



Ricardo Jorge de Mendonça Vieira

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

**ARGAMASSAS DE CAL AÉREA COM
UM ANO
INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CURA E
DA COMPOSIÇÃO**

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

Orientadora: Maria Paulina Santos Forte Faria
Rodrigues, Professora Associada, Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de
Lisboa

Co-orientadora: Maria do Rosário da Silva Veiga,
Investigadora Principal com Habilitação, Laboratório
Nacional de Engenharia Civil

Júri

Presidente: Doutor Mário Jorge Rodrigues Pereira da Franca
Arguente: Doutora Ana Margarida Armada Brás
Vogais: Doutora Maria Paulina Santos Forte Faria Rodrigues
Doutora Maria do Rosário Veiga

“Copyright” Ricardo Jorge de Mendonça Vieira, FCT/UNL e UNL

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

AGRADECIMENTOS

Quero deixar o meu agradecimento

à orientadora deste trabalho Professora Paulina Faria, pela constante disponibilidade e conhecimentos partilhados assim como à Investigadora Maria do Rosário Veiga.

à Fundação para a Ciência e Tecnologia, entidade que financiou o projeto METACAL

aos bolsеiros Vítor Silva e André Gameiro, pelo ajuda indispensável na realização dos ensaios

aos meus pais

à Ana Pinto, ao Mário Pereira, ao Pedro Alves, ao Pedro Azevedo e especialmente ao César Campos pela ajuda no procedimento experimental e apoio constante

Obrigado

RESUMO

Segundo o *United Nation's Environment Programme's Sustainable Building and Climate Initiative* (UNEP-SBCI) o sector da construção é responsável por grande percentagem do consumo mundial de matérias primas e energia. É também um dos maiores produtores de resíduos, gases poluentes ou com efeito de estufa, e efluentes com necessidade de tratamento. Grande parte deste impacto resulta da utilização de materiais que consomem grandes quantidades de energia na sua produção, como é o caso de betões ou argamassas de cimento.

As argamassas de cal aérea e areia têm vindo a ser empregues na construção tradicional portuguesa desde tempos muito antigos, com desempenho e durabilidade comprovados. Este material apresenta vantagens em intervenções de reabilitação e requer menos energia para a sua produção. A adição de materiais com propriedades pozolânicas pode constituir uma forma de melhorar o desempenho das argamassas de cal aérea.

O metacaulino é uma pozolana obtida pela calcinação e moagem da caulinite. Existem importantes reservas deste mineral no nosso país e em países com perspectivas de grande desenvolvimento no futuro próximo.

Este estudo tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes tipos de curas em argamassas de cal aérea e em argamassas de cal aérea com traços volumétricos fracos em ligante, com substituição parcial de ligante por metacaulino. Foram ensaiados provetes normalizados, a um ano de idade, para avaliar as características mecânicas, físicas e químicas das argamassas. Este trabalho insere-se num programa mais vasto inserido nos projetos financiados pela FCT METACAL e LIMECONTECH, tendo as mesmas argamassas sido ensaiadas previamente a vinte e oito e a noventa dias de idade.

Os resultados obtidos demonstram que os ganhos de resistência mecânica estabilizaram a idades mais jovens para provetes com metacaulino na sua composição. Muitos dos provetes com traço mais fraco e maior percentagem de substituição de ligante, sofreram grande degradação quando em exposição natural ou quando aspergidos diariamente.

Palavras-chave: argamassa, cal aérea, metacaulino, condições de cura, idade

ABSTRACT

According to the *United Nation's Environment Programme's Sustainable Building and Climate Initiative* (UNEP-SBCI) the construction industry is responsible for the consumption of a great amount of raw materials and energy. It's also responsible for the production of waste, the emission of pollutant and greenhouse effect gases and contaminated water. Most of this is due to the usage of construction materials that require large quantities of energy in its production process, like Portland cement mortars and concrete.

Air lime mortars have been used in the Portuguese traditional construction since early ages, with adequate results in terms of performance and durability. these kind of materials have special interest in rehabilitation interventions and require less energy in its production when compared with Portland cement. The addition of pozzolanic material may constitute a way of improving the performance of mortars.

Metakaolin is a pozzolanic material obtained by burning and grounding of kaolinite. There are important deposits of this mineral in several developing countries.

The objective of this study is to evaluate different types of ageing processes in air lime mortars, and in air lime mortars with low binder content and with partial substitution of binder mass by metakaolin. Several standardized test subjects were analyzed, after one year of ageing, to determine their mechanical, physical and chemical characteristics. This study is part of a larger program (within FCT projects METACAL and LIMECONTECH), having the same mortars been previously tested for the age of twenty eight and ninety days.

The results obtained have demonstrated that the mortars stabilized their resistance gains at younger ages. Most of the mortar samples with lower binder content and higher percentage of metakaolin in replacement of air lime, have suffered great damage when exposed to natural conditions and daily water spray.

