21	470,51	471,77	479,82	484,38	486,38	457,26	459,26	459,45	467,27	464,09	467,40
2880	448,65	450,84	451,91	458,75	463,31	464,45	448,09	450,30	451,88	449,49	450,82	452,80
4320	444,89	446,95	448,28	449,40	451,91	453,37	—	—	—	446,44	448,62	450,48
5760	—	—	—	—	—	—	—	—	—	445,98	448,29	450,11
7200	—	—	—	—	—	—	446,36	448,51	450,31			
8640	—	—	—	446,84	448,81	450,56	446,36	448,52	450,33			
10080	444,60	446,69	448,12	446,79	448,77	450,51	—	—	—	445,92	448,26	450,11
11520	444,71	446,81	448,24	446,82	448,79	450,54	—	—	—	—	—	—

Anexo 1 – Valores individuais

Quadro A.1.28 – Valores obtidos no ensaio de Porosidade aberta realizado aos provetes com mais de um ano - consultar Quadro 3.3

Argamassa	Provete	m ₁	m ₂	m ₃	P _{ab}
A1-1	1	49,30	29,79	58,60	32,29
	2	59,05	35,68	70,45	32,80
	3	47,38	28,62	56,36	32,38
A1-2	1	60,48	36,80	71,98	32,69
	2	42,22	25,75	50,41	33,21
	3	55,50	33,75	65,93	32,42
A2-1	1	76,61	44,29	88,57	27,00
	2	49,69	28,80	57,63	27,53
	3	51,52	29,81	59,57	27,05
A2-2	1	64,46	37,65	74,85	27,94
	2	66,67	39,13	77,73	28,65
	3	58,16	34,25	67,63	28,38
B1-2	1	50,41	30,85	59,98	32,86
	2	62,68	38,42	74,71	33,16
	3	45,95	28,10	54,75	33,03
B2-1	1	57,99	34,20	66,03	25,26
	2	70,11	41,26	79,83	25,21
	3	71,09	41,80	80,92	25,12
B2-2	1	59,62	35,07	67,92	25,28
	2	55,05	32,40	62,59	24,97
	3	61,65	36,36	70,21	25,29

Ensaio realizados, após um ano, aos provetes com os quais foram realizados os ensaios de capilaridade

Quadro A.1.29 – Dados obtidos nos ensaios de determinação da massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão e resistência à compressão
- consultar Quadro 3.3

Argamassa	Provete	Dimensões [mm]			Massa [g]	E	Rt	Rc	
		C	L	A		Frequência [Hz]	Força [N]	Força [N]	
						e		d	
A1-1	1	156,79	39,32	39,79	418,44	4749,4	-	4489	4868
	2	156,99	39,36	39,81	418,30	4734,8	358	4324	4791
	3	157,08	39,46	40,00	423,35	4769,9	474	4996	5424
A1-2	2	155,63	39,29	39,59	411,13	4415,0	288	3519	3751
	3	156,01	39,24	39,79	413,09	4400,8	272	3514	3854
A2-1	1	159,20	40,00	40,02	431,32	4457,7	188	1158	1190
	2	158,56	40,26	40,29	429,10	4504,0	181	1259	1327
	3	159,08	40,18	40,49	430,16	4488,5	182	1204	1264
A2-2	1	159,55	39,84	40,04	425,41	3099,7	-	1178	1075
	2	159,81	39,84	40,07	425,67	4315,7	135	1354	1027
B1-2	1	156,57	39,17	39,43	413,70	5371,2	431	4079	4866
	2	156,52	39,25	39,64	414,30	5363,7	394	4279	4766
	3	156,50	39,26	39,79	417,97	5401,4	525	4130	5118
B2-1	1	158,57	39,81	39,55	445,29	4912,1	353	2130	2077
	2	158,91	39,90	39,63	446,72	4958,4	279	2204	2404
	3	158,81	39,98	39,73	449,79	4902,6	315	2076	2219
B2-2	1	158,63	39,79	39,67	445,87	5406,3	139	2381	2478
	2	158,81	39,75	39,79	448,17	4979,8	328	2409	2366
	3	158,94	39,78	39,89	449,91	4989,6	396	2351	2056

C – comprimento; L – largura; A – altura; E – Módulo de elasticidade dinâmico; Rt – Resistência à tração por flexão; Rc – Resistência à compressão; e – esquerdo; d – direito.

