



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil

**Incorporação de resíduos cerâmicos vidrados em
argamassas bastardas. Estudo de propriedades físicas e
mecânicas.**

ANA ISABEL DA SILVA RAMOS

(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Civil, Perfil de Edificações

Orientadores:

Doutora, Ana Cristina Azevedo Gaminha Ribeiro Borges, Professora Adjunta do
ISEL

Júri:

Presidente:

Doutor, Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva, Professor Adjunto convidado
ISEL

Vogais:

Doutora, Maria Idália da Silva Gomes, Professora Adjunta do ISEL

Doutora, Ana Cristina Azevedo Gaminha Ribeiro Borges, Professora Adjunta do
ISEL

Dezembro de 2015

Agradecimentos

Agradeço a todos os colegas e amigos que me acompanharam durante o meu percurso académico em especial aos que estiveram presentes durante a elaboração da presente dissertação.

À minha orientadora Doutora Ana Cristina Azevedo, agradeço os conhecimentos transmitidos, a ajuda, motivação, disponibilidade e paciência demonstrados ao longo destes meses de trabalho.

À, Doutora Dulce e Silva Franco Henriques, agradeço pelo acompanhamento do trabalho experimental e pelos meios disponibilizados para a sua concretização.

Ao Laboratório de Materiais de Construção do ISEL, pelo fornecimento de materiais e equipamento e em especial ao técnico experimentador António Fernandes, pela disponibilidade, incentivo e ajuda demonstrada.

Agradeço aos meus pais e ao meu irmão por me terem acompanhado sempre, pelo amor, apoio incondicional, paciência e incentivo demonstrado durante todo o meu percurso de vida.

A toda a minha família pelo carinho e amizade.

Aos meus colegas e amigos, pela amizade e ajuda demonstrada durante todo o meu percurso académico.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram para a minha formação.

Resumo

A conservação do património edificado constitui no presente, a memória de uma civilização.

O conhecimento da composição e comportamento dos revestimentos antigos é importante para garantir a conservação do património edificado através das intervenções de conservação e reabilitação.

A presente dissertação tem como objetivo o estudo do desempenho de argamassas bastardas de cal aérea e cimento com substituição de cal aérea por resíduo cerâmico vidrado. As argamassas formuladas foram sujeitas a cura laboratorial. Realizou-se a caracterização física, e mecânica de modo a avaliar o seu desempenho ao longo do tempo.

O sector da construção pauta a sua atividade por elevados impactos ambientais ao nível da extração de elevadas quantidades de matérias-primas não renováveis, de elevados consumos energéticos e das consequentes e elevadas emissões de gases responsáveis por efeito de estufa. Além dos enormes excedentes que provem da indústria que normalmente seguem para aterro.

De forma a aproveitar esses excedentes de algumas indústrias, nomeadamente da cerâmica procedeu-se à transformação de produtos excedentes em resíduo, de forma a ser possível a sua incorporação argamassas, uma vez que na antiguidade, no império romano já se efetuava esta incorporação.

A produção de cimento tem elevados impactos ambientais, deste modo a redução da sua utilização através da incorporação de outros ligantes de natureza natural (cal aérea) e a possível substituição desses recursos naturais por excedentes irá aumentar a sustentabilidade do sector.

Palavras-Chave: Argamassas bastardas, argamassa de substituição, resíduos cerâmicos.

Abstract

In the present, the conservation of the built heritage constitutes the memory of a civilization.

The knowledge of composition and performance of the old coverings is crucial to ensure the preservation of the built heritage through intervention of conservation and rehabilitation.

This thesis aims to study the performance of aerial lime based mortars and cement with replacement of the aerial lime with glazed ceramic waste.

The bastard mortars have characteristics well-suited for these functions, once incorporates the best features of air lime and cement.

The construction sector bases its activity by high environmental impacts, because of the extraction of non-renewable raw material, high energy consumption and high emission of gases responsible for the greenhouse effect. In addition to huge surpluses that comes from the industry and that usually goes to landfill.

In order to take advantage of the surpluses in some industries, including ceramics, it was proceeded the transformation of surpluses in residue. In this way was possible to incorporate the residues in mortars, as the Roman Empire in ancient time proceeded.

The production of cement has high environmental impacts, thereby reducing their use by incorporating other ligands with natural source (air lime) and the possible replacement of these natural resources by surpluses will increase the sustainability of the sector.

The incorporation of residues leads to the study of new mortars formulations.

The formulated mortars were subject to a process of laboratory cure. It was reported over time, the performance, the physical and mechanical characterization of the mortars.

In the properties studied was recorded a good performance of the mortars, due to the placement of the ceramic powder.

Keywords: Bastard mortars, mortars of replacement, residuals of ceramic.

Simbologia

Siglas

CACI - Provete de argamassa de cimento, cal aérea e areia

DEC-Departamento de Engenharia Civil

ISEL-Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

EN-Norma Europeia

Notações escalares latinas/gregas

A - Área

a/l -Relação água/ligante

b - Lado da secção quadrada do provete

Ba - Baridade

d- Altura do provete; espessura do prisma

E_d - Módulo de elasticidade dinâmico

ρ Densidade do provete

v -Velocidade de pulso

ν -Coeficiente de Poisson

Esp - Espalhamento

Fc -Força de rotura à compressão

Ff - Força de rotura à flexão

Km- Quilómetro

h - Lado da secção quadrada do provete

L - Comprimento do provete ou distância entre os apoios do suporte do provete (flexão)

M - Massa do recipiente cheio de material (na baridade);

M0 - Massa do provete seco

M1 - Massa correspondente à pesagem hidrostática

M2 - Massa correspondente à pesagem saturada

Mi - Massa do provete no instante t_i (em contacto com água); massa do provete no instante t_i (ao longo da secagem)

M - Massa do provete

min - Minuto

MVA - massa volúmica aparente

MVR - massa volúmica real

Rc - Resistência à compressão

Rt - Resistência à tração por flexão

s - Segundo

T - Temperatura

t - Tempo

V - Volume do recipiente (na baridade)

VA - Valor assintótico

P - Massa volúmica

Índice de texto

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e Justificação do tema.....	1
1.2. Objetivo e Metodologia	3
1.3. Organização e Estrutura de texto	4
2. Estado de Conhecimento	7
2.1. Considerações iniciais.....	7
2.2. Argamassas	7
2.2.1. Considerações gerais	7
2.2.2. Caracterização geral de argamassas	8
2.2.3. Classificação das argamassas	9
2.2.4. Caracterização de componentes	12
2.2.5. Argamassas Bastardas	18
2.2.6. Exigências funcionais das argamassas de revestimento	19
2.2.7. Influência da cura	23
2.3. Argamassas para Reabilitação	24
2.3.1. Considerações gerais	24
2.3.2. Caracterização das Argamassas Antigas	25
2.3.3. Argamassas para Reabilitação.....	25
2.3.4. Requisitos a exigir aos rebocos de substituição	26
2.4. Resíduo cerâmico vidrado	27
2.4.1. Funcionalidades e objetivos da aplicação de resíduos cerâmicos nas argamassas 27	
2.4.2. Sustentabilidade e o fator ambiental	28
3. Trabalho Experimental.....	30
3.1. Considerações iniciais.....	30
3.2. Estudo e implementação de formulações.....	31
3.3. Caracterização dos provetes de argamassa	32
3.4. Materiais utilizados na preparação das argamassas	33

3.4.1.	Areia.....	33
3.4.2.	Resíduo cerâmico	33
3.4.3.	Ligante -Cal aérea	35
3.4.4.	Ligante -Cimento.....	36
3.4.5.	Água	37
3.5.	Ensaio de caracterização física dos constituintes das argamassas	37
3.5.1.	Análise granulométrica das areias.....	37
3.5.2.	Baridade das areias e dos ligantes	38
3.6.	Preparação de argamassas.....	40
3.7.	Ensaio em Estado fresco	42
3.8.	Provetes.....	44
3.8.1.	Preparação de provetes.....	44
3.8.2.	Identificação de provetes.....	46
3.9.	Condições de cura	47
3.10.	Ensaio das argamassas no estado endurecido	48
3.10.1.	Massa volúmica da argamassa endurecida	48
3.10.2.	Módulo de elasticidade dinâmico.....	49
3.10.3.	Resistência à tração por flexão e compressão	50
3.10.4.	Carbonatação.....	53
3.10.5.	Coeficiente de absorção de água por capilaridade	54
3.10.6.	Secagem	56
3.10.7.	Absorção de água a baixa pressão- por meio de tubos de Karsten.....	56
4.	Apresentação e Análise de Resultados	58
4.1.	Considerações iniciais.....	58
4.2.	Materiais	58
4.2.1.	Análise granulométrica	58
4.2.2.	Massa volúmica aparente dos constituintes em pó.....	60
4.3.	Caracterização das argamassas no estado fresco	61
4.4.	Caracterização das argamassas no estado endurecido	62
4.4.1.	Massa volúmica.....	62
4.4.2.	Módulo de elasticidade dinâmico.....	63
4.4.3.	Resistência à tração por flexão e à compressão.....	65
4.4.4.	Absorção capilar.....	67

4.4.5.	Ensaio de Secagem.....	74
4.4.6.	Absorção de Água a Baixa Pressão- Ensaio de Tubo de Karsten	76
4.4.7.	Profundidade de Carbonatação.....	78
4.5.	Correlação estabelecida entre as características avaliadas.....	80
4.5.1.	Massa volúmica e coeficiente de capilaridade	80
4.5.2.	Ductilidade	83
4.5.3.	Resistência à compressão, à flexão e módulo de elasticidade dinâmico	85
4.5.4.	Resistência mecânica e coeficiente de capilaridade	90
4.5.5.	Resistência mecânica e massa volúmica	93
5.	Comentários finais e desenvolvimentos futuros	96
5.1.	Considerações iniciais.....	96
5.2.	Comentários finais	96
5.3.	Desenvolvimentos futuros	97
6.	Referências bibliográficas.....	99
ANEXOS	A	
ANEXO A-Characterização dos constituintes das argamassas.....	C	
ANEXO B-Characterização das argamassas no estado fresco	E	
ANEXO C-Characterização das argamassas no estado endurecido.....	G	
ANEXO D-Fichas técnicas.....	U	

Índice de Figuras

Figura 1.1-Metodologia do trabalho.....	5
Figura 2.1- Representação esquemática da evolução da profundidade de carbonatação ao longo do tempo.....	15
Figura 3.1-Areia fina (a.) e grossa (b).....	33
Figura 3.2-Azulejos antes do procedimento de moagem	34
Figura 3.3-Esferas de Aço (a) e Máquina de desgaste Los Angeles (b).....	35
Figura 3.4- Resíduo cerâmico vidrado (azulejos após o processo de desgaste)	35
Figura 3.5-Cal aérea Lusical H100	36
Figura 3.6-Cimento Portland CEM I R 42,5 MPa.....	36
Figura 3.7-(a)Estufa, (b)Balança digital precisão 0,01g e (c)série de peneiros A200.....	37
Figura 3.8-(a) Areia fina, grossa, cimento e cal;(b) funil metálico;(c)remoção do material excedente;(d) balança de precisão 0,01g O procedimento adaptado, relativamente à norma NP EN 1097-3:2002 [38], difere essencialmente na utilização do copo cilíndrico onde se substituiu o copo cilíndrico de 1 [l] por um recipiente de 750 [ml].	40
Figura 3.9- Misturador mecânico de argamassas e proveta graduada.....	41
Figura 3.10-Copo da misturadora com constituintes secos das argamassas	42
Figura 3.11- Molde tronco-cónico	43
Figura 3.12-Molde prismático ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$)	45
Figura 3.13-Provetes antes da desmoldagem	45
Figura 3.14- Provetes com diferentes idades de cura.....	46
Figura 3.15-Identificação de provetes	47

Figura 3.16- Provetes na sala de cura.....	47
Figura 3.17-Estação meterológica.....	47
Figura 3.18-Aparelho de emissão de ondas ultrassônicas marca Proceq	49
Figura 3.19- Máquina de ensaios de Resistência à flexão e à compressão	51
Figura 3.20-Provetes sujeitos ao ensaio da flexão	52
Figura 3.21- Provetes sujeitos ao ensaio da compressão.....	53
Figura 3.23-Tina.....	55
Figura 3.24-Provetes durante o ensaio de absorção de água	56
Figura 3.25-Fixação de tubos de Karsten.....	57
Figura 4.1-Percentagem de material retido por peneiro	59
Figura 4.2-Curva granulometrica dos agregados	60
Figura 4.3 Apresentação de resultados da Massa volúmica [kg/m^3].....	63
Figura 4.4-Valores do módulo de elasticidade dinâmico	64
Figura 4.5- Ensaio de resistência à flexão.....	65
Figura 4.6-Ensaio de resistência à compressão	66
Figura 4.7- Absorção de água 28 argamassa 1-CACI-0%	68
Figura 4.8- Absorção de água argamassas 2CACI-10%	68
Figura 4.9-Absorção de água argamassa 3-CACI-15%	69
Figura 4.10- Absorção de água argamassa 4-CACI-20%	69
Figura 4.11- Coeficientes de absorção de agua por capilaridade argamassa 1-CACI-0%	70
Figura 4.12- Coeficientes de absorção de agua por capilaridade argamassa 2-CACI-10%	71

Figura 4.13-Coefficientes de absorção de agua por capilaridade argamassa 3-CACI-15%	71
.....	
Figura 4.14- Coeficientes de absorção de agua por capilaridade argamassa 4-CACI-20%	72
.....	
Figura 4.15-Valores Assimptóticos [kg/m^3].....	73
Figura 4.16- Curvas de evaporação da argamassa 1-CACI-0%	74
Figura 4.17- Curvas de evaporação da argamassa 2-CACI-10%	74
Figura 4.18- Curvas de evaporação da argamassa 3-CACI-15%	75
Figura 4.19- Curvas de evaporação da argamassa 4-CACI-20%	75
Figura 4.20- Absorção de água a baixa pressão aos 28 dias	76
Figura 4.21- Absorção de água a baixa pressão aos 60 dias	76
Figura 4.22- Absorção de água a baixa pressão aos 90 dias	77
Figura 4.23- Profundidade de carbonatação aos 28 dias.	78
Figura 4.24- Profundidade de carbonatação aos 60 dias	78
Figura 4.25- Profundidade de carbonatação aos 90 dias	79
Figura 4.26- Provetes onde se realizou o ensaio de carbonatação	79
Figura 4.27- Massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar da argamassa 1-CACI- 0%	80
Figura 4.28- Massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar da argamassa 2- CACI- 10%	81
Figura 4.29 - Massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar da argamassa 3-CACI- 15%	81
Figura 4.30- Massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar da argamassa 4-CACI- 20%	82

Figura 4.31-Quociente entre as resistências mecânicas, resistência à compressão e à flexão, das argamassas.....	84
Figura 4.32- Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias quatro formulações de argamassas.....	85
Figura 4.33- Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 60 dias das quatro formulações de argamassas.....	86
Figura 4.34- Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 90 dias das quatro formulações de argamassas.....	86
Figura 4.35- Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico da argamassa 1-CACI-0%	87
Figura 4.36- Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico da argamassa 2-CACI-10%	88
Figura 4.37- Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico da argamassa 3-CACI-15%	88
Figura 4.38- Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico da argamassa 4-CACI-20%	89
Figura 4.39- Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade da argamassas 1-CACI-0%.....	90
Figura 4.40- Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade da argamassas 2-CACI-10%.....	91
Figura 4.41- Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade da capilaridade da argamassas 3-CACI-15%	91
Figura 4.42- Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade da capilaridade da argamassas 4-CACI-20%	92
Figura 4.43- Resistências mecânicas e massa volúmica da argamassa 1-CACI-0%.....	93

Figura 4.44- Resistências mecânicas e massa volúmica da argamassa 2-CACI-10%.....	93
Figura 4.45- Resistências mecânicas e massa volúmica da argamassa 3-CACI-15%.....	94
Figura 4.46- Resistências mecânicas e massa volúmica da argamassa 4-CACI-20%.....	94

Índice de Tabelas

Tabela 2.1- Classificação das argamassas segundo Caserek, [10]	10
Tabela 2.2- Exigências funcionais e características necessárias para cada tipo de revestimento [3]	20
Tabela 2.3- Requisitos estabelecidos para as características das argamassas de revestimento para edifícios antigos [3]	22
Tabela 3.1- Formulações das argamassas em estudo.	31
Tabela 3.2- Informação contida na identificação de provetes	46
Tabela 4.1- Massa volúmica aparente [kg/m^3]	60
Tabela 4.2- Quantidade de água e valores de espalhamento	61
Tabela 4.3- Massa Volúmica [kg/m^3]	62
Tabela 4.4- Valores do Módulo de elasticidade dinâmico	64
Tabela 4.5- Resultados do ensaio de resistência à flexão	65
Tabela 4.6- Valores de Resistência à compressão	66
Tabela 4.7- Valores assintóticos [kg/m^2]	73
Tabela 4.8- Quociente entre as resistências mecânicas, resistência à compressão e à flexão.	83

1. Introdução

1.1. Enquadramento e Justificação do tema

O presente trabalho de dissertação tem como tema principal as argamassas bastardas e o seu desempenho na conservação e reabilitação de edifícios.

As argamassas têm um papel fulcral na Engenharia Civil uma vez que assumem um papel relevante, nomeadamente nos revestimentos que têm como função proteger a estrutura dos agentes agressivos e preservar a sua funcionalidade estética.

A sustentabilidade é um tema importante da atualidade, pois tem o objetivo de salvaguardar e preservar os recursos naturais. A diminuição da poluição através da reutilização de materiais provenientes de excedentes é uma excelente alternativa ao uso recorrente dos recursos naturais.

A incorporação de material cerâmico nas argamassas bastardas resultante do excedente de azulejos de uma fábrica de cerâmica vidrada seria uma opção para um material que à partida iria para aterro.

Atualmente, o estudo de viabilidade da reutilização de resíduos em argamassas ganhou uma nova importância, permitindo não só a diminuição dos impactes ambientais, provenientes da sua colocação em aterro, bem como a diminuição de consumo de recursos naturais.

Estudos de composição já realizados, conduziram à possível viabilidade da incorporação de pó cerâmico em argamassas, podendo tais formulações conduzir a melhorias na durabilidade e desempenho das argamassas de cal [1].

Para preservar e recuperar o património edificado de uma forma correta é primordial ter em consideração que as argamassas de substituição devem obedecer a requisitos específicos e possuir propriedades e materiais constituintes idênticos aos originalmente utilizados.

As argamassas à base de cal aérea, por apresentarem uma constituição semelhante à das argamassas antigas são as que, em geral, apresentam melhor compatibilidade com os suportes antigos. Mas elevados ritmos construtivos atualmente praticados, tornam

desvantajosa a utilização deste tipo de argamassas, devido aos seus longos tempos de presa, endurecimento e reduzida resistência mecânica inicial [3].

As argamassas bastardas de cal aérea e cimento são utilizadas, por vezes, em intervenções de conservação, como forma de prevenir as desvantagens inerentes à utilização de argamassas de um só ligante, tentando colmatar lacunas dos ligantes utilizados individualmente [5].

As características que o cimento lhe confere, e a grande capacidade de resistência adquirida em poucos dias, é um dos principais fatores da sua utilização.

Deste modo, pretende-se, com o trabalho a desenvolver, estudar a influência da substituição do ligante (cal aérea) por pequenas percentagens de resíduo cerâmico vidrado em argamassas bastardas.

1.2. Objetivo e Metodologia

O objetivo deste trabalho é explorar a viabilidade da incorporação de resíduos cerâmicos vidrados em argamassas, destinadas à reabilitação de rebocos. Serão formuladas argamassas bastardas de cimento e de cal aérea com diferentes teores de substituição do ligante cal aérea por resíduo cerâmico vidrado.

As argamassas serão submetidas a uma condição de cura em laboratório sendo realizadas avaliações em diferentes idades de cura.

Proceder-se-á ao estudo das suas propriedades físicas e mecânicas de forma a identificar formulações com potencial interesse para a aplicação em rebocos de reabilitação.

O estudo de viabilidade da reutilização de resíduos em argamassas ganhou uma nova dimensão, permitindo não só a diminuição dos impactos ambientais, provenientes da sua colocação em aterro, bem como redução do consumo de recursos naturais e o desenvolvimento de novos produtos de bom desempenho e compatibilidade a aplicar num largo leque de edifícios a reabilitar.

A metodologia será efetuada através do seguinte modo:

- O trabalho experimental irá desenvolver-se perante as propriedades físicas e mecânicas de argamassas bastardas com incorporação de resíduos cerâmicos vidrados. Depois da formulação das argamassas proceder-se-á a elaboração de provetes com o objetivo de obter amostras para efetuar os ensaios de forma a investigar as suas propriedades físicas e mecânicas.
- Serão realizados ensaios de estado fresco e endurecido. Os provetes serão curados em ambiente laboratorial. Serão feitas avaliações aos 28,60 e 90 dias para todos os grupos de provetes.

Deste modo serão realizados os seguintes ensaios:

- Ensaio de espalhamento;
- Ensaio de retração/variação dimensional;
- Ensaio de absorção capilar;
- Ensaio de secagem;
- Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico;
- Ensaio de resistência à flexão por tração;

- Ensaio de resistência à compressão;
- Absorção de água a baixa pressão- ensaio de tubo de Karsten;
- Ensaio de profundidade carbonatação.

Após a realização dos ensaios, os resultados serão apresentados e estudados de forma a obter conclusões que permitam satisfazer os objetivos do trabalho, ou seja chegar a formulações de argamassas bastardas com a incorporação de resíduos cerâmicos vidrados com boas características e comportamentos para aplicar em revestimentos.

1.3. Organização e Estrutura de texto

A concretização da presente dissertação apoiou-se em várias etapas que se apresentam de seguida.

Numa fase inicial, foi efetuada uma pesquisa bibliográfica sobre os temas referentes a argamassas bastardas, à cerâmica, reabilitação, com o intuito de reunir um conjunto alargado de informação essencial à elaboração da presente dissertação.

Recorrendo à leitura e análise de dissertações relacionadas com o tema em interesse, assim como a artigos de revistas e de congressos nacionais foi possível reunir um conjunto de informação que serviu de suporte base para este trabalho de investigação.

Na fase seguinte, efetuou-se o planeamento dos ensaios laboratoriais, isto é, definiram-se todos os ensaios relevantes a realizar, bem como os parâmetros a variar, em cada ensaio, e a planificação cronológica dos mesmos. Ainda nesta fase, procedeu-se à elaboração do mapa de materiais e respetivas quantidades, com o objetivo de determinar as quantidades totais de materiais necessárias ao trabalho de investigação.

Após a planificação e preparação dos ensaios, deu-se início à fase prática deste trabalho de investigação, a campanha experimental, desenvolvida no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).

Esta etapa foi dividida em três fases. Na primeira fase, procedeu-se à moagem dos azulejos para a obtenção do resíduo, depois realizou-se a análise granulométrica da areia e, bem como a determinação das massas volúmicas aparentes (baridades) de ambos os tipos de agregados, assim como as dos ligantes utilizados.

Na segunda fase, realizou-se a produção das argamassas, variando-se a percentagem de substituição em massa de cal aérea por resíduo cerâmico vidrado.

Por fim, na terceira fase, foram realizados ensaios aos provetes de argamassas.

Os principais cuidados a ter nesta fase do estudo devem-se com o cumprimento das normas adequadas, da planificação cronológica dos ensaios e na utilização de materiais do mesmo lote, pré-quantificados, em todo o estudo, de forma a não enviesar as conclusões.

Procedeu-se à análise e discussão dos resultados depois a realização dos ensaios.

Esta fase foi desenvolvida paralelamente à campanha experimental, possibilitando a análise do desempenho da atividade experimental, bem como a realização de uma análise crítica e justificativa dos resultados obtidos, referindo-se eventuais erros ocorridos, e comparando-se estes resultados com os obtidos por outros investigadores, citados na presente dissertação.

Após a pesquisa bibliográfica e a respetiva análise, deu-se início à seleção da informação e escrita da dissertação, onde se resumiu toda a informação consultada, bem como a obtida. A composição da dissertação foi realizada paralelamente ao trabalho de investigação. A Figura 1.1.1 ilustra as várias etapas para a concretização da presente dissertação.

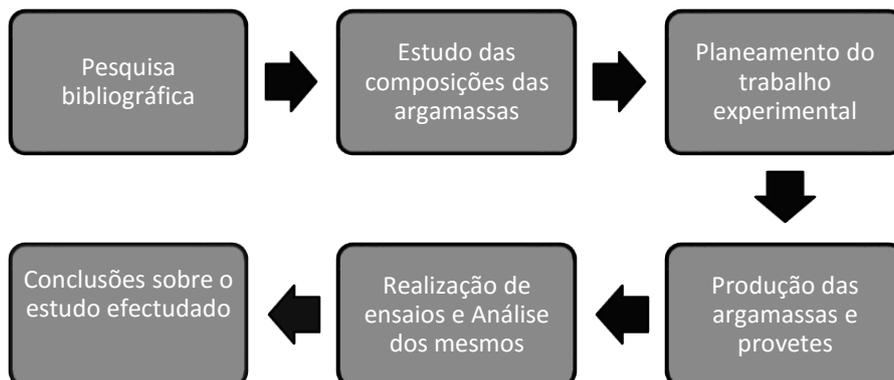


Figura 1.1-Metodologia do trabalho

O trabalho final concluiu, com a revisão de toda a dissertação, sendo que esta se encontra estruturada em cinco capítulos, nomeadamente:

- Capítulo 1 - este capítulo consiste numa introdução, onde são apresentadas as considerações iniciais sobre a problemática que envolve o tema em interesse; os principais objetivos da dissertação, assim como a estrutura do trabalho desde a pesquisa bibliográfica à versão final da compilação da dissertação, e a organização da mesma, por capítulos;
- Capítulo 2 - neste capítulo, são apresentadas as várias compilações do levantamento do estado de conhecimento, a nível nacional, onde são descritos e analisados os resultados de investigadores precedentes, relativamente às temáticas em estudo, nomeadamente argamassas de com incorporação de resíduo cerâmico;
- Capítulo 3 - neste capítulo são descritos todos os ensaios realizados, ao nível dos conceitos sobre cada ensaio, normalização a seguir, equipamentos necessários, procedimento a utilizar e forma de determinar os resultados; são caracterizados os constituintes das argamassas, são definidas as formulações, referem-se noções sobre a produção e preparação de provetes, assim como as condições de cura dos mesmos;
- Capítulo 4 - este capítulo é dedicado à apresentação e análise dos resultados obtidos na campanha experimental, tratada no Capítulo 3, onde, na primeira fase, se procede à análise dos ensaios referentes à análise granulométrica dos agregados e massa volúmica aparente (baridade) dos mesmos, assim como a dos ligantes; na segunda fase, procede-se à análise dos resultados obtidos ao nível da consistência por espalhamento das argamassas, massa volúmica aparente no estado endurecido, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à flexão, resistência à compressão, capacidade de absorção de água por capilaridade e respetiva secagem, variação dimensional (retração), os resultados são apresentados sob a forma de gráficos e tabelas;
- Capítulo 5 - neste capítulo final, são apresentadas as conclusões resultantes deste trabalho de investigação.

No final desta dissertação, são apresentadas as referências bibliográficas e os anexos, onde constam os resultados obtidos após a campanha experimental, com maior detalhe.

2. Estado de Conhecimento

2.1. Considerações iniciais

O presente capítulo tem como finalidade realizar uma síntese do conhecimento científico atual, para que seja de fácil compreensão e execução do presente trabalho.

As aplicações das argamassas hoje em dia são várias, os métodos para a sua colocação em obra são diferenciados, assim como as exigências funcionais que se lhes requerem.

O bom desempenho das argamassas está associado à sua compatibilidade com os elementos de construção em que será aplicada.

A constituição da argamassa é variável em função do elemento de construção onde vai ser aplicada, da sua função e da sua localização no edifício. As características dos elementos de construção de edifícios antigos necessitam de argamassas diferentes das que se aplicam em edifícios novos devido aos métodos de construção utilizados na época da construção dos mesmos. [6].

O conhecimento científico advém da execução de trabalhos e investigações realizadas anteriormente por diversos autores, que dão continuidade ao desenvolvimento do conhecimento, contribuindo assim para o seu progresso. Desta forma, recorrendo a vários documentos relativamente a cada tema abordado no capítulo obteve-se um suporte consistente de informação, procurando sempre uma base atualizada de informação.

2.2. Argamassas

2.2.1. Considerações gerais

O presente capítulo pretende fazer uma revisão ao estado atual do conhecimento, no domínio das argamassas de revestimento, em particular das bastardas. Será feita uma caracterização geral de argamassas de revestimentos.

Será realizada a caracterização dos materiais constituintes das argamassas e serão abordadas as principais exigências a que uma argamassa de revestimento deverá obedecer.

Por conseguinte, os objetivos deste capítulo são os seguintes:

- Caracterizar as argamassas, em particular as que têm função de revestimento;
- Classificação de argamassas conforme o tipo de ligante e número de ligantes;
- Caracterização dos componentes;
- Compreender a influência da cura nas argamassas;
- Sintetizar as funções, exigências funcionais e características das argamassas de revestimento e de reabilitação, referindo a regulamentação e normalização existente;
- Compreender os efeitos que a substituição de cal por resíduo cerâmico vidrado pode causar no comportamento das argamassas.

2.2.2. Caracterização geral de argamassas

A argamassa é um material compósito constituído por agregados, ligantes e água.

Estes materiais, quando misturados, formam uma espécie de pasta com várias funcionalidades. Às argamassas podem, contudo, adicionar-se certos elementos que irão favorecer determinadas características da pasta, os adjuvantes ou adições.

O principal objetivo das argamassas de revestimento é assegurar a proteção das estruturas e alvenarias contra os agentes de degradação de natureza, física, mecânica, química e biológica [7].

Deste modo, estes revestimentos devem cumprir funções de regularização / acabamento dos paramentos; proteção e impermeabilização; durabilidade e de adequabilidade ao uso, durante o seu ciclo de vida útil em condições normais de manutenção e custos, ainda, uma função decorativa, comunicando as intenções arquitetónicas dos edifícios [8].

Para preservar as argamassas, é necessário e importante, recorrer a ações periódicas de manutenção que dependem de um adequado diagnóstico e monitorização do desempenho em serviço durante o período de vida útil.

De uma maneira geral, o desempenho real destes dois tipos de argamassas é significativamente influenciado por vários fatores em serviço, associados à execução e aplicação destes sistemas de revestimento.

As condições em que a argamassa é misturada em obra e aplicada no suporte vão ter uma influência significativa no desenvolvimento da carbonatação, hidratação, compacidade,

retração, resistência mecânica e física, entre outras características relevantes para o desempenho destes revestimentos em serviço [9].

A interação entre a argamassa aplicada e o respectivo suporte, através do mecanismo de aderência, pode influenciar a resposta que o sistema de revestimento terá aos agentes de degradação em serviço [10].

2.2.3. Classificação das argamassas

As argamassas são materiais de construção constituídos por um ou mais ligantes, agregados, adjuvantes ou adições e água. Todos estes componentes e o seu modo de conjugação influem na qualidade final da argamassa [7].

As Normas EN 998-1:2003 [43] e EN 998-2:2003 [44] classificam as argamassas de acordo com três conceitos diferentes:

- De acordo com o local de produção;
- De acordo com a conceção;
- De acordo propriedades e utilização.

Classificação de acordo com o local de produção

Classificam-se nos seguintes três grupos:

- Argamassas Industriais - são aquelas que são doseadas e misturadas em fábrica. Podem-se apresentar “em pó”, requerendo apenas adição de água ou “em pasta”, já amassa pronta a aplicar.
- Argamassas industriais semi-acabadas - são argamassas pré-doseadas a modificar em obra. Dentro deste grupo existem as argamassas pré-doseadas e as argamassas pré-misturadas.
- Argamassas feitas em obra (ou tradicionais) - são argamassas compostas por constituintes primários (por exemplo, ligantes, agregados e água) doseados e misturados em obra.

Classificação de acordo com a sua concepção

- Segundo a sua concepção definem-se dois tipos de argamassas:
- Argamassas de desempenho (ou de prestação), cuja composição e processo de fabrico estão definidos pelo fabricante com vista a obter propriedades específicas;
- Argamassas de Formulação, que se fabricam segundo uma composição pré-determinada, para a qual as propriedades obtidas dependem da proporção entre os componentes.

Classificação de acordo com as suas propriedades e utilização

As propriedades e a sua utilização estão diretamente associadas ao fim a que se destinam como, por exemplo, os rebocos, mono massas, argamassas de alvenarias. [10].

Segundo Casarek [10], as argamassas também podem ser classificadas, em relação à natureza do ligante ao tipo de ligante, ao número de ligantes, quanto a consistência, traço e a densidade. A Tabela 2.1 apresenta a classificação anteriormente mencionada.

Tabela 2.1-Classificação das argamassas segundo Casarek, [10]

Critério de Classificação	Classificação
Quanto à natureza do ligante	➤ Argamassa aérea
	➤ Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de ligante	➤ Argamassa de cal
	➤ Argamassa de cimento
	➤ Argamassa de cimento e cal
	➤ Argamassa de gesso
	➤ Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de ligantes	➤ Argamassa simples
	➤ Argamassa bastarda
Quanto a consistência	➤ Argamassa seca
	➤ Argamassa plástica
	➤ Argamassa fluída
Quanto ao traço	➤ Argamassa pobre ou magra
	➤ Argamassa média ou cheia
	➤ Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade	➤ Argamassa leve
	➤ Argamassa normal
	➤ Argamassa pesada

Os vários tipos de argamassas têm diferentes denominações, atribuídas geralmente em função do tipo e número de ligantes utilizados, pois são estes que vão atribuir em maior escala as características e comportamento das argamassas.

