



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE
LISBOA**

Área Departamental de Engenharia Civil

ISEL

**Caracterização de revestimentos sujeitos à acção da
água e sais. Estudo Físico e Mecânico da Influência
dos Agregados**

ANA MARGARIDA MARTINS VICENTE

Licenciada em Engenharia Civil

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

Orientadora:

Doutora, Ana Cristina Gaminha Ribeiro Borges de Azevedo, Prof. Adjunta (ISEL)

Júri:

Presidente: Doutora, Carla Maria Duarte da Silva e Costa, Prof. Coordenadora (ISEL)

Vogal: Doutora, Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Prof. Adjunta (ISEL)

Dezembro 2012

Caracterização de revestimentos sujeitos à acção da água e sais. Estudo Físico e Mecânico da
Influência dos Agregados.

Caracterização de revestimentos sujeitos à acção da água e sais. Estudo Físico e Mecânico da
Influência dos Agregados.



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE
LISBOA**

Área Departamental de Engenharia Civil

ISEL

**Caracterização de revestimentos sujeitos à acção da
água e sais. Estudo Físico e Mecânico da Influência
dos Agregados**

ANA MARGARIDA MARTINS VICENTE

Licenciada em Engenharia Civil

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

Orientadora:

Doutora, Ana Cristina Gaminha Ribeiro Borges de Azevedo, Prof. Adjunta (ISEL)

Júri:

Presidente: Doutora, Carla Maria Duarte da Silva e Costa, Prof. Coordenadora (ISEL)

Vogal: Doutora, Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Prof. Adjunta (ISEL)

Dezembro 2012

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que colaboraram e tornaram possível a elaboração da presente dissertação, a qual marca mais uma importante fase da minha vida.

À minha orientadora Doutora Ana Cristina Azevedo agradeço a oportunidade e confiança demonstrada para realização da dissertação, bem como, os conhecimentos transmitidos, a ajuda, motivação, disponibilidade e paciência demonstrados ao longo destes meses de trabalho.

Ao pessoal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), pelo acolhimento afável, disponibilidade e ajuda prestada na realização dos ensaios e no esclarecimento de dúvidas, em particular à Ana Maria Duarte e ao técnico Bento.

Agradeço à doutora Rosário Veiga pelo equipamento disponibilizado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção do ISEL, técnica superior Raquel Milho e ao técnico experimentador António Fernandes, pela disponibilidade e ajuda demonstrada.

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

Aos meus amigos Daniela e Flávio que estiveram sempre presentes e disponíveis, demonstrando em todas as ocasiões o incentivo e amizade necessárias.

Ao Diogo pela paciência, companhia e incentivo demonstrados.

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

A toda a minha família pelo carinho e amizade.

Por fim, agradeço a todos os professores do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa pelo rigor e profissionalismo, os quais contribuíram de forma rigorosa e disciplinar para a minha formação.

Resumo

A realização do trabalho decorre numa altura em que a reabilitação é um dos principais focos da construção, a qual abrange desde edifícios antigos correntes a património histórico. Com o intuito de preservar a durabilidade dos edifícios antigos, surge a necessidade de garantir a compatibilidade dos novos materiais a colocar com os materiais existentes.

Portugal tem património edificado junto à orla costeira sujeito a elevada humidade relativa e a sais solúveis, os quais demonstraram ter resistência e durabilidade ao longo dos tempos. Uma vez que grande parte das construções antigas são constituídas por argamassas tradicionais de cal aérea, pretende-se, deste modo avaliar a influência dos diferentes tipos de agregados presentes nas argamassas de cal aérea. O presente trabalho compreende uma descrição de todos os procedimentos realizados, desde a formulação das argamassas de cal aérea com diferentes tipos de areia (basáltica, granítica, de corroios e do rio Tejo), estando cada argamassa sujeita a dois tipos de cura distintos, em meio natural marinho e em laboratório durante 90, 180 e 365 dias.

O desempenho das argamassas executadas foi avaliado pela realização de ensaios físicos e mecânicos.

Os resultados obtidos evidenciaram melhor desempenho das argamassas com agregados basálticos, não sendo clara a influência do meio no desempenho das mesmas.

Palavras-chave:

Argamassas; Cal aérea; Agregados; Sais solúveis.

Abstract

This work appears when rehabilitation is one of the most important area of construction, from old buildings until historic patrimony. The necessity to guarantee the compatibility of materials emerges with the aim of preserving old buildings.

Portugal has a large number of buildings along coast submitted high relative humidity and soluble salts, that demonstrate good performances over time, most of them are old buildings with air lime mortars.

The present work intends to evaluate the influence of aggregate types present in air lime mortars.

It is also described all the procedures performed, since air lime mortars formulation with different types of sand (basalt, granite, and corroios of the Tejo river), being each mortars submitted to two different types healing, in natural environment and in laboratory for 90 ,180 and 365 days.

The performance of the executed mortars was evaluated with physical and mechanic tests.

The achieved result shows that mortars with basaltic aggregates have the best performance, without being noted the influence of the environment.

Keywords:

Mortars; Air lime; Aggregates; Soluble Salts.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e justificação do tema.....	1
1.2. Objectivos.....	2
1.3. Estrutura e organização da dissertação.....	2
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. Argamassas.....	5
2.1.1. Considerações gerais.....	5
2.1.2. Importância da utilização de argamassas.....	6
2.1.3. Materiais constituintes.....	10
2.1.3.1. Ligante.....	10
2.1.3.2. Agregados.....	15
2.1.3.3. Água.....	17
2.1.4. Durabilidade e desempenho das argamassas de cal aérea.....	18
2.1.5. Mecanismos de degradação.....	20
2.1.6. Cristalização de sais.....	23
2.2. Trabalhos experimentais de referência.....	27
3. Metodologia de investigação.....	37
3.1. Considerações iniciais.....	37
3.2. Estudo e implementação da formulação.....	38
3.3. Elaboração dos provetes.....	42
3.3.1. Análise granulométrica da areia.....	42
3.3.2. Preparação das argamassas.....	44
3.3.3. Ensaio no estado fresco.....	45
3.4. Estudos realizados.....	46
3.4.1. Massa volúmica aparente no estado endurecido.....	47
3.4.2. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico.....	48
3.4.3. Determinação da resistência à flexão e à compressão.....	50
3.4.4. Determinação da absorção de água por capilaridade.....	53
3.4.5. Microscopia Óptica.....	55
4. Resultados obtidos e discussões.....	57
4.1. Análise granulométrica.....	57
4.2. Consistência por espalhamento.....	59
4.3. Massa volúmica.....	59
4.4. Módulo de elasticidade dinâmico.....	62
4.5. Resistência à flexão e à compressão.....	66

4.6. Absorção de água por capilaridade.....	79
4.7. Microscopia Óptica.....	86
4.8. Correlação estabelecida entre as características avaliadas	89
5. Conclusões e Apreciação geral dos resultados	105
5.1. Considerações finais.....	105
5.2. Perspectivas para trabalhos futuros	109
6. Referências Bibliográficas.....	111

Índice de Figuras

Figura 1 - Utilização de argamassas de cal e areia no Alentejo, retirado de [1]	6
Figura 2 -Classificação Ligantes, adaptado de [23]	11
Figura 3 - Ciclo da cal [22].....	12
Figura 4 - Classificação da cal aérea, adaptado de [23] [25].....	13
Figura 5- Processo de cristalização, retirado de [37].....	24
Figura 6 – Balança.....	43
Figura 7 – Série de Peneiros.....	43
Figura 8 – Estufa.....	43
Figura 9 – Moldes de provetes.....	44
Figura 10 – Pormenorização misturadora.....	44
Figura 11 – Misturadora.....	44
Figura 12 – Sequência de preparação das argamassas.....	45
Figura 13 – Equipamento ensaio de espalhamento.....	45
Figura 15 – Provetes (40x40x160 mm ³).....	49
Figura 14 – Equipamento para determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmica. ..	49
Figura 16 – Equipamento Módulo de Elasticidade dinâmica.....	50
Figura 17 – Equipamento e Material resistência à flexão e resistência à compressão. ..	51
Figura 18 – Equipamento utilizado aquando a realização do ensaio de resistência à flexão.....	52
Figura 19 – Pormenorização Ensaio de resistência à compressão.....	53
Figura 20 – Suporte ensaio de Compressão.....	53
Figura 21 – Ensaio de Resistência à compressão.....	53
Figura 22 – Pesagem provete.....	Erro! Marcador não definido.
Figura 23 - Provetes sujeitos ao ensaio de absorção de água por capilaridade.....	Erro!
	Marcador não definido.
Figura 24 – Provetes com 365 dias de idade submetidos a uma altura de 10 mm de água.....	Erro! Marcador não definido.
	Marcador não definido.
Figura 26 - Curva Granulométrica da areia Basáltica.....	59
Figura 25 - Curvas granulométricas dos agregados.....	58
Figura 27 - Massa volúmica das argamassas em envelhecimento laboratório (kg/m ³)..	60

Figura 28 - Massa volúmica das argamassas em envelhecimento em meio natural (kg/m ³).....	61
Figura 29– Evolução do módulo de elasticidade de cada argamassa em ambiente de cura laboratório.....	63
Figura 30 – Evolução do módulo de elasticidade de cada argamassa em ambiente de cura meio natural.	64
Figura 31 – Gráfico síntese do MED de todas as argamassas em meio de cura laboratório.....	65
Figura 32 - Gráfico síntese do MED de todas as argamassas em meio de cura natural.	66
Figura 33 - Evolução da tensão de rotura à flexão (MPa) avaliada nas argamassas em ambiente de cura meio laboratório.	68
Figura 34 - Evolução da tensão de rotura à flexão (MPa) avaliada nas argamassas em ambiente de cura natural.....	68
Figura 35 – Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AG, em ambiente de cura meio natural e laboratório (A expressão da equação representada corresponde à correlação linear entre a resistência à flexão em função do tempo de cura para as argamassas em meio laboratório).	70
Figura 36 – Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AT e CA+AC, em ambiente de cura meio natural e laboratório (A expressão da equação representada corresponde à correlação linear entre a resistência à flexão em função do tempo de cura, em meio laboratório).	71
Figura 37 - Gráfico síntese Rf de todas as argamassas em meio de cura Laboratório. ...	71
Figura 38 – Gráfico síntese Rf de todas as argamassas em meio de cura Natural.	72
Figura 39 - Representação gráfica da resistência à compressão ao longo da idade das argamassas em envelhecimento laboratório.	73
Figura 40 - Representação gráfica da resistência à compressão ao longo da idade das argamassas em envelhecimento meio natural.....	74
Figura 41 - Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AB em ambiente de cura meio natural e laboratório (As expressões das equações representadas correspondem à correlação logarítmica entre a resistência à compressão em função do tempo de cura).	76
Figura 42 - Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AT em ambiente de cura meio natural e laboratório (A expressão da equação representada corresponde à	

correlação logarítmica entre a resistência à compressão em função do tempo de cura sujeita a envelhecimento natural).	76
Figura 43 - Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AG em ambiente de cura meio natural e laboratório.....	77
Figura 44 - Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AC em ambiente de cura meio natural e laboratório.....	77
Figura 45 - Gráfico síntese Rc de todas as argamassas em meio de cura natural.	78
Figura 46 - Gráfico síntese Rc de todas as argamassas em meio de cura laboratório. ...	78
Figura 47- Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas, aos 90 dias de idade	80
Figura 48 – Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas, aos 180 dias de idade.....	81
Figura 49 - Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas, aos 365 dias de idade.....	82
Figura 50 – Observação ao MO de CA+AB em meio natural (a) e laboratório (b).	86
Figura 52 - Observação ao MO de CA+AC em meio natural. (a) e (b)	87
Figura 51 – Observação ao MO de CA+AC em meio laboratório. (a) e (b)	87
Figura 53 - Observação ao MO de CA+AG em meio laboratório. (a) e (b).....	87
Figura 54 - Observação ao MO de CA+AG em meio natural. (a)	88
Figura 55 - Observação ao MO de CA+AT em meio laboratório. (a) e (b).....	88
Figura 56 - Observação ao MO de CA+AT em meio laboratório. (a) e (b).....	88
Figura 57 - Relação entre a massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar ao longo do tempo de CA+AB, em meio natural e laboratório.....	90
Figura 58 - Relação entre a massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar ao longo do tempo de CA+AG, em meio natural e laboratório.	90
Figura 59 - Relação entre a massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar ao longo do tempo de CA+AT, em meio natural e laboratório.....	91
Figura 60 - Relação entre a massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar ao longo do tempo de CA+AC, em meio natural e laboratório.....	91
Figura 61 – Quociente entre as resistências mecânicas, resistência à compressão e à flexão, das argamassas sujeitas a envelhecimento em laboratório.	92
Figura 62 - Quociente entre as resistências mecânicas, resistência à compressão e à flexão, das argamassas sujeitas a envelhecimento em meio natural.	93

Figura 63 - Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 90 dias em argamassas de cal aérea.	95
Figura 64- Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 180 dias em argamassas de cal aérea.	95
Figura 65 - Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 365 dias em argamassas de cal aérea.	96
Figura 66 - Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico na argamassa CA+AB.	96
Figura 67 - Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico na argamassa CA+AG.	97
Figura 68 – Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico na argamassa CA+AT.	97
Figura 69 - Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico na argamassa CA+AC.	98
Figura 70 - Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade ao longo do tempo nas argamassas CA+AB, envelhecimento em laboratório e meio natural.	99
Figura 71 - Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade ao longo do tempo nas argamassas CA+AG, envelhecimento em laboratório e meio natural.	98
Figura 72 - Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade ao longo do tempo nas argamassas CA+AT, envelhecimento em laboratório e meio natural.	98
Figura 73 - Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade ao longo do tempo nas argamassas CA+AC, envelhecimento em laboratório e meio natural.	100
Figura 74 - Comparação entre as resistências mecânicas e a massa volúmica ao longo do tempo de CA+AT em envelhecimento laboratório e meio natural.	101
Figura 75 -Comparação entre as resistências mecânicas e a massa volúmica ao longo do tempo de CA+AB em envelhecimento laboratório e meio natural.	102
Figura 76 - Comparação entre as resistências mecânicas e a massa volúmica ao longo do tempo de CA+AG em envelhecimento laboratório e meio natural.	102
Figura 77 - Comparação entre as resistências mecânicas e a massa volúmica ao longo do tempo de CA+AC em envelhecimento laboratório e meio natural.	103

Índice de Tabelas

Tabela 1- Composição química em percentagem de ligante de cal [1]	10
Tabela 2 - Composição água do mar (Oceano Atlântico) [4].....	21
Tabela 3 - Ensaio de caracterização das argamassas [29] [40]	28
Tabela 4 - Requisitos estabelecidos para as argamassas de substituição [2][41][42][43].	27
Tabela 5 - Apresenta a composição das argamassas relevantes no estudo [43], estas foram ensaiadas aos 90 dias.....	29
Tabela 6 - Resultados de ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido.	29
Tabela 7 - Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas [22] (1A – areia rio Tejo; 2A – areia areeiro de Corroios; 3A – (1:1,5:1,5) ½ areia rio Tejo e ½ areia areeiro de Corroios.	31
Tabela 8 - Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas [33] (ca1 – 1 (argamassa de cal aérea):2 (areia); ca2 - 1 (argamassa de cal aérea):3 (areia)).	32
Tabela 9 – Designação das argamassas usadas em [3].....	33
Tabela 10 – Resultados obtidos nos ensaios realizados às argamassas estudadas em [3].	34
Tabela 11 - Designação e constituição das argamassas em estudo.	39
Tabela 12 - Ligante utilizado no presente estudo.	41
Tabela 13 - Agregados utilizados no presente estudo.	41
Tabela 14 – Especificações utilizadas para realização dos ensaios no presente estudo.	47
Tabela 15 - Plano de ensaios.	47
Tabela 16 - Massa volúmica das argamassas (Kg/m^3)	60
Tabela 17 - Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa).	63
Tabela 18 - Resistência à flexão	67
Tabela 19 - Resistência à compressão.	73
Tabela 20 - Capilaridade aos 90 dias de cura.	80
Tabela 21 – Capilaridade aos 180 dias de cura	81
Tabela 22 - Capilaridade aos 365 dias de cura	82
Tabela 23 - Coeficiente de capilaridade aos 90, 180 e 365 dias de idade.	84
Tabela 24 - Valor Assintótico (VA) aos 90, 180 e 365 dias de idade.	85

Tabela 25 - Quociente entre as resistências mecânicas, resistência à compressão e à
flexão. 92

Tabela 26 – Síntese da ductibilidade das argamassas ao longo da idade de cura..... 94

Abreviaturas

Símbolo	Descrição
A	Área
AC	Areia de Corroios
AB	Areia Basáltica
AG	Areia Granítica
AT	Areia do rio Tejo
b	Largura
c	Comprimento
CA	Cal Aérea
Cc	Coefficiente de absorção de água por capilaridade
DL	Cal dolomítica
DM	Valor médio da absorção capilar
HR	Humidade relativa, em %
Rc	Resistência à compressão
Rf	Resistência à flexão
Rt	Resistência à tracção
MED	Módulo de elasticidade dinâmico
MO	Microscopia óptica
MV	Massa Volúmica
T	Temperatura
VA	Valor assimpótico

Notação abreviada adoptada na química da argamassa:

Abreviatura	Descrição
Al_2O_3	Óxido de Alumínio
$Ca(HCO_3)_2$	Bicarbonato de cálcio

Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio ou portlandite, conhecido por cal apagada ou cal extinta
CaCO ₃	Carbonato de cálcio ou calcite
CaMg(CO ₃) ₂	Carbonato de cálcio e magnésio
CaO	Óxido de cálcio, conhecido por cal viva
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
CaSO ₄	Sulfato de cálcio
CO ₂	Dióxido de carbono
Fe ₂ O ₃	Óxido de Ferro
H ₂ O	Água
Mg(OH) ₂	Hidróxido de magnésio
MgCO ₃	Carbonato de magnésio
MgO	Óxido de magnésio
MgCl ₂	Cloreto de magnésio
MgSO ₄	Sulfato de Magnésio
NaCl	Cloreto de sódio ou halite
Na ₂ SO ₄	Sulfato de cálcio
KHCO ₃	Hidrogenocarbonato de Potássio
RI	Resíduo insolúvel
PR	Praseodímio
SO ₃	Sulfureto

Siglas Descrição

DEC	Departamento de Engenharia Civil
EN	Norma Europeia
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NP	Norma Portuguesa

1. Introdução

1.1. ENQUADRAMENTO E JUSTIFICAÇÃO DO TEMA

As argamassas podem ter diversas utilizações em obra, podendo ser utilizadas para assentamento de alvenarias, para revestimento e acabamento de edifícios, entre outros. A sua utilização tem o objectivo de proteger alvenaria interior ou exterior dos edifícios[1].

Os constituintes de cada argamassa, ou seja, a sua composição influenciam fortemente as suas características, sendo necessário um estudo prévio das argamassas a utilizar em cada situação específica prevendo a ocorrência de eventuais anomalias que condicionem os elementos nos quais a argamassa é aplicada.

Nas argamassas de cal aérea deve haver cuidado aquando da sua aplicação, pois o tempo de endurecimento é elevado. No entanto, apresentam boa plasticidade, baixa retracção e resistência mecânica adequada para aplicar em edifícios históricos [1].

Portugal é um país com uma grande orla costeira, existindo inúmeras construções antigas que se encontram em ambiente marinho, as quais mostraram ao longo dos tempos ser constituídas por materiais de grande durabilidade. Com a crescente preocupação de conservação do património, surge a necessidade de reabilitação, sendo importante garantir a compatibilidade dos materiais [3].

Agostinho (2008) observou que as argamassas de cal aérea e areia utilizadas em algumas construções antigas, sujeitas a condições de salinidade e humidade severas, prevaleceram em bom estado de conservação, desempenhando de forma eficaz as suas funções [2].

1.2. OBJECTIVOS

Os objectivos principais deste trabalho experimental visam perceber o modo como o tipo de agregados influencia o desempenho das argamassas quando submetidas a condições de cura em laboratório e exposição natural, sujeitas à acção de sais solúveis e elevada humidade. Deste modo são estudadas as características mecânicas de cada argamassa durante o seu processo de carbonatação, aos 90, 180 e 365 dias de idade para os dois ambientes de cura. Permitindo o conhecimento da influência dos vários tipos de agregados no comportamento das argamassas.

Devido ao elevado número de construções sujeitas a ambiente marinho é importante as argamassas de reabilitação apresentarem características que lhes permitam resistir à acção dos sais solúveis e da água. Este facto vai de encontro aos objectivos principais do presente estudo.

Com o presente trabalho pretende-se analisar a correlação entre os resultados obtidos nos ensaios realizados aos prismas sujeitos a condições de cura distintas, ambiente marinho e laboratório.

Os ensaios realizados permitem verificar a capacidade das argamassas suportarem algumas acções exteriores a que estão sujeitas, como por exemplo, chuvas, temperatura e capacidade de efectuar trocas de vapor de água com o exterior.

1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação compreende cinco capítulos. De seguida apresentam-se resumidamente os principais assuntos abordados em cada capítulo.

No primeiro capítulo enuncia-se o enquadramento e justificação do tema escolhido para elaboração do presente trabalho, apresentam-se os objectivos que se esperam atingir e descreve-se o modo como a dissertação se encontra estruturada.

O capítulo dois remete para a revisão bibliográfica, onde se referem as argamassas no geral, incidindo com maior pormenorização nas argamassas de cal aérea, abordando a sua composição, o comportamento, a importância da utilização de argamassas, descrevendo os restantes materiais constituintes. Mencionam-se os mecanismos de degradação, salientando a cristalização de sais. Por fim faz-se referência a trabalhos

similar, expondo as principais contribuições e conclusões de vários autores relacionados com a temática abordada no presente trabalho.

No terceiro capítulo descreve-se a campanha experimental realizada, onde se descreve os materiais constituintes das argamassas, os ambientes de cura, os equipamentos utilizados e os procedimentos associados a cada ensaio e estabelecidos para realização deste estudo.

No capítulo quatro apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados e as especificidades encontradas nas diversas argamassas, análise e discussão dos resultados obtidos. Neste caracterizam-se as argamassas através das propriedades físicas e mecânicas, as quais são analisadas através de gráficos e quadros que permitem observar o comportamento das argamassas ao longo do tempo.

O capítulo cinco refere-se à apreciação geral dos resultados e às conclusões acerca do trabalho desenvolvido e enunciam as contribuições do trabalho realizado face aos objectivos propostos. São também apresentadas propostas para desenvolvimento de trabalhos futuros nesta área de investigação.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. ARGAMASSAS

Este capítulo tem como principal objectivo abordar aspectos gerais sobre argamassas, versando vários assuntos acerca desta temática, salientando as propriedades e aplicação, a constituição e os fenómenos que originam a sua degradação.

2.1.1. Considerações gerais

As argamassas foram utilizadas desde a antiguidade, havendo uma contínua melhoria das mesmas, ao longo das várias civilizações, conseguindo-se a obtenção de argamassas de grande durabilidade que ainda nos dias de hoje se encontram em bom estado.

O início da aplicação de cal aérea estima-se que terá ocorrido entre 4000 a 2000 A.C.. A sua primeira utilização encontra-se no estuque das pirâmides do Egipto[4] [61].

A utilização de argamassa de cal aérea como revestimento foi realizada pelos Gregos, sendo datada de 800 A.C [4] [5] [6].

Apesar destas iniciais aplicações, foi no império Romano (300 A.C. – 500 D.C.) que o uso de argamassa como revestimento se utilizou em grandes construções como, enormes anfiteatros, aquedutos, basílicas, onde se utilizaram várias técnicas construtivas [4].

Pode definir-se argamassa como sendo um produto resultante da junção de um ligante de origem mineral com um agregado e água. Esta pode ter na sua composição aditivos que lhe confirmam determinadas características pretendidas [1] [4] [7] [6].

Segundo a NP EN 459-1 as argamassas de cal aérea são constituídas essencialmente por óxidos e hidróxidos de cálcio, estes endurecem ao ar reagindo com o dióxido de carbono [6] [8].

A qualidade, as características e a dosagem de ligantes e aditivos com características distintas, permitiu o aparecimento de diversos tipos de argamassas.

Vários estudos apontam para a cal como sendo o ligante presente nas argamassas que teve mais uso ao longo dos séculos, quer para execução de rebocos quer para

assentamento de alvenarias. Devido ao aparecimento da cal hidráulica, a cal aérea foi deixando de ser utilizada nas argamassas aplicadas em obra [6] [61].

Com o aparecimento do cimento a utilização da cal foi caindo em desuso a partir dos anos 70, como se pode visualizar através da figura 1, a qual se refere apenas ao Alentejo. No presente, com a necessidade de reabilitar o património edificado a utilização de argamassas de cal e areia tem ganho novo ênfase no campo da construção, devido à fraca compatibilidade entre as argamassas de cimento e as alvenarias antigas. As argamassas de cal aérea possuem características bastante diferentes das argamassas de cimento. As primeiras apresentam menos resistência, maior trabalhabilidade, deformabilidade, porosidade e menor tendência de retracção comparativamente com as argamassas de cimento [1] [2].

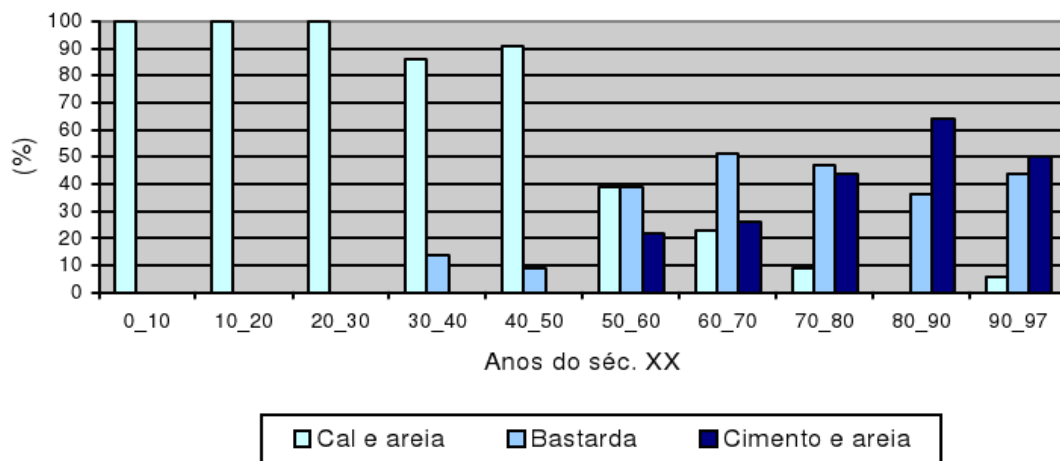


Figura 1 -- Utilização de argamassas de cal e areia no Alentejo, retirado de [1].

2.1.2. Importância da utilização de argamassas

Com a instabilidade presente no nosso país, o sector da construção é um dos sectores mais afectados. Sendo notória a diminuição da construção nova, por outro lado, evidencia-se cada vez mais a necessidade de conservação e reabilitação. Esta necessidade abrange desde edifícios antigos correntes a património histórico.

A importância de conservar e proteger o património histórico levou à implementação de artigos referentes a esta temática, presentes na constituição da República Portuguesa. Destaca-se o nº2 do artº. 66, o qual define que “*é um dever fundamental do estado classificar e proteger as paisagens e sítios, de modo a garantir a preservação dos valores culturais de interesse histórico ou artístico*” [8] [9].

No contexto desta constituição, salientam-se documentos como a Carta de Veneza e a Carta de Atenas. Nos quais se alega a importância da conservação do património histórico edificado, contribuindo com a sua preservação, dando a conhecer as construções edificadas pelos nossos antepassados às gerações futuras [10] [11].

De modo a haver uma correcta conservação do património histórico é necessário saber quais os materiais e técnicas utilizadas na construção. A necessidade de reparação encontra-se mais visível no revestimento exterior, sendo notável a grande pormenorização e diversidade do mesmo nos diversos edifícios históricos [10] [11].

Os revestimentos exteriores têm grande importância na conservação do património edificado, pois estes levam-nos a conhecer a diversidade da decoração das fachadas, as tecnologias utilizadas e os vários aspectos exteriores dos edifícios referentes a cada época [1].

A importância dos revestimentos exteriores também está implícita na protecção de alvenarias contra acções climatéricas, choques mecânicos e contaminação ambiental. Estes têm de garantir a aderência ao suporte, ser capazes de suportar movimentos inesperados, devem também permitir a troca de vapor de água entre o interior e o exterior das construções [1] [12].

Ao longo dos tempos, o património apresenta revestimentos diversificados e paredes exteriores com funções distintas. Tal facto, remete para a necessidade de conhecer as características funcionais das paredes, aquando seja necessário efectuar conservação e reabilitação das mesmas [8].

Segundo a ética da conservação a primeira opção a ter em conta quando necessário intervir num edifício antigo, deve ser a conservação. Quando a degradação atingir um nível que não é possível conservar, é necessário substituí-lo.

Com um intuito de prever quais as intervenções a efectuar, deve ser realizado um diagnóstico das causas das anomalias, prosseguindo-se uma correcta conservação ou reabilitação. Sendo essencial conhecer de forma detalhada a estrutura, os diversos factores de degradação de origem biológica, química ou física.

Devido à importância que este assunto causa ao longo dos tempos, vários foram os estudos efectuados acerca da definição de compatibilidade, e de argamassas históricas,

poderão fornecer informações acerca das matérias-primas a utilizar e respectivas proporções dos materiais [13] [61].

Segundo Thorborg Von Konow, em 1997, as argamassas de substituição devem ser de cal aérea de modo a garantir boa durabilidade, sendo necessário ter especial atenção à porosidade e à absorção de água. Os poros grandes absorvem água mais rapidamente que os poros pequenos. A granulometria da areia é um factor importante no desempenho da argamassa [14] [8].

Segundo Papayianni é necessário realizar um estudo acerca das argamassas bases contribuindo para o bom desempenho das argamassas de reabilitação. Os factores de compatibilidade a ter em conta, devem ser a resistência à flexão e à compressão, o módulo de elasticidade, a porosidade e a estrutura porosa [15].

Em 2005, Moropoulou considera que os estudos por vezes realizados a fim de verificar a compatibilidade de materiais podem nem sempre ser eficazes. Pois estes são realizados em laboratório, local onde as condições de cura são muito diferentes das reais. O resultado obtido [16] aos 15 meses mostra que as reacções de cal e dos componentes pozolânicos ainda continuam a ocorrer, verificando que ainda não tinha ocorrido a máxima resistência mecânica [16]. Esta ocorrência deve-se ao facto das reacções de cal usadas antigamente serem muito lentas, estes só atingem a estabilidade físico química a longo prazo.

Vários autores como, Teutónico (1994), Moropoulou et al (2005), Lanas e Alvarez (2003), referem que a utilização de argamassas de cimento em estruturas antigas conduziu à aceleração da degradação das argamassas originais, estando este facto implícito na incompatibilidade dos materiais [5] [17] [18].

Devido à crescente importância em reabilitar exige-se que haja compatibilidade entre o material existente e o material a aplicar. Contribuindo para uma reabilitação duradoura, quer em edifícios antigos correntes, classificados ou monumentos, têm sido efectuados estudos que visam identificar os materiais e tecnologias utilizadas aquando da construção dos edifícios.

Para uma correcta reabilitação é necessário estudar as argamassas antigas, obtendo conhecimento acerca da constituição das argamassas e do fabrico das mesmas. Como

resposta a esta necessidade, têm sido realizados diversos estudos às argamassas retiradas de alguns monumentos antigos [19].

Segundo Papayiani “(...) a mensagem que vem a partir do estudo de argamassas de idade é de grande importância e deve ser levado seriamente em consideração.” in [19]

As argamassas de cal são as que se encontram com maior frequência em estruturas antigas, com o intuito de assegurar um correcto restauro. Deve-se ter em consideração a natureza e a qualidade da cal e dos agregados em estudo, bem como a relação entre ambas as matérias-primas [5].

Os estudos mostram que o principal material utilizado na construção do património edificado foi a argamassa, sendo esta, na sua maioria proveniente de misturas de cal aérea com areia. Saliendo-se, em alguns casos, a presença de calcite cristalizada, o que remete para a transformação de hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio. Esta evidência mencionada considera-se um possível argumento para a durabilidade das argamassas. A durabilidade está relacionada com a natureza dos materiais e as interações que ocorrem entre a argamassa e os agregados. A interação poderá ocorrer através da composição de materiais ricos em sílica ou em carbonatos [20].

A caracterização de argamassas antigas é um tema bastante vasto, admitindo várias teorias acerca do mesmo, no qual não há consenso geral.

A durabilidade e o bom desempenho das argamassas, está relacionado com os materiais escolhidos essencialmente com as ligações físico-químicas que são desenvolvidas entre agregados e ligante, e com o processo de execução da argamassa [4] [21]. A correcta proporção de cada material existente na mistura constitui um facto importante para a obtenção de uma argamassa de qualidade que garanta a durabilidade da mesma no fim a que se destina [21].

Factores influentes na qualidade das argamassas [21]:

- Características e origem dos agregados;
- Granulometria dos agregados;
- Quantidade e composição da água de amassadura;
- Traço utilizado (agregado: ligante);
- Amassadura da argamassa;
- Aplicação da argamassa.

2.1.3. Materiais constituintes

Como mencionado anteriormente, as argamassas têm três materiais essenciais na sua constituição, ligante, agregado(s) e água, sendo importante colocá-los na proporção adequada de modo a obter as características pretendidas [4] [7].

2.1.3.1. Ligante

Os ligantes são materiais que na presença de água juntam os constituintes da argamassa, formando uma pasta que permite que ocorram as ligações entre os vários componentes [4] [22].

Os ligantes podem ser classificados como orgânicos, minerais ou sintéticos. Como exemplos de ligantes orgânicos temos os hidrocarbonetos, as resinas sintéticas, entre outros, os quais não vão ser abordados neste trabalho [6].

Os ligantes inorgânicos de origem mineral são provenientes de rochas naturais, calcários ou mármore, são constituídos por um pó muito fino que ao endurecer aumenta a rigidez, podem distinguir-se dois grupos com este tipo de ligante, aéreos e hidráulicos.

Os ligantes aéreos, como a cal aérea, a argila e o gesso, endurecem e ganham resistência só em contacto com o ar, pois é necessário a presença de dióxido de carbono para que ocorram as reacções. As cals hidráulicas e os cimentos são exemplos de ligantes hidráulicos, estes ganham presa quer em contacto com o ar quer com a água, conseguindo obter em ambos os casos elevada resistência [4] [1] [22] [2].

A composição química da cal aérea e de cal hidráulica apresenta diferenças evidentes, as quais podem ser visíveis através da tabela 1.

Tabela 1- Composição química em percentagem de ligante de cal [1].

Matéria-prima	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	RI	PR
Cal hidráulica	51,6	15,18	5,57	2,38	2,63	1,56	2,79	18,77
Cal aérea	71,4	0,3	0,1	0,05	0,2	-	-	27,9

RI-Resíduo Insolúvel, PR- Perda ao Rubro

Segundo a tabela 1 verifica-se que a percentagem de sílica é mais elevada na cal hidráulica do que na cal aérea, por outro lado, o óxido de cálcio encontra-se em maior quantidade na cal aérea.

A hidráulica da cal pode estar implícita na presença de substâncias pozolânicas e na percentagem de argila ou silicatos existentes na rocha de origem, a qual deve exceder 10% da massa existente [7] [22].

A utilização de ligante permite que os espaços existentes entre os agregados fiquem preenchidos, garantindo a coesão da mistura. No entanto o ligante deverá ser colocado na quantidade certa, pois se estiver em demasia poderá levar á ocorrência de contracção deste, ocorrendo a fissuração da argamassa. Caso esteja em falta, pode originar o enfraquecimento da argamassa devido à elevada porosidade [7].

Como mencionado anteriormente, os ligantes que constituem as argamassas podem ser a cal, gesso ou o cimento, podendo ainda, ocorrer uma mistura entre a cal e gesso ou entre a cal e cimento que dá origem a argamassas bastardas [7].

De seguida apresenta-se a Figura 2, a qual mostra de forma sintética a classificação dos ligantes mencionada anteriormente.

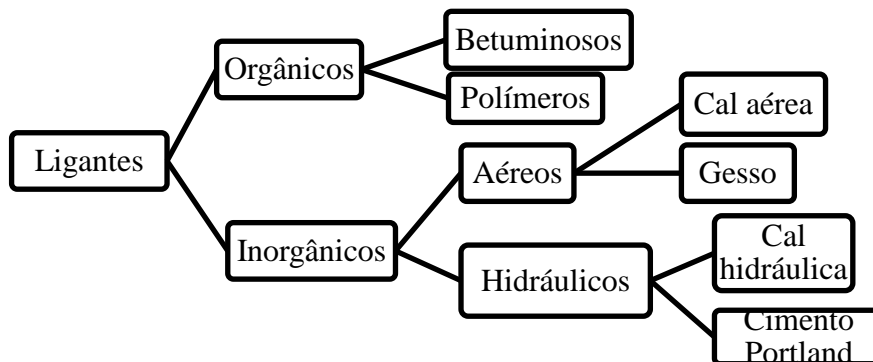


Figura 2 -Classificação Ligantes, adaptado de [23].

Destaca-se os ligantes obtidos a partir da cozedura de vários tipos de calcário, os quais se apresentam de seguida divididos quanto à sua constituição:

- Cimento Portland – provém de margas calcárias, com teor de argila entre 20% e 40%;
- Cal Hidráulica – provém de calcários margosos com teor de argila entre 5% e 20%;
- Cal aérea – provém de calcário puro com teor de argila entre 1% e 5%.

Cal Aérea

No presente estudo o ligante abordado é a cal, sendo este o que assume um papel mais importante [4], salientando-se com maior pormenor a cal aérea, pois este é o ligante utilizado nos prismas em estudo. Este ligante resulta da decomposição de calcário com impurezas inferiores a 5%, como tal é considerado um calcário puro [2] [24].

Na argamassa quando ocorre a hidratação da cal, esta encontra-se pronta para ser colocada em obra, sendo importante salientar os processos que a cal sofre até estar hidratada. Esses processos desenvolvem-se de forma cíclica, os quais se encontram representados na Figura 3.

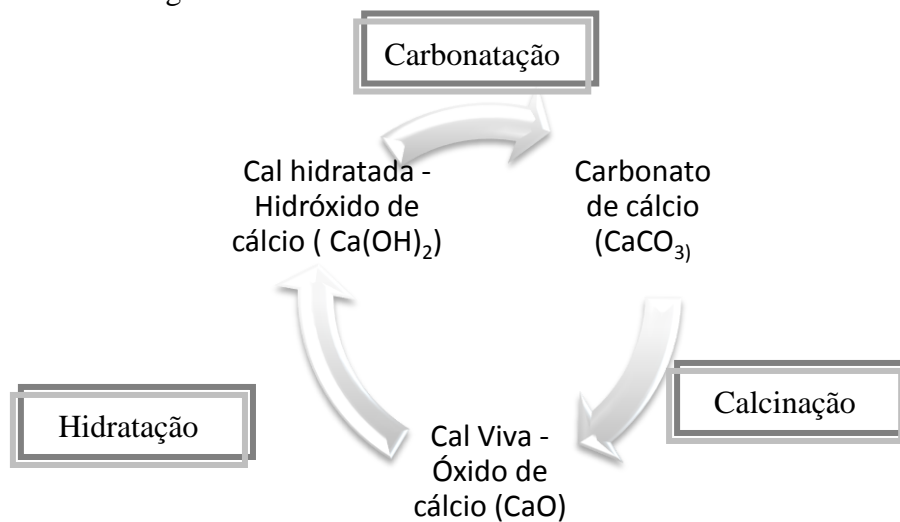


Figura 3 - Ciclo da cal [22].

Calcinação

A cal aérea resulta da calcinação do calcário a elevadas temperaturas, esta pode ser de origem cálcica ou dolomítica, como se pode verificar através da Figura 4 [23].

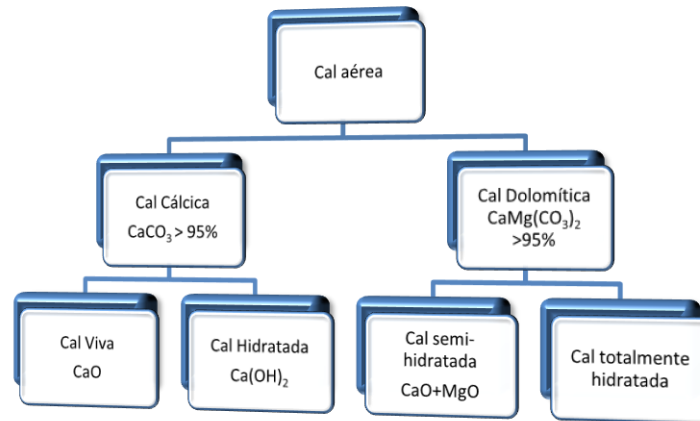
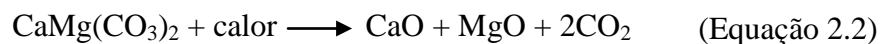


Figura 4 - Classificação da cal aérea, adaptado de [23] [25].

As rochas cálcicas têm mais de 95% de carbonato de cálcio na sua constituição, sofrem decomposição entre os 800°C e os 1000°C, sendo esperado que ocorra à temperatura de 900°C, originando a cal aérea cálcica que é constituída essencialmente por óxido de cálcio (CaO), também designado por cal viva e libertando dióxido de carbono (CO₂) para o exterior. Processo este que pode ser verificado através da equação química da reacção (Equação 2.1) representativa deste processo [22] [4].



Por outro lado, as rochas dolomíticas têm na sua constituição mais de 95% de carbonato de cálcio e magnésio, ocorrendo o processo de decomposição idêntico ao da rocha cálcica, diferenciando a temperatura necessária para que o processo ocorra, esta pode variar entre 400°C e 480°C, cujo processo é traduzido segundo a equação química 2.2, originando óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO). Esta diminuição da temperatura deve-se ao facto da rocha dolomítica ser menos pura que a rocha cálcica [22] [4].

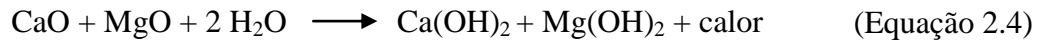
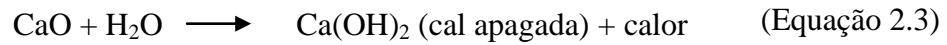


A este processo visível em ambas as equações químicas chama-se calcinação, no qual os produtos obtidos são designados de cal viva (CaO e MgO)

Hidratação

A cal viva é um material instável, ao adicionar-lhe água desencadeia-se o processo de hidratação da cal formando o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), também conhecido como cal apagada ou extinta, no caso da cal cálcica. Na cal dolomítica, a cal viva transforma-

se em hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e hidróxido de magnésio (Mg(OH)_2), as reacções correspondentes a cada processo encontram-se abaixo, (Equação 2.3 e 2.4) e [4] [7].

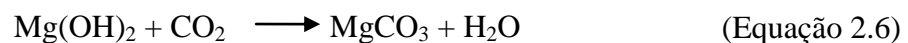
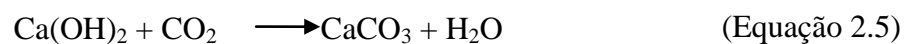


As reacções ocorrem com libertação de calor, podendo este atingir valores de temperatura superiores a 100°C . [4] A quantidade de água adicionada influencia o modo como a cal apagada resultante do processo de hidratação se apresenta, em pó (aspersão) ou em pasta (imersão) [22].

Após a hidratação das argamassas inicia-se o endurecimento nas argamassas de cal aérea, através da evaporação e absorção por parte do suporte da água que se encontra em excesso nas argamassas de cal aérea. Seguindo-se o processo de carbonatação [24] [7] [6] [40].

Carbonatação

A carbonatação é o processo através do qual ocorre o endurecimento da argamassa de cal, isto ocorre quando o hidróxido de cálcio, também chamado de portlandite, e o hidróxido de magnésio reage com o dióxido de carbono. Esta interacção origina o carbonato de cálcio (CaCO_3) ou o carbonato de magnésio (MgCO_3), segundo as reacções que se descrevem de seguida (Equação 2.5) e (Equação 2.6), o qual é responsável pelo endurecimento da argamassa [4] [24] [22] [6].



O processo de carbonatação é lento, havendo muitas argamassas onde o hidróxido de cálcio não se formou todo em carbonato de cálcio, isto ocorre pois este é um processo afectado por diversos factores como, a humidade, a permeabilidade de argamassa e a sua espessura. Trabalhos realizados anteriormente relatam que a existência de hidróxido de cálcio em pouca quantidade pode contribuir para o aumento da resistência mecânica[7].

No final do processo de carbonatação obtém-se CaCO_3 , composto químico que faz parte do início do ciclo da cal. Aborda-se de seguida apenas CaCO_3 , pois é o constituinte formado nas argamassas em estudo.