Keywords: mortar, air lime, metakaolin, curing conditions, age

ÍNDICE GERAL

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e justificação do tema	1
1.2. Objetivos e metodologia.....	2
1.3. Estrutura do trabalho.....	3
2. Estado do conhecimento.....	5
2.1. Desenvolvimento e construção sustentável	5
2.2. Exigências funcionais de argamassas	7
2.2.1. Classificação de argamassas	8
2.2.2. Gama de valores padrão para intervenções em edifícios antigos	9
2.2.3. Utilização de Argamassas em edifícios antigos no contexto nacional	9
2.3. Argamassas de Cal	10
2.3.1. Argamassas de Cal aérea	10
2.3.2. Argamassas de Cal hidráulica.....	11
2.3.3. Argamassas com adição de pozolanas.....	11
2.3.4. Metacaulino	12
2.3.5. Argamassas de cal aérea com adição de metacaulino.....	12
3. Materiais e procedimentos adotados	15
3.1. Matérias primas	15
3.1.1. Contituíntes.....	15
3.1.2. Caracterização das matérias primas	16
3.2. Execução e identificação dos provetes	17
3.3. Processos de cura	19
3.4. Procedimentos de ensaio.....	21
3.4.1. Módulo de elasticidade dinâmico (E_d)	22
3.4.2. Resistência à tração por flexão	23
3.4.3. Resistência à compressão.....	24
3.4.4. Avaliação da absorção de água por capilaridade	25
3.4.5. Ensaio de secagem	26
3.4.6. Porosidade aberta	27
3.4.7. Preparação de amostras para caracterização química, Mineralógica e Microestrutural	28
4. Apresentação e discussão de resultados.....	29
4.1. Resultados da campanha experimental.....	29
4.1.1. Caracterização do estado de conservação dos provetes	29
4.1.2. Módulo de elasticidade dinâmico	33
4.1.3. Resistência à tração por flexão	38
4.1.4. Resistência à compressão.....	41
4.1.5. Porosidade aberta	44
4.1.6. Absorção de água por capilaridade.....	46
4.1.7. Secagem.....	49

4.2. Evolução das características das argamassas com a idade.....	53
4.2.1. Módulo de elasticidade dinâmico	53
4.2.2. Resistência à tração por flexão	54
4.2.3. Resistência à compressão.....	56
4.2.4. Porosidade aberta	57
4.2.5. Absorção de água por capilaridade.....	58
4.2.6. Secagem.....	61
5. Conclusão	62
5.1. Conclusões finais.....	62
5.2. Recomendações para investigações futuras	64
6. Bibliografia	66
Anexo I - temperatura máxima e precipitação diária na região de Lisboa de abril de 2011 a Abril de 2012.....	70
Anexo II - Valores obtidos no ensaio de determinação do módulo elasticidade dinâmico a 1 ano.....	75
Anexo III - Valores obtidos nos ensaio de avaliação de resistência à flexão e à compressão a 1 ano	78
Anexo IV - Valores obtidos no ensaio para determinação de porosidade aberta a 1 ano	80
Anexo V - Valores obtidos no ensaio de absorção capilar a 1 ano	82
Anexo VI - Valores obtidos no ensaio de secagem a 1 ano	86
Anexo VII - Módulo de elasticidade dinâmico, síntese dos resultados obtidos a diferentes idades.....	90
Anexo VIII - Resistência à tração, síntese dos resultados obtidos a diferentes idades	91
Anexo IX - Resistência à compressão, síntese dos resultados obtidos a diferentes idades.....	92
Anexo X - Porosidade aberta, síntese dos resultados obtidos a diferentes idades.....	93
Anexo XI - Coeficiente de capilaridade, síntese dos resultados obtidos a diferentes idades.....	94
Anexo XII - Índice de secagem, síntese dos resultados obtidos a diferentes idades	95
Anexo XIII - Representação gráfica dos resultados obtidos a diferentes idades.....	96