Em geral podem dividir-se as argamassas em 3 grandes grupos:

- Argamassas à base de cal;
- Argamassas à base de cimento;
- Argamassas bastardas.

As argamassas à base de cal são argamassas cujo ligante utilizado é a cal. Existem dois tipos de cal: cal aérea e cal hidráulica.

Estes dois tipos diferem sobretudo na forma como se processam as reações que levam ao endurecimento e desenvolvimento de resistências mecânicas das argamassas que integram. Estas diferenças de reação explicam-se pelas diferenças químicas que existem entre componentes dos dois tipos de cal.

Às argamassas à base de cal, em especial aquelas à base de cal aérea, são reconhecidas as seguintes características e propriedades: baixas resistências mecânicas e obtenção lenta das mesmas, boa deformabilidade, elevada absorção capilar, elevada permeabilidade ao vapor de água, reduzida resistência à ação mecânica de sais solúveis e dificuldade em fazer presa em ambientes muito húmidos ou com fraca presença de CO_2 .

As argamassas à base de cimento são argamassas cujo ligante utilizado é o cimento.

Às argamassas à base de cimento são reconhecidas as seguintes características e propriedades: elevadas resistências mecânicas, baixa deformabilidade, suscetibilidade de ataque por sulfatos, baixa absorção capilar, baixa permeabilidade ao vapor de água, realização de presa em ambientes muito húmidos e fraca presença em CO_2 , pois esta é feita por hidratação [11].

As argamassas bastardas são argamassas cujo ligante resulta da mistura de dois tipos de ligantes diferentes, um aéreo e um hidráulico.

Esta opção é normalmente utilizada quando a utilização de somente um ligante apresenta inconvenientes, ou se revela insuficiente para a aplicação que se pretende, optando assim pela utilização de dois ligantes distintos em simultâneo, e dotando a argamassa de

características associadas a cada um dos ligantes, originando desta forma um produto diferente e com características melhoradas.

As argamassas de cal aérea e cimento apresentam características e desempenhos entre as argamassas à base de cal e as argamassas à base de cimento.

2.2.4. Caracterização de componentes

As argamassas de revestimento tradicionais são constituídas por ligantes, que poderão ser minerais (cimentos, cals aéreas e/ou hidráulicas), orgânicos, por agregados de granulometrias diversificadas, geralmente de reduzidas dimensões (areias naturais, extraídas do leito dos rios, ou de areiro, de natureza siliciosa ou calcária), por água de amassadura e, eventualmente, por adjuvantes e adições [6].

Uma vez que o estudo aborda principalmente as argamassas bastardas serão apenas referenciados os materiais utilizados neste trabalho experimental.

Ligantes

Os ligantes podem ser de origem mineral ou orgânica. Os ligantes de natureza mineral são usualmente fabricados a partir de rochas naturais (que contém cálcio, silício, alumínio, ferro). Os ligantes de natureza orgânica obtêm-se através de substâncias animais ou vegetais. Os ligantes de natureza mineral apresentam os principais materiais utilizados nas argamassas [7].

No grupo de ligantes minerais existem os ligantes aéreos, que endurecem somente com a presença do dióxido de carbono da atmosfera, caso da cal aérea, da argila e do gesso e os ligantes hidráulicos, que têm a propriedade de endurecer debaixo de água e de resistir à sua ação, caso das cals hidráulicas e do cimento [12].

Os ligantes são os componentes das argamassas que garantem coesão à mistura, e são o seu elemento mais influente, garantindo a união entre todos os componentes e dotando, desta forma, as argamassas de resistências mecânicas. Para além de promoverem a coesão da mistura, os ligantes vão influenciar as restantes características, propriedades e desempenho das argamassas [13].

No presente trabalho o estudo incidirá sobre as argamassas bastardas, tendo dois ligantes um aéreo, a cal aérea e um hidráulico o cimento, que serão apresentados de seguida.

Ligante aéreo: A cal aérea

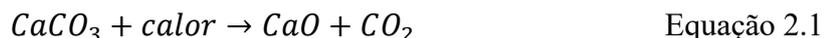
Cal, material abrangendo quaisquer formas físicas e químicas sob as quais pode aparecer o óxido de cálcio (CaO) e/ou o óxido de magnésio (MgO) e/ou os hidróxidos (Ca (OH)₂ e Mg (OH)₂) [14].

Segundo a norma NP EN 459-1:2011 [44] a cal aérea é constituída principalmente por óxido de cálcio, CaO ou hidróxido de cálcio, Ca (OH)₂. Este, na presença de humidade, endurece por reação com o dióxido de carbono.

A cal aérea pode ser de origem cálcica (CL) ou dolomítica (DL) e não endurece na água por não possuir propriedades hidráulicas.

As cals aéreas obtêm-se da cozedura de calcários (carbonato de cálcio, CaCO₃) com elevado grau de pureza, a uma temperatura que pode variar entre os 800°C a 1000°C, situando -se normalmente nos 900°C [7].

A aparência da rocha e do produto que se obtém após calcinação não são muito diferentes, mas as suas características transformam-se por completo. A calcinação (Equação 2.1) ocorre entre os 700°C e 850°C, que é a temperatura à qual a pressão do dióxido de carbono que sai do calcário é superior à pressão atmosférica. O carbonato de cálcio da rocha decompõe-se em dióxido de carbono (CO₂), que é libertado para o ar, e em óxido de cálcio (CaO), também designado por cal viva [15].

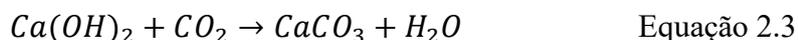


O produto obtido pela cozedura dos calcários designa-se por cal viva, que é sobretudo óxido de cálcio, produto este muito instável que necessita de ser hidratado. Esta hidratação (ou extinção) (Equação 2.2) desenvolve-se por reação do óxido de cálcio com a água, fornece a cal apagada (ou hidratada ou extinta), que é sobretudo hidróxido de cálcio – Ca (OH)₂. A hidratação pode desenvolver-se por imersão ou aspersão com água [15].



O endurecimento da cal aérea hidratada faz-se em duas fases: numa primeira fase dá-se a evaporação da humidade em excesso; na segunda fase, a fase de carbonatação, dá-se uma reação química ao ar, em que o hidróxido se reconverte em carbonato de cálcio por recombinação com o dióxido de carbono (CO₂) (Equação 2.3). A velocidade de

carbonatação é afetada pelo teor em água, pela temperatura, concentração em CO_2 , humidade relativa ambiente e, em argamassas, pela sua espessura e pela permeabilidade ao vapor da camada [15].



O hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) é solúvel na água (1,3 g/l) e ainda mais na água salgada, sendo incapaz de ganhar presa ou endurecer nestas condições. Assim, as argamassas de cal aérea hidratada, sem outras adições, não podem ser usadas em obras hidráulicas nem marítimas [16].

As argamassas de cal aérea endurecem por reações de carbonatação, estando a profundidade de carbonatação diretamente relacionada com a porosidade das argamassas, pois quanto mais porosas forem, maior facilidade o CO_2 terá em progredir ao longo da argamassa, conseqüentemente, a carbonatação realizar-se-á de uma forma mais rápida.

A fenolftaleína é um ácido fraco incolor que muda de cor quando os valores de pH estão compreendidos entre 8,3 e 10, ou seja, em meio alcalino. Como a carbonatação origina a redução do pH das argamassas, caso estas já estejam carbonatadas, não reagem com a fenolftaleína; caso contrário apresenta uma coloração cor-de-rosa forte [27].

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.

Com este ensaio pode-se interpretar a evolução do endurecimento da argamassa ao longo do tempo, do exterior para o interior, à medida que a reação com o dióxido de carbono vai evoluindo.

A Figura 2.1 representa-se esquematicamente a diminuição da área do núcleo interior não carbonatado de um provete prismático de argamassa, ao longo do tempo, em consequência da reação do hidróxido de cálcio com o dióxido de carbono do ar.

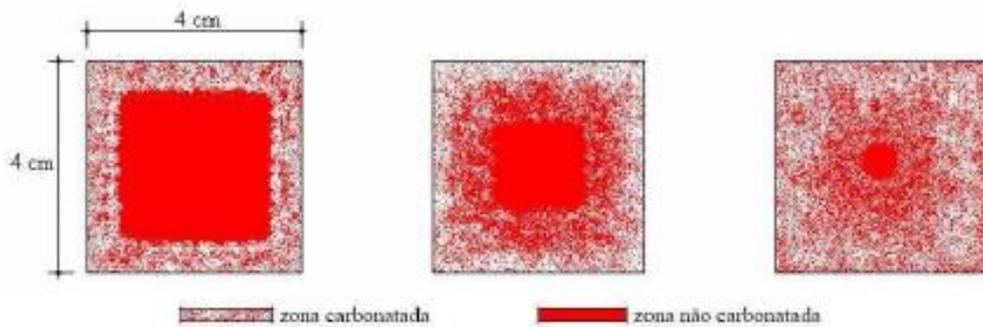


Figura 2.1- Representação esquemática da evolução da profundidade de carbonatação ao longo do tempo

Ligante hidráulico: O cimento

Cimento é um ligante hidráulico, isto é, um material inorgânico finamente moído que, quando misturado com água forma uma pasta que ganha presa e endurece por reações e processos de hidratação e que, depois de endurecida, conserva a sua capacidade resistente e estabilidade mesmo debaixo de água segundo EN 197-1:2000 [42].

O termo cimento deriva da palavra latina “cimentum”; era utilizada para designar todo o material apto a ligar, hoje é reservada para designar ligantes hidráulicos com características próprias nomeadamente resistências elevadas. A matéria-prima para obter o cimento Portland é idêntica à que se utiliza para fabricar a cal hidráulica variando a dosagem dos constituintes [7].

A temperatura é mais elevada, > 1280 °C para obter a clinquerização completa [7].

. No processo de cozedura vão ocorrendo fenómenos idênticos aqueles que ocorrem para obter a cal aérea e a cal hidráulica, mas a presença de quantidades mais elevadas de sílica e alumina e as temperaturas mais elevadas transformam completamente os materiais dando origem ao clínquer [6].

Os fenómenos que ocorrem durante a cozedura do cimento são os seguintes: 100 °C- eliminação da humidade 500 °C- desidratação da argila 900 °C- $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ 900 - 1200 °C- o óxido de cálcio (CaO) reage gradualmente com os compostos de argila (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3). 1200 -1280 °C- aparecimento duma fase líquida, início da fusão > 1280 °C – formação do clínquer, clinquerização completa entre os 1400 °C e os 1450 °C.

Para obter o cimento o clínquer é moído e ensacado. Há diversos tipos de cimento, aquele que é mais utilizado na construção é o cimento Portland artificial que se designa por Cimento Portland artificial- CPA 32,5 [7].

O processo de endurecimento do cimento está totalmente associado às reações dos compostos hidráulicos [7].

A reação dos aluminatos com a água é extremamente rápida e conduziria a uma presa instantânea se, ao cimento não se juntasse um retardador de presa, normalmente um sulfato (gesso- CaSO_4). Os silicatos e aluminatos endurecem ao fim de poucas horas prolongando-se até aos 28 dias [6].

Uma vez que a presa dos ligantes hidráulicos não é feita unicamente através de carbonatação (mas sim maioritariamente por hidratação de componentes), o seu endurecimento é mais rápido que no caso dos ligantes aéreos, sendo que esta é uma das principais vantagens reconhecidas ao cimento relativamente à cal aérea [13].

Agregados

Os agregados têm uma grande influência no comportamento das argamassas. Há vários fatores, como, a dureza, a forma dos grãos, a granulometria, a porosidade que afetam o comportamento da argamassa.

Mas também a sua origem, o estado de limpeza da areia são fatores que podem alterar as características da argamassa [7].

Os agregados constituem, geralmente, a maior porção de material constituinte das argamassas. Tratando-se de argamassas, os agregados que integram a mistura são areias [13].

As areias provêm da desagregação das rochas. Do ponto de vista químico, podem distinguir-se dois grupos principais: as areias siliciosas (quartzosas e graníticas) e as areias calcárias [7].

De facto, a areia funciona como o esqueleto da argamassa que ganha coesão pela ligação dos seus grãos ao ligante, pelo que, a qualidade do agregado é essencial no comportamento global da pasta [7].

Uma das condições para a utilização de agregados em argamassas é estarem limpos de impurezas químicas e orgânicas e matérias finas de natureza argilosa [7].

A granulometria indica-nos a quantidade de grãos de cada dimensão existente no lote de areia ensaiado. Uma areia bem graduada com menor volume de vazios é favorável [7].

Água

A água, a par dos ligantes e dos agregados, é também um dos elementos essenciais para se produzir argamassas.

A primeira função que a água desempenha nas argamassas é envolver o ligante e as partículas de agregado. Desta forma, é necessário que a quantidade de água seja suficiente para humedecer o agregado, ou seja, mesmo depois do agregado absorver uma parte da água continue molhado na superfície.

O humedecimento do agregado é bastante importante para a sua adesão ao ligante, que caso contrário se revela deficiente. Para além da função referida atrás, a água tem de ser em quantidade suficiente para que humedeça suficientemente as partículas de ligante, a fim de promover a adesão entre elas e também ao agregado.

Nos ligantes hidráulicos, tem de ser também suficiente para ser consumida nas reações de hidratação de alguns componentes, caso contrário as reações não são convenientemente desenvolvidas. Referidos estes dois aspetos, torna-se óbvio que se alguma das funções não for devidamente alcançada, tal vai ter implicações significativas nas resistências mecânicas das argamassas. Acontece que para se obter uma trabalhabilidade minimamente aceitável das argamassas é necessário utilizar uma quantidade de água bastante superior àquela necessária para executar as funções referidas acima.

A água pode assumir mais do que uma função, conforme o tipo de ligante que se esteja a utilizar. Assim, caso se trate de um ligante aéreo, a sua função é somente de promoção do envolvimento dos componentes da argamassa a fim de se obter uma mistura homogénea e coesa aquando do seu endurecimento.

A quantidade de água utilizada na execução das argamassas é normalmente superior àquela que seria necessária para a sua obtenção, deve-se à necessidade de se ter uma determinada trabalhabilidade para se conseguir aplicar a argamassa.

A quantidade de água é muito importante na definição de algumas características, como a porosidade da argamassa e conseqüentemente influencia o seu comportamento, sendo um dos principais parâmetros a controlar durante a sua execução [13].

A água de amassadura utilizada na execução de argamassas altera as suas características enquanto fresca e também as características obtidas aquando do seu endurecimento. Para além de ser necessária para garantir uma trabalhabilidade adequada e promover o envolvimento entre o ligante e o agregado, no caso dos ligantes hidráulicos é também necessária para desencadear as reações que originam o endurecimento da argamassa [13].

A água adicional que se junta às argamassas para se obter trabalhabilidade desempenha a terceira função. Esta quantidade de água, em conjunto com as restantes quantidades referidas, tem uma grande influência em termos de resistências mecânicas e porosidade nas argamassas, mais precisamente a relação entre a quantidade de água e de ligante. Esta relação denomina-se índice água/ligante [13].

Quanto maior for o índice água/ligante, maior é a quantidade de água que uma determinada argamassa possui.

Trabalhos anteriores mostram que quanto mais finas são as partículas sólidas das argamassas, maior é a quantidade de água necessária empregar nas argamassas e, portanto, maior é o índice água/ligante [13].

2.2.5. Argamassas Bastardas

As argamassas bastardas, apresentam características distintas. Existem, vantagens e desvantagens na utilização de argamassas bastardas.

Vantagens

- O cimento proporciona uma presa hidráulica que ocorre antes que ocorra a retração, reduzindo, portanto, os riscos de fissuração [17];
- As sucessivas camadas podem ser sobrepostas mais rapidamente, sem que seja necessária uma longa espera pela presa de cada uma antes da aplicação da seguinte [17];
- Endurecem rapidamente, proporcionando assim proteção contra a chuva antes de se ter completado a carbonatação [17];

- Sendo uma substância artificial, manufaturada sob condições rigorosamente controladas, é de utilização fiável e previsível [17];

Desvantagens

- Alguns cimentos contêm apreciáveis quantidades de sais solúveis, em particular de sulfato de potássio, que se podem constituir numa causa de degradação na alvenaria [17];
- Ocorrem riscos de segregação, já que o cimento se separa da cal conforme a argamassa seca e endurece, uma vez que na 1 fase ocorre presa hidráulica e na segunda recarbonatação da cal apagada [17];

A argamassa resultante ficará seriamente enfraquecida, com uma estrutura porosa pobremente formada, tornando-a muito suscetível de sofrer danos por congelamento e degradações, mesmo após ter tido lugar a carbonatação da cal aérea presente [17].

2.2.6. Exigências funcionais das argamassas de revestimento

As argamassas podem ter diferentes tipos de utilizações numa construção nova ou numa ação de reparação, conservação ou reabilitação e devem ser devidamente avaliadas de modo a serem estabelecidos os requisitos adequados a cada situação.

A escolha do tipo de argamassa utilizada deve ser efetuada segundo a função que a argamassa vai desempenhar: reboco exterior ou interior, assentamento ou refechamento de juntas [18].

A escolha dos materiais a usar na realização de uma argamassa de substituição deve-se aos critérios de compatibilidade física e química, critérios estéticos e de comportamento conjunto com os elementos pré-existentes.

As argamassas de substituição devem contribuir para a preservação das alvenarias onde vão ser aplicadas e para a durabilidade do conjunto e não para a degradação dos elementos pré-existentes, nem prejudicar a apresentação visual da arquitetura precedente [18].

Uma argamassa de substituição inadequada pode provocar/acelerar o processo de degradação dos elementos onde é aplicada.

Este fenómeno pode ocorrer por introdução de tensões excessivas num suporte eventualmente fraco e com deficiências de coesão; ainda no caso dos rebocos, através da tendência para reter a água no suporte, em lugar de facilitar a sua secagem; no caso das

juntas de refechamento, através da alteração dos caminhos preferenciais de circulação da água (forma líquida ou vapor) das argamassas que eram primitivamente mais porosas e permeáveis, provocando a degradação da alvenaria por patologias relacionadas com a humidade; introduzindo saís onde podiam não existir [8].

As exigências funcionais e características necessárias que cada tipo de argamassa deve ter, podem ser resumidas através da Tabela 2.2 [3].

Tabela 2.2- Exigências funcionais e características necessárias para cada tipo de revestimento [3]

Função	Exigências funcionais	Características necessárias
Reboco exterior	Proteção contra a Acção da água (forma líquida ou vapor)	Baixa absorção e elevada permeabilidade ao vapor de água
Reboco interior	Proteção contra ações mecânicas	Boa dureza superficial
Refechamento de juntas	Proteção contra a água/ estabilidade estrutural	Baixa absorção de água, elevada permeabilidade ao vapor de água e expansibilidade

Argamassas para rebocos exteriores

Os revestimentos exteriores assumem grande importância na conservação patrimonial. Estes são dos elementos mais expostos às ações climáticas além de possuírem um papel determinante na proteção de choques mecânicos.

Os rebocos podem reforçar significativamente a resistência mecânica de alvenarias fracas, aspeto que não pode ser desprezado, já que nas paredes antigas as argamassas têm, em geral, funções estruturais [8].

De entre outras características necessárias nas argamassas para a proteção das alvenarias, destacam-se as seguintes:

- A absorção de água deve ser a menor possível, em termos de baixo coeficiente de capilaridade mas, sobretudo, de um valor assintótico pouco significativo [8];
- A água que se infiltra na argamassa deve poder sair, pelo que a permeabilidade ao vapor de água e a secagem são características fundamentais para o seu desempenho [8];

- Do ponto de vista das resistências mecânicas, as argamassas devem possuir duas características básicas: não devem ser mais fortes que as alvenarias, nem mais indeformáveis; sendo aplicadas em mais de que uma camada (para redução da possibilidade de entrada de água por fendilhação), as resistências mecânicas devem decrescer do interior para o exterior [8];
- A aderência da argamassa ao suporte é essencial para a proteção da alvenaria. Esta característica está relacionada diretamente com a resistência mecânica;
- A resistência aos sais solúveis deve ser a maior possível pois estes são comuns em paredes antigas. É importante referir que estas características são garantidas pelo revestimento no seu conjunto e não por uma única camada de argamassa.

No processo de seleção da composição e formulação de argamassas de substituição o método ideal seria caracterizar a argamassa pré-existente, reproduzi-la e aplicá-la segundo as técnicas tradicionais na época original [8].

Assim sendo, o processo de seleção da composição de uma argamassa de reboco, que idealmente deve ser um processo iterativo, deve seguir os seguintes passos: preparação de uma argamassa de constituição semelhante a uma já testada do tipo e época do edifício em estudo; realização de ensaios para verificação dos requisitos mínimos; realização de correções à formulação experimentada, se necessário [18].

O processo deve-se tornar mais minucioso e iterativo dependendo da importância histórica e cultural do edifício [15] [8] .

Relativamente aos ensaios a realizar, estes podem-se separar segundo [18]:

- Características necessárias para garantia da proteção das paredes onde as argamassas estão aplicadas, determinadas através de:
 - Resistências à compressão e à flexão;
 - Tempo de presa;
 - Aderência (em função de um determinado substrato existente ou de um padrão);
 - Módulo de elasticidade (dinâmico ou estático);
 - Absorção de água por capilaridade (em termos do coeficiente de capilaridade e do respetivo valor assintótico);

- Permeabilidade ao vapor de água (ou índice de secagem).

➤ Características necessárias para prevenção da degradação das argamassas, determinadas por:

-Retração e variações dimensionais (por ações de temperatura e humidade).

A Tabela 2.3 reúne os valores referência para as características mencionadas acima.

Tabela 2.3- Requisitos estabelecidos para as características das argamassas de revestimento para edificios antigos [3]

Função	Características mecânicas [Mpa]			Comportamento à água
	Rt [Mpa]	Rc [Mpa]	Ed [Mpa]	CC [kg/ (m ² .min ^{1/2})]
Reboco exterior	0,2-0,7	0,4-2,5	2000-5000	1,0<CC<1,5
Reboco interior	0,2-0,7	0,4-2,5	2000-5001	-
Refechamento de juntas	0,4-0,8	0,6-3,0	3000-6000	1,0<CC<1,5

As resistências mecânicas são parâmetros relevantes na caracterização das argamassas pois permitem determinar a sua capacidade resistente. No que diz respeito à caracterização de uma argamassa de revestimento, de assentamento ou outra, estes devem ter em conta o respetivo processo de seleção [25].

Existem outros parâmetros de avaliação das características necessárias para as argamassas, tais como a aderência, o comportamento à retração restringida, a espessura da camada de ar de difusão equivalente, ensaios com humidímetro e envelhecimento artificial acelerado. [8],

Os requisitos referentes a esses parâmetros não foram apresentados por não se encontrarem no âmbito do presente estudo.

2.2.7. Influência da cura

A cura das argamassas é importante para o desempenho das argamassas. Vários estudos mostram que diferentes tipos de cura originam características e comportamentos distintos nas argamassas.

No entanto, a aplicação de processos de cura semelhantes a argamassas de diferentes tipos revela-se adequada somente para algumas dessas argamassas. Desta forma, a comparação entre os vários parâmetros de argamassas deve ter em conta o tipo de cura a que foram submetidas, para se efetuar uma comparação mais precisa entre argamassas.

O processo de endurecimento e o desenvolvimento de resistências mecânicas estão associados a processos de carbonatação e/ou hidratação. Durante estes dois processos a cura é bastante importante, nomeadamente, nas condições em que se dá.

Normalmente, a cura é controlada em relação a dois parâmetros: temperatura e humidade relativa.

A temperatura influencia a humidade relativa e, por isso, o limite de saturação do ar, é importante para controlar a velocidade de evaporação da água e pode ser bastante importante em argamassas com componentes que necessitem de reagir com a água para desenvolver reações que levam ao endurecimento e desenvolvimento de resistências mecânicas, como é o caso de argamassas à base de cal hidráulica ou cimento. Ou seja, o aumento da temperatura resulta em diminuição da humidade relativa e num aumento do limite de saturação do ar e promove a evaporação acelerada da água das argamassas.

Desta forma pode prejudicar as reações dos componentes, dando-se estas de forma deficiente (ou mesmo não se dando) e resultar em argamassas com menores resistências mecânicas. No entanto, para argamassas cujo processo predominante de endurecimento seja a carbonatação, uma mais rápida evaporação da água (dentro de certos limites) é benéfica, pois aumenta a velocidade do processo de carbonatação [13].

No entanto, a humidade relativa parece ser a condição que tem uma maior influência na cura das argamassas, principalmente a longo prazo. Estudos indicam que as argamassas de ligantes aéreos sujeitas a ambientes com humidades relativas próximas de 60% apresentam taxas de carbonatação superiores, aumentando assim as suas resistências mecânicas mais rapidamente.

Para argamassas de ligantes hidráulicos, humidades relativas mais elevadas são mais favoráveis pois permitem uma melhor hidratação dos seus componentes.

Ambientes de cura com temperatura de $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa de $60\pm 10\%$ são mais favoráveis a argamassas ricas em cal aérea do que para argamassas ricas em cimento [13].

2.3. Argamassas para Reabilitação

2.3.1. Considerações gerais

A conservação do património edificado é realizada através de intervenções de manutenção.

O termo reabilitação, refere-se às intervenções necessárias num edifício ou propriedade, que visam, aumentar a vida útil do imóvel e/ou o seu valor económico, melhorar a qualidade de vida dos utilizadores.

As argamassas podem ser usadas em aplicações muito distintas, como por exemplo em revestimentos exteriores de parede, revestimentos interiores, refechamento de juntas, injeções de consolidação, às quais correspondem objetivos também diferenciados. Cada um destes tipos de aplicação deverá obedecer a requisitos diferentes, pelo que cada caso deve ser considerado separadamente. Embora os materiais adotem a mesma designação em todas estas situações, tratam-se de situações muito distintas e que, por isso, devem ser consideradas segundo abordagens também diferentes [18].

Na reabilitação de edifícios antigos, as argamassas de substituição aplicadas em rebocos assumem um papel importante, dada a frequência com que os revestimentos são alvo de intervenção. Neste domínio têm sido utilizadas diversas argamassas, desde argamassas de cimento, a argamassas de cal, argamassas bastardas, aditivadas e até pré-doseadas, sendo que todas elas apresentam vantagens e inconvenientes que devem ser equacionadas de modo a não por em causa a necessária compatibilidade com o suporte e função de proteção [4].

2.3.2. Caracterização das Argamassas Antigas

Os trabalhos de reabilitação de revestimentos em edifícios antigos devem ser precedidos de uma análise quer da profundidade da degradação quer do mesmo valor histórico ou artístico do imóvel a reabilitar.

Para definir as condições a respeitar pelas características da nova argamassa a utilizar seria, em rigor, necessário conhecer as características dos elementos pré-existentes com os quais ela irá interagir.

Uma avaliação caso a caso destas características das paredes afigura-se apenas possível para construções de elevado interesse histórico ou arquitetónico, mas não para a grande maioria dos edifícios antigos, apesar da importância da sua preservação, com destaque para os que constituem Centros Históricos das cidades.

Em casos de imóveis de valor histórico relevante a primeira opção deve passar sempre pela conservação do revestimento antigo através de operações de manutenção. Caso não seja possível pode optar-se por uma operação de consolidação.

Se o nível de degradação for muito elevado poderá ser necessário uma operação de substituição parcial, sendo que a total será sempre a última opção a considerar.

O cidadão comum deve ser sensibilizado para que a preservação/reabilitação seja imposta sempre que possível à substituição integral por novos elementos.

Um dos problemas relacionados com a determinação das propriedades de argamassas antigas tem a ver com o facto de se utilizarem fragmentos não normalizados [19].

A caracterização das propriedades de argamassas de edifícios antigos não dispensa avaliação “in situ” das suas propriedades físicas e mecânicas.

2.3.3. Argamassas para Reabilitação

Após a identificação da composição da argamassa de revestimento original, assim como as suas propriedades mecânicas e físicas, é necessário projetar as características das argamassas de substituição e proceder a análise da compatibilidade entre as duas.

Mais importante que a questão dos materiais é a forma como é realizada a mistura e aplicação posterior da argamassa.

Tendo em conta os requisitos, o método ideal de seleção de uma argamassa de substituição seria o seguinte:

- Caracterizar a argamassa pré-existente, identificando a sua constituição qualitativa e quantitativa [8];
- Reproduzir essa argamassa [8];
- Aplicá-la segundo as técnicas tradicionais na época original [8].

No entanto, esta via revela-se, só por si, insuficiente umas vezes que existem muitos fatores que podem afetar o resultado final [8].

2.3.4. Requisitos a exigir aos rebocos de substituição

A adequabilidade dos materiais a usar na realização de revestimentos de substituição prende-se com critérios de compatibilidade, funcionais, de aspeto e de comportamento futuro em conjunto com os pré-existentes, nomeadamente, a aceleração da degradação das paredes e também os surgimento de fenómenos de envelhecimento diferencial entre novos e velhos revestimentos [3].

Quando é necessário recorrer à substituição, parcial ou total, do reboco antigo, o revestimento a escolher deverá, em primeiro lugar, respeitar os seguintes requisitos gerais [3]:

- Não contribuir para degradar os elementos pré-existentes, nomeadamente as alvenarias [3];
- Proteger as paredes [3];
- Não prejudicar a apresentação visual da arquitetura, nem descaracterizar o edifício [3];
- Ser durável (e contribuir para a durabilidade do conjunto) [3].

Não contribuir para degradar os elementos pré-existentes é, naturalmente, o primeiro requisito, principalmente porque o respeito pelas exigências de autenticidade implica a preservação dos elementos mais antigos do edifício durante o máximo tempo possível [3].

2.4. Resíduo cerâmico vidrado

O resíduo cerâmico vidrado resulta da moagem de azulejos cerâmicos vidrados através de um processo de moagem.

Os azulejos cerâmicos vidrados são um produto resultante do processo de fabrico através da seleção das matérias-primas (argila, caulim, quartzo, feldspato, filito, talco, calcita, dolomita, magnesita, cromita, bauxito, grafita e zirconita), processo de preparação da massa, cozedura e secagem.

A introdução e resíduos não é recente pois na antiguidade já se realizava essa prática de forma a melhorar o desempenho das argamassas.

“Apagada a cal, misturar-se-á a argamassa, de modo que se lancem nela três partes de areia, no caso de ser origem fóssil, para uma parte de cal; se de origem fluvial ou marinha, misturem-se duas partes de areia com uma de cal. Deste modo se conseguirá a proporção ideal de caldeamento. Também se se acrescentar, como terça parte a esta areia fluvial ou marinha, cerâmica cozida em forno, moída e passada ao crivo, conseguir-se-á uma mistura de argamassa de melhor aplicação.” [7].

2.4.1. Funcionalidades e objetivos da aplicação de resíduos cerâmicos nas argamassas

A incorporação de resíduos de cerâmica em argamassas de edifícios era uma prática corrente na antiguidade, com excelentes resultados, mas que caiu em desuso.

Os resíduos de barro vermelho eram usados em pó fino, como pozolanas, e em granulometria mais grosseira, como agregados. De uma e de outra forma, produziam alterações significativas nas características das argamassas com base em cal aérea. [1]

Assim, numa tentativa de conjugar o interesse da reutilização dos resíduos de cerâmica, reduzindo as quantidades que são normalmente depositadas em aterro, com os benefícios técnicos que os mesmos podem trazer às argamassas de substituição/reabilitação estudasse a possibilidades de encontrar uma composição de argamassas que cumpra características de exigência mínimas.

O relatório de desperdícios da indústria cerâmica realizado pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, relativo ao ano de 2003 [20], indica

que os resíduos provenientes do processo produtivo rondam cerca de 96% da totalidade dos resíduos produzidos pelas indústrias responsáveis pelo fabrico de peças cerâmicas - tijolos, ladrilhos, telhas e outros produtos construtivos - nesta região; 37% destes resíduos correspondem a cacos cozidos e são maioritariamente depositados em aterro [21].

2.4.2. Sustentabilidade e o fator ambiental

O bom conhecimento dos materiais de construção é um requisito fundamental para promover quer a qualidade quer mesmo a sustentabilidade da indústria da construção [23].

O desenvolvimento sustentável, satisfaz as necessidades atuais, sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Assim sendo, foi introduzido o conceito de construção sustentável, com base em seis princípios básicos:

- Minimizar o consumo de recursos;
- Maximizar a reutilização dos recursos;
- Reciclar materiais em fim de vida e utilizar recursos recicláveis e renováveis;
- Proteger o ambiente natural;
- Eliminar materiais tóxicos e os subprodutos em todas as fases de ciclo de vida;
- Fomentar a qualidade ao criar ambiente construído.

Está-se a sentir um ressurgimento na utilização de argamassas com base em cal também devido ao aumento da consciencialização dos benefícios ambientais e estruturais a elas associados.

A cal é um material com uma boa trabalhabilidade e durabilidade, com uma porosidade e permeabilidade elevadas, que confere aos edifícios a possibilidade de libertarem, na forma de vapor, a humidade, protegendo as alvenarias dessa humidade e prevenindo a formação de condensações.

Temperaturas mais baixas de produção, em comparação com outros ligantes, tais como o cimento Portland, exigem menos combustível e permitem que uma produção em pequena escala ocorra perto de fontes de calcário, reduzindo assim os custos de transporte e a poluição [16].