Em condições onde a presença de água é muito intensa e constante, como é o caso de argamassas que estão imersas em água ou sujeitas a ciclos de molhagem superiores aos de secagem, o carbonato de cálcio (CaCO_3) reage com a água formando hidrogenocarbonato de cálcio e hidróxido de cálcio [4].



Quando o hidróxido de cálcio absorver o dióxido de carbono presente na atmosfera, poderá ocorrer a recarbonatação.

Salienta-se que o processo de endurecimento e a velocidade com que cada reacção ocorre são influenciados pelas condições atmosféricas a que as argamassas estão sujeitas [2]. Este aspecto pretende verificar os dados obtidos no presente estudo, após execução dos ensaios laboratoriais.

2.1.3.2. Agregados

Os agregados têm um contributo importante no comportamento das argamassas, são geralmente inertes, não sofrem aumento ou diminuição de dimensão durante e depois da aplicação, reduzindo a retracção que se verifica nas misturas de ligante. Quando bem calibrados, a utilização destes nas argamassas confere uma estabilidade dimensional, elevada resistência mecânica e uma porosidade que melhora a permeabilidade ao vapor de água e o processo de carbonatação [22] [2].

Os agregados são o componente maioritário presente nas argamassas, podem ser classificados segundo a origem como naturais, industrializados ou reciclados, segundo as dimensões das partículas, como finos (areias com partículas que passem no peneiro de 4 mm) e grosso (rolado, calhau ou seixo). Podem também ser classificados segundo a massa volúmica como agregados leves ou de elevada massa volúmica, esta classificação está relacionada com a densidade do material [2] [22].

A classificação dos agregados, a dureza, a natureza, a forma dos grãos, a granulometria e a porosidade são factores que afectam as características das argamassas. Outro aspecto importante que pode afectar o comportamento das argamassas é a existência de

contaminantes nos agregados, como, impurezas químicas, matéria vegetal e argila. Os agregados presentes nas misturas funcionam como parte resistente das argamassas, sendo essencial assegurar as características dos agregados tendo em conta o fim a que se destina a mistura [4] [1].

Areia

Areia é um material de origem mineral proveniente da desagregação das rochas, este agregado é constituído essencialmente por quartzo que, devido à sua dureza e durabilidade confere boas características aos agregados finos. Juntamente com o quartzo, há outros minerais existentes em areias que podem diminuir as características do agregado, como calcite, micas, feldspatos, minerais argilosos e matéria orgânica. Do ponto de vista químico as areias podem ser siliciosas quando constituídas por quartzo e minerais provenientes do granito, ou calcárias. As siliciosas são provenientes dos rios ou areeiros, enquanto as calcárias resultam de material britado, estas têm sido cada vez mais utilizadas devido a questões ambientais [4] [1] [2] [7].

A presença de areia contribui para que ocorra a carbonatação e endurecimento da argamassa de cal aérea, influencia a trabalhabilidade durante o estado fresco e a resistência mecânica no estado de endurecido [26] [40].

A areia pode ser proveniente de diversos locais e conseqüentemente de diversos tipos de rochas, variando as características de cada tipo de areia. O tipo e a granulometria da areia influenciam o comportamento das argamassas, a granulometria deve ser constituída por grãos de várias dimensões, havendo um equilíbrio entre a quantidade de grãos muito finos e grãos muito grossos [27].

São vários os estudos que concluíram que granulometria variada contribui para melhores características de areias, presentes nas argamassas de cal aérea [28] [29].

A forma das partículas influencia as características e a porosidade da argamassa, quanto mais angulosas forem as partículas, menor será a quantidade de vazios existente, logo, menor o teor de água e a quantidade de ligante.

A argila é um material que interfere no comportamento das argamassas, as areias argilosas conferem uma maior trabalhabilidade e resistência mecânica às argamassas, no

entanto, quando a percentagem de argila é elevada pode reduzir a ligação do agregado à cal, levando ao aumento de retracção que proporcionará a ocorrência de fissuração [1].

Neste trabalho foram utilizadas quatro areias distintas, areia de Corroios, areia do rio Tejo, areia basáltica e areia granítica. Cada areia tem uma determinada composição mineralógica que confere diferentes características.

A areia de Corroios também designada por areia amarela, tem algum teor em argila, é áspera, e é constituída por grãos rolados, conferindo baixa resistência à argamassa[30].

A areia basáltica tem cor escura, é proveniente da rocha basáltica, a qual tem na sua composição plagioclásico, piroxénio e poderá ter olivina, granada, entre outros minerais. Têm boas propriedades físicas e mecânicas, no entanto nas fracções finas podem conter fragmentos achatados e angulosos [31].

A areia proveniente de ambiente fluvial tem na sua composição quartzo, micas, feldspato, piroxenas, granadas e olivinas. Os grãos são rolados, não têm sujidades pois vão sendo lavados pela água, alguns estudos concluíram que a areia do rio Tejo é constituída por grão angular de dimensões variáveis [30].

A areia granítica é rica em quartzo, materiais argilosos e algum feldspato. O quartzo é mineral com dureza elevada, o granito apresenta resistência mecânica elevada e pouca alterabilidade, como tal, não sofre muita alteração quando transformada em areia granítica [31].

Devido aos diferentes tipos de areias prevê-se que as argamassas mostrem características e comportamentos bastante diversificados [32] [40].

2.1.3.3. Água

A água a aplicar para preparação das argamassas pode ser qualquer água doce e potável, não devendo ter minerais nem conter partículas dissolvidas ou em suspenso que podem retardar o processo de presa e afectar as características das argamassas. Os sais dissolvidos não devem estar presentes na água de amassadura [4] [22].

A água desempenha uma função essencial na amassadura de argamassas, permite a aglomeração dos constituintes e interfere no ciclo da cal. Na medida em que o suporte pode absorver água, esta última condiciona a aderência da argamassa ao suporte,

interfere no processo de endurecimento podendo alterar a qualidade final dos revestimentos [2] [22] [24].

Na argamassa de cal aérea, a água funciona como catalisador da reacção assegurando a dissolução do dióxido de carbono. A quantidade de água utilizada em cada amassadura deve ser previamente estimada, dependendo do fim a que se destina a argamassa, do tipo de ligante utilizado, da granulometria do agregado e do traço da argamassa, interferindo na aplicação e na qualidade final da argamassa. Deve-se utilizar a quantidade mínima de água de modo a garantir a consistência da mistura, garantindo a devida aplicação da argamassa. Se a quantidade for a adequada a tendência para retracção e conseqüente fissuração é reduzida, aumentando a capacidade resistente e a durabilidade do revestimento. A temperatura é outro factor relevante, esta está associada ao tempo de endurecimento da argamassa [2] [22] [24].

Quanto maior a quantidade de água presente na argamassa, maior será a retracção, devendo esta ser colocada em quantidade tal que evite a ocorrência de retracção [2].

2.1.4. Durabilidade e desempenho das argamassas de cal aérea

São diversos os tipos de argamassas aplicadas no revestimento de paredes, nomeadamente, argamassas de cimento, argamassas de cal aérea, argamassas de cal hidráulica, argamassas bastardas e argamassas pré-doseadas. Cada tipo de argamassa apresenta diferentes características, as argamassas de cimento apresentam elevadas resistências mecânicas, baixa permeabilidade e têm sais solúveis na sua constituição [2] [6].

Por outro lado, como mencionado anteriormente, as argamassas de cal aérea quando executadas e aplicadas correctamente apresentam baixa retracção, elevada deformação, valores de resistência mecânica baixos, elevada porosidade e permeabilidade ao vapor de água [2] [6]. Apesar dos baixos valores de resistência mecânica, prevê-se que estes aumentem devido à fixação do dióxido de carbono do ar [6].

As argamassas de cal aérea são as mais compatíveis mecanicamente, estruturalmente e quimicamente com alvenarias antigas, estas têm uma composição mais próxima das argamassas antigas, sendo as mais convenientes para utilizar na sua reabilitação pois conferem uma compatibilidade entre os constituintes [6] [12] [33].

Para estabelecer uma boa reabilitação há princípios a ter em conta para as argamassas de substituição, sendo necessário conhecer as características dos elementos a reabilitar. As características mecânicas devem ser semelhantes às das argamassas originais, e inferiores às do suporte, devem ter alguma resistência mecânica e um módulo de elasticidade baixo [33].

As características dos materiais a utilizar na reabilitação são factores importantes, pois condicionam a durabilidade e o comportamento, no entanto salientam-se outros factores que contribuem para a qualidade, como, as condições climáticas, de cura e a preparação do suporte.

Segundo Papayiani, tendo em conta vários estudos efectuados em argamassas antigas, a durabilidade dos materiais não está associada exclusivamente com a sua resistência [19].

O desempenho e durabilidade são ainda condicionados pelas técnicas de aplicação e preparação do material, pelas condições de cura e pela qualidade do suporte [12].

A durabilidade influencia os restantes requisitos, pois está relacionada com boa resistência aos choques, boa coesão interna, aderência ao suporte e resistência química adequada [12].

Ao longo dos tempos têm sido desenvolvidos estudos com o intuito de estabelecer requisitos tais que, contribuam para a compatibilidade e correcto desempenho dos elementos, prolongando a durabilidade dos edifícios aquando sujeitos a intervenções de reabilitação [33].

Uma correcta distribuição de tamanho do grão presente na areia pode conferir elevada resistência à argamassa [17] [3].

Segundo alguns autores [2] [34] [6] [35], a durabilidade das argamassas de cal aérea está relacionada com a porosidade, pois os poros são responsáveis pelo movimento da água nos materiais e pela sua absorção, influenciando propriedades como, a carbonatação, a resistência mecânica, fissuração, fendilhação e retracção. Salienta-se também o comportamento relativamente à água, organismos, microorganismos e a presença de sais solúveis [22] [12].

Um estudo [24], concluiu que o processo de carbonatação é favorecido com humidade elevada e grande concentração de dióxido de carbono.

O desempenho das argamassas é influenciado pela quantidade de água existente, para tal, as argamassas de substituição devem ser permeáveis ao vapor de água e ter baixa absorção [2].

2.1.5. Mecanismos de degradação

Visto a argamassa de cal aérea ser o material utilizado no presente estudo é relevante perceber de que modo esta poderá sofrer degradação, a necessidade de compatibilidade e de reabilitação já mencionadas, remetem para a necessidade acrescida desta temática, contribuindo para uma manutenção deste material.

Tal importância, levou ao desenvolvimento de vários estudos desenvolvidos ao longo dos tempos, estudos estes que visam tentar evitar e/ou abrandar a degradação das argamassas, compreendendo as causas de degradação e intervindo de forma preventiva nas anomalias existentes.

Os mecanismos de degradação das argamassas podem ocorrer devido a processos químicos, físicos, mecânicos ou biológicos, podendo ocorrer a actuação simultânea destes, condicionando as funcionalidades das argamassas [4] [7].

No presente trabalho aborda-se de um modo geral os mecanismos de degradação mais comuns, aprofundando os mecanismos gerados pela presença de água e pela cristalização de sais, pois estes afectam directamente as argamassas em estudo.

A água pode transportar diversos componentes que provocam degradação nas argamassas, dos quais se destacam os sulfatos, cloretos, nitratos e ácidos, contribuindo para a ocorrência de todas as reacções químicas que originam degradação [4].

No presente estudo, as argamassas estão sujeitas à acção da água do mar, esta provoca processos de deterioração química e física, os quais podem ocorrer simultaneamente o que provocará uma acentuada degradação [36].

Para o presente estudo é importante abordar a composição da água do mar, de modo a compreender quais os compostos que contribuem para a degradação das argamassas.

Tabela 2 - Composição água do mar (Oceano Atlântico) [4].

Composto	Concentração (g/L)
NaCl	26,9
MgCl ₂	3,2
MgSO ₄	2,2
CaSO ₄	1,2
CaCl ₂	0,6
KHCO ₃	0,2

A água do mar poderá originar o aparecimento de sulfatos em argamassas, podendo o transporte destes ser efectuado pela brisa marinha.

Através da tabela 2 verifica-se que o cloreto é um dos principais constituintes da água do mar, encontrando-se presente no cloreto de sódio (NaCl), no cloreto de magnésio (MgCl₂) e no cloreto de cálcio (CaCl₂). Para além de ser o mais abundante, os sais de cloreto são os que causam maior degradação da argamassa.

O cloreto de sódio, também designado por halite é um sal muito solúvel que se infiltra em grande escala nos materiais. Este sal pode ser muito perigoso aquando da ocorrência de ciclos de cristalização, os quais originam pressões e tensões podendo provocar roturas nos poros. O que progressivamente levará à ocorrência da degradação do revestimento. A ocorrência dos ciclos depende da humidade existente e das condições envolventes necessárias para a ocorrência destes fenómenos [6] [40].

Estes podem reagir com os aluminatos originando compostos que degradam a argamassa, podendo ocorrer a formação de etringite, fenómeno este que se encontra detalhado anteriormente.

Os sulfatos quando se encontram em solução com a cal originam produtos muito expansivos, como é o caso do gesso. Podendo o gesso originar mecanismos de degradação devido à sua fácil dissolução em água, gerando erosão, aumento de volume dos poros, provocando fendilhação e rotura. Este pode provocar a ocorrência de

reacções de expansão como a formação de etringite (sulfoaluminato tricálcico hidratado) e/ou formação de taumasite (silicosulfocarbonato de cálcio hidratado).

A ocorrência de cristalização da etringite gera um elevado aumento de volume, se a sua reacção ocorrer antes do endurecimento da argamassa, absorve as tensões originadas pelo aumento de volume. Por outro lado, quando a formação de etringite ocorre após o endurecimento da argamassa, poderá conduzir à ocorrência da degradação da argamassa [4] [7].

O efeito de degradação da argamassa gerado pelo aumento de volume provocado pela formação de taumasite é semelhante ao gerado pela formação de etringite [7].

As argamassas sujeitas a cura em ambiente natural, para além de poderem estar em contacto com água do mar, estão sujeitas a ambiente agressivo de humidade salina, sol quente e brisa marinha.

O comportamento das argamassas relativamente à água exige um cuidado especial, visto ser uma das principais causas de degradação dos materiais. A água pode servir de transporte de agentes agressivos, pode participar nas reacções químicas que provocam degradação, contribui para o aparecimento de microorganismos e é o principal meio de transporte dos sais solúveis. Em materiais porosos os fenómenos de absorção, adsorção e difusão gerados pela presença de água contribuem para os mecanismos de degradação das argamassas.

As águas aquando em contacto com as argamassas circulam pelos seus poros dissolvendo as zonas hidratadas ricas em cálcio. A humidade ascendente por capilaridade provoca um aumento da porosidade do material e da permeabilidade, contribuindo para a diminuição da resistência mecânica, para a dilatação ou retracção dos materiais [4] [2].

Os ciclos de gelo-degelo provocam degradação da argamassa, ocorrem quando a água existente nos poros da argamassa passa do estado líquido para o estado sólido, gerando pressões nos poros que podem levar à fendilhação e rotura. Quanto mais pequenos forem os poros maior a facilidade destes deteriorarem quando sujeitos a pressões elevadas.

Outros factores de degradação:

- A temperatura pode provocar alterações físicas através do surgimento de tensões provenientes de fenómenos de contracção ou dilatação, os quais poderão causar deformações ou ruptura da argamassa. Também pode provocar alterações químicas actuando como catalisadora de reacções, diminuindo a durabilidade da argamassa [4] [7].
- O vento actua como agente erosivo, transportando poeiras e agentes agressivos [4].
- A poluição atmosférica é um factor que causa degradação das argamassas, deste provêm as águas ácidas que em contacto com argamassas formam sais solúveis como, sulfatos, nitratos de cálcio, bicarbonatos, entre outros. A formação de novos compostos conduz à instabilidade da argamassa ao nível físico, mecânico e estético [7].
- A biodeterioração está relacionada com a degradação da argamassa devido a microorganismos, a ocorrência do processo de colonização biológica é favorecida pela humidade existente nos materiais [7] [60].

A colocação de uma argamassa inadequada pode, também, gerar mecanismos de degradação nos elementos. A cristalização dos sais solúveis é outro factor que provoca a frequente deterioração de argamassas, sendo esta temática aprofundada em 2.1.6.

2.1.6. Cristalização de sais

A cristalização de sais solúveis é uma das principais causas de degradação das argamassas, a ocorrência deste fenómeno poderá estar relacionada com diversos factores como, a presença de sais nos materiais de construção, no ambiente envolvente através da poluição atmosférica (sulfatos e nitratos), os sais transportados pela brisa marítima (cloretos) ou provenientes da humidade ascendente [23] [37].

Os sais produzidos são constituídos por iões provenientes da água que circula na estrutura porosa [7]. Quando a concentração do sal é maior que o nível de saturação e a humidade relativa de equilíbrio tomar valores abaixo dos parâmetros, pode ocorrer a cristalização do sal gerando pressões no interior dos poros, variando com os vários tipos de compostos formados e a temperatura ambiente [37].

Os sais formam-se inicialmente nos poros de maiores dimensões e vão sendo alimentados pelos poros mais pequenos, sendo nos poros de raio menor que as pressões

são mais elevadas. Quando os poros estão totalmente preenchidos com cristais, estes ocupam os restantes poros gerando tensões e possível ocorrência de fissuras [37].

Pode haver várias formas de cristalização dependendo da humidade existente, num ambiente de elevada humidade os sais podem cristalizar sobre a forma de grãos isométricos, por outro lado, num ambiente menos húmido os sais podem cristalizar em forma prismática ou em forma de agulhas.

Durante o processo de cristalização, caso ocorra a existência de fissuras verifica-se o aumento destas e uma consequente diminuição da humidade existente prosseguindo o crescimento cristalino em forma de agulhas no seguimento das fissuras [37].

Através da figura 5 pode visualizar-se o desenvolvimento do processo de cristalização, desde a formação de grãos isométricos, figura 5-1, até ao crescimento cristalino sobre a forma de agulhas, figura 5-2.

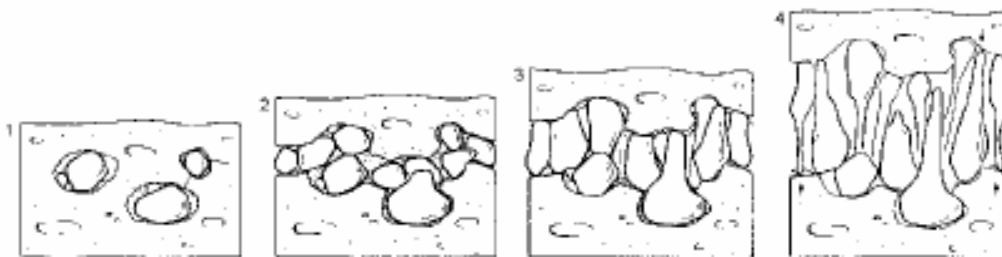


Figura 5- Processo de cristalização, retirado de [37].

O processo de cristalização não é um processo generalizado que se aplica a todos os tipos de sais, pois o comportamento destes pode ser distinto, variando de sais muito solúveis, levemente solúveis ou “quase insolúveis”.

Os sais muito solúveis não geram danos muito gravosos nos materiais, pois podem haver em quantidades elevadas sem cristalizarem surgindo eflorescências. Os sais levemente solúveis provocam danos bastante gravosos pois atingem com maior frequência a saturação, provocando a cristalização sob os paramentos, por outro lado, os sais “quase insolúveis” cristalizam no interior dos elementos de forma lenta e gradual, a sua concentração é baixa e não provocam danos graves nos materiais. Estes últimos devido à sua lenta cristalização no interior dos elementos podem contribuir para a diminuição da porosidade do material [37].

Os sais que surgem nas paredes de revestimento são na sua maioria sais muito solúveis [37].

Após a cristalização, caso a humidade relativa do ar o possibilite os sais podem dissolver-se. Estes processos geram um aumento de volume durante a cristalização e durante a hidratação dos sais, provocando degradação com sucessivos ciclos cristalização – dissolução. Degradação que pode manifestar-se com o aparecimento de eflorescência, na qual se verifica cristalização dos sais solúveis à superfície dos materiais, ou por criptoflorescência cuja cristalização dos sais surge no interior dos materiais [2] [37] [19].

A ocorrência dos ciclos cristalização – dissolução depende essencialmente do teor de humidade, no entanto depende de muitos outros factores, como, a origem, a percentagem existente de sais, as condições de evaporação e a microestrutura do material. Nos cristais muito higroscópicos como o Na_2SO_4 e o MgSO_4 , o aumento de volume que ocorre com a hidratação é mais elevado. O aumento do grau de hidratação em alguns casos, pode gerar a alteração da forma dos cristais [2] [37] [8].

Espera-se que uma argamassa porosa e permeável confira maior susceptibilidade à cristalização de sais, pois permite uma maior evaporação e quantidade de água na estrutura porosa [7].

Estudo efectuado [38], refere que NaCl tem uma reduzida tendência para ocorrer saturação total, sendo muito reduzida a probabilidade de ocorrerem pressões elevadas devido a processos de cristalização. No entanto são vários os danos encontrados nos materiais em contacto com NaCl , estes poderão estar relacionados com o fenómeno de dilatação irreversível.

Fenómenos de cristalização do sal, que são normalmente seguidos de tensões de dilatação, não são tão prejudiciais em estruturas muito porosas, como no caso de estruturas compactas, de baixa porosidade. As argamassas de baixas idades de cura são leves e porosas [19]. Nas argamassas de elevadas idades de cura as aberturas existentes são reduzidas devido ao preenchimento destas com produtos de recristalização [19].

Ao longo dos tempos verificou-se que construções na orla costeira apresentavam bom desempenho. Com o intuito não só de reabilitar mas também, de perceber quais os

materiais existentes em cada construção, que poderão ter influenciado a durabilidade das argamassas antigas, têm sido realizados vários estudos ao património [3].

Borges, C., Silva Santos, A., Veiga, R., efectuaram um estudo a argamassas antigas que apresentavam boa durabilidade e desempenho, estando estas em ambiente marinho e em contacto com a água do mar. Estudo este que teve como principal objectivo obter informação acerca do mecanismo presente nestas argamassas, contribuindo para produzir argamassas de reabilitação com boa durabilidade e compatibilidade, colaborando para a elaboração dos provetes mencionados no presente trabalho. As argamassas utilizadas no estudo são de cal aérea cálcica e dolomítica, tendo estas idade avançada e encontrando-se na presença de água [36].

O estudo concluiu que a elevada durabilidade observada nas argamassas sujeitas a ambientes marinhos pode estar relacionada com a presença de sais de cálcio dentro dos silicatos de cálcio e compostos de alumínio. Encontraram etringite nas argamassas, o seu efeito não está presente nas argamassas pois parece estar diluído na estrutura porosa da argamassa de cal, evitando o efeito destrutivo que normalmente este composto provoca. Os autores relacionaram a ocorrência deste facto com a lenta formação de cristais.

Verificaram que os poros das argamassas encontravam-se com produtos de neoformação, concluindo que a entrada e formação de sais, juntamente com a água do mar contribuíram para melhorar a durabilidade das argamassas de cal. O preenchimento dos poros com argamassa de sais, criaram uma estrutura mais compacta e densa [36].

Estudo realizado anteriormente [39] utilizou diferentes argamassas de cal aérea com o mesmo agregado, areia do rio. Inicialmente a autora deste estudo esperava que a argamassa de cal aérea fosse muito susceptível à acção dos sais, no entanto essa teoria não foi verificada, concluindo que as melhores resistências à acção dos sais não estavam directamente relacionadas com as melhores características mecânicas, uma possível explicação para este facto incidiu na porosimetria. Esta propriedade está associada à dimensão do poro, seja o poro de dimensões significativas que aquando a ocorrência de ciclos de cristalização esta não atinge a dimensão total do poro. Verificaram que a cal aérea hidratada em pó conferia boa resistência aos sais e resultados menos bons relativamente à capilaridade [39].

2.2 TRABALHOS EXPERIMENTAIS DE REFERÊNCIA

No presente capítulo apresenta-se uma síntese de alguns trabalhos de investigação, mencionando os resultados considerados mais significativos para o presente estudo.

Segundo estudos realizados por M. R. Veiga [41] [42] [43], foram propostos valores para características mecânicas e não-mecânicas das argamassas de substituição, os quais se apresentam nas Tabelas 3.

Tabela 3 - Requisitos estabelecidos para as argamassas de substituição [2] [41] [42] [43].

	Reboco exterior	Reboco interior
Rt	0,2 - 0,7	0,2 - 0,7
Rc	0,4 - 2,5	0,4 - 2,5
MED	2000 - 5000	2000 - 5000
Absorção capilar [kg/m ² .h ^{0,5}] [kg/m ² .min ^{0,5}] C	≤ 12; ≥ 8 (≤ 1,5; ≥ 1,0)	-

No estudo experimental realizado por V.Rato [29] foram preparadas várias composições de argamassas com o intuito de avaliar a relação entre os vários ligantes utilizados e a granulometria das areias, para o presente trabalho apenas serviram de referência as argamassas de cal aérea e areia (1:3) e as argamassas bastardas de cimento, cal aérea e areia (1:1:6).

Utilizaram 6 tipos de areia no estudo, considerando para este trabalho a curva cuja máxima dimensão do agregado é de 2,36 mm e a mínima dimensão 0,5 mm, a cal aérea é hidratada em pó e o cimento Portland CEM II/B-L 32,5 N.

O ensaio de espalhamento foi efectuado para argamassas em estudo, cujos resultados foram de 65% para argamassas de cal aérea e areia e 70% para as argamassas bastardas de cimento, cal aérea e areia. As argamassas foram moldadas em moldes de 16x4x4cm³, e colocadas, após o tempo de cura dos provetes, em ambiente com T=23°C e Hr=50%.

Os provetes foram submetidos aos ensaios com idade de cura de 60 dias, os quais se apresentam na tabela 4.

Tabela 4 - Ensaio de caracterização das argamassas [41] [29].

Ensaio	Idade (Dias)	Argamassas	
		Cal Aérea e Areia	Cimento, Cal Aérea e Areia
Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	60 Dias	1793	5905
Resistência à flexão (MPa)		0,23	0,96
Resistência à compressão (MPa)		0,48	3,02
Coefficiente de absorção capilar (kg/m².min^{1/2})		18,36	21,78
Valor Assimptótico (Kg/m²)		18,610	22,577

No trabalho de investigação realizado por R. Veiga intitulado “Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes.” [43] foi realizada uma campanha experimental onde foram estudadas argamassas para revestimento de edifícios antigos, entre as quais se apresentam a tabela 5 e tabela 6.

Tabela 3 - Apresenta a composição das argamassas relevantes no estudo [43], estas foram ensaiadas aos 90 dias.

Argamassas	Referência	Traço	Composição
Bastardas de Cal Aérea e Cimento	CACI3	1:3:12	Cimento branco: Cal Aérea: Areia siliciosa com granulometria estudada
	CACII	1:1:6	Cimento: Cal Aérea: Areia do rio
	CA3	1:3	Cal Aérea em pó: Areia siliciosa com granulometria estudada
Cal Aérea	CAP	1:0,5:2,5	Cal Aérea em pó: pozolana: Areia siliciosa com granulometria estudada
	CAF	1:1,5+1,5	Cal Aérea de fabrico especial (carácter hidrófugo): areia do rio + areia de Corroios

Tabela 4 - Resultados de ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido.

Ensaio	Argamassas				
	CACI3	CACII	CA3	CAP	CAF
Módulo de elasticidade dinâmica (MPa)	5671	4770	4098	4521	2255
Resistência à flexão (MPa)	0,70	0,8	0,34	0,56	0,24
Resistência à compressão (MPa)	1,86	2,9 (Forte)	1,28	2,00	0,63
Coefficiente de absorção capilar (kg/m².h^{1/2})		14,2 (Excessivo)	10,1	9,5	0,27 (Insuficiente)

Este estudo concluiu que as argamassas de cal aérea, com excepção das pré doseadas, apresentam características mecânicas aceitáveis, sendo a de cal e pozolana que têm as melhores características. Menciona também a importância e a influência que os tipos de agregados têm nas argamassas.

No estudo experimental de Lanas et al [17] intitulado “Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior” teve como objectivo avaliar a influência do tempo de cura, nas resistências mecânicas (compressão e tracção) e na porosidade das argamassas.

Na produção das argamassas foram utilizados dois tipos de cal aérea hidratada, e agregados com granulometria controlada, identificados do seguinte modo:

- 1 e 2 são seixos de forma angular e arredondada;
- 3 e 4 areias com várias dimensões;

Os provetes foram sujeitos a cura em laboratório, numa sala condicionada com temperatura de 20°C, humidade relativa de 60% e submetidos a ensaios aos 3, 7, 28, 91, 182 e 365 dias de cura. Foram adoptados diferentes traços em volume, entre 1:1 e 1:5.

Os autores deste estudo verificaram um aumento da resistência mecânica ao longo do tempo, entre os 28 e os 365 dias de cura, sendo que a resistência à compressão teve um aumento de 3,5 vezes. Por outro lado, durante o mesmo período de cura, verificou-se um aumento de 2 vezes mais na resistência à flexão. Observaram que um aumento do ligante proporciona um aumento da porosidade e da resistência mecânica, partículas mais finas (3 e 4) têm resistências mecânicas mais elevadas comparativamente com os agregados mais grossos (1 e 2).

No trabalho de investigação realizado por M. G. Maria et al [28] intitulado “Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea”, foram moldados provetes com argamassa de cal aérea com diferentes tipos de areia e com traço volumétrico 1:3, no qual foram realizadas duas fases da campanha de ensaios, no entanto apenas se abordará a 1ª fase.

As areias utilizadas foram areia do rio Tejo (A1) e areia de areeiro de Corroios (A2), o ligante utilizado foi a cal aérea hidratada em pó. A preparação das argamassas foi efectuada de modo a que estas tivessem trabalhabilidade e consistência necessária para serem aplicadas em rebocos de alvenaria, no entanto não foi efectuada a anotação da consistência obtida.

Os provetes foram mantidos, durante e após a cura, num ambiente com 50% de humidade relativa e temperatura de 23°C, efectuaram a caracterização das argamassas endurecidas aos 28 dias, aos 90 dias e aos 360 dias de idade. Apenas se abordam os resultados de ensaios relevantes para o presente trabalho, os quais se apresentam na tabela 7.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas [22] (1A – areia rio Tejo; 2A – areia areeiro de Corroios; 3A – (1:1,5:1,5) ½ areia rio Tejo e ½ areia areeiro de Corroios.

Designação argamassas		1A	2A	3A
<u>Areias</u>	<u>Idade (Dias)</u>	<u>A1</u>	<u>A2</u>	<u>½ A1 + ½ A2</u>
Resistência à flexão (MPa)	28	0,37	0,40	0,43
	90	0,60	--	0,47
	360	0,83	0,63	1,03
Resistência à compressão (MPa)	28	0,68	0,80	0,82
	90	1,30	0,77	1,20
	360	1,73	1,23	2,13
Resistência à flexão/ compressão	28	0,54	0,50	0,52
	90	0,46	0,39	0,39
	360	0,50	0,51	0,48
Coefficiente de absorção de água por capilaridade (Kg/m².min^{1/2})	28	1,31	1,58	1,00
	90	1,26	1,53	0,97
	360	1,19	1,19	1,02

Os autores referem que a argamassa com areia de Corroios revelou pior desempenho a nível mecânico e elevado coeficiente de capilaridade. Estes valores poderão estar associados à presença de matéria fina argilosa existentes nas areias provenientes de areeiro.

O trabalho de investigação realizado por P. F. Rodrigues [39] intitulado “Estudo comparativo de diferentes argamassas tradicionais de cal aérea e areia”, avalia e

compara algumas características de argamassas com vários tipos de cal aérea. No entanto, para o presente trabalho apenas se referem as argamassas de cal aérea hidratada em pó com traço volumétrico 1:2 (ca1) e 1:3 (ca2).

Foram moldados provetes $4 \times 4 \times 16 \text{cm}^3$, sujeitos a ambiente de cura controlados após a desmoldagem com 50% de humidade relativa e temperatura de 23°C , realizando-se o ensaio aos 90 dias de idade. Antes da moldagem efectuaram o ensaio de espalhamento, cujos resultados foram 67% (ca1) e 74% (ca2).

Apenas se abordam os resultados de ensaios relevantes para o presente trabalho, os quais se apresentam na tabela 8.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas [39] (ca1 – 1 (argamassa de cal aérea):2 (areia); ca2 - 1 (argamassa de cal aérea):3 (areia)).

Argamassa	ca1	ca2
Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	1928	2302
Resistência à flexão (MPa)	0,35	0,35
Resistência à compressão (MPa)	0,73	0,65
Coefficiente de capilaridade ($\text{Kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)	0,46	0,32
Absorção Capilar (Kg/m^2)	20,6	17,9

Segundo o estudo efectuado em argamassas de cal aérea [39], refere que os valores obtidos para o módulo de elasticidade são valores baixos, estando estes inseridos entre 1500 MPa e 2600 MPa. Para argamassas de cal aérea com traço 1:3, obteve-se valor de módulo de elasticidade de 2302MPa. Estes valores contribuem para a compatibilidade das argamassas com suportes antigos [39].

Estudos similares referem que as argamassas de cal devem ter um módulo de elasticidade baixo, conferindo grande capacidade de deformação permitindo que a argamassa possibilite a absorção de pequenos deslocamentos do suporte. Deste modo, as tensões atingem valores baixos, as fendas são finas e não atingem toda a espessura do revestimento [6].

O trabalho de investigação realizado por R. Veiga et al intitulado “Substitution mortars for application in historical buildings exposed to the sea environment. Analysis of the viability of several types of compositions.” [3] teve como objectivo elaborar e

determinar as características físicas dos vários tipos de argamassas, com o intuito de aplicá-las em edifícios históricos em áreas costeiras. Para isso foram preparados vários tipos de argamassas com diferentes ligantes, como, cimento, cimento e cal aérea, cal hidráulica (natural ou artificial das classes 5 e 3,5, respectivamente), cal hidráulica e cal aérea, calcário e cal aérea com adições pozolânicas, argamassas pré-doseadas com base em cal hidráulica e cal aérea. Estudos estes que foram realizados em vários projectos de investigação e em anos diferentes, sendo que o trabalho de investigação referido faz uma junção dos vários resultados obtidos e elabora conclusões.

Para o presente trabalho serviram de referência a argamassa de cal aérea com traço 1:3, e diferentes tipos de agregados, e argamassas com cimento e cal aérea com diferentes traços volúmicos. Na tabela pode verificar-se a descrição das argamassas presentes no estudo, bem como a especificação dos constituintes da mesma.

Tabela 7 – Designação das argamassas usadas em [3].

Referência argamassa	Materiais	Traço
AL-1a	Cal aérea; Areia siliciosa do rio Tejo	
AL-1b	Cal aérea; Areia siliciosa	
AL-1c	Cal aérea; Areia Tejo; Areia de Corroios (areia siliciosa com um pouco de argila)	1:3
AL-1d	Cal aérea; 2/3 areia siliciosa grossa; 1/2 areia siliciosa fina	
C-AL1a	Cimento branco; Cal aérea; Areia siliciosa do rio Tejo.	1:1:6
C-AL1b	Cimento; Cal aérea; Areia siliciosa.	1:1:6
C-AL2a	Cimento; Cal aérea; Areia siliciosa bem classificada.	1:2:9
C-AL2b	Cimento branco; Cal aérea; Areia de Corroios (areia siliciosa com um pouco de argila).	1:2:9
C-AL3	Cimento; Cal aérea; Areia siliciosa do rio Tejo.	1:3:12

No entanto, no estudo em análise apenas se menciona os intervalos nos quais se inserem os valores obtidos nos vários tipos de argamassas de cal aérea, os quais podem observar-se através da tabela 10, onde se verifica um intervalo de tempo devido aos diferentes tipos e tamanhos de agregados utilizados.

Tabela 8 – Resultados obtidos nos ensaios realizados às argamassas estudadas em [3].

Referência Argamassas	AL-1	C-AL1	C-AL2	C-AL3
Resistência tracção [MPa]	0,2-0,8	0,7-1,6	0,7	0,5
Resistência à compressão [MPa]	0,6-1,6	2,1-5,1	1,6-1,9	0,9
Módulo de elasticidade [MPa]	2330-4100	4770	4810	3010
Coefficiente de capilaridade [Kg/m².min^{1/2}]	1,1-1,6	1,0-1,8	1,4-1,6	2,0

Ao analisar o intervalo de resultados o estudo conclui que argamassas de cal aérea com pouco cimento podem ser adequadas para aplicar em edifícios antigos sujeitos a ambientes marítimos, no entanto, pode haver alguns riscos de introdução de sais em alvenaria devido à presença de cimento.

Conclusões de trabalhos similares – Durabilidade

A resistência mecânica está relacionada com várias propriedades presentes em cada argamassa, como, a porosidade, o desenvolvimento da carbonatação e outras propriedades físicas das argamassas [2] [40].

Estudos similares referem que as argamassas de cal têm baixa resistência mecânica, devido à fraca ligação constituída entre as partículas de calcite (carbonato de cálcio) e à reduzida afinidade entre os cristais de quartzo do agregado.

A resistência mecânica é condicionada pela estrutura porosa, estando a durabilidade das argamassas de cal relacionada com a capacidade de evaporação da água [44] [45].

As argamassas a utilizar no revestimento devem ter valores de resistência mecânica inferiores aos dos outros constituintes da parede, de modo a absorverem eventuais tensões [24].

Segundo Veiga, M. Rosário a utilização de areia com granulometria correcta e de execução cuidada poderá proporcionar melhores características mecânicas à argamassa de cal e areia [33].

Com a finalidade da argamassa ter maior ductilidade e poder absorver mais tensões a relação existente entre a resistência à tracção e à compressão deve ser elevada. Por outro lado, a resistência à tracção e flexão não deve ter valores demasiado elevados para que não ocorra a fendilhação [2].

Segundo um estudo desenvolvido por Margalha et al, estes autores concluíram que a junção da areia de areeiro com areia do rio originou valores mais elevados de resistência mecânica à flexão e à compressão do que argamassas com areia de uma só proviniência [24] [28].

A porosidade das argamassas de cal aérea é uma propriedade determinante pois controla a absorção e o movimento da água, esta interfere na carbonatação sendo necessária a entrada do dióxido de carbono presente na atmosfera reagindo com o hidróxido de cálcio. Valores de porosidade elevados associados à presença de água, originam argamassas com valores baixos de resistência mecânica [2].

Estudos similares referem que as argamassas de cal devem ter valores reduzidos do coeficiente de capilaridade e da quantidade de água absorvida (valor assintótico) [24] [2] [33].

A permeabilidade ao vapor de água deve ser elevada, possibilitando a evaporação da água existente para o meio exterior, a rapidez de secagem deve ser conferida a todas as argamassas, caso as argamassas não adquiram estas propriedades a água existente na estrutura interna poderá gerar esforços mecânicos provenientes de eventuais ciclos de cristalização de sais ou variações do estado físico da mesma [2] [33].

A estrutura porosa da argamassa influencia a sua durabilidade, pois interfere na secagem desta.

3. Metodologia de investigação

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No presente trabalho experimental pretende-se avaliar a influência dos diferentes agregados presentes nas argamassas de cal aérea, aquando estas se encontram em ambiente marinho e laboratorial. As argamassas foram formuladas com o objectivo de serem aplicadas no revestimento de alvenaria, essencialmente para reabilitação de construções expostas às mesmas condições ambientais.

O trabalho experimental foi realizado essencialmente no Laboratório de Revestimentos de Paredes do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), na estação de ensaio natural de revestimento de paredes do LNEC e no Laboratório de Materiais de Construção existente no Departamento de Engenharia Civil do ISEL. Em ambos os locais foram respeitadas todas as regras de segurança, tanto no manuseamento dos equipamentos como na utilização das devidas protecções individuais.

O início do presente estudo baseou-se na caracterização dos materiais que constituem as argamassas, determinando a análise granulométrica dos agregados, a quantidade de água de amassadura, de modo a definir o espalhamento pretendido. Após garantida a trabalhabilidade prosseguiu-se a produção das argamassas.

O traço volumétrico utilizado nas argamassas é 1:3. Segundo vários autores os traços mais adequados para a formulação de provetes prismáticos de argamassa de cal aérea são, os traços de 1:2 a 1:3, os quais têm na sua constituição elevada dosagem de ligante [2] [6]. O traço escolhido tem como base estudos prévios de composição de argamassas antigas que apresentam bom estado de conservação apesar de submetidos a ambiente húmido salino [2] [46] [43] .

As argamassas têm na sua constituição o mesmo ligante, cal aérea, e a mesma relação água/ligante. Após preparadas as argamassas, estas serão analisadas no estado endurecido, aos 90, 180 e 365 dias de idade.

Na análise das misturas utiliza-se diversos ensaios, com o intuito de caracterizar as diferentes argamassas a nível físico e mecânico, aquando sujeitas à acção da água em diversos ambientes.

Vários investigadores mencionam os resultados de ensaios a argamassas obtidos em laboratório como não absolutos, pois “in situ” as condições poderão ser variadas e as características dependem do tipo de suporte [6].

De modo a ir de encontro ao problema acima mencionado, foi efectuada uma análise a prismas sujeitos a diferentes condições de cura, quer em ambiente marinho quer em laboratório aquando sujeitos a aspersão de água do mar.

No presente capítulo, referem-se as várias fases decorrentes do trabalho experimental, bem como a referência às normas utilizadas, explicitando todos os procedimentos e mecanismos referentes a cada ensaio.

3.2. ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DA FORMULAÇÃO

No presente trabalho experimental pretende-se avaliar as argamassas com diferentes tipos de agregados na sua constituição com curva granulométrica corrigida, sujeitas à acção da água e dos sais em ambiente húmido salino e em laboratório tendo em conta a norma NP EN 1015-2:1998/A1:2006 [49].

As amassaduras foram executadas com diferentes agregados sendo produzidos quatro tipos distintos de argamassas para análise no presente estudo. Foram preparados 144 provetes prismáticos com dimensões $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, sendo o volume inicial de cada prisma de 256 cm^3 . Todos os provetes prismáticos foram formulados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil no departamento de revestimento de paredes.




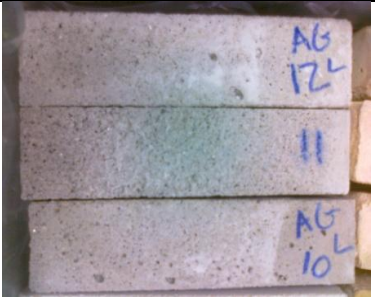




A caracterização da argamassa será realizada segundo ensaios à argamassa no estado endurecido, massa volúmica, resistência à compressão (R_c) e à flexão (R_f), módulo de elasticidade dinâmico (MED), absorção de água por capilaridade (AC) e Microscopia óptica (MO).

Para a análise das várias argamassas, nas idades previamente definidas, foi necessário preparar um total de 144 provetes prismáticos.

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. Contribuindo para que cada argamassa tenha a mesma trabalhabilidade.

Com o intuito de diferenciar os vários provetes utilizou-se uma referência para designar cada argamassa, segundo o tipo de agregado, visto este ser o material diferente presente em cada argamassa, este facto remete para a abordagem dos vários provetes prismáticos pelo tipo de agregado.

Tabela 9 - Designação e constituição das argamassas em estudo.

Tipo de Argamassa	Condições de cura	
	Ambiente Marinho (Natural)	Laboratório com aspersão de água do mar (Lab.)
<p>CA + AB (Cal aérea + Areia Basáltica) Traço 1:3</p>		
<p>CA + AG (Cal aérea + Areia Granítica) Traço 1:3</p>		
<p>CA + AC (Cal aérea + Areia Corroios) Traço 1:3</p>		
<p>CA + AT (Cal aérea + Areia do rio Tejo) Traço 1:3</p>		

A tabela 11 mostra de forma sucinta a designação e constituição das argamassas em estudo, bem como as condições de cura a que estas estiveram sujeitas. Para tal, utilizou-se um conjunto de letras que dizem respeito ao ligante utilizado (CA, cal aérea) e aos vários tipos de agregados em cada argamassa (AB, Areia Basáltica; AG, Areia Granítica; AC, Areia Amarela; AT, Areia do rio Tejo), as quais podem visualizar-se na tabela abaixo, na qual se observa as imagens referentes aos provetes prismáticos com 365 dias de idade.

Caracterização dos materiais constituintes

No presente trabalho experimental utilizou-se cal aérea, vários tipos de areia e água, os quais se apresentam detalhados de seguida.

O ligante utilizado em cada argamassa é a cal aérea hidratada em pó, esta é da marca Lusical, e de origem nacional.

Como mencionado anteriormente, na preparação das argamassas em estudo utilizou-se o mesmo ligante, cal aérea, e o mesmo traço volumétrico, cal aérea e areia (1:3).

Segundo Paulina Rodrigues, o traço com menor teor de cal (1:3) para o mesmo tipo de argamassa, tem um módulo de elasticidade dinâmico superior. Por outro lado, quanto maior o traço, prevê-se que se obtenha valores de resistência mecânica mais elevados [39]. Tendo em conta os estudos pesquisados acerca desta temática, adoptou-se o traço 1:3 para o presente estudo [2] [42] [39] [46].