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Classificação de argamassas segundo a NP EN 998-1	8
Quadro 2.2 - Gama de valores aos 90 dias para intervenções em edifícios antigos	9
Quadro 3.1- Baridade dos agregados, dimensões e módulo de finura	17
Quadro 3.2 - Composição das argamassas estudadas	18
Quadro 4.1 - Estado de degradação dos provetes na primeira semana de janeiro de 2012	30
Quadro 4.2 - Resultados do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico (E_d) e respetivo desvio padrão	34
Quadro 4.3 - Resultados do ensaio de resistência à tração e respetivo desvio padrão	39
Quadro 4.4 - Resultados do ensaio de resistência à compressão e respetivo desvio padrão	42
Quadro 4.5 - Resultados do ensaio de porosidade aberta e respetivo desvio padrão	45
Quadro 4.6 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade e respetivo desvio padrão	47
Quadro 4.7 - Resultados do ensaio de secagem e respetivo desvio padrão	50
Quadro 4.8 - Evolução dos valores de E_d e adequação a gama de valores para edifícios antigos aos 90 dias	54
Quadro 4.9 - Evolução dos valores de resistência à flexão e adequação a gama de valores para edifícios antigos aos 90 dias	56
Quadro 4.10 - Evolução dos valores de resistência à compressão e adequação a gama de valores para edifícios antigos aos 90 dias	57
Quadro 4.11 - Evolução dos valores de porosidade aberta	58
Quadro 4.12 - Evolução dos valores de coeficiente de capilaridade e adequação a gama de valores para edifícios antigos aos 90 dias	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - a) Partículas de metacaulino observadas através de MEV. b) Argamassa de metacaulino e cimento no estado endurecido observada através de MEV	12
Figura 3.1 - Curva granulométrica da mistura de areias.....	17
Figura 3.2 - Cura Marítima cobertura do DEC FCT-UNL.....	20
Figura 3.3 - Cura Urbana parque de provetes do LNEC; a) fotografia tirada no início do processo de cura; b) fotografia tirada no controlo de envelhecimento de março de 2012	20
Figura 3.4 - Cura Húmida, provetes sobre o tanque de água potável	21
Figura 3.5 - Provetes R, P e S na sala climatizada do DEC; a) provetes cura S acondicionados em gavetas; b) Provetes cura P e R acondicionados em prateleiras	21
Figura 3.6 - Provetes na sala climatizada para estabilização gradual das condições de temperatura e humidade	22
Figura 3.7 - Disposição geral do equipamento de avaliação de Ed.....	23
Figura 3.8 - Máquina de tração com dispositivo de flexão por compressão em três pontos, DEC FCT-UNL.....	24
Figura 3.9 - Determinação do coeficiente de absorção capilar por regressão linear correspondente à inclinação do troço inicial reto.	25
Figura 4.1 - Classificação de danos ocorridos nos provetes; a) provete íntegro; b) danos em arestas e topos; c) danos em superfícies.....	29
Figura 4.2 - Estado de conservação das Argamassas A	31
Figura 4.3 - Estado de degradação das superfícies dos provetes a) cura marítima (M) argamassas C, D e E; b) cura urbana (U) argamassas B e C.	31
Figura 4.4 - Estado de conservação das argamassas B	32
Figura 4.5 - Estado de conservação das argamassas C	32
Figura 4.6 - Estado de conservação das argamassas D	33
Figura 4.7 - Estado de conservação das argamassas E	33
Figura 4.8 - Resultados globais de E. dinâmico e representação do desvio padrão.....	35
Figura 4.9 - Resultados do ensaio de E dinâmico para argamassas A normalizados em relação à cura de referência.....	35
Figura 4.10 - Resultados do ensaio de E dinâmico para argamassas B normalizados em relação à cura de referência.....	36
Figura 4.11 - Resultados globais de resistência à tração e respetivo desvio padrão.....	38
Figura 4.12 - Resultados do ensaio de resistência à tração por flexão para provetes A e respetivo desvio padrão	39

Figura 4.13 - Resultados do ensaio de resistência à tração por flexão para provetes B normalizados em relação à cura de referência	40
Figura 4.14 - Resultados do ensaio de resistência à tração por flexão para provetes C normalizados em relação à cura de referência	40
Figura 4.15 - Resultados globais de resistência à compressão e respetivo desvio padrão	41
Figura 4.16 - Resultados do ensaio de resistência à compressão para provetes A normalizados em relação à cura de referência	42
Figura 4.17 - Resultados do ensaio de resistência à compressão para provetes B normalizados em relação à cura de referência	43
Figura 4.18 - Resultados do ensaio de resistência à compressão para provetes C normalizados em relação à cura de referência	43
Figura 4.19 - Resultado globais do ensaio para determinação da porosidade aberta e respetivo desvio padrão	46
Figura 4.20 - Resultados globais do ensaio de absorção de água por capilaridade e respetivo desvio padrão	46
Figura 4.21 - Resultados do ensaio de absorção capilar para argamassas A e respetivo desvio padrão	48
Figura 4.22 - Resultados do ensaio de absorção capilar para argamassas B e respetivo desvio padrão	48
Figura 4.23 - Resultados globais do ensaio de secagem, índice de secagem e respetivo desvio padrão	49
Figura 4.24 - Curva de secagem a 199 horas para argamassas A	51
Figura 4.25 - Resultados do ensaio de secagem, índice de secagem para argamassas A e respetivo desvio padrão	51
Figura 4.26 - Curva de secagem a 199 horas para argamassas B	51
Figura 4.27 - Resultados do ensaio de secagem, índice de secagem para argamassas B e respetivo desvio padrão	52
Figura 4.28 - Resultados globais do ensaio de secagem, taxa de secagem e respetivo desvio padrão	52

SIMBOLOGIA

IDENTIFICAÇÃO DE ARGAMASSAS

- A** – Argamassas de cal aérea e areia
- B** – Argamassas de cal aérea e areia com substituição de 9% de massa de cal por metacaulino
- C** – Argamassas de cal aérea e areia com substituição de 17% de massa de cal por metacaulino
- D** – Argamassas de cal aérea e areia com substituição de 23% de massa de cal por metacaulino
- E** – Argamassas de cal aérea e areia com substituição de 33% de massa de cal por metacaulino

IDENTIFICAÇÃO DE PROCESSOS DE CURA

- R** – Cura de referência em sala climatizada
- M** – Cura exterior em ambiente marítimo
- U** – Cura exterior em ambiente urbano
- P** – Cura em sala climatizada com aspersão regular de água potável
- S** – Cura em sala climatizada com aspersão diária de água do Mar
- H** – Cura em ambiente muito húmido

SIGLAS E ACRÓNIMOS

CEN – European Committee for Standardization

DEC – Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

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

IPQ – Instituto Português da Qualidade

ISO – International Organization of Standardization

IST-UTL – Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

ONU – Organização das Nações Unidas

UNEP-SBCI - United Nation’s Environment Programme’s Sustainable Building and Climate Initiative

WECD – World Commission on Environment and Development

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E JUSTIFICAÇÃO DO TEMA

As argamassas de cal e areia estão presentes na construção portuguesa desde há muito tempo com desempenho e durabilidade comprovados. As suas utilizações são variadas podendo servir para assentamento de alvenarias, assentamento de azulejos, como argamassa de regularização e, com maior frequência, para a execução de rebocos de revestimento.