Uma maior consciência ambiental das vantagens das argamassas de cal em termos de emissões de dióxido de carbono (CO_2) libertado durante o fabrico, e da adsorção do CO_2 durante a carbonatação, é um fator que também promove a sua utilização [16]. Em termos energéticos, a utilização de cal como ligante de argamassas é mais conservadora, uma vez que estes ligantes são produzidos através de temperaturas de cozedura mais baixas e requerem reduzida ou nenhuma energia para moagem [22].

3. Trabalho Experimental

3.1. Considerações iniciais

No presente trabalho experimental pretende-se estudar as características mecânicas e físicas das argamassas com diferentes tipos de substituição de um ligante (cal aérea) por resíduo cerâmico vidrado na sua constituição.

As amassaduras foram executadas com diferentes substituições sendo produzidos quatro tipos distintos de argamassas para análise no presente estudo.

Na campanha experimental, foram preparados 108 provetes prismáticos que foram produzidos em três fases consoante as idades de cura 28,60 e 90, com dimensões 4x4x16 cm³, sendo o volume inicial de cada prisma de 256 cm³,

Todos os provetes prismáticos foram realizados no Laboratório de materiais de construção no departamento de Engenharia Civil do ISEL.

A caracterização das argamassas será realizada com ensaios no estado fresco, consistência por espalhamento e no estado endurecido, massa volúmica, resistência à compressão (Rc) e à flexão (Rf), módulo de elasticidade dinâmico (MED), absorção de água por capilaridade (AC), secagem e carbonatação, absorção de água a baixa pressão- ensaio de tubo de Karsten.

Após a execução de cada amassadura, realizou-se o ensaio no estado fresco referente à consistência por espalhamento, através do qual se pretende obter o mesmo espalhamento para cada amassadura. Para que seja garantido, que todas as argamassas tenham a mesma trabalhabilidade.

A fase inicial do trabalho consistiu na análise granulométrica das areias e determinação da massa volúmica aparente de todos os constituintes.

Continuamente foi determinada a quantidade de água de amassadura, predefinindo o espalhamento de forma a garantir a trabalhabilidade. Para cada argamassa no estado fresco foi determinada a consistência por espalhamento.

Após garantida a trabalhabilidade prosseguiu-se a produção das argamassas. Para a caracterização das argamassas no estado endurecido foram efetuados trinta e seis provetes prismáticos (4x4x16cm³) de cada formulação.

A campanha experimental foi realizada inteiramente no Laboratório de Materiais de Construção da Área Departamental de Engenharia Civil do ISEL.

As regras de segurança foram cumpridas e respeitadas na totalidade, tanto no manuseamento dos equipamentos como na utilização das devidas proteções individuais.

3.2. Estudo e implementação de formulações

O presente estudo incide sobre argamassas bastardas de cimento, cal aérea e areia.

A um determinado traço volumétrico corresponde sempre uma composição em massa. A conversão de traços em volume para traços em massa, é normalmente efetuada com base no conhecimento da baridade dos constituintes sólidos - relação entre a massa ocupada e um determinado volume por ela ocupado. As condições de compactação dos constituintes da argamassa têm que permanecer inalteradas (mantém-se a baridade constante) [6].

Para este estudo será realizado uma incorporação dos resíduos através da substituição mássica em percentagem de um ligante (cal aérea) por resíduo cerâmico vidrado.

As argamassas foram formuladas com base em estudos anteriores em que substituições elevadas, superiores a 20% não tiveram bons resultados [31]. Deste modo optou-se por formular as argamassas com substituições no intervalo entre o 0% e os 20%.

Durante a campanha experimental foram estudadas quatro formulações de argamassas. Deste modo as argamassas têm todas os mesmos constituintes, mas diferentes percentagens de ligante substituída, exceto a formulação base que não contém o resíduo. A Tabela 3.1 sintetiza as formulações das argamassas em estudo.

Tabela 3.1-Formulações das argamassas em estudo.

	Argamassa	Nomenclatura	Traço mássico	Teor de substituição de cal aérea por resíduo cerâmico
1	Cimento, cal aérea e areia	CACI c/0%	1:1:6	0%
2	Cimento, cal aérea, resíduo cerâmico e areia.	CACI c/10%	1:1:6	10%
3	Cimento, cal aérea, resíduo cerâmico e areia.	CACI c/15%	1:1:6	15%
4	Cimento, cal aérea, resíduo cerâmico e areia.	CACI c/20%	1:1:6	20%

A primeira fase do presente estudo baseou-se na caracterização dos materiais que constituem as argamassas, determinando a análise granulométrica dos agregados, a baridade e as respectivas quantidades dos constituintes das argamassas.

A baridade de um agregado depende do modo como as partículas estão arranjadas no recipiente, da sua forma e granulometria e do seu grau de compactação e humidade. Partículas com dimensões uniformes (agregado monogranular) podem ser arranjadas de determinada forma, mas adicionando outras partículas de menores dimensões, que se inserem nos vazios existentes entre elas, a baridade aumentará (pois ao preencher esses espaços aumenta-se a quantidade de material, mantendo o mesmo volume de recipiente).

A baridade de um agregado depende do volume de vazios, sendo este variável, na medida em que varia de acordo com o grau de compactação. Por outro lado, a baridade depende também do teor de humidade da areia, uma vez que a quantidade absorvida na superfície das partículas condiciona o grau de compactação [16].

A determinação da quantidade de água de amassadura procedeu-se após o cálculo das quantidades dos constituintes, através do ensaio da consistência de espalhamento pretendido. Depois de a trabalhabilidade das argamassas estar garantida, prosseguiu-se a produção das argamassas.

Após a preparação das argamassas, estas serão analisadas no estado fresco e endurecido, aos 28,60 e 90 dias de idade.

Na análise das misturas utiliza-se diversos ensaios, com o intuito de caracterizar as diferentes argamassas a nível físico e mecânico.

3.3. Caracterização dos provetes de argamassa

No presente trabalho experimental pretende-se estudar as características mecânicas e físicas das argamassas com diferentes tipos de substituição mássica de um ligante (cal aérea) por resíduo cerâmico vidrado na sua constituição. A caracterização será realizada através dos diversos ensaios mencionados anteriormente.

3.4. Materiais utilizados na preparação das argamassas

Os materiais utilizados neste trabalho experimental foram como ligantes cimento e cal aérea, como agregado a areia e como adição resíduo cerâmico vidrado e água.

3.4.1. Areia

A areia incorporada nas formulações das argamassas é uma mistura de 60% de areia fina e 40% de areia grossa (Figura 3.1).

Segundo P. Silva [32], uma mistura de 60% de areia fina e 40% de areia grossa apresenta uma curva ótima.

A presença de finos nas argamassas confere maior trabalhabilidade e coesão às argamassas.

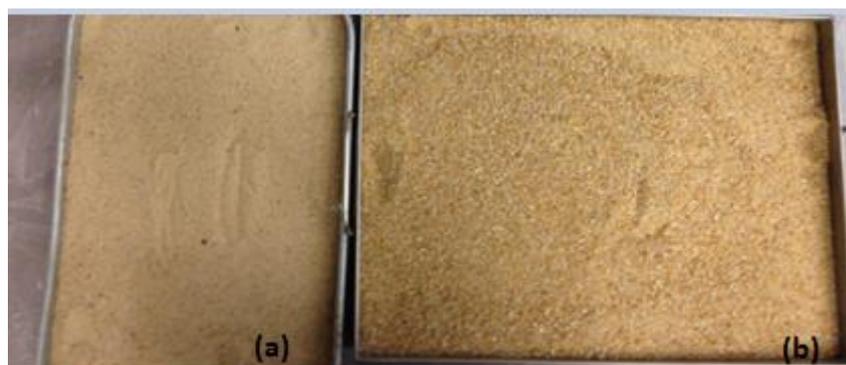


Figura 3.1-Areia fina (a.) e grossa (b)

3.4.2. Resíduo cerâmico

O resíduo cerâmico incorporado nas formulações de argamassas é um material cerâmico resultante do fabrico de azulejos vidrados na fábrica Viúva Lamego.

Os azulejos, (Figura 3.2) foram submetidos a um processo de moagem na máquina de desgaste Los Angeles no Laboratório de Materiais do ISEL (Figura 3.3), para se obter o resíduo (Figura 3.4) de forma a incorporar nas argamassas.



Figura 3.2-Azulejos antes do procedimento de moagem

O equipamento do ensaio de Los Angeles (Figura 3.3- (b)) é constituído por um cilindro de chapa de aço, fechado nas extremidades (tambor), com um diâmetro e comprimento interiores de cerca de 711 mm e 508 mm respetivamente.

O tambor possui uma abertura, com respetiva tampa, ao longo do seu comprimento para a colocação e remoção do material e da carga.

A rotação, imposta por um motor, dá-se a uma velocidade entre 31 e 33 rotações por minuto. A carga abrasiva utilizada no ensaio é constituída por onze esferas de aço (Figura 3.3 -a)), cada uma com um diâmetro entre 45 mm e 49 mm e massa entre 400 g e 445 g.

Ao submeter o tambor a 500 rotações a velocidade constante, o material vai sendo desgastado e fragmentado, considerando-se desgastado o material que no fim dos ciclos passa no peneiro 1,6 mm.

Para se obter o resíduo introduziu – se no tambor da máquina de desgaste de Los Angeles os azulejos e as esferas de aço até estes ficarem desgastados por completo.

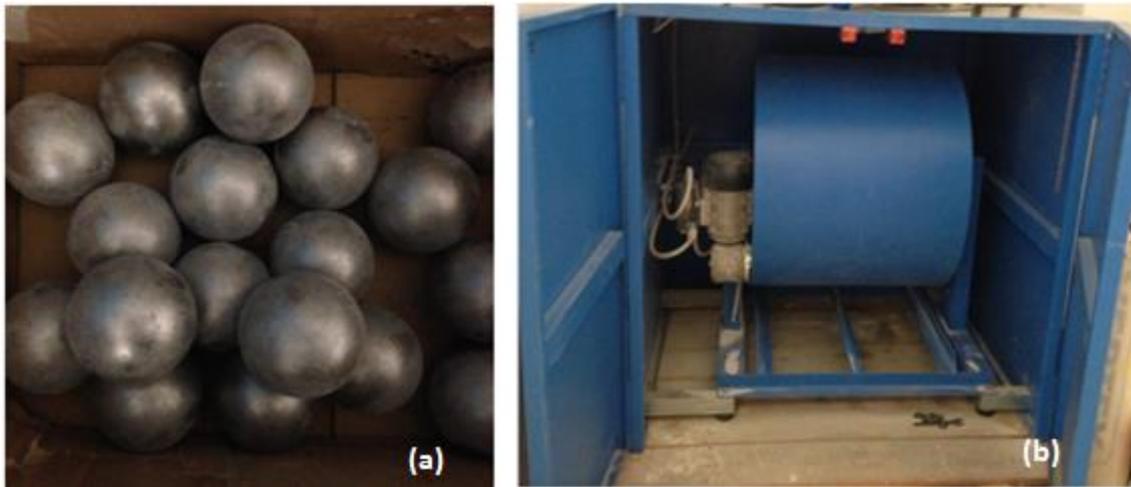


Figura 3.3-Esferas de Aço (a) e Máquina de desgaste Los Angeles (b)

Após o processo de desgaste, o material obtido foi peneirado mecanicamente para garantir partículas com granulometria inferior a 0,075mm.

A Figura 3.4 representa o resíduo cerâmico vidrado após o processo de desgaste e peneiração.



Figura 3.4- Resíduo cerâmico vidrado (azulejos após o processo de desgaste)

3.4.3. Ligante -Cal aérea

O ligante utilizado no fabrico das argamassas, foi a cal aérea hidratada sob a forma de pó, da marca *Lusical H100*. Durante todo o processo de produção das argamassas o saco de cal foi mantido em local seco e isento de humidades.

Procurou-se manter o saco aberto o menor tempo possível evitando desta forma fenômenos de carbonatação da cal.



Figura 3.5-Cal aérea Lusical H100

3.4.4. Ligante -Cimento

O cimento adotado para o desenvolvimento do trabalho experimental foi o cimento Portland da classe de resistência 42,5 MPa com elevada resistência nos primeiros dias (CEM I 42,5R), do grupo CIMPOR, fábrica de Alhandra, tendo-se utilizado para a campanha sempre o mesmo lote.

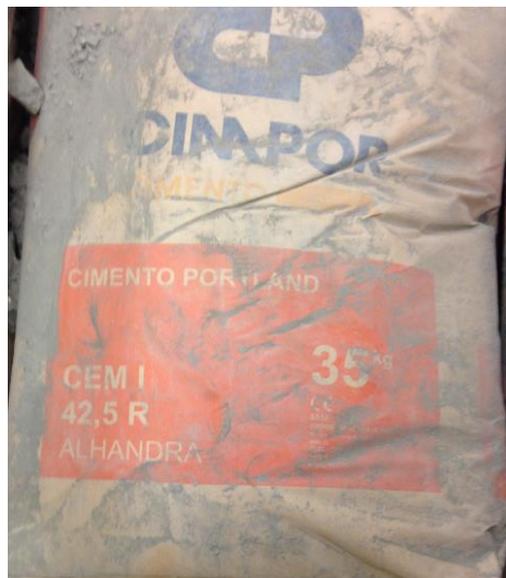


Figura 3.6-Cimento Portland CEM I R 42,5 MPa

Procurou-se manter o saco aberto o menor tempo possível evitando desta forma fenômenos de hidratação.

3.4.5. Água

Nas formulações utiliza-se água potável, com origem na rede pública, conforme requerido na norma NP EN 1015-2:1998/A1:2006 [33].

3.5. Ensaio de caracterização física dos constituintes das argamassas

As propriedades físicas dos materiais utilizados na amassadura das argamassas foram determinadas através de ensaios de caracterização.

A caracterização dos agregados consistiu na avaliação da baridade e na análise granulométrica.

Em seguida, apresentam-se as definições destas características e, sinteticamente, os procedimentos dos ensaios.

3.5.1. Análise granulométrica das areias

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

A análise granulométrica a areia foi realizada segundo a norma EN 1015-1:1998 [33].

Equipamentos:

- Estufa (Figura 3.7);
- Balança de precisão 0,01g (Figura 3.7);
- Série de peneiros A200 (Figura 3.7).



Figura 3.7-(a)Estufa, (b)Balança digital precisão 0,01g e (c)série de peneiros A200

Procedimento:

- A areia foi previamente colocada em estufa até atingir a massa constante em estufa ventilada, à temperatura de 105 ± 5 °C;
- A análise granulométrica foi realizada segundo o método de vibração dos peneiros, no qual se utiliza uma série de peneiros de aberturas normalizadas de colocados uns encaixados nos outros por ordem crescente de abertura da malha;
- Depois estarem todos os peneiros corretamente encaixados, coloca-se a areia no peneiro de maior malha e inicia-se a vibração destes durante 5 minutos;
- 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 (Equação 3.1) é desenhada a curva granulométrica do agregado;

De seguida pesa-se a massa retida em cada peneiro, determinando-se a percentagem retida através da Equação 3.1.

$$R = \frac{m_{peneiro}}{m_{total}} \times 100\% \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde:

$m_{peneiro}$ – massa em cada peneiro [kg];

m_{total} – massa total da amostra [kg].

Através da percentagem retida em cada peneiro, é possível obter a curva granulométrica de cada amostra, escolhendo-se a curva ótima.

3.5.2. Baridade das areias e dos ligantes

A baridade define-se como a massa por unidade de volume aparente, o qual engloba a quantidade de vazios dentro das partículas dos agregados e entre essas partículas dos agregados e o recipiente onde estes estão contidos.

A determinação da baridade foi realizada para os dois tipos de areia e para os ligantes utilizados na preparação das argamassas.

V-Volume do recipiente [m^3].

Ambos os agregados foram submetidos ao ensaio da determinação da baridade, bem como os ligantes utilizados na preparação das argamassas, tendo como referência norma NP EN 1097-3:2002 [39] (procedimento adaptado- O procedimento adaptado, relativamente à norma NP EN 1097-3:2002, difere essencialmente na utilização do copo cilíndrico onde se substituiu o copo cilíndrico de 1 [l] por um recipiente de 750 [ml].).

Os cálculos dos valores da baridade foram realizados para converter o traço volumétrico (volume) em traço ponderado (peso), necessário ao balanço da quantidade necessária de ligantes e agregados utilizados.

De seguida apresenta-se os equipamentos e o procedimento usados no ensaio de determinação da baridade dos agregados e ligantes.

Equipamento:

- Estufa ventilada;
- Balança de precisão de 0,01g;
- Recipiente metálico;
- Funil metálico em suporte de altura regulável;
- Régua metálica.

Procedimento experimental:

- A areia foi previamente colocada em estufa até atingir a massa constante em estufa ventilada, à temperatura de 105 ± 5 °C;
- Pesagem do recipiente metálico vazio e limpo;
- Colocação do material (agregado ou ligante) no recipiente através do funil; o recipiente foi colocado a uma distância entre o seu aro superior e o bordo inferior do funil para garantir que a altura de queda dos materiais não seja variável, assegurando assim uma igual compactação;
- Remoção do material excedente com uma régua metálica;
- Pesagem na balança, do recipiente preenchido [m], tendo-se inicialmente registado a sua tara.
- A determinação da baridade (B_a) é feita de acordo com a Equação 3.2.

$$\bullet \quad B_a = \frac{m_2 - m_1}{V} \text{ [kg / m}^3 \text{]} \quad \text{Equação 3.2}$$

Sendo:

m_1 -Massa do recipiente vazio [kg];

m_2 -Massa do recipiente com agregado [kg];

V-Volume do recipiente [m^3].

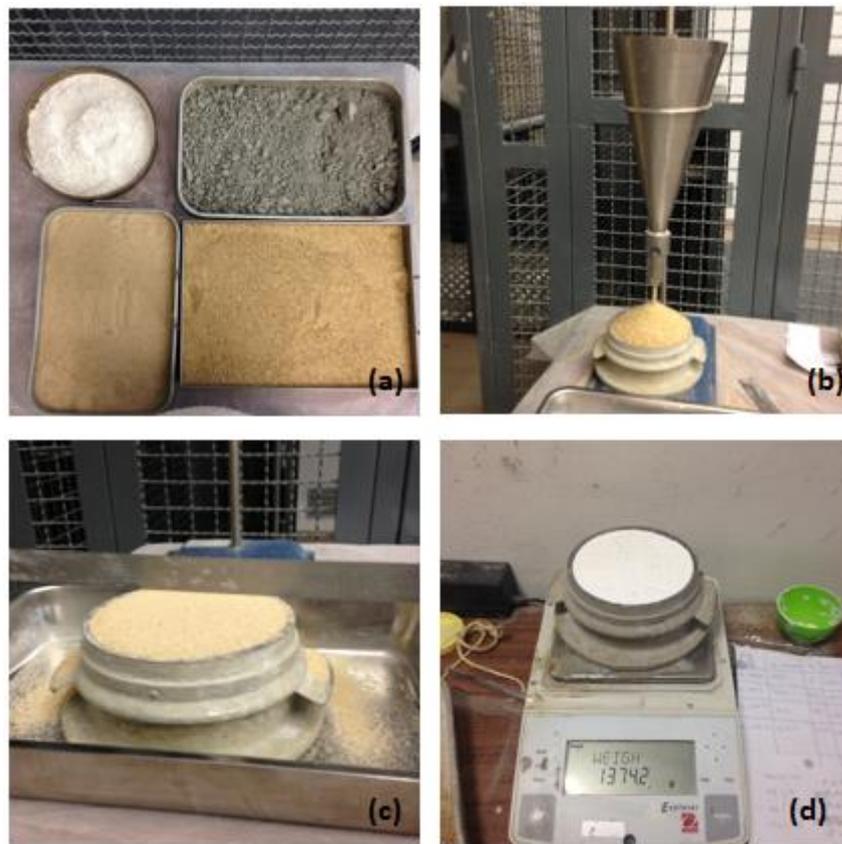


Figura 3.8-(a) Areia fina, grossa, cimento e cal;(b) funil metálico;(c)remoção do material excedente;(d) balança de precisão 0,01g O procedimento adaptado, relativamente à norma NP EN 1097-3:2002 [38], difere essencialmente na utilização do copo cilíndrico onde se substituiu o copo cilíndrico de 1 [l] por um recipiente de 750 [ml].

3.6. Preparação de argamassas

Na campanha experimental, tal como referido na secção 3.3, definiu-se um total de quatro argamassas a ensaiar com substituições diferentes.

A preparação das argamassas foi realizada baseada no procedimento referido na norma EN 1015-2:1998/A1:2006 [34].

Partindo do volume de referência pretendido para os agregados, necessário para preencher seis provetes prismáticos de 4cm×4cm×16cm (1536 cm³) e fazendo corresponder esse volume ao traço volumétrico pretendido (1:1:6), obteve-se o volume de referência dos ligantes a utilizar.

De seguida apresenta-se os equipamentos utilizados na preparação das argamassas e o procedimento seguido na realização da amassadura dos provetes das argamassas adaptado à especialização.

Equipamentos:

- Misturador mecânico de argamassas (Figura 3.9);
- Cronómetro;
- Balança de precisão de 0,01g;
- Proveta graduada (Figura 3.9).



Figura 3.9- Misturador mecânico de argamassas e proveta graduada

Procedimento de ensaio de acordo com EN 1015-2:1998/A1:2006 [34]:

- Pesagem de cada constituinte da argamassa;
- Homogeneização manual dos constituintes secos e posterior colocação na cuba (Figura 3.10);

- Medição da quantidade de água necessária a adicionar à mistura, através de uma proveta graduada;
- Entrada em funcionamento do misturador mecânico (com contagem de tempo de 90s), adicionando simultaneamente a quantidade de água previamente determinada no ensaio de espalhamento (fator a/l);
- Paragem do aparelho para limpeza dos bordos da cuba durante um intervalo de 30s;
- Nova amassadura mecânica, durante mais 60s.



Figura 3.10-Copo da misturadora com constituintes secos das argamassas

Entre as diferentes amassaduras foram realizados ensaios de espalhamento, que têm o objetivo de obter argamassas com a mesma consistência, este 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 (170 ± 5 mm).

3.7. Ensaio em Estado fresco

Após a caracterização dos constituintes das argamassas e a preparação das argamassas realizam-se ensaios às argamassas no seu estado fresco.

Consistência por espalhamento

Sobre as argamassas frescas foram realizados ensaios de consistência por espalhamento, para definir a quantidade de água a adicionar à mistura com base num espalhamento pré-definido.

A consistência por espalhamento é obtida com base na EN 1015-3: 1999 [35].

Para chegar à consistência desejada das argamassas realizaram-se vários ensaios de consistência por espalhamento, com os seguintes equipamentos e procedimento de ensaio a seguir enunciados.

Equipamentos:

- Mesa de consistência;
- Molde tronco-cônico (Figura 3.11);
- Craveira analógica;
- Pilão de madeira;
- Régua metálica.



Figura 3.11- Molde tronco-cônico

Procedimento do ensaio:

- Verificação do estado de secagem e limpeza do equipamento;
- Antes do ensaio a argamassa é mexida durante 5 a 10 segundos com a colher de pedreiro;
- Colocação do molde troncocônico, centrado no disco da mesa de espalhamento;
- Introduz-se a argamassa com ajuda de uma colher de pedreiro, aproximadamente até meio do molde, compacta-se com dez pancadas de um pilão, mantendo o molde fixo na mesa de consistência;
- Enche-se o molde e volta-se a compactar com outras dez pancadas;

- Nivelamento da superfície retira-se o excesso de argamassa com uma espátula, em cutelo, de seguida retira-se o molde com cuidado e limpa-se a mesa de eventuais restos de argamassa;
- 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;
- Resultado do ensaio é dado pela média aritmética de duas determinações e expresso em milímetros (mm).

Após a realização do ensaio de consistência por espalhamento procedeu-se ao enchimento dos moldes dos provetes.

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.

3.8. Provetes

3.8.1. Preparação de provetes

Após a caracterização das argamassas no estado fresco prepararam-se os moldes para a realização dos ensaios no estado endurecido, com base na EN 1015-11:1999 [37].

Equipamentos:

- Moldes prismáticos de 4x4x16 cm³ (Figura 3.12);
- Colher de pedreiro;
- Pilão;
- Régua metálica.



Figura 3.12-Molde prismático (4x4x16cm³)

Procedimento:

- Colocar a argamassa em moldes prismáticos de 4x4x16 cm³, previamente limpos, e lubrificadas com óleo desmoldante nas superfícies de cada molde;
- Coloca-se a argamassa realizada de acordo com o procedimento descrito em cima no interior dos moldes até meia altura, com uma colher de pedreiro;
- Aplicam-se 25 pancadas, com um pilão para o efeito, compactando a superfície
- Enche-se o resto do molde com a mesma argamassa e realiza-se novamente a compactação com 25 pancadas;
- Alisar a superfície com auxílio de uma régua metálica.

Após a moldagem dos provetes, estes foram colocados numa sala de ambiente condicionado onde ocorreu a cura, com as seguintes condições: temperatura de 20±5°C e humidade relativa de 60±5%.

Após um período de 24 horas, os provetes foram desmoldados (Figura 3.13), permanecendo na sala de cura, mantendo as mesmas condições a que estavam expostos.



Figura 3.13-Provetes antes da desmoldagem

A recolha de provetes para análise foi realizada ao fim de 28, 60, 90 dias (Figura 3.14) para a realização dos ensaios predefinidos.



Figura 3.14- Provetes com diferentes idades de cura

As restantes argamassas seguiram os procedimentos acima descritos, mas com diferentes composições uma vez que as quantidades de cal foram substituídas por, 10%,15% e 20% respetivamente, a substituição foi feita em relação à quantidade mássica da cal aérea.

3.8.2. Identificação de provetes

Para a identificação dos provetes utilizou-se uma referência para designar cada tipo argamassa, segundo teor de substituição, data de produção e idade de cura.

A Tabela 3.2 mostra de forma sucinta a designação das argamassas em estudo, bem como as idades de cura a que estas estiveram sujeitas. Para tal, utilizou-se um conjunto de letras e números de modo identificar o provete para realizar os ensaios.

Tabela 3.2-Informação contida na identificação de provetes

Identificação de provetes						
Provetes		Autor	Data de produção	Idade de cura		
Tipo de argamassa	Abreviação			28 Dias	60 Dias	90 Dias
Argamassa base	1-CACI-0%	AR	DD/MM/AA	X	X	X
Argamassa c/10%	2-CACI-10%	AR	DD/MM/AA	X	X	X
Argamassa c/15%	3-CACI-15%	AR	DD/MM/AA	X	X	X
Argamassa c/20%	4-CACI-20%	AR	DD/MM/AA	X	X	X

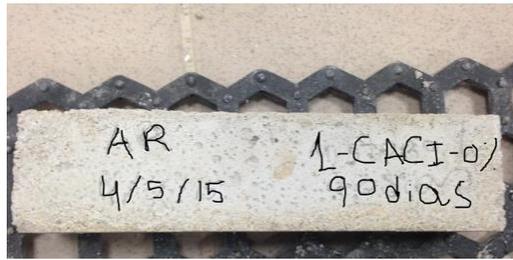


Figura 3.15-Identificação de provetes

3.9. Condições de cura

Os provetes foram sujeitos a um ambiente de cura numa sala (Figura 3.16) $20 \pm 5 \text{ C}^\circ$ e $60 \pm 5\%$ de humidade relativa.



Figura 3.16- Provetes na sala de cura

Para controlar a temperatura e humidade utilizou-se uma estação meteorológica representada na Figura 3.17.



Figura 3.17-Estação meterológica

3.10. Ensaios das argamassas no estado endurecido

No estudo para a caracterização da argamassa no estado endurecido os parâmetros utilizados foram: massa volúmica, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à compressão e à tração por flexão, carbonatação, coeficiente de absorção capilar e porosidade aberta.

3.10.1. Massa volúmica da argamassa endurecida

O ensaio referente à massa volúmica segue o procedimento estabelecido na Norma Europeia EN 1015-10:1999 [36] (procedimento adaptado).

Material e Equipamento:

- Provetes prismáticos (4x4x16 cm³);
- Balança;
- Craveira.

Procedimento:

- Medir com a craveira as dimensões dos provetes, a espessura e a largura são medidas três vezes, no centro e nos extremos do provete. De seguida efetua-se a média dos três valores obtidos, sendo esta a medida final. Por outro lado, mede-se uma só vez o comprimento na longitudinal do prisma;
- Pesa-se os provetes;
- Calcula-se o volume [V] de cada um dos prismas.

O ensaio realiza-se em três provetes e a massa volúmica é calculada através da Equação 3.3:

$$P = \frac{m}{c.b.d} \cdot 10^6 \quad [\text{kg/m}^3] \quad \text{Equação 3.3}$$

Em que:

P - 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].

3.10.2. Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo elasticidade dinâmico foi determinado nos provetes de argamassa por ensaio de emissão de pulso elétrico de baixa frequência ultrassônica (ABNT NBR 15630:2008 [39]) utilizando a equação 3.4, usando-se o aparelho modelo “Tico”, da marca Proceq (Figura 3.18) com transdutores de 54 kHz e forma direta de leitura.



Figura 3.18-Aparelho de emissão de ondas ultrassônicas marca Proceq

$$E_d = \rho V^2 \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad [\text{MPa}] \quad \text{Equação 3.4}$$

Em que:

E_d - Módulo de elasticidade dinâmico [MPa];

ρ - Densidade do provete [kg/m^3];

ν - Velocidade de pulso [km/s];

ν - Coeficiente de Poisson - adotado igual a 0,2 na norma brasileira.

A velocidade da onda ultrassônica foi obtida utilizando-se a Equação 3.5.

$$V = \frac{d}{t} [\text{km/s}] \quad \text{Equação 3.5}$$

d - Altura do provete [km];

t - Tempo [s], que a onda ultrassônica leva para percorrer a distância [d].

O procedimento utilizado nos provetes de argamassa por ensaio de emissão de pulso elétrico de baixa frequência ultrassônica ABNT NBR 15630:2008 [40].

Equipamento e Material:

- Provetes prismáticos (4x4x16cm³);
- Aparelho modelo “Tico”, da marca Proceq (Figura 3.18) com transdutores de 54 kHz;
- Gel (Vaselina).

Procedimento:

- Inicialmente é necessário regular o equipamento utilizando a barra de referência;
- Verificar se as superfícies dos provetes a (topo e base) estão limpas e livres de impurezas e grãos soltos;
- Determinar a densidade de massa aparente dos provetes;
- Aplicar o gel na superfície de contato entre os dos transdutores e o provete, de forma que ocorra aderência máxima;
- O gel utilizado para a realização dos ensaios foi a vaselina;
- Fazer a leitura no equipamento especificado anteriormente no tempo t (s) que a onda ultrassônica que parte da sonda de emissão, demora a percorrer o provete a e alcança a sonda de recepção.

3.10.3. Resistência à tração por flexão e compressão

O ensaio de resistência à flexão permite determinar as tensões de rotura por flexão, aquando submetido a forças gradualmente crescentes aplicadas a meio vão. Por outro lado, o ensaio de resistência à compressão permite determinar a carga máxima que os provetes suportam aquando a aplicação de uma carga crescente à compressão numa dada secção [27].

Neste ensaio são utilizados 12 provetes prismáticos para cada idade, três de cada uma das formulações.

A resistência à tração por flexão e à compressão é obtida com base na EN 1015-11:1999 [37].

Materiais e Equipamentos:

- Provetes prismáticos (4x4x16cm³);
- Máquina de ensaios de Resistência à flexão e à compressão.

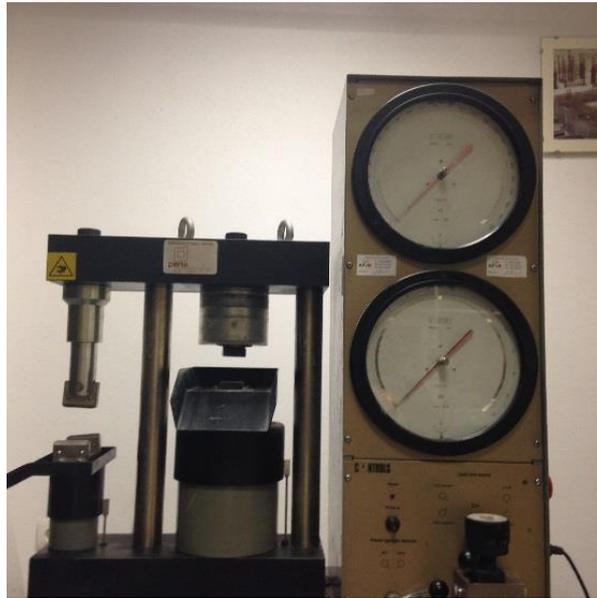


Figura 3.19- Máquina de ensaios de Resistência à flexão e à compressão

Procedimento experimental: (determinação da resistência à tracção por flexão):

- Colocação dos provetes prismáticos sobre o suporte para o ensaio de flexão, cujos pontos de apoio devem estar afastados de 10mm e com as faces de moldagem em contacto com as superfícies de carregamento;
- Aplicação da carga a meio vão, com uma velocidade de 5,1mm/min (50 ± 10 N/s), até à rotura, registando-se o valor da carga última ao qual resistem os provetes – Ff;
- Repete-se o procedimento, mencionado anteriormente, para os restantes provetes limpando com auxílio de um pincel as superfícies que transmitem as cargas.