Refere-se também que os provetes de argamassa de cal aérea hidratada em pó apresentam uma maior eficiência na resistência dos sais, aquando comparadas com outros tipos de argamassas de cal [39]. Considerando este facto como importante, bem como outros mencionados ao longo do presente trabalho.

A composição utilizada em cada mistura apresenta diferentes tipos de agregados, para aferir qual a influência deste constituinte no desempenho da argamassa, quando sujeita à acção da água. A areia foi o agregado utilizado na produção das argamassas, estão presentes quatro tipos distintos de argamassa, dependendo se têm na sua constituição areia amarela de areeiro, areia de rio, areia basáltica ou areia granítica. Apesar dos diferentes tipos de areia, a proporção utilizada de cada agregado é a mesma. Apresenta-se, de seguida, os diferentes constituintes das argamassas.

Tabela 10 - Ligante utilizado no presente estudo.

Ligante – Cal Aérea



Tabela 11 - Agregados utilizados no presente estudo, escala 2000 µm.



AREIA

Com o intuito de compreender qual a influência do agregado em argamassas de cal aérea sujeitas a ambientes marinhos, foram utilizados quatro tipos distintos de areias. Nos quais há uma variação acentuada nas características e no desempenho aquando presente na mistura das argamassas em estudo [2] [22].

Estudos realizados referem que as areias devem ter na sua constituição agregados grossos e finos, conferindo um aumento da resistência à flexão e compressão e a diminuição da capilaridade. A maior quantidade de finos presentes na argamassa contribui para acelerar as reacções de envelhecimento [28] [29]. No entanto, importa

conhecer a natureza dos finos, pois nem todos conferem boas características às argamassas.

A areia Amarela de Corroios proveniente do areeiro, é constituída na sua maioria por grãos do tipo sub-angular e arredondado, obtendo-se uma melhor compacidade da argamassa quando este agregado se encontra presente [28]. Visualmente apresenta cores claras variadas, predominando o amarelo. Este tipo de areia tem argila na sua constituição, podendo ocorrer com maior frequência a fissuração da argamassa, aquando da utilização deste tipo de agregado em excesso [2] [22] [28]. Esta degradação poderá ocorrer devido à diminuição da aderência provocada pela dificuldade do contacto da areia com o ligante, aquando a presença de argila, remetendo para a diminuição da resistência [28].

No entanto, nem todos os finos são de origem argilosa pois, segundo [28] os finos de natureza siliciosa e calcária originam resultados favoráveis aquando presentes em argamassas, os quais obtiveram melhor resistência mecânica.

A areia granítica é constituída por grãos irregulares, os quais são constituídos por elementos de cor preta e de cor branca. Estes apresentam uma dureza elevada.

A areia basáltica é constituída por grãos angulosos de cor escura, os quais contribuem para uma pior compacidade da argamassa. Visualmente apresentam formas variadas, umas pontiagudas compridas e outras mais pequenas com zonas pontiagudas menos evidentes.

ÁGUA

Nas formulações utiliza-se água potável, com origem na rede pública, conforme requerido na norma NP EN 1015-2:1998/A1:2006 [49]. A quantidade de água utilizada nas argamassas em estudo foi determinada através de vários estudos realizados a argamassas, com o intuito de obter uma consistência por espalhamento de $165\text{mm} \pm 5\%$, obtendo a trabalhabilidade pretendida para a argamassa.

3.3. ELABORAÇÃO DOS PROVETES

3.3.1. Análise granulométrica da areia

A análise granulométrica foi realizada segundo a norma EN 1015-1 [48], com o intuito de verificar qual o comportamento dos constituintes da argamassa e a sua influência na

estrutura porosa. Na norma acima referida apenas se utilizou o método referente a material agregado, pois o constituinte da argamassa que lhe confere granulometria é a areia.

A análise granulométrica foi efectuada segundo o método de vibração dos peneiros, no qual se utiliza uma série de peneiros de aberturas normalizadas de, 0,074; 0,16; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5; 5 [mm], colocados uns encaixados nos outros por ordem crescente de abertura da malha.

Após estarem todos os peneiros devidamente encaixados, coloca-se a areia no peneiro de maior malha e inicia-se a vibração destes durante 5 minutos.

De seguida pesa-se a massa retida em cada peneiro, determinando-se a percentagem retida através da equação 2.8.

$$\%retida = \frac{m_{peneiro}}{m_{total}} \times 100\% \quad (\text{Equação 2.8})$$

Onde:

$m_{peneiro}$ – massa em cada peneiro (Kg);

m_{total} – massa total da amostra (Kg).

Obtendo a percentagem retida em cada peneiro, é possível obter a curva granulométrica de cada amostra, escolhendo-se a curva óptima, ou seja, a que tem maior quantidade de finos. A presença de finos nas argamassas confere maior trabalhabilidade e coesão às argamassas, no entanto a origem dos finos influencia a ocorrência destas características, como mencionado anteriormente em 3.2.1.



Figura 6 – Balança.



Figura 7 – Série de Peneiros.



Figura 8 – Estufa.

3.3.2. Preparação das argamassas

A preparação das argamassas foi realizada baseada no procedimento referido na norma EN 1015-2:1998/A1:2006 [49] (procedimento adaptado), a qual segue o procedimento descrito de seguida, adoptado à especialização.



Figura 9 - Moldes de provetes (16x4x4 cm³)



Figura 11 - Misturadora.



Figura 10 - Pormenorização misturadora.

Procedimento

- 1- Secar a cal e os agregados durante 24 horas a 40 graus na estufa;
- 2- Pesar as quantidades de cal e agregados correspondentes a uma composição mássica 1:3;
- 3- Adicionar as fracções de cal e areia previamente pesadas e homogeneizar em seco na misturadora durante 30s;
- 4- Adicionar a água e homogeneizar tudo durante 2 minutos. A adição da água é feita por incrementos até atingir um espalhamento de 165mm ± 5% de modo a assegurar boa trabalhabilidade da argamassa. Após determinar a quantidade de água ideal para cada tipo de agregado efectuar o procedimento seguido;
- 5- Parar a homogeneização e misturar manualmente, com auxílio de espátula de modo a recolher o que ficou nas paredes;
- 6- Homogeneizar mecanicamente durante 30s;
- 7- Colocar a argamassa em moldes prismáticos de 4x4x16 cm³, previamente limpos, e lubrificados com óleo mineral nas superfícies de cada molde;
- 8- Vibrar manualmente e homogeneizar a argamassa em cada molde;
- 9- Alisar a superfície com auxílio de uma talocha;
- 10- Desmoldar ao fim de 3 dias e colocar nas condições de cura pré determinadas:
 - 1- (Envelhecimento Artificial) Laboratório 60% de Humidade e temperatura 18-20°C- aspersão com água do Guincho diariamente em todas as faces do provete;

- 2- (Envelhecimento em meio natural) - Colocar as amostras na estação de Envelhecimento Natural situada no Guincho;
- 11- Recolher provetes para análise ao fim de 90, 180 e 365 dias e realizar os ensaios predefinidos.

Apresenta-se de forma esquemática a preparação da argamassa de Cal Aérea, através da figura 12:

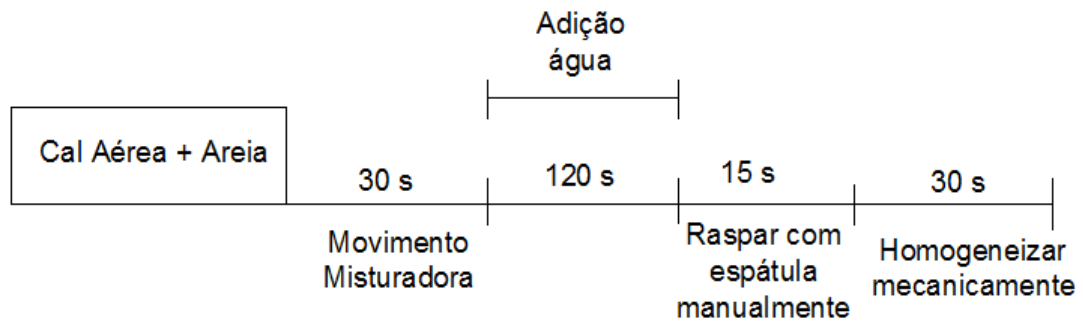


Figura 12 – Sequência de preparação das argamassas.

3.3.3. Ensaio no estado fresco

Consistência por espalhamento

Após a realização de cada amassadura, determinou-se a consistência por espalhamento de cada argamassa segundo a norma EN 1015-3 [50].

Este ensaio tem como objectivo verificar que o espalhamento de cada amassadura é $165\text{mm} \pm 5\%$, considerando-se este espalhamento adequado para uma trabalhabilidade eficaz.



Equipamento:

- Mesa de espalhamento;
- Tronco Cônico;
- Varão.

Figura 13 – Equipamento ensaio de espalhamento.

Procedimento:

- 1 - Enche-se metade do molde tronco-cônico com argamassa, estando este posicionado no centro da mesa de consistência;

- 2 – Procede-se à compactação da argamassa com auxílio de um varão com 15 mm de diâmetro, com 10 pancadas;
- 3 – Preenchimento total do molde, rasando pelo nível do molde retirando todos os excessos;
- 4 – Limpar todos os desperdícios de argamassas, retirar o molde cautelosamente;
- 5 – Roda-se a manivela da mesa de consistência durante 15 segundos, a qual emprega 15 pancadas com frequência constante uma pancada por segundo;
- 6 – Após o espalhamento, mede-se com o auxílio de uma craveira o diâmetro da pasta em (mm) em duas direcções perpendiculares;
- 7 – O espalhamento determina-se em percentagem, através da equação 2.9:

$$Espalhamento = \frac{D_{m\u00e9dio} - 100}{100} \times 100 [\%] \quad (\text{Equa\u00e7\u00e3o 2.9})$$

Onde:

$D_{m\u00e9dio}$ – Di\u00e2metro m\u00e9dio entre os valores obtidos.

3.4. ESTUDOS REALIZADOS

A utiliza\u00e7\u00e3o de t\u00e9cnicas de caracteriza\u00e7\u00e3o f\u00edsica permite avaliar o desempenho e a causa de degrada\u00e7\u00e3o das argamassas.

Dos 144 provetes prism\u00e1ticos, 72 foram utilizados para o ensaio de capilaridade, os restantes 72 provetes prism\u00e1ticos foram utilizados para determina\u00e7\u00e3o da Resist\u00eancia \u00e0 Trac\u00e7\u00e3o por Flex\u00e3o, Resist\u00eancia \u00e0 Compress\u00e3o, M\u00f3dulo de Elasticidade, Microscopia \u00d3ptica. Em cada idade foram sujeitos a ensaios experimentais 48 provetes prism\u00e1ticos.

A an\u00e1lise experimental das argamassas em estudo inclui o conjunto de ensaios apresentados na tabela 14.

Tabela 12 – Especificações utilizadas para realização dos ensaios no presente estudo.

Ensaio	Especificação de Ensaio
Resistência à Tracção por Flexão	EN 1015-11 [51]
Resistência à Compressão	
Módulo de Elasticidade Dinâmico	Relatório LNEC 289/95-NCCt [52]
Absorção de água por capilaridade	EN 1015-18; E 393-1993 do LNEC [53]

Os ensaios acima referidos foram realizados para 3 idades distintas dos provetes prismáticos, aos 90, 180 e 360 dias. Em cada idade foram utilizados na totalidade os 48 provetes.

A tabela 5 (abaixo) apresenta de forma esquemática o plano dos ensaios realizados para cada uma das idades, 90, 180 e 360 dias.

Tabela 13 - Plano de ensaios.

Plano de ensaios		
Idade (dias)	Provetes	Faseamento de ensaios
90	48	24 provetes → Módulo de elasticidade → Resistência à flexão Resistência à compressão
		24 provetes → Capilaridade
180	48	24 provetes → Módulo de elasticidade → Resistência à flexão Resistência à compressão
		24 provetes → Capilaridade
365	48	24 provetes → Módulo de elasticidade → Resistência à flexão Resistência à compressão
		24 provetes → Capilaridade

3.4.1. Massa volúmica aparente no estado endurecido

O ensaio referente à massa volúmica segue o procedimento estabelecido na Norma Europeia EN 1015-10 [51].

Material e Equipamento

- Provetes (40x40x160) mm³;
- Balança;
- Craveira;

Procedimento

- 1- 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 efectua-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;
- 2- Pesa-se os provetes;
- 3- Calcula-se o volume (V) de cada um dos prismas, através da equação 2.10:

$$V = c \times l \times e \quad [\text{mm}^3] \quad (\text{Equação 2.10})$$

Onde:

- l – Largura do prisma (mm);
- e – Espessura do prisma (mm);
- c – Comprimento (mm).

- 4- Determinação da massa volúmica através da equação 2.11:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad [\text{g/mm}^3] \quad (\text{Equação 2.11})$$

Onde:

- M – Massa do prisma (g);
- V – Volume do prisma (mm³).

3.4.2. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico

A determinação do módulo de elasticidade segue o procedimento estabelecido no relatório do LNEC 289/95 NCCT [52] pois não há uma norma europeia específica para este ensaio.

Este ensaio mede a frequência de ressonância longitudinal das argamassas, permitindo verificar qual a capacidade destas para absorver tensões. O módulo de elasticidade é uma medida de rigidez dos materiais sólidos.

O equipamento utilizado na realização deste ensaio emite vibração aos provetes prismáticos, aquando devidamente em contacto com os mesmos, medindo a frequência de ressonância. Esta pode ser visualizada no computador com o programa específico para o ensaio.

Material e Equipamento

- Provetes (40x40x160 mm³);
- Equipamento para determinação do módulo de elasticidade dinâmico, M.E. LNEC/LERevPa (Computador com o programa para o ensaio, Equipamento de medição da frequência)



Figura 15 – Provetes (40x40x160 mm³)



Figura 14 – Equipamento para determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmico.

Procedimento

- 1- Coloca-se o provete no equipamento de medição, fixando a parte central do provete no aparelho, de modo a que uma das extremidades fique encostada à fonte emissora de vibração. A outra extremidade deve ficar a cerca de 1mm da fonte de recepção;
- 2- Aciona-se o oscilador de frequência, o qual transmite uma vibração que percorre todo o provete, registando a frequência e a amplitude no programa do módulo de elasticidade dinâmico existente no computador;
- 3- Verifica-se o andamento da representação gráfica, obtém-se a frequência fundamental de ressonância. Esta corresponde à frequência mais baixa para qual há uma amplitude máxima, como se pode ver na figura 16;

- 4- Com o auxílio da expressão seguinte calcula-se o valor do módulo de elasticidade dinâmico (MED):

$$\text{MED} = (2lf_0)^2 \times \frac{\rho}{g} 10^{-6} \quad [\text{MPa}] \quad (\text{Equação 2.12})$$

Onde:

l- comprimento do provete (m);

f_0 – Frequência de ressonância longitudinal (Hz);

ρ – Massa volúmica do material (N/m^3);

g – Aceleração da gravidade (m/s^2).

O módulo de elasticidade dinâmico é obtido a partir da média dos valores dos três provetes de cada tipo de argamassa em cada ambiente de cura.

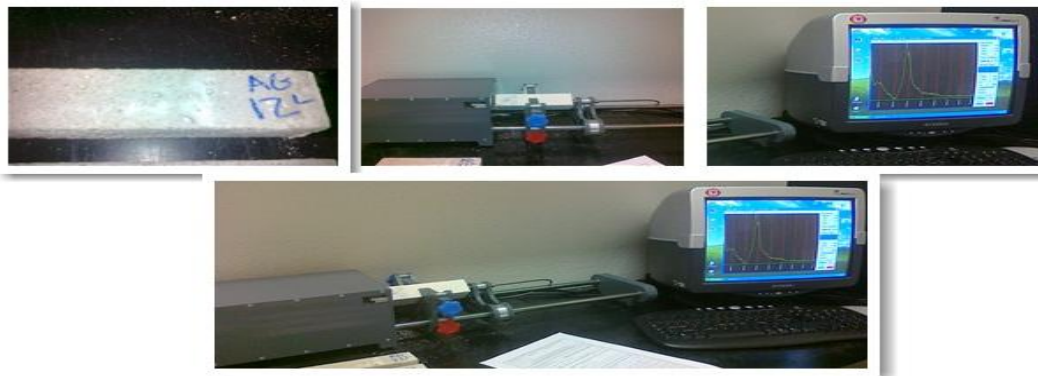


Figura 16 – Equipamento Módulo de Elasticidade dinâmica.

3.4.3. Determinação da resistência à flexão e à compressão

A realização dos ensaios de resistência à flexão e à compressão foi efectuada segundo a Norma Europeia EN 1015-11 [52]. 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.

Materiais e Equipamentos

- Provetes ($40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$);
- Máquina de ensaios de Resistência à flexão e à compressão, EQE 89;
- Acessório de resistência à Flexão;

- Acessório de resistência à Compressão;



Figura 17 – Equipamento e Material resistência à flexão e resistência à compressão.

Ensaio de resistência à flexão

Neste ensaio são utilizados 24 provetes prismáticos para cada idade. Antes de iniciar o ensaio os provetes são medidos com auxílio de uma craveira, com o intuito de determinar a largura, a espessura e o comprimento dos mesmos. Seguindo-se a pesagem dos provetes prismáticos através de uma balança electrónica.

Procedimento

- 1- Coloca-se cada um dos provetes na máquina, de modo a que fique centrado e com o eixo longitudinal perpendicular aos apoios;
- 2- Introduce-se os dados do provete no programa de cálculo;
- 3- Aplica-se uma força a meio vão com uma velocidade no intervalo de 10N/s para 50N/s até ocorrer a rotura do provete, esta deve ocorrer entre 30 a 90 segundos (caso não ocorra neste intervalo deve-se alterar a velocidade, de modo a que a rotura ocorra no intervalo de tempo estabelecido);
- 4- Regista-se o valor máximo da Força aplicada, F_f em Newton (N);
- 5- Calcula-se a resistência à flexão (R_f) através da equação 2.13:

$$R_f = \frac{1,5F_f l}{bd^2}, \text{ [MPa ou N/mm}^2\text{]} \quad \text{(Equação 2.13)}$$

Onde:

F_f - Força máxima aplicada (N);

l - Distância entre apoios (mm);

b - Largura do prisma (mm);

d - Espessura do prisma (mm);

- 6- Repete-se o procedimento, mencionado anteriormente, para os restantes provetes limpando com auxílio de um pincel as superfícies que transmitem as cargas.

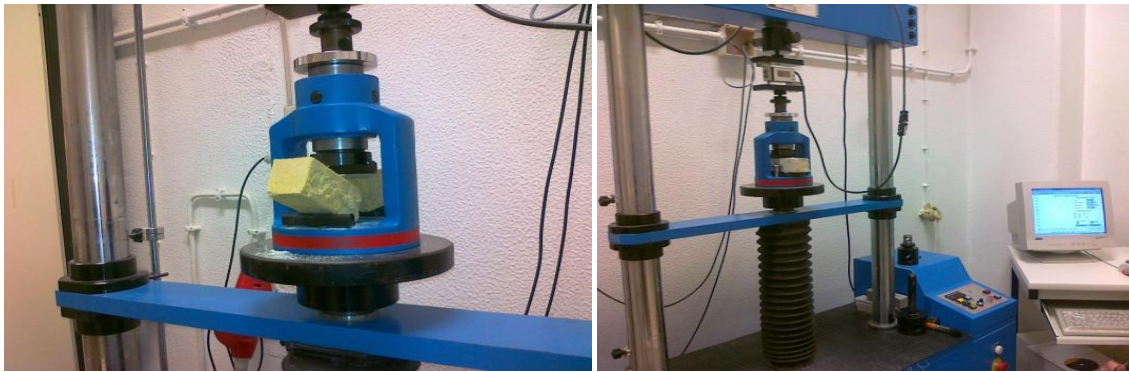


Figura 18 – Equipamento utilizado aquando a realização do ensaio de resistência à flexão.

Ensaio de Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado posteriormente ao ensaio de resistência à flexão, uma vez que foram utilizadas as metades dos provetes provenientes do ensaio de resistência à flexão.

Procedimento:

- 1- Coloca-se o suporte para ensaios de compressão;
- 2- Posiciona-se as metades dos provetes no dispositivo de compressão com as faces de moldagem em contacto com o dispositivo, alinhando cuidadosamente a amostra de modo a que a carga seja aplicada em toda a largura da face em contacto.
- 3- Aplica-se uma força crescente com uma velocidade de carga de 100 N/s até se atingir a rotura do provete, verificando se a rotura ocorre entre o período de 30 s a 90 segundos;

- 4- Regista – se o valor máximo da Força aplicada, F_c em Newton (N);
- 5- Calcula-se a resistência à compressão (R_c) através da equação 2.14:

$$R_c = \frac{F_c}{A}, \text{ [MPa ou N/mm}^2\text{]} \quad \text{(Equação 2.14)}$$

Onde:

F_c – Força máxima aplicada (N);

A – Área da secção (mm^2);

- 6- Repete-se o procedimento, mencionado anteriormente, para os restantes provetes limpando com auxílio de um pincel as superfícies que transmitem as cargas.

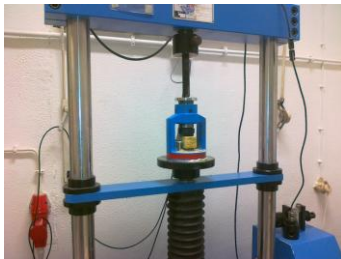


Figura 21 – Ensaio de Resistência à compressão.



Figura 20 – Suporte ensaio de Compressão.



Figura 19 – Pormenorização Ensaio de resistência à compressão.

3.4.4. Determinação da absorção de água por capilaridade

O procedimento adoptado na realização do ensaio de absorção de água por capilaridade seguiu a norma EN 1015-18 [53]. Para realização deste ensaio utilizou-se prismas de dimensões, $40 \times 40 \times 160 \text{mm}^3$, e os intervalos de tempo para determinação das massas foram os estabelecidos na especificação LNEC E 393:1993, perfazendo uma duração de 24 horas.

Este ensaio tem como objectivo determinar a quantidade de água absorvida por capilaridade em intervalos de tempo previamente estabelecidos, por unidade de área. Permite verificar qual a influência dos diferentes tipos de areia na absorção de água por capilaridade.

O coeficiente de capilaridade determinado através deste ensaio indica a velocidade de absorção nos instantes iniciais, através do declive da recta no intervalo de tempo pretendido. Permite determinar, também, o valor assintótico (VA) da curva de

capilaridade, através do qual se verifica a quantidade total de água absorvida pelo provete prismático por capilaridade, por unidade de área [26] [54].

Materiais e Equipamentos

- Provetes (40 x 40 x 160 mm³);
- Cronómetro;
- Balança;
- Régua;
- Craveira;
- Água.
- Tinas;

Procedimento

1. Medir as três dimensões de cada provete;
2. Pesar a massa inicial (M_0) de cada provete, no instante $t=0$;
3. Prepara-se duas tinas com varetas de vidro no seu interior, para apoiar os provetes prismáticos;
4. Coloca-se os provetes nas tinas com água, insere-se água até que esta atinja a altura de 10 ± 1 mm acima da face inferior do provete. Para tal recorre-se ao auxílio de uma régua, evitando que as restantes faces fiquem molhadas;
5. Pesagem dos provetes prismáticos efectuada ao fim dos seguintes tempos de ensaio, 10min, 30min, 60min, 90min, 180min, 300min, 480min, 1440min, 2880min, 5760min.

Caso a diferença entre dois valores sucessivos for maior que 1%, deverá prolongar-se o ensaio para além do minuto 5760. Este prolongamento deverá ser efectuado até a diferença entre dois valores sucessivos for igual ou menor que 1%.

6. De seguida calcula-se a massa absorvida por área de contacto com a água, M_t (Kg/m²), através da equação 2.15:

$$M_t = \frac{M_i - M_0}{\text{Área}} \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad \text{(Equação 2.15)}$$

Onde:

M_i – Massa do provete no instante i (Kg);

M_0 – Massa do provete no instante inicial $t=0$ (Kg);

Área – Área da face (0,04x0,04 m), em contacto com a água (m²).

7. Determina-se o valor médio da absorção capilar para cada tempo de ensaio;

8. Obtém-se o gráfico que exprime a relação entre a absorção de água por capilaridade (Kg/m^2) e os períodos de tempo (\sqrt{t} (s)) estudados, no qual se obtém a curva de absorção;
9. Quando o incremento da massa em pesagens sucessivas for inferior a 1%, termina o ensaio. O último valor das ordenadas do gráfico acima mencionado corresponde ao valor assintótico em Kg/m^2 . Este fornece o valor da quantidade total de água absorvida pelo provete;
10. Determinação do coeficiente de absorção por capilaridade ($\text{Kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$) no intervalo de tempo dos 10 aos 90 minutos, permitindo verificar a velocidade de absorção, através da equação 2.16, onde M2 (Massa na última pesagem) e M1 (Massa na penúltima pesagem).

$$C = 0,1(M2 - M1) [\text{Kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}] \quad (\text{Equação 2.16})$$

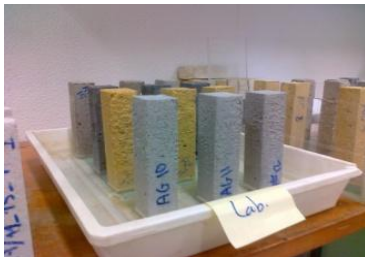


Figura 22- Provetes com 365 dias de idade submetidos a uma altura de 10 mm de água.



Figura 23- Provetes sujeitos a ensaio de absorção de água por capilaridade.

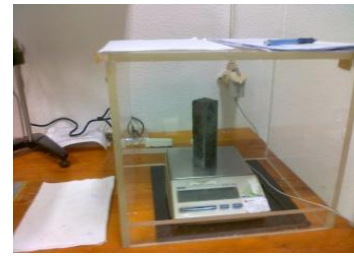


Figura 24- Pesagem do provete

3.4.7. Microscopia Óptica

A observação ao microscópio óptico permite verificar as características microestruturais dos materiais, permitindo ampliar a imagem real.

A visualização das diversas amostras através da lupa binocular permite obter informação acerca da morfologia, da cor dos constituintes, da dimensão, do tipo, da textura, da eventual presença de minerais, de aditivos, porosidade, fissuração, entre outros.

Materiais e Equipamentos

- Microscópio óptico;
- Fracções da argamassa;

Procedimento

- 1- Observação das várias fracções ao microscópio óptico;
- 2- Registo fotográfico, para visualização detalhada;

4. Resultados obtidos e discussões

No presente capítulo apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios descritos no capítulo anterior, através de tabelas e gráficos concebidos de modo a serem compreensíveis e coerentes entre si. Prosseguindo-se uma análise dos resultados, com o intuito de dar resposta aos objectivos que conduziram à realização do presente trabalho, isto é, verificar como o tipo de agregado influencia o desempenho da argamassa.

As argamassas foram colocadas em diferentes condições de cura, ou seja, em condições de cura laboratório e em exposição natural, possibilitando o estudo comparativo entre os resultados obtidos nos prismas em ambiente marítimo e laboratório.

Inicialmente analisam-se os resultados obtidos em cada ensaio, estabelecendo uma análise comparativa dos resultados obtidos em diferentes condições de cura e com diferentes tipos de areia. Os dados são também comparados com os resultados obtidos noutros estudos disponíveis na bibliografia, sendo relevante mencionar que os estudos de autores não são plenamente comparáveis, pois diferem no tipo de agregados, na trabalhabilidade, ou no tipo de cura.

Segue-se a correlação de alguns parâmetros em estudo, avaliando a precisão e analisando a dispersão dos valores obtidos.

Salienta-se que antes de realizar os ensaios no estado endurecido, aos 365 dias de idade, os provetes que se encontravam em laboratório foram mantidos durante uma semana sem estarem sujeitos a aspersão. Este facto deveu-se a estes se encontrarem muito molhados.

4.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

M. Veiga [33] refere a importância da granulometria da areia, mencionando que o cuidado com a granulometria da areia proporciona melhores características mecânicas à argamassa.

Mostra-se de seguida os resultados da análise granulométrica obtidos para os quatro tipos de areia de acordo com o procedimento descrito em 3.3.1., os quais são apresentados sob a forma de curvas granulométricas na Figura 25.

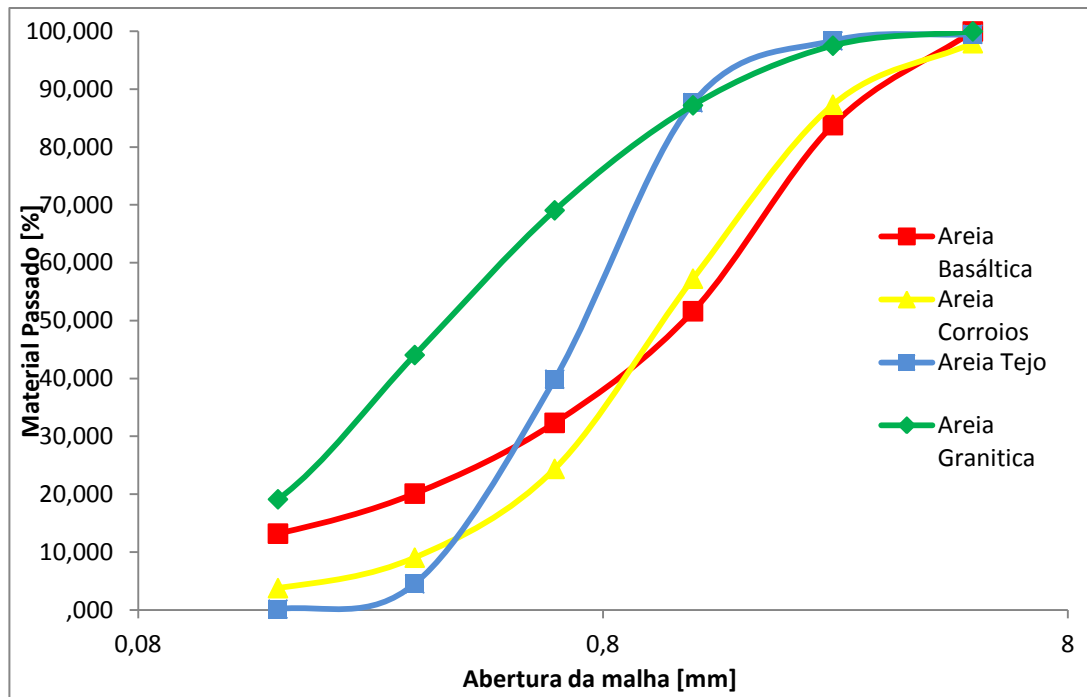


Figura 22 - Curvas granulométricas dos agregados

Após caracterização granulométrica das areias escolheu-se a que tem mais finos e corrigiu-se as restantes, obtendo-se a mesma massa correspondente a cada fracção para todas as areias em estudo. A utilização de areias diferentes com curvas granulométricas idênticas permite estudar a influência do agregado excluindo o factor “tamanho das partículas” e tendo em conta a forma e natureza química das mesmas.

A curva escolhida como padrão foi a da areia Basáltica por ser mais rica em finos, uma vez que ao utilizar partículas de menor dimensão ou seja maior área específica, estamos a tentar acelerar as reacções de envelhecimento.

Curva granulométrica considerada óptima, areia basáltica:

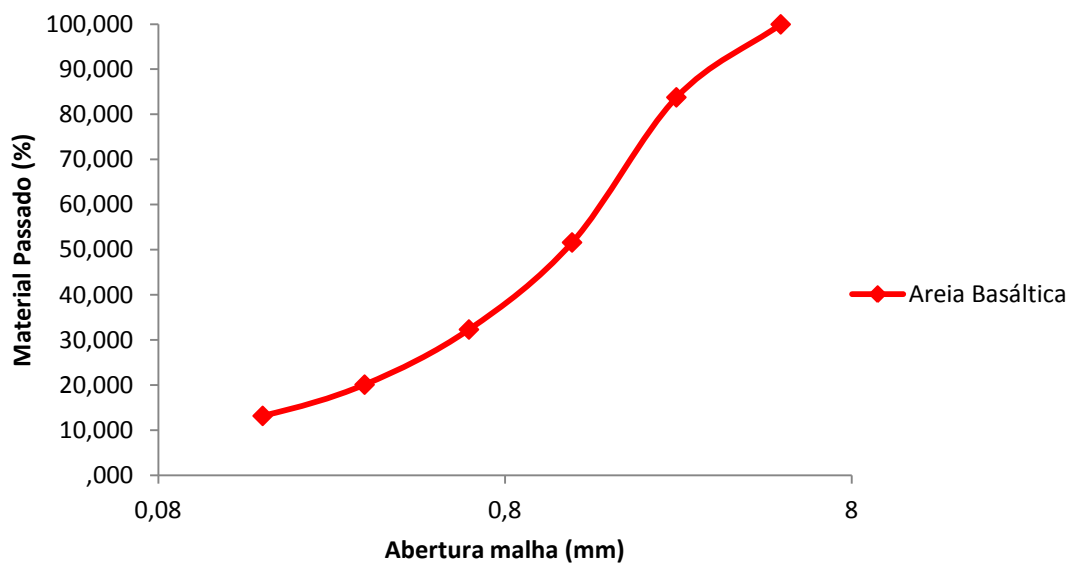


Figura 23 - Curva Granulométrica da areia Basáltica.

Na figura 26 pode visualizar-se detalhadamente e isoladamente a curva granulométrica considerada óptima, a qual correspondente à areia basáltica. Verifica-se que a máxima dimensão do agregado é 5mm e a mínima dimensão do agregado corresponde a 0,075mm.

4.2. CONSISTÊNCIA POR ESPALHAMENTO

Este ensaio permite determinar a consistência por espalhamento das argamassas, no qual se garantiu um espalhamento de $165\text{mm} \pm 5\%$ para cada argamassa.

Aquando da obtenção do espalhamento pretendido a amassadura era considerada apropriada, prosseguindo-se o processo de execução dos provetes.

4.3. MASSA VOLÚMICA

A tabela 16 e os gráficos 27 e 28, exibem as massas volúmicas das argamassas em estudo nas idades de cura de 90, 180 e 365 dias, as quais serão apreciadas, individualmente, em conformidade com as condições de cura a que foram sujeitas. Em termos gerais, observa-se que as condições de cura a que as argamassas estão sujeitas influenciam a variação da massa volúmica ao longo do tempo de cura.

Salienta-se que CA+AB refere-se a argamassas de cal aérea com areia basáltica, CA+AC refere-se a argamassas de cal aérea com areia de Corroios, CA+AG refere-se a

argamassas de cal aérea com areia granítica e CA+AT refere-se a argamassas de cal aérea com areia do rio Tejo.

Tabela 14 - Massa volúmica das argamassas (Kg/m³).

Massa volúmica [kg/m ³]					
Idade	Cura	CA + AB	CA + AC	CA + AG	CA + AT
90 Dias	Laboratório	1832,37	1652,53	1742,86	1709,77
	Natural	1777,69	1603,4	1681,85	1731,69
180 Dias	Laboratório	2061,53	1836,85	1992,35	1896,73
	Natural	1807,09	1633,55	1692,17	1714,39
365 Dias	Laboratório	2104,31	1912,83	2006,19	1975,15
	Natural	1750,21	1522,97	1640,68	1662,4

Laboratório

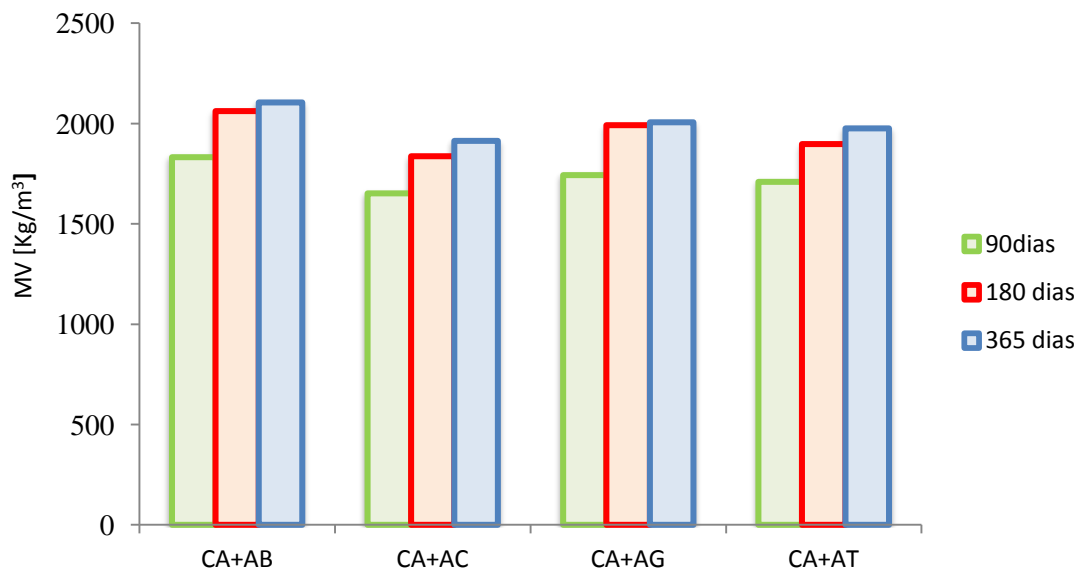


Figura 24 - Massa volúmica das argamassas em envelhecimento laboratório (kg/m³).

Pela observação dos dados da massa volúmica em condições de cura no laboratório, observa-se um aumento da massa volúmica ao longo da idade de cura em todas as argamassas. Sendo o aumento da massa volúmica mais significativo no período de cura dos 90 aos 180 dias, para as mesmas condições de cura.

Comparando todas as argamassas sujeitas a envelhecimento em laboratório, constata-se que CA+AG teve o maior aumento de massa volúmica dos 90 dias para os 180 dias, e o menor aumento aos 365 dias.

O aumento da massa volúmica da argamassa, pode estar relacionado com o preenchimento dos espaços vazios existentes no interior da argamassa, após evaporação da água, pelos sais presentes na água do mar.

Os resultados observados nas argamassas em envelhecimento no laboratório podem estar relacionados com a aspersão com água do mar duas vezes por dia.

Síntese:

Após análise da figura 27 conclui-se que CA+AB e CA+AG têm um aumento mais significativo dos 90 dias para os 180 dias, o que pode estar relacionado com o preenchimento mais rápido dos poros destas argamassas com sais, verificando-se um ligeiro aumento aos 365 dias, uma vez que os poros já se encontravam anteriormente preenchidos.

Verifica-se o mesmo aumento em CA+AC e CA+AT, no entanto o aumento é progressivo ao longo da idade de cura, o que poderá evidenciar o preenchimento dos poros de forma gradual ao longo do tempo.

Natural

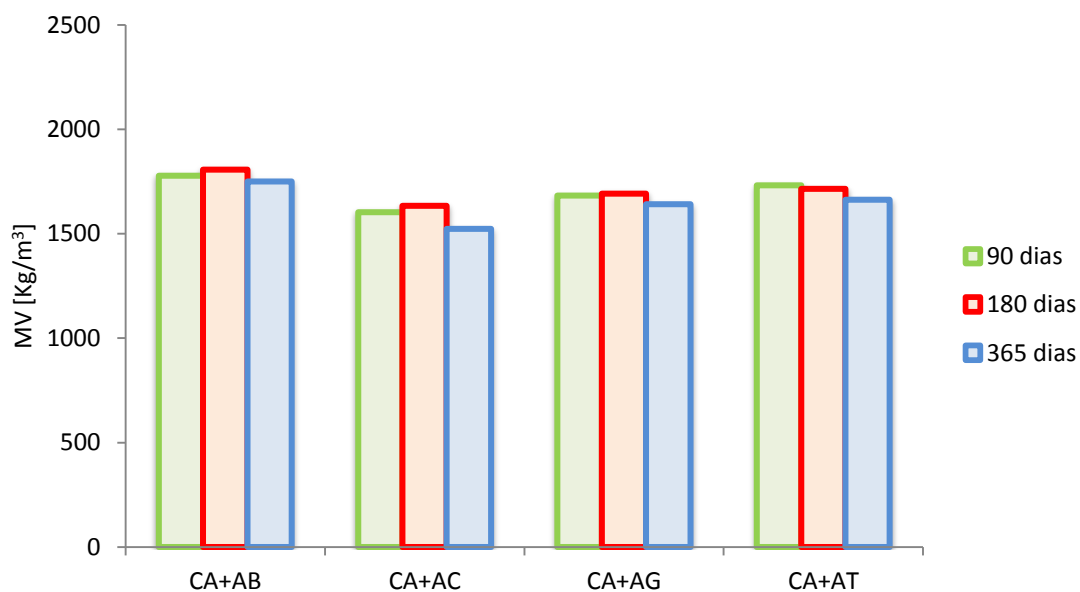


Figura 25 - Massa volúmica das argamassas em envelhecimento em meio natural (kg/m³).

Da análise da tabela 16 e do gráfico 28, observa-se que as argamassas que se encontravam em ambiente natural, apresentam características distintas dependendo do tipo de areia presente em cada argamassa.

Globalmente verifica-se a diminuição da massa volúmica aos 365 dias de idade, quando comparadas com os 90 dias de idade.

Nas argamassas CA+AB, CA+AG e CA+AC, ocorre um aumento da massa volúmica aos 180 dias, quando comparado com os 90 dias, podendo estar relacionado com a cristalização de sais no interior dos poros. Nas mesmas argamassas, verifica-se uma diminuição da massa volúmica aos 365 dias, a qual poderá ter ocorrido devido à deterioração dos provetes. Refere-se que CA+AC são as argamassas que apresentam a massa volúmica mais baixa, e nas quais há um maior decréscimo dos 180 dias para os 365 dias, esta diminuição poderá estar relacionada com a degradação dos provetes com perda de material.

Relativamente a CA+AT, verifica-se uma diminuição da massa volúmica ao longo da idade das mesmas, quando sujeitas a ambiente natural, o que poderá ser explicado pelo não preenchimento dos poros com sais, ou pela degradação dos provetes.

As argamassas, em ambiente Natural, com 365 dias de idade apresentam perda de massa volúmica, associada à degradação do provete com perda de material e às variações climáticas que ocorrem durante o ano, e influenciando as características da argamassa. Por outro lado, as argamassas em envelhecimento no laboratório estão sujeitas a condições de cura constantes e controladas.

4.4. 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 [55].

No ensaio do Módulo de Elasticidade Dinâmico utilizou-se três provetes prismáticos de cada tipo de argamassa e respectivo ambiente de cura, submetidos a processos de cura de 90, 180 e 365 dias de idade.

Na tabela 17 e nas figuras 29 e 30 apresentam-se os valores médios obtidos no ensaio referente ao módulo de elasticidade dinâmico.

Tabela 15 - Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa).

Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]					
Idade	Cura	CA + AB	CA + AC	CA + AG	CA + AT
90 dias	Laboratório	7068,74	5218,46	5313,34	6371,5
	Natural	5695,5	4640,03	4571,02	5045,19
180 dias	Laboratório	6595,79	3606,74	4380,4	4481,82
	Natural	6261,07	5556,81	5190,56	5529,8
365 dias	Laboratório	859,21	3440,19	3410,08	3870,87
	Natural	5979,02	4600,34	4464,74	5087,41

Laboratório

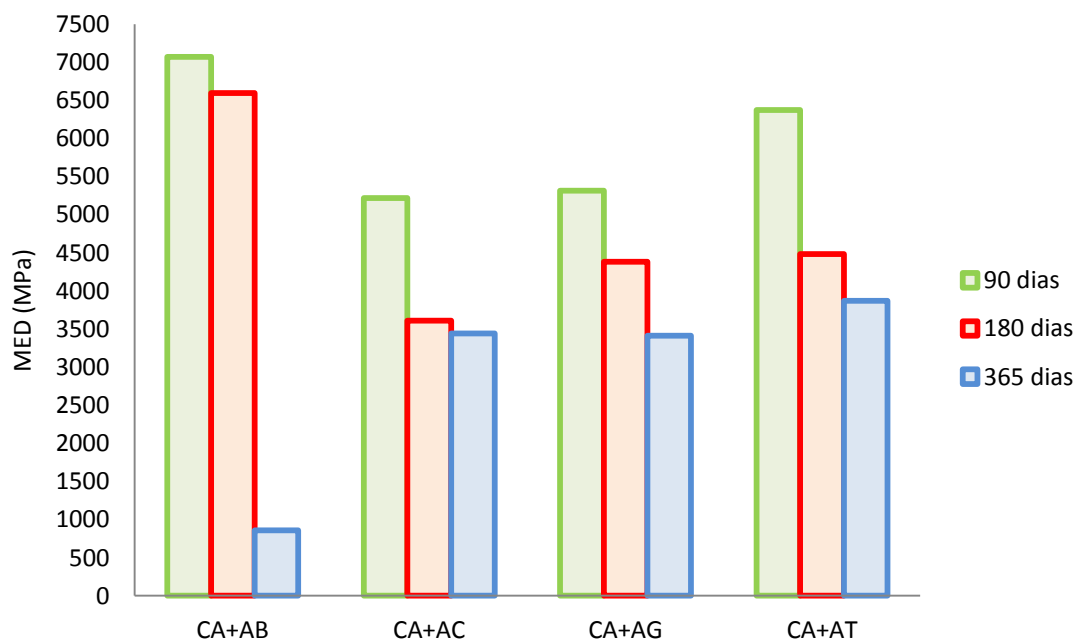


Figura 26 – Evolução do módulo de elasticidade de cada argamassa em ambiente de cura no laboratório.