ANEXO 2 – VALORES MÉDIOS

Quadro A.2.1 – Massa volúmica
- consultar Quadro 3.3

Massa volúmica [kg/m ³]								
Argamassa	Idade [dias]							
	28		91		182		364	
	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ
A1-1	1600	12	1640	6	1690	4	1680	11
A1-2	1790	19	1670	14	1690	10	1700	6
A2-1	1690	11	1680	6	1680	9	1690	11
A2-2	1680	2	1710	6	1710	6	1690	7
B1-1	-	-	1770	14	1790	9	1750	14
B1-2	1640	5	1690	13	1710	4	1710	6
B2-1	1750	3	1790	4	1800	3	1800	8
B2-2	1690	13	1710	9	1770	9	1790	4

- Este ensaio não foi realizado nesta data

Quadro A.2.2 – Módulo de elasticidade dinâmico
- consultar Quadro 3.3

Módulo de elasticidade dinâmico [MPa]								
Argamassa	Idade [dias]							
	28		91		182		364	
	Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ
A1-1	1520	8	2340	24	3040	46	2740	45
A1-2	2040	33	2810	73	3210	69	3460	31
A2-1	2070	94	2930	25	2790	5	2920	47
A2-2	1660	0	3250	38	3310	49	3260	88
B1-1	-	-	6070	78	6090	84	6640	89
B1-2	2720	44	3830	66	4250	62	4680	1
B2-1	2300	75	3160	2	3380	53	3930	30
B2-2	2810	213	3140	66	3530	64	4720	128

- Este ensaio não foi realizado nesta data

Anexo 2 – Médias e desvios padrão

Quadro A.2.3 – Resistências à tração por flexão e à compressão
- consultar Quadro 3.3

Ensaio	Argamassa	Idade [dias]							
		28		91		182		364	
		Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ
Resistência à tração por flexão [MPa]	A1-1	0,3	0,03	0,7	0,04	0,9	0,08	0,5	0,03
	A1-2	0,4	0,03	0,7	0,04	0,9	0,00	0,8	0,06
	A2-1	0,3	0,05	0,5	0,05	0,4	0,13	0,4	0,10
	A2-2	0,6	0,05	0,5	0,05	0,3	0,00	0,6	0,03
	B1-1	-	-	1,2	0,03	1,4	0,08	1,3	0,40
	B1-2	0,6	0,00	1,0	0,04	1,3	0,10	0,9	0,05
	B2-1	0,5	0,00	0,5	0,03	0,4	0,03	1,0	0,04
	B2-2	0,6	0,00	0,4	0,04	0,4	0,05	0,8	0,03
Resistência à compressão [MPa]	A1-1	0,6	0,05	1,0	0,06	2,2	0,12	1,6	0,08
	A1-2	0,5	0,06	1,2	0,09	1,9	0,07	1,9	0,05
	A2-1	0,3	0,03	0,6	0,03	0,7	0,03	0,6	0,05
	A2-2	0,6	0,03	0,6	0,03	0,7	0,00	0,8	0,00
	B1-1	-	-	1,7	0,05	1,7	0,13	1,6	0,10
	B1-2	1,0	0,03	1,5	0,03	2,5	0,04	1,9	0,06
	B2-1	0,5	0,00	0,8	0,08	0,8	0,03	1,2	0,00
	B2-2	0,5	0,04	0,7	0,07	0,7	0,08	1,6	0,00

- Este ensaio não foi realizado nesta data

Quadro A.2.4 – Valores de absorção capilar às 24 h e máxima
- consultar Quadro 3.3

Absorção capilar [kg/m ²]	Argamassa	Idade [dias]							
		28		91		182		364	
		Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ
Às 24 h	A1-1	48,24	0,14	46,98	0,11	46,44	0,09	45,57	0,19
	A1-2	46,13	0,26	44,66	0,09	44,79	0,54	44,59	0,24
	A2-1	28,79	0,70	28,18	0,75	27,85	0,82	27,95	0,80
	A2-2	27,87	0,66	28,42	0,10	28,41	0,14	28,75	0,09
	B1-1	-	-	42,96	1,40	43,32	0,60	40,23	1,43
	B1-2	47,82	0,38	45,91	0,11	47,54	0,13	47,04	0,46
	B2-1	29,41	0,07	29,24	0,09	28,99	0,18	29,44	0,20
	B2-2	28,83	0,04	29,09	0,25	29,47	0,17	30,05	0,19
Máxima	A1-1	48,81	0,33	48,76	0,08	47,62	0,08	47,87	0,23
	A1-2	48,00	0,23	45,79	0,03	46,48	0,55	47,69	0,27
	A2-1	32,88	0,87	31,75	0,77	31,50	0,87	32,23	0,78
	A2-2	30,14	0,58	31,71	0,30	32,48	0,08	32,71	0,24
	B1-1	-	-	43,16	1,44	43,48	0,61	40,37	1,46
	B1-2	48,72	0,39	47,71	0,11	50,11	0,11	49,18	0,42
	B2-1	34,28	0,15	35,21	0,26	32,91	0,34	34,98	0,17
	B2-2	33,41	0,26	34,36	0,54	34,91	0,27	34,62	0,22