A tensão de rotura à tracção por flexão é dada pelo quociente que relaciona a força de rotura à flexão, F [N], e a distância entre os apoios, 5 [mm], com as dimensões laterais do provete, sendo b a largura e h o comprimento (ambos em mm), como mostra a Equação (3.6) (CEN, 1999a):

Resistência à flexão:

$$R_f = \frac{1,5 * F_f * l}{b d^2} \quad \text{Equação 3.6}$$

Onde:

Ff-Força máxima aplicada (N);

- l- Distância entre apoios (mm);
- b- Largura do prisma (mm);
- d- Espessura do prisma (mm).

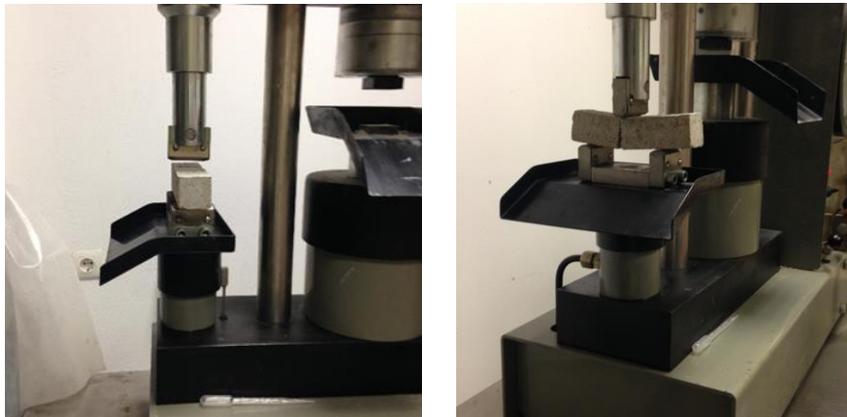


Figura 3.20-Provetes sujeitos ao ensaio da flexão

Procedimento experimental: (determinação da resistência à compressão)

- Colocação dos meios provetes resultantes do ensaio de flexão no suporte para ensaio de compressão (com uma área de contacto de 1600mm²) e com as faces de moldagem em contacto com as superfícies de carregamento (Figura 3.21);
- Aplicação da carga com uma velocidade de 5,2mm/min (100±10N/s), até à rotura, registando e o valor da carga última ao qual os provetes resistem – F_c;
- Regista – se o valor máximo da Força aplicada, F_c em Newton (N);
- Calcula-se a resistência à compressão (R_c) através da Equação 3.7;
- Repete-se o procedimento, mencionado anteriormente, para os restantes provetes limpando com auxílio de um pincel as superfícies que transmitem as cargas.

A tensão de rotura à compressão de cada provete é determinada pelo quociente entre a força de rotura, que é a máxima aplicada durante o ensaio, F [N], e a área da secção transversal onde foi aplicada a força, A_c [mm²], de acordo com a Equação 3.7 (CEN, 1999a).

Resistência à compressão:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad \text{Equação 3.7}$$

Onde:

F_c – Força máxima aplicada [N];

A – Área da secção [mm²].

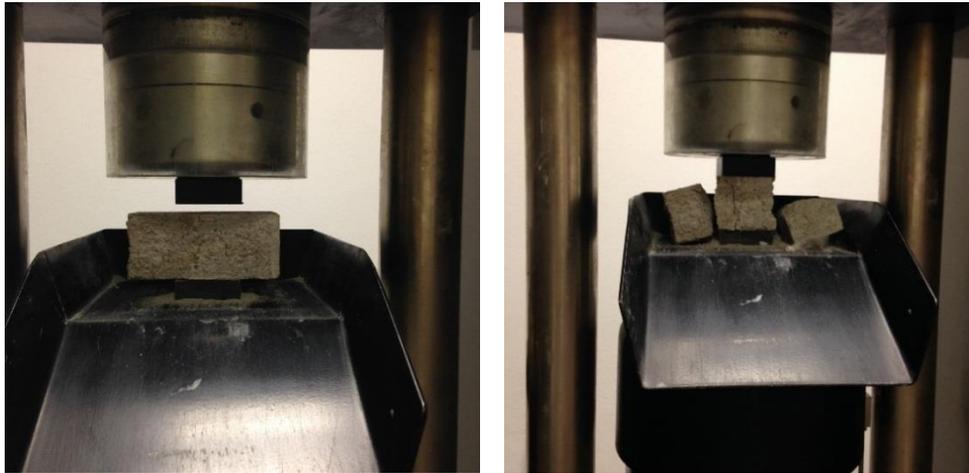


Figura 3.21- Provetes sujeitos ao ensaio da compressão.

3.10.4. Carbonatação

O ensaio de carbonatação é realizado com base na recomendação CPC-18 da RILEM [41] (procedimento adaptado- o ensaio foi realizado de forma a avaliar de forma qualitativa a profundidade da carbonatação, através da observação visual.).

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 qualitativamente o pH da argamassa.

Material de ensaio:

- Metades de provetes;
- Solução alcoólica de fenolftaleína a 1%.

Procedimento de ensaio:

- A determinação da espessura carbonatada foi realizada imediatamente após o ensaio de resistência à flexão, sobre a superfície de rotura de um dos topos resultantes daquele ensaio;
- Colocação da solução de fenolftaleína na zona de corte, com observação da cor resultante da superfície;

- A difusão do CO₂ no interior das argamassas causa uma redução do pH, que pode ser detetada por alteração do indicador de fenolftaleína, que apresenta cor rosada na zona não carbonatada, ao passo que a zona carbonatada se apresenta incolor.

3.10.5. Coeficiente de absorção de água por capilaridade

O procedimento adotado na realização do ensaio de absorção de água por capilaridade seguiu a norma EN 1015-18:2002 [38].

Este ensaio tem como objetivo determinar a quantidade de água absorvida por capilaridade em intervalos de tempo previamente estabelecidos, por unidade de área.

A capilaridade traduz a ascensão de água, através dos poros de um material. Para o mesmo grau de percentagem de poros (porosidade), quanto maior foi a dimensão dos poros de um material (porosidade), menor será a sua absorção por capilaridade. A progressão da água será tanto mais rápida e significativas, quantos mais finos forem os capilares do material [15].

A execução deste ensaio é importante para as argamassas em estudo uma vez que permite avaliar de que maneira a substituição parcial de cal aérea por resíduo cerâmico influencia a absorção capilar. Uma análise da curva de absorção de água por ascensão capilar permite obter dois parâmetros: o valor assintótico, VA, valor máximo da quantidade de água absorvida pela argamassa; o coeficiente de capilaridade, CC, obtido através do declive da reta do troço inicial da curva de absorção de água, que traduz a maior ou menor velocidade de absorção de água em cada argamassa.

O coeficiente de capilaridade traduz a velocidade com que a absorção da água se processa nos instantes iniciais.

Materiais e Equipamentos:

- Provetes;
- Balança;
- Craveira;
- Tina (Figura 3.22);
- Cronómetro;

- Régua;
- Água.



Figura 3.22-Tina

Procedimento experimental:

- Os provetes após terem sido submetidos às condições de cura foram postos a secar em estufa ventilada a $T=100\pm 5^{\circ}\text{C}$, até massa constante;
- De seguida procedeu-se à impermeabilização;
- Pesagem dos provetes secos, obtendo-se a massa M_0 ;
- Colocação dos provetes dentro de uma tina com uma linha de água constante de 5 a 10 mm, acima da face inferior do provete. Para tal recorre-se ao auxílio de uma régua, evitando que as restantes faces fiquem molhadas (Figura 3.23);
- Após 10 minutos do início do ensaio, os semi-prismas foram retirados, a superfície imersa limpa com papel absorvente e posteriormente foram pesados;
- Pesagem dos provetes prismáticos efetuada ao fim dos seguintes tempos de ensaio
- Os provetes foram reposicionados na tina;
- De seguida calcula-se a massa absorvida por área de contacto com a água, (kg/m^2), através da equação.



Figura 3.23-Provetes durante o ensaio de absorção de água

3.10.6. Secagem

Um dos aspetos importantes na avaliação do comportamento das argamassas é a secagem, pois é um indicador da durabilidade do suporte.

A secagem de uma argamassa está relacionada com os seus valores de porosidade aberta.

Em seguida referem-se os equipamentos e o procedimento do ensaio de secagem.

Equipamentos de ensaio:

- Tabuleiro de material não absorvente;
- Balança com precisão de 0,001g;
- Cronómetro.

Procedimento de ensaio:

- Pesagem dos provetes saturados, imediatamente após a conclusão do ensaio de absorção de água por capilaridade;
- Colocação dos provetes no tabuleiro com rede de borracha para promover a evaporação também pela face inferior;
- Pesagem de cada provete, (Mi), após 5, 15, 30, 60, 180, 300, 360 min e de 24 em 24h, até atingir massa constante.

3.10.7. Absorção de água a baixa pressão- por meio de tubos de Karsten

O procedimento da técnica de absorção de água sob pressão atual encontra-se caracterizado na ficha do LNEC FE Pa 39.1 [LNEC, 2002b], substituindo o método original da técnica proposto pelo CP 18-RILEM (1980) [41][(procedimento adaptado).

Equipamentos de ensaio:

- Tubos de Karsten;
- Provetes;
- Silicone;
- Cronómetro.

Procedimento Experimental:

- Revestir com silicone, ou outro material de fixação, a superfície do bordo do tubo que irá ficar em contacto com o revestimento, sem excessos para que a área real de revestimento em contacto com a água não sofra redução;
- Fixar o tubo à zona a ser ensaiada, pressionando-o sobre a superfície vertical;
- Permitir que o material de fixação seque durante, pelo menos, 2 min à temperatura ambiente;
- Atestar o tubo com água até à graduação 0 cm³ e esperar 5 min para observar o abaixamento do nível de água e registar a primeira leitura;
- Repetir as leituras aos 10, 15, 30 e 60 min seguintes.



Figura 3.24-Fixação de tubos de Karsten

Os intervalos de leitura podem variar dependendo da porosidade do material e do técnico responsável pelo ensaio.

4. Apresentação e Análise de Resultados

4.1. Considerações iniciais

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

A campanha experimental incide em desenvolver técnicas expeditas de fatores característicos do desempenho em serviço das argamassas, baseadas em procedimentos desenvolvidos habitualmente pelos fabricantes.

Os resultados são apresentados sob a forma de figuras e tabelas de interpretação intuitiva e simples compreensão.

Importa referir que as siglas CACI-0% referem-se às argamassas referência com 0% de substituição, CACI-10% referem-se às argamassas com 10% de substituição de cal aérea por pó cerâmico e as siglas CACI-15% referem-se às argamassas com 15 % de substituição de cal aérea por pó cerâmico, CACI-20% referem-se às argamassas com 20 % de substituição de cal aérea por pó cerâmico.

4.2. Materiais

4.2.1. Análise granulométrica

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

M. Veiga [3] refere a importância da granulometria da areia, mencionando que o cuidado com a granulometria da areia proporciona melhores características mecânicas à argamassa.

Como se pode observar na Figura 4.1 as areias diferem basta na dimensão das suas partículas tendo a areia grossa uma distribuição maioritária pelos peneiros 4, 2 e 1 e a areia fina no peneiro 0,25.

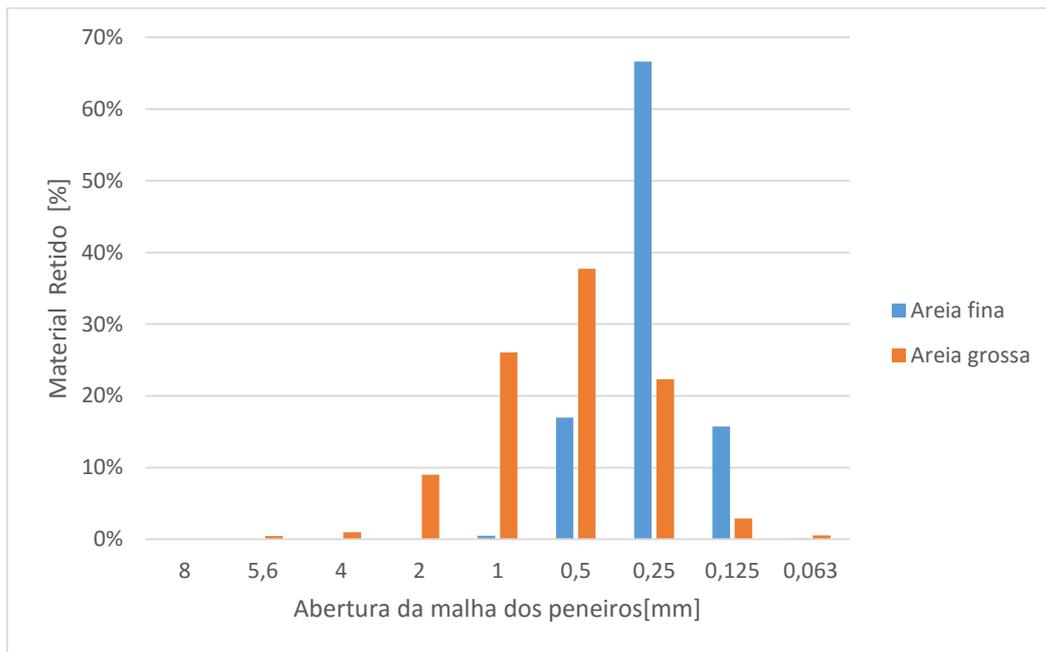


Figura 4.1-Percentagem de material retido por peneiro

A areia fina apresenta uma granulometria com a maior percentagem de finos, e a areia grossa apresenta uma granulometria com uma percentagem menor de finos pelo que a combinação de 60% de areia fina e 40% grossa, espera-se que as argamassas com elas executadas tenham uma melhor trabalhabilidade.

Segundo Cavaco [29] ,a percentagem e a forma da partícula terão grande influência na definição da percentagem de vazios do revestimento. Quanto menor fora 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 curva granulométrica deverá apresentar mais partículas de dimensão média, sendo esta percentagem decrescente para ambos os lados.

Mostra-se de seguida os resultados da análise granulométrica obtidos para os dois tipos de areia de acordo com o procedimento descrito em 3.3.1., os quais são apresentados sob a forma de curvas granulométricas.

Pela análise da Figura 4.1 verifica-se que a areia utilizada apresenta uma granulometria variada, caracterizada pela existência de grãos distribuídos por todas as dimensões.

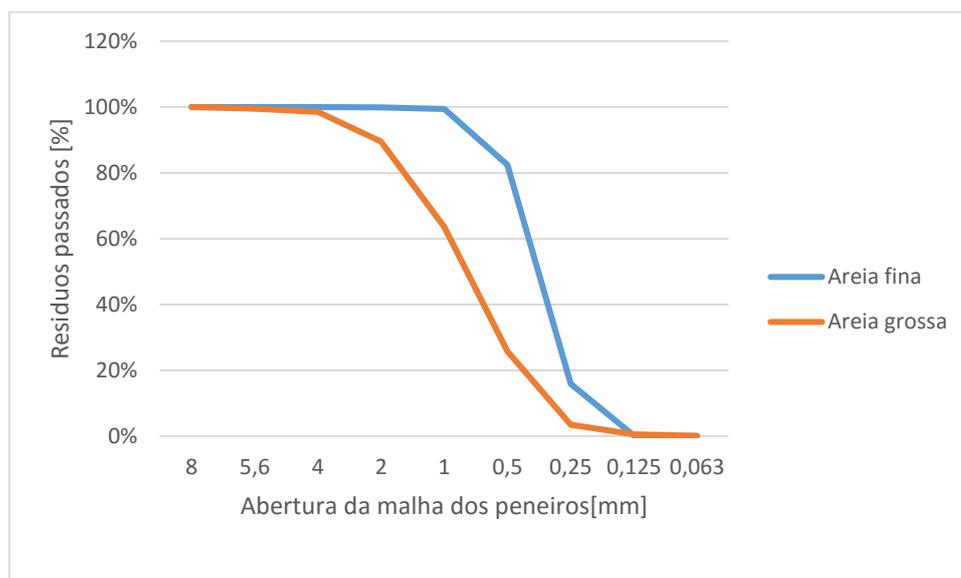


Figura 4.2-Curva granulométrica dos agregados

Pela análise da Figura 4.1 verifica-se que a areia utilizada apresenta uma granulometria contínua, caracterizada pela existência de grãos distribuídos por todas as dimensões.

4.2.2. Massa volúmica aparente dos constituintes em pó

Na tabela 4.1 são apresentados os dos valores das massas volúmicas dos constituintes das argamassas.

Tabela 4.1-Massa volúmica aparente [kg/m³]

Material	Massa volúmica aparente [kg/m ³]
Cimento	1119,2
Cal aérea	322,66
Areia	1532,66
Resíduo cerâmico vidrado	715,73

O valor obtido para a massa volúmica da cal é coerente com a bibliografia consultada [30] que varia entre os 325 e 450 kg/m³, o mesmo acontece com a areia do rio Tejo que varia entre 1400 e 1500 kg/m³ [30].

4.3. Caracterização das argamassas no estado fresco

Consistência por espalhamento

O ensaio de consistência por espalhamento permite avaliar a trabalhabilidade das argamassas no estado fresco.

O ensaio teve como principal objetivo, a determinação da quantidade de água necessária de forma a garantir um espalhamento de 170 ± 5 mm. Quando se alcançava o espalhamento pretendido a amassadura era considerada apropriada, prosseguindo-se o processo de execução dos provetes.

A Tabela 4.2 apresenta todos os valores obtidos no trabalho experimental e anterior permite retirar algumas conclusões acerca da quantidade de água em relação à consistência pretendida

Tabela 4.2- Quantidade de água e valores de espalhamento

	Consistência por espalhamento		
	Quantidade de água [ml]	Espalhamento [mm]	Espalhamento médio [mm]
1-CACI-0%	350	169	170
		172	
		168	
2-CACI-10%	350	167	168
		168	
		169	
3-CACI-15%	350	171	172
		172	
		173	
4-CACI-20%	350	174	172
		171	
		172	

Verificou-se que quanto ao teor de substituição das argamassas, independentemente da quantidade de substituição, mantiveram a mesma quantidade de água para se obter se obter uma boa trabalhabilidade.

Neste trabalho considerou-se como aceitável um espalhamento de 170 ± 5 mm, valores normalmente usados para argamassas bastardas [30].

4.4. Caracterização das argamassas no estado endurecido

A caracterização das argamassas no estado endurecido realizou-se através determinação de parâmetros mecânicos e físicos.

Nos ensaios mecânicos determinou-se a massa volúmica, o módulo de elasticidade dinâmico, a resistência à tração por flexão e a resistência à compressão.

Nos ensaios físicos foi acompanhada a absorção capilar e secagem, determinado o coeficiente de absorção de água por capilaridade e avaliada a absorção de água a baixa pressão por meio de tubos Karsten.

Foi ainda observada a profundidade da carbonatação.

4.4.1. Massa volúmica

A determinação da massa volúmica no estado endurecido foi efetuada de acordo com o descrito em 3.10.1, aos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9,11, 15, 28, 60 e 90 dias, os resultados são apresentados segundo a variação da mesma ao longo do tempo.

A Tabela 4.3 apresenta todos os valores obtidos no trabalho experimental.

Tabela 4.3-Massa Volúmica [kg/m³]

Argamassas	Massa volúmica [kg/m ³]										
	Idades de cura										
	1 Dia	2 Dias	3 Dias	4 Dias	7 Dias	9 Dias	11 Dias	15 Dias	28 Dias	60 Dias	90 Dias
CACI-0%	1925,0	1912,0	1869,0	1849,0	1828,0	1823,0	1820,0	1820,0	1823,0	1828,0	1832,0
CACI-10%	1940,0	1932,0	1909,0	1885,0	1848,0	1840,0	1834,0	1832,0	1835,0	1840,0	1844,0
CACI-15%	1971,0	1962,0	1913,0	1881,0	1845,0	1837,0	1831,0	1829,0	1833,0	1837,0	1841,0
CACI-20%	1939,0	1925,0	1889,0	1863,0	1834,0	1826,0	1824,0	1824,0	1826,0	1832,0	1836,0

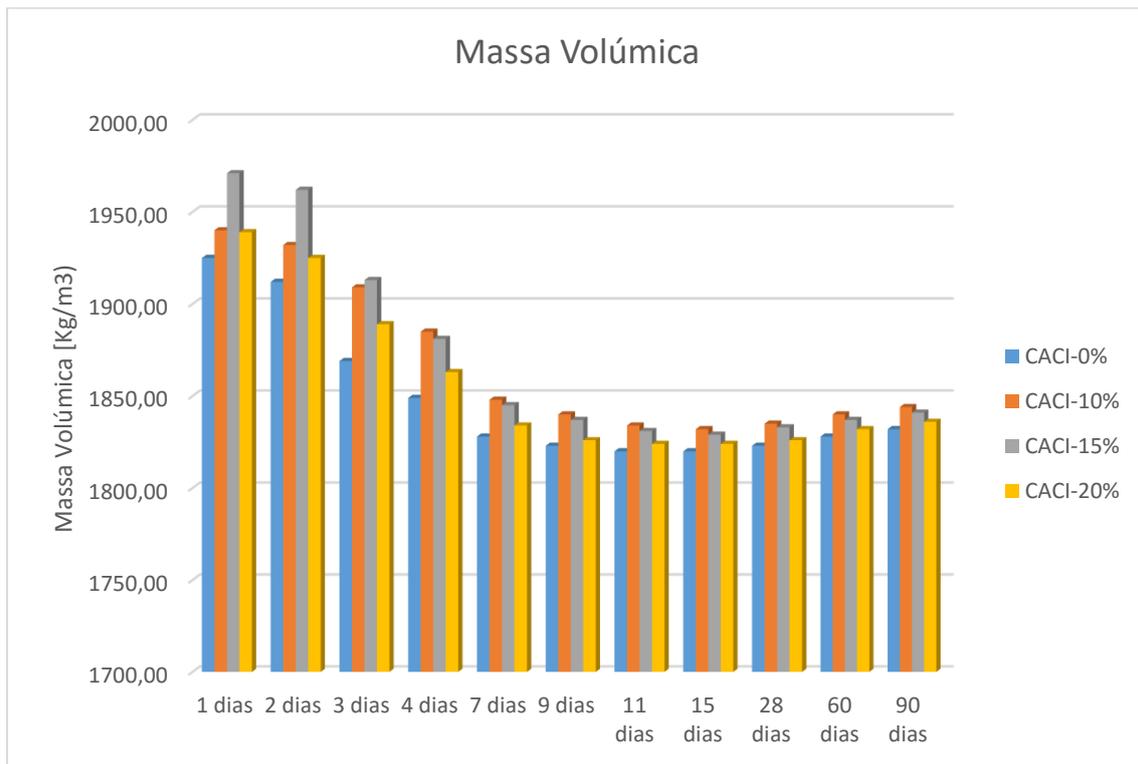


Figura 4.3 Apresentação de resultados da Massa volúmica [kg/m³]

Pela análise dos gráficos podemos verificar que as massas volúmicas das argamassas diminuem de forma geral na fase inicial. Sendo o aumento da massa volúmica mais significativo no período de cura dos 28 aos 90 dias, para as mesmas condições de cura.

Ao analisar a evolução ao longo do tempo verifica-se um aumento da massa volúmica com a idade de cura. Este fenómeno corresponderá à evolução do processo de carbonatação, havendo um aumento do carbonato de cálcio e consequentemente um aumento da massa volúmica devido ao preenchimento dos poros.

4.4.2. Módulo de elasticidade dinâmico

A determinação do módulo de elasticidade dinâmico é importante, pois este influencia a qualidade e a durabilidade da argamassa, pois estão relacionadas com a capacidade de absorver tensões.

Quanto maior o valor do módulo de elasticidade, menor é a sua deformabilidade.

A elasticidade é a capacidade que a argamassa apresenta em se deformar sem que ocorra rutura, retornando às suas dimensões iniciais quando cessam as solicitações que lhes são impostas [10].

Esta propriedade permite ao revestimento deformar-se sem rutura ou através de microfissuras impercetíveis, quando os esforços atuantes ultrapassam o limite de resistência à tração do material.

Tabela 4.4-Valores do Módulo de elasticidade dinâmico

Módulo de elasticidade dinâmico [MPa]				
Idades	1-CACI-0%	2-CACI-10%	3-CACI-15%	4-CACI-20%
28 Dias	8916,72	8755,94	8671,47	6762,43
60 Dias	9005,61	8581,81	9045,04	9410,11
90 Dias	9263,50	8482,06	9005,59	9602,75

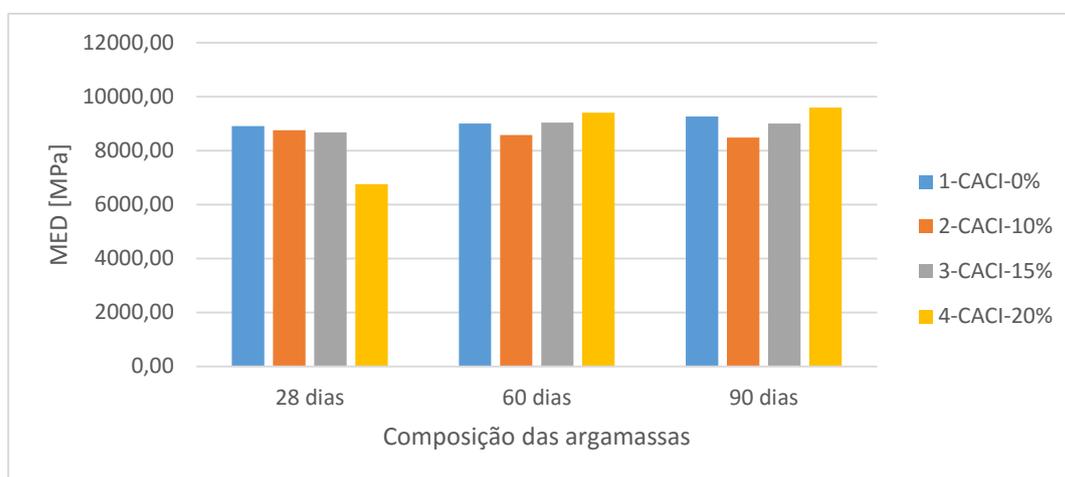


Figura 4.4-Valores do módulo de elasticidade dinâmico

Através da observação dos valores gráficos podemos verificar que de forma geral houve um aumento do módulo de elasticidade ao longo do tempo em todas as formulações com exceção da argamassa 2-CACI-20% que diminuiu.

Observa-se que o maior aumento deu-se nas argamassas CACI-20% de substituição tendo esta o maior módulo de elasticidade, este aumento pode estar relacionado com a diminuição da quantidade de cal.

Em termos gerais verifica-se que os valores de todas as formulações não diferem muito entre si sendo as formulações 3 e 4 ligeiramente superiores.

4.4.3. Resistência à tração por flexão e à compressão

As resistências à flexão e à compressão são parâmetros de extrema importância na avaliação de uma argamassa de revestimento. Tal como descrito em 3.10.3 os ensaios seguem o definido na norma EN 1015-11 :1999 [37].

Através da realização destes ensaios obteve-se alguma informação acerca da influência do resíduo cerâmico nas formulações de argamassa bastardas de cimento e cal.

O ensaio para determinação da resistência à flexão foi realizado aos 28, 60 e 90 dias, sendo os resultados médios apresentados na Tabela 4.5 e na Figura 4.5.

Tabela 4.5-Resultados do ensaio de resistência à flexão

	Resistência à Flexão [Mpa]		
	28 Dias	60 Dias	90 Dias
1-CACI-0%	1,2	1,3	0,3
2-CACI-10%	1,3	1,2	0,4
3-CACI-15%	1,4	1,2	0,6
4-CACI-20%	1,2	1,2	0,9

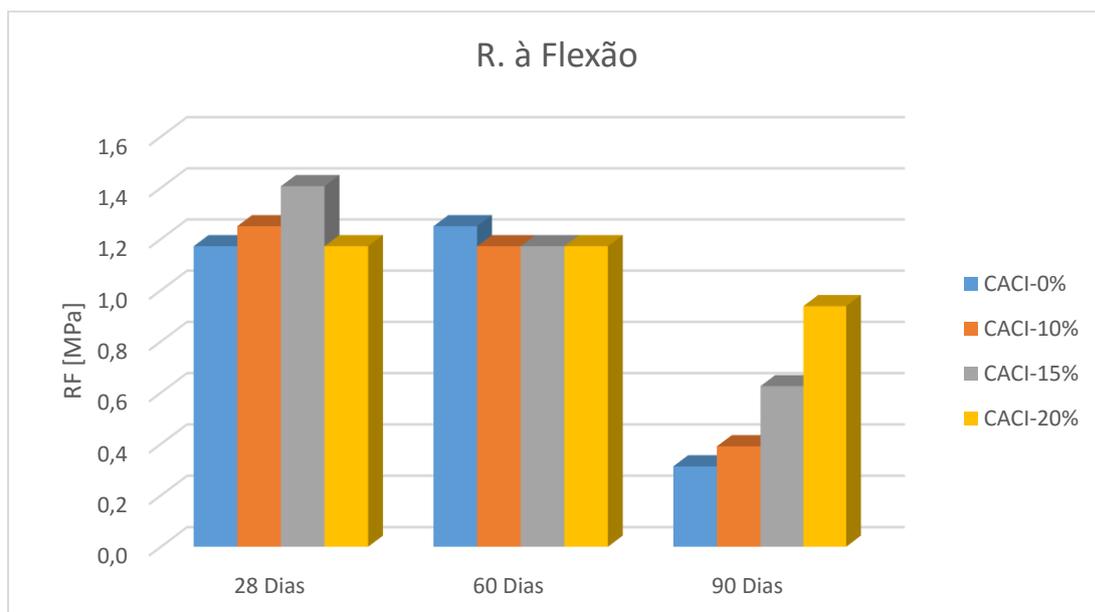


Figura 4.5- Ensaio de resistência à flexão

Numa primeira análise pode-se verificar que a resistência à flexão é maior em todas as argamassas aos 28 dias e menor em todas aos 90 dias, concluindo que a resistência a flexão diminui ao longo da idade de cura sendo menos acentuada das argamassas CACI 15% e 20%.

As argamassas CAC1 (20% de substituição do ligante pelo pó cerâmico) apresentam valores de resistência à flexão superiores às restantes composições aos 90 dias de idade. De facto esta composição apresenta, em alguns casos, valores superiores aos padronizados por M.Veiga [3] que variam entre 0,2 e 0,7 MPa.

O ensaio para determinação da resistência à compressão foi realizado aos 28, 60 e 90 dias sendo os resultados médios apresentados na Tabela 4.6 e Figura 4.6.

Tabela 4.6-Valores de Resistência à compressão.

	Resistência à compressão [MPa]		
	28 Dias	60 Dias	90 Dias
1-CACI-0%	4,5	4,4	3,8
2-CACI-10%	4,9	3,4	2,6
3-CACI-15%	4,7	3,6	3,4
4-CACI-20%	3,0	3,3	3,8

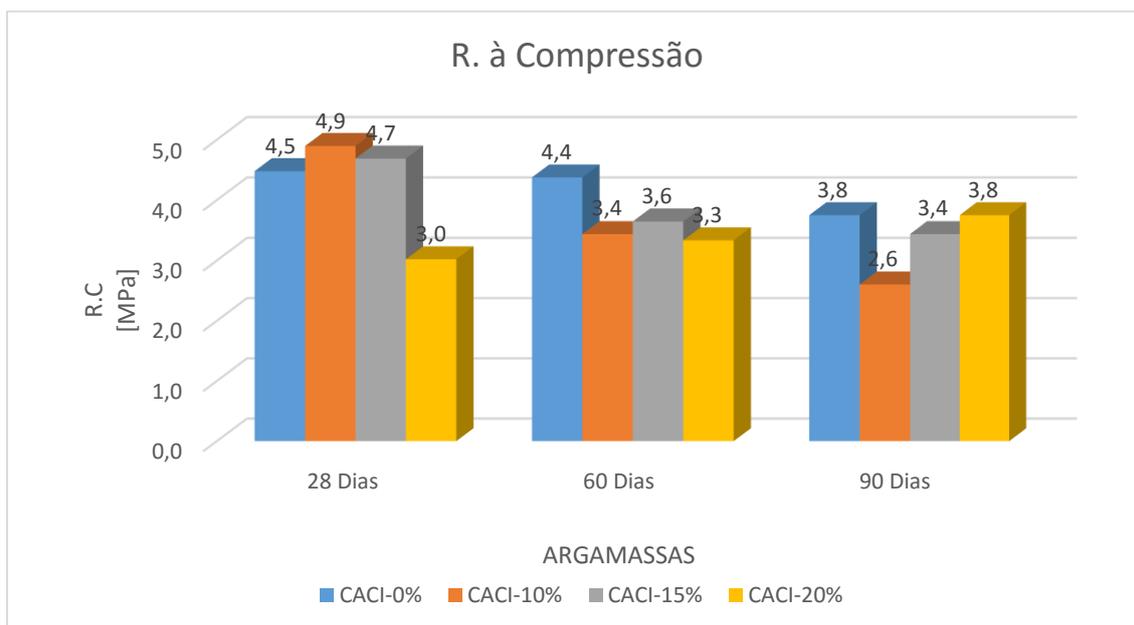


Figura 4.6-Ensaio de resistência à compressão

Numa primeira análise aos resultados obtidos verifica-se que as argamassas com 20% de substituição pelo pó cerâmico aumentam a resistência à compressão ao longo das idades de cura, enquanto as outras formulações diminuem de forma gradual.