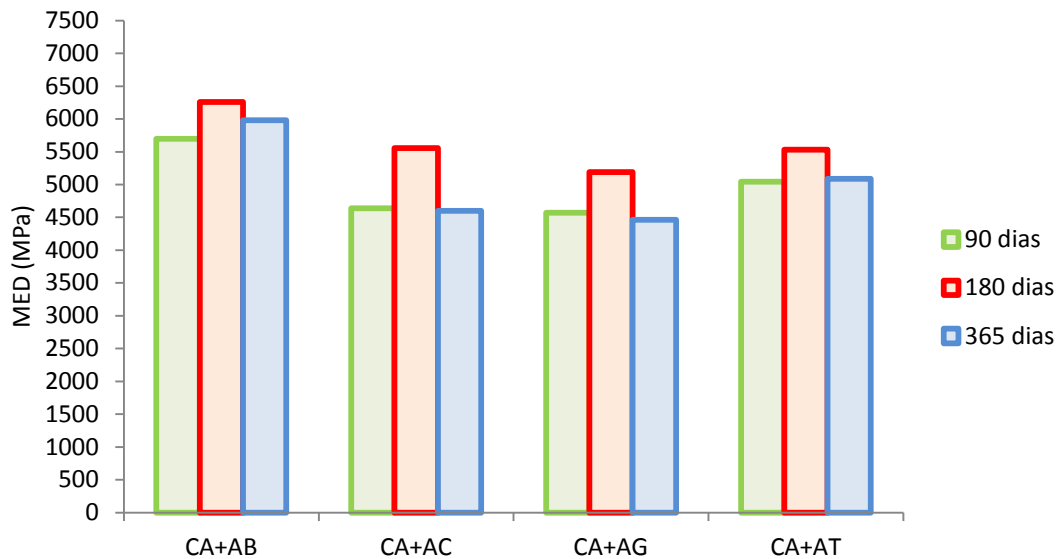


Figura 27 – Evolução do módulo de elasticidade de cada argamassa em ambiente de cura meio natural.

Seria expectável obter uma diminuição do módulo de elasticidade com a idade [56], no entanto ao analisar as figuras 29 e 30, observa-se que os valores obtidos nos provetes em envelhecimento natural têm uma evolução distinta ao longo do tempo.

Em alguns prismas verificou-se uma dificuldade acrescida em encontrar a curva mais elevada e homogeneizada, aquando do seu crescimento e da sua descida, verificando em alguns casos grande oscilação de valores baixos e altos. Estas oscilações podem estar relacionadas com as irregularidades existentes no interior e no exterior de alguns prismas, provenientes da deterioração do material. Estas irregularidades poderão ter contribuído para a obtenção de valores de módulo de elasticidade aproximados.

Poderá haver alguma diferença entre os valores relativos ao mesmo grupo de provetes, pois o grão e a degradação de cada um deles não é o mesmo, podendo ter influência na onda, influenciando a frequência da mesma à medida que esta percorre o prisma de uma extremidade à outra.

Pela observação da tabela 17, aos 90 dias de idade, verifica-se valores de módulo de elasticidade dinâmico entre 7070 a 4572, os quais não se encontram todos inseridos no intervalo de valores expectáveis obtidos por Veiga, entre 2000 a 5000 [43]. Os valores mais elevados aos 90 dias correspondem às argamassas CA+AB e CA+AT em

envelhecimento laboratório, valores estes que são aproximados aos obtidos para argamassas de cimento e areia (MED=6600MPa) [33], argamassas estas que são menos deformáveis nesta idade, aquando comparadas com as argamassas de cal aérea.

Através da análise do gráfico 29, observou-se uma diminuição do módulo de elasticidade dinâmico ao longo da idade. Salienta-se a diminuição elevada do MED, nas argamassas CA+AB aos 365 dias, a qual pode ser explicada pela ocorrência de eventuais erros experimentais ou devido à degradação do provete.

Os resultados obtidos em envelhecimento laboratório revelam a descida do módulo de elasticidade dinâmico com a cristalização de sais no interior dos poros das argamassas, ao longo da idade das mesmas.

Nas argamassas em ambiente natural verificou-se uma subida no MED aos 180 dias, comparativamente com os 90 dias, seguindo-se uma descida aos 365 dias de idade. Sendo notória a semelhança da evolução temporal dos provetes referentes às idades de 90 e 365 dias em ambiente de cura natural.

Observa-se valores de módulo de elasticidade elevados aos 365 dias de idade, estes valores podem estar relacionados com a quantidade de sais presentes na amostra, os quais tornam a amostra mais compacta. Salienta-se que os provetes sujeitos a ambiente natural com 365 dias de idade, apresentam valores mais elevados aquando comparados com os provetes sujeitos a envelhecimento em laboratório.

Quadro síntese em cada meio de cura:

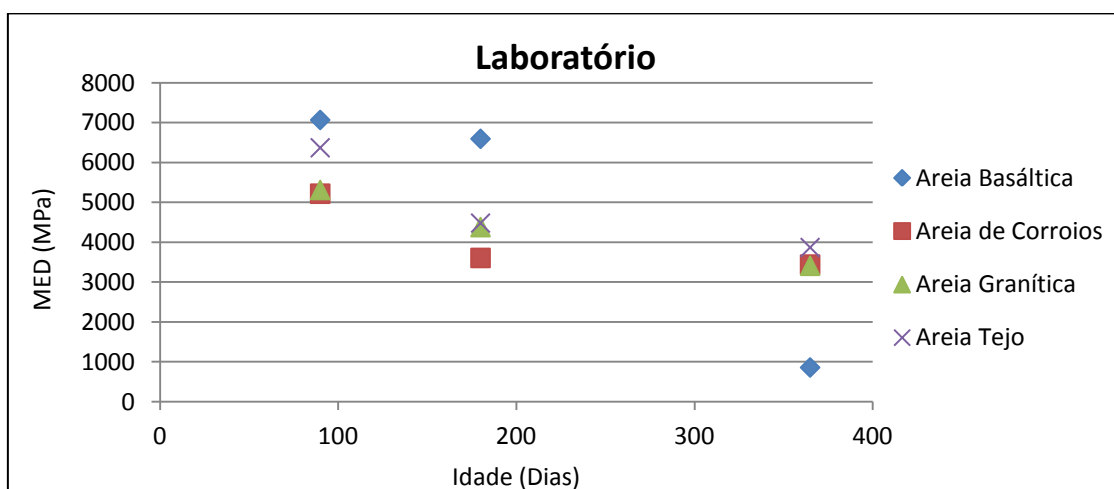


Figura 28 – Gráfico síntese do MED de todas as argamassas em meio de cura Laboratório.

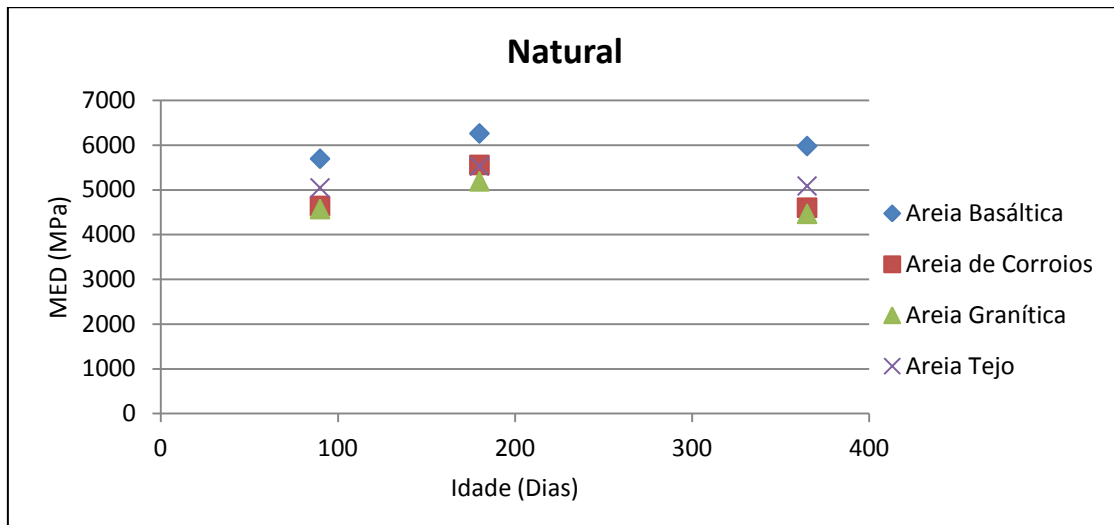


Figura 29 - Gráfico síntese do MED de todas as argamassas em meio de cura Natural.

A argamassa CA+AB, em ambiente natural, é a menos deformável pois apresenta os valores MED mais elevados ao longo da idade de cura.

Em envelhecimento no laboratório, até aos 180 dias CA+AB apresenta os valores mais elevados, passando aos 365 dias para o valor de MED mais baixo.

Em ambos os meios de cura, CA+AG e CA+AC são as argamassas mais deformáveis, verificando que estas têm um comportamento com maior proximidade às argamassas de cal aérea.

4.5. RESISTÊNCIA À FLEXÃO E À COMPRESSÃO

As resistências mecânicas constituem um ensaio fundamental para caracterização das argamassas, permitindo analisar as propriedades mecânicas, de modo a averiguar a influência dos diferentes agregados no comportamento das argamassas de cal aérea.

Será expectável que o desenvolvimento da resistência mecânica decorra até o processo de carbonatação estar finalizado.

Aquando da execução dos ensaios de resistência à compressão aos 365 dias de idade, alguns prismas que se encontravam em laboratório, evidenciaram no seu interior que a carbonatação não estava completa. Este facto pode ter ocorrido devido à humidade elevada que se encontrava no ambiente envolvente dos mesmos, dificultando a carbonação destes. Sabe-se ainda que o tempo de presa e de endurecimento das argamassas de cal aérea são lentos, quando estão em ambientes de elevada humidade

[22]. Este facto poderá ter contribuído para a obtenção de alguns valores contraditórios, uma vez que as argamassas não se encontravam completamente carbonatadas.

O processo de carbonatação é lento. Vários estudos verificaram que nem todo o hidróxido de cálcio é convertido em carbonato de cálcio devido a condições atmosféricas desfavoráveis, entre outros factores [7]. Quando o hidróxido de cálcio existe em grande quantidade a argamassa vai estar enfraquecida devido ao menor grau de carbonatação.

Os ensaios de resistência à flexão e à compressão foram efectuados aos 90, 180 e 365 dias de idade, tal como descrito em 3.4.3.

Resistência à Flexão

Na tabela 18 e nas figuras 33 e 34 apresentam-se os resultados médios obtidos no ensaio de resistência à flexão das argamassas em estudo aos 90, 180 e 365 dias de idade, nas respectivas condições de cura.

Tabela 16 - Resistência à flexão.

Resistência à Flexão [N/mm ²]					
Idade	Cura	CA + AB	CA + AC	CA + AG	CA + AT
90 dias	Laboratório	2,61	1,46	1,16	1,6
	Natural	1,95	1,23	1,18	1,31
180 dias	Laboratório	1,84	1,15	0,87	1,25
	Natural	2,32	1,65	1,28	1,2
365 dias	Laboratório	1,17	0,45	0,56	0,67
	Natural	1,68	1,17	0,6	1,23

Laboratório

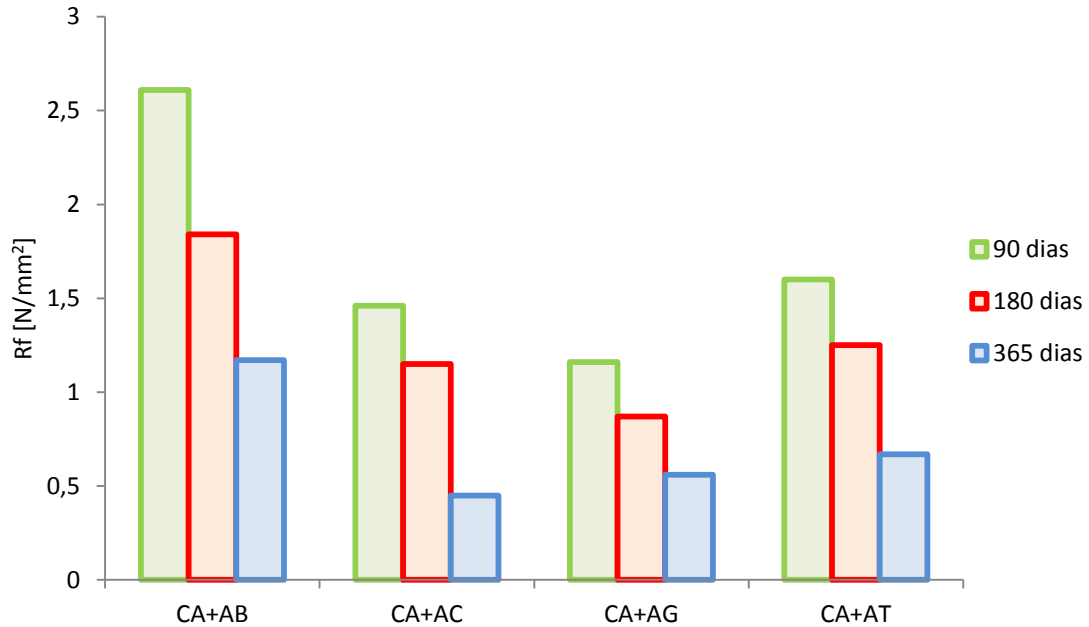


Figura 30 - Evolução da tensão de rotura à flexão (MPa) avaliada nas argamassas em ambiente de cura meio laboratório.

Natural

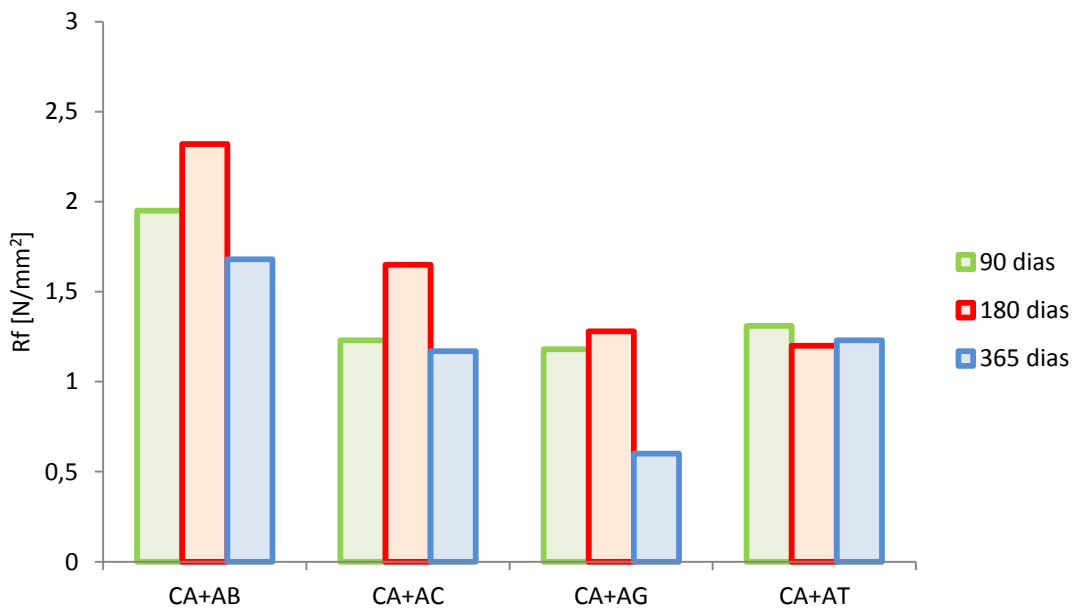


Figura 31 - Evolução da tensão de rotura à flexão (MPa) avaliada nas argamassas em ambiente de cura Natural.

A visualização gráfica dos resultados permite verificar que CA+AB é a argamassa que evidencia maior resistência à flexão, aos 90, 180 e 365 dias de idade, em ambas as condições de cura.

Estudos anteriores [33], referem que argamassas de cal aérea destinadas a rebocos de edifícios antigos e de traço semelhante ao utilizado, apresentam aos 90 dias, valores de resistência à flexão compreendidos entre 0,2 e 0,7 MPa. Comparado com os valores obtidos na presente trabalho, verifica-se que os valores obtidos aos 90 dias, se situam entre 2,61MPa e 1,18MPa, não cumprindo o intervalo de valores previsto.

Globalmente, as argamassas em envelhecimento no laboratório apresentam um decréscimo da resistência à flexão ao longo da idade, como esperado nas argamassas de cal aérea ao longo do tempo de cura devido ao tempo de endurecimento ser mais elevado [56].

Em meio natural, verifica-se um aumento de resistência à flexão aos 180 dias, seguindo-se a diminuição desta aos 365 dias, nas argamassas CA+AB, CA+AC e CA+AG.

Após análise dos valores obtidos para CA+AG no ensaio de resistência à flexão, observa-se uma semelhança de valores entre os provetes que se encontravam em envelhecimento meio natural e em laboratório, aos 90 dias e 365 dias de idade.

Comparando a resistência das várias areias aos 365 dias de idade, com excepção de CA+AG, verifica-se que o meio influencia a resistência à flexão das argamassas pois, as argamassas em meio natural apresentam valores de resistência à flexão superiores, comparativamente com as argamassas em meio laboratorial. O que poderá estar relacionado com a humedificação dos provetes em envelhecimento laboratório aquando realizado o ensaio, impedindo que as argamassas estivessem completamente carbonatadas, influenciando a sua resistência. Outro motivo associado a uma menor resistência poderá ser a degradação do provete.

Por outro lado, como seria de esperar, as argamassas em meio natural apresentam valores de resistência à flexão, aos 365 dias, mais elevados, pois estão sujeitas a uma cura mais acelerada devido à menor quantidade de humidade existente no meio.

Nos gráficos 35 e 36 apresentam-se as expressões das rectas, as quais correspondem à correlação linear entre a resistência à flexão e o tempo de cura. Constata-se, pela

observação dos dados que não há uma boa correlação linear para todas as argamassas ao longo do tempo de cura, apresentando-se a expressão apenas para as argamassas onde se verifica uma boa correlação linear.

A análise das expressões mencionadas nos gráficos permitem verificar boa correlação para as argamassas:

- CA+AG em condições de cura meio laboratório, gráfico 35.
- CA+AT e CA+AC em condições de cura meio laboratório, gráfico 36.

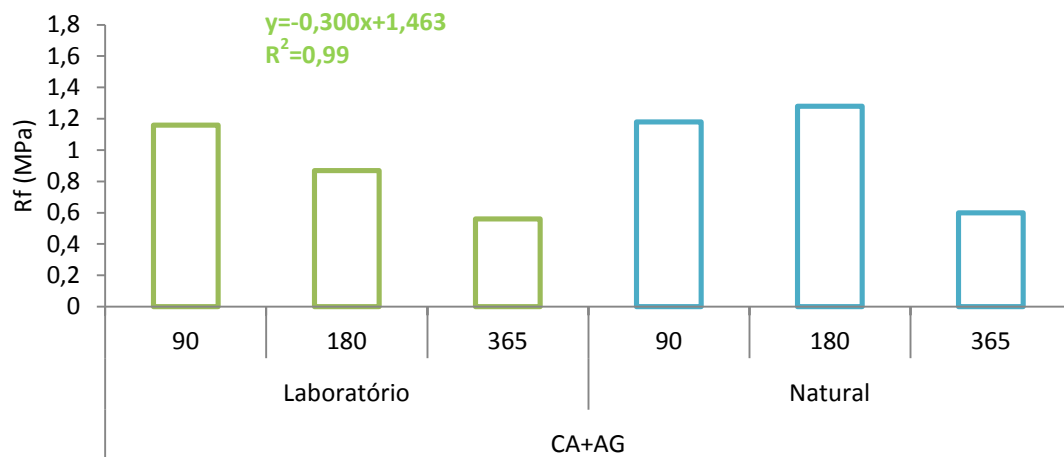
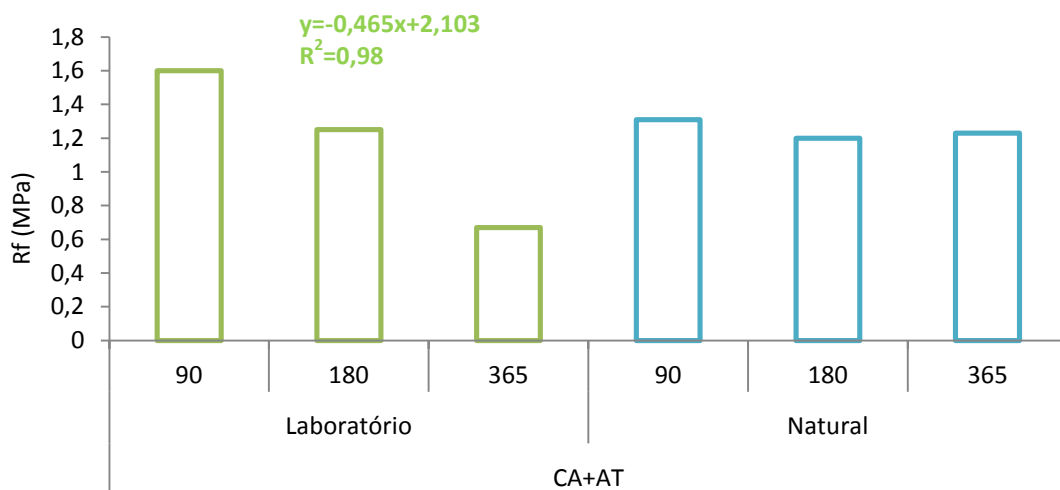
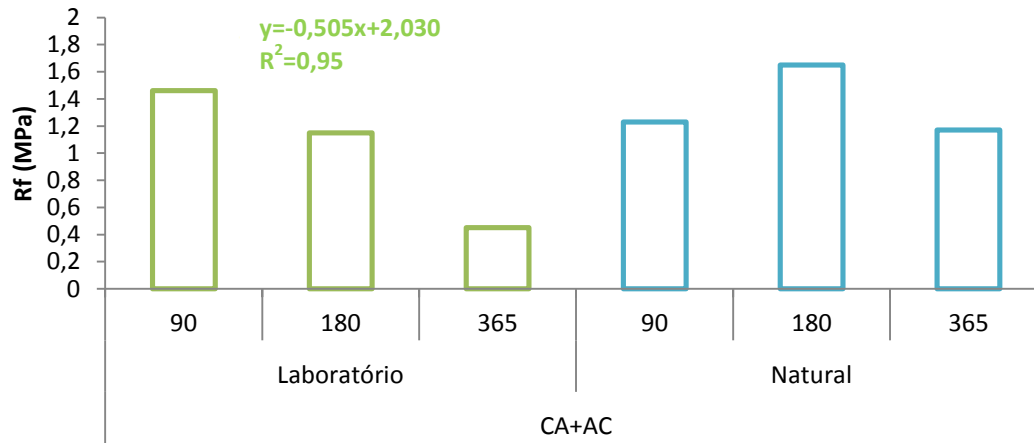


Figura 32 – Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AG, em ambiente de cura meio natural e laboratório (A expressão da equação representada corresponde à correlação linear entre a resistência à flexão em função do tempo de cura para as argamassas em meio laboratório).



(a)



(b)

Figura 33 – Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AT (a) e CA+AC (b), em ambiente de cura meio natural e laboratório (A expressão da equação representada corresponde à correlação linear entre a resistência à flexão em função do tempo de cura, em meio laboratório).

Gráficos síntese 37 e 38 surgem com o intuito de obter melhor clareza nos resultados obtidos, nos quais se verifica de forma clara quais as argamassas que apresentam valores de resistência à flexão mais baixos e mais altos nas idades de cura em estudo.

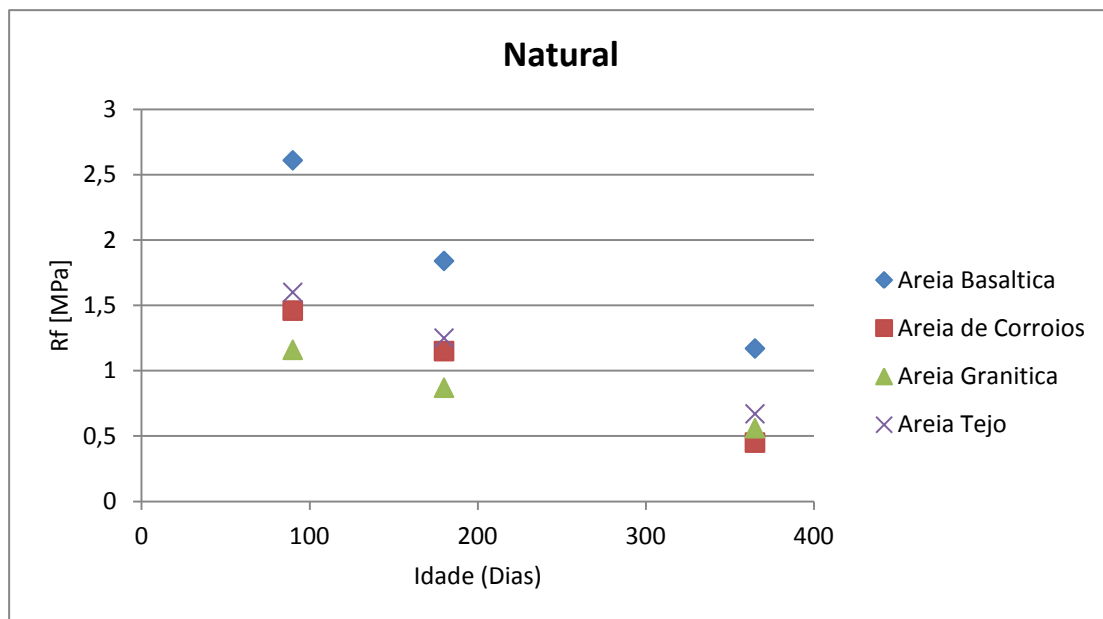


Figura 34 - Gráfico síntese Rf de todas as argamassas em meio de cura meio natural.

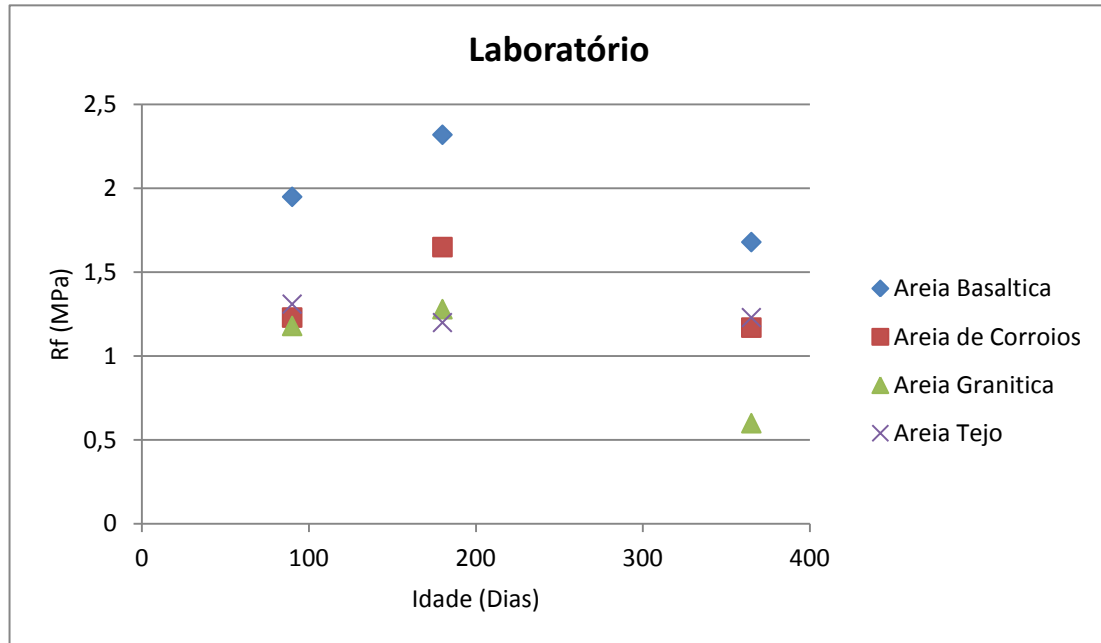


Figura 35 – Gráfico síntese Rf de todas as argamassas em meio de cura laboratório.

Através da análise do gráfico 37 e 38, observa-se que aos 90 dias, aos 180 dias e aos 365 dias a argamassa com areia basáltica (CA+AB) apresenta os valores mais elevados de resistência à flexão, em meio de cura natural e em meio de cura laboratório.

Aos 365 dias, em meio laboratório, a argamassa com areia granítica (CA+AG) apresenta o valor mais baixo de resistência à flexão.

Resistência à Compressão

Na tabela 19 e nas figuras 39 e 40 apresentam-se os valores médios de resistência mecânica à compressão, obtidos aos 90, 180 e 365 dias de idade para cada argamassa e condições de cura.

Tabela 17 - Resistência à compressão.

Resistência à Compressão [MPa]					
Idade	Cura	CA + AB	CA + AC	CA + AG	CA + AT
90 dias	Laboratório	1,81	1,8	1,81	1,81
	Natural	1,80	1,81	1,81	1,82
180 dias	Laboratório	2,67	2,45	1,82	1,83
	Natural	2,48	2,49	2,47	2,50
365 dias	Laboratório	3,54	1,70	1,55	1,56
	Natural	2,78	1,44	1,82	2,98

Laboratório

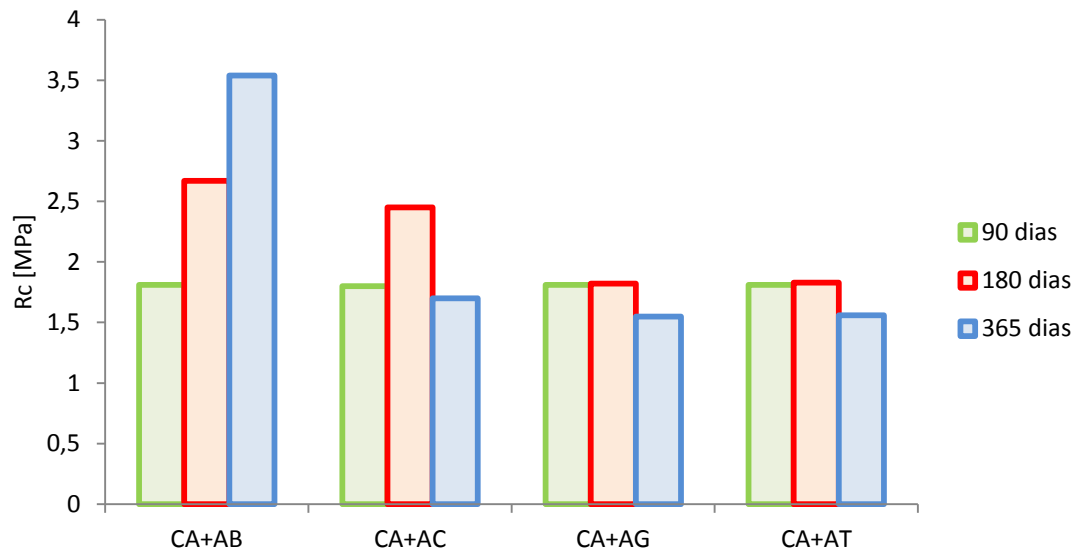


Figura 36 - Representação gráfica da resistência à compressão ao longo da idade das argamassas em envelhecimento laboratório.

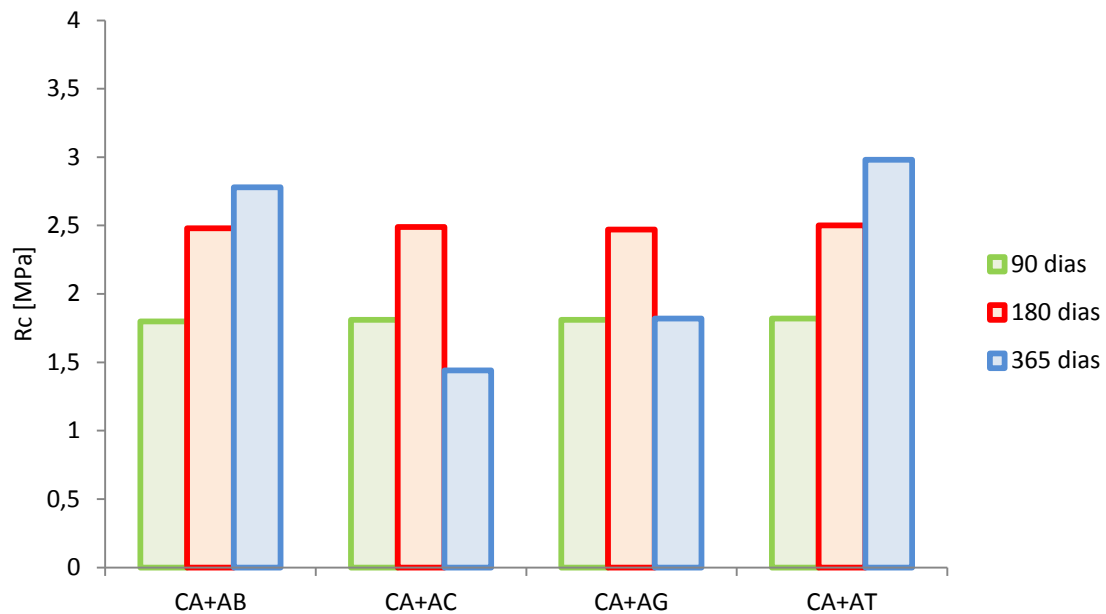


Figura 37 - Representação gráfica da resistência à compressão ao longo da idade das argamassas em envelhecimento meio natural.

Os valores obtidos para as resistências à compressão nas argamassas variam ao longo da idade das mesmas e do respectivo ambiente de cura.

Aos 90 dias de idade verifica-se valores de resistência à compressão entre 1,8 e 1,82 MPa, valores que se situam entre 0,4 e 2,5 MPa, como seria expectável para argamassas de substituição segundo as Tabelas 3 e 4 referidas no capítulo 2.2 [33].

Como seria expectável, os resultados de resistência à compressão indicam que as argamassas com agregado de origem basáltica conferem maiores resistências ao longo do tempo de cura, comparativamente com as restantes argamassas.

A argamassa CA+AB apresenta uma evolução crescente desde a idade de 90 dias até aos 365 dias, em ambas as condições de cura. No entanto, aos 365 dias verifica-se um maior valor de resistência à compressão nas argamassas que se encontravam em laboratório, comparativamente com as que se encontravam em ambiente natural, como se verifica de seguida, R_c (laboratório) = 3,54 MPa e R_c (natural) = 2,78 MPa.

Para CA+AC verifica-se um aumento da R_c aos 180 dias, seguido de diminuição da resistência à compressão aos 365 dias de idade, sendo similar nas argamassas que se encontravam em laboratório e em ambiente natural.

Em envelhecimento laboratório refere-se que CA+AC, CA+AG e CA+AT, aos 365 dias de idade têm valores similares de resistência à compressão, destacando-se CA+AB com o valor mais elevado, evidenciando o meio de cura como principal motivo.

Na argamassa CA+AT, em ambiente natural, verificou-se um aumento de resistência ao longo do tempo de cura, por outro lado em envelhecimento laboratório os provetes não apresentaram evolução significativa ao longo do tempo de cura.

Em laboratório, aos 365 dias de idade, os valores mais baixos associados a CA+AC, CA+AG, CA+AT podem estar relacionados com o facto de os provetes não estarem completamente carbonatados, uma vez que o desenvolvimento da resistência prossegue até à carbonatação estar finalizada. Pode ainda, estar relacionada com a degradação dos provetes ao longo do tempo, salientando-se:

- Em meio natural e laboratório CA+AB, são os provetes que apresentam menor degradação e maior carbonatação, podendo concluir-se que o agregado presente nesta argamassa influencia as características da mesma.
- A argamassa CA+AT é influenciada essencialmente pelo meio de cura, uma vez que apresenta uma evolução diferente em cada meio de cura.

Aquando a realização do ensaio de resistência à compressão aos 365 dias de idade, verificou-se na maioria dos prismas que a curva relativa à força aplicada por unidade de tempo, não é uniforme ao longo do tempo. Esta apresenta oscilações distintas, podendo estar relacionadas com a existência de materiais e componentes com características distintas, não se verificando a mesma força aplicada nos componentes dos prismas. Este facto verificou-se nas argamassas constituídas por areia de Corroios e condição de cura em ambiente natural, as quais poderão estar implícitas na obtenção dos valores mais baixos para estas argamassas.

Os gráficos 41 e 42 que se mostram de seguida referem-se à correlação entre a resistência à compressão e o tempo de cura, nos quais se mostra a linha de tendência e a expressão correspondente aquando se verifica uma boa correlação logarítmica. Através

da observação dos gráficos 41 e 42 constata-se que apenas se verifica uma boa correlação para a argamassa CA+AB em ambos os ambientes de cura e para CA+AT em meio natural.

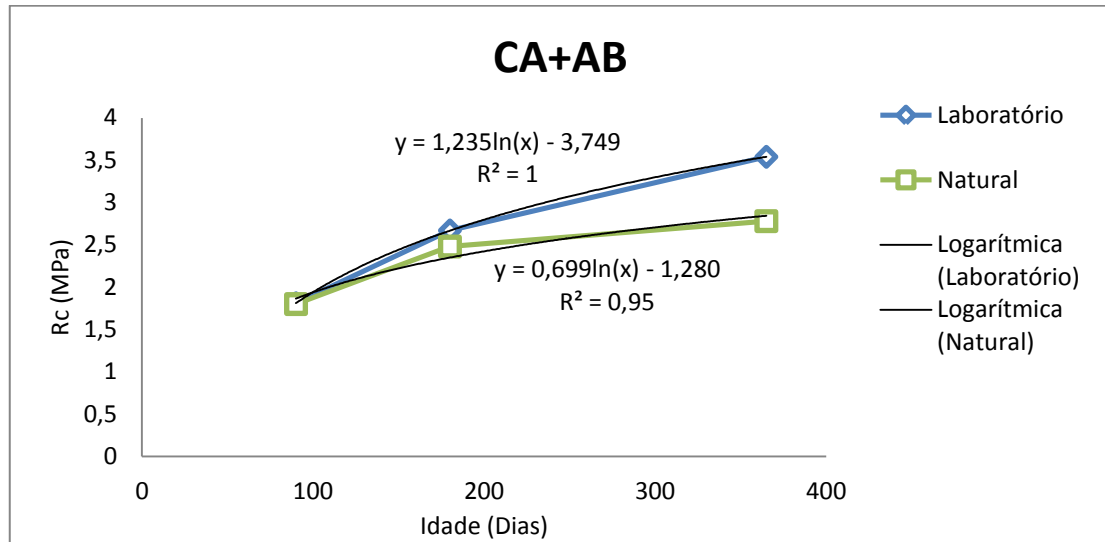


Figura 38 - Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AB em ambiente de cura meio natural e laboratório (As expressões das equações representadas correspondem à correlação logarítmica entre a resistência à compressão em função do tempo de cura).

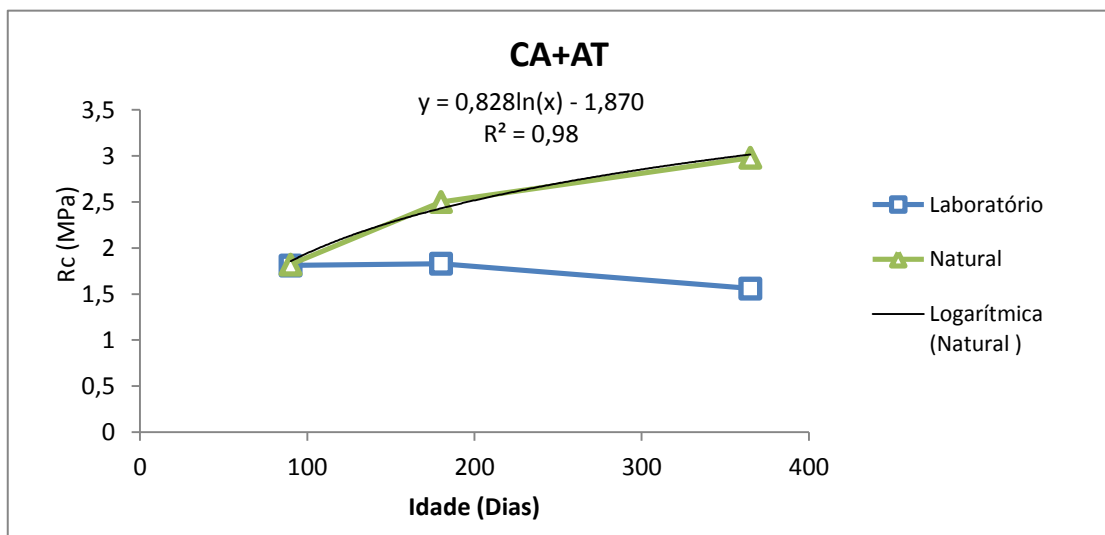


Figura 39 - Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AT em ambiente de cura meio natural e laboratório (A expressão da equação representada correspondem à correlação logarítmica entre a resistência à compressão em função do tempo de cura sujeita a envelhecimento natural).

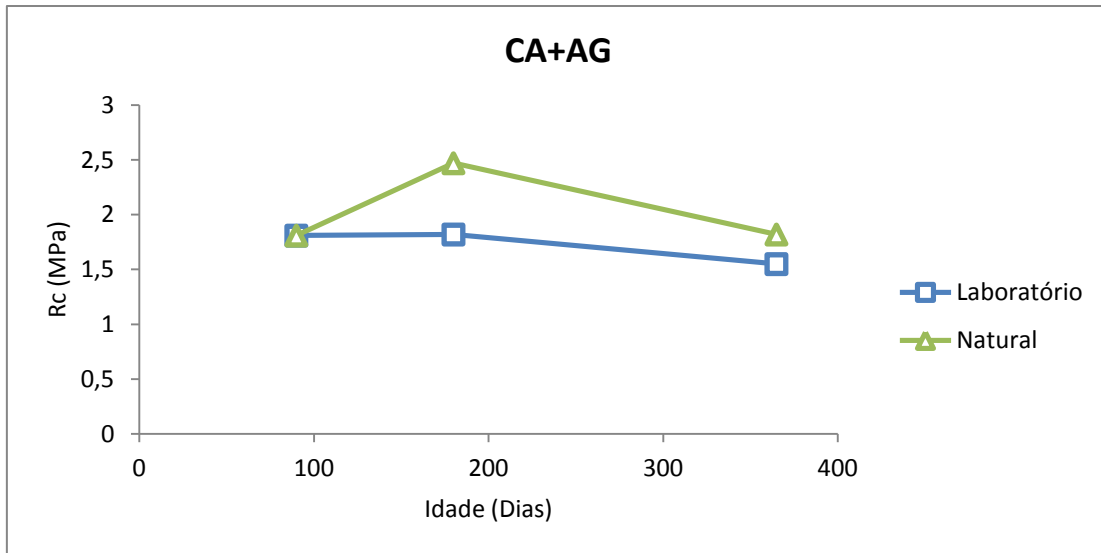


Figura 40 - Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AG em ambiente de cura meio natural e laboratório

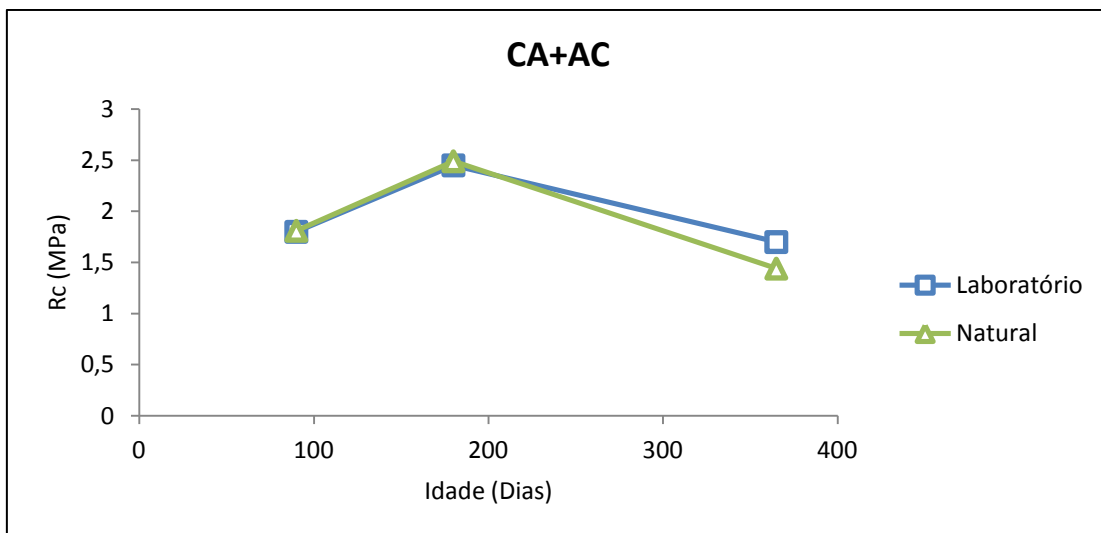


Figura 41 - Representação gráfica da resistência à flexão de CA+AC em ambiente de cura meio natural e laboratório

Através da observação do gráfico 41, verifica-se que a areia basáltica mostrou valores entre 95% e 100% de confiança para resistência à compressão, diferindo do local de envelhecimento, destacando-se com maior valor de confiança a argamassa que se encontrava em envelhecimento no laboratório.