- Este ensaio não foi realizado nesta data

Anexo 2 – Médias e desvios padrão

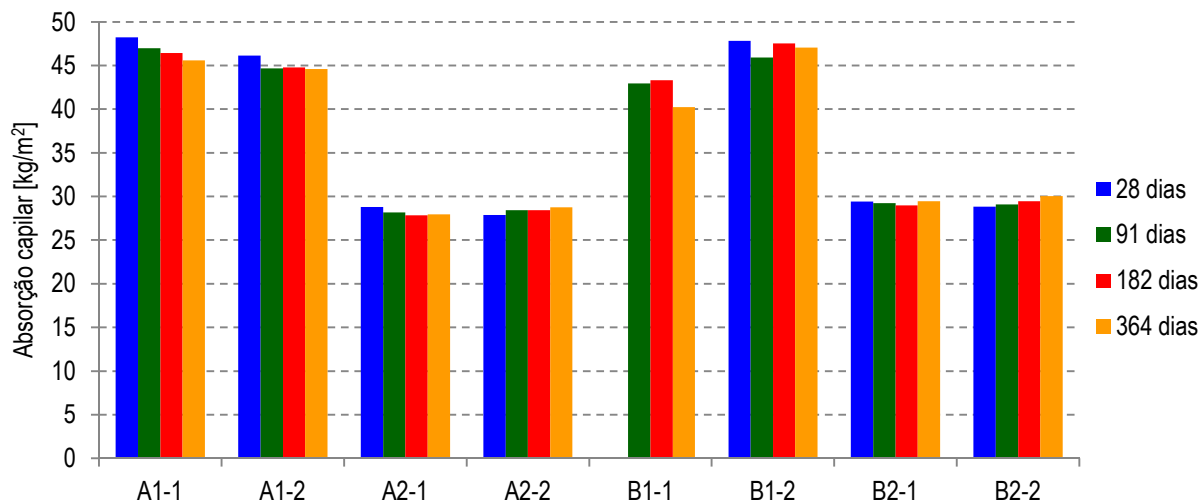


Figura A.2.1 – Absorção capilar às 24 h
- consultar Quadro 3.3

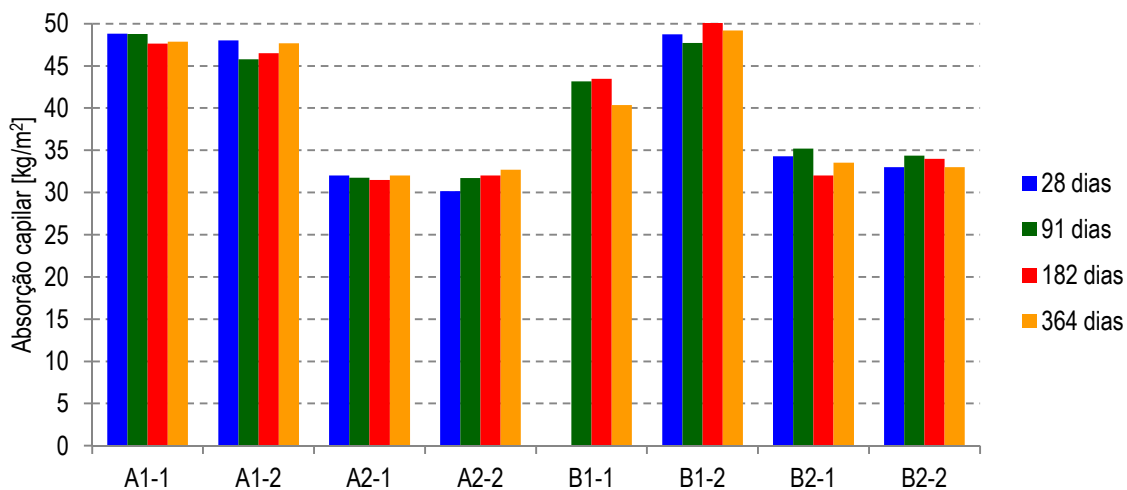


Figura A.2.2 – Absorção capilar máxima
- consultar Quadro 3.3

Quadro A.2.5 – Coeficientes de capilaridade
- consultar Quadro 3.3

Coeficiente de capilaridade [kg/m ² .min ^{1/2}]	Argamassa	Idade [dias]							
		28		91		182		364	
		Média	σ	Média	σ	Média	σ	Média	σ
10 min	A1-1	2,6	0,09	2,7	0,13	1,8	0,03	1,9	0,03
	A1-2	2,7	0,05	2,6	0,08	3,2	0,03	2,8	0,06
	A2-1	1,8	0,20	1,5	0,12	1,5	0,08	1,4	0,03
	A2-2	1,5	0,13	1,6	0,05	1,6	0,05	1,4	0,05
	B1-1	-	-	4,1	0,11	4,1	0,18	4,0	0,13
	B1-2	2,5	0,05	2,6	0,08	2,4	0,18	1,6	0,28
	B2-1	1,4	0,06	1,7	0,08	1,5	0,00	1,5	0,03
	B2-2	1,4	0,08	1,5	0,06	1,7	0,09	1,7	0,05
90-10 min	A1-1	2,3	0,09	2,0	0,00	2,1	0,05	2,3	0,08
	A1-2	1,4	0,41	2,7	0,03	2,5	0,03	2,5	0,03
	A2-1	1,4	0,09	1,1	0,03	1,1	0,08	1,1	0,03
	A2-2	1,1	0,05	1,3	0,03	1,4	0,05	1,7	0,03
	B1-1	-	-	1,9	0,04	1,9	0,13	1,8	0,05
	B1-2	2,4	0,00	2,2	0,03	2,3	0,03	2,2	0,10
	B2-1	1,3	0,03	1,4	0,00	1,2	0,03	1,3	0,03
	B2-2	1,3	0,00	1,4	0,00	1,4	0,03	1,4	0,00

- Este ensaio não foi realizado nesta data

Quadro A.2.6 – Porosidade aberta
após um ano
- consultar Quadro 3.3

Argamassa	Média	σ
A1-1	32,5	0,27
A1-2	32,8	0,40
A2-1	27,2	0,29
A2-2	28,3	0,36
B1-2	33,0	0,15
B2-1	25,2	0,07
B2-2	25,2	0,19

Quadro A.2.7 – Caracterização mecânica dos provetes de capilaridade após um ano - consultar Quadro 3.3

Argamassa	Ensaio					
	E		Rt		Rc	
	Média	σ	Média	σ	Média	σ
A1-1	3790	38	1,1	0,62	0,3	0,03
A1-2	3200	6	0,7	0,04	0,5	0,00
A2-1	3400	10	0,5	0,00	1,3	0,05
A2-2	2410	1089 ⁸	0,2	0,25	1,4	0,04
B1-2	4840	45	1,2	0,18	0,4	0,00
B2-1	4360	51	0,8	0,10	0,7	0,03
B2-2	4480	17	0,9	0,34	0,7	0,03

⁸ Não foi dada muita relevância a estes valores por apresentarem um desvio padrão muito elevado