Pode-se explicar o facto da diminuição das resistências devido à substituição de cal aérea por resíduo cerâmico, dado que a carbonatação promove uma diminuição do volume dos vazios aumentando a sua compacidade e conseqüentemente a sua resistência.

O aumento da resistência à compressão na argamassas CACAI-20%, pode ser explicado devido à menor quantidade de cal presente na formulação que contribuiu para uma maior porosidade uma vez que a carbonatação é menor, mas a maior quantidade de resíduo, onde este preencheu os poros comportando se como filler aumentado assim a compacidade aumentado os valores de resistências.

4.4.4. Absorção capilar

O ensaio de absorção de água por capilaridade mede o acréscimo de massa de água que ascende por capilaridade, ao longo do tempo, pela secção do provete que se encontra em contacto com a água. Tal como descrito em 3.10.5 o ensaio segue o definido na norma EN 1015-18 :2002[38].

Este ensaio permite observar a capacidade das argamassas absorverem água ao longo do tempo. Em cada representação gráfica é possível determinar o coeficiente de absorção capilar através da inclinação do troço inicial, observando-se a velocidade com que a água é absorvida inicialmente.

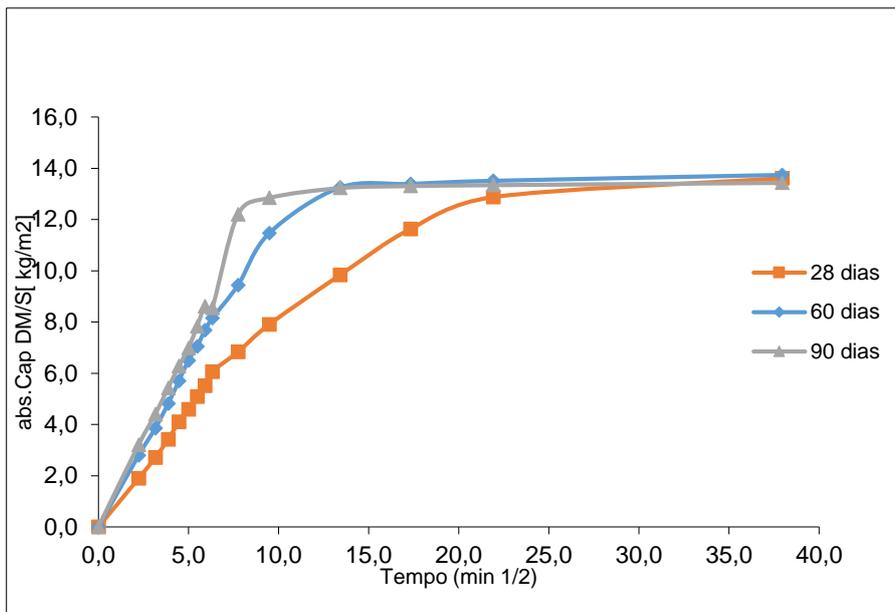


Figura 4.7- Absorção de água 28 argamassa 1-CACI-0%

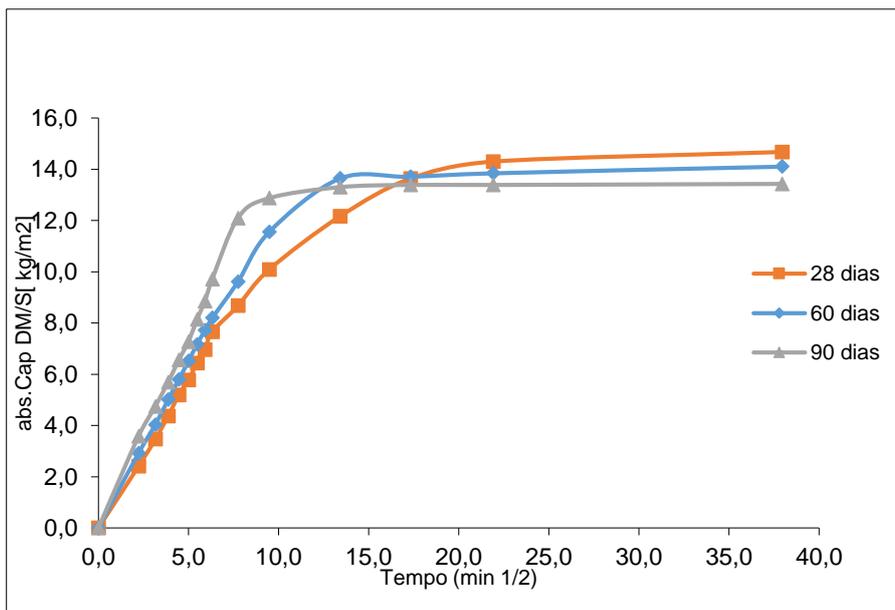


Figura 4.8- Absorção de água argamassas 2CACI-10%

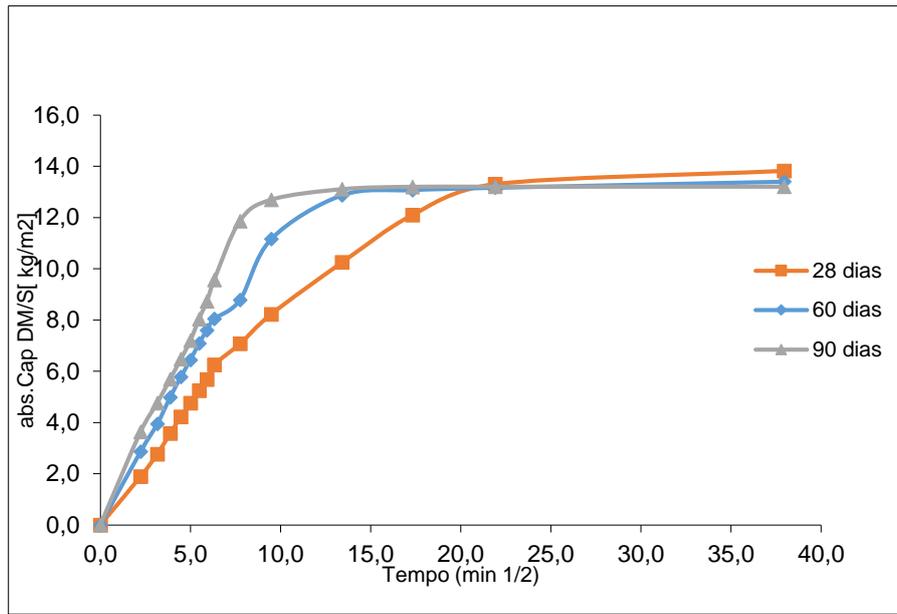


Figura 4.9-Absorção de água argamassa 3-CACI-15%

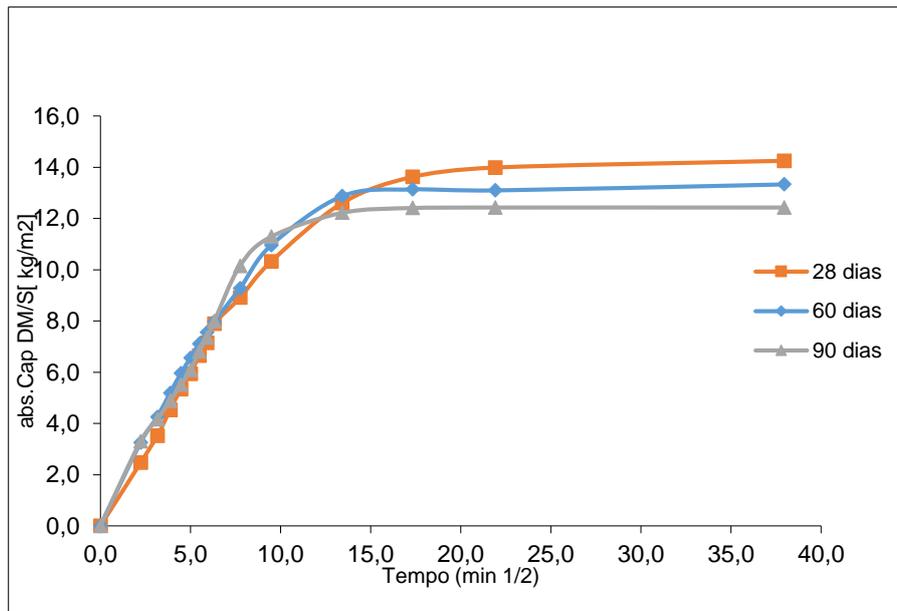


Figura 4.10- Absorção de água argamassa 4-CACI-20%

Através da observação das Figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 pode-se constatar que todas as formulações têm um comportamento semelhante uma vez que ao longo do tempo verificase que existe uma diminuição da estrutura porosa uma vez que a absorção de água vai diminuindo com o aumento das idades de cura, a argamassa 4-CACI-20% é formulação com a diminuição de absorção de água a mais notória.

Coeficiente de absorção de água por capilaridade

O coeficiente de absorção de água por capilaridade é influenciado pela porosidade das argamassas.

Quanto menor for a dimensão do poro capilar, mais rápido será a absorção da água por capilaridade pela argamassa.

Apresentam-se nas Figuras 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade das argamassas, referentes ao coeficiente de capilaridade.

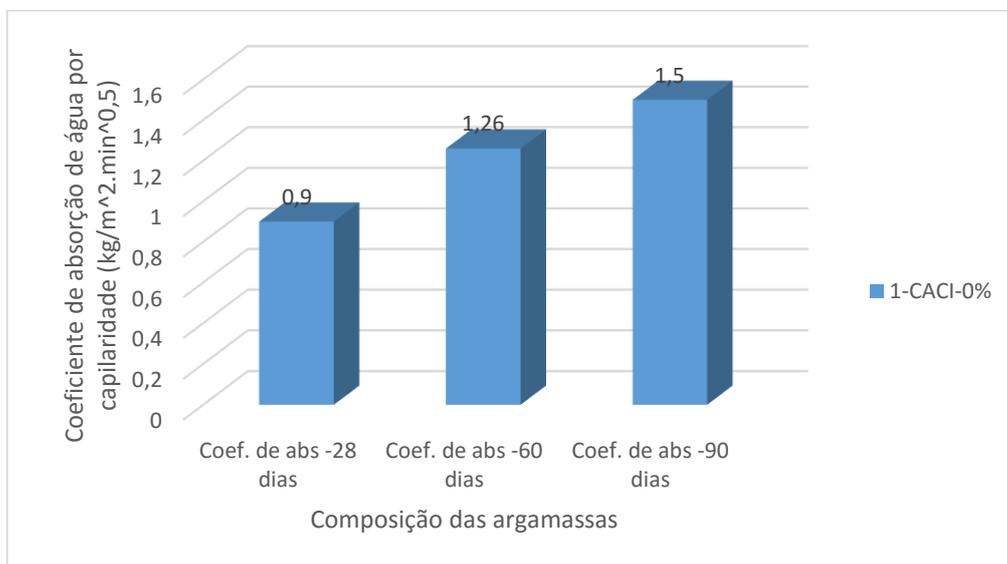


Figura 4.11- Coeficientes de absorção de água por capilaridade argamassa 1-CACI-0%

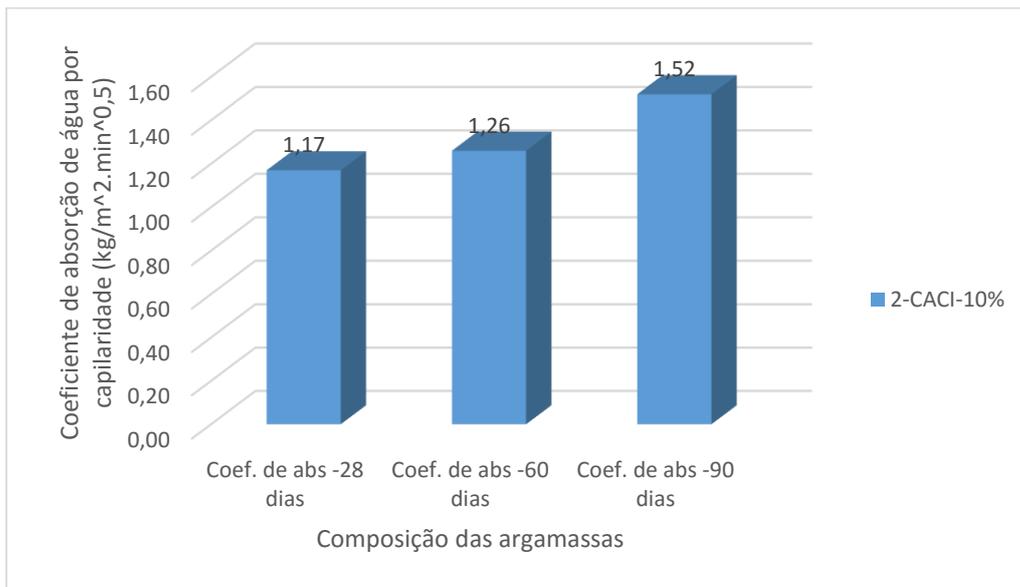


Figura 4.12- Coeficientes de absorção de água por capilaridade argamassa 2-CACI-10%

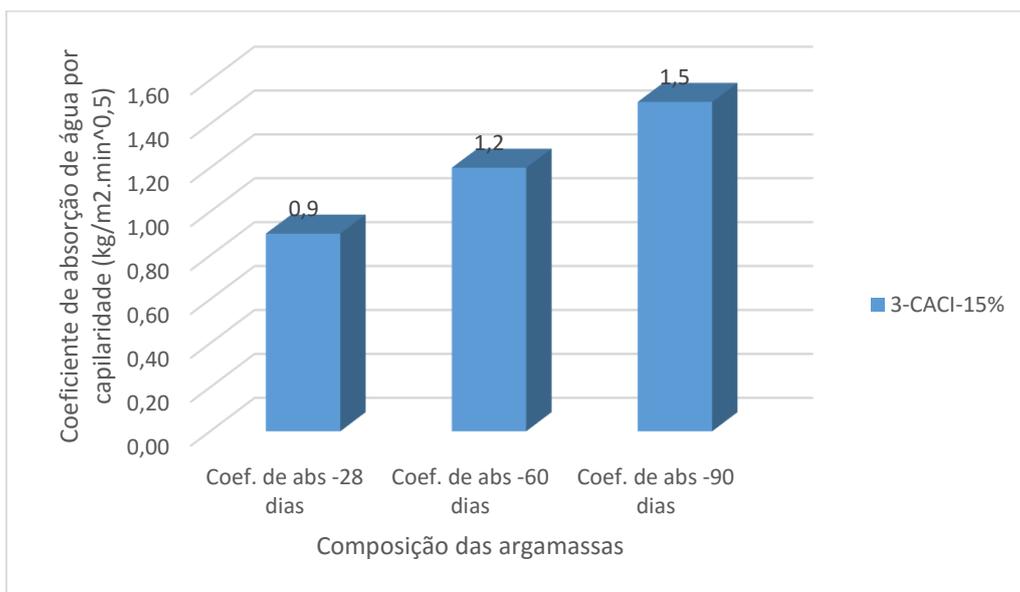


Figura 4.13- Coeficientes de absorção de água por capilaridade argamassa 3-CACI-15%

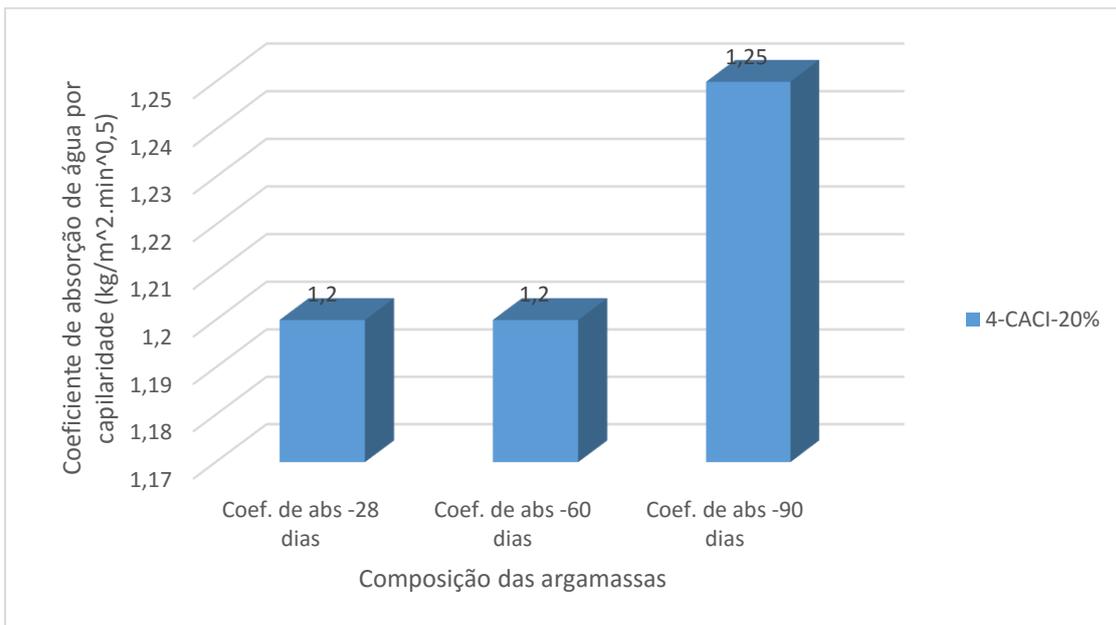


Figura 4.14- Coeficientes de absorção de água por capilaridade argamassa 4-CACI-20%

Em termos do coeficiente de capilaridade, que traduz a velocidade com que se desenvolve a absorção capilar nos primeiros instantes de contacto com a água, verifica-se um aumento do coeficiente de absorção capilar ao longo da idade de cura em todas as formulações sendo esta menos acentuada na argamassa 4-CACI-20%.

O aumento dos coeficientes ao longo do tempo podem ser explicados devido a estrutura de porosidade das argamassas com cal aérea, uma vez que a carbonatação não se deu por completo, existe um grande quantidade de poros por preencher o que leva a uma maior absorção de água, mas também pode ser explicada através da redução da quantidade de cal que faz com que o aumento seja ainda maior nas argamassas 3 e 4 com 1% e 20% de substituição.

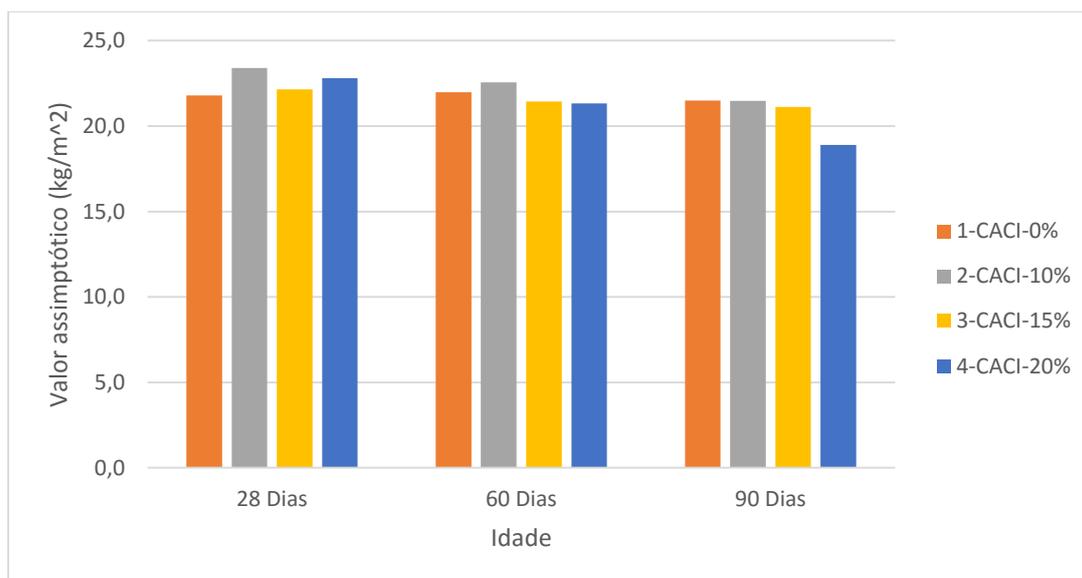
Valor assintótico

O valor assintótico obtido no ensaio de absorção de água por capilaridade depende, além da porosidade aberta total, das dimensões do provete ensaiado.

Os valores assintóticos que representam a quantidade total de água absorvida por capilaridade.

Tabela 4.7-Valores assintóticos [kg/m²]

Idades	Valor Assintótico [kg/m ²]			
	1-CACI-0%	2-CACI-10%	3-CACI-15%	4-CACI-20%
28 Dias	21,79	23,4	22,15	22,79
60 Dias	21,98	22,56	21,44	21,32
90 Dias	21,49	21,48	21,12	18,89

Figura 4.15-Valores Assintóticos [kg/m²]

Relativamente à quantidade total de água absorvida, Tabela 4.7 mostra a diminuição da quantidade absorvida das argamassas, ao longo da idade de cura, sendo claro a menor quantidade de poros vazios no interior das argamassas aos 90 dias de idade de cura.

4.4.5. Ensaio de Secagem

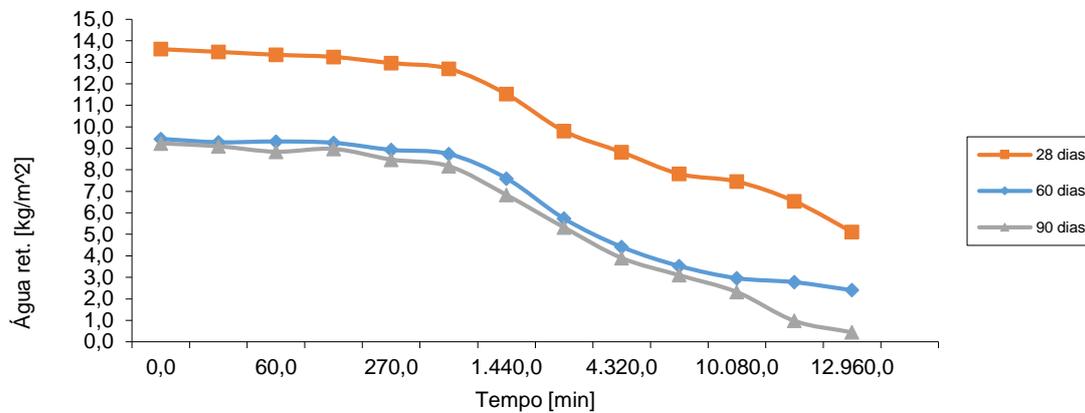


Figura 4.16- Curvas de evaporação da argamassa 1-CACI-0%

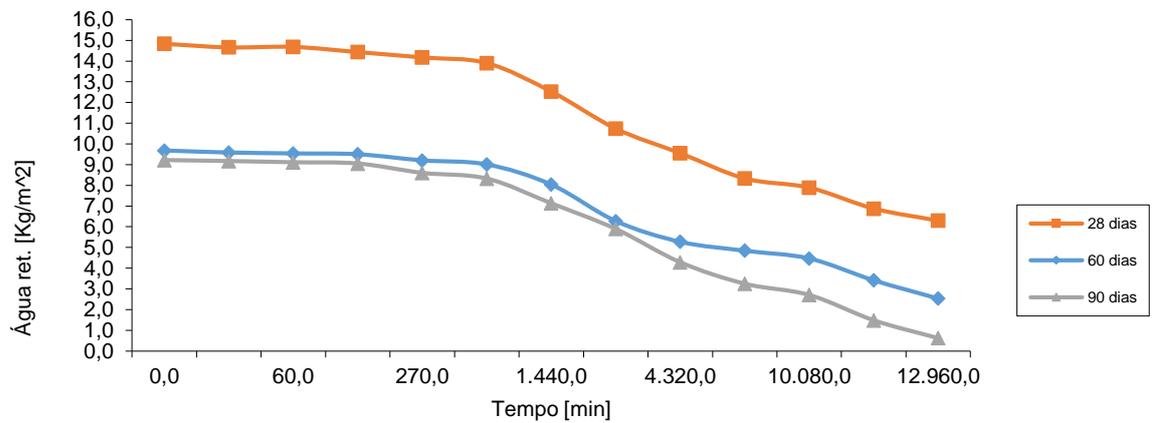


Figura 4.17- Curvas de evaporação da argamassa 2-CACI-10%

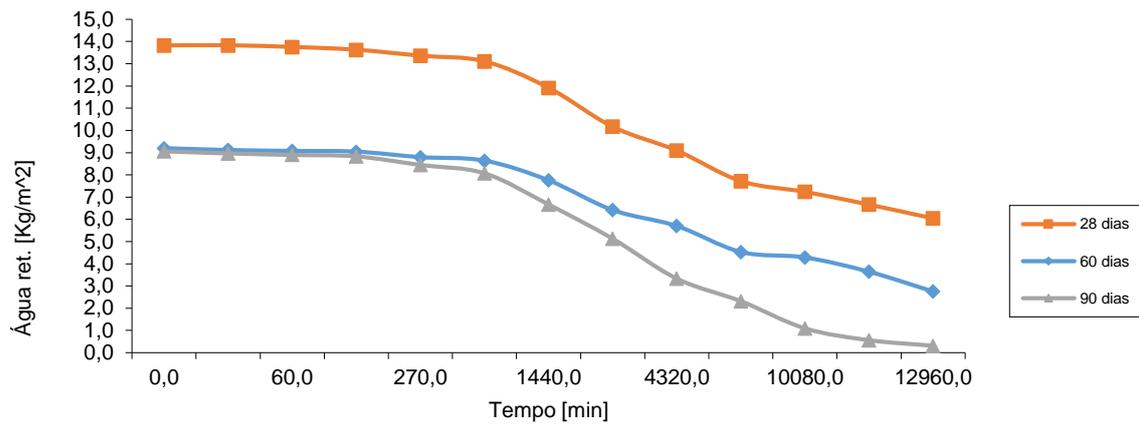


Figura 4.18- Curvas de evaporação da argamassa 3-CACI-15%

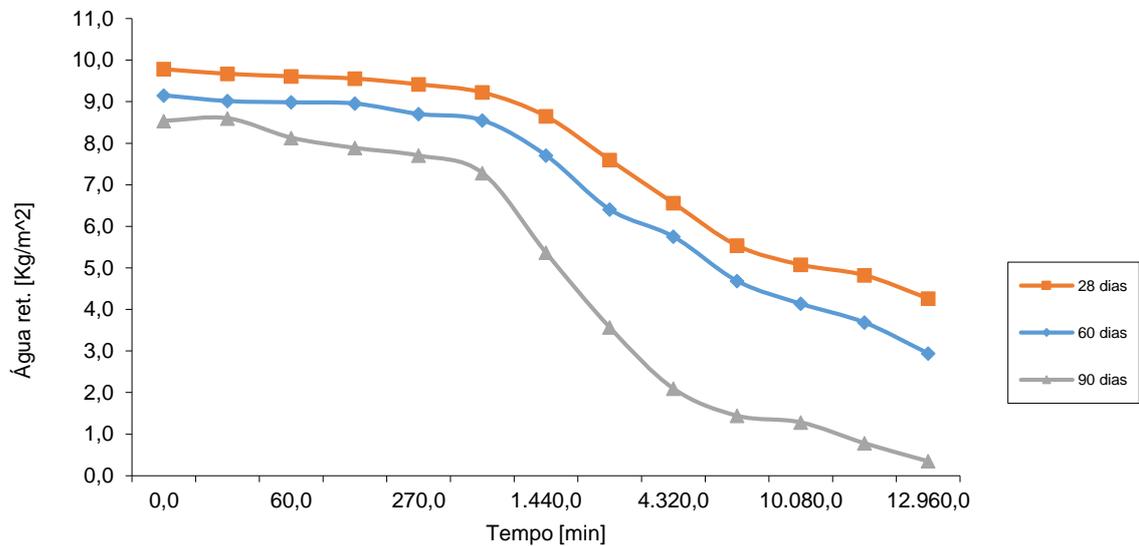


Figura 4.19- Curvas de evaporação da argamassa 4-CACI-20%

Um menor índice de secagem traduz uma maior facilidade de secagem da humidade existente.

Analisando as Figuras.4.16, 4.17, 4.18, 4.19 podemos constatar que as argamassas com idades superiores apresentam um índice de secagem mais rápido, uma vez que absorveram menos água como se pode verificar no instante inicial, em todas as formulações idades observa-se o decréscimo gradual da quantidade de água nos provetes.

A temperatura do ambiente pode alterar os valores, uma vez que este se dá através do fenómeno natural de evaporação de água.

4.4.6. Absorção de Água a Baixa Pressão- Ensaio de Tubo de Karsten

À parte de outros fatores, uma maior porosidade aberta (logo, menor compactidade) conduz a uma menor resistência mecânica e um menor módulo de elasticidade dinâmico.

As Figuras 4.20, 4.21,4.22 apresentam os resultados obtidos do ensaio de absorção de água a baixa pressão.

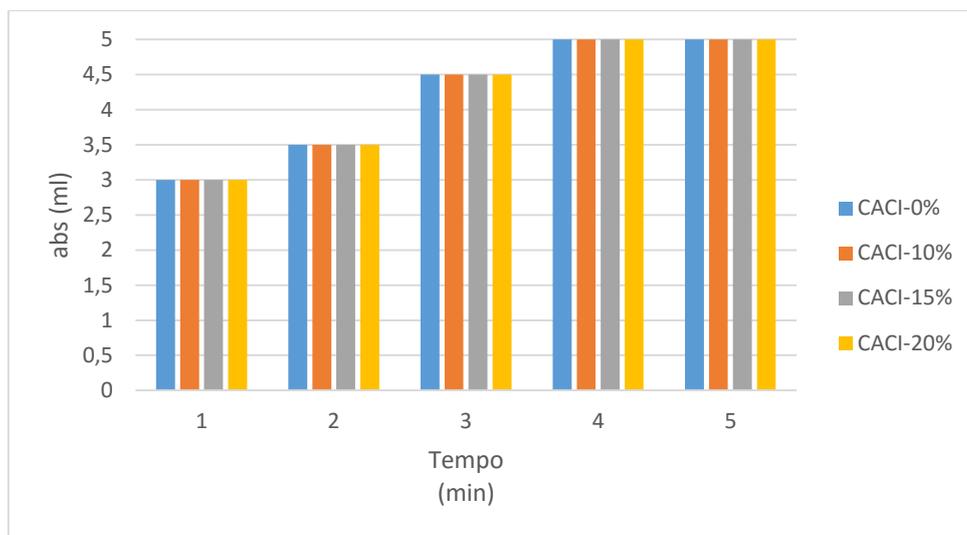


Figura 4.20- Absorção de água a baixa pressão aos 28 dias

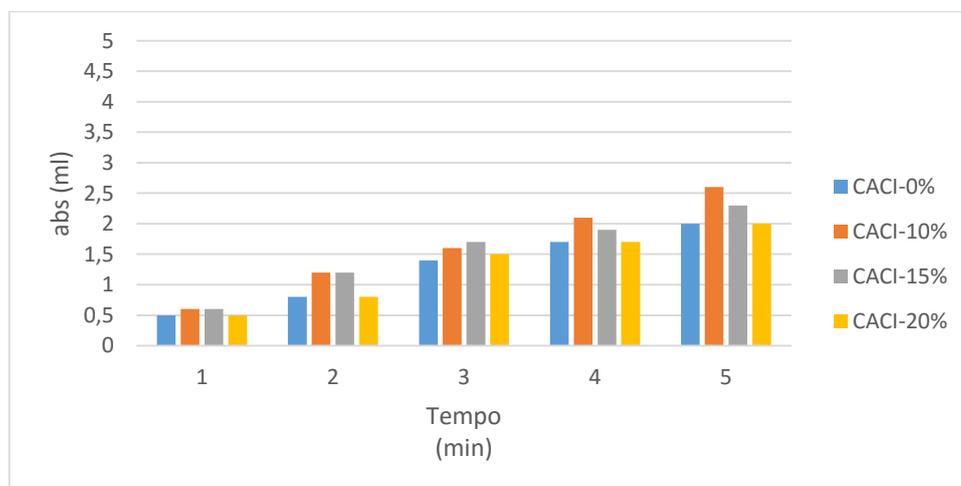


Figura 4.21- Absorção de água a baixa pressão aos 60 dias

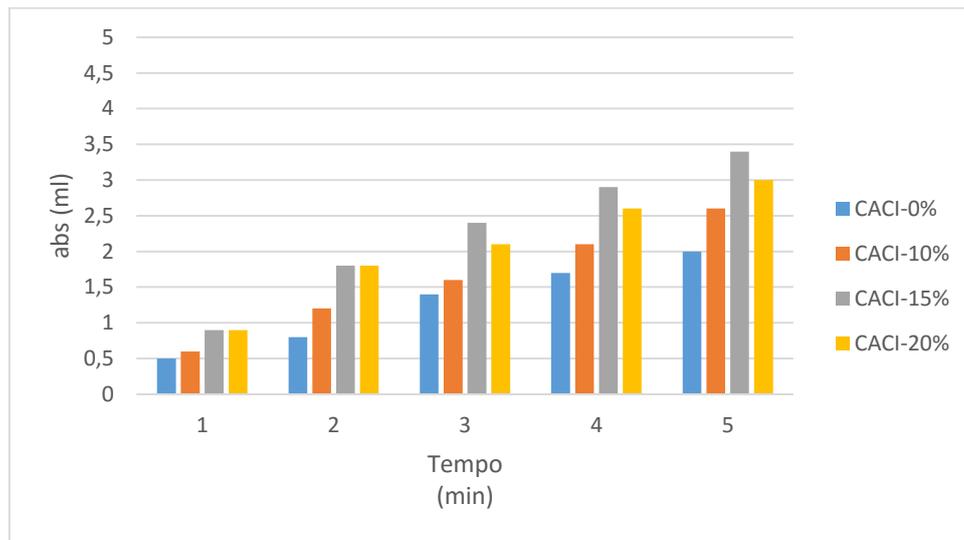


Figura 4.22- Absorção de água a baixa pressão aos 90 dias

A realização deste ensaio teve como principal objetivo observar a velocidade absorção de água, que quase não foi possível uma vez que no ensaio dos provetes com idade de 28 (Figura 4.20) dias a água colocada nos tubos de Karsten foi totalmente absorvida após o quinto minuto, deste modo verifica-se que se tratam de argamassas com uma estrutura muito porosa em que a absorção de água se dá com alguma rapidez uma vez que são absorvidas num curto espaço de tempo (5 minutos).