A observação do gráfico 42 permite verificar que há uma boa correlação logarítmica na argamassa CA+AT em ambiente natural.

Os gráficos 45 e 46 surgem com o intuito de obter melhor clareza nos resultados obtidos, nos quais se verifica de forma clara quais as argamassas que apresentam valores de resistência à flexão mais baixos e mais altos nas idades de cura em estudo.

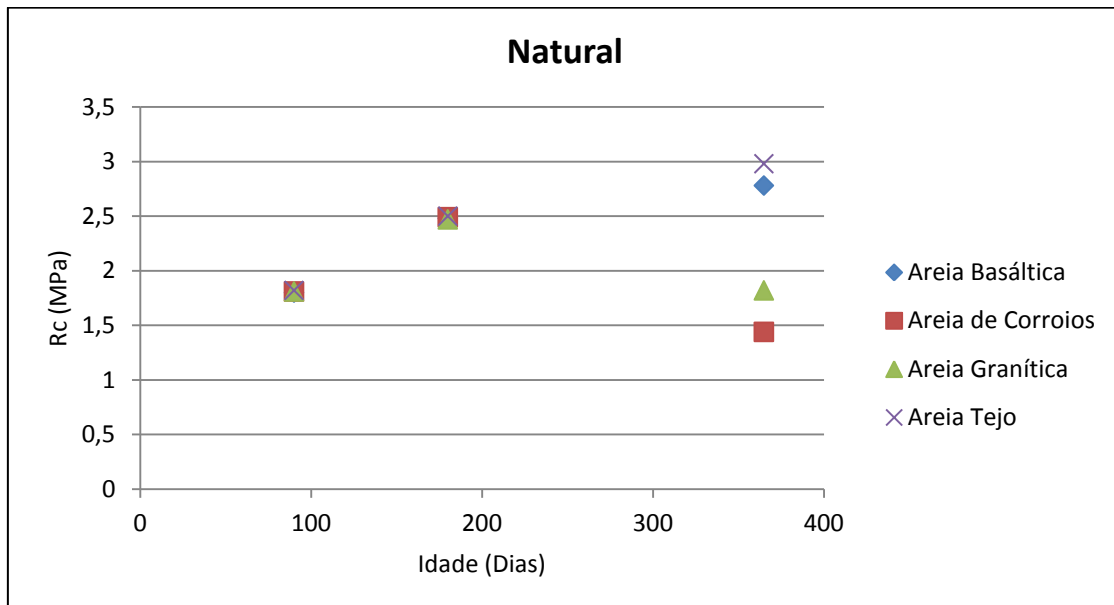


Figura 42 - Gráfico síntese Rc de todas as argamassas em meio de cura Natural.

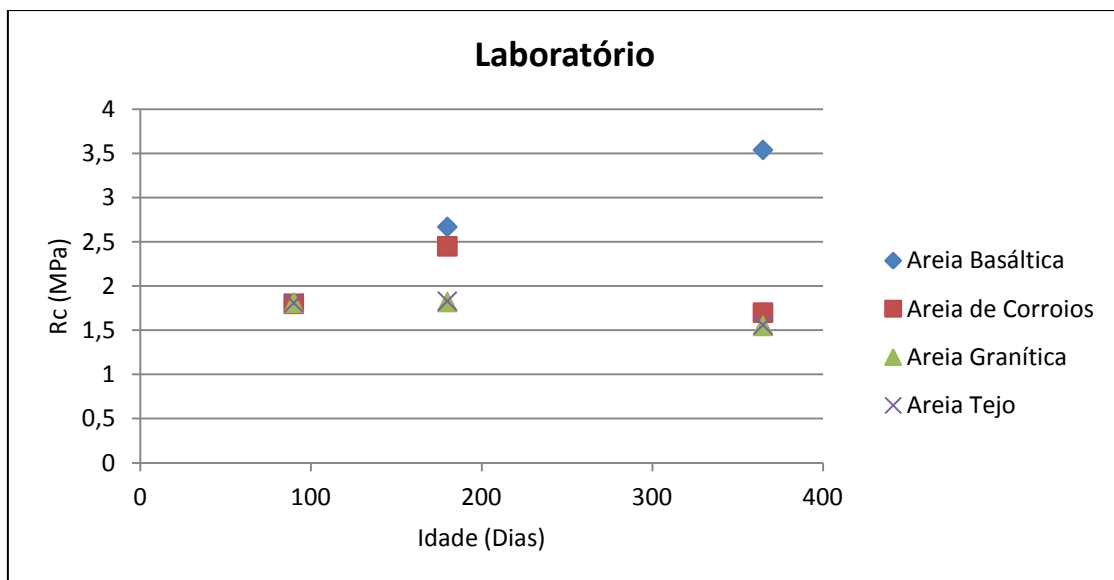


Figura 43 - Gráfico síntese Rc de todas as argamassas em meio de cura Laboratório.

A análise do Gráfico 45 permite mencionar que não se verificou nenhuma tendência explícita, no entanto observa-se que a argamassa com areia de Corroios (CA+AC), aos 365 dias de idade, apresenta a resistência à compressão mais baixa, o que poderá estar relacionado com a existência de finos de origem argilosa na areia de Corroios. Por outro

lado, na mesma idade de cura a argamassa com areia do Tejo (CA+AT) revela o valor mais elevado de resistência à compressão.

A observação do gráfico 46 permite mencionar que aos 180 dias e 365 dias CA+AB tem os valores de resistência à compressão mais elevados.

4.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

O ensaio de capilaridade permite avaliar a capacidade das argamassas absorverem água ao longo do tempo. Sendo possível verificar a quantidade máxima de água existente no interior da argamassa através do valor assintótico, o qual é definido pela assíntota horizontal do gráfico.

Com o intuito de diminuir os fenómenos de degradação das argamassas provenientes de ciclos de gelo/degelo, pretende-se que estas tenham menores coeficientes de absorção e menores valores assintóticos [57].

Em cada representação gráfica é possível determinar o coeficiente de absorção de água por capilaridade, através da inclinação do troço inicial, observando-se a velocidade com que a água é absorvida inicialmente.

No ensaio de absorção de água por capilaridade utilizaram-se três provetes de cada tipo de argamassa para o respectivo ambiente de cura. Durante o ensaio foi determinado para cada instante a quantidade de água absorvida e a absorção capilar, determinando-se para cada instante o valor médio da absorção capilar (DM) referente aos valores obtidos em cada um dos três provetes, correspondentes ao mesmo tipo de argamassa.

No referido ensaio com início às 9h34m da manhã, hora local de Portugal-Lisboa, verificou-se que houve uma elevada absorção de água, somente para alguns prismas.

O primeiro ponto da curva corresponde aos valores da massa obtidos aos dez minutos (primeira massa obtida) é o mais importante pois permite verificar qual a reacção inicial dos diferentes tipos de argamassa, quando expostas à presença de 10 mm de água.

Os resultados referentes ao ensaio de absorção de água por capilaridade podem ser observados nas figuras 47, 48 e 49 , nos quais a absorção de água por capilaridade é obtida pela média de três provetes para cada argamassa em cada idade de cura, aos 90, 180 e 365 dias.

Resultados obtidos aos 90 dias

Tabela 18 - Capilaridade aos 90 dias de cura.

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	CA+AB		CA+AT		CA+AC		CA+AG	
		Laboratório	Natural	Laboratório	Natural	Laboratório	Natural	Laboratório	Natural
		Absorção Capilar (kg/m ²)		Absorção Capilar (kg/m ²)		Absorção Capilar (kg/m ²)		Absorção Capilar (kg/m ²)	
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	3,1623	7,2921	9,7676	8,2042	10,2729	9,0779	9,5914	11,9595	11,9003
30	5,4772	11,4939	14,4511	12,6159	15,2374	13,9644	15,0241	18,2362	17,7446
60	7,7460	15,7718	19,5640	17,1249	20,6396	19,4948	20,8277	25,1318	23,9396
90	9,4868	19,3035	23,9504	21,0266	25,5453	23,1775	24,5731	30,0584	28,3458
180	13,4164	29,1736	34,8991	30,7592	37,4453	34,3649	35,5264	41,2870	39,8801
300	17,3205	34,0888	41,8768	36,0182	43,4436	40,0761	41,4252	43,7964	45,5579
480	21,9089	41,6971	48,0861	41,3738	47,0059	44,5929	48,1704	43,9479	48,3035
1440	37,9473	45,3005	49,5810	41,8688	47,3172	44,9834	50,0647	44,2876	48,8021
2880	53,6656	45,5000	49,7099	42,0622	47,4871	45,1959	50,3076	44,5104	49,0287
5760	75,8947	45,6366	49,8340	42,2172	47,6090	45,0714	50,1384	44,3936	48,9414

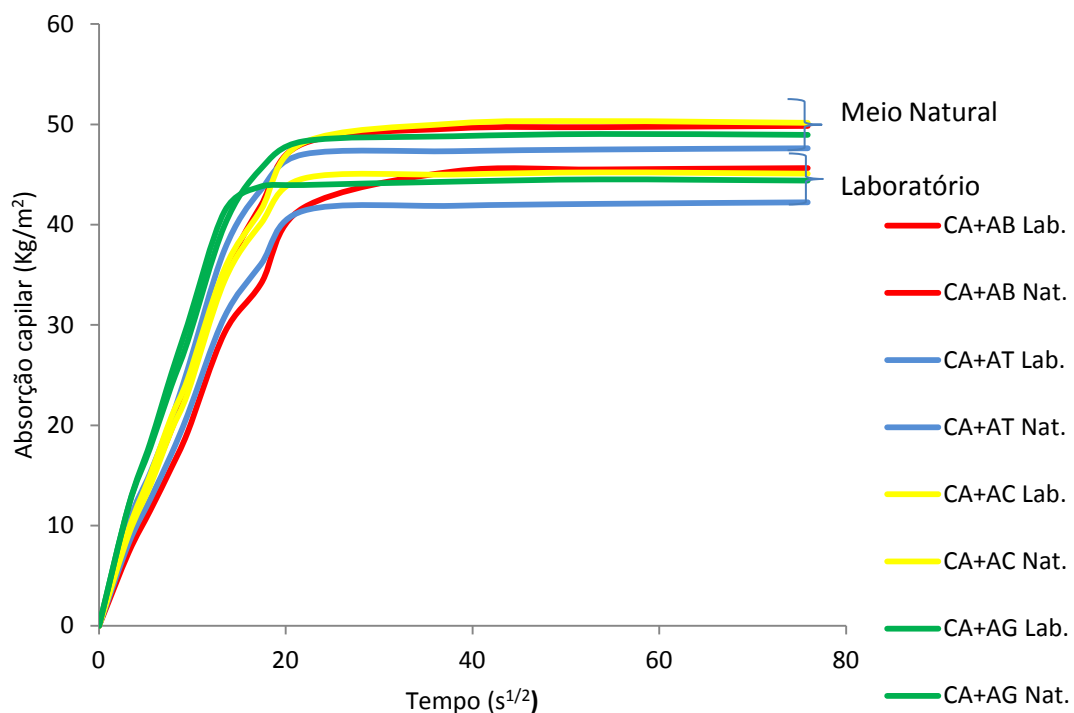


Figura 44- Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas, aos 90 dias de idade.

Resultados obtidos aos 180 dias

Tabela 19 – Capilaridade aos 180 dias de cura

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	CA+AB		CA+AT		CA+AC		CA+AG	
		Laboratório	Natural	Laboratório	Natural	Laboratório	Natural	Laboratório	Natural
		Absorção Capilar (kg/m ²)		Absorção Capilar (kg/m ²)		Absorção Capilar (kg/m ²)		Absorção Capilar (kg/m ²)	
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	3,1623	4,7854	7,7532	2,3394	7,8197	1,6534	6,3991	1,9019	10,3674
30	5,4772	7,7785	11,8043	4,0283	11,4728	3,8898	11,0072	3,7346	15,3184
60	7,7460	10,9677	16,1722	5,9688	16,6376	6,0132	15,6474	5,6442	20,4389
90	9,4868	13,0660	19,1074	7,2713	18,0112	7,3251	18,7445	6,9070	23,8964
180	13,4164	20,5948	29,3701	12,5711	27,6899	12,3599	29,5396	10,6139	35,0307
300	17,3205	25,2113	34,5984	14,3212	31,9070	13,1839	35,0060	11,3249	40,3024
480	21,9089	29,1304	42,2728	15,7969	36,3623	13,4975	42,1009	11,5314	43,5501
1440	37,9473	31,1622	48,0378	15,9737	37,0778	13,6080	47,3061	11,6540	44,1594
2880	53,6656	31,3566	48,3128	16,1402	37,3841	13,6336	47,6661	11,7961	44,4355
5760	75,8947	31,6583	48,6406	16,3528	37,7626	13,4149	48,0284	12,0579	44,7668

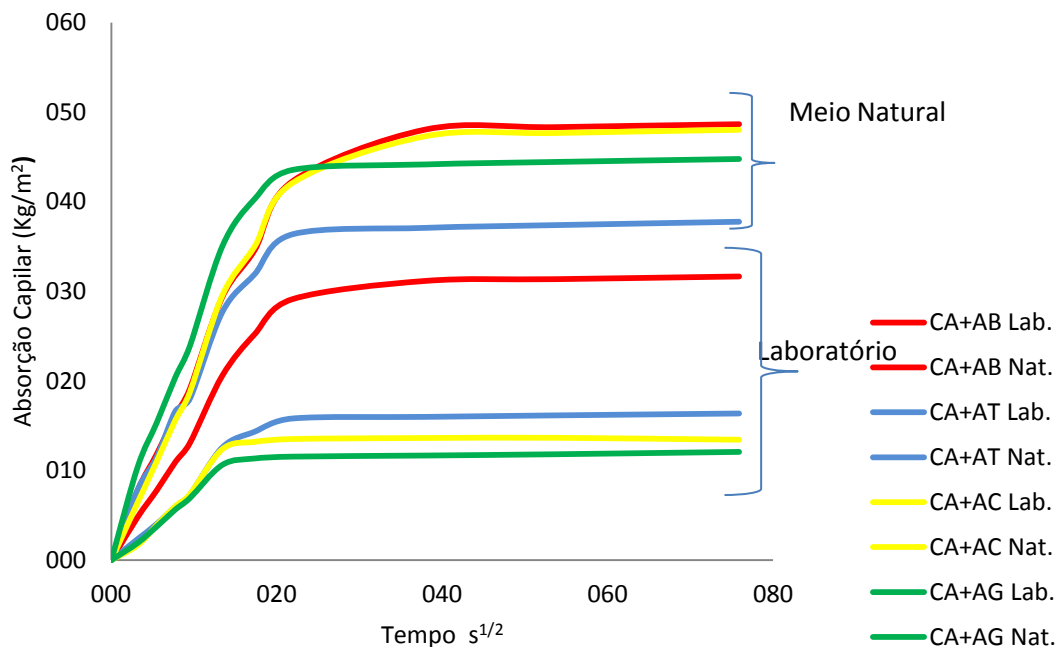


Figura 45 – Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas, aos 180 dias de idade.

Resultados obtidos aos 365 dias

Tabela 20 - Capilaridade aos 365 dias de cura

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. $t^{1/2}$)	CA+AB		CA+AT		CA+AC		CA+AG	
		Laboratório	Natural	Laboratório	Natural	Laboratório	Natural	Laboratório	Natural
		Absorção Capilar (kg/m ²)		Absorção Capilar (kg/m ²)		Absorção Capilar (kg/m ²)		Absorção Capilar (kg/m ²)	
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	3,1623	0,8271	10,9263	1,3095	11,6043	0,8278	9,9604	1,1362	13,5449
30	5,4772	1,4532	14,6319	1,9565	16,3975	1,7457	14,2707	2,1282	18,4252
60	7,7460	1,9533	18,6447	2,5526	21,4442	2,5353	18,7016	2,9046	23,7415
90	9,4868	2,2630	21,3792	2,7891	24,8208	3,0419	21,6333	3,3461	27,3615
180	13,4164	2,7849	31,4047	3,3203	37,1352	4,1542	32,6351	3,9608	39,8192
300	17,3205	2,9173	36,3906	3,5120	42,8701	4,5019	37,8617	4,1202	43,5213
480	21,9089	2,9926	44,5727	3,6309	44,6705	4,8106	45,3649	4,1998	45,4254
1440	37,9473	3,1213	45,7951	3,6676	45,0347	5,0299	47,8121	4,2815	45,7474
2880	53,6656	3,1173	45,7779	3,6758	45,0581	5,0381	47,8400	4,2982	45,7191
5760	75,8947	3,1359	45,7779	3,6233	45,0390	5,0685	47,8761	4,3107	45,7357

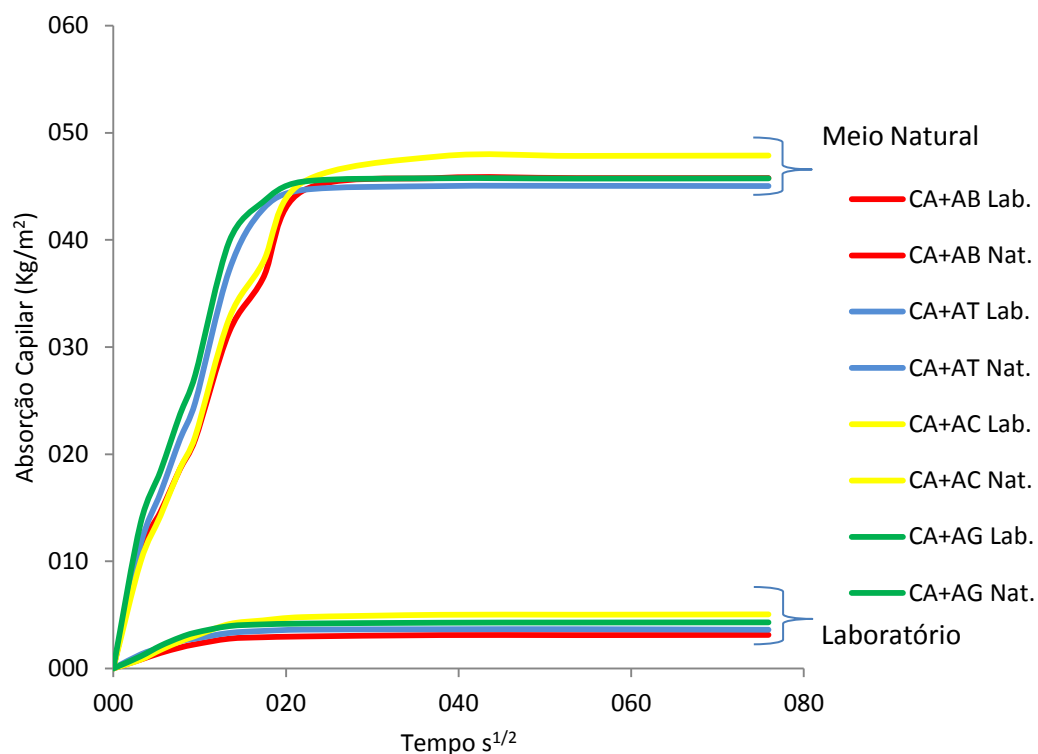


Figura 46 - Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas, aos 365 dias de idade.

Segundo a análise efectuada, é possível verificar que o ambiente de cura das argamassas é o factor que maior influência tem na diferença de resultados obtidos, pois ao longo do tempo de cura verifica-se uma elevada divergência nos valores para argamassas em envelhecimento natural e em laboratório.

Nas idades de cura das argamassas verifica-se que as curvas de absorção de água por capilaridade mostram uma rápida absorção de água em ambos os meios de envelhecimento. Comparando ambos os meios de cura, verifica-se que nas argamassas em envelhecimento laboratorial a absorção de água ocorre mais rapidamente.

Pode ainda observar-se nos Gráficos 47, 48 e 49 que no mesmo ambiente de cura as argamassas de cal aérea têm um comportamento à absorção de água por capilaridade semelhante.

Através dos resultados obtidos, verifica-se que aos 90 dias CA+AG é a argamassa que absorve mais rapidamente a água por capilaridade, quer comparativamente com as argamassas que se encontram em envelhecimento natural ou em laboratório. A capacidade de absorção de água está relacionada com a estrutura porosa do material, como tal pode-se afirmar que a argamassa CA+AG é a mais porosa, pois quanto mais fácil for a percolação de água no interior da argamassa mais poroso é o material.

Aos 365 dias de idade, CA+AC nos dois meios de cura distintos é aquela que absorve maior quantidade de água por capilaridade, este facto pode indiciar a porosidade da argamassa. Verificando-se que esta ainda não apresenta os seus poros completamente preenchidos por sais cristalizados. Salienta-se que visivelmente as argamassas CA+AC, aos 365 dias, eram as que apresentavam maior quantidade de sais cristalizados na superfície.

Como seria expectável, CA+AC, tem uma baixa velocidade de absorção inicial. [29]

A análise dos gráficos 47, 48 e 49 ao longo do tempo de cura, permite verificar que as argamassas em condições de cura laboratório vão absorvendo menor quantidade de água, estando esta evidencia associada à elevada quantidade de sais existentes nos poros da argamassa, pois estes impedem a absorção de tanta quantidade de água. Isto é perceptível, uma vez que a capilaridade depende da dimensão dos poros e da quantidade destes.

Coeficiente de Capilaridade

Apresentam-se na tabela 23 os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade das argamassas em ambiente de cura natural e em laboratório, referentes ao coeficiente de capilaridade, determinado pelo método normalizado.

Considera-se todos os valores entre os 10 e os 90 minutos, uma vez que neste intervalo de tempo as argamassas não atingiram a saturação.

Tabela 21 - Coeficiente de capilaridade aos 90, 180 e 365 dias de idade.

Coeficiente de Capilaridade 90 - 10 min (Kg/m ² .s ^{1/2})								
Idade (dias)	CA+AB		CA+AT		CA+AC		CA+AG	
	Laboratório	Natural	Laboratório	Natural	Laboratório	Natural	Laboratório	Natural
90	1,85	2,25	2,01	2,34	2,19	2,30	2,79	2,52
180	1,31	1,79	0,79	1,60	0,89	1,92	0,78	2,11
365	0,23	1,62	0,24	2,07	0,36	1,82	0,35	2,14

Segundo a análise da Tabela 23 observa-se que, à medida que os sais vão cristalizando no interior dos poros o coeficiente de capilaridade vai diminuindo, o que poderá supor que ao longo do tempo de cura a argamassa vai estar mais protegida dos agentes exteriores.

Através da observação da tabela verifica-se que o coeficiente diminui ao longo da idade de cura das argamassas, no entanto, aos 365 dias CA+AT envelhecimento em meio Natural, traduz um aumento do coeficiente comparativamente com a idade de cura anterior.

Os maiores coeficientes de absorção de água foram obtidos em CA+AG aos 90 dias para os dois meios de cura distintos, os quais podem estar relacionados com uma maior quantidade de poros, ou uma maior dimensão dos poros existentes no interior da argamassa.

Salienta-se que ao longo das idades de cura ocorreu uma maior diminuição do coeficiente de capilaridade nos provetes que se encontravam em envelhecimento no laboratório, este facto pode ser explicado pela elevada quantidade de sais no interior dos poros da argamassa. Devido ao menor valor do coeficiente, poderá dizer-se que no envelhecimento em laboratório há melhores valores, o que poderá evitar a possibilidade de ocorrer mecanismos de degradação, principalmente, de ciclos de gelo/degelo.

Por outro lado, as argamassas em envelhecimento Natural apresentaram diminuição menos acentuada no coeficiente de capilaridade ao longo das idades de cura.

Conclui-se que aos 365 dias de idade, as argamassas em ambiente de cura natural tinham menor quantidade de sais nos poros, aquando comparadas com as argamassas em envelhecimento laboratório.

Numa apreciação geral, verifica-se que CA+AG Laboratório apresenta uma diminuição do coeficiente de capilaridade de 2,44, estando aos 365 dias com a maior parte dos poros preenchidos com sais.

Valor Assimptótico (VA)

Segundo a tabela 24 pode observar-se o valor assimptótico das argamassas de cal aérea ao longo do tempo de cura e nos respectivos ambientes de cura.

Valor Assimptótico (VA) (Kg/m ²)								
Idade (dias)	CA+AB		CA+AT		CA+AC		CA+AG	
	Lab.	Nat.	Lab.	Nat.	Lab.	Nat.	Lab.	Nat.
90	45,64	49,83	42,22	47,61	45,07	50,14	44,39	48,94
180	31,66	48,64	16,35	37,76	13,41	48,03	12,06	44,77
365	3,14	45,78	3,62	45,04	5,07	47,88	4,31	45,74

Tabela 22 - Valor Assimptótico (VA) aos 90, 180 e 365 dias de idade.

Relativamente à quantidade total de água absorvida, a tabela 24 mostra a diminuição da quantidade absorvida das argamassas em laboratório, ao longo da idade de cura, sendo notória a menor quantidade de poros vazios no interior das argamassas, reforçando a ideia de que estas têm os poros preenchidos com sais cristalizados.

Das argamassas em estudo observa-se que CA+AB e CA+AT em meio laboratório, apresentam menor quantidade de água absorvida aos 365 dias de idade.

Em condições de cura em meio natural o VA é mais elevado comparativamente com os valores obtidos em meio laboratorial, assim as argamassas sujeitas a envelhecimento natural têm maior quantidade de água no seu interior, logo maior quantidade de espaços vazios existentes ou maior dimensão dos poros. Remetendo para uma menor quantidade de sais presentes no interior das argamassas em meio natural.

Sublinharam-se dois valores de VA na tabela 23, pois verificou-se um comportamento diferente das restantes argamassas aos 365 dias, onde se observou um aumento dos 180 dias para os 365 dias, sendo que o aumento de VA está relacionado com o acréscimo de porosidade [29], isto contacta-se no presente estudo estando relacionado com o aumento da resistência mecânica evidenciado nas mesmas argamassas no presente estudo.

4.7. MICROSCOPIA ÓPTICA

Com a visualização das amostras ao microscópio óptico, pode-se obter informação sobre os constituintes da amostra, o seu estado de degradação bem como quais os constituintes formados. Para observação com microscópio óptico utilizaram-se amostras provenientes da resistência à compressão para a idade de cura de cada argamassa, aos 90, 180 e 365 dias.

CA+AB

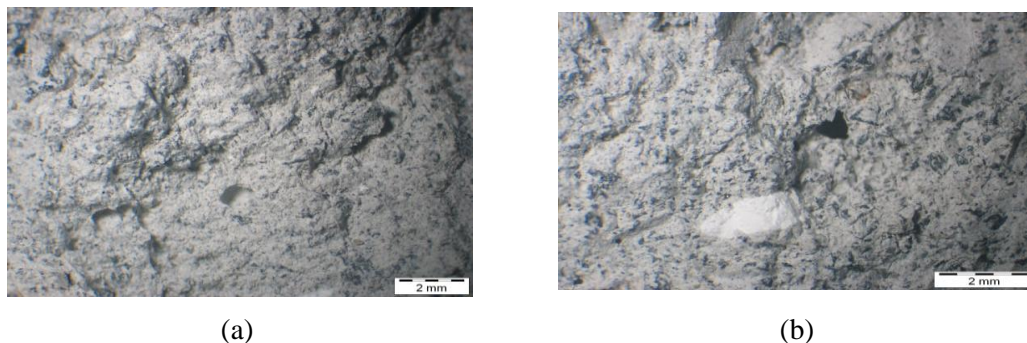


Figura 47 – Observação ao MO de CA+AB em meio natural (a) e laboratório (b).

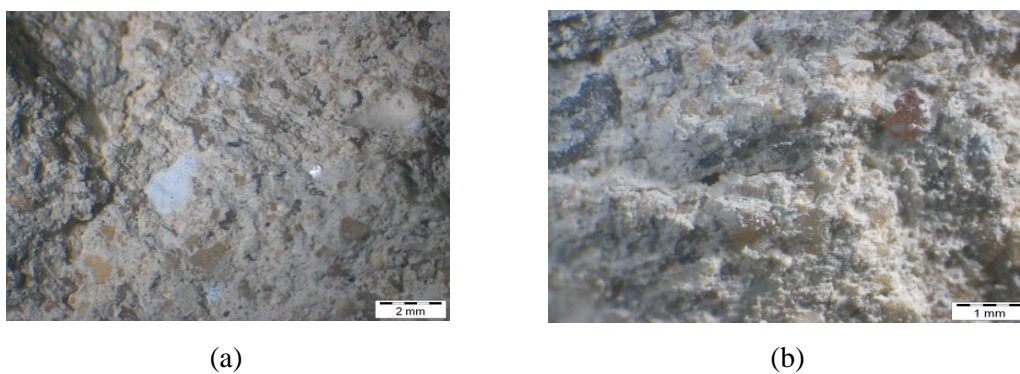


Figura 48 – Observação ao MO de CA+AC em meio laboratório (a) e (b).

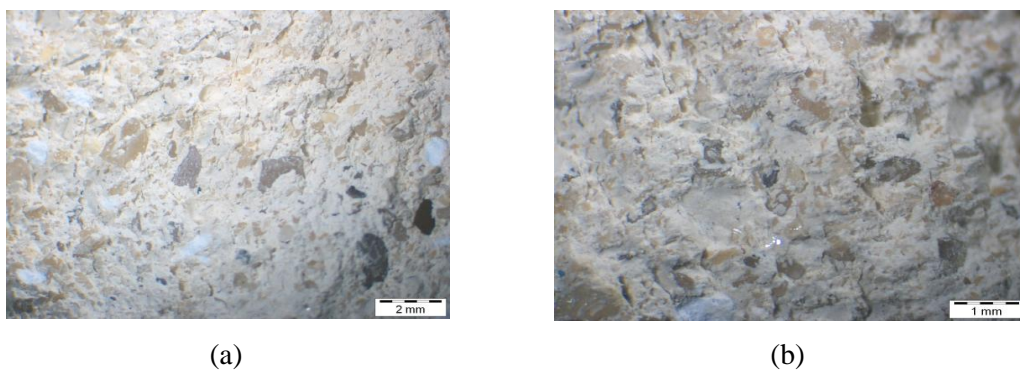


Figura 49 - Observação ao MO de CA+AC em meio natural (a) e (b).

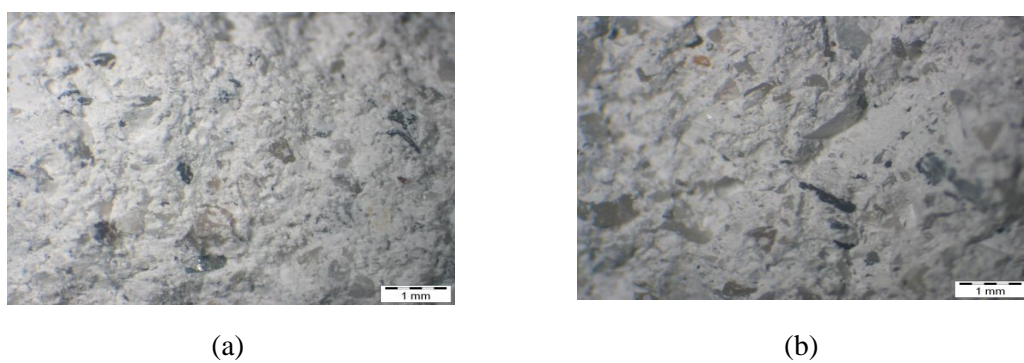
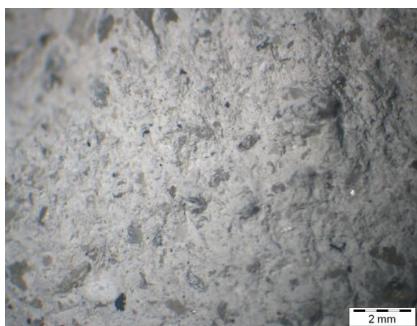


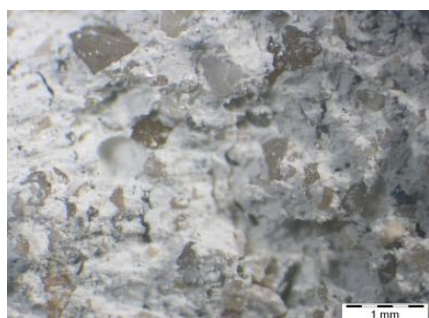
Figura 50 - Observação ao MO de CA+AG em meio laboratório (a) e (b).



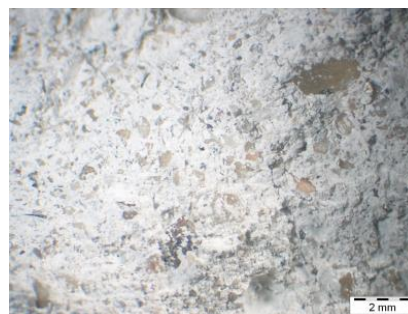
(a)

Figura 51 - Observação ao MO de CA+AG em meio natural (a) .

CA+AT



(a)

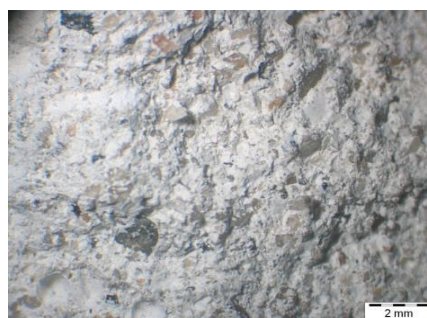


(b)

Figura 52 - Observação ao MO de CA+AT em meio laboratório (a) e (b).



(a)



(b)

Figura 53 - Observação ao MO de CA+AT em meio laboratório (a) e (b).

A visualização das amostras permite mencionar que as argamassas apresentam elevada quantidade de ligante, onde é possível verificar a presença de nódulos de cal.

Observam-se agregados do mesmo tipo de diferentes dimensões, os quais exibem a sua cor original, não apresentando qualquer degradação visual dos mesmos. Como seria expectável, não se verifica os agregados com cor clara, logo estes não se encontram degradados. Este facto pode estar relacionado com a idade de cura das argamassas, as quais necessitavam de mais tempo para carbonatarem.

Apenas se mostra as imagens referentes aos 90 dias de idade, uma vez que nas restantes idades por microscopia óptica não se verificaram diferenças significativas na dispersão do ligante, nem nas cores dos agregados.

4.8. CORRELAÇÃO ESTABELECIDADA ENTRE AS CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

Após examinar individualmente os resultados de cada característica optou-se por efectuar uma análise comparativa entre alguns ensaios, com o intuito de verificar de que modo a mistura de cada argamassa e as condições de cura influenciam as argamassas em estudo.

A elaboração de correlações realizadas com os resultados obtidos nos ensaios descritos anteriormente, foram efectuadas com o intuito de contribuir para o cumprimento dos objectivos do presente trabalho. Verificando o comportamento das várias argamassas, concluindo qual a influência do agregado no desempenho de cada argamassa.

Estabeleceu-se correlações para cada tipo de argamassa ao longo da idade das mesmas e, nos vários ambientes de cura (laboratório e ambiente natural).

Massa Volúmica e Coeficiente de capilaridade

As figuras 57, 58, 59 e 60 expressam a relação entre as massas volúmicas e o coeficiente de absorção capilar das argamassas em estudo que serão apreciadas, individualmente, tendo em conta o tipo de areia presente na sua constituição e o ambiente de cura a que estiveram sujeitas.

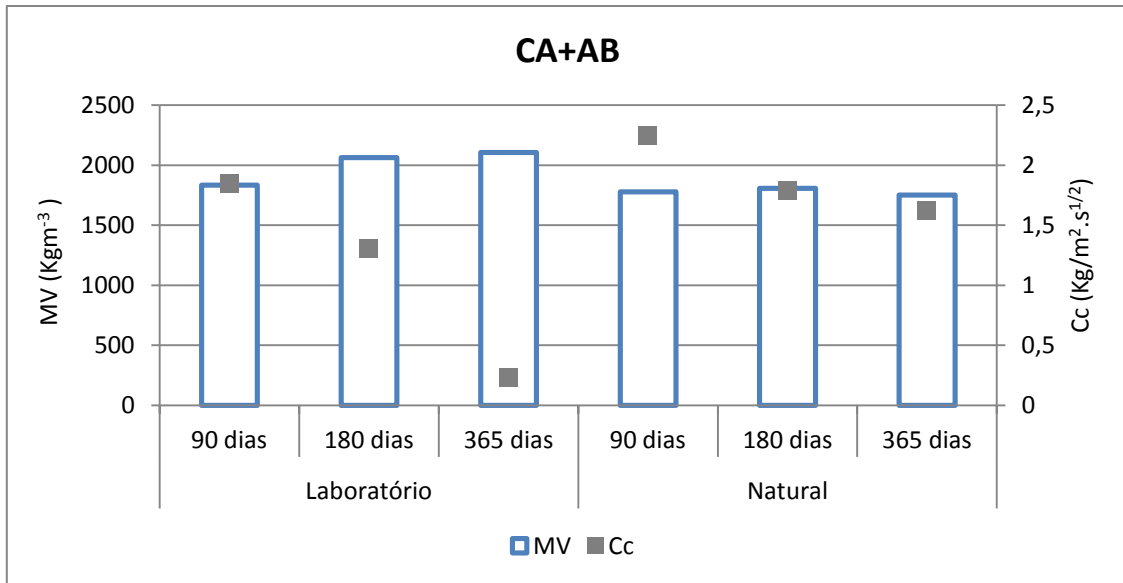


Figura 54 - Relação entre a massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar ao longo do tempo de CA+AB, em meio natural e laboratório.

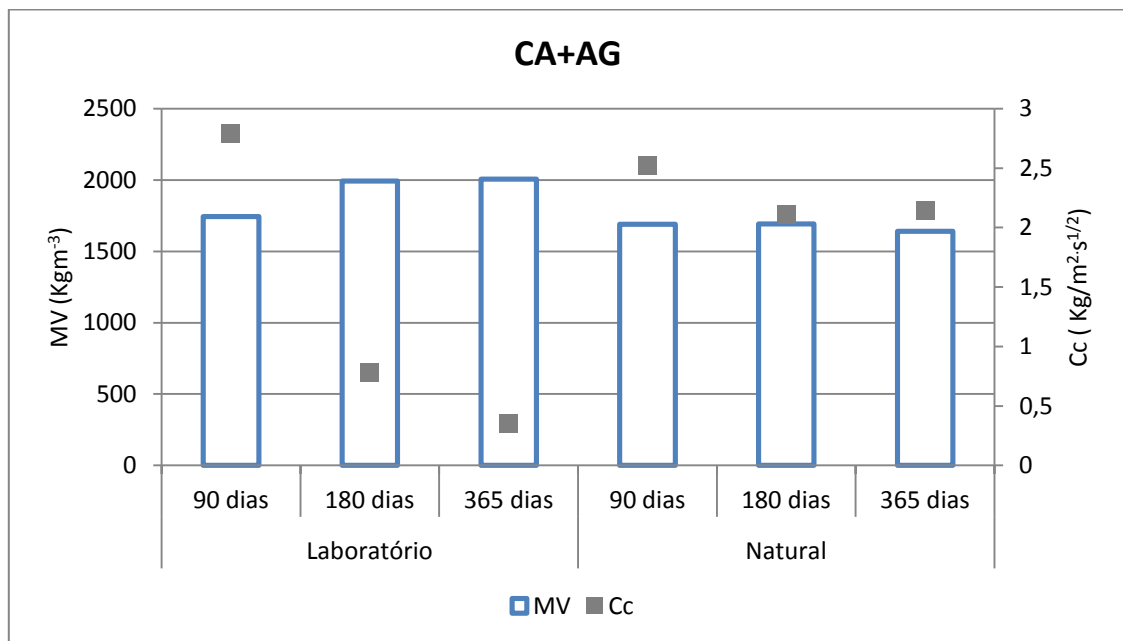


Figura 55 - Relação entre a massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar ao longo do tempo de CA+AG, em meio natural e laboratório.

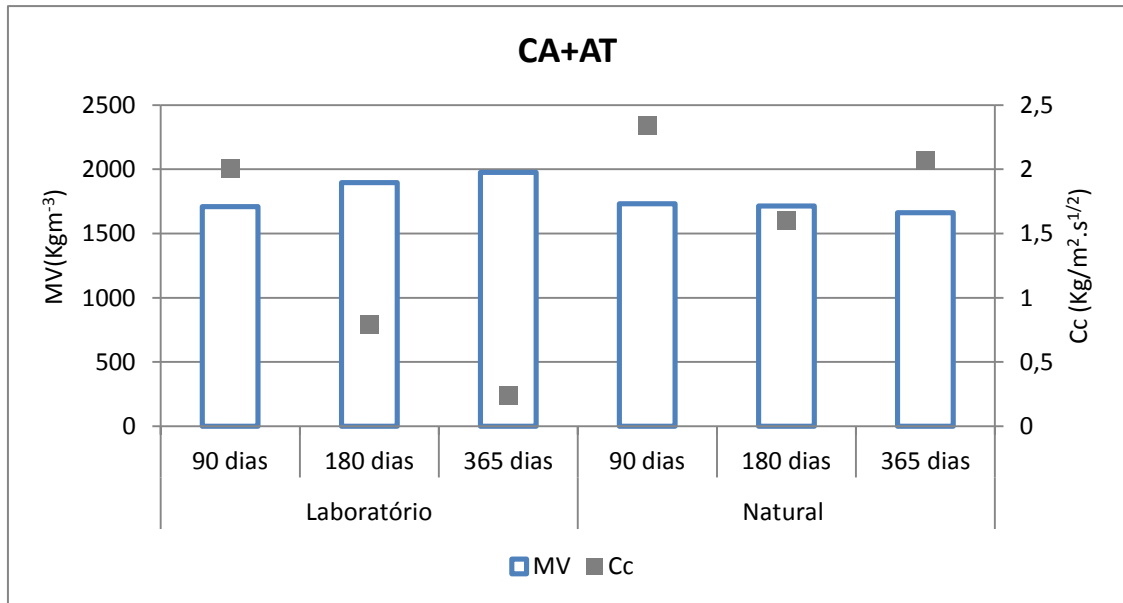


Figura 56 - Relação entre a massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar ao longo do tempo de CA+AT, em meio natural e laboratório.

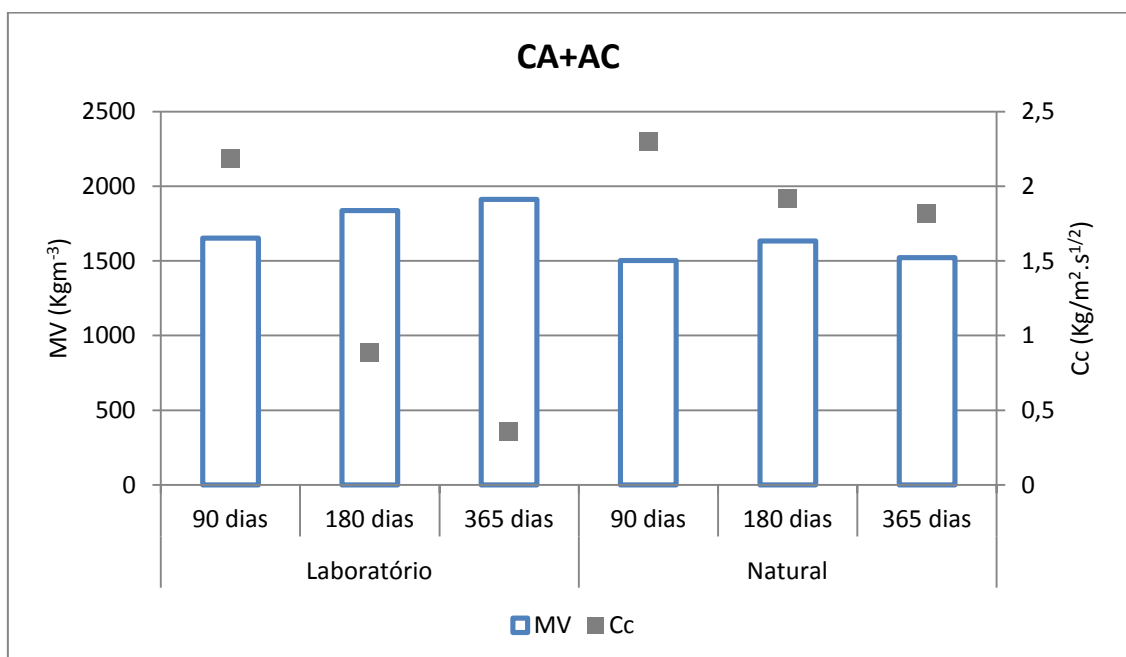


Figura 57 - Relação entre a massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar ao longo do tempo de CA+AC, em meio natural e laboratório.