Durante o século XX assistiu-se a uma rápida alteração das tecnologias construtivas que passaram a ter recurso intensivo a argamassas de cimento Portland. Estas acabaram por substituir, na maior parte das aplicações, as argamassas de cal como material de eleição, sobretudo devido à diminuição do tempo de presa e maior resistência mecânica inicial. Hoje em dia grande parte do conhecimento associado à produção e aplicação de argamassas de cal ou está perdido ou necessita de revisão e aprofundamento para se adequar as exigências dos edifícios atuais.

A preocupação com as políticas de desenvolvimento sustentável é hoje assumida pelos governos de diversos países e organizações internacionais. Portugal procura também estruturar a sua economia nesse sentido de acordo com as diretivas comunitárias adotadas no contexto da União Europeia. O setor da construção é apontado como um dos principais consumidores de matérias primas e recursos no geral. Desenvolve também atividades que provocam a libertação de gases poluentes ou que contribuem para o efeito de estufa. Para possibilitar um crescimento e desenvolvimento compatíveis com a manutenção dos sistemas naturais existentes importa aos intervenientes da indústria da construção minorar os efeitos negativos da sua atividade. Adicionalmente o cimento Portland não é recomendado para utilização na maior parte das intervenções de reabilitação por reconhecida incompatibilidade com os suportes encontrados no edificado antigo Português. As argamassas de cal são para este propósito mais indicadas. A energia necessária para a sua produção é significativamente menor quando comparada com o cimento Portland. No entanto, estas argamassas sofrem um processo de endurecimento lento e, ao contrário das argamassas com base em cimento, as resistências mecânicas aos primeiros dias são muito fracas.

Para tentar contornar esta desvantagem e assim promover a utilização da cal como ligante equacionou-se a adição de materiais com características pozolânicas, conhecidos por conferirem resistências mecânicas a idades mais jovens. O metacaulino é um material com propriedades pozolânicas obtido pela ativação da caulinite em fornos e/ou com tratamento adicional com o objetivo de obter partículas muito finas. No nosso país existem importantes reservas de caulinite, material usualmente utilizado na produção de porcelana. A caulinite pode ser encontrada em diversos países, alguns com grande potencial de crescimento nos próximos anos.

A investigação do comportamento ao longo do tempo de argamassas de cal aérea com adição de metacaulino insere-se na procura de materiais obtidos por processos com menor gasto de

energia. Por outro lado as argamassas de cal aérea terão maior aceitação se for possível melhorar as resistências mecânicas iniciais por adição de materiais com propriedades pozolânicas.

1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho é avaliar as características de argamassas com base em cal aérea a um ano de idade em diferentes condições de cura, e desta forma aferir a influência que uma diferente cura pode implicar. Simultaneamente pretende-se avaliar a evolução das características de argamassas com base em cal aérea e metacaulino com a idade. Para tal caracterizaram-se argamassas de cal aérea apenas, e argamassas com substituição parcial da massa de ligante por um material com propriedades pozolânicas, o metacaulino (Mk), com diferentes dosagens de ligante : agregado.

Para a caracterização efetuada foram utilizados provetes de argamassa de cal aérea e metacaulino, que tinham sido realizados um ano antes (produzidas em Março/Abril de 2011) em campanhas experimentais anteriores desenvolvidas na FCT-UNL, inseridas nos projetos financiado pela FCT-MCE METACAL e LIMECONTECH. Foi utilizada como argamassa de referência uma argamassa ao traço volumétrico 1:3 de cal e aérea. Foi comparada com outras quatro formulações sucessivamente mais fracas em ligante e com maior percentagem de substituição de massa de cal aérea por metacaulino.

Para avaliar as possibilidade de aplicação das argamassas submeteram-se os provetes a diferentes condições de cura. Estas foram de exposição natural, em ambiente com proximidade do mar e em ambiente urbano, e em laboratório, em ambiente muito húmido assim como os efeitos do sal e da pluviosidade simuladas por aspensão diária com água salgada e com água potável.

Para a prévia realização das argamassas, tinha sido efetuada a caracterização das matérias primas, determinada a baridade de areias, cal e Mk. Foi também analisada a granulometria e módulo de finura das areias utilizadas. As argamassas foram previamente caracterizadas no estado fresco. A caracterização no estado fresco consistiu na determinação dos valores de consistência por espalhamento. A idades jovens foram aferidas as características genéricas das argamassas, que foram confirmadas nesta dissertação. Para a caracterização no estado endurecido ao fim de um ano de idade das argamassas, foram determinados o módulo de elasticidade dinâmicos e as resistências à flexão por compressão em 3 pontos e à compressão simples. Para a caracterização física determinou-se, o coeficiente de capilaridade e o valor assintótico, o índice de secagem e a taxa de secagem e porosidade aberta.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos principais, bibliografia e anexos. Os capítulos estão numerados de um a cinco e constituem o corpo do documento.