Nos ensaios realizados aos provetes com as idades de 60 e 90 já se conseguiu observar um tendência ao longo do tempo, mas como existe um comportamento muito variado entre todas as formulações conclui-se que há uma alteração de comportamento da idade dos 28 dias para as de 60 e 90 que se traduz num aumento gradual ao longo dos 5 minutos.

O tempo de observação considerado resultou do primeiro ensaio uma vez que a absorção de água foi de tal maneira rápida que não considerou mais tempo nos seguintes ensaios.

4.4.7. Profundidade de Carbonatação

O uso da fenolftaleína para a determinação da profundidade de carbonatação é apenas um método qualitativo, não traduzindo de forma precisa a extensão de carbonatação das argamassas pois, como se pode observar na Figura 4.21,4.22, 4.23 o indicador de fenolftaleína deteta a presença pontual de zonas não carbonatadas. Porém, as reações de carbonatação continuam a ocorrer embora o indicador deixe de ter sensibilidade para a sua detecção.



Figura 4.23- Profundidade de carbonatação aos 28 dias.



Figura 4.24- Profundidade de carbonatação aos 60 dias

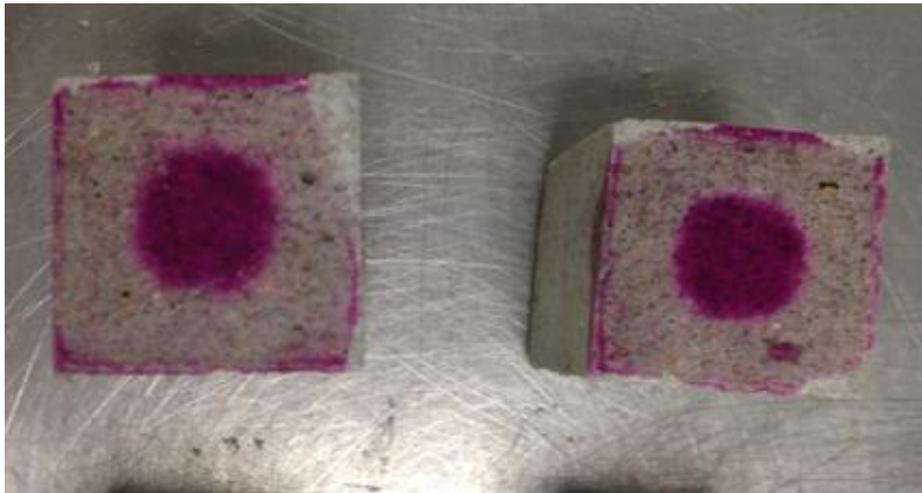


Figura 4.25- Profundidade de carbonatação aos 90 dias

Através da observação visual é possível observar a mudança de cor de incolor para cor púrpura quando estamos presente a redução do valor do pH.

Sendo espectável que houvesse uma redução de pH gradual de fora para o núcleo central do provete.

A presença da cor púrpura nos provetes com 90 dias mostra que o processo de carbonatação ainda não está concluído, desde modo seria necessário prolongar o tempo de cura para que o processo estivesse concluindo. Assim sendo podemos concluir que os resultados obtidos de forma geral podem não expressar os verdadeiros valores das características das formulações uma vez que o processo de carbonatação não esta concluído.

Através da observação da Figura 4.26 podemos verificar a diminuição da zona carbonatada ao longo do tempo de cura



Figura 4.26- Provetes onde se realizou o ensaio de carbonatação

4.5. Correlação estabelecida entre as características avaliadas

Após avaliar individualmente os resultados, apresenta-se de seguida uma análise que pretende correlacionar os resultados obtidos em alguns ensaios. Esta análise permite extrair alguma informação acerca da influência da substituição efetuada e das condições de cura a que os provetes foram submetidos permitindo inferir acerca do desempenho das formulações ensaiadas.

4.5.1. Massa volúmica e coeficiente de capilaridade

Através da observação das Figuras 4.27, 4.28 4.29, 4.30 realizar-se à uma análise entre as massas volúmicas e o coeficiente de absorção capilar das argamassas em estudo que serão analisadas, individualmente.

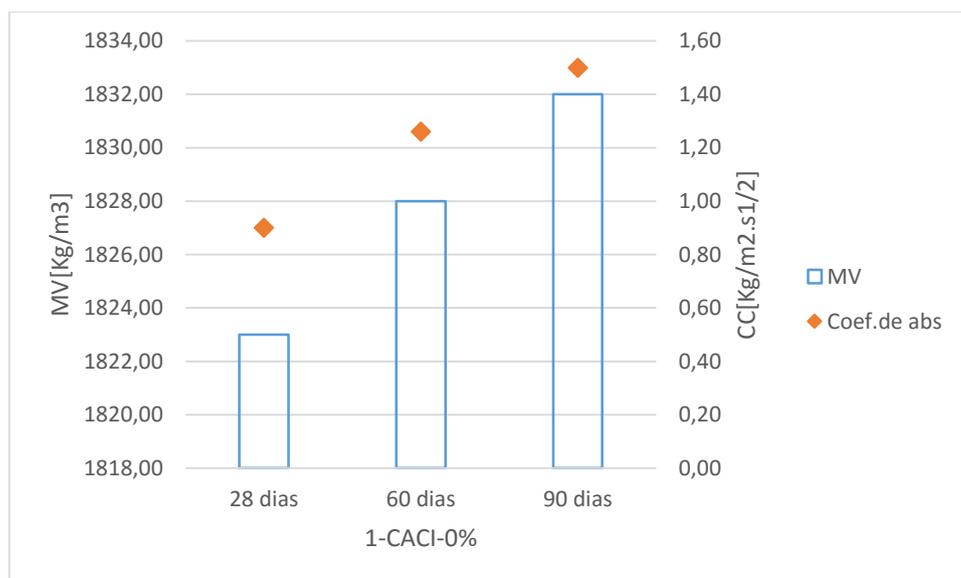


Figura 4.27- Massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar da argamassa 1-CACI-0%

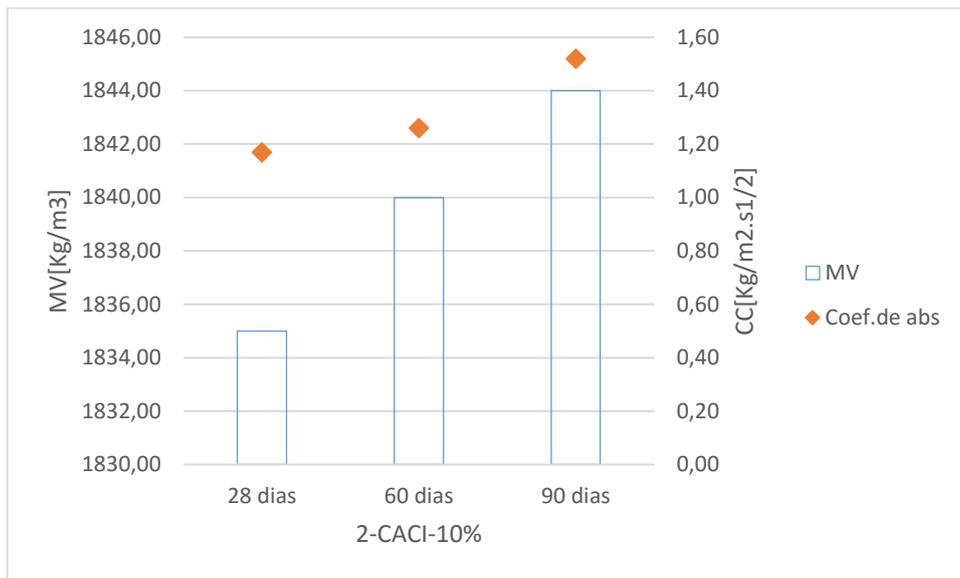


Figura 4.28- Massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar da argamassa 2- CACI-10%

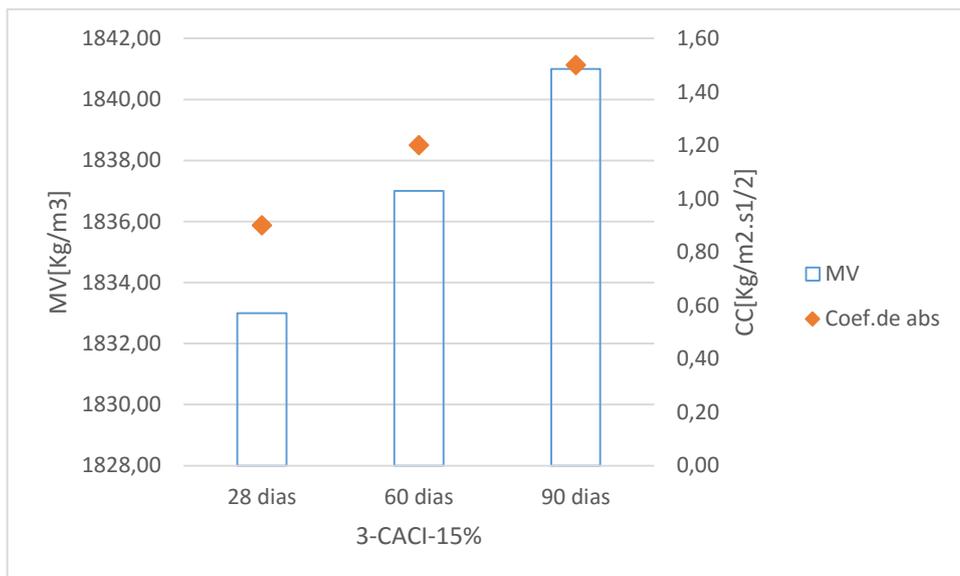


Figura 4.29 - Massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar da argamassa 3-CACI-15%

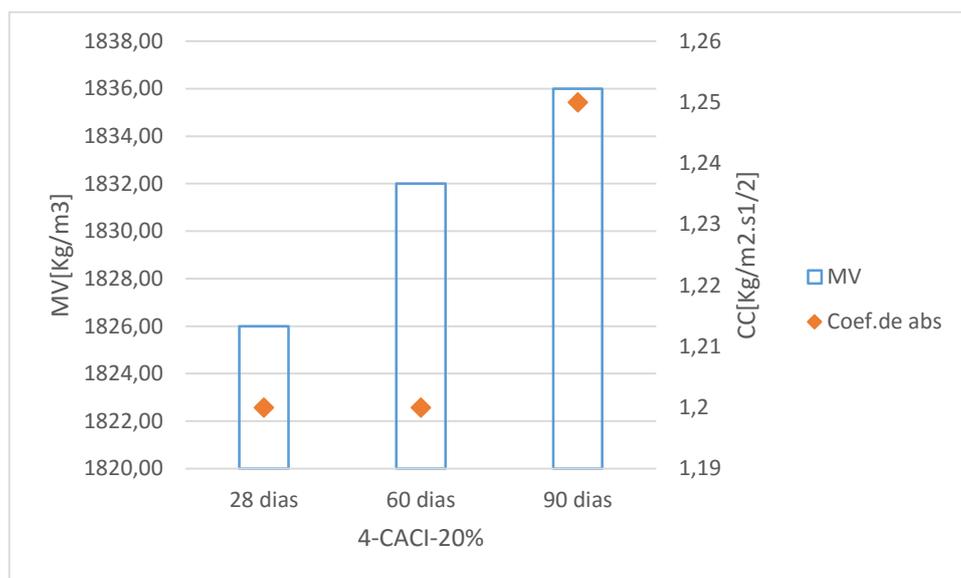


Figura 4.30- Massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar da argamassa 4-CACI-20%

Através da observação das Figura 4.27, 4.28, 4.29, 4.30 podemos analisar a relação entre a massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar em cada argamassa e ao longo do tempo.

De forma geral existe um aumento da massa volúmica ao longo do tempo, mas ao contrário do que seria espetável o coeficiente de absorção também aumentou acompanhado a tendência de aumento de massa volúmica.

Em todas as Figuras podemos observar um comportamento semelhante, exceto na Figura 4.28 respeitante a argamassa 4-CACI-20% que demonstra um comportamento diferente, uma vez que apresenta valores dos coeficientes de absorção mais baixos relativamente as outras formulações tendo a mesma tendência de aumento da massa volúmica.

O aumento da massa volúmica da argamassa pode estar relacionado com o preenchimento dos espaços vazios existentes no interior da argamassa através do fenómeno de carbonatação, diminuindo a quantidade de poros vazios, sendo deste modo espetável que o coeficiente de absorção de água fosse menor uma vez que existiu uma diminuição dos vazios.

Deste modo também seria espetável que com a diminuição da quantidade de cal aérea houvesse uma diminuição da massa volúmica o que não se verificou podendo ser explicado através do comportamento de filler do resíduo cerâmico vidrado.

Em termos gerais, as argamassas apresentam grande oscilação da massa volúmica ao longo do tempo, apresentando um aumento progressivo ao longo da idade de cura sendo superior aos 90 dias em todas as formulações.

4.5.2. Ductilidade

A ductilidade é a propriedade que representa o grau de deformação que um material suporta até o momento de sua fratura. Materiais que suportam pouca ou nenhuma deformação no processo de ensaio de tração são considerados materiais frágeis.

Através da determinação da resistência à tração e à compressão das diferentes formulações de argamassas é possível obter o valor da ductilidade, expressa pelo quociente R_f/R_c .

A relação entre a resistência à flexão e à compressão, expressa segundo R_f/R_c (parâmetro de grandeza adimensional) determina o coeficiente de ductilidade das argamassas, o qual traduz a capacidade das argamassas se deformarem. A Tabela 4.8 e a Figura 4.31 contêm os valores obtidos do quociente entre as resistências mecânicas.

Tabela 4.8- Quociente entre as resistências mecânicas, resistência à compressão e à flexão.

	Ductilidade-RF/RC		
	Idade de Cura		
	28 Dias	60 Dias	90 Dias
CACI-0%	0,26	0,29	0,08
CACI-10%	0,26	0,34	0,15
CACI-15%	0,30	0,32	0,18
CACI-20%	0,39	0,35	0,25

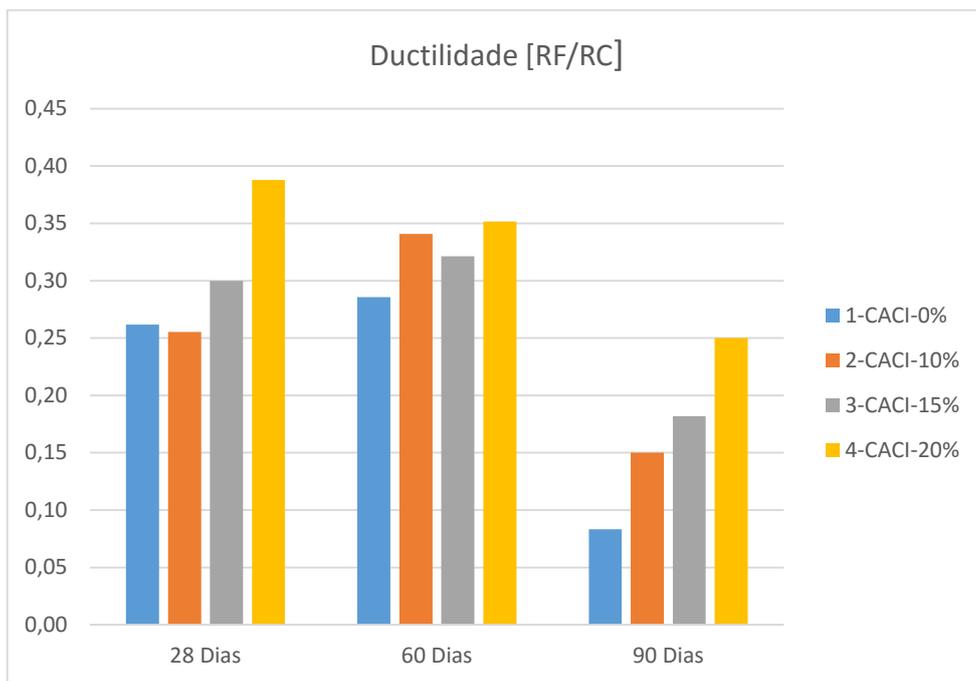


Figura 4.31-Quociente entre as resistências mecânicas, resistência à compressão e à flexão, das argamassas

Ao analisar a Figura 4.31 verifica-se que a relação R_f/R_c diminui em geral ao longo do tempo, e portanto a ductilidade vai sendo tendencialmente mais baixa.

Admitindo a hipótese que quanto menor o quociente entre as resistências mecânicas à flexão e à compressão, menor a ductilidade da argamassa, conclui-se que quanto maior o coeficiente (R_f/R_c), maior ductilidade tem a argamassa e conseqüentemente menos esforços são transmitidos ao suporte.

As argamassas de substituição apresentam valores de ductilidade superiores ao da argamassa sem substituição.

As argamassas de substituição 4-CACI-20%5 são as que apresentam maior ductilidade, evidenciando desta forma melhor capacidade para absorver deformações.

Os valores obtidos encontra-se em concordância com a bibliografia consultada [30].

4.5.3. Resistência à compressão, à flexão e módulo de elasticidade dinâmico

As resistências mecânicas à compressão e à flexão estão correlacionadas com o módulo de elasticidade, nas Figuras 4.32, 4.33, 4.34, será realizada uma análise das quatro formulações em cada idade de cura considerada aos 28, 60 e 90 dias, nas Figuras 4.35, 4.36, 4.37, 4.38 é feita a análise de cada argamassa individualmente em todas as idades de cura com o objetivo de a análise ser a mais correta possível.

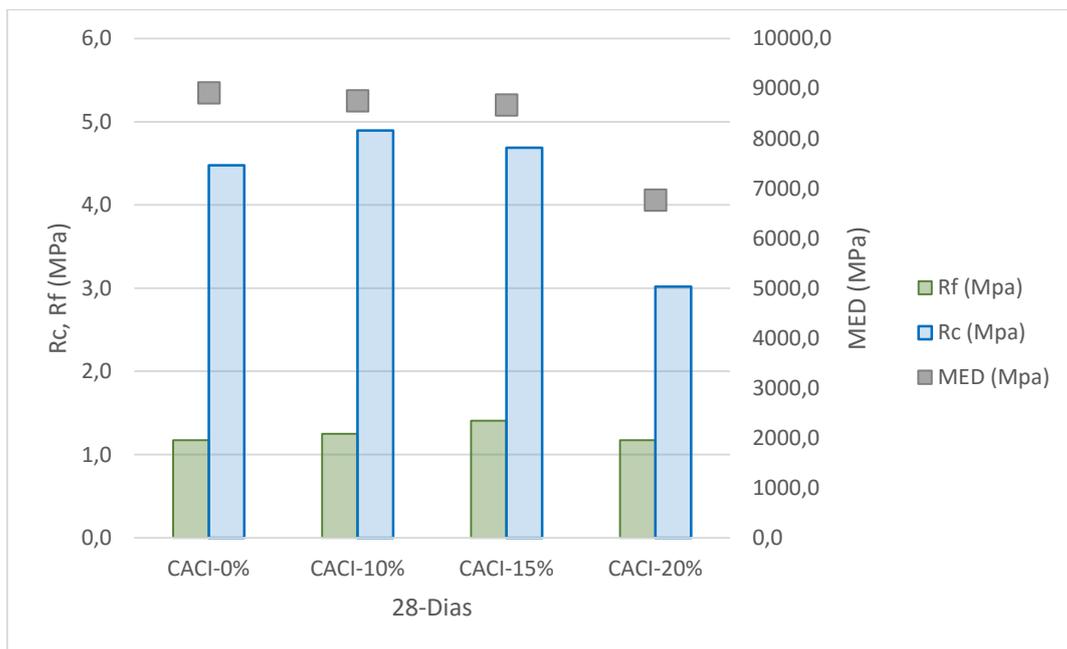


Figura 4.32- Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias quatro formulações de argamassas

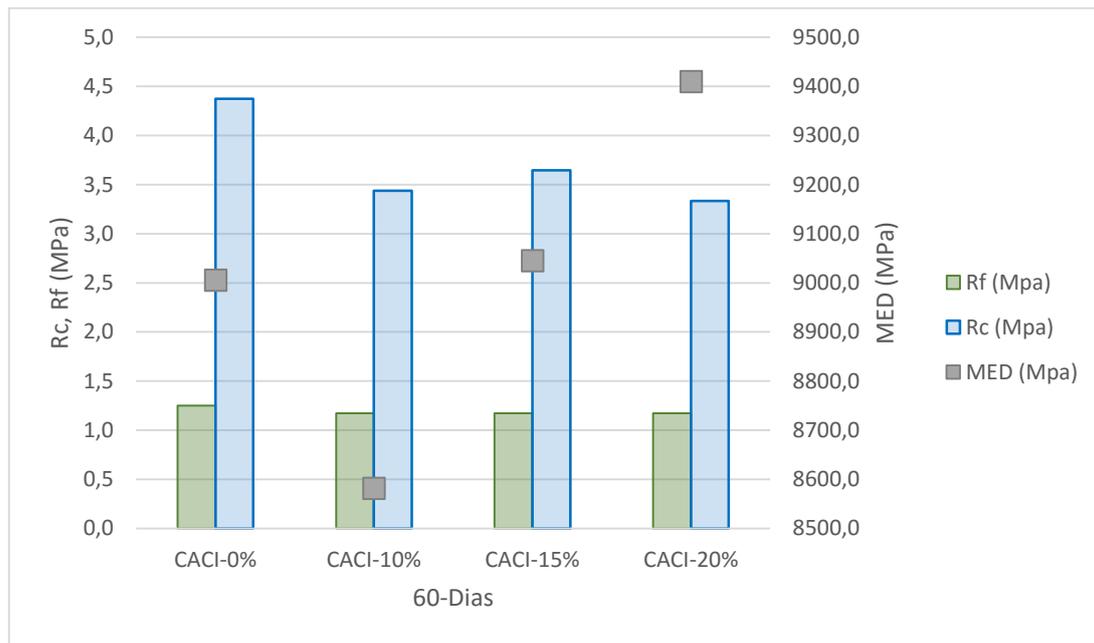


Figura 4.33- Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 60 dias das quatro formulações de argamassas

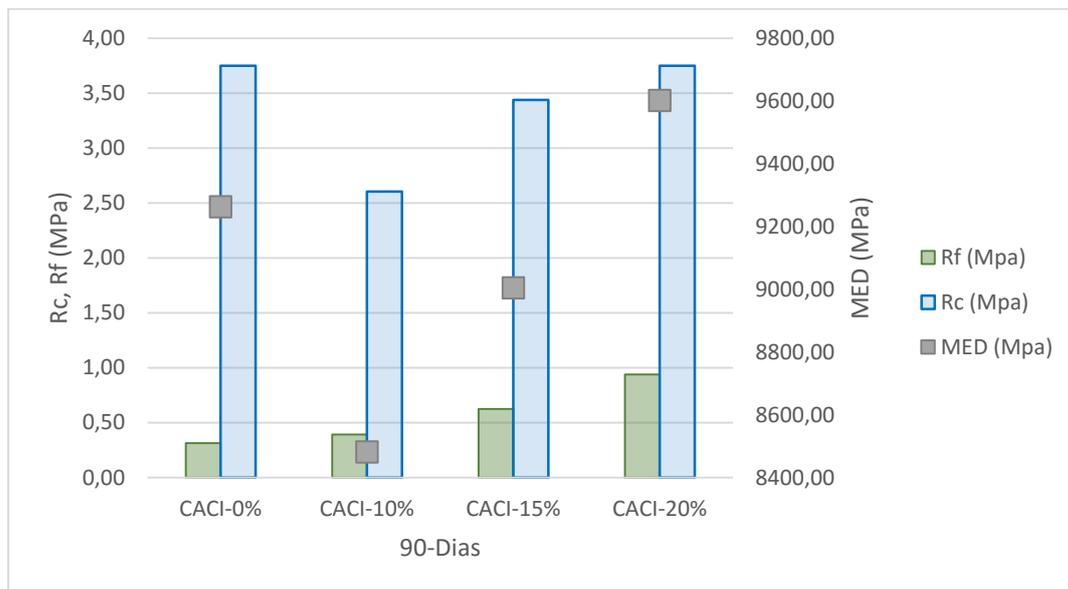


Figura 4.34- Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 90 dias das quatro formulações de argamassas

Através da observação nas Figuras 4.32, 4.33 e 4.34 nas quais se representa a relação entre as resistências mecânicas à tração e à compressão e o módulo de elasticidade dinâmico, ao longo da idade de cura das argamassas (28 dias, 60 dias e 90 dias) pode-se analisar que os valores de Rf, Rc e do MED variam de forma variada ao longo do tempo.

Aos 28 dias de idade de cura as argamassas tem todas, um comportamento semelhante exceto a argamassa 4-CACI-20% que apresenta menores valores relativamente as Rf, Rc e MED.

Aos 60 dias de idade de cura as argamassas CACI-0%,10% e 15% sofrem uma alteração de comportamento diminuindo os valores de Rf, Rc e do MED sendo esse comportamento mais acentuado na argamassa 2-CACI-10%. A argamassa 4-CACI-20% demonstra um comportamento diferente uma vez que existe um aumento dos valores de Rf e Rc e MED.

Aos 90 dias de idade de cura as argamassas demonstram o mesmo padrão de comportamento mencionado aos 60 dias idade, sendo o comportamento mais acentuado uma vez que os valores de Rf, Rc e MED de CACI-0%,10% e 15% diminuem ainda mais e os valores CACI-20% aumentam.

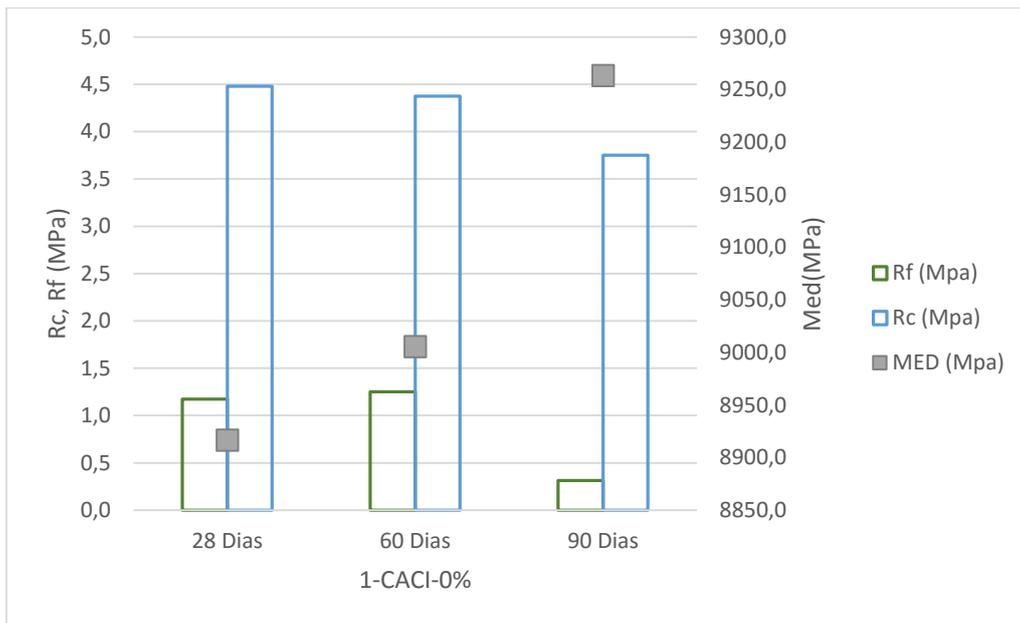


Figura 4.35- Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico da argamassa 1-CACI-0%

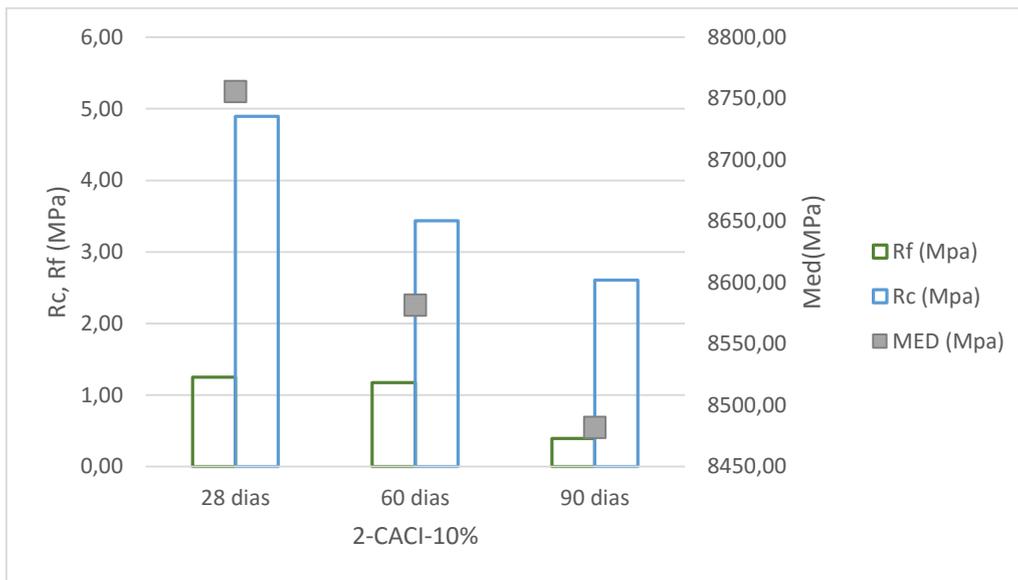


Figura 4.36- Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico da argamassa 2-CACI-10%

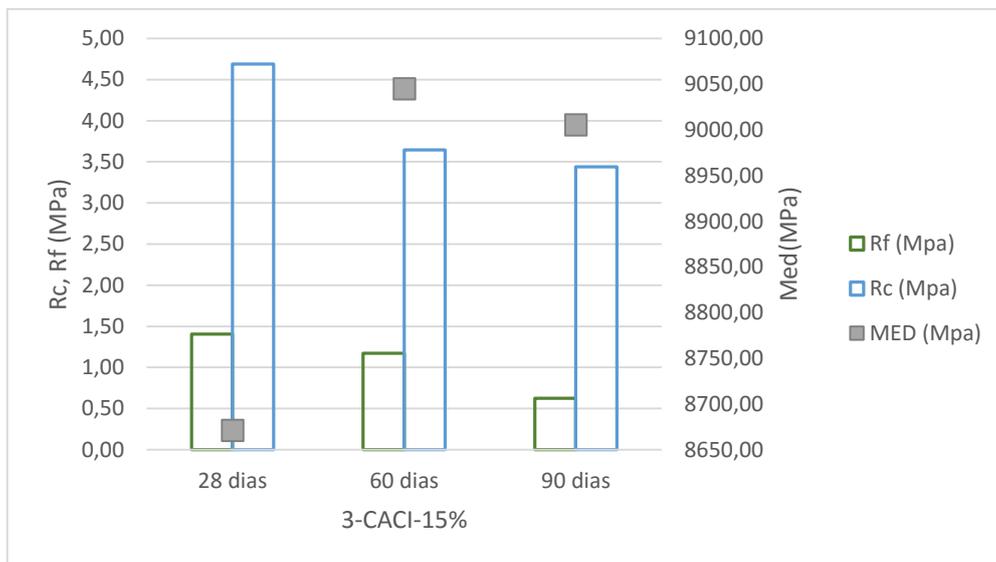


Figura 4.37- Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico da argamassa 3-CACI-15%

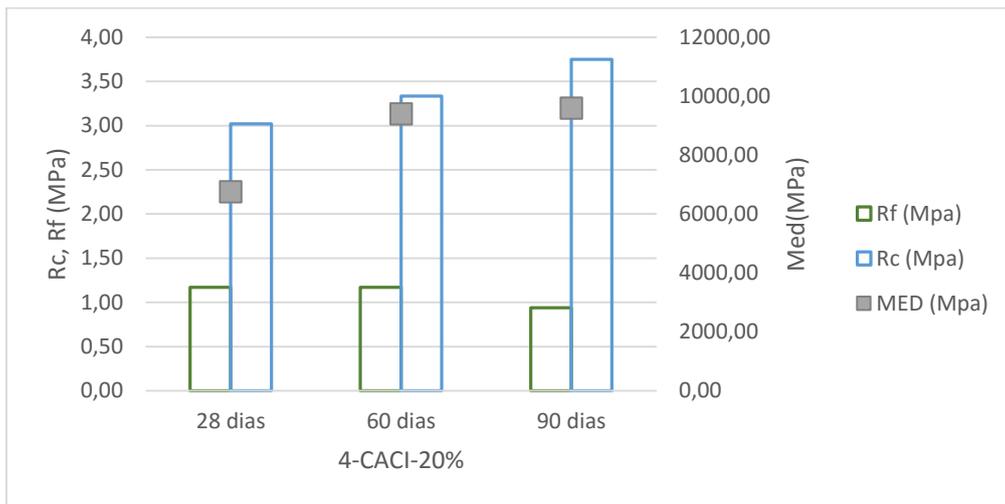


Figura 4.38- Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico da argamassa 4-CACI-20%

As Figuras 4.35, 4.36, 4.37, 4.38 ilustram a relação entre os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão, flexão e módulo de elasticidade dinâmico para cada tipo de argamassa, com intuito de se compreender o andamento de cada argamassa ao longo do tempo.