A análise das figuras 57,58,59 e 60 permite observar a relação entre a massa volúmica e o coeficiente de absorção capilar em cada argamassa e respectivo ambiente de cura ao longo da idade das mesmas.

Como seria expectável, verifica-se que quanto maior a massa volúmica menor o

coeficiente de capilaridade, este facto tem maior variação nas argamassas que se encontram em envelhecimento laboratório. A relação evidente entre estes dois parâmetros está associada ao preenchimento dos poros pelos sais cristalizados, diminuindo a dimensão dos poros e vazios existentes na interior das argamassas.

Em termos gerais, as argamassas em ambiente natural não apresentam grande oscilação da massa volúmica ao longo do tempo, verificando-se que o coeficiente de absorção capilar diminui ao longo do tempo de modo menos acentuado, aquando comparado com o coeficiente das argamassas em envelhecimento laboratório.

Ductilidade

Através da relação entre a resistência à flexão e à compressão, expressa segundo R_f/R_c , foi possível determinar o coeficiente de ductilidade das argamassas, o qual traduz a capacidade das argamassas se deformarem.

Tabela 23 - Quociente entre as resistências mecânicas, resistência à compressão e à flexão.

		Rf/Rc			
Idade	Cura	CA + AB	CA + AC	CA + AG	CA + AT
90 dias	Laboratório	1,44	0,81	0,64	0,88
	Natural	1,08	0,68	0,65	0,72
180 dias	Laboratório	0,69	0,47	0,48	0,68
	Natural	0,94	0,66	0,52	0,48
365 dias	Laboratório	0,33	0,26	0,36	0,43
	Natural	0,60	0,81	0,33	0,41

Laboratório

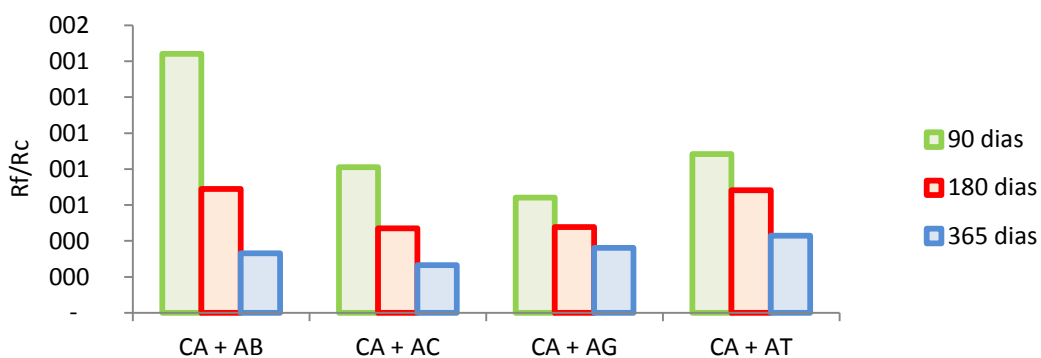


Figura 58 – Quociente entre as resistências mecânicas, resistência à compressão e à flexão, das argamassas sujeitas a envelhecimento em laboratório.

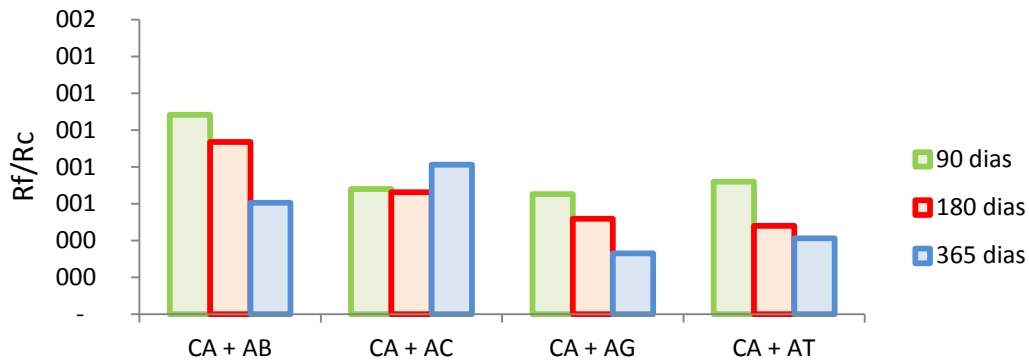


Figura 59 - Quociente entre as resistências mecânicas, resistência à compressão e à flexão, das argamassas sujeitas a envelhecimento em meio natural.

Admitindo a hipótese que quanto menor o quociente entre as resistências mecânicas à flexão e à compressão, menor a ductilidade da argamassa, apresenta-se na figura 61 e 62 a razão entre a resistência à tracção por flexão e a resistência à compressão obtida para cada argamassa aos 90 dias, 180 dias e 365 dias em cada ambiente de cura.

Conclui-se que quanto maior o coeficiente (R_f/R_c), maior ductilidade tem a argamassa, permitindo que não sejam transmitidos tantos esforços ao suporte. [56] [46]

Os resultados apontam para ductilidades distintas, dependendo do tipo de areia presente na argamassa, observa-se a diminuição da ductilidade das argamassas ao longo do tempo de cura, no entanto verifica-se um comportamento distinto nas CA+AC Natural, nas restantes argamassas verifica-se a diminuição da ductilidade ao longo da idade de cura.

Aos 365 dias de idade, a argamassa CA+AT em laboratório é a que evidencia maior coeficiente de ductilidade, ou seja, é capaz de absorver melhor as deformações do suporte.

Em ambiente natural, aos 365 dias de idade, a argamassa CA+AC é a que evidencia maior coeficiente de ductilidade, ou seja, maior capacidade de absorver tensões. Por outro lado, CA+AC em laboratório com 365 dias de idade é a menos dúctil. Evidenciando o meio como factor preponderante na ductilidade da argamassa.

Apresenta-se a tabela 26, a qual apresenta de um modo resumido a ductilidade das argamassas:

Tabela 24 – Síntese da ductilidade das argamassas ao longo da idade de cura.

Idade (dias)	Cura Laboratório		Cura Meio Natural	
	<u>Mais Dúctil</u>	<u>Menos Dúctil</u>	<u>Mais Dúctil</u>	<u>Menos Dúctil</u>
90 dias	CA+AB	CA+AG	CA+AB	CA+AG
180 dias	CA+AB	CA+AC	CA+AB	CA+AT
365 dias	CA+AT	CA+AC	CA+AC	CA+AG

Resistência à Compressão, Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade

As resistências mecânicas à compressão e à flexão são correlacionadas com o módulo de elasticidade, apresentando-se vários gráficos com o intuito de analisar separadamente estes parâmetros. Os quais são separados por idade e ambiente de cura, figuras 63, 64 e 65 e por tipo de areia, figuras 66, 67, 68 e 69, com o intuito de haver uma clareza dos resultados obtidos, seguindo-se uma análise separada de cada uma das resistências com o módulo de elasticidade dinâmico.

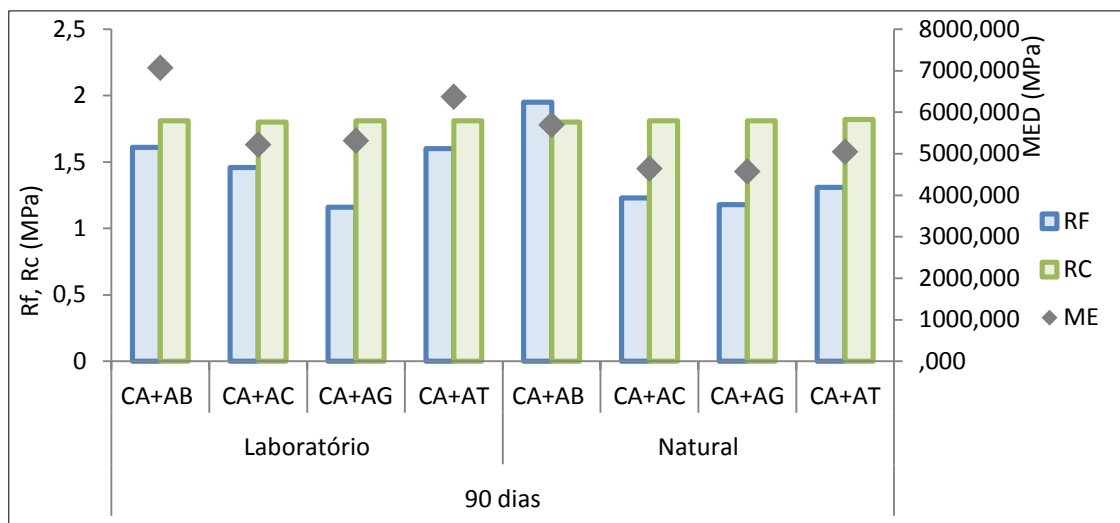


Figura 60 - Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 90 dias em argamassas de cal aérea.

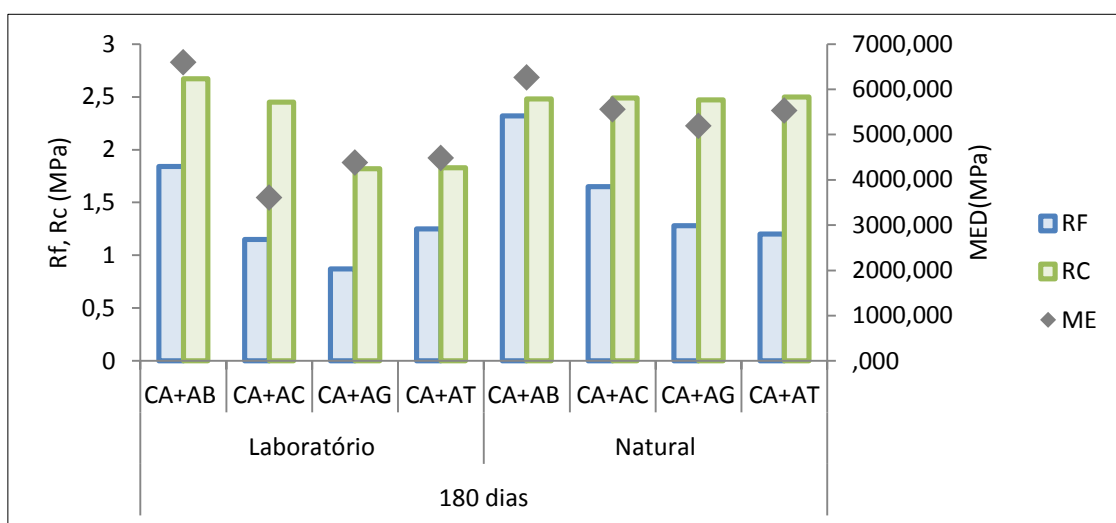


Figura 61 - Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 180 dias em argamassas de cal aérea.

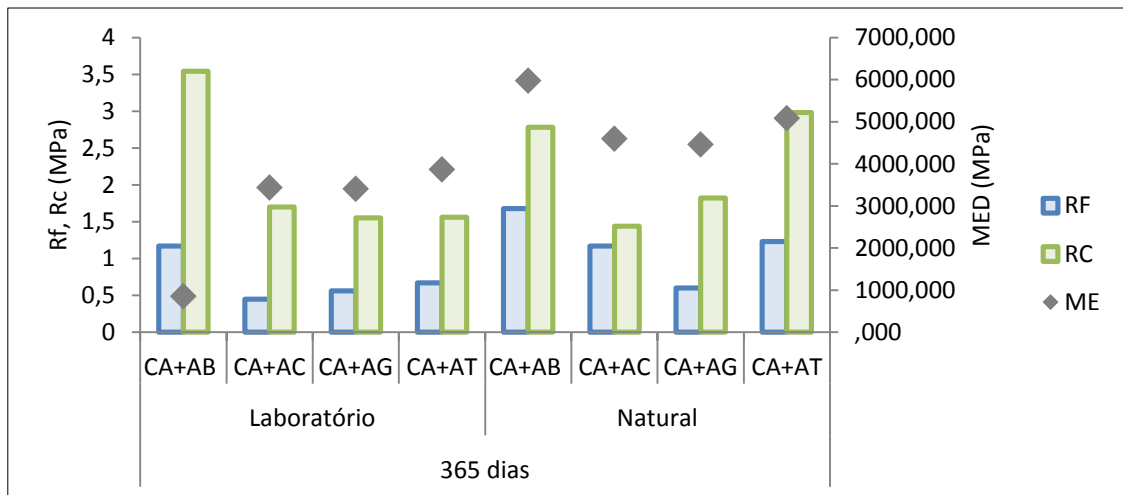


Figura 62 - Resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico aos 365 dias em argamassas de cal aérea.

Da análise das figuras 63, 64 e 65, nas quais se representa a relação entre as resistências mecânicas à tracção e à compressão e o módulo de elasticidade dinâmico, ao longo da idade de cura das argamassas (90 dias, 180 dias e 365 dias), observa-se que as resistências e o módulo de elasticidade variam de forma variada, concluindo-se que o tipo de agregado influencia as características das argamassas.

Como seria expectável verifica-se menor resistência à flexão ao longo do tempo, quando comparada com a resistência à compressão, salientando-se que a maior diferença entre estes dois parâmetros ocorre aos 365 dias.

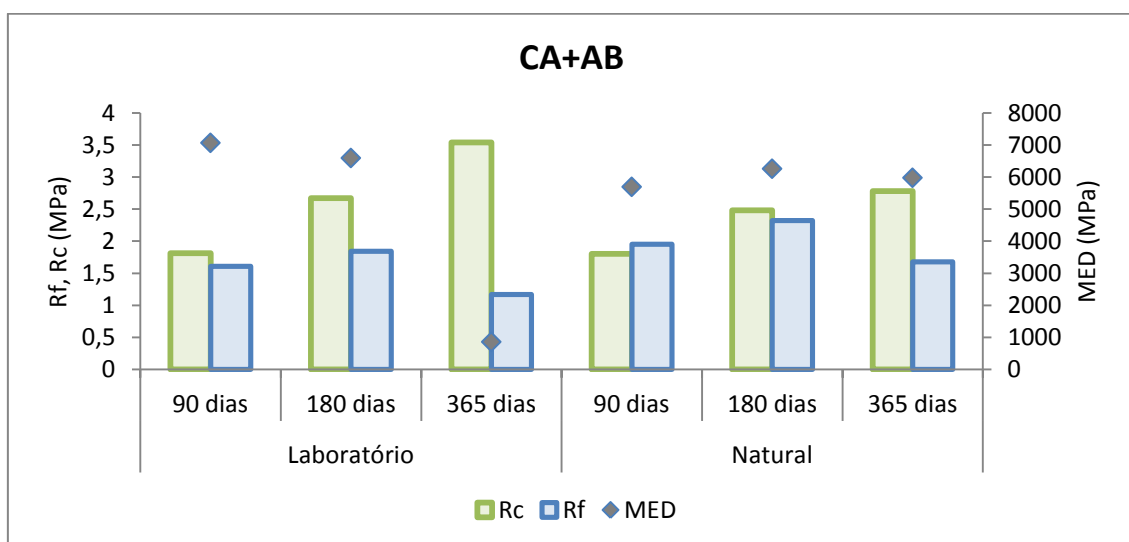


Figura 63 - Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico na argamassa CA+AB.

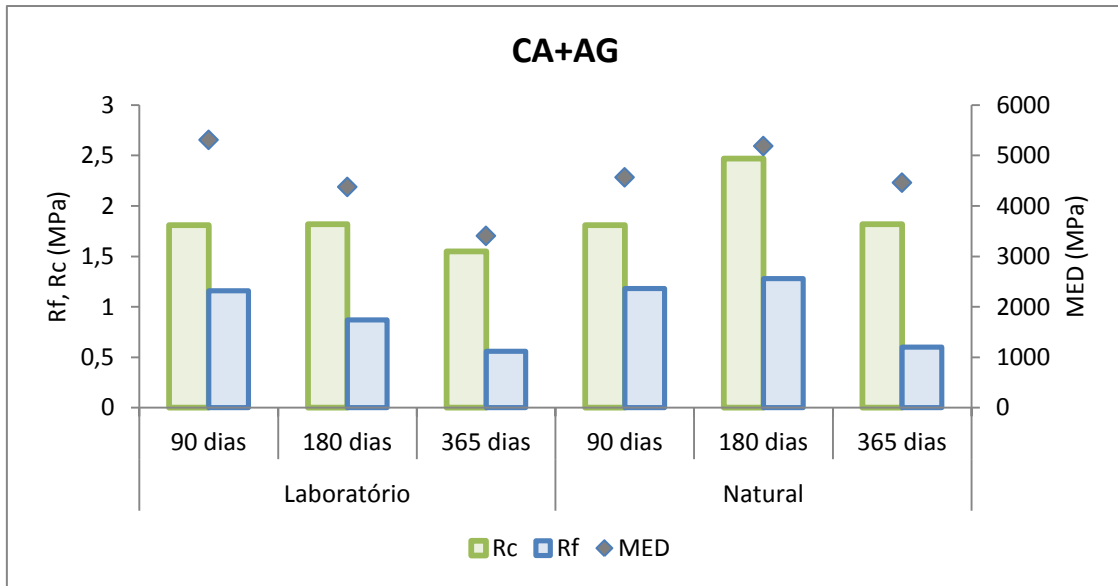


Figura 64 - Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico na argamassa CA+AG.

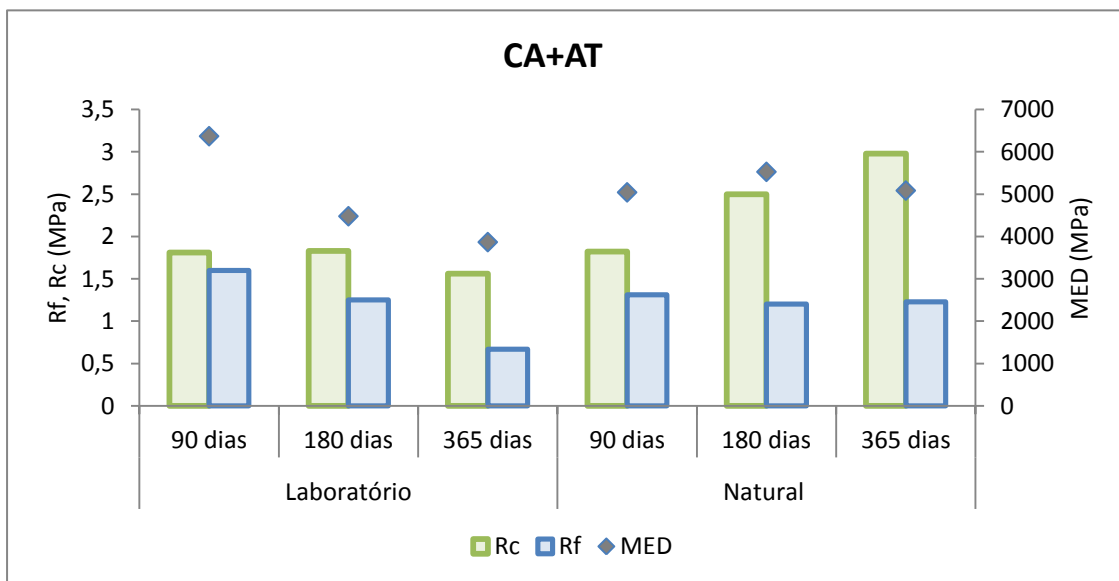


Figura 65 – Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e módulo de elasticidade dinâmico na argamassa CA+AT.

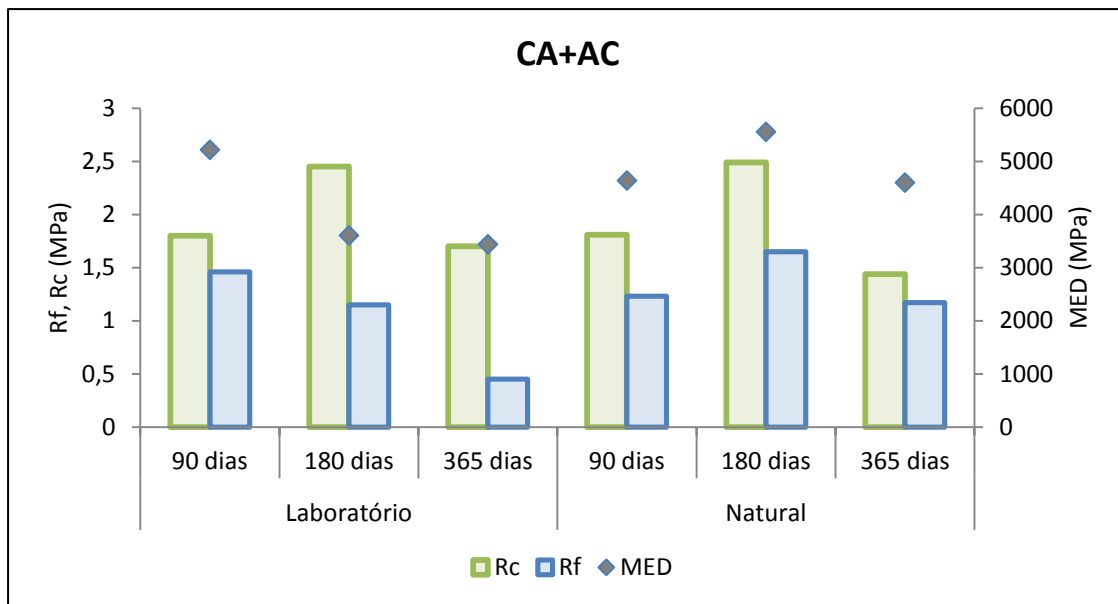


Figura 66 - Relação entre os valores obtidos nos ensaios de resistências mecânicas e no módulo de elasticidade dinâmico na argamassa CA+AC.

As figuras 66, 67, 68 e 69 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 obter uma melhor visualização do andamento de cada argamassa.

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. Consta-se que a resistência mecânica pode ser condicionada pela estrutura porosa, estando a durabilidade das argamassas de cal relacionada com a capacidade de evaporação da água [58] [59] [39] [6].

No entanto, apesar do que seria expectável, não se verifica em todas as argamassas um aumento das resistências mecânicas ao longo do tempo, observando um comportamento variado nas argamassas de cal aérea em estudo.

Sendo notório o ligeiro aumento da resistência à compressão, aos 180 dias de idade, em todas as argamassas, o qual poderá estar associado à carbonatação das argamassas e à dimensão dos poros, uma vez que permite a ocorrência da cristalização dos sais no interior dos poros.

Por outro lado, aos 365 dias verifica-se um comportamento variado:

- Argamassas com aumento da resistência à compressão, nas quais prossegue o processo de carbonatação, e onde a dimensão dos poros continua a permitir a cristalização dos sais no interior dos poros. (CA+AB ambiente natural e laboratório; CA+AT em ambiente natural).
- Argamassas com diminuição da resistência à compressão, o que poderá estar relacionado com o preenchimento total dos poros pela cristalização dos sais, na qual poderá ocorrer a rotura da estrutura porosa, evidenciando a diminuição da resistência à compressão. Podendo esta diminuição também, estar associada à possível deterioração dos provetes (CA+AC e CA+AG ambiente natural e laboratório; CA+AT em laboratório).

Resistência Mecânica e Coeficiente de Capilaridade

Os resultados obtidos nos ensaios realizados permitem uma comparação entre a resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade aos 90 minutos.

A possível correlação entre o coeficiente de capilaridade e os resultados obtidos na resistência à compressão mostra-se nas figuras 70, 71, 72 e 73.

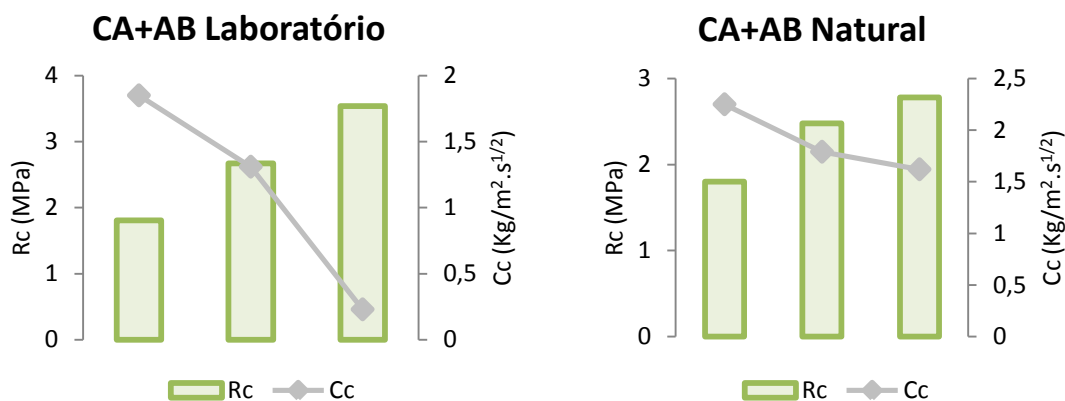


Figura 67 - Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade ao longo do tempo nas argamassas CA+AB, envelhecimento em laboratório e meio natural.

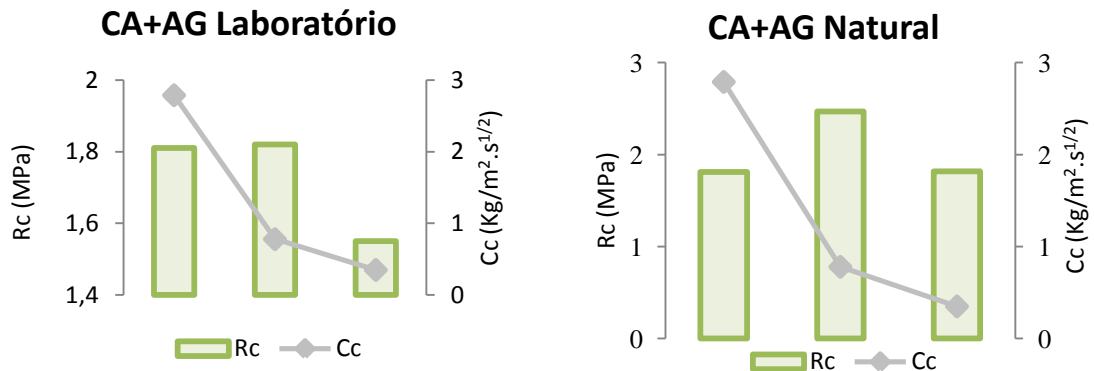


Figura 68 - Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade ao longo do tempo nas argamassas CA+AG, envelhecimento em laboratório e meio natural.

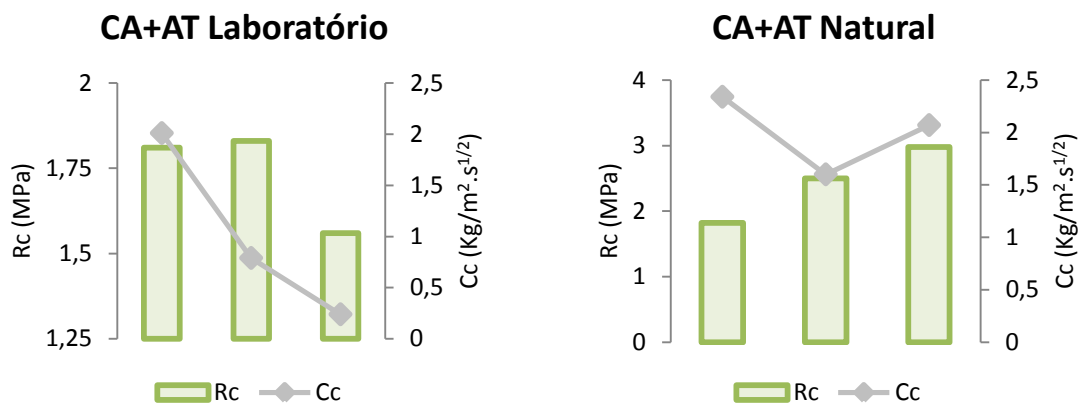


Figura 69 - Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade ao longo do tempo nas argamassas CA+AT, envelhecimento em laboratório e meio natural.

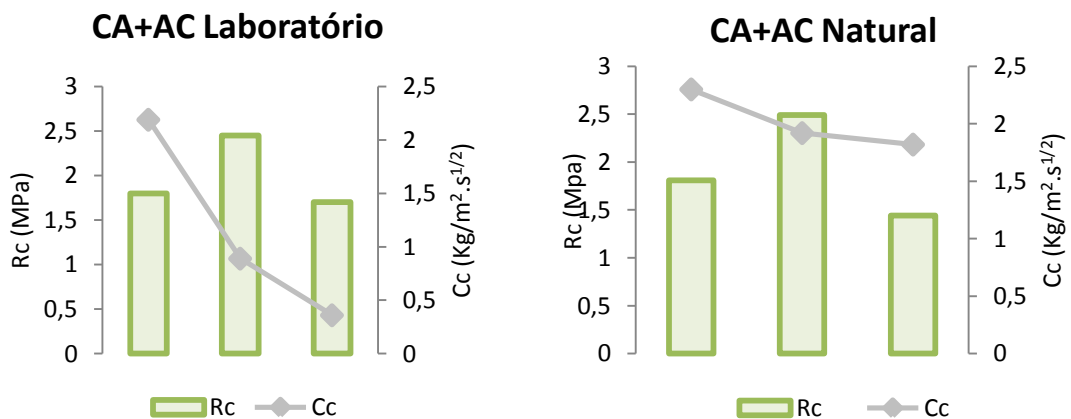


Figura 70 - Relação da resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade ao longo do tempo nas argamassas CA+AC, envelhecimento em laboratório e meio natural.

As figuras 70, 71, 72 e 73 mostram a relação entre a resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade de cada argamassa ao longo do tempo de cura, diferenciando o ambiente de cura, onde existe uma grande dispersão no modo como em cada argamassa a resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade estão relacionados.

Verifica-se que a diminuição da resistência à compressão em CA+AG, CA+AC e CA+AT (laboratório), aos 365 dias de idade está associada à diminuição do coeficiente de capilaridade relacionado com a diminuição de espaços vazios no interior das argamassas, diminuindo a dimensão dos poros.

Observa-se que o meio de envelhecimento das argamassas tem uma grande influência na relação existente entre a resistência à compressão e o coeficiente de capilaridade, assim como o tipo de areia presente na argamassa.

Resistência Mecânica e Massa Volúmica

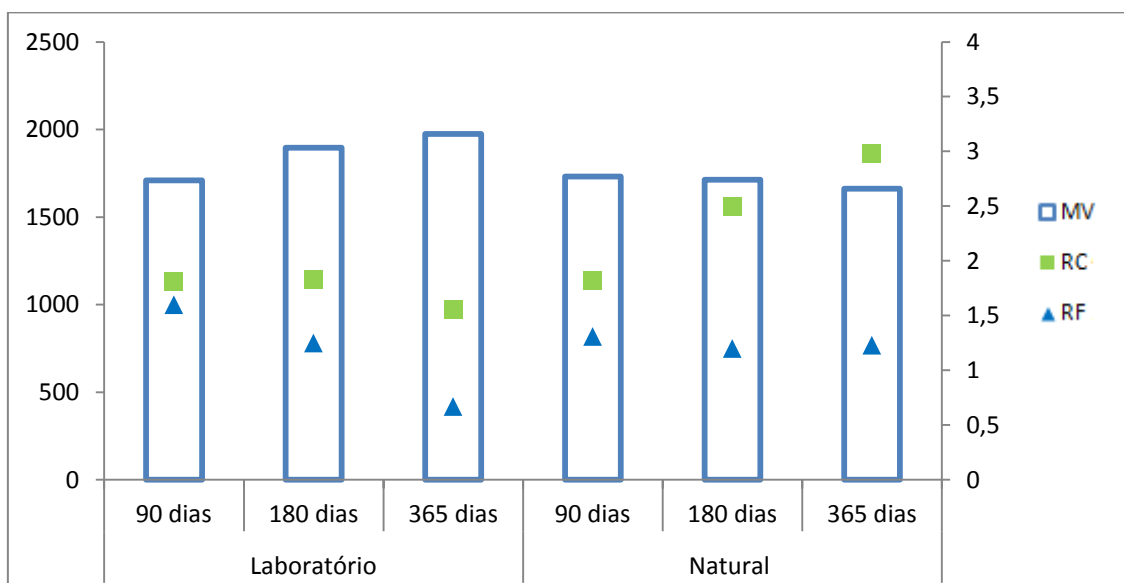


Figura 71 - Comparação entre as resistências mecânicas e a massa volúmica ao longo do tempo de CA+AT em envelhecimento laboratório e meio natural.

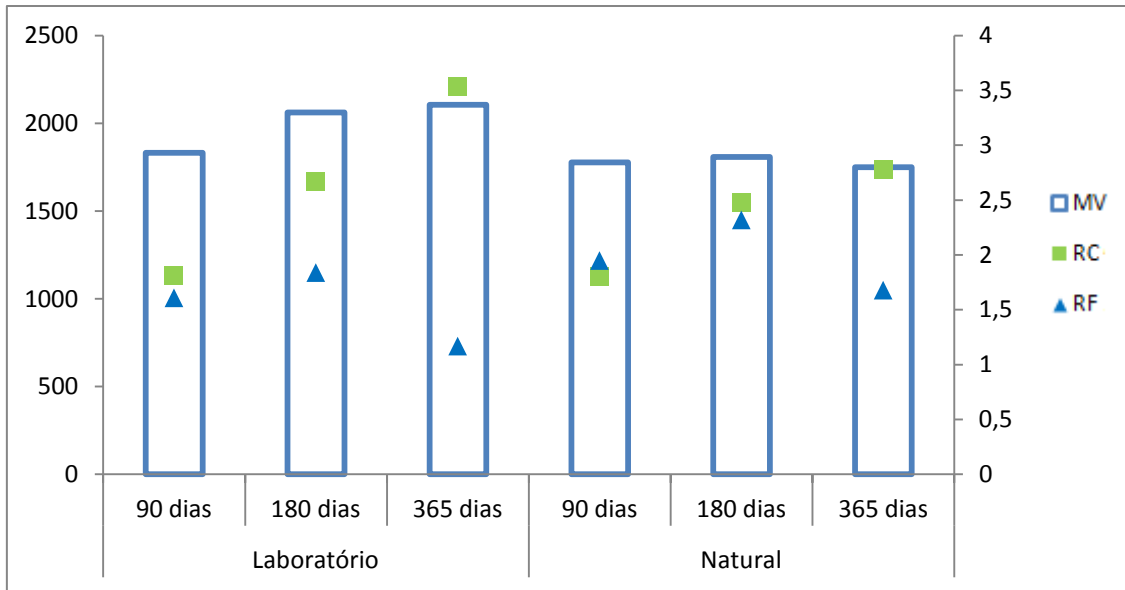


Figura 72 - Comparação entre as resistências mecânicas e a massa volúmica ao longo do tempo de CA+AB em envelhecimento laboratório e meio natural.

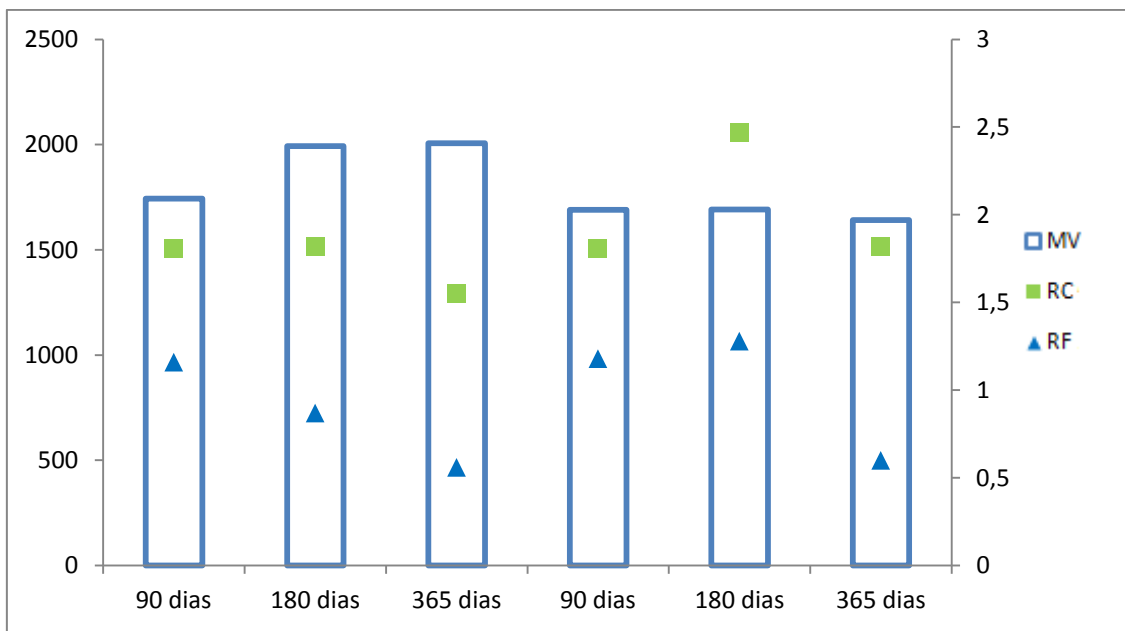


Figura 73 - Comparação entre as resistências mecânicas e a massa volúmica ao longo do tempo de CA+AG em envelhecimento laboratório e meio natural.

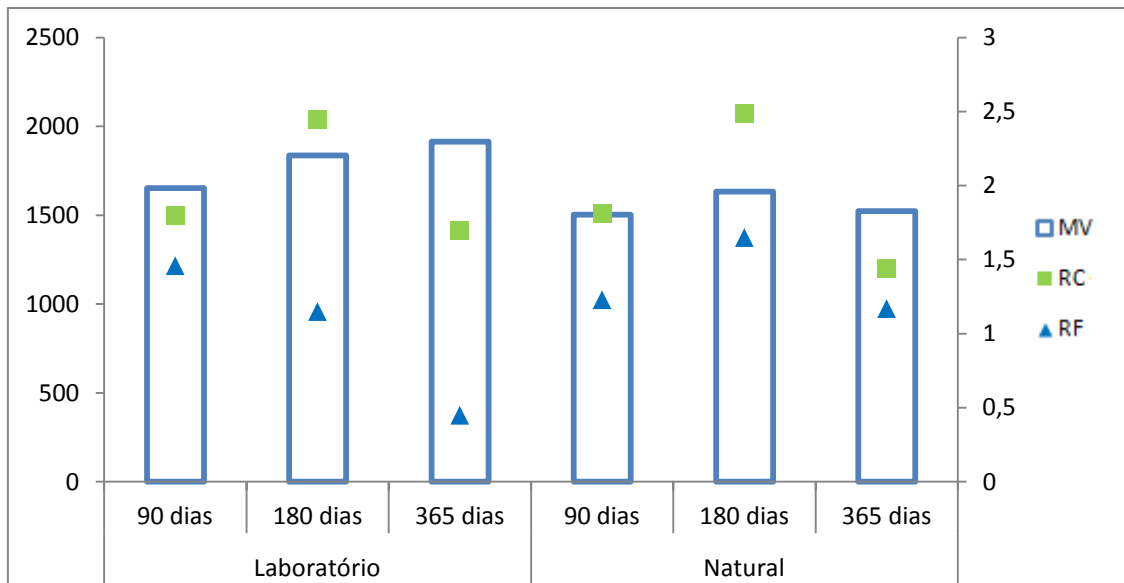


Figura 74 - Comparação entre as resistências mecânicas e a massa volúmica ao longo do tempo de CA+AC em envelhecimento laboratório e meio natural.

Aquando estabelecida uma comparação da massa volúmica com as resistências mecânica, através da figura 75, observa-se que em CA+AB à medida que a massa volúmica aumenta também se verifica um aumento ao longo do tempo das resistências mecânicas. Esta tendência está de acordo com o que seria de esperar, pois o aumento da massa volúmica torna as argamassas mais compactas, ficando mais resistentes.

Verifica-se que CA+AG Laboratório, CA+AC Laboratório e CA+AT, não seguem a tendência mencionada anteriormente.

No capítulo seguinte procede-se à apresentação das conclusões e apreciação geral dos resultados obtidos, sugerindo-se ainda algumas propostas para desenvolvimentos futuros.

5. Conclusões e Apreciação geral dos resultados

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste último capítulo é feita uma apreciação geral dos resultados, associada a breves conclusões obtidas no presente trabalho. Onde se pretende referir as contribuições do trabalho apresentado face aos objectivos inicialmente propostos, apresentando as perspectivas de desenvolvimento de trabalhos futuros neste domínio.

Estas argamassas foram seleccionadas com o intuito de responder ao principal foco de construção nos dias de hoje, reabilitação. Estudos similares verificaram que argamassas de cal aérea quando aplicadas como argamassas de substituição em edifícios antigos, apresentam boa compatibilidade [3] [17] [28] [42] [43].

A existência de construções antigas junto à orla costeira portuguesa, ressalva a importância de provar a viabilidade de utilização de argamassas que mostrem a compatibilidade com as construções existentes e durabilidade aquando sujeitas a ambiente marinho. Assim se compreende a importância deste trabalho, o qual estuda a influência dos vários tipos de agregados no desempenho das argamassas de cal aérea, aquando submetidas a condições de cura em laboratório e exposição natural sujeitas á acção de sais solúveis presente na água do mar.

Se a este objectivo se juntar o facto de se conseguir melhorar algumas características da argamassa de cal aérea, torna a importância do mesmo acrescida.

No estudo da evolução do desempenho no tempo das argamassas produzidas, apesar do mesmo traço volumétrico e consistência, verificaram-se diferenças no comportamento das quatro formulações. O meio de cura, foi outro factor que contribuiu para as diferenças significativas relativas a cada tipo de argamassa, esta evidência só se encontra presente em alguns ensaios.

Pela análise realizada por tipo de argamassa, pode observar-se o comportamento diversificado das argamassas relativamente às características analisadas. Não se evidencia uma argamassa melhor para todas as características estudadas ao longo do

tempo de cura das mesmas. Verificando-se isoladamente, para alguns ensaios, melhores resultados obtidos ao longo da idade de cura de algumas argamassas.

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.

Os resultados experimentais obtidos nos ensaios realizados no estado endurecido possibilitaram aferir um conjunto de conclusões, as quais se enunciam de seguida.

As condições de cura (meio natural e meio laboratório) têm uma influência significativa nas características das argamassas de cal aérea, nomeadamente a massa volúmica, e o módulo de elasticidade dinâmico.

Relativamente à massa volúmica verificou-se que o meio de cura teve uma influência preponderante, uma vez que as argamassas em condições de cura laboratório tinham um aumento ao longo da idade de cura, o que poderá estar relacionado com o preenchimento dos poros com sais. Por outro, em meio natural, dos 90 dias para os 365 dias de idade há um decréscimo da massa volúmica, o que poderá estar relacionado com a degradação dos provetes.

Nas argamassas onde se verifica um aumento da massa volúmica, há um decréscimo mais acentuado do módulo de elasticidade.

As areias mostram influenciar o comportamento das argamassas, pois interferem nas características destas exercendo um papel determinante no seu desempenho. Assim, o uso de areia basáltica, CA+AB, originou argamassas mais resistentes, menos porosas, conduzindo a argamassas mais fortes e menos susceptíveis à degradação. A argamassa CA+AB em ambiente de cura natural e laboratório, foi a que manifestou valores de resistência mecânica enquadrados dentro dos mais elevados ao longo de todas as idades de cura, tanto à flexão como à compressão. Mostrando maior resistência à erosão do vento, do mar e à pressão exercida pela cristalização dos sais. Para reforçar estas conclusões poderão ser efectuados outros ensaios, como difractometria de raio X e porosimetria de mercúrio.

No módulo de elasticidade dinâmico a argamassa com areia basáltica, CA+AB, em ambiente natural, tem os valores mais elevados em todas as idades de cura, no entanto

este pode ser considerado moderado tendo capacidade de acompanhar os movimentos do suporte.

Com base nos resultados obtidos nos ensaios efectuados e na informação acima mencionada verifica-se que CA+AB em laboratório é a argamassa que tem a menor quantidade de hidróxido de cálcio, pois tem valores de resistência à compressão mais elevados.

O estudo relativo ao comportamento face à água, evidenciou que as argamassas CA+AC apresentaram, aos 90 dias e 365 dias de idade, a maior capacidade de absorção de água por capilaridade, no entanto as diferenças observadas não são muito marcadas. O estudo permitiu verificar que a capacidade de absorção de água diminui nas argamassas sujeitas a ambiente de cura em laboratório, aquando comparadas com as argamassas em meio natural, verifica-se que nas primeiras o decréscimo da absorção de água por capilaridade é mais acentuado, evidenciando o possível preenchimento dos poros com sais cristalizados.