Primeiro capítulo consiste na introdução e justificação do tema, descrição geral dos objetivos do trabalho e metodologias adotadas.

O segundo capítulo introduz o tema das políticas de desenvolvimento sustentável explicando a sua relação com a atividade de construção, em especial no contexto nacional. Seguidamente são abordadas as argamassas, suas exigências funcionais, e formas de classificação. São explicados com maior detalhe os mecanismos de endurecimento de argamassas com recurso a cal aérea e também com recurso a adições de um material com propriedades pozolânicas, o metacaulino.

O terceiro capítulo descreve os materiais e procedimentos adotados no âmbito deste trabalho. São aqui descritas em pormenor as condições de cura a que foram submetidos os provetes e procedimentos de ensaio de caracterização mecânica e física. Alguns dos procedimentos, nomeadamente o processo de execução dos provetes, , realizado no âmbito de dissertações anteriores realizadas (MASSENA 2011) (FELGUEIRAS 2011) e em curso (Robalo, em curso), são descritos simplifadamente convidando-se o leitor a obter uma descrição mais detalhada nas restantes publicações abrangidas pelo programa de investigação METACAL e LIMECONTECH.

No quarto capítulo são apresentados os resultados referentes aos ensaios efetuados no âmbito desta dissertação e formuladas hipóteses explicativas para os comportamentos observados. Inclui-se um subcapítulo em que são comparados, quando possível, os resultados obtidos para as mesmas argamassas e condições de cura mas a idades mais recentes através de ensaios realizados pelos autores antes referidos.

O quinto capítulo é dedicado a conclusões e recomendações para desenvolvimentos futuros. Foram considerados os resultados obtidos após um ano de cura e os resultados obtidos em ensaios realizados a 28 e 90 dias.

Por fim são listadas as referências bibliográficas presentes no texto.

Em anexo são apresentados os dados climáticos relativos às curas em ambiente exterior, quadros detalhados dos valores obtidos nos diferentes ensaios a um ano, quadros síntese com valores médios obtidos a 28, 60 e 90 dias e representação gráfica dos valores obtidos.

2. ESTADO DO CONHECIMENTO

2.1. DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Durante todo o século XX tornou-se evidente a influência negativa da atividade do Homem nos sistemas naturais. Problemas essencialmente associados à poluição e suas consequências na qualidade de vida das populações, levou ao desenvolvimento das ciências na área da ecologia. Simultaneamente assistiu-se a um aprofundar do conhecimento em relação à complexidade das ligações entre os seres humanos e o meio onde vivem.

A preocupação com a sustentabilidade das atividades económicas e humanas em geral, começou a ser encarada seriamente na década de setenta. Com o advento da primeira crise do petróleo, houve a tomada generalizada de consciência que as matérias primas e recursos energéticos mais utilizados, não são renováveis, ou não estão a ser explorados a um ritmo que permita a sua reposição. Simultaneamente foi lançado o alerta por grande parte da comunidade científica para a possibilidade da ocorrência de alterações climáticas, como consequência do aumento de emissão para a atmosfera de gases com efeito de estufa.

Num esforço para conciliar as políticas de desenvolvimento e crescimento com a manutenção dos sistemas naturais existentes, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu em 1983 a *World Commission on Environment and Development* (WECD) para promover políticas de desenvolvimento sustentável. O primeiro relatório desta comissão em 1987, *Our Common Future* (WECD 1987), representa um marco na evolução do pensamento nesta matéria. O relatório afirma a existência de limites ao nível de industrialização e desenvolvimento, acima dos quais os sistemas naturais podem entrar em colapso.

A comunidade científica e organizações dedicadas à promoção do desenvolvimento sustentável, têm vindo a formular ou melhorar metodologias de cálculo do impacto das atividades económicas. Incluem-se nesta categoria metodologias como: a pegada ecológica, indicador da capacidade de regeneração dos "serviços" providenciados por sistemas naturais; ou a contabilização da quantidade de carbono libertada para a atmosfera. (WACKERNAGEL 1996). Estas metodologias dão grande relevo à energia consumida e à quantidade de CO₂ libertada para a atmosfera.

Com o intuito de parar a diminuição de biodiversidade a nível mundial, combater o esgotamento de recursos naturais e mitigar os efeitos sobre o clima do planeta, foi assumido o compromisso de solidariedade entre gerações com a assinatura da *Declaração de responsabilidade da geração presente para com as gerações futuras* (UNESCO 1988) adotada pela UNESCO e remetendo para a *Carta universal dos direitos do Homem* das Nações Unidas (UN 1948).

A indústria da construção é anualmente responsável por 40% do total de consumos de energia e de emissão de CO₂, 30% do consumo de matérias primas e produção de resíduos sólidos, 20% do consumo de água potável e de produção de efluentes com necessidade de tratamento,

segundo dados do UNEP-SBCI. O peso do setor da construção nos indicadores referidos, é consequência do grande volume de infraestruturas e edifícios construídos na última metade do século XX e que resultou na melhoria da qualidade de vida das populações. Em alguns países o número de habitações existente excede em grande medida as necessidades nacionais, situação aliás verificada em Portugal (INE 2011). As exigências funcionais das novas estruturas, assim como a tendência para a construção vertical, com o objetivo de obter o melhor rendimento dos terrenos de maior valor, levou à preferência por materiais como o aço e o betão armado, com melhor desempenho em comparação com os materiais de construção tradicionais. No entanto os referidos materiais requerem a extração de grandes quantidades de matérias primas, ou o consumo de grandes quantidades de energia no seu processo de fabrico.