Ao observar a Figura 4.34, averigua-se que existe um aumento do MED ao longo do tempo e uma diminuição dos valores obtidos dos ensaios das resistências a flexão e compressão.

Ao observar a figura 4.35, averigua-se que existe uma diminuição dos valores MED ao longo do tempo e uma diminuição dos valores obtidos dos ensaios das resistências a flexão e compressão.

Pela análise da Figura 4.36 verifica-se uma diminuição dos valores obtidos dos ensaios de Rc, Rf , aos 28 dias o valor do MED apresenta um valor baixo mas que aumenta ao longo do tempo.

Na Figura 4.38 verifica-se um aumento dos valores obtidos dos ensaios de Rc, Rf e do MED, apresentado deste modo um comportamento diferente verificado nas outras formulações.

Seria expectável verificar ao longo da idade de cura das argamassas um aumento da carbonatação das argamassas em estudo, conduzindo a resistências mecânicas mais

elevadas, bem como a menor porosidade, a que poderão corresponder poros de menor dimensão.

Não se verifica em todas as argamassas um aumento das resistências mecânicas ao longo do tempo, observando um comportamento variado nas argamassas em estudo

Podemos verificar que o aumento das resistências só ocorreu na argamassa 4-CACI-20%, concluindo-se desta forma que estas seguiram o padrão de aumento de resistência que pode ter ocorrido devido ao preenchimento dos poros através do efeito de filler do resíduo cerâmico uma vez que estas argamassas dispõem de menos quantidade de cal, ou seja seria espectável possuírem uma maior quantidade de poros vazios, o que não se verificou uma vez que as resistências aumentaram relativamente as outras formulações.

4.5.4. Resistência mecânica e coeficiente de capilaridade

Os resultados obtidos nos ensaios realizados permitem relacionar a resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade os resultados obtidos na resistência à compressão mostra-se nas Figuras 4.36, 4.37, 4.38, 4.39.

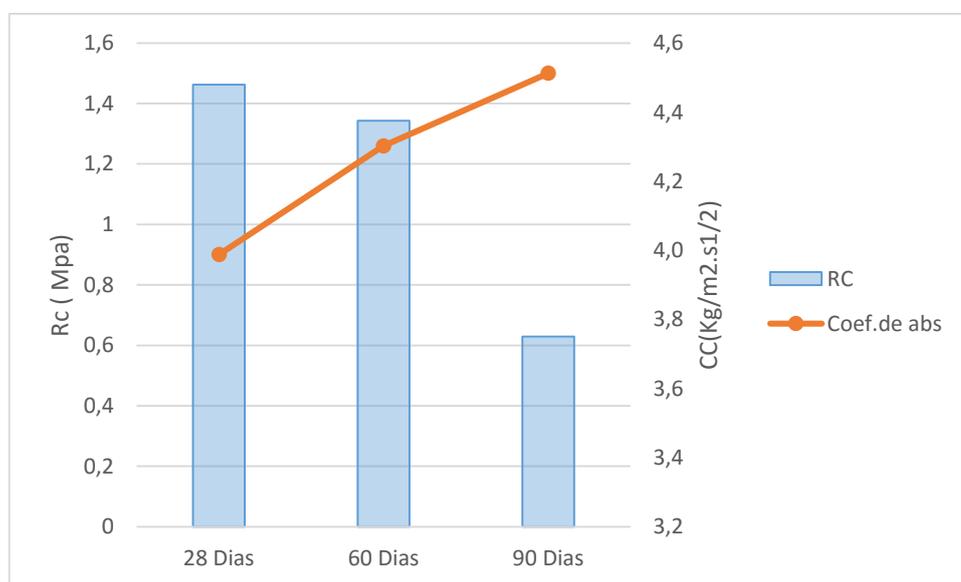


Figura 4.39- Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade da argamassas 1-CACI-0%

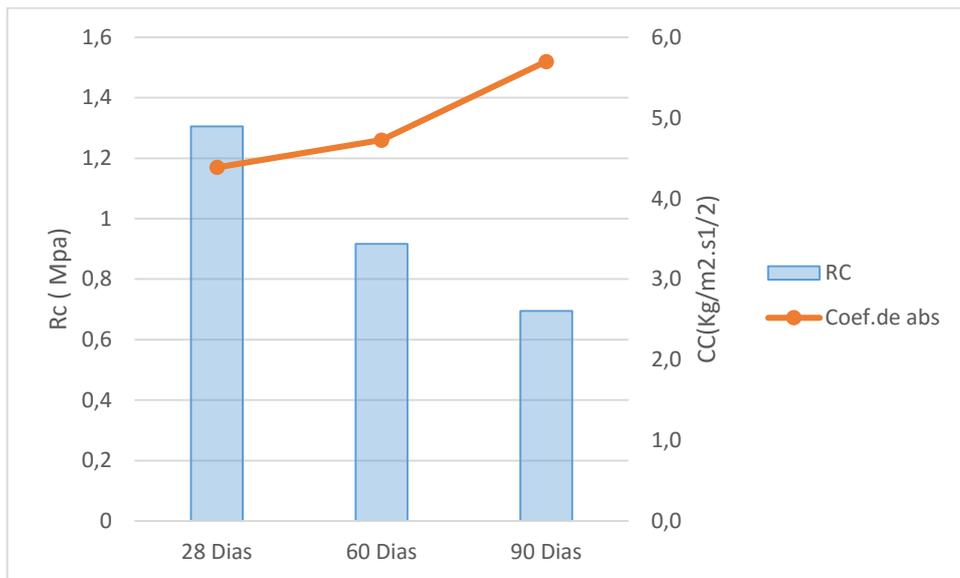


Figura 4.40- Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade da argamassas 2-CACI-10%

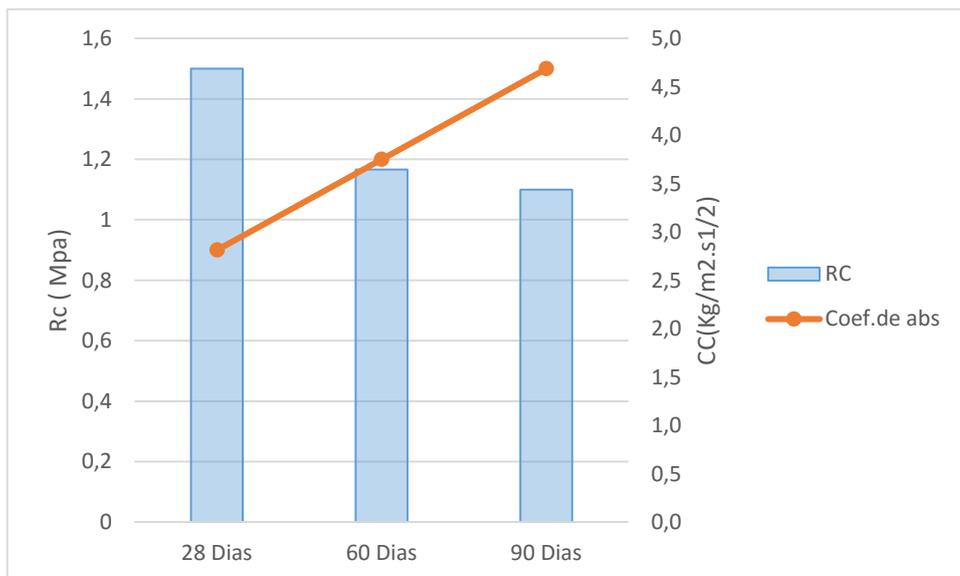


Figura 4.41- Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade da argamassas 3-CACI-15%

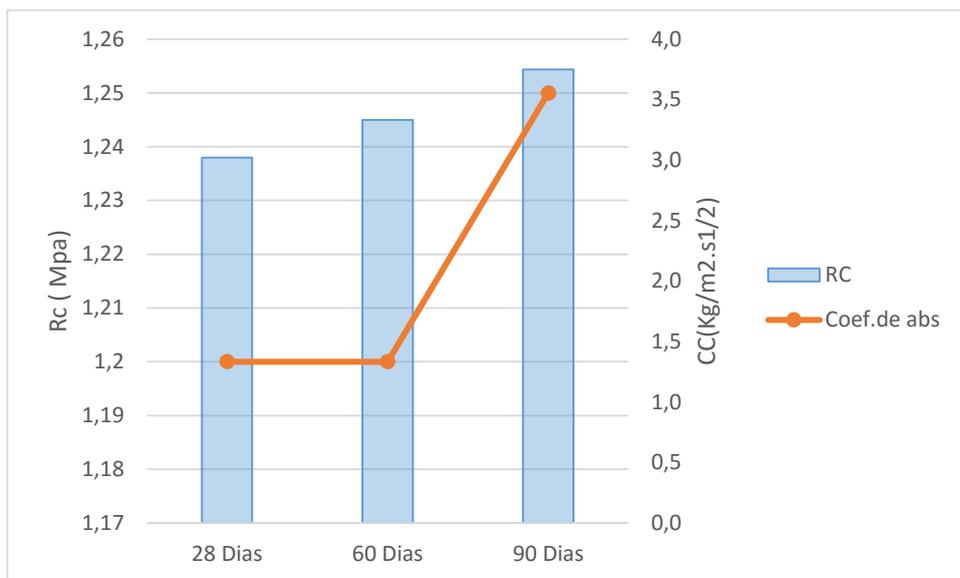


Figura 4.42- Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade da capilaridade da argamassas 4-CACI-20%

As Figuras 4.39, 4.40, 4.41, 4.42 mostram a relação entre a resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade de cada argamassa ao longo do tempo de cura, a resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade estão relacionados uma vez que quanto maior a resistência à compressão menor o coeficiente de capilaridade.

Através da observação das figuras pode-se constatar que as Figuras 4.37, 4.38, 4.39 obedecem a esse comportamento uma vez que ao longo do tempo, a resistência à compressão diminui e o coeficiente de capilaridade aumenta, verificando-se assim um aumento dos vazios. Este comportamento devia ser o oposto uma vez que ao longo do tempo com o aumento da resistência devia aumentar devido a diminuição da quantidade de vazios e a consequente diminuição do coeficiente de capilaridade.

Na Figura 4.42 observa-se um comportamento oposto uma vez que existe um aumento da resistência à compressão ao contrário do que foi verificado nas outras formulações, mas igualmente um aumento do coeficiente de capilaridade aos 90 dias.

4.5.5. Resistência mecânica e massa volúmica

Os resultados obtidos nos ensaios realizados permitem relacionar a massa volúmica e as resistências à flexão e compressão.

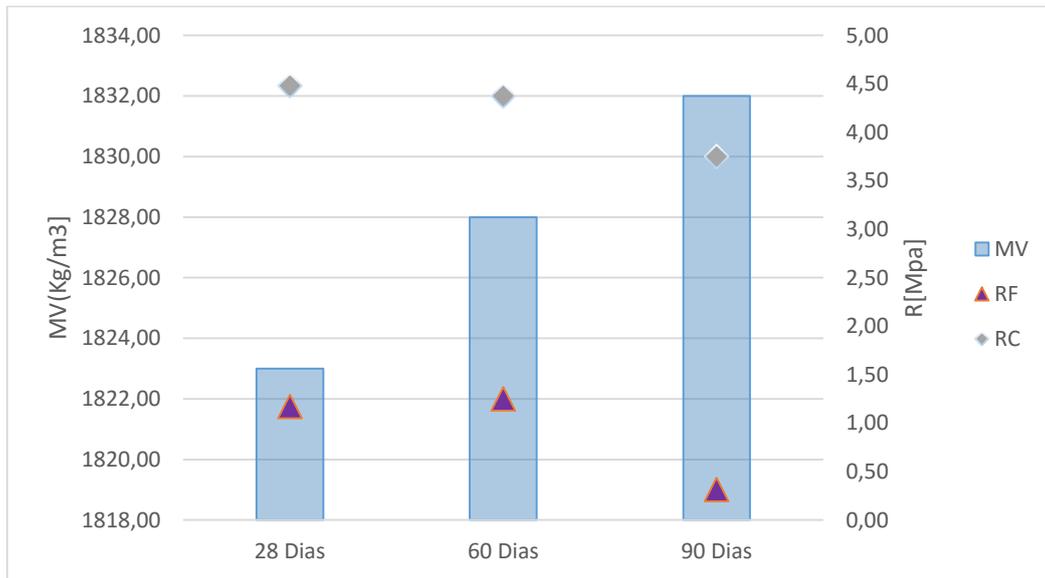


Figura 4.43- Resistências mecânicas e massa volúmica da argamassa 1-CACI-0%.

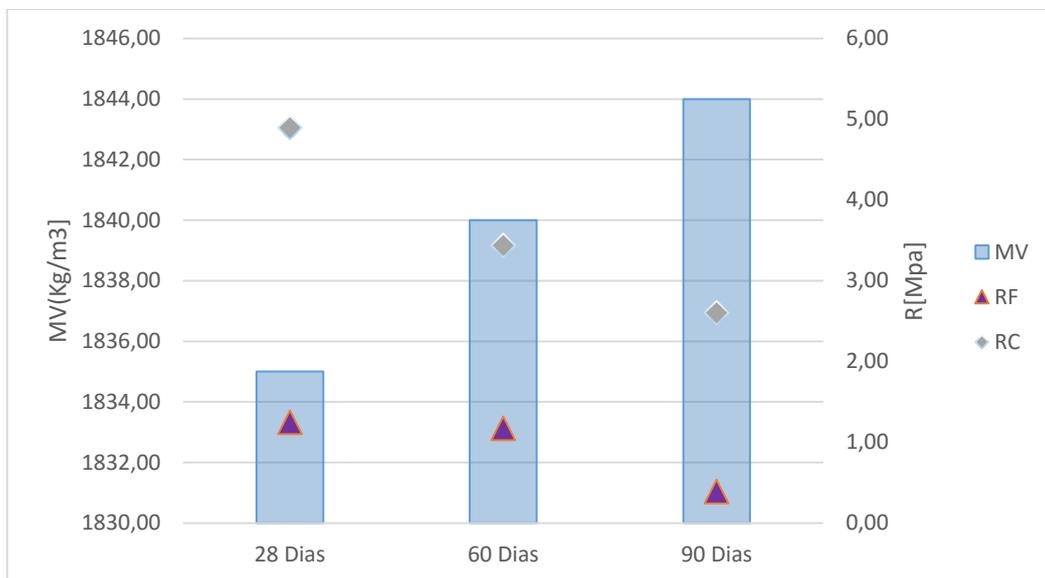


Figura 4.44- Resistências mecânicas e massa volúmica da argamassa 2-CACI-10%

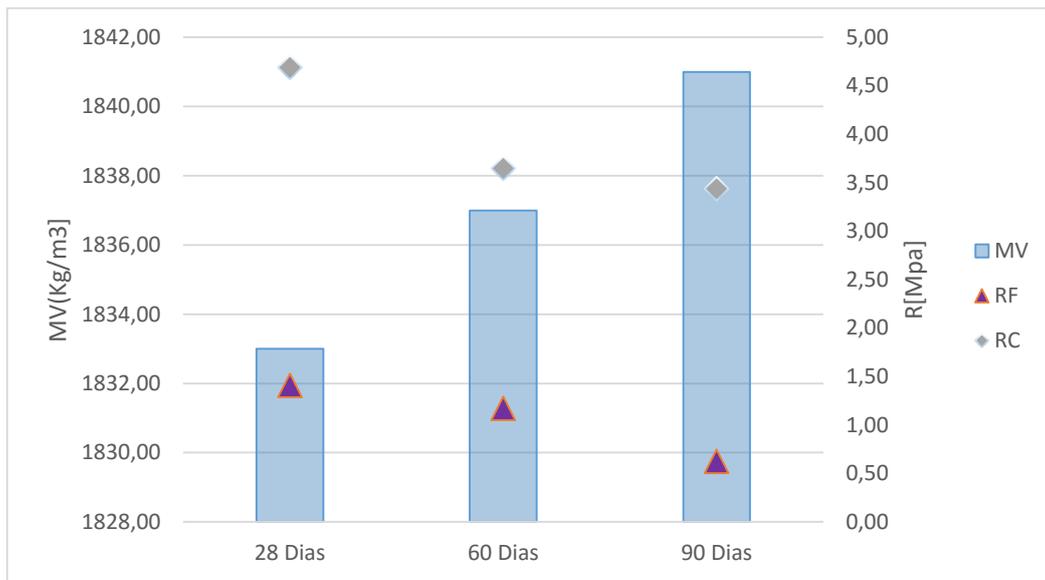


Figura 4.45- Resistências mecânicas e massa volúmica da argamassa 3-CACI-15%

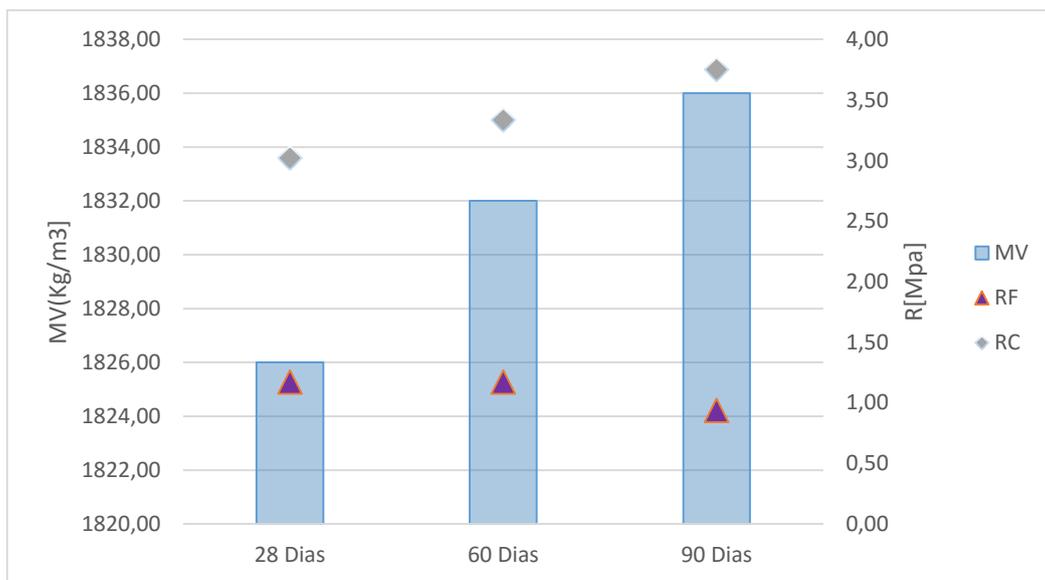


Figura 4.46- Resistências mecânicas e massa volúmica da argamassa 4-CACI-20%

Com o aumento da massa volúmica seria espectável que as resistências seguissem a mesma tendência e aumentassem também, uma vez que o aumento da massa volúmica torna as argamassas mais compactas, ficando mais resistentes [30].

Analisando as Figuras 4.41, 4.42, 4.42, 4.43 podemos concluir que em todas as formulações existe um aumento da massa volúmica ao longo do tempo, mas ao contrário

do que seria espectável existe um decremento das resistências exceto na formulação 4-CACI-20%, onde existe um aumento da resistência à compressão.

5. Comentários finais e desenvolvimentos futuros

5.1. Considerações iniciais

No presente capítulo é realizada uma avaliação geral dos resultados, sendo apresentadas breves conclusões obtidas no presente trabalho. Onde se pretende referir as contribuições do trabalho apresentado face aos objetivos inicialmente propostos, apresentando as perspectivas de desenvolvimento de trabalhos futuros neste domínio

5.2. Comentários finais

Entre os vários tipos de argamassas analisadas no presente estudo, verifica-se que não há uma argamassa considerada melhor para todas as características em estudo.

Embora se possa constatar que a argamassa 4-CACI-20% diferenciou-se quase sempre das outras formulações, mostrando muitas vezes resultados opostos mas espectáveis, ao contrário das outras formulações.

A análise realizada foi relativamente aos resultados obtidos entre as distintas formulações idealizadas, dado que os poucos estudos existentes com incorporação de resíduos cerâmicos vidrados em argamassas bastardas. Realizou-se uma análise entre as argamassas com substituição de resíduo cerâmico vidrado com a formulação base sem substituição.

Dado que as percentagens em estudo serem de 10%, 15% e 20% ou sejam quantidades em termos de substituição da cal áreas pequenas, pode-se explicar o semelhante comportamento das formulações 1-0%, 2-10% e 3-15% tendo a 4-20% apresentado resultados diferentes.

Em relação aos resultados obtidos da argamassa base, ou seja a bastarda de cal aérea, cimento e areia, constatou-se que os valores dos resultados estavam dentro dos valores característicos das mesmas.

Uma vez que o estudo baseia-se na experiência e conhecimentos do investigador alguns resultados podem apresentar alguns erros ou diferenças apesar da correta utilização das

normas que servem para normalizar os procedimentos. Mas uma vez que nem todos os laboratórios apresentam os mesmos equipamentos e como muitos procedimentos são adaptados podem existir algumas diferenças de resultados comparativamente a outros estudos realizados por outros investigadores.

De forma geral, pode-se afirmar que apesar de não se ter verificado grandes diferenças de comportamento nas argamassas 1, 2 e 3 conclui-se que o incremento não altera os resultados relativamente à formulação. Pode-se concluir que o resíduo cerâmico vidrado pode ter características semelhantes à da cal aérea e/ou que a substituição não é relevante e não altera as características de comportamento da formulação base.

Ao verificar-se que as formulações das argamassas 1, 2 e 3 obtiveram resultados semelhantes, pode-se afirmar que a substituição é viável, o facto de não alterar as características das argamassas bastando sendo o objetivo de aproveitamento de resíduo cerâmico vidrado cumprido.

O processo de carbonatação não se completou em nenhuma formulação e todas as formulações tiveram o mesmo estado de evolução da profundidade da carbonatação.

O ensaio da carbonatação é um dos mais importantes uma vez que é uma das características principais da cal aérea e que influencia quase todos os outros resultados dos ensaios, pode-se afirmar que o estudo não ficou completo uma vez que foi realizado num curto espaço de tempo.

5.3. Desenvolvimentos futuros

Concluindo o presente estudo, é necessário esclarecer algumas questões que não foram completamente esclarecidas, as quais, poderão ser alvo de estudos futuros.

Apresentam-se, em seguida, as perspetivas de trabalhos futuros:

- Seria de relevante interesse fazer o mesmo estudo com substituição do cimento por resíduo cerâmico vidrado.
- Aumentar os tempos de cura uma vez que através do ensaio de carbonatação verificou-se que a carbonatação não estava completa.
- Aumentar o número de ensaios de forma a aprofundar o estudo, seria relevante efetuar os ensaios de pull-off e o da avaliação da porosidade por meio de tubos de Karsten.

- Realizar substituições a partir dos 20% de substituição.

Refere-se ainda como interessante de realizar:

- Variações da cura de forma a simular as condições em obra de acordo com os climas presentes em Portugal (litoral e interior, norte e sul), uma vez que as condições foram as ideais, em ambiente de laboratório.

-

6. Referências bibliográficas

- [1] G. MATIAS, P. FARIA E I. TORRES, ARGAMASSAS DE CAL AÉREA COM RESÍDUOS DE CERÂMICA, ARTIGO CONFERENCIA APFAC, LISBOA, 2012.
- [2] I. TORRES E P. FARIA, INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA EM ARGAMASSAS DE CAL PARA REABILITAÇÃO - RESULTADOS PRELIMINARES DE PROJETO, COIMBRA, 2014.
- [3] M. VEIGA, “ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS.” EM ACTAS DO 3º ENCORE, ENCONTRO SOBRE CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, LISBOA, 2003.
- [4] C. S. A. AGOSTINHO, ESTUDO DA EVOLUÇÃO DO DESEMPENHO NO TEMPO DE ARGAMASSAS DE CAL AÉREA, DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, LISBOA, 2008.
- [5] B. SILVA, INFLUÊNCIA DA DOSAGEM DE CIMENTO NAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE ARGAMASSAS BASTARDAS PARA REBOCOS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS, ARTIGO CONGRESSO APFAC, LISBOA, 2012.
- [6] A. M. M. MARTINS, ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DOSAGEM DE CIMENTO NO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS DE REBOCO, DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, LISBOA, 2008.
- [7] M. G. MARGALHA, CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DO PATRIMÓNIO, DOCUMENTO DE APOIO ÀS AULAS DE CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DO PATRIMÓNIO, UNIVERSIDADE DE EVORA, ÉVORA.
- [8] M. VEIGA, AS ARGAMASSAS NA CONSERVAÇÃO. ATAS DAS 1ªS JORNADAS DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO, Aveiro, 2003.
- [9] M. VEIGA, A. S. S. AGUIAR E F. CARVALHO, METHODOLOGIES FOR CHARACTERISATION AND REPAIR OF MORTARS OF ANCIENT BUILDINGS, SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS, GUIMARÃES: LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, 2001.
- [10] CASAREK.H, MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, SÃO PAULO-BRASIL, 2007.
- [11] P.F.RODRIGUES, TECNOLOGIAS DE REVESTIMENTOS. APONTAMENTOS DAS AULAS 2007/2008.

- [12] J. D. S. COUTINHO, MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO 2 ,1ª PARTE – LIGANTES E CALDAS FOLHAS DA CADEIRA, UNIVERSIDADE DE ENGENHARIA DO PORTO, PORTO,2006.
- [13] T. A. R. PEREIRA, OPTIMIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE HUMEDECIMENTO E SECAGEM DE ARGAMASSAS,DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, LISBOA, 2008.
- [14] M. G. MARGALHA, 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, 2010.
- [15] M. P. FARIA, ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO PARA ALVENARIAS ANTIGAS: CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS LIGANTES. DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL, FACULDADE DE CIÊNCIAS, LISBOA,2004
- [16] S. A. COUTINHO, FABRICO E PROPRIEDADES DO BETÃO, 3 ED., VOL. 1, LISBOA: LNEC, 1997.
- [17] G. O'HARE ARGAMASSAS E REBOCOS DE CAL:AS VANTAGENS RELATIVAS DE SE ADICIONAR CIMENTO,ARTIGO CIENTIFICO, 2003.
- [18] F. M. A. HENRIQUES E P. FARIA, O PAPEL DA INVESTIGAÇÃO NO ESTUDO DAS ARGAMASSAS DE SUBSTITUIÇÃO NA CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO, ARTIGO REVISTA ENGENHARIA CIVIL, LISBOA: UNIVERSIDADE DO MINHO, 2008.
- [19] M. VEIGA, REVESTIMENTOS DE PAREDES EM EDIFÍCIOS ANTIGOS", SEMINÁRIO UNIVER(S)CIDADES – DESAFIOS E PROPOSTAS DA CANDIDATURA, COIMBRA, NOVEMBRO DE 2007, COIMBRA, 2007.
- [20] I. ANDRADE, PRODUÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA CERÂMICA – RELATÓRIO DE DESPERDÍCIOS DA INDÚSTRIA CERÂMICA REALIZADO PELA COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DO CENTRO, REGIÃO CENTRO, 2003.
- [21] G. MATIAS, I. TORRES, P. FARIA, T. FERREIRA, A. TOMÁS E T. DUARTE, ARGAMASSAS DE CAL AÉREA COM RESÍDUOS DE CERÂMICA, LISBOA, 2012.
- [22] J. FARIA, F. TORGAL E S. JALALI, DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS PARA A REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS. PARTE 2 – COMPORTAMENTO À ÁGUA.
- [23] A. Z. G. COELHO, F. P. TORGAL e S. JALALI, A CAL NA CONSTRUÇÃO, GUIMARÃES: 2009.
- [24] V. M. RATO, INFLUÊNCIA DA MICROESTRUTURA MORFOLÓGICA NO COMPORTAMENTO de ARGAMASSAS, DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL, UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA,LISBOA, 2006.

- [25] A. T. P. BARRA, CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE ARGAMASSAS NÃO ESTRUTURAIS COM AGREGADOS FINOS RECICLADOS, DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL LISBOA, 2011.
- [26] A. M. M. VICENTE, CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS SUJEITOS À ACÇÃO DA ÁGUA E SAIS. ESTUDO FÍSICO E MECÂNICO DA INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS, LISBOA, 2012.
- [27] V. BITO, INFLUÊNCIA DOS REVESTIMENTOS POR PINTURA NA SECAGEM DO SUPORTE., LISBOA, 2009.
- [28] T. D. GONÇALVES, SALT CRYSTALLIZATION IN PLASTERED OR RENDERED WALLS,LNEC LISBOA, 2007
- [29] L. CAVACO, TÉCNICAS DE APLICAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO EM EDIFÍCIOS ANTIGOS. INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO”, DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CONSTRUÇÃO, INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, LISBOA, 2005.
- [30] M. C. C. L. BARRETO, DURABILIDADE DE ARGAMASSAS DE CAL AÉREA E BASTARDAS FACE À ACÇÃO DE SAIS SOLÚVEIS, DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, LISBOA, 2010.
- [31] A.A.C FERREIRA, INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS EM ARGAMASSAS DE CAL AÉREA SUJEITAS A CONDIÇÕES SEVERAS DE HUMIDADE E SALINIDADE DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, LISBOA, 2014.
- [32] P.SILVA AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE BETÕES AUTOCOMPACTÁVEIS (BAC), TESE DE DOUTORAMENTO EM ENGENHARIA CIVIL, INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA, JUNHO DE 2013, DOI: 10.13140/RG.2.1.1398.1285
- [33] EN 1015-1 (1998), METHODS OF TEST FOR MORTAR FOR MASONRY PART 1: DETERMINATION OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION (BY SIEVE ANALYSIS).
- [34] EN 1015-2:1998/A1:2006, METHODS OF TEST FOR MORTAR FOR MASONRY PART 2: BULK SAMPLING OF MORTARS AND PREPARATION OF TEST MORTARS
- [35] EN 1015-3 (1999), METHODS OF TEST FOR MORTAR FOR MASONRY PART 3: DETERMINATION OF CONSISTENCE OF FRESH MORTAR (BY FLOW TABLE).
- [36] EN 1015-10:1999, METHODS OF TEST FOR MORTAR FOR MASONRY PART 10: DETERMINATION OF DRY BULK DENSITY OF HARDENED MORTAR
- [37] EN 1015-11 (1999), METHODS OF TEST FOR MORTAR FOR MASONRY PART 11: DETERMINATION OF FLEXURAL AND COMPRESSIVE STRENGTH OF HARDENED MORTAR.

[38] EN 1015-18 (2002), METHODS OF TEST FOR MORTAR FOR MASONRY PART 18: DETERMINATION OF WATER-ABSORPTION COEFFICIENT DUE TO CAPILLARY ACTION OF HARDENED MORTAR.

[39] NP EN 1097-3 (2002) ENSAIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS DOS AGREGADOS. PARTE 3: DETERMINAÇÃO DA BARIDADE E DO VOLUME DE VAZIOS.

[40] ABNT NBR 15630:2008 (VERSÃO CORRIGIDA 2009), MORTARS APPLIED ON WALLS AND CEILINGS - DETERMINATION OF ELASTICITY MODULUS BY THE ULTRASONIC WAVE PROPAGATION.

[41] RILEM:CPC-18, MEASUREMENT OF HARDENED CONCRETE CARBONATION DEPTH.

[42] EN 197-1:2000, CEMENT-COMPOSITION, SPECIFICATIONS AND CONFORMITY CRITERIA FOR COMMON CEMENTS.

[43] EN 998-1:2003, SPECIFICATION FOR MORTAR FOR MASONRY. RENDERING AND PLASTERING MORTAR

[44] EN 998-2:2010, SPECIFICATION FOR MORTAR FOR MASONRY . MASONRY MORTAR.

[45] NP EN 459-1:2011, CAL DE CONSTRUÇÃO. PARTE 1: DEFINIÇÕES, ESPECIFICAÇÕES E CRITÉRIOS DE CONFORMIDADE

ANEXOS

**ANEXO A-Characterização dos constituintes das
argamassas**

A1. Análise Granulométrica

No quadro 1 seguinte apresentam-se os resultados obtidos na análise granulométrica efetuada à areia do rio Tejo.