Na campanha experimental desenvolvida verificou-se que em argamassas com areia basáltica a diminuição do coeficiente de capilaridade associado ao preenchimento dos poros com sais cristalizados contribuíram para o aumento da resistência à compressão, não se verificando mecanismos de degradação devido à cristalização de sais, esta conclusão poderá ser reforçada com a elaboração de conclusões obtidas através da realização de ensaios, como, difractometria de raio X e porosimetria de mercúrio. [8]

Verificou-se que o comportamento das argamassas é influenciado pelo tipo de agregado, como seria expectável, a presença de argila na areia de Corroios contribui para dificultar o contacto dos grãos de areia com o ligante, o que pode ter conduzido a valores de resistência mecânica baixos. [28]

Salienta-se que a areia granítica conduziu, também, a baixas resistências, assim, aquando seleccionados os agregados é importante conhecer o modo como estes influenciam o comportamento das argamassas.

Relativamente aos meios de cura verificou-se que de modo geral os dois ambientes apresentam características distintas, as quais poderão ter desempenhado uma influência directa em algumas características analisadas no presente estudo. Este foi um factor

preponderante, influenciando de forma directa o desempenho das argamassas relativamente à absorção de água por capilaridade.

Aquando uma possível comparação dos resultados obtidos com os resultados de estudos semelhantes, verifica-se que, de um modo os valores obtidos apresentam algumas diferenças dos valores de referência. Estas diferenças podem estar relacionadas com as condições de cura e com o facto de no presente trabalho apenas ter sido utilizado um tipo de agregado, com granulometria corrigida e condições específicas.

No entanto, segundo a conclusão do estudo “Substitution mortars for application in historical buildings exposed tonthe sea environment. Analysis of the viability of several types of compositions.” [3], para se obter argamassas compatíveis com edifícios antigos em ambiente marinho, poderá utilizar-se argamassas de cal aérea com adição reduzida de cimento, uma vez que estas demostram ter uma maior durabilidade em ambientes agressivos, aquando comparadas com as argamassas de cal aérea. No entanto, a presença de sais no cimento poderá possibilitar a ocorrência de eventuais riscos.

Riscos estes que não se encontram associados ao presente trabalho, pois as argamassas em estudo não têm cimento na sua constituição. Salienta-se que algumas das argamassas em estudo apresentam valores das características estudadas similares aos valores obtidos em [3] para argamassas de cal aérea com adição reduzida de cimento. Assim as argamassas poderão ser aplicadas em locais sujeitos a condições mais susceptíveis a degradação.

O comportamento das argamassas é influenciado pela natureza do agregado porque se observa diferentes resultados nas argamassas, com os ensaios físicos e mecânicos realizados conclui-se que as argamassas com agregados basálticos têm melhores características mecânicas, no entanto para conclusões mais rigorosas poderão ser realizados outros ensaios, como, mais análises (difracometria de raio X, porosimetria de mercúrio) e mais tempos de cura.

Por outro lado, a influência do meio no desempenho das argamassas em sempre é evidente.

5.2. PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Após o término desta investigação há algumas questões que não foram completamente esclarecidas, as quais, poderão ser alvo de estudos futuros.

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

- Alargar o tempo de estudos pois as reacções da cal são lentas, uma vez que estas só atingem a resistência máxima e estabilidade a longo prazo.
- Realizar mais ensaios a fim de tornar as conclusões mais rigorosas, tais como, porosimetria de mercúrio para avaliação da estrutura porosa, ensaio de secagem, de modo a verificar qual a permeabilidade da argamassa e a capacidade de evaporação, morfologia microestrutural (microscopia óptica e electrónica) e difractometria de Raio X.
- Estudar particularmente a argamassa CA+AB, sobretudo MED aos 365 dias.

6. Referências Bibliográficas

- [1] MARGALHA, G. - Argamassas, Conservação e Recuperação do Património. Évora: Universidade de Évora. Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património.
- [2] AGOSTINHO, C. - Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Abril 2008.
- [3] VEIGA, M. R.; FRAGATA, A.; MAGALHÃES, A.; MARGALHA G.- Substitution mortars for application in historical buildings exposed to the sea environment. Analysis of the viability of several typer of compositions. Actas da 1st International conference MEDACHS 08 - Construction Heritage in Coastal and Marine Environments. Lisboa: LNEC, 28-30 de Janeiro de 2008.
- [4] PAIVA, M.J., SANTOS SILVA, A. - Aplicação da Caracterização Mineralógica no Estudo da Degradação de Argamassas Antigas. Relatório LNEC 196/04 – NM. Lisboa, Julho 2004.
- [5] MOROPOULOU, A. [et al]. - Composite materials in ancient structures. Cement and Concrete Composites 27, pp. 295-300, 2005c.
- [6] RODRIGUES, M. - Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, 2004.
- [7] MARQUES, S. - Estudo de argamassas de reabilitação de edifícios antigos, Évora: Universidade de Aveiro. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Materiais, 2005.
- [8] VEIGA, R. - Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Métodos e Materiais. Programa de Investigação e Programa de Pós-graduação apresentados para a obtenção do título de Habilitação para o Exercício de Funções de coordenação e investigação científica. Lisboa: LNEC, Maio de 2007.
- [9] SANTOS, G. - Direito do Património Cultural. Faculdade de Direito - Universidade do Porto.
- [10] GAZZOLA, P. - Carta Internacional para a Conservação e Restauro de Monumentos. 2º Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos de Monumentos Históricos. Veneza, 1964.
- [11] IV Congresso Internacional de Arquitetura Moderna, Atenas, 1933.

- [12] VEIGA, R. - As argamassas na conservação. In Actas das 1^{as} Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Avaliação e Reabilitação das Construções existentes., Aveiro. Colecção Comunicações, LNEC, Lisboa, p 1-26, 2003.
- [13] CARDOSO, M. - Cidade Romana de Ammaia: Estudo das argamassas. Évora: Universidade Nova de Lisboa. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Conservação e Restauração, Novembro 2011.
- [14] VON KONOW, T. - Reliable restoration mortars-requirements and composition. Proceedings of the 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, 3. Edited by A. Moropoulou, F. Zezza, E. Kolia, I. Papachristodoulou, Rhodes 6-11 , May 1997b, pp. pp. 415-425.
- [15] PAPAYIANNI, I.; STEFANIDOUT, M. - Repair mortars for monuments in Byzantine architecture. 5th Congress on Restoration of Architectural Heritage. Florença, 2000.
- [16] MOROPOULOU, A. [et al]. - Reverse engineering: a proper methodology for compatible restoration mortars. Proceedings of Workshop Repair Mortars for Historic Masonry, TC RMH. Delft: RILEM, 25-28 de Janeiro de 2005a.
- [17] LANAS, J.; ALVAREZ, J. J. - Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behaviour. Cement and Concrete Research, 33. Elsevier, 2003.
- [18] TEUTONICO, J.M. [et al] - The Smeaton Project: Factors affecting the properties of lime-based mortars. Bulletin of the Association for Preservation Technology 25 (3-4), 1994, pp. 32-49.
- [19] PAPAYIANNI - The longevity of old mortars. Appl. Phys. A 83, 2006, pp. 685-688.
- [20] MOROPOULOU, A. [et al] - Physico-chemical adhesion and cohesion bonds in joint mortars imparting durability to the historic structure. Construction and Building Materials 14, pp. 35-46, 2000.
- [21] DIAS, J. - A utilização das argamassas tradicionais em revestimento de alvenaria antiga. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Setembro de 2009.
- [22] FONTES, A. - Influência das condições de cura na carbonatação de. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Julho 2011.
- [23] ALGARVIO, M. - Influência da razão água/ligante nas características das argamassas de cal aérea para revocos de edifícios antigos. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico. Dissertação para obtenção do grau

de Mestre em Engenharia Civil, Outubro de 2010.

- [24] RODRIGUES, D. - Influência dos métodos de ensaio nas características de argamassas de cal aérea e hidráulica. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Julho 2010.
- [25] PAVIA, S.; TREACY, E. - A Comparative study of the durability and behaviour of fat lime and feebly-hydraulic lime mortars. *Materials and Structures* 39. 2006.
- [26] MASSENA, R. - Avaliação da evolução das características de argamassas de cal aérea com diferentes teores de metacaulino em exposição natural. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologias. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Julho 2011.
- [27] KANAN, M. - Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal. Brasília: DF : Iphan / Programa Monumenta, 2008.
- [28] VEIGA, R. [et al.] - Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, Artigo n.º 58, Novembro de 2007.
- [29] RATO, V. - Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, 2006.
- [30] HISTORIC SCOTLAND - Preparation and use of lime mortars - Technical Advice Note 1. Edinburgh: Historic Scotland, 1995.
- [31] Serna, A.; Rezende, M. – Agregados para a Construção Civil. DNPM/SEDE
- [32] MAGALHÃES, A. - Estudo comparativo de possíveis soluções de argamassas para revestimentos de paredes de edifícios antigos. 1º Congresso Nacional Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2005.
- [33] VEIGA, R. - Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos. Seminário “Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos”. Lisboa: LNEC, 14-15 de Fevereiro de 2005.
- [34] GOMES, A. - Caracterização de argamassas tradicionais utilizadas nos revestimentos exteriores dos edifícios. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 1995. Dissertação para pbtensão do grau de Doutor em Engenharia Civil.
- [35] HENRIQUES, E. - Comparative study of standard test procedures for mortars. 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stones Berlin, p 1521 - 1528, 1996.
- [36] BORGES, C.; SILVA SANTOS, A.; VEIGA, R.- Natural consolidation of ancient historic buildings mortars submitted to humid and marine environment: A

Microscopic Study. 13th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials. Ljubljana, Slovenia, 14-18 June 2011.

- [37] MALTA DA SILVEIRA, P.; VEIGA, R. - Eflorescências em estuques antigos, Lisboa. In *Ingenium*, 2ª Série nº68, Julho/Agosto de 2002.
- [38] LUBELLI, B. [et al] - Irreversible dilation of NaCl contaminated lime–cement mortar due to crystallization cycles. *Cement and Concrete Research*, 36, pp. 678 – 687, 2006.
- [39] RODRIGUES, P. - Estudo comparativo de diferentes argamassas tradicionais de cal aérea e areia. Lisboa.
- [40] BARRETO, M. - Durabilidade de argamassas de cal aérea e bastardas face à acção de sais solúveis. Lisboa: Universidade Nova - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, 2010.
- [41] VEIGA, R.; CARVALHO, F. - Argamassas de reboco para paredes de edifícios de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar. Lisboa: LNEC, Caderno de Edifícios nº2, Outubro 2002.
- [42] VEIGA, M. R. - Argamassas de cal na conservação de edifícios antigos. Lisboa: LNEC, Comunicação COM 117, 21 de Junho 2005.
- [43] VEIGA, M. R. - Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações mais correntes. Actas 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: LNEC, Maio de 2003.
- [44] DUFFY, A.; COOPER, T.; PERRY, S. – Repointing mortars for conservation of a historic stone building in Trinity College. *Materials and Structures*, nº 26, 1993.
- [45] VÁLEK, J.; HUGHES, J.; BARTOS, P. – Compatibility of historic and modern lime mortars. *Proceedings of the 12th International Masonry Conference*. Madrid, Junho de 2000.
- [46] VEIGA, R.; CARVALHO, F. - Argamassas de Revestimento na Reabilitação do Património Urbano. Actas 2º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: NEC, pp. Vol I, p 195 - 206.
- [47] EN 459-1. Building lime. Definitions, specifications and conformity criteria. [Brussels]: European Committee for Standardization (CEN), 2010.
- [48] EN 1015-1. Methods of test for mortar for masonry – Part1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis). [Brussels]: European Committee for Standardization (CEN). Outubro de 1998.
- [49] EN 1015-2. Methods of test for mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. [Brussels]: European Committee for

Standardization (CEN). Outubro de 1998/A1:2006.

- [50] EN 1015-3. Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). [Brussels]: European Committee for Standardization (CEN). Fevereiro de 1999.
- [51] EN 1015-10. Methods of test for mortar for masonry – Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar. [Brussels]: European Committee for Standardization (CEN). Agosto de 1999.
- [52] EN 1015-11. Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. [Brussels]: European Committee for Standardization (CEN). Agosto de 1999.
- [53] EN 1015-18. Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. [Brussels]: European Committee for Standardization (CEN), 2002.
- [54] CRUZ, N. - Estudo da influência da granulometria das areias no desempenho de rebocos de ligante hidráulico. Lisboa: Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Outubro de 2008.
- [55] SILVA, N.; CAMPITELLI, V. - Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia em Ambiente Construído. V. 8, n. 4, pp. 21-35, Porto Alegre Outubro 2008.
- [56] PENAS, F. - Argamassas de Cal Hidraulica para Revestimentos de Paredes. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Novembro de 2008.
- [57] BOTAS, S.; RATO, V. - Influência da introdução de ar no comportamento de argamassas aos ciclos gelo/degelo. Atas do 3º Congresso Português de Argamassas de Construção. Lisboa, 18-19 de Março de 2010.
- [58] DUFFY, A.; COOPER, T.; PERRY, S. - Repointing mortars for conservation of a historic stone building in Trinity College. Materials and Struct6 nº26, 1993.
- [59] VÁLEK, J.; HUGHES, J.; BARTOS, P. - Compatibility of historic and modern lime mortars. 12th International Masonry Conference, Madrid, Junho de 2000.
- [60] MAGALHÃES, A. - Patologia de rebocos antigos. Lisboa: LNEC, Caderno de edificios, nº2, Outubro 2002.
- [61] MARGALHA, G.; VEIGA, R.; BRITO, J. - Algumas vantagens do uso da cal em pasta em revestimentos. 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de edificios, Patorreb, Porto, 2006.

ANEXOS

ANEXO A1 – Caracterização dos constituintes das argamassas

A1. Análise granulométrica dos agregados

Nas tabelas apresentam-se os resultados obtidos em cada areia utilizada na análise granulométrica.

Identificação da amostra	Areia Basáltica	
Fracções	% material retido	% material que passa
5	0,02	99,98
2,5	16,18	83,80
1,25	32,17	51,64
0,63	19,29	32,34
0,315	12,22	20,12
0,16	6,92	13,20
0,075	4,34	8,86
0	8,86	0,00

Identificação da amostra	Areia Corroios	
Fracções	% material retido	% material que passa
5	2,04	97,96
2,5	10,63	87,33
1,25	30,07	57,26
0,63	32,87	24,40
0,315	15,35	9,05
0,16	5,26	3,79
0,075	1,54	2,25
0	2,25	0,00

Identificação da amostra	Areia Tejo	
Fracções	% material retido	% material que passa
5	0,51	99,49
2,5	1,12	98,37
1,25	10,69	87,68
0,63	47,79	39,89
0,315	35,36	4,53
0,16	4,37	0,16
0,075	0,08	0,08
0	0,08	0,00

Identificação da amostra	Areia Granítica	
Fracções	% material retido	% material que passa
5	0,01	99,99
2,5	2,47	97,52
1,25	10,30	87,22
0,63	18,15	69,07
0,315	25,01	44,07
0,16	24,93	19,14
0,075	12,19	6,95
0	6,95	0,00

ANEXO A2 – Caracterização das argamassas no estado endurecido

Resultados referente ao ensaio de massa volúmica

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]		Altura [mm]		Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]
		Valores	Média	Valores	Média		
4	157,68	39,43	39,33	39,29	39,62	448,37	1824,67
		39,26		39,53			
		39,31		40,04			
5	157,66	39,39	39,49	39,36	39,64	453,63	1838,21
		39,58		39,48			
		39,50		40,07			
6	157,79	39,43	39,47	39,47	39,48	451,04	1834,23
		39,54		39,40			
		39,44		39,58			
Média = 1832,97 Kg/m ³							
Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]		Altura [mm]		Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]
		Valores	Média	Valores	Média		
11	157,49	40,03	39,82	39,78	38,59	515,28	2129,01
		39,66		39,35			
		39,77		36,65			
12	157,59	39,63	39,64	40,38	40,22	516,82	2056,83
		39,78		40,09			
		39,51		40,20			
13	157,64	40,12	39,75	40,04	39,56	495,51	1998,74
		39,54		39,43			
		39,60		39,21			

Média = 2061,53 Kg/m ³							
Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
17	157,78	41,33	40,91	40,33	40,34	544,26	2089,86
		40,80		40,31			
		40,61		40,39			
18	157,83	41,61	40,78	40,27	39,95	546,41	2125,21
		40,26		40,11			
		40,47		39,46			
19	157,76	40,64	40,64	40,79	40,18	540,43	2097,87
		40,97		40,04			
		40,32		39,70			
Média = 2104,31 Kg/m ³							

Resultados referente ao ensaio de Módulo de Elasticidade Dinâmico

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
4	157,68	39,33	39,62	448,37	1824,67	6060,60	6665,45
5	157,66	39,49	39,64	453,63	1838,21	6386,20	7453,91
6	157,79	39,47	39,48	451,04	1834,23	6228,60	7086,87

Média = 7068,74 MPa

Ensaio aos 180 dias

Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
11	157,49	39,82	38,59	515,28	2129,01	5310,20	5956,13
12	157,59	39,64	40,22	516,82	2056,83	5398,50	5954,74
13	157,64	39,75	39,56	495,51	1998,74	6296,40	7876,51

Média = 6595,79 MPa

Ensaio aos 365 dias

Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
17	157,78	40,91	40,34	544,26	2089,86	2507,40	1308,37
18	157,83	40,78	39,95	546,41	2125,21	1712,80	621,23
19	157,76	40,64	40,18	540,43	2097,87	1761,50	648,03

Média = 859,21 MPa

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Flexão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
4	39,43	39,33	39,29	39,62	867	2,25
	39,26		39,53			
	39,31		40,04			
5	39,39	39,49	39,36	39,64	1199	3,09
	39,58		39,48			
	39,50		40,07			
6	39,43	39,47	39,47	39,48	953	2,48
	39,54		39,40			
	39,44		39,58			
Média = 2,61 MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
11	40,03	39,82	39,78	38,59	481	1,30
	39,66		39,35			
	39,77		36,65			
12	39,63	39,64	40,38	40,22	623	1,55
	39,78		40,09			
	39,51		40,20			
13	40,12	39,75	40,04	39,56	1033	2,66
	39,54		39,43			
	39,60		39,21			
Média = 1,84 MPa						

Ensaio aos 365 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
17	41,33	40,91	40,33	40,34	432	1,04
	40,80		40,31			
	40,61		40,39			
18	41,61	40,78	40,27	39,95	538	1,32
	40,26		40,11			
	40,47		39,46			
19	40,64	40,64	40,79	40,18	477	1,16
	40,97		40,04			
	40,32		39,70			
Média = 1,17 MPa						

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Compressão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
4	39,62	1584,80	2727	2669	2698	1,70
5	39,64	1585,47	2695	2883	2789	1,76
6	39,54	1581,60	2868	3001	2934,5	1,86
Média = 1,81 MPa						
Ensaio aos 180 dias						

Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
11	38,59	1543,73	4366	5084	4725	3,06
12	40,22	1608,93	3854	4109	3981,5	2,47
13	39,55	1582,00	3721	4086	3903,5	2,47
Média = 2,67 MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
17	40,34	1613,73	6180	2994	4587	2,84
18	39,95	1597,87	4715	5281	4998	3,13
19	40,18	1607,07	7349	5375	6362	3,96
Média = 3,54 MPa						

Resultados referentes ao ensaio de capilaridade

90 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	1				2				3				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	442,4	0	0,0000	0,0000	441,46	0	0	0,0000	443,17	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	454,6	12,2	0,0122	7,8811	452,35	10,89	0,01089	7,1199	453,72	10,55	0,01055	6,8752	7,2921
30	5,4772	461,28	18,88	0,0189	12,1964	458,97	17,51	0,01751	11,4481	459,8	16,63	0,01663	10,8373	11,4939
60	7,7460	467,9	25,5	0,0255	16,4728	465,39	23,93	0,02393	15,6455	466,49	23,32	0,02332	15,1970	15,7718
90	9,4868	473,51	31,11	0,0311	20,0969	470,6	29,14	0,02914	19,0518	471,96	28,79	0,02879	18,7617	19,3035
180	13,4164	485,2	42,8	0,0428	35,5103	481,37	39,91	0,03991	26,0933	482,94	39,77	0,03977	25,9171	29,1736
300	17,3205	497,37	54,97	0,0550	35,5103	492,88	51,42	0,05142	33,6185	494,02	50,85	0,05085	33,1376	34,0888
480	21,9089	509,22	66,82	0,0668	43,1653	504,6	63,14	0,06314	41,2811	505,54	62,37	0,06237	40,6449	41,6971
1440	37,9473	512,94	70,54	0,0705	45,5684	510,95	69,49	0,06949	45,4327	512,07	68,9	0,0689	44,9004	45,3005
2880	53,6656	513,24	70,84	0,0708	45,7622	511,25	69,79	0,06979	45,6289	512,39	69,22	0,06922	45,1089	45,5000
5760	75,8947	513,45	71,05	0,0711	45,8979	511,47	70,01	0,07001	45,7727	512,59	69,42	0,06942	45,2392	45,6366

180 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	7				8				9				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	474,6	0	0,0000	0,0000	497,22	0	0	0,0000	487,77	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	484,17	9,57	0,0096	6,0858	503,5	6,28	0,00628	3,9222	494,58	6,81	0,00681	4,3482	4,7854
30	5,4772	489,53	14,93	0,0149	9,4943	507,85	10,63	0,01063	6,6389	499,05	11,28	0,01128	7,2022	7,7785
60	7,7460	495,43	20,83	0,0208	13,2463	512,5	15,28	0,01528	9,5431	503,61	15,84	0,01584	10,1138	10,9677
90	9,4868	499,43	24,83	0,0248	15,7900	515,48	18,26	0,01826	11,4042	506,57	18,8	0,0188	12,0037	13,0660
180	13,4164	509,53	34,93	0,0349	28,6293	523	25,78	0,02578	16,1008	514,48	26,71	0,02671	17,0542	20,5948
300	17,3205	519,62	45,02	0,0450	28,6293	536,69	39,47	0,03947	24,6509	522,78	35,01	0,03501	22,3537	25,2113
480	21,9089	529,41	54,81	0,0548	34,8550	537,46	40,24	0,04024	25,1318	530,69	42,92	0,04292	27,4043	29,1304
1440	37,9473	533,79	59,19	0,0592	37,6403	539,54	42,32	0,04232	26,4309	533,84	46,07	0,04607	29,4155	31,1622
2880	53,6656	534,11	59,51	0,0595	37,8438	539,8	42,58	0,04258	26,5932	534,18	46,41	0,04641	29,6326	31,3566
5760	75,8947	534,65	60,05	0,0601	38,1872	540,26	43,04	0,04304	26,8805	534,61	46,84	0,04684	29,9072	31,6583

365 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	17				18				19				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	535,43	0	0,0000	0,0000	533,88	0	0	0,0000	543,09	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	536,44	1,01	0,0010	0,6094	535,22	1,34	0,00134	0,8481	544,72	1,63	0,00163	1,0236	0,8271
30	5,4772	537,39	1,96	0,0020	1,1827	536,31	2,43	0,00243	1,5380	545,7	2,61	0,00261	1,6391	1,4532
60	7,7460	538,1	2,67	0,0027	1,6111	537,18	3,3	0,0033	2,0886	546,53	3,44	0,00344	2,1603	1,9533
90	9,4868	538,48	3,05	0,0031	1,8404	537,73	3,85	0,00385	2,4367	547,09	4	0,004	2,5120	2,2630
180	13,4164	539,1	3,67	0,0037	2,3472	538,52	4,64	0,00464	2,9367	547,98	4,89	0,00489	3,0709	2,7849
300	17,3205	539,32	3,89	0,0039	2,3472	538,82	4,94	0,00494	3,1266	548,31	5,22	0,00522	3,2781	2,9173
480	21,9089	539,36	3,93	0,0039	2,3714	538,96	5,08	0,00508	3,2152	548,49	5,4	0,0054	3,3911	2,9926
1440	37,9473	539,51	4,08	0,0041	2,4619	539,07	5,19	0,00519	3,2848	548,85	5,76	0,00576	3,6172	3,1213
2880	53,6656	539,49	4,06	0,0041	2,4498	539,07	5,19	0,00519	3,2848	548,85	5,76	0,00576	3,6172	3,1173
5760	75,8947	539,51	4,08	0,0041	2,4619	539,05	5,17	0,00517	3,2722	548,94	5,85	0,00585	3,6737	3,1359

CA+AB envelhecimento em Meio Natural

Resultados referente ao ensaio de Massa Volúmica

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
25	157,14	39,52	39,38	39,96	40,07	443,26	1787,62
		39,30		40,10			
		39,33		40,14			
26	157,51	39,60	39,47	40,21	40,01	441,27	1773,88
		39,36		39,78			
		39,46		40,04			
27	157,29	39,55	39,48	40,05	40,04	440,52	1771,57
		39,45		40,13			
		39,44		39,95			
Média = 1777,69 Kg/m ³							
Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
22	156,69	39,39	39,37	40,25	40,29	446,08	1794,62
		39,37		40,06			
		39,35		40,57			
23	157,17	39,33	39,34	39,52	39,88	446,07	1808,87
		39,31		39,83			
		39,39		40,29			
24	156,87	39,34	39,38	39,72	39,63	444,95	1817,79
		39,31		39,73			
		39,48		39,43			
Média = 1807,09 Kg/m ³							

Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
14	157,25	39,40	39,24	39,90	39,64	425,37	1739,06
		39,10		39,37			
		39,21		39,66			
15	156,9	39,69	39,48	39,60	39,52	432,65	1767,49
		39,40		39,34			
		39,34		39,62			
16	157,11	38,92	39,16	39,20	38,87	417,02	1744,09
		39,20		38,65			
		39,35		38,75			
Média = 1750,21 Kg/m ³							

Resultados referente ao ensaio de Módulo de Elasticidade Dinâmico

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
25	157,14	39,38	40,07	443,26	1787,62	5653,00	5642,45
26	157,51	39,47	40,01	441,27	1773,88	5708,80	5737,07
27	157,29	39,48	40,04	440,52	1771,57	5705,50	5706,99
Média = 5695,50 MPa							

Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
22	156,69	39,37	40,29	446,08	1794,62	5886,80	6107,65
23	157,17	39,34	39,88	446,07	1808,87	5978,10	6387,53
24	156,87	39,38	39,63	444,95	1817,79	5928,10	6288,05
Média = 6261,07 MPa							
Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
14	157,25	39,24	39,64	425,37	1739,06	5930,20	6049,14
15	156,9	39,48	39,52	432,65	1767,49	5845,50	5947,10
16	157,11	39,16	38,87	417,02	1744,09	5873,60	5940,82
Média = 5979,02 MPa							

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Flexão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força [N]	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média		
25	39,52	39,38	39,96	40,07	718	1,82
	39,30		40,10			
	39,33		40,14			
26	39,60	39,47	40,21	40,01	792	2,01
	39,36		39,78			
	39,46		40,04			
27	39,55	39,48	40,05	40,04	803	2,03
	39,45		40,13			
	39,44		39,95			
Média = 1,95 MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força [N]	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média		
22	39,39	39,37	40,25	40,29	814	2,04
	39,37		40,06			
	39,35		40,57			
23	39,33	39,34	39,52	39,88	973	2,49
	39,31		39,83			
	39,39		40,29			
24	39,34	39,38	39,72	39,63	935	2,42
	39,31		39,73			
	39,48		39,43			
Média = 2,32 MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão

					[N]	[N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média		
14	39,40	39,24	39,90	39,64	574	1,49
	39,10		39,37			
	39,21		39,66			
15	39,69	39,48	39,60	39,52	399	1,04
	39,40		39,34			
	39,34		39,62			
16	38,92	39,16	39,20	38,87	928	2,51
	39,20		38,65			
	39,35		38,75			
Média = 1,68 MPa						

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Compressão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Altura	Área [mm ²]	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]		esq	dto	Média	
25	40,07	1602,67	2727	2669	2698	1,68
26	40,01	1600,40	2695	2883	2789	1,74
27	39,54	1581,60	2868	3001	2934,5	1,86
Média = 1,80 MPa						
Ensaio aos 180 dias						

Provete	Altura	Área [mm ²]	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]		esq	dto	Média	
22	40,29	1611,73	4366	5084	4725	2,93
23	39,88	1595,20	3854	4109	3981,5	2,50
24	39,55	1582,00	3721	4086	3903,5	2,47
Média = 2,48 MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Altura	Área [mm ²]	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]		esq	dto	Média	
14	39,64	1585,73	4030	5111	4570,5	2,88
15	39,52	1580,80	4579	5105	4842	3,06
16	38,87	1554,67	4031	3749	3890	2,50
Média = 2,78 MPa						

Resultados referentes ao ensaio de Absorção de água por Capilaridade

90 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	22				23				24				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	439,94	0	0,0000	0,0000	440,6	0	0	0,0000	440,42	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	454,04	14,1	0,0141	8,9398	455,33	14,73	0,01473	9,1085	458,06	17,64	0,01764	11,2546	9,7676
30	5,4772	462,42	22,48	0,0225	14,2530	462,01	21,41	0,02141	13,2391	465,28	24,86	0,02486	15,8611	14,4511
60	7,7460	470,99	31,05	0,0311	19,6866	469,65	29,05	0,02905	17,9634	473,4	32,98	0,03298	21,0418	19,5640
90	9,4868	477,94	38	0,0380	24,0932	476,5	35,9	0,0359	22,1992	480,48	40,06	0,04006	25,5590	23,9504
180	13,4164	491,26	51,32	0,0513	40,6921	489,33	48,73	0,04873	30,1328	493,51	53,09	0,05309	33,8723	34,8991
300	17,3205	504,12	64,18	0,0642	40,6921	509,14	68,54	0,06854	42,3825	507,12	66,7	0,0667	42,5557	41,8768
480	21,9089	516,85	76,91	0,0769	48,7633	516,08	75,48	0,07548	46,6740	516,94	76,52	0,07652	48,8211	48,0861
1440	37,9473	519,47	79,53	0,0795	50,4245	519,48	78,88	0,07888	48,7764	518,07	77,65	0,07765	49,5420	49,5810
2880	53,6656	519,74	79,8	0,0798	50,5956	519,54	78,94	0,07894	48,8135	518,35	77,93	0,07793	49,7207	49,7099
5760	75,8947	519,94	80	0,0800	50,7224	519,71	79,11	0,07911	48,9186	518,57	78,15	0,07815	49,8610	49,8340

180 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	28				29				30				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	445,7	0	0,0000	0,0000	445,54	0	0	0,0000	446,02	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	460,96	15,26	0,0153	9,5839	457,68	12,14	0,01214	7,7262	455,35	9,33	0,00933	5,9496	7,7532
30	5,4772	467,57	21,87	0,0219	13,7352	463,55	18,01	0,01801	11,4621	462,04	16,02	0,01602	10,2158	11,8043
60	7,7460	474,78	29,08	0,0291	18,2633	469,84	24,3	0,0243	15,4652	469,21	23,19	0,02319	14,7880	16,1722
90	9,4868	479,59	33,89	0,0339	21,2842	474,15	28,61	0,02861	18,2082	473,98	27,96	0,02796	17,8298	19,1074
180	13,4164	491,87	46,17	0,0462	36,9349	485,43	39,89	0,03989	25,3871	486,46	40,44	0,04044	25,7882	29,3701
300	17,3205	504,51	58,81	0,0588	36,9349	497,23	51,69	0,05169	32,8969	499,28	53,26	0,05326	33,9634	34,5984
480	21,9089	516,55	70,85	0,0709	44,4965	509,09	63,55	0,06355	40,4449	511,69	65,67	0,06567	41,8771	42,2728
1440	37,9473	522,24	76,54	0,0765	48,0700	520,55	75,01	0,07501	47,7384	521,77	75,75	0,07575	48,3050	48,0378
2880	53,6656	522,61	76,91	0,0769	48,3024	521,01	75,47	0,07547	48,0311	522,24	76,22	0,07622	48,6047	48,3128
5760	75,8947	523,04	77,34	0,0773	48,5724	521,56	76,02	0,07602	48,3812	522,81	76,79	0,07679	48,9682	48,6406

365 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	14				15				16				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	426,18	0	0,0000	0,0000	434,12	0	0	0,0000	433,79	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	442,19	16,01	0,0160	10,3504	452,85	18,73	0,01873	11,9954	449,92	16,13	0,01613	10,4330	10,9263
30	5,4772	447,77	21,59	0,0216	13,9578	458,95	24,83	0,02483	15,9020	455,49	21,7	0,0217	14,0357	14,6319
60	7,7460	453,67	27,49	0,0275	17,7722	465,55	31,43	0,03143	20,1289	461,67	27,88	0,02788	18,0330	18,6447
90	9,4868	457,67	31,49	0,0315	20,3582	470,09	35,97	0,03597	23,0365	465,86	32,07	0,03207	20,7431	21,3792
180	13,4164	468,98	42,8	0,0428	35,0983	482,22	48,1	0,0481	30,8050	477,56	43,77	0,04377	28,3107	31,4047
300	17,3205	480,47	54,29	0,0543	35,0983	493,81	59,69	0,05969	38,2277	489,21	55,42	0,05542	35,8460	36,3906
480	21,9089	493,41	67,23	0,0672	43,4639	505,39	71,27	0,07127	45,6439	502,76	68,97	0,06897	44,6102	44,5727
1440	37,9473	495,83	69,65	0,0697	45,0284	506,33	72,21	0,07221	46,2459	505,08	71,29	0,07129	46,1108	45,7951
2880	53,6656	495,77	69,59	0,0696	44,9896	506,31	72,19	0,07219	46,2331	505,08	71,29	0,07129	46,1108	45,7779
5760	75,8947	495,86	69,68	0,0697	45,0478	506,3	72,18	0,07218	46,2267	505	71,21	0,07121	46,0591	45,7779

Resultados referente ao ensaio de Massa Volúmica

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
4	156,11	39,45	39,41	39,92	39,81	406,05	1657,73
		39,40		39,49			
		39,38		40,03			
5	156,44	39,53	39,40	39,29	39,65	403,59	1651,40
		39,29		39,77			
		39,37		39,90			
6	156,83	39,26	39,22	39,70	39,88	404,36	1648,45
		39,16		39,85			
		39,24		40,09			
Média = 1652,53 kg/m ³							
Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
10	157,13	39,66	39,57	40,95	40,81	489,18	1927,87
		39,46		40,64			
		39,59		40,84			
11	157,28	39,89	39,76	41,17	40,94	459,99	1796,42
		39,76		40,89			
		39,64		40,77			
12	157,35	39,97	39,98	40,64	40,53	455,4	1786,25
		39,91		40,53			
		40,05		40,42			
Média = 1836,85 kg/m ³							

Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
13	158,76	39,16	39,70	40,90	41,10	504,35	1946,81
		39,82		40,71			
		40,12		41,70			
14	157,3	40,76	40,23	41,79	41,49	494,19	1882,07
		40,09		42,16			
		39,85		40,52			
15	157,58	40,40	40,31	40,79	41,11	498,66	1909,60
		40,06		40,44			
		40,48		42,09			
Média = 1912,83 kg/m ³							

Resultados referente ao ensaio de Módulo de Elasticidade Dinâmico

Ensaio aos 90 dias							
Provet e	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
4	156,11	39,41	39,81	406,05	1657,73	5808,10	5451,34
5	156,44	39,40	39,93	403,59	1640,10	5616,30	5064,38
6	156,83	39,22	39,88	404,36	1648,45	5629,50	5139,66
Média = 5218,46 MPa							

Ensaio aos 180 dias							
Provet e	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
10	157,13	39,57	40,81	489,18	1927,87	4820,40	4424,06
11	157,28	39,76	40,94	459,99	1796,42	4089,80	2973,17
12	157,35	39,98	40,53	455,4	1786,25	4398,80	3422,99
Média = 3606,74 MPa							
Ensaio aos 365 dias							
Provet e	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
13	158,76	39,70	41,10	504,35	1946,81	4609,70	4170,72
14	157,3	40,23	41,49	494,19	1882,07	4176,70	3249,52
15	157,58	40,31	41,11	498,66	1909,60	3910,40	2900,33
Média = 3440,19 MPa							

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Flexão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
4	39,45	39,41	39,92	39,81	503	1,29
	39,40		39,49			
	39,38		40,03			
5	39,53	39,40	39,29	39,65	628	1,62
	39,29		39,77			
	39,37		39,90			
6	39,26	39,22	39,70	39,88	574	1,47
	39,16		39,85			
	39,24		40,09			
Média = 1,46 MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
10	39,66	39,57	40,95	40,81	381	0,93
	39,46		40,64			
	39,59		40,84			
11	39,89	39,76	41,17	40,94	446	1,07
	39,76		40,89			
	39,64		40,77			
12	39,97	39,98	40,64	40,53	592	1,44
	39,91		40,53			
	40,05		40,42			
Média = 1,15 MPa						
Ensaio aos 365 dias						

Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
13	39,16	39,70	40,90	41,10	216	0,52
	39,82		40,71			
	40,12		41,70			
14	40,76	40,23	41,79	41,49	164	0,38
	40,09		42,16			
	39,85		40,52			
15	40,40	40,31	40,79	41,11	196	0,46
	40,06		40,44			
	40,48		42,09			
Média = 0,45 MPa						

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Compressão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Altura	Área [mm ²]	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]		esq	dto	Média	
4	39,81	1592,53	2727	2669	2698	1,69
5	39,93	1597,07	2695	2883	2789	1,75
6	39,54	1581,60	2868	3001	2934,5	1,86
Média = 1,80 MPa						

Ensaio aos 180 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
10	40,81	1632,40	4366	5084	4725	2,89
11	40,94	1637,73	3854	4109	3981,5	2,43
12	39,55	1582,00	3721	4086	3903,5	2,47
Média = 2,45 MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
13	41,10	1644,13		3508	3508	2,13
14	41,49	1659,60	2913	2429	2671	1,61
15	41,11	1644,27	2991	2902	2946,5	1,79
Média = 1,70 MPa						

90 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	1				2				3				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	399,68	0	0,0000	0,0000	398,34	0	0	0,0000	406,21	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	413,71	14,03	0,0140	9,0105	412,74	14,4	0,0144	9,2927	420,08	13,87	0,01387	8,9305	9,0779
30	5,4772	421,42	21,74	0,0217	13,9622	420,34	22	0,022	14,1972	427,54	21,33	0,02133	13,7337	13,9644
60	7,7460	429,83	30,15	0,0302	19,3633	429,04	30,7	0,0307	19,8115	436,2	29,99	0,02999	19,3096	19,4948
90	9,4868	435,41	35,73	0,0357	22,9470	434,77	36,43	0,03643	23,5093	442,05	35,84	0,03584	23,0762	23,1775
180	13,4164	448,37	48,69	0,0487	39,2983	448,32	49,98	0,04998	32,2534	455,2	48,99	0,04899	31,5431	34,3649
300	17,3205	460,87	61,19	0,0612	39,2983	461,65	63,31	0,06331	40,8557	468,45	62,24	0,06224	40,0744	40,0761
480	21,9089	468,42	68,74	0,0687	44,1471	468,03	69,69	0,06969	44,9728	475,57	69,36	0,06936	44,6587	44,5929
1440	37,9473	469,06	69,38	0,0694	44,5582	468,58	70,24	0,07024	45,3278	476,2	69,99	0,06999	45,0644	44,9834
2880	53,6656	469,39	69,71	0,0697	44,7701	468,94	70,6	0,0706	45,5601	476,5	70,29	0,07029	45,2575	45,1959
5760	75,8947	469,22	69,54	0,0695	44,6609	468,76	70,42	0,07042	45,4439	476,27	70,06	0,07006	45,1094	45,0714

180 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	15				17				18				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	457,38	0	0,0000	0,0000	489,8	0	0	0,0000	468,44	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	463,57	6,19	0,0062	3,9683	490,45	0,65	0,0065	0,4153	469,35	0,91	0,00091	0,5764	1,6534
30	5,4772	469,87	12,49	0,0125	8,0072	492,28	2,48	0,00248	1,5847	471,72	3,28	0,00328	2,0775	3,8898
60	7,7460	475,78	18,4	0,0184	11,7960	494,02	4,22	0,00422	2,6966	474,04	5,6	0,0056	3,5470	6,0132
90	9,4868	479,43	22,05	0,0221	14,1360	495,09	5,29	0,00529	3,3803	475,48	7,04	0,00704	4,4590	7,3251
180	13,4164	488,1	30,72	0,0307	25,5409	497,45	7,65	0,00765	4,8883	478,94	10,5	0,0105	6,6506	12,3599
300	17,3205	497,22	39,84	0,0398	25,5409	498,87	9,07	0,00907	5,7957	481,41	12,97	0,01297	8,2150	13,1839
480	21,9089	497,48	40,1	0,0401	25,7076	499,12	9,32	0,00932	5,9554	482,38	13,94	0,01394	8,8294	13,4975
1440	37,9473	497,73	40,35	0,0404	25,8679	499,14	9,34	0,00934	5,9682	482,63	14,19	0,01419	8,9878	13,6080
2880	53,6656	497,95	40,57	0,0406	26,0089	498,99	9,19	0,00919	5,8724	482,68	14,24	0,01424	9,0194	13,6336
5760	75,8947	497,68	40,3	0,0403	25,8358	498,69	8,89	0,00889	5,6807	482,22	13,78	0,01378	8,7281	13,4149

365 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	13				14				15				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	497,02	0	0,0000	0,0000	496,04	0	0,0000	0,0000	495,37	0	0,0000	0,0000	0,0000
10	3,1623	498,02	1	0,0010	0,6023	497,22	1,18	0,00118	0,7213	497,25	1,88	0,00188	1,1599	0,8278
30	5,4772	499,45	2,43	0,0024	1,4636	498,63	2,59	0,00259	1,5832	498,92	3,55	0,00355	2,1903	1,7457
60	7,7460	500,66	3,64	0,0036	2,1925	499,91	3,87	0,00387	2,3656	500,31	4,94	0,00494	3,0479	2,5353
90	9,4868	501,44	4,42	0,0044	2,6623	500,78	4,74	0,00474	2,8974	501,15	5,78	0,00578	3,5661	3,0419
180	13,4164	502,90	5,88	0,0059	4,0958	502,41	6,37	0,00637	3,8937	502,62	7,25	0,00725	4,4731	4,1542
300	17,3205	503,82	6,8	0,0068	4,0958	503,4	7,36	0,00736	4,4988	503,33	7,96	0,00796	4,9111	4,5019
480	21,9089	504,42	7,4	0,0074	4,4572	503,93	7,89	0,00789	4,8228	503,72	8,35	0,00835	5,1518	4,8106
1440	37,9473	504,85	7,83	0,0078	4,7162	504,28	8,24	0,00824	5,0368	504,02	8,65	0,00865	5,3369	5,0299
2880	53,6656	504,86	7,84	0,0078	4,7222	504,29	8,25	0,00825	5,0429	504,04	8,67	0,00867	5,3492	5,0381
5760	75,8947	504,91	7,89	0,0079	4,7523	504,37	8,33	0,00833	5,0918	504,06	8,69	0,00869	5,3615	5,0685

CA+AC envelhecimento em Meio Natural

Resultados referente ao ensaio de Massa Volúmica

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
23	156,07	39,33	39,29	39,39	39,41	385,71	1595,80
		39,24		39,49			
		39,31		39,36			
24	156,05	39,25	39,24	39,96	39,60	390,1	1608,48
		39,20		39,48			
		39,28		39,37			
25	156,03	39,21	39,19	40,13	39,78	390,57	1605,92
		39,12		39,73			
		39,23		39,47			
Média = 1603,40 kg/m ³							
Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
21	156,14	39,82	39,35	39,73	39,75	400,27	1639,06
		39,15		39,61			
		39,07		39,91			
22	156,29	39,61	39,36	39,01	39,50	397,15	1634,45
		39,29		39,56			
		39,18		39,93			
30	156,3	39,46	39,44	39,27	39,22	393,36	1627,13
		39,36		39,22			
		39,49		39,17			

Média = 1633,35 kg/m ³							
Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
7	156,31	38,91	38,40	38,99	38,90	356,22	1525,50
		38,22		39,09			
		38,08		38,62			
8	155,96	37,16	37,14	38,57	39,21	341,03	1501,55
		36,57		39,45			
		37,69		39,61			
9	155,44	38,93	38,66	40,54	40,11	371,67	1541,85
		39,27		39,91			
		37,79		39,88			
Média = 1522,97 kg/m ³							

Resultados referente ao ensaio de Módulo de Elasticidade Dinâmico

Ensaio aos 90 dias							
Provet e	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
23	156,07	39,29	39,41	385,71	1595,80	5650,50	4964,23
24	156,05	39,24	39,60	390,1	1608,48	5359,40	4500,23
25	156,03	39,19	39,78	390,57	1605,92	5337,70	4455,62

Média = 4640,03MPa							
Ensaio aos 180 dias							
Provet e	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
21	156,14	39,35	39,75	400,27	1639,06	5752,50	5289,27
22	156,29	39,36	39,50	397,15	1634,45	5826,30	5421,00
30	156,3	39,44	39,22	393,36	1627,13	6122,50	5960,17
Média = 5556,81MPa							
Ensaio aos 365 dias							
Provet e	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
7	156,31	38,40	38,90	356,22	1525,50	5907,90	5203,71
8	155,96	37,14	39,21	341,03	1501,55	5398,30	4257,37
9	155,44	38,66	40,11	371,67	1541,85	5396,70	4339,95