Numa perspetiva de sustentabilidade, foi sendo promovida a reutilização de resíduos de construção e demolição em novas intervenções. Estas apresentam uma vantagem significativa na diminuição da extração das matérias primas. A título de exemplo refira-se que em Portugal o aço para construção, é quase totalmente proveniente da reciclagem de sucata. A legislação permite ainda a realização de betão com recurso a inertes reciclados ou adições, como materiais com propriedades pozolânicas, que é de especial interesse para este projeto de investigação. A introdução de adições pozolânicas em betão estrutural está regulamentado pela norma NP EN 197-1 (IPQ 2001).

Pelas razões acima indicadas, é de prever que grande parte da atividade de construção futura venha a ter características de reabilitação, mormente em países com sistemas construtivos tradicionais de grande durabilidade e com um grande volume de património edificado. Um impedimento à intervenção em edifícios antigos relaciona-se com diferença de características entre os materiais originais e os de maior utilização na atualidade. A rápida adoção do cimento como ligante de eleição na execução de argamassas para qualquer fim, levou a que os materiais tradicionais, de endurecimento mais lento e resistências iniciais menores, fossem progressivamente caindo em desuso. Efetivamente, com a utilização de cimento Portland a reação de presa termina cerca de 10 horas após a amassadura e é possível obter resistências à compressão na ordem dos 10 MPa ao fim de 2 dias. As argamassas de cal por sua vez podem demorar vários dias até que consigam apresentar alguma resistência (COUTINHO 2002).

Assim se perdeu, ao longo do século XX, conhecimento importante sobre a utilização e preparação de argamassas de cal, material utilizado durante muito tempo para alvenarias aparelhadas, revestimento de superfícies e pintura (caiação). Também os processos construtivos foram sendo esquecidos à medida que se generalizava o uso do betão armado e do sistema estrutural reticulado de vigas e pilares em detrimento da alvenaria aparelhada e construção em Taipa ou Adobe. Interessa neste momento recuperar e aprofundar os conhecimentos sobre estes materiais e sistemas, de forma a aferir as possibilidades de aplicação e o grau de compatibilidade com outros materiais.

A indústria de construção atual, recorre em grande escala a betões e argamassas, sendo o cimento Portland o ligante de eleição para a sua preparação. Para além da necessidade de extração

de matérias primas com consequente destruição da paisagem, este material tem associado à sua produção um grande consumo energético. Refira-se ainda que devido à natureza das reações químicas que intervêm no processo de endurecimento, estas argamassas e betões têm uma durabilidade reduzida (COUTINHO 1988). A investigação com o objetivo de promover a utilização de argamassas de cal insere-se na promoção de um desenvolvimento sustentável, por razões de eficiência energética dos processos de fabrico. A obtenção deste ligante a partir de pedra calcária necessita de um fornecimento substancialmente menor de energia que a produção de cimento Portland (SCHNEIDER 2011).

2.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS DE ARGAMASSAS

As argamassas são materiais compósitos constituídos por agregados de finos, e um ou mais ligantes, podendo ainda em alguns casos incluir aditivos ou adjuvantes. O agregado mais utilizado é a areia siliciosa habitualmente aos traços 1:3 de ligante e agregados. A composição das argamassas pode ser feita em obra, embora a prática comum hoje em dia seja a utilização de argamassas pré-doseadas em fábrica.

O sistema construtivo mais utilizado na atualidade recorre essencialmente a argamassas com cimento Portland e areia. Até à sua invenção nos finais do século XIX, o ligante mais utilizado era a cal aérea. A dosagem de ligante e a qualidade do agregado utilizado, são responsáveis pela variação das características mecânicas das argamassas. As exigências funcionais vão depender essencialmente da utilização a que se destinam, mas também da durabilidade prevista para o elemento em que são aplicadas e condições a que estão expostas. Para além dos efeitos mecânicos dos agentes de erosão, podem ocorrer também fenómenos químicos muitas vezes com origem em compostos presentes no suporte da argamassa.

As argamassas à base de cimento apresentam normalmente resistências mecânicas bastante superiores, quando comparadas com as argamassas de cal. O tempo necessário para o seu endurecimento é por seu lado muito menor e ocorre por cristalização dos produtos da hidratação, nomeadamente os compostos Aluminatos, Silicatos e Ferroaluminatos. Dos referidos, o Silicato Tricálcico $[(CaO)_3SiO_2]$ contribui de forma mais significativa para as resistências mecânicas. Nas argamassas de cal o endurecimento dá-se essencialmente por recarbonatação do óxido de cálcio (CaO) (COUTINHO 2004)

Da utilização de traços mais fortes em ligante, resultam argamassas em geral mais resistentes. No entanto, à utilização de ligante em grande proporção face ao agregado estão associados problemas de retração.