Quadro 1-Análise granulométrica da areia

Peneiros ABERT. [mm]	Areia fina				Areia grossa			
	AREIA 0/2				AREIA 0/4			
	Massa retida [g]	% Resíduo retido	%Retido acumulado	% Passado acumulado	Massa retida [g]	% Resíduo retido	%Retido acumulado	% Passado acumulado
5,6	0	0,00%	0,00%	100,00%	4,7	0,47%	0,47%	99,53%
4	0,4	0,04%	0,04%	99,96%	9,8	0,98%	1,45%	98,55%
2	0,3	0,03%	0,07%	99,93%	89,9	8,99%	10,44%	89,56%
1	5,2	0,52%	0,59%	99,41%	260,6	26,07%	36,51%	63,49%
0,5	169,6	16,96%	17,55%	82,45%	377,2	37,74%	74,25%	25,75%
0,25	666,1	66,62%	84,17%	15,83%	223,1	22,32%	96,57%	3,43%
0,125	157,2	15,72%	99,89%	0,11%	28,9	2,89%	99,46%	0,54%
0,063	1,1	0,11%	100,00%	0,00%	5,4	0,54%	100,00%	0,00%
TOTAL	999,9	100,00%			999,6	100,00%		

Quadro 2-Baridades dos constituintes das argamassas

Material	Baridade Kgm ^{^3})
Cimento	1119,2
Cal aérea	322,66
Areia	1532,66
Resíduo cerâmico vidrado	715,73

**ANEXO B-Characterização das argamassas no estado
fresco**

ANEXO B – ENSAIO NO ESTADO FRESCO

B1. Consistência por espalhamento

No Quadro 2 seguinte apresentam-se os resultados obtidos na determinação da quantidade de água de amassadura

Quadro 3-Valores obtidos no ensaio de consistência por espalhamento das argamassas

CACI-0%,10%,15%,20%

	Quantidade de água [ml]	Espalhamento [mm]	Espalhamento médio [mm]
CACI-0%	350	169	170
		172	
		168	
CACI-10%	350	167	168
		168	
		169	
CACI-15%	350	171	172
		172	
		173	
CACI-20%	350	174	172
		171	
		172	

**ANEXO C-Characterização das argamassas no estado
endurecido**

ANEXO C- Caracterização das argamassas no estado fresco

C1. Massa volúmica

No quadro 4 apresentam-se os valores de massa volúmica no estado endurecido.

Quadro 4- Valores de massa volúmica no estado endurecido

	28 Dias				60 Dias				90 Dias						
	Massa (g)	Dimensões (cm)			Massa (g)	Dimensões (cm)			Massa volúmica [Kg/m3]	Massa (g)	Dimensões (cm)			Massa volúmica [Kg/m3]	
		c	l	a		c	l	a			c	l	a		
1.1	477,23	16,28	4,00	4,00	1823,00	478,35	16,27	4,00	4,00	1828,00	479,24	16,26	4,00	4,00	1832,00
1.2	476,15	16,39	4,00	4,00		477,04	16,39	4,00	4,00		477,97	16,38	4,00	4,00	
Média	476,69	16,34	4,00	4,00		477,70	16,33	4,00	4,00		478,61	16,32	4,00	4,00	
2.1	480,43	16,44	4,00	4,00	1835,00	481,55	16,43	4,00	4,00	1840,00	482,58	16,42	4,00	4,00	1844,00
2.2	481,54	16,19	4,00	4,00		482,01	16,18	4,00	4,00		482,85	16,18	4,00	4,00	
2.3	480,70	16,49	4,00	4,00		481,93	16,48	4,00	4,00		482,72	16,47	4,00	4,00	
Média	480,89	16,37	4,00	4,00		481,83	16,36	4,00	4,00		482,72	16,36	4,00	4,00	
3.1	474,55	15,92	4,00	4,00	1833,00	474,98	15,92	4,00	4,00	1837,00	475,60	15,91	4,00	4,00	1841,00
3.2	472,53	16,34	4,00	4,00		473,74	16,32	4,00	4,00		474,48	16,32	4,00	4,00	
3.3	471,24	16,09	4,00	4,00		472,34	16,09	4,00	4,00		473,04	16,08	4,00	4,00	
Média	472,77	16,12	4,00	4,00		473,69	16,11	4,00	4,00		474,37	16,10	4,00	4,00	
4.1	470,61	16,12	4,00	4,00	1826,00	471,86	16,11	4,00	4,00	1832,00	472,18	16,10	4,00	4,00	1836,00
4.2	470,22	16,06	4,00	4,00		471,29	16,05	4,00	4,00		472,09	16,05	4,00	4,00	
4.3	476,94	16,34	4,00	4,00		477,93	16,30	4,00	4,00		479,00	16,30	4,00	4,00	
Média	472,59	16,17	4,00	4,00		473,69	16,15	4,00	4,00		474,42	16,15	4,00	4,00	

C2. Módulo de elasticidade dinâmico

Nos quadros apresentam-se os valores de módulos de elasticidade dinâmicos obtidos ao longo da campanha experimental, aos 28,60 w 90 dias respetivamente.

28 Dias												
Módulo de elasticidade dinâmico												
	Massa(kg)	C(m)	l(m)	A(m)	p [kg/m ³]	Média p	t(us)	Média(t)	v	Média(v)		Ed[Mpa]
1.1	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	65,800	68,678	2430,000	2,319	9907,466	8916,719
		0,160	0,040	0,040			65,000		2469,000			
		0,160	0,040	0,040			66,700		2400,000			
1.2	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	70,000	68,678	2290,000	2,319	9907,466	8916,719
		0,160	0,040	0,040			70,400		2270,000			
		0,160	0,040	0,040			71,100		2250,000			
1.3	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	71,500	68,678	2240,000	2,319	9907,466	8916,719
		0,160	0,040	0,040			68,400		2270,000			
		0,160	0,040	0,040			69,200		2250,000			
2.1	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	66,900	69,700	2390,000	2,298	9728,825	8755,942
		0,160	0,040	0,040			69,200		2310,000			
		0,160	0,040	0,040			69,000		2320,000			
2.2	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	71,000	69,700	2250,000	2,298	9728,825	8755,942
		0,160	0,040	0,040			71,600		2240,000			
		0,160	0,040	0,040			69,100		2320,000			
2.3	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	70,800	69,700	2260,000	2,298	9728,825	8755,942
		0,160	0,040	0,040			70,600		2270,000			
		0,160	0,040	0,040			69,100		2320,000			
3.1	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	71,800	70,556	2230,000	2,287	9634,963	8671,467
		0,160	0,040	0,040			69,600		2300,000			
		0,160	0,040	0,040			69,200		2310,000			
3.2	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	72,100	70,556	2220,000	2,287	9634,963	8671,467
		0,160	0,040	0,040			69,600		2300,000			
		0,160	0,040	0,040			69,800		2310,000			
3.3	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	71,700	70,556	2380,000	2,287	9634,963	8671,467
		0,160	0,040	0,040			70,100		2280,000			
		0,160	0,040	0,040			71,100		2250,000			
4.1	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	76,900	79,344	2080,000	2,019	7513,812	6762,431
		0,160	0,040	0,040			76,900		2080,000			
		0,160	0,040	0,040			78,600		2044,000			
4.2	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	78,900	79,344	2030,000	2,019	7513,812	6762,431
		0,160	0,040	0,040			79,100		2020,000			
		0,160	0,040	0,040			82,000		1950,000			
4.3	0,472	0,160	0,040	0,040	1842,656	1842,656	80,900	79,344	1980,000	2,019	7513,812	6762,431
		0,160	0,040	0,040			81,800		1960,000			
		0,160	0,040	0,040			79,000		2030,000			

60 Dias													
Módulo de elasticidade dinâmico													
Massa(g)	C	L	A			t	Média(t)	v	Média(v)		Ed[Mpa]		
1.1	0,469	0,160	0,040	0,040	1833,438	1827,422	64,756	2340,000	2,340	10006,231	9005,608		
		0,160	0,040	0,040								64,100	2300,000
		0,160	0,040	0,040								64,300	2300,000
1.2	0,466	0,160	0,040	0,040	1822,148	1827,422	64,756	2330,000	2,340	10006,231	9005,608		
		0,160	0,040	0,040								64,400	2330,000
		0,160	0,040	0,040								64,900	2330,000
1.3	0,468	0,160	0,040	0,040	1826,680	1827,422	64,756	2240,000	2,340	10006,231	9005,608		
		0,160	0,040	0,040								65,400	2260,000
		0,160	0,040	0,040								66,000	2200,000
2.1	0,470	0,160	0,040	0,040	1834,766	1850,482	66,138	2270,000	2,270	9535,348	8581,813		
		0,160	0,040	0,040								65,900	2300,000
		0,160	0,040	0,040								65,600	2300,000
2.2	0,484	0,160	0,040	0,040	1892,148	1850,482	66,138	2230,000	2,270	9535,348	8581,813		
		0,160	0,040	0,040								65,200	2260,000
		0,160	0,040	0,040								66,200	2230,000
2.3	0,467	0,160	0,040	0,040	1824,531	1850,482	66,138	2260,000	2,270	9535,348	8581,813		
		0,160	0,040	0,040								66,9	2260,000
		0,160	0,040	0,040								67,300	2260,000
3.1	0,472	0,160	0,040	0,040	1843,633	1851,211	67,767	2330,000	2,330	10050,039	9045,035		
		0,160	0,040	0,040								68,500	2300,000
		0,160	0,040	0,040								67,900	2330,000
3.2	0,473	0,160	0,040	0,040	1846,094	1851,211	67,767	2380,000	2,330	10050,039	9045,035		
		0,160	0,040	0,040								67,500	2370,000
		0,160	0,040	0,040								68,900	2370,000
3.3	0,477	0,160	0,040	0,040	1863,906	1851,211	67,767	2340,000	2,330	10050,039	9045,035		
		0,160	0,040	0,040								66,900	2340,000
		0,160	0,040	0,040								67,300	2340,000
4.1	0,459	0,160	0,040	0,040	1792,813	1815,221	68,144	2400,000	2,400	10455,675	9410,108		
		0,160	0,040	0,040								70,000	2330,000
		0,160	0,040	0,040								69,600	2350,000
4.2	0,465	0,160	0,040	0,040	1815,078	1815,221	68,144	2330,000	2,400	10455,675	9410,108		
		0,160	0,040	0,040								69,500	2330,000
		0,160	0,040	0,040								67,300	2300,000
4.3	0,470	0,160	0,040	0,040	1837,773	1815,221	68,144	2300,000	2,400	10455,675	9410,108		
		0,160	0,040	0,040								67,100	2310,000
		0,160	0,040	0,040								67,400	2280,000
		0,160	0,040	0,040				2320,000					

ANEXO-C

90 Dias												
Módulo de elasticidade dinâmico												
	Massa(g)	C	L	A			t	Média(t)	v	Média(v)		Ed[Mpa]
1.1	0,482	0,160	0,040	0,040	1880,977	1879,753	68,400	69,800	2340,000	2,340	10292,773	9263,496
		0,160	0,040	0,040			69,600		2300,000			
		0,160	0,040	0,040			69,700		2300,000			
1.2	0,481	0,160	0,040	0,040	1878,438		68,800		2330,000			
		0,160	0,040	0,040			68,300		2340,000			
		0,160	0,040	0,040			68,700		2330,000			
1.3	0,481	0,160	0,040	0,040	1879,844		71,300		2240,000			
		0,160	0,040	0,040			70,700		2260,000			
		0,160	0,040	0,040			72,700		2200,000			
2.1	0,468	0,160	0,040	0,040	1826,211	1828,971	70,400	70,522	2270,000	2,270	9424,506	8482,056
		0,160	0,040	0,040			69,700		2300,000			
		0,160	0,040	0,040			69,700		2300,000			
2.2	0,468	0,160	0,040	0,040	1827,695		71,700		2230,000			
		0,160	0,040	0,040			70,800		2260,000			
		0,160	0,040	0,040			70,400		2230,000			
2.3	0,469	0,160	0,040	0,040	1833,008		70,900		2260,000			
		0,160	0,040	0,040			70,700		2260,000			
		0,160	0,040	0,040			70,400		2270,000			
3.1	0,473	0,160	0,040	0,040	1847,305	1843,138	68,600	68,122	2330,000	2,330	10006,212	9005,591
		0,160	0,040	0,040			68,600		2300,000			
		0,160	0,040	0,040			68,200		2330,000			
3.2	0,473	0,160	0,040	0,040	1847,227		67,300		2380,000			
		0,160	0,040	0,040			67,500		2370,000			
		0,160	0,040	0,040			67,400		2370,000			
3.3	0,470	0,160	0,040	0,040	1834,883		68,300		2340,000			
		0,160	0,040	0,040			68,400		2340,000			
		0,160	0,040	0,040			68,800		2330,000			
4.1	0,468	0,160	0,040	0,040	1829,727	1852,383	66,700	69,033	2400,000	2,400	10669,725	9602,752
		0,160	0,040	0,040			68,600		2330,000			
		0,160	0,040	0,040			68,200		2350,000			
4.2	0,475	0,160	0,040	0,040	1855,078		68,200		2330,000			
		0,160	0,040	0,040			71,700		2230,000			
		0,160	0,040	0,040			69,500		2300,000			
4.3	0,479	0,160	0,040	0,040	1872,344		69,200		2310,000			
		0,160	0,040	0,040			70,300		2280,000			
		0,160	0,040	0,040			68,900		2320,000			

C3. Resistência à flexão e compressão

Nos Quadros 5,6 e 7 apresentam-se os valores obtidos para as resistências à compressão e à flexão.

Quadro 5-valores obtidos para as resistências à compressão e à flexão ao 28 dias

Argamassas	28 DIAS					
	F.f [KN]	Média	R.F [N/mm ²]	F.c [N]	Média	R.C[N/mm ²]
1-CACI-0%	0,6	0,5	1,2	9,0	7,2	4,5
				8,0		
	0,5			6,0		
				7,0		
	0,4			7,0		
				6,0		
2-CACI-10%	0,6	0,5	1,3	8,0	7,8	4,9
				8,0		
	0,5			6,0		
				8,0		
	0,5			9,0		
				8,0		
3-CACI-15%	0,7	0,6	1,4	6,0	7,5	4,7
				8,0		
	0,6			8,0		
				8,0		
	0,5			8,0		
				7,0		
4-CACI-20%	0,6	0,5	1,2	4,0	4,8	3,0
				5,0		
	0,5			5,0		
				5,0		
	0,4			5,0		
				5,0		

Quadro 6-valores obtidos para as resistências à compressão e à flexão aos 60 dias

Argamassas	60 DIAS					
	F.f [KN]	Média	R.F [N/mm ²]	F.c [N]	Média (C)	R.C[N/mm ²]
1-CACI-0%	0,5	0,5	1,3	8,0	7,0	4,4
				7,0		
	0,6			7,0		
				7,0		
	0,5			6,0		
				7,0		
2-CACI-10%	0,6	0,5	1,2	4,0	5,5	3,4
				7,0		
	0,4			7,0		
				5,0		
	nulo			5,0		
				5,0		
3-CACI-15%	nulo	0,5	1,2	7,0	5,8	3,6
				5,0		
	0,6			6,0		
				6,0		
	0,4			6,0		
				5,0		
4-CACI-20%	0,4	0,5	1,2	5,0	5,3	3,3
				5,0		
	0,5			6,0		
				5,0		
	0,6			5,0		
				6,0		

Quadro 7-valores obtidos para as resistências à compressão e à flexão aos 90 dias

90 DIAS						
	F.f [KN]	Média	R.F [N/mm ²]	F.c [KN]	Média (C)	R.C[N/mm ²]
1-CACI-0%	0,2	0,1	0,3	5,0	6,0	3,8
				6,0		
				7,0		
	0,1			7,0		
				6,0		
	0,1			5,0		
2-CACI-10%		0,2	0,4	5,0	4,2	2,6
	0,1			4,0		
				4,0		
	0,2			4,0		
				4,0		
	0,2			4,0		
3-CACI-15%		0,3	0,6	6,0	5,5	3,4
	0,3			5,0		
				5,0		
	0,3			6,0		
				5,0		
	0,2			6,0		
4-CACI-20%		0,4	0,9	7,0	6,0	3,8
	0,5			7,0		
				5,0		
	0,4			5,0		
				6,0		
	0,3			6,0		

C4. Absorção de Água por Capilaridade

Nos Quadros 8,9 e 10 apresentam-se os valores obtidos para absorção de água por capilaridade.

Quadro 8-Resultados referentes ao ensaio de Absorção de Água por Capilaridade aos 28 dias

28 dias		1- CACI- 0%				2- CACI- 10%				3- CACI- 15%				4- CACI- 20%			
amostra seca		234,50				236,01				234,26				236,36			
Tempo de imersão (min)	Tempo	1- CACI- 0%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.	2- CACI- 10%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.	3- CACI- 15%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.	4- CACI- 20%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.
	(min1/2)		DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)		DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)		DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)		DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)
0,00	0,00	234,50	0,00	0,00	0,00	236,01	0,00	0,00	0,00	234,26	0,00	0,00	0,00	236,36	0,00		0,00
5,00	2,24	237,54	3,04	0,00	1,90	239,87	3,86	0,00	2,41	237,28	3,02	0,00	1,89	240,31	3,95	0,00	2,47
10,00	3,16	238,84	4,34	0,00	2,71	241,55	5,54	0,01	3,46	238,68	4,42	0,00	2,76	242,00	5,64	0,01	3,52
15,00	3,87	239,98	5,48	0,01	3,42	243,00	6,99	0,01	4,37	239,97	5,71	0,01	3,57	243,62	7,25	0,01	4,53
20,00	4,47	241,06	6,57	0,01	4,10	244,32	8,31	0,01	5,19	241,01	6,76	0,01	4,22	244,91	8,55	0,01	5,34
25,00	5,00	241,84	7,34	0,01	4,59	245,25	9,24	0,01	5,78	241,86	7,60	0,01	4,75	245,86	9,50	0,01	5,94
30,00	5,48	242,63	8,13	0,01	5,08	246,30	10,29	0,01	6,43	242,64	8,39	0,01	5,24	246,99	10,63	0,01	6,64
35,00	5,92	243,31	8,81	0,01	5,51	247,13	11,13	0,01	6,95	243,34	9,08	0,01	5,67	247,79	11,42	0,01	7,14
40,00	6,32	244,20	9,70	0,01	6,06	248,26	12,25	0,01	7,66	244,25	10,00	0,01	6,25	248,98	12,62	0,01	7,89
60,00	7,75	245,43	10,93	0,01	6,83	249,88	13,87	0,01	8,67	245,57	11,31	0,01	7,07	250,62	14,25	0,01	8,91
90,00	9,49	247,15	12,65	0,01	7,90	252,14	16,13	0,02	10,08	247,42	13,16	0,01	8,23	252,88	16,52	0,02	10,32
180,00	13,42	250,23	15,73	0,02	9,83	255,46	19,46	0,02	12,16	250,65	16,39	0,02	10,25	256,52	20,16	0,02	12,60
300,00	17,32	253,11	18,61	0,02	11,63	257,82	21,81	0,02	13,63	253,61	19,36	0,02	12,10	258,15	21,79	0,02	13,62
480,00	21,91	255,09	20,60	0,02	12,87	258,87	22,87	0,02	14,29	255,54	21,28	0,02	13,30	258,74	22,38	0,02	13,99
1440,00	37,95	256,28	21,78	0,02	13,61	259,47	23,47	0,02	14,67	256,37	22,11	0,02	13,82	259,16	22,80	0,02	14,25

Quadro 9-Resultados referentes ao ensaio de Absorção de Água por Capilaridade aos 60 dias

60 dias		1- CACI-0%				2- CACI-10%				3- CACI-15%				4- CACI-20%			
amostra seca		234,36				234,58				228,48				236,56			
Tempo de imersão (min)	Tempo	1- CACI-0%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.	2- CACI-10%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.	3- CACI-15%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.	4- CACI-20%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.
	(min/2)		DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)		DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)		DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)		DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)
0,00	0,00	234,36	0,00	0,00	0,00	234,58	0,00	0,00	0,00	228,48	0,00	0,00	0,00	236,56	0,00		0,00
5,00	2,24	238,83	4,47	0,00	2,79	239,26	4,68	0,00	2,92	233,06	4,58	0,00	2,86	241,78	5,22	0,01	3,26
10,00	3,16	240,53	6,17	0,01	3,86	241,03	6,45	0,01	4,03	234,79	6,31	0,01	3,94	243,37	6,81	0,01	4,26
15,00	3,87	242,06	7,70	0,01	4,81	242,60	8,02	0,01	5,01	236,45	7,96	0,01	4,98	244,87	8,31	0,01	5,19
20,00	4,47	243,48	9,11	0,01	5,70	243,86	9,28	0,01	5,80	237,74	9,26	0,01	5,79	246,09	9,53	0,01	5,96
25,00	5,00	244,76	10,40	0,01	6,50	245,00	10,42	0,01	6,51	238,79	10,31	0,01	6,44	247,05	10,50	0,01	6,56
30,00	5,48	245,63	11,26	0,01	7,04	246,04	11,47	0,01	7,17	239,82	11,34	0,01	7,09	247,93	11,37	0,01	7,11
35,00	5,92	246,64	12,28	0,01	7,68	246,93	12,35	0,01	7,72	240,64	12,16	0,01	7,60	248,64	12,08	0,01	7,55
40,00	6,32	247,40	13,03	0,01	8,15	247,69	13,12	0,01	8,20	241,35	12,87	0,01	8,04	249,33	12,77	0,01	7,98
60,00	7,75	249,45	15,09	0,02	9,43	249,95	15,37	0,02	9,61	242,53	14,05	0,01	8,78	251,39	14,83	0,01	9,27
90,00	9,49	252,71	18,34	0,02	11,46	253,07	18,49	0,02	11,56	246,34	17,86	0,02	11,16	254,09	17,54	0,02	10,96
180,00	13,42	255,55	21,19	0,02	13,24	256,40	21,83	0,02	13,64	249,07	20,59	0,02	12,87	257,15	20,59	0,02	12,87
300,00	17,32	255,78	21,41	0,02	13,38	256,51	21,93	0,02	13,71	249,39	20,91	0,02	13,07	257,57	21,02	0,02	13,13
480,00	21,91	255,97	21,61	0,02	13,51	256,73	22,15	0,02	13,84	249,54	21,06	0,02	13,16	257,51	20,95	0,02	13,09
1440,00	37,95	256,34	21,97	0,02	13,73	257,14	22,56	0,02	14,10	249,92	21,44	0,02	13,40	257,88	21,33	0,02	13,33

Quadro 10-Resultados referentes ao ensaio de Absorção de Água por Capilaridade aos 90 dias

90 dias		1- CACI- 0%	2- CACI- 10%			3- CACI- 15%			4- CACI- 20%								
amostra seca		230,05	230,59			229,79			235,68								
Tempo de imersão (min)	Tempo (min1/2)	1- CACI- 0%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.	2- CACI- 10%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.	3- CACI- 15%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.	4- CACI- 20%	Água abs.	Água abs.	abs. Cap.
		DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)	DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)	DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)	DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)	DM (g)	DM (kg)	DM/S (kg/m ²)	
0,00	0,00	230,05	0,00	0,00	0,00	230,59	0,00	0,00	0,00	229,79	0,00	0,00	0,00	235,68	0,00		0,00
5,00	2,24	235,19	5,14	0,01	3,21	236,32	5,74	0,01	3,59	235,61	5,82	0,01	3,64	240,97	5,30	0,01	3,31
10,00	3,16	237,10	7,05	0,01	4,40	238,17	7,59	0,01	4,74	237,40	7,61	0,01	4,76	242,35	6,68	0,01	4,17
15,00	3,87	238,74	8,69	0,01	5,43	239,69	9,11	0,01	5,69	238,89	9,10	0,01	5,69	243,49	7,81	0,01	4,88
20,00	4,47	240,10	10,05	0,01	6,28	241,08	10,50	0,01	6,56	240,15	10,36	0,01	6,48	244,50	8,82	0,01	5,51
25,00	5,00	241,22	11,17	0,01	6,98	242,22	11,64	0,01	7,27	241,31	11,51	0,01	7,20	245,40	9,73	0,01	6,08
30,00	5,48	242,57	12,52	0,01	7,83	243,61	13,02	0,01	8,14	242,65	12,86	0,01	8,04	246,57	10,90	0,01	6,81
35,00	5,92	243,82	13,78	0,01	8,61	244,75	14,17	0,01	8,86	243,75	13,96	0,01	8,73	247,45	11,78	0,01	7,36
40,00	6,32	243,74	13,69	0,01	8,56	246,13	15,54	0,02	9,71	245,10	15,31	0,02	9,57	248,46	12,79	0,01	7,99
60,00	7,75	249,57	19,52	0,02	12,20	249,93	19,35	0,02	12,09	248,77	18,98	0,02	11,86	251,92	16,24	0,02	10,15
90,00	9,49	250,60	20,55	0,02	12,84	251,18	20,59	0,02	12,87	250,10	20,31	0,02	12,69	253,75	18,07	0,02	11,29
180,00	13,42	251,22	21,17	0,02	13,23	251,86	21,28	0,02	13,30	250,75	20,96	0,02	13,10	255,23	19,56	0,02	12,22
300,00	17,32	251,34	21,29	0,02	13,31	252,00	21,42	0,02	13,38	250,90	21,11	0,02	13,19	255,54	19,86	0,02	12,41
480,00	21,91	251,40	21,35	0,02	13,34	252,00	21,41	0,02	13,38	250,91	21,12	0,02	13,20	255,57	19,89	0,02	12,43
1440,00	37,95	251,54	21,49	0,02	13,43	252,06	21,48	0,02	13,42	250,91	21,12	0,02	13,20	255,57	19,89	0,02	12,43

C5. Ensaio de secagem

Nos Quadros 11,12 e 13 apresentam-se os valores obtidos para absorção de água por capilaridade.

Quadro 11- Resultados referentes ao ensaio de secagem aos 28 dias

SECAGEM-28 DIAS																
	1-CACI-0%				2-CACI-10%				3-CACI-15%				4-CACI-20%			
Tempo	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A
(min)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m ²)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m ²)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m ²)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m ²)
0,00	256,28	21,78	0,02	13,61	259,75	23,74	0,02	14,84	256,37	22,11	0,02	13,82	259,16	22,80	0,02	9,78
30,00	256,08	21,58	0,02	13,49	259,47	23,46	0,02	14,66	256,38	22,12	0,02	13,83	258,90	22,54	0,02	9,67
60,00	255,86	21,36	0,02	13,35	259,51	23,50	0,02	14,69	256,26	22,00	0,02	13,75	258,76	22,40	0,02	9,61
90,00	255,70	21,20	0,02	13,25	259,11	23,10	0,02	14,44	256,06	21,80	0,02	13,63	258,63	22,27	0,02	9,56
270,00	255,24	20,74	0,02	12,96	258,69	22,69	0,02	14,18	255,63	21,37	0,02	13,36	258,31	21,94	0,02	9,42
450,00	254,83	20,33	0,02	12,70	258,26	22,25	0,02	13,91	255,22	20,97	0,02	13,10	257,85	21,49	0,02	9,22
1440,00	252,94	18,44	0,02	11,53	256,05	20,05	0,02	12,53	253,32	19,07	0,02	11,92	256,52	20,15	0,02	8,65
2880,00	250,18	15,69	0,02	9,80	253,19	17,18	0,02	10,74	250,52	16,26	0,02	10,16	254,07	17,71	0,02	7,60
4320,00	248,62	14,12	0,01	8,83	251,29	15,28	0,02	9,55	248,81	14,55	0,01	9,09	251,65	15,29	0,02	6,56
8640,00	247,00	12,50	0,01	7,81	249,34	13,33	0,01	8,33	246,61	12,36	0,01	7,72	249,27	12,91	0,01	5,54
10080,00	246,43	11,93	0,01	7,46	248,63	12,62	0,01	7,89	245,84	11,59	0,01	7,24	248,19	11,83	0,01	5,08
11520,00	244,96	10,47	0,01	6,54	247,01	11,00	0,01	6,88	244,92	10,67	0,01	6,67	247,60	11,24	0,01	4,82
12960,00	242,67	8,17	0,01	5,11	246,08	10,07	0,01	6,29	243,93	9,68	0,01	6,05			0,00	0,00

Quadro 12- Resultados referentes ao ensaio de secagem 60 dias

SECAGEM-60 DIAS																
1-CACI-0%					2-CACI-10%				3-CACI-15%				4-CACI-20%			
Tempo	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A
(min)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m2)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m2)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m2)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m2)
0,00	256,34	21,97	0,02	9,43	257,14	22,56	0,02	9,68	249,92	21,44	0,02	9,20	257,88	21,33	0,02	9,15
30,00	255,97	21,61	0,02	9,28	256,91	22,33	0,02	9,58	249,72	21,24	0,02	9,12	257,56	21,01	0,02	9,02
60,00	256,06	21,70	0,02	9,31	256,81	22,23	0,02	9,54	249,63	21,15	0,02	9,08	257,49	20,93	0,02	8,98
90,00	255,92	21,55	0,02	9,25	256,72	22,14	0,02	9,50	249,55	21,07	0,02	9,04	257,42	20,87	0,02	8,95
270,00	255,15	20,79	0,02	8,92	256,03	21,45	0,02	9,21	248,98	20,50	0,02	8,80	256,84	20,28	0,02	8,70
450,00	254,70	20,34	0,02	8,73	255,57	20,99	0,02	9,01	248,61	20,13	0,02	8,64	256,49	19,93	0,02	8,55
1440,00	252,06	17,70	0,02	7,60	253,30	18,72	0,02	8,04	246,55	18,07	0,02	7,75	254,52	17,96	0,02	7,71
2880,00	247,71	13,35	0,01	5,73	249,20	14,62	0,01	6,28	243,43	14,95	0,01	6,42	251,48	14,93	0,01	6,41
4320,00	244,65	10,29	0,01	4,42	246,87	12,29	0,01	5,28	241,76	13,28	0,01	5,70	249,96	13,40	0,01	5,75
8640,00	242,58	8,22	0,01	3,53	245,87	11,29	0,01	4,85	239,04	10,56	0,01	4,53	247,48	10,92	0,01	4,69
10080,00	241,26	6,90	0,01	2,96	245,00	10,42	0,01	4,47	238,47	9,99	0,01	4,29	246,20	9,64	0,01	4,14
11520,00	240,83	6,47	0,01	2,78	242,54	7,96	0,01	3,42	236,97	8,49	0,01	3,64	245,15	8,59	0,01	3,69
12960,00	239,96	5,60	0,01	2,40	240,49	5,91	0,01	2,54	234,90	6,42	0,01	2,75	243,42	6,86	0,01	2,94

Quadro 13- Resultados referentes ao ensaio de secagem aos 90 dias

SECAGEM-90 DIAS																
1-CACI-0%					2-CACI-10%				3-CACI-15%				4-CACI-20%			
Tempo	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A	Massa	Água abs.	Água ABS	Água ret. A
(min)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m ²)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m ²)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m ²)	(g)	DM (g)	(Kg)	DM/S (kg/m ²)
0,00	251,54	21,49	0,02	9,22	252,06	21,48	0,02	9,22	250,91	21,12	0,02	9,06	255,57	19,89	0,02	8,54
30,00	251,23	21,18	0,02	9,09	251,95	21,37	0,02	9,17	250,69	20,90	0,02	8,97	255,71	20,04	0,02	8,60
60,00	250,63	20,58	0,02	8,83	251,82	21,23	0,02	9,11	250,53	20,74	0,02	8,90	254,62	18,95	0,02	8,13
90,00	250,94	20,89	0,02	8,96	251,68	21,09	0,02	9,05	250,38	20,59	0,02	8,84	254,05	18,37	0,02	7,89
270,00	249,79	19,74	0,02	8,47	250,62	20,04	0,02	8,60	249,48	19,69	0,02	8,45	253,62	17,95	0,02	7,70
450,00	249,07	19,02	0,02	8,16	249,98	19,40	0,02	8,32	248,60	18,81	0,02	8,07	252,65	16,97	0,02	7,28
1440,00	245,96	15,91	0,02	6,83	247,20	16,61	0,02	7,13	245,33	15,54	0,02	6,67	248,18	12,50	0,01	5,37
2880,00	242,45	12,40	0,01	5,32	244,31	13,73	0,01	5,89	241,74	11,95	0,01	5,13	244,00	8,32	0,01	3,57
4320,00	239,14	9,09	0,01	3,90	240,57	9,98	0,01	4,28	237,55	7,76	0,01	3,33	240,57	4,89	0,00	2,10
8640,00	237,27	7,22	0,01	3,10	238,15	7,57	0,01	3,25	235,18	5,39	0,01	2,31	239,04	3,37	0,00	1,44
10080,00	235,45	5,40	0,01	2,32	236,89	6,31	0,01	2,71	232,33	2,54	0,00	1,09	238,67	2,99	0,00	1,28
11520,00	232,33	2,28	0,00	0,98	234,04	3,46	0,00	1,48	231,09	1,30	0,00	0,56	237,50	1,82	0,00	0,78
12960,00	231,09	1,04	0,00	0,45	232,03	1,45	0,00	0,62	230,50	0,71	0,00	0,30	236,49	0,81	0,00	0,35

ANEXO D-Fichas técnicas



Granulometria:	
Retido a 125 microns	≤ 0%.
Teor em Água livre	≤ 1%.
Estabilidade (expansão)	≤ 0,2%.
Teor em Ca(OH) ₂	≥ 93%.
Teor em MgO	≤ 3%.
Densidade aparente na ordem de	0,5.

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 branquura 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 sistema, 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

Cimento Portland CEM I 42,5 R

CE
EN 197-1 0856

▶ Constituintes

Clinker $\geq 95\%$
Constituintes adicionais minoritários $\leq 5\%$
Sulfato de cálcio regulador de presa



▶ Características

▶ Químicas

Perda ao fogo (P.F.) $\leq 5,0\%$
Resíduo insolúvel (R.I.) $\leq 5,0\%$
Sulfatos (SO_3) $\leq 4,0\%$
Cloretos (Cl) $\leq 0,10\%$

▶ Físicas

Início de presa (min) ≥ 60
Expansibilidade (mm) ≤ 10

▶ Mecânicas

Resistência à compressão
Valores mínimos
2 dias: 20,0 MPa
28 dias: 42,5 MPa

Resistência mecânica à compressão
Curva de crescimento mínimo