Média = 4600,34 MPa

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Flexão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
23	39,33	39,29	39,39	39,41	525	1,38
	39,24		39,49			
	39,31		39,36			
24	39,25	39,24	39,96	39,60	407	1,06
	39,20		39,48			
	39,28		39,37			
25	39,21	39,19	40,13	39,78	491	1,27
	39,12		39,73			
	39,23		39,47			
Média = 1,23MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
21	39,82	39,35	39,73	39,75	564	1,45
	39,15		39,61			
	39,07		39,91			
22	39,61	39,36	39,01	39,50	640	1,67
	39,29		39,56			
	39,18		39,93			
30	39,46	39,44	39,27	39,22	694	1,83
	39,36		39,22			

	39,49		39,17			
Média = 1,65MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
7	38,91	38,40	38,99	38,90	602	1,66
	38,22		39,09			
	38,08		38,62			
8	37,16	37,14	38,57	39,21	296	0,83
	36,57		39,45			
	37,69		39,61			
9	38,93	38,66	40,54	40,11	393	1,01
	39,27		39,91			
	37,79		39,88			
Média = 1,17MPa						

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Compressão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Altura	Área [mm ²]	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]		esq	dto	Média	
23	39,41	1576,53	2727	2669	2698	1,71
24	39,60	1584,13	2695	2883	2789	1,76
25	39,54	1581,60	2868	3001	2934,5	1,86

Média = 1,81 MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
21	39,75	1590,00	4366	5084	4725	2,97
22	39,50	1580,00	3854	4109	3981,5	2,52
30	39,55	1582,00	3721	4086	3903,5	2,47
Média = 2,49MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
7	38,90	1556,00	2882	3246	3064	1,97
8	39,21	1568,40	1879	1753	1816	1,16
9	40,11	1604,40	2920	2615	2767,5	1,72

Média = 1,44MPa

90 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	19				20				22				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	389,22	0	0,0000	0,0000	384,9	0	0	0,0000	390,11	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	403,13	13,91	0,0139	9,0177	399,06	14,16	0,01416	9,2196	406,26	16,15	0,01615	10,5370	9,5914
30	5,4772	411,46	22,24	0,0222	14,4179	407,33	22,43	0,02243	14,6042	414,71	24,6	0,0246	16,0501	15,0241
60	7,7460	420,34	31,12	0,0311	20,1747	416,13	31,23	0,03123	20,3340	423,79	33,68	0,03368	21,9743	20,8277
90	9,4868	426,05	36,83	0,0368	23,8764	421,87	36,97	0,03697	24,0713	429,61	39,5	0,0395	25,7715	24,5731
180	13,4164	438,5	49,28	0,0493	40,1225	434,46	49,56	0,04956	32,2687	442,51	52,4	0,0524	34,1880	35,5264
300	17,3205	451,11	61,89	0,0619	40,1225	447,56	62,66	0,06266	40,7981	456,56	66,45	0,06645	43,3549	41,4252
480	21,9089	462,4	73,18	0,0732	47,4417	458,62	73,72	0,07372	47,9993	465,32	75,21	0,07521	49,0703	48,1704
1440	37,9473	466,22	77	0,0770	49,9181	461,38	76,48	0,07648	49,7964	467,48	77,37	0,07737	50,4795	50,0647
2880	53,6656	466,61	77,39	0,0774	50,1710	461,74	76,84	0,07684	50,0308	467,85	77,74	0,07774	50,7209	50,3076
5760	75,8947	466,38	77,16	0,0772	50,0219	461,5	76,6	0,0766	49,8745	467,54	77,43	0,07743	50,5187	50,1384

180 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	26				27				28				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	400,5	0	0,0000	0,0000	397,93	0	0	0,0000	397,3	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	408,62	8,12	0,0081	5,2374	405,96	8,03	0,00803	5,1703	411,08	13,78	0,01378	8,7898	6,3991
30	5,4772	415,68	15,18	0,0152	9,7911	412,72	14,79	0,01479	9,5228	418,79	21,49	0,02149	13,7077	11,0072
60	7,7460	422,78	22,28	0,0223	14,3706	419,56	21,63	0,02163	13,9269	426,53	29,23	0,02923	18,6448	15,6474
90	9,4868	427,58	27,08	0,0271	17,4666	424,1	26,17	0,02617	16,8500	431,66	34,36	0,03436	21,9170	18,7445
180	13,4164	439,98	39,48	0,0395	34,1011	436,09	38,16	0,03816	24,5700	444,25	46,95	0,04695	29,9477	29,5396
300	17,3205	453,37	52,87	0,0529	34,1011	448,77	50,84	0,05084	32,7343	457,16	59,86	0,05986	38,1825	35,0060
480	21,9089	466,6	66,1	0,0661	42,6345	461,59	63,66	0,06366	40,9887	464,21	66,91	0,06691	42,6795	42,1009
1440	37,9473	477,69	77,19	0,0772	49,7875	474,05	76,12	0,07612	49,0113	464,9	67,6	0,0676	43,1196	47,3061
2880	53,6656	478,32	77,82	0,0778	50,1938	474,67	76,74	0,07674	49,4105	465,33	68,03	0,06803	43,3939	47,6661
5760	75,8947	479,04	78,54	0,0785	50,6582	475,34	77,41	0,07741	49,8419	465,63	68,33	0,06833	43,5852	48,0284

365 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	7				8				9				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	386,7	0	0,0000	0,0000	391,12	0	0	0,0000	395,54	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	404,89	18,19	0,0182	11,5444	405,42	14,3	0,0143	9,2010	409,74	14,2	0,0142	9,1358	9,9604
30	5,4772	412,41	25,71	0,0257	16,3170	411,69	20,57	0,02057	13,2353	416,15	20,61	0,02061	13,2597	14,2707
60	7,7460	420,49	33,79	0,0338	21,4450	418,06	26,94	0,02694	17,3340	422,47	26,93	0,02693	17,3258	18,7016
90	9,4868	425,64	38,94	0,0389	24,7135	422,42	31,3	0,0313	20,1393	426,7	31,16	0,03116	20,0472	21,6333
180	13,4164	439,34	52,64	0,0526	41,5890	435,08	43,96	0,04396	28,2851	439,11	43,57	0,04357	28,0314	32,6351
300	17,3205	452,23	65,53	0,0655	41,5890	447,44	56,32	0,05632	36,2379	451,12	55,58	0,05558	35,7582	37,8617
480	21,9089	459,18	72,48	0,0725	45,9998	461,49	70,37	0,07037	45,2781	465,2	69,66	0,06966	44,8167	45,3649
1440	37,9473	459,85	73,15	0,0732	46,4250	466,23	75,11	0,07511	48,3279	471,21	75,67	0,07567	48,6834	47,8121
2880	53,6656	459,85	73,15	0,0732	46,4250	466,27	75,15	0,07515	48,3536	471,3	75,76	0,07576	48,7413	47,8400
5760	75,8947	459,95	73,25	0,0733	46,4885	466,29	75,17	0,07517	48,3665	471,35	75,81	0,07581	48,7734	47,8761

Resultados referente ao ensaio de Massa Volúmica

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
4	156,84	39,79	39,73	40,50	39,79	436,01	1758,67
		39,62		38,82			
		39,78		40,04			
5	156,9	39,27	39,33	39,79	39,70	424,61	1733,07
		39,26		39,63			
		39,46		39,69			
6	157,87	39,38	39,32	39,73	39,54	426,33	1736,84
		39,30		39,29			
		39,29		39,60			
Média = 1742,86kg/m ³							
Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
13	157,02	39,24	39,62	40,29	40,11	499,92	2003,62
		40,23		39,72			
		39,39		40,31			
14	156,85	40,43	39,63	40,12	39,90	499,55	2014,18
		39,24		39,71			
		39,21		39,88			
15	156,54	40,84	40,38	40,77	39,91	494,27	1959,25
		40,18		39,41			
		40,11		39,56			

Média = 1992,35kg/m ³							
Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
10	157,37	39,81	39,99	39,75	40,02	509,28	2021,78
		40,16		40,57			
		40,01		39,75			
11	157,17	40,45	40,68	39,83	39,77	506,9	1993,50
		40,84		39,56			
		40,75		39,92			
12	157,21	40,20	40,38	39,58	39,96	508,22	2003,29
		40,29		39,93			
		40,65		40,38			
Média = 2006,19kg/m ³							

Resultados referente ao ensaio de Módulo de Elasticidade Dinâmico

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
4	156,84	39,73	39,79	436,01	1758,67	5558,80	5347,11
5	156,9	39,33	39,70	424,61	1733,07	5493,20	5149,59
6	157,87	39,32	39,54	426,33	1736,84	5606,90	5443,32

Média = 5313,34MPa							
Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
13	157,02	39,62	40,11	499,92	2003,62	4736,60	4433,21
14	156,85	39,63	39,90	499,55	2014,18	4555,50	4113,38
15	156,54	40,38	39,91	494,27	1959,25	4891,30	4594,62
Média = 4380,40MPa							
Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
10	157,37	39,99	40,02	509,28	2021,78	4679,80	4386,24
11	157,17	40,68	39,77	506,9	1993,50	4044,60	3222,30
12	157,21	40,38	39,96	508,22	2003,29	3638,40	2621,71

Média = 3410,08MPa

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Flexão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
4	39,79	39,73	40,50	39,79	450	1,14
	39,62		38,82			
	39,78		40,04			
5	39,27	39,33	39,79	39,70	422	1,09
	39,26		39,63			
	39,46		39,69			
6	39,38	39,32	39,73	39,54	480	1,25
	39,30		39,29			
	39,29		39,60			
Média = 1,16MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
13	39,24	39,62	40,29	40,11	366	0,92
	40,23		39,72			
	39,39		40,31			
14	40,43	39,63	40,12	39,90	319	0,81
	39,24		39,71			
	39,21		39,88			
15	40,84	40,38	40,77	39,91	358	0,89
	40,18		39,41			

	40,11		39,56			
Média = 0,87MPa						
Ensaio aos 364 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
10	39,81	39,99	39,75	40,02	302	0,75
	40,16		40,57			
	40,01		39,75			
11	40,45	40,68	39,83	39,77	182	0,45
	40,84		39,56			
	40,75		39,92			
12	40,20	40,38	39,58	39,96	192	0,48
	40,29		39,93			
	40,65		40,38			
Média = 0,56MPa						

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Compressão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Altura	Área [mm ²]	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]		esq	dto	Média	
4	39,79	1591,47	2727	2669	2698	1,70
5	39,70	1588,13	2695	2883	2789	1,76
6	39,54	1581,60	2868	3001	2934,5	1,86

Média = 1,81MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
13	40,11	1604,27	2838	3469	3153,5	1,97
14	39,90	1596,13	2741	3125	2933	1,84
15	40,10	1604,00	2895	2879	2887	1,80
Média = 1,82MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
10	40,02	1600,93	3650	2177	2913,5	1,82
11	39,77	1590,80	2224	2634	2429	1,53
12	39,96	1598,53	2998	2011	2504,5	1,57
Média = 1,55MPa						

Resultados referentes ao ensaio de Absorção de água por capilaridade

90 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	1				2				3				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	413,73	0	0,0000	0,0000	413,48	0	0	0,0000	419,91	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	432,15	18,42	0,0184	11,9356	432,02	18,54	0,01854	12,0967	438,22	18,31	0,01831	11,8461	11,9595
30	5,4772	442,04	28,31	0,0283	18,3440	441,45	27,97	0,02797	18,2494	447,91	28	0,028	18,1152	18,2362
60	7,7460	452,77	39,04	0,0390	25,2968	451,8	38,32	0,03832	25,0025	458,7	38,79	0,03879	25,0960	25,1318
90	9,4868	460,45	46,72	0,0467	30,2732	459,19	45,71	0,04571	29,8242	466,4	46,49	0,04649	30,0777	30,0584
180	13,4164	475,85	62,12	0,0621	45,0469	473,54	60,06	0,06006	39,1870	481,16	61,25	0,06125	39,6270	41,2870
300	17,3205	483,25	69,52	0,0695	45,0469	480,15	66,67	0,06667	43,4998	486,13	66,22	0,06622	42,8425	43,7964
480	21,9089	483,52	69,79	0,0698	45,2218	480,37	66,89	0,06689	43,6434	486,34	66,43	0,06643	42,9783	43,9479
1440	37,9473	484,02	70,29	0,0703	45,5458	480,91	67,43	0,06743	43,9957	486,87	66,96	0,06696	43,3212	44,2876
2880	53,6656	484,38	70,65	0,0707	45,7791	481,23	67,75	0,06775	44,2045	487,22	67,31	0,06731	43,5477	44,5104
5760	75,8947	484,19	70,46	0,0705	45,6560	481,07	67,59	0,06759	44,1001	487,03	67,12	0,06712	43,4248	44,3936

180 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	16				17				18				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	477,06	0	0,0000	0,0000	485,53	0	0	0,0000	492,06	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	482,06	5	0,0050	3,1620	487,75	2,22	0,00222	1,4286	493,8	1,74	0,00174	1,1149	1,9019
30	5,4772	485,9	8,84	0,0088	5,5905	490,24	4,71	0,00471	3,0310	496,09	4,03	0,00403	2,5823	3,7346
60	7,7460	489,8	12,74	0,0127	8,0569	492,88	7,35	0,00735	4,7299	498,53	6,47	0,00647	4,1458	5,6442
90	9,4868	492,5	15,44	0,0154	9,7644	494,55	9,02	0,00902	5,8046	500,1	8,04	0,00804	5,1518	6,9070
180	13,4164	499,04	21,98	0,0220	16,1517	498,56	13,03	0,01303	8,3852	503,46	11,4	0,0114	7,3048	10,6139
300	17,3205	502,6	25,54	0,0255	16,1517	500,63	15,1	0,0151	9,7173	504,71	12,65	0,01265	8,1058	11,3249
480	21,9089	502,99	25,93	0,0259	16,3984	501	15,47	0,01547	9,9554	504,92	12,86	0,01286	8,2404	11,5314
1440	37,9473	503,45	26,39	0,0264	16,6893	501,07	15,54	0,01554	10,0005	504,97	12,91	0,01291	8,2724	11,6540
2880	53,6656	503,86	26,8	0,0268	16,9486	501,19	15,66	0,01566	10,0777	505,11	13,05	0,01305	8,3621	11,7961
5760	75,8947	504,32	27,26	0,0273	17,2395	501,57	16,04	0,01604	10,3222	505,5	13,44	0,01344	8,6120	12,0579

365 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	10				11				12				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	505,05	0	0,0000	0,0000	502,06	0	0	0,0000	506,06		0	0,0000	0,0000
10	3,1623	506,67	1,62	0,0016	1,0125	503,55	1,49	0,00149	0,9385	508,38	2,32	0,00232	1,4576	1,1362
30	5,4772	508,11	3,06	0,0031	1,9125	505,12	3,06	0,00306	1,9274	510,11	4,05	0,00405	2,5446	2,1282
60	7,7460	509,23	4,18	0,0042	2,6125	506,3	4,24	0,00424	2,6707	511,52	5,46	0,00546	3,4305	2,9046
90	9,4868	509,89	4,84	0,0048	3,0250	507,02	4,96	0,00496	3,1242	512,25	6,19	0,00619	3,8892	3,3461
180	13,4164	510,78	5,73	0,0057	3,9063	507,98	5,92	0,00592	3,7289	512,82	6,76	0,00676	4,2473	3,9608
300	17,3205	511,3	6,25	0,0063	3,9063	508,44	6,38	0,00638	4,0186	513,12	7,06	0,00706	4,4358	4,1202
480	21,9089	511,38	6,33	0,0063	3,9563	508,66	6,6	0,0066	4,1572	513,2	7,14	0,00714	4,4860	4,1998
1440	37,9473	511,5	6,45	0,0064	4,0313	508,84	6,78	0,00678	4,2706	513,29	7,23	0,00723	4,5426	4,2815
2880	53,6656	511,55	6,5	0,0065	4,0625	508,82	6,76	0,00676	4,2580	513,34	7,28	0,00728	4,5740	4,2982
5760	75,8947	511,58	6,53	0,0065	4,0813	508,81	6,75	0,00675	4,2517	513,38	7,32	0,00732	4,5991	4,3107

CA+AG envelhecimento em Meio Natural

Resultados referente ao ensaio de Massa Volúmica

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
25	156,88	39,53	39,44	39,01	39,37	411,47	1689,44
		39,32		39,10			
		39,46		39,99			
26	156,91	39,35	39,38	39,19	39,43	412,64	1693,49
		39,23		39,18			
		39,56		39,93			
27	156,89	39,80	39,70	39,26	39,94	413,64	1662,62
		39,43		39,90			
		39,87		40,67			
Média = 1681,85kg/m ³							
Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
23	156,69	39,57	39,54	40,25	39,72	415,15	1686,73
		39,72		39,36			
		39,34		39,56			
29	157,17	39,05	39,14	40,32	40,16	418,46	1693,83
		39,27		39,75			
		39,10		40,41			
30	156,87	39,30	39,46	39,43	39,54	415,13	1695,95
		39,77		39,56			
		39,32		39,63			

Média = 1692,17kg/m ³							
Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
7	156,88	39,09	39,07	37,90	38,50	370,65	1570,56
		39,21		38,81			
		38,92		38,79			
8	156,61	39,02	38,85	39,35	39,30	394,22	1648,96
		38,79		39,22			
		38,73		39,32			
9	156,9	39,52	39,41	39,74	39,64	417,27	1702,51
		39,31		39,37			
		39,39		39,81			
Média = 1640,68kg/m ³							

Resultados referente ao ensaio de Módulo de Elasticidade Dinâmico

Ensaio aos 90 dias							
Prove te	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
25	156,88	39,44	39,37	411,47	1689,44	5263,30	4607,37
26	156,91	39,38	39,43	412,64	1693,49	5230,50	4562,78
27	156,89	39,70	39,94	413,64	1662,62	5268,00	4542,91

Média = 4571,02MPa							
Ensaio aos 180 dias							
Prove te	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticida de Dinâmico [MPa]
23	156,69	39,54	39,72	415,15	1686,73	5679,60	5343,46
29	157,17	39,14	40,16	418,46	1693,83	5552,90	5160,70
30	156,87	39,46	39,54	415,13	1695,95	5509,60	5067,50
Média = 5190,56MPa							
Ensaio aos 365 dias							
Prove te	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticida de Dinâmico [MPa]
7	156,88	39,07	38,50	370,65	1570,56	5094,80	4013,33
8	156,61	38,85	39,30	394,22	1648,96	5175,10	4332,58
9	156,9	39,41	39,64	417,27	1702,51	5487,50	5048,31

Média = 4464,74MPa

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Flexão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
25	39,53	39,44	39,01	39,37	375	0,98
	39,32		39,10			
	39,46		39,99			
26	39,35	39,38	39,19	39,43	495	1,29
	39,23		39,18			
	39,56		39,93			
27	39,80	39,70	39,26	39,94	501	1,27
	39,43		39,90			
	39,87		40,67			
Média = 1,18MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
23	39,57	39,54	40,25	39,72	467	1,20
	39,72		39,36			
	39,34		39,56			
29	39,05	39,14	40,32	40,16	543	1,38
	39,27		39,75			
	39,10		40,41			
30	39,30	39,46	39,43	39,54	488	1,27
	39,77		39,56			

	39,32		39,63			
Média = 1,28MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força [N]	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média		
7	39,09	39,07	37,90	38,50	100	0,28
	39,21		38,81			
	38,92		38,79			
8	39,02	38,85	39,35	39,30	267	0,71
	38,79		39,22			
	38,73		39,32			
9	39,52	39,41	39,74	39,64	311	0,80
	39,31		39,37			
	39,39		39,81			
Média = 0,60MPa						

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Compressão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Altura	Área [mm ²]	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]		esq	dto	Média	
25	39,37	1574,67	2727	2669	2698	1,71
26	39,43	1577,33	2695	2883	2789	1,77

27	39,54	1581,60	2868	3001	2934,5	1,86
Média = 1,81MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
23	39,72	1588,93	4366	5084	4725	2,97
29	40,16	1606,40	3854	4109	3981,5	2,48
30	39,55	1582,00	3721	4086	3903,5	2,47
Média = 2,47MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
7	38,50	1540,00	1307	2341	1824	1,18
8	39,30	1571,87	2479	2861	2670	1,70
9	39,64	1585,60	2913	3223	3068	1,93

Média = 1,82MPa

Resultados referentes ao ensaio de Absorção de água por capilaridade

90 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	22				23				24				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	404,69	0	0,0000	0,0000	400,52	0	0	0,0000	404,97	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	422,36	17,67	0,0177	11,4817	418,77	18,25	0,01825	11,9686	423,66	18,69	0,01869	12,2507	11,9003
30	5,4772	431,14	26,45	0,0265	17,1868	427,95	27,43	0,02743	17,9890	432,52	27,55	0,02755	18,0581	17,7446
60	7,7460	440,49	35,8	0,0358	23,2622	437,63	37,11	0,03711	24,3372	441,92	36,95	0,03695	24,2195	23,9396
90	9,4868	447,07	42,38	0,0424	27,5378	444,55	44,03	0,04403	28,8755	448,64	43,67	0,04367	28,6242	28,3458
180	13,4164	460,1	55,41	0,0554	44,4711	458,05	57,53	0,05753	37,7289	462,09	57,12	0,05712	37,4403	39,8801
300	17,3205	473,13	68,44	0,0684	44,4711	470,87	70,35	0,07035	46,1365	475,25	70,28	0,07028	46,0662	45,5579
480	21,9089	478,42	73,73	0,0737	47,9085	474,4	73,88	0,07388	48,4515	479,04	74,07	0,07407	48,5504	48,3035
1440	37,9473	479,36	74,67	0,0747	48,5193	475,06	74,54	0,07454	48,8843	479,73	74,76	0,07476	49,0027	48,8021
2880	53,6656	479,72	75,03	0,0750	48,7532	475,4	74,88	0,07488	49,1073	480,07	75,1	0,0751	49,2255	49,0287
5760	75,8947	479,67	74,98	0,0750	48,7207	475,27	74,75	0,07475	49,0220	479,85	74,88	0,07488	49,0813	48,9414

180 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	22				23				24				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	414,77	0	0,0000	0,0000	420,14	0	0	0,0000	409,96	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	429,94	15,17	0,0152	9,8146	436,68	16,54	0,01654	10,6117	426,68	16,72	0,01672	10,6758	10,3674
30	5,4772	437,07	22,3	0,0223	14,4276	444,54	24,4	0,0244	15,6545	434,82	24,86	0,02486	15,8732	15,3184
60	7,7460	444,52	29,75	0,0298	19,2475	452,84	32,7	0,0327	20,9796	442,99	33,03	0,03303	21,0897	20,4389
90	9,4868	449,61	34,84	0,0348	22,5406	458,51	38,37	0,03837	24,6173	448,38	38,42	0,03842	24,5313	23,8964
180	13,4164	462,21	47,44	0,0474	38,5209	472,32	52,18	0,05218	33,4775	461,79	51,83	0,05183	33,0936	35,0307
300	17,3205	474,31	59,54	0,0595	38,5209	484,67	64,53	0,06453	41,4009	474,15	64,19	0,06419	40,9855	40,3024
480	21,9089	479,47	64,7	0,0647	41,8593	486,92	66,78	0,06678	42,8445	481,92	71,96	0,07196	45,9466	43,5501
1440	37,9473	480,19	65,42	0,0654	42,3251	487,59	67,45	0,06745	43,2743	483,38	73,42	0,07342	46,8788	44,1594
2880	53,6656	480,61	65,84	0,0658	42,5969	487,93	67,79	0,06779	43,4925	483,91	73,95	0,07395	47,2172	44,4355
5760	75,8947	480,98	66,21	0,0662	42,8362	488,26	68,12	0,06812	43,7042	484,76	74,8	0,0748	47,7600	44,7668

365 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	7				8				9				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	407,97	0	0,0000	0,0000	379,11	0	0	0,0000	409,64	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	428,51	20,54	0,0205	13,0359	403,16	24,05	0,02405	15,8777	427,94	18,3	0,0183	11,7211	13,5449
30	5,4772	435,75	27,78	0,0278	17,6308	411,77	32,66	0,03266	21,5620	434,75	25,11	0,02511	16,0829	18,4252
60	7,7460	443,64	35,67	0,0357	22,6382	420,96	41,85	0,04185	27,6293	442,36	32,72	0,03272	20,9571	23,7415
90	9,4868	448,98	41,01	0,0410	26,0273	427,28	48,17	0,04817	31,8017	447,51	37,87	0,03787	24,2556	27,3615
180	13,4164	463,55	55,58	0,0556	43,3407	443,49	64,38	0,06438	42,5035	462,12	52,48	0,05248	33,6133	39,8192
300	17,3205	476,26	68,29	0,0683	43,3407	446,42	67,31	0,06731	44,4379	476,44	66,8	0,0668	42,7852	43,5213
480	21,9089	478,28	70,31	0,0703	44,6227	446,65	67,54	0,06754	44,5897	483,12	73,48	0,07348	47,0637	45,4254
1440	37,9473	478,71	70,74	0,0707	44,8956	447,04	67,93	0,06793	44,8472	483,8	74,16	0,07416	47,4993	45,7474
2880	53,6656	478,69	70,72	0,0707	44,8829	446,95	67,84	0,06784	44,7878	483,78	74,14	0,07414	47,4865	45,7191
5760	75,8947	478,83	70,86	0,0709	44,9718	446,92	67,81	0,06781	44,7680	483,75	74,11	0,07411	47,4672	45,7357

Resultados referente ao ensaio de Massa Volúmica

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
1	156,77	39,49	39,42	39,85	39,78	416,61	1694,67
		39,37		39,63			
		39,39		39,87			
2	156,83	39,48	39,57	39,30	39,46	418,74	1710,13
		39,49		39,51			
		39,73		39,57			
3	156,8	39,42	39,39	39,22	39,06	416,07	1724,51
		39,39		38,94			
		39,36		39,03			
Média = 1709,77kg/m ³							
Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
12	157,54	39,26	39,53	39,99	39,88	477,47	1922,69
		39,54		39,75			
		39,79		39,89			
13	156,75	39,54	39,56	38,87	39,30	459,59	1885,72
		39,46		39,68			
		39,69		39,35			
14	156,63	39,44	39,62	39,76	39,57	462,09	1881,79
		39,76		39,28			
		39,67		39,66			

Média = 1896,73kg/m ³							
Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
15	157,5	39,22	40,09	40,38	40,29	503,25	1978,20
		40,69		39,74			
		40,35		40,76			
16	157,49	40,02	40,06	39,76	39,85	497,97	1980,50
		40,03		39,78			
		40,14		40,01			
17	157,87	39,43	40,04	39,43	39,81	494,92	1966,75
		40,19		39,77			
		40,49		40,24			
Média = 1975,15kg/m ³							

Resultados referente ao ensaio de Módulo de Elasticidade Dinâmico

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
1	156,77	39,42	39,78	416,61	1694,67	6105,00	6209,30
2	156,83	39,57	39,46	418,74	1710,13	6121,40	6304,47
3	156,8	39,39	39,06	416,07	1724,51	6238,60	6600,72

Média = 6371,50MPa							
Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
12	157,54	39,53	39,88	477,47	1922,69	0,00	0,00
13	156,75	39,56	39,30	459,59	1885,72	4777,10	4229,43
14	156,63	39,62	39,57	462,09	1881,79	5063,30	4734,22
Média = 4481,82MPa							
Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade Dinâmico [MPa]
15	157,5	40,09	40,29	503,25	1978,20	4401,80	3803,22
16	157,49	40,06	39,85	497,97	1980,50	4422,20	3842,53
17	157,87	40,04	39,81	494,92	1966,75	4498,00	3966,86

Média = 3870,87MPa

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Flexão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
1	39,49	39,42	39,85	39,78	579	1,49
	39,37		39,63			
	39,39		39,87			
2	39,48	39,57	39,30	39,46	614	1,59
	39,49		39,51			
	39,73		39,57			
3	39,42	39,39	39,22	39,06	644	1,71
	39,39		38,94			
	39,36		39,03			
Média = 1,60MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
12	39,26	39,53	39,99	39,88	571	1,45
	39,54		39,75			
	39,79		39,89			
13	39,54	39,56	38,87	39,30	465	1,22
	39,46		39,68			
	39,69		39,35			
14	39,44	39,62	39,76	39,57	416	1,07
	39,76		39,28			

	39,67		39,66			
Média = 1,25MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média	[N]	
15	39,22	40,09	40,38	40,29	226	0,56
	40,69		39,74			
	40,35		40,76			
16	40,02	40,06	39,76	39,85	263	0,66
	40,03		39,78			
	40,14		40,01			
17	39,43	40,04	39,43	39,81	318	0,80
	40,19		39,77			
	40,49		40,24			
Média = 0,67MPa						

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Compressão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Altura	Área [mm ²]	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]		esq	dto	Média	
1	39,78	1591,33	2727	2669	2698	1,70
2	39,46	1578,40	2695	2883	2789	1,77
3	39,54	1581,60	2868	3001	2934,5	1,86

Média = 1,81MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
12	39,88	1595,07	2838	3469	3153,5	1,98
13	39,30	1572,00	2741	3125	2933	1,87
14	40,10	1604,00	2895	2879	2887	1,80
Média = 1,83MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
15	40,29	1611,73	3033	3999	3516	2,18
16	39,85	1594,00	3433	1558	2495,5	1,57
17	39,81	1592,53	2436	2542	2489	1,56
Média = 1,56MPa						

Resultados referentes ao ensaio de Absorção de Água por Capilaridade

90 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	4				5				6				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	419,75	0	0,0000	0,0000	422,61	0	0	0,0000	421,76	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	432,85	13,1	0,0131	8,2931	434,38	11,77	0,01177	7,5361	435,53	13,77	0,01377	8,7833	8,2042
30	5,4772	440,06	20,31	0,0203	12,8575	440,66	18,05	0,01805	11,5570	442,82	21,06	0,02106	13,4333	12,6159
60	7,7460	446,78	27,03	0,0270	17,1117	447,83	25,22	0,02522	16,1478	450,16	28,4	0,0284	18,1152	17,1249
90	9,4868	452,49	32,74	0,0327	20,7265	454,03	31,42	0,03142	20,1176	456,62	34,86	0,03486	22,2358	21,0266
180	13,4164	463,33	43,58	0,0436	34,8881	465,35	42,74	0,04274	27,3655	468,83	47,07	0,04707	30,0241	30,7592
300	17,3205	474,86	55,11	0,0551	34,8881	477,06	54,45	0,05445	34,8632	481,81	60,05	0,06005	38,3035	36,0182
480	21,9089	482,88	63,13	0,0631	39,9652	487,33	64,72	0,06472	41,4388	488,73	66,97	0,06697	42,7175	41,3738
1440	37,9473	483,64	63,89	0,0639	40,4464	488,27	65,66	0,06566	42,0407	489,36	67,6	0,0676	43,1193	41,8688
2880	53,6656	483,87	64,12	0,0641	40,5920	488,59	65,98	0,06598	42,2456	489,72	67,96	0,06796	43,3489	42,0622
5760	75,8947	484,11	64,36	0,0644	40,7439	488,87	66,26	0,06626	42,4249	489,93	68,17	0,06817	43,4829	42,2172

180 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	8				9				10				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	468,5	0	0,0000	0,0000	486,3	0	0	0,0000	480,36	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	475,72	7,22	0,0072	4,5753	487,55	1,25	0,00125	0,7911	483,1	2,74	0,00274	1,6518	2,3394
30	5,4772	479,94	11,44	0,0114	7,2494	488,93	2,63	0,00263	1,6645	485,62	5,26	0,00526	3,1710	4,0283
60	7,7460	484,56	16,06	0,0161	10,1771	490,74	4,44	0,00444	2,8100	488,52	8,16	0,00816	4,9193	5,9688
90	9,4868	487,71	19,21	0,0192	12,1732	491,95	5,65	0,00565	3,5758	490,42	10,06	0,01006	6,0647	7,2713
180	13,4164	495,97	27,47	0,0275	22,5341	495,51	9,21	0,00921	5,8289	495,87	15,51	0,01551	9,3503	12,5711
300	17,3205	504,06	35,56	0,0356	22,5341	497,7	11,4	0,0114	7,2150	502,28	21,92	0,02192	13,2146	14,3212
480	21,9089	507,51	39,01	0,0390	24,7203	498,24	11,94	0,01194	7,5567	505,43	25,07	0,02507	15,1136	15,7969
1440	37,9473	508,09	39,59	0,0396	25,0879	498,05	11,75	0,01175	7,4365	505,9	25,54	0,02554	15,3969	15,9737
2880	53,6656	508,45	39,95	0,0400	25,3160	498,05	11,75	0,01175	7,4365	506,35	25,99	0,02599	15,6682	16,1402
5760	75,8947	508,88	40,38	0,0404	25,5885	497,97	11,67	0,01167	7,3859	507,04	26,68	0,02668	16,0842	16,3528

365 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	15				16				17				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	495,42	0	0,0000	0,0000	496,83	0	0	0,0000	496,81	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	498,32	2,9	0,0029	1,8363	498,77	1,94	0,00194	1,2275	498,2	1,39	0,00139	0,8646	1,3095
30	5,4772	499,46	4,04	0,0040	2,5582	499,93	3,1	0,0031	1,9615	498,98	2,17	0,00217	1,3498	1,9565
60	7,7460	500,44	5,02	0,0050	3,1787	500,93	4,1	0,0041	2,5943	499,84	3,03	0,00303	1,8848	2,5526
90	9,4868	500,82	5,4	0,0054	3,4193	501,14	4,31	0,00431	2,7272	500,38	3,57	0,00357	2,2207	2,7891
180	13,4164	501,1	5,68	0,0057	3,6980	501,95	5,12	0,00512	3,2397	501,67	4,86	0,00486	3,0232	3,3203
300	17,3205	501,26	5,84	0,0058	3,6980	502,22	5,39	0,00539	3,4106	502,32	5,51	0,00551	3,4275	3,5120
480	21,9089	501,27	5,85	0,0058	3,7043	502,41	5,58	0,00558	3,5308	502,69	5,88	0,00588	3,6576	3,6309
1440	37,9473	501,03	5,61	0,0056	3,5523	502,47	5,64	0,00564	3,5688	503,05	6,24	0,00624	3,8816	3,6676
2880	53,6656	501,02	5,6	0,0056	3,5460	502,47	5,64	0,00564	3,5688	503,1	6,29	0,00629	3,9127	3,6758
5760	75,8947	500,92	5,5	0,0055	3,4827	502,4	5,57	0,00557	3,5245	503,02	6,21	0,00621	3,8629	3,6233

CA+AT envelhecimento em Meio Natural

Resultados referente ao ensaio de Massa Volúmica

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
34	155,94	39,28	39,25	39,19	36,04	403,37	1828,61
		39,18		30,04			
		39,29		38,89			
35	156,12	39,14	39,16	38,67	38,90	400,95	1686,22
		39,14		39,09			
		39,19		38,93			
36	156,13	39,38	39,40	39,37	39,10	404,14	1680,24
		39,50		38,99			
		39,32		38,94			
Média = 1731,69kg/m ³							
Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento	Largura		Altura		Massa	Massa Volúmica
		[mm]		[mm]			
	[mm]	Valores	Média	Valores	Média	[g]	[kg/m ³]
31	156,26	39,28	39,33	39,01	39,35	418,69	1731,46
		39,10		39,37			
		39,60		39,67			
32	156,6	39,42	39,43	39,65	39,30	415,08	1710,49
		39,41		39,67			
		39,47		38,57			
33	156,45	39,58	39,54	40,55	39,44	415,09	1701,20
		39,55		39,50			
		39,49		38,28			

Média = 1714,39kg/m ³							
Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]		Altura [mm]		Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]
		Valores	Média	Valores	Média		
9	156,98	39,40	39,34	39,31	39,73	403,21	1643,23
		39,29		40,36			
		39,34		39,52			
10	157,14	39,61	39,48	39,64	39,89	409,8	1655,94
		39,37		40,09			
		39,47		39,93			
11	156,81	39,29	39,35	39,73	39,85	415,08	1688,05
		39,59		40,18			
		39,18		39,63			
Média = 1662,40kg/m ³							

Resultados referente ao ensaio de Módulo de Elasticidade Dinâmico

Ensaio aos 90 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidade e Dinâmico [MPa]
34	155,94	39,25	36,04	403,37	1828,61	5443,80	5271,10
35	156,12	39,16	38,90	400,95	1686,22	5430,30	4847,73
36	156,13	39,40	39,10	404,14	1680,24	5533,60	5016,73

Média = 5045,19MPa							
Ensaio aos 180 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidad e Dinâmico [MPa]
31	156,26	39,33	39,35	418,69	1731,46	5228,20	4622,46
32	156,6	39,43	39,30	415,08	1710,49	5922,00	5884,39
33	156,45	39,54	39,44	415,09	1701,20	6043,10	6082,57
Média = 5529,80MPa							
Ensaio aos 365 dias							
Provete	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Frequência [Hz]	Módulo de Elasticidad e Dinâmico [MPa]
9	156,98	39,34	39,73	403,21	1643,23	5309,50	4566,18
10	157,14	39,48	39,89	409,8	1655,94	5456,50	4869,74
11	156,81	39,35	39,85	415,08	1688,05	5923,80	5826,30

Média = 5087,41MPa

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Flexão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força [N]	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média		
34	39,28	39,25	39,19	36,04	462	1,45
	39,18		30,04			
	39,29		38,89			
35	39,14	39,16	38,67	38,90	370	1,00
	39,14		39,09			
	39,19		38,93			
36	39,38	39,40	39,37	39,10	562	1,49
	39,50		38,99			
	39,32		38,94			
Média = 1,31MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força [N]	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média		
31	39,28	39,33	39,01	39,35	260	0,68
	39,10		39,37			
	39,60		39,67			
32	39,42	39,43	39,65	39,30	519	1,36
	39,41		39,67			
	39,47		38,57			
33	39,58	39,54	40,55	39,44	602	1,57
	39,55		39,50			

	39,49		38,28			
Média = 1,20MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Largura [mm]		Altura [mm]		Força [N]	Resistência à Flexão [N/mm ²]
	Valores	Média	Valores	Média		
9	39,40	39,34	39,31	39,73	207	0,53
	39,29		40,36			
	39,34		39,52			
10	39,61	39,48	39,64	39,89	651	1,66
	39,37		40,09			
	39,47		39,93			
11	39,29	39,35	39,73	39,85	584	1,50
	39,59		40,18			
	39,18		39,63			
Média = 1,23MPa						

Resultados referentes ao ensaio de Resistência à Compressão

Ensaio aos 90 dias						
Provete	Altura	Área [mm ²]	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]		esq	dto	Média	
34	36,04	1441,60	2727	2669	2698	1,87
35	38,90	1555,87	2695	2883	2789	1,79
36	39,54	1581,60	2868	3001	2934,5	1,86

Média = 1,82MPa						
Ensaio aos 180 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
31	39,35	1574,00	4366	5084	4725	3,00
32	39,30	1571,87	3854	4109	3981,5	2,53
33	39,55	1582,00	3721	4086	3903,5	2,47
Média = 2,50MPa						
Ensaio aos 365 dias						
Provete	Altura	Área	Força [N]			Resistência à Compressão [N/mm ²]
	[mm]	[mm ²]	esq	dto	Média	
9	39,73	1589,20	3515	3124	3319,5	2,09
10	39,89	1595,47	4727	2914	3820,5	2,39
11	39,85	1593,87	5460	5905	5682,5	3,57

Média = 2,98MPa

Resultados referentes ao ensaio de Absorção de Água por Capilaridade

90 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	31				32				33				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	404,85	0	0,0000	0,0000	399,91	0	0	0,0000	406,15	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	420,17	15,32	0,0153	10,0160	415,39	15,48	0,01548	10,1074	422,53	16,38	0,01638	10,6952	10,2729
30	5,4772	427,92	23,07	0,0231	15,0828	422,91	23	0,023	15,0175	430,06	23,91	0,02391	15,6119	15,2374
60	7,7460	436,32	31,47	0,0315	20,5746	431,1	31,19	0,03119	20,3650	438,28	32,13	0,03213	20,9791	20,6396
90	9,4868	443,85	39	0,0390	25,4976	438,49	38,58	0,03858	25,1902	445,89	39,74	0,03974	25,9480	25,5453
180	13,4164	457,68	52,83	0,0528	43,6467	451,6	51,69	0,05169	33,7502	459,66	53,51	0,05351	34,9390	37,4453
300	17,3205	471,61	66,76	0,0668	43,6467	465,39	65,48	0,06548	42,7542	473,43	67,28	0,06728	43,9300	43,4436
480	21,9089	477,12	72,27	0,0723	47,2490	471,23	71,32	0,07132	46,5673	478,44	72,29	0,07229	47,2013	47,0059
1440	37,9473	477,59	72,74	0,0727	47,5563	471,7	71,79	0,07179	46,8742	478,93	72,78	0,07278	47,5212	47,3172
2880	53,6656	477,87	73,02	0,0730	47,7393	471,96	72,05	0,07205	47,0439	479,17	73,02	0,07302	47,6779	47,4871
5760	75,8947	478	73,15	0,0732	47,8243	472,16	72,25	0,07225	47,1745	479,4	73,25	0,07325	47,8281	47,6090

180 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	28				29				30				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	415,54	0	0,0000	0,0000	434,04	0	0	0,0000	427,13	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	431,53	15,99	0,0160	10,2408	443,4	9,36	0,00936	5,9283	438,51	11,38	0,01138	7,2900	7,8197
30	5,4772	438,69	23,15	0,0232	14,8264	446,99	12,95	0,01295	8,2021	444,91	17,78	0,01778	11,3899	11,4728
60	7,7460	446,62	31,08	0,0311	19,9051	451,47	17,43	0,01743	11,0396	456,74	29,61	0,02961	18,9682	16,6376
90	9,4868	451,98	36,44	0,0364	23,3379	454,67	20,63	0,02063	13,0664	454,65	27,52	0,02752	17,6293	18,0112
180	13,4164	465,55	50,01	0,0500	40,0792	463,29	29,25	0,02925	18,5260	465,32	38,19	0,03819	24,4645	27,6899
300	17,3205	478,12	62,58	0,0626	40,0792	472,23	38,19	0,03819	24,1884	476,23	49,1	0,0491	31,4535	31,9070
480	21,9089	483,81	68,27	0,0683	43,7234	478,8	44,76	0,04476	28,3496	484,91	57,78	0,05778	37,0139	36,3623
1440	37,9473	484,38	68,84	0,0688	44,0884	479,58	45,54	0,04554	28,8436	486,92	59,79	0,05979	38,3015	37,0778
2880	53,6656	484,81	69,27	0,0693	44,3638	480,1	46,06	0,04606	29,1730	487,41	60,28	0,06028	38,6154	37,3841
5760	75,8947	485,29	69,75	0,0698	44,6712	480,75	46,71	0,04671	29,5847	488,06	60,93	0,06093	39,0318	37,7626

365 Dias

Tempo de imersão (min.)	Tempo (min. ^{1/2})	9				10				11				Valor médio DM (kg/m ²)
		Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	Massa (g)	Água Absorvida DM (g)	Água Absorvida DM (Kg)	Absorção Capilar DM/S (kg/m ²)	
0	0,0000	396,12	0	0,0000	0,0000	400,74	0	0	0,0000	399,76	0	0	0,0000	0,0000
10	3,1623	414,33	18,21	0,0182	11,6359	419,28	18,54	0,01854	11,8797	417,48	17,72	0,01772	11,2972	11,6043
30	5,4772	421,39	25,27	0,0253	16,1471	427,02	26,28	0,02628	16,8392	425,18	25,42	0,02542	16,2063	16,3975
60	7,7460	428,77	32,65	0,0327	20,8628	435,14	34,4	0,0344	22,0422	433,37	33,61	0,03361	21,4277	21,4442
90	9,4868	433,82	37,7	0,0377	24,0896	440,51	39,77	0,03977	25,4831	438,8	39,04	0,03904	24,8896	24,8208
180	13,4164	447,94	51,82	0,0518	41,7383	455,17	54,43	0,05443	34,8767	454,33	54,57	0,05457	34,7906	37,1352
300	17,3205	461,44	65,32	0,0653	41,7383	468,25	67,51	0,06751	43,2579	468,17	68,41	0,06841	43,6141	42,8701
480	21,9089	465,57	69,45	0,0695	44,3773	470,71	69,97	0,06997	44,8341	470,03	70,27	0,07027	44,7999	44,6705
1440	37,9473	466,25	70,13	0,0701	44,8118	471,19	70,45	0,07045	45,1417	470,58	70,82	0,07082	45,1506	45,0347
2880	53,6656	466,29	70,17	0,0702	44,8374	471,18	70,44	0,07044	45,1353	470,66	70,9	0,0709	45,2016	45,0581
5760	75,8947	466,32	70,2	0,0702	44,8566	471,16	70,42	0,07042	45,1225	470,56	70,8	0,0708	45,1378	45,0390