2.2.1. CLASSIFICAÇÃO DE ARGAMASSAS

Sendo um material de construção utilizado desde há muito tempo, sobreviveram até aos dias de hoje diversos critérios para a sua classificação. As argamassas são classificadas segundo a norma NP EN 998-1/2 - Especificações para argamassas de alvenaria (IPQ 2010). A parte um da referida norma aplica-se a argamassas de revestimento e de enchimento, a parte dois é dedicada a argamassas para assentamento de elementos de alvenaria.

A norma define parâmetros para a classificação de alvenarias (Quadro 2.1) e especifica os ensaios para a determinação das suas características. Para as argamassas classificadas segundo as suas propriedades ou utilização, a norma define gamas de valores médios aceitáveis. Da aplicação desta norma a argamassas pré-doseadas, resulta uma declaração do fabricante e uma etiqueta de marcação CE com a informação regulamentar relativa aos seus constituintes e características mecânicas.

Quadro 2.1 - Classificação de argamassas segundo a NP EN 998-1

Parâmetro de classificação	Categoria de argamassas
Conceção	-de formulação -de desempenho
Local de produção	-industriais -semiacabadas -produção <i>in situ</i> -de uso genérico
Propriedades / Utilização	-leves -coloridas -monocamada para uso externo -de renovação / substituição -para isolamento térmico

A informação constante da declaração do fabricante deve descrever as propriedades das argamassas no estado fresco e após o endurecimento. No estado fresco é relevante a informação sobre o tempo de aplicação e conteúdo em ar. Para a caracterização no estado endurecido deverá ser fornecida a seguinte informação: resistência à compressão aos 28 dias, condutibilidade térmica, absorção de água por capilaridade, classe de reação ao fogo e durabilidade. Se for relevante para a função a que a argamassa se destina, a norma define métodos para a determinação e verificação da conformidade de outras propriedades.

As argamassas de formulação têm como base da sua conceção uma proporção de constituintes predefinida. As argamassas de desempenho por sua vez, são desenvolvidas com o objetivo de obter determinadas características mecânicas no estado endurecido (resistência à compressão e resistência inicial ao corte), não sendo dado grande relevo à proporção dos constituintes. No presente estudo as argamassas foram elaboradas com uma formulação pré-definida, baseada na substituição de massa de ligante por uma adição pozolânica.

2.2.2. GAMA DE VALORES PADRÃO PARA INTERVENÇÕES EM EDIFÍCIOS ANTIGOS

A utilização de argamassas de cal aérea em edifícios antigos tem se revelado mais adequada quando comparada com argamassas desenvolvidas mais recentemente. A razão prende-se essencialmente com as elevadas resistências mecânicas, conferidas pelas argamassas mais recentes, e a sua incompatibilidade com suportes antigos menos resistentes. Investigações realizadas nos últimos anos, permitiram estabelecer gamas de valores para alguns parâmetros de caracterização das argamassas, que resultam em aplicações funcionais e duráveis. Estes valores são descritos pelos autores como meramente indicativos e deverão ser continuamente revistos com informação obtida nas investigações mais recentes. Reproduz-se aqui (Quadro 2.2) a gama de valores publicada em 2010 por investigadores portugueses e que servirá para verificar se as formulações e processos de cura têm aplicação prática, por comparação com os valores obtidos a 90 dias (VEIGA et al 2010).

Quadro 2.2 - Gama de valores aos 90 dias para intervenções em edifícios antigos

Função	Edin [MPa]	Rt [MPa]	Rc [MPa]	Coefficiente de capilaridade [kg/m ² x √(min)]
Revestimento	2000 - 5000	0,2 - 0,7	0,4 - 0,5	1,0 > ; < 1,5
Enchimento	2000 - 5000	0,2 - 0,7	0,4 - 0,5	-
Refechamento de juntas	3000 - 6000	0,4 - 0,8	0,6 - 3,0	1,0 > ; < 1,5

2.2.3. UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS EM EDIFÍCIOS ANTIGOS NO CONTEXTO NACIONAL

O edificado português caracteriza-se por um grande número de edifícios antigos, construídos com recurso a materiais de grande massa. Esta particularidade deve-se essencialmente à fraca qualidade de madeira disponível para construção e a situações de temperaturas elevadas nas regiões a sul do Tejo nos meses de verão.

Nas regiões centro e norte existem afloramentos de pedra natural, granito no Norte e calcário na zona de Lisboa, sendo estes os materiais de eleição para a realização de paredes de alvenaria. Existem inúmeros edifícios com pedra à vista, mas na sua maioria são revestidos por argamassas de cal aérea e areia. O revestimento das divisões interiores é a norma, exceto nas construções mais rústicas. As argamassas de cal são também utilizadas tradicionalmente nestes sistemas como argamassa de assentamento

Nas regiões a sul do Tejo, a ausência de pedra natural resistente levou a que a construção em terra fosse a opção mais utilizada. Existem dois sistemas construtivos principais: a construção em taipa e a construção em adobe. A construção em taipa consiste em bater camadas sucessivas de terra entre taipais de madeira. Por vezes é adicionado ligante ou fibras vegetais à terra para conferir maior resistência. O Adobe é um tipo de tijolo de lama seca, utilizado em alvenarias aparelhadas. Ambos os sistemas são sensíveis ao efeito da pluviosidade associada a vento, sendo por isso

necessário a aplicação de um revestimento exterior, tradicionalmente argamassas de cal (FARIA 2004).