ANEXO 3 – FICHAS TÉCNICAS



Lusical H100

DESCRIÇÃO

A Lusical H100 é uma cal de construção utilizada como ligante, individual ou incorporada nas misturas formuladas. É aplicada principalmente nos rebocos, e numa forma geral na construção civil.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS e QUÍMICAS

Determinadas pelos métodos Laboratório Grupo em conformidade com os modos operatórios normalizados

Nos produtos formulados,
 - a granulometria da Lusical H100 otimiza a eficácia do produto acabado.
 - sua brancura garante uma qualidade constante dos rebocos.
 - seu forte teor em hidróxido de cálcio dá ao reboco a trabalhabilidade e sua permeabilidade ao ar

DOSAGEM e APLICAÇÃO

A Lusical H100 é entregue sob a forma pulverulenta. Sua dosagem é feita a partir do silo de armazenamento. Ela é extraída do silo com a ajuda de equipamentos de descolmatação como fundos vibrantes, canhões de ar, ou desagregadores rotativos. O produto é transportado por parafusos sem fim. Os materiais de dosagem devem ter em conta as características físicas do produto - densidade, fluidez - respondendo às exigências de precisão requeridas.

CONDICIONAMENTO

Entregue em saco, big-bag e em cisterna, a Lusical H100 é armazenada em silos estanques.

DADOS de SEGURANÇA

Ficha de segurança: Hidróxido de Cálcio.

O produtor garante que todas as diligências são efectuadas para o respeito dos critérios definidos. No entanto, trata-se de produtos naturais que podem apresentar ligeiras variações nas características físico-químicas sem incidência notável sobre a qualidade do produto

LUSICAL

F.P. 351 - CH 01 B - 06 / 2010



01- 06-2010

Valverde—2025-201 Alcanede - Portugal
 Telefone (+351)243 409 040: - Fax (+351) 243 400 474—E-mail: info.lusical@lhoist.com

Figura A.3. 1 – Ficha técnica da cal aérea hidratada