Devido à fraca resistência das paredes resultante destes sistemas construtivos, as argamassas deverão ter uma resistência mecânica menor do que as normalmente conseguidas com recurso a cimento. De outra forma, o revestimento mais resistente poderia danificar os paramentos levando inclusivamente ao destacamento do mesmo em alguns casos. Deve ser ainda tida em conta a deformabilidade do revestimento quantificada pelo valor de módulo de elasticidade. Pretende-se que as deformações sofridas pelo revestimento sejam da mesma ordem de grandeza que as sofridas pelo suporte, de maneira a evitar que se instalem tensões de corte que levam à formação de uma descontinuidade. Pelo mesmo motivo os coeficientes de dilatação térmica dos dois elementos deverão ser semelhantes.

2.3. ARGAMASSAS DE CAL

Designação genérica para argamassas que utilizem este material como ligante. A cal é obtida através da cozedura de pedra de calcário ou dolomite. A parte um da norma NP EN 459 (IPQ 2011) - Cal para construção, definições, especificações e critérios de conformidade; divide a cal para construção em duas categorias principais: Cal aérea, sem propriedades hidráulicas; Cal com propriedades hidráulicas. A cal aérea é obtida de calcários puros (< 5 % argila e outras impurezas) enquanto a cal com propriedades hidráulicas é tradicionalmente obtida através do processamento de calcários com 8 - 20 % de argila e outras impurezas. A parte dois desta norma aborda os métodos de ensaio para a classificação de ligantes.

2.3.1. ARGAMASSAS DE CAL AÉREA

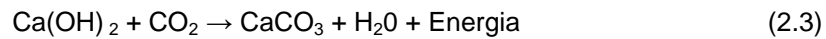
As altas temperaturas provocam a dissociação de compostos de carbonato de cálcio, e carbonato de cálcio-magnésio no caso da utilização de dolomite, com libertação do carbono para a atmosfera, resultando sobretudo em óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO).



Estes compostos vulgarmente referidos como cal viva, reagem quando hidratados, resultando em hidróxido de cálcio e hidróxido de cálcio-magnésio, vulgarmente designado por cal apagada.



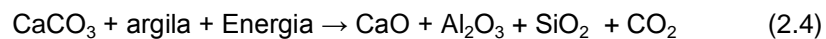
A cal apagada irá endurecer por reação com o carbono da atmosfera, resultando novamente em carbonato de cálcio, água e libertação de energia (COUTINHO 1988). Este processo depende da penetração do dióxido de carbono (CO₂) na argamassa, e desenvolve-se lentamente.



É usual dividir a cal aérea em duas categorias, consoante o seu teor de argila e outras impurezas. Quando são produzidas a partir de calcário muito puros (< 1 % de impurezas) originam cais denominadas gordas por apresentarem uma melhor trabalhabilidade. As cais obtidas de calcários com maior teor de impurezas (1 - 5 %) designam-se por cais magras e usualmente apresentam um tom acinzentado.

2.3.2. ARGAMASSAS DE CAL HIDRÁULICA

As propriedades hidráulicas da cal estão associadas à presença de argila e impurezas que por calcinação a temperaturas mais elevadas (1000 / 1100°C), originam composto semelhantes aos do clínquer, como o silicato dicálcico ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$) e aluminato tricálcico ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$).



À medida que a argamassa seca, estes compostos hidratados cristalizam resultando num endurecimento inicial, que não ocorre nas argamassas de cal aérea. O restante endurecimento é conseguido à medida que se processa a difusão do CO_2 e se desenrola a reação de carbonatação (COUTINHO 2004)

2.3.3. ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE POZOLANAS

Define-se pozolana como material rico em sílica ou alumina sem características de ligante mas com a capacidade de reagir na presença de água à temperatura ambiente com o hidróxido de cálcio para formar aluminatos e silicatos (COUTINHO 1988).

A utilização das pozolanas remonta a tempos muito antigos existindo diversas provas arqueológicas da sua utilização em obras hidráulicas e outras. As civilizações mediterrânicas da antiguidade, empregavam cinzas vulcânicas na elaboração de argamassas para revestimento, impermeabilização e mesmo elementos estruturais. Os melhores exemplos da utilização de argamassas com pozolanas são a cúpula do Panteão em Roma e o porto de Cesareia na Palestina. Estão também documentados casos da utilização de restos de cerâmica reduzidos a pó, como substituto de cinzas vulcânicas.

Neste estudo, procurou-se obter resistências mecânicas maiores a idades mais jovens com a adição do material pozolânico, no âmbito da procura por dosagens de argamassa, com base em cal aérea, com maior aplicabilidade face às exigências atuais da indústria da construção.

2.3.4. METACAULINO

O metacaulino é obtido pelo processamento de caulinite em fornos com rearranjo da sua estrutura química. Por exposição a temperaturas entre os 650 e os 700 °C, os aluminatos e silicatos são desidratados num processo denominado desidroxilação (Figura 2.1). Resulta num material amorfo com grande reatividade pozolânica (COUTINHO 1988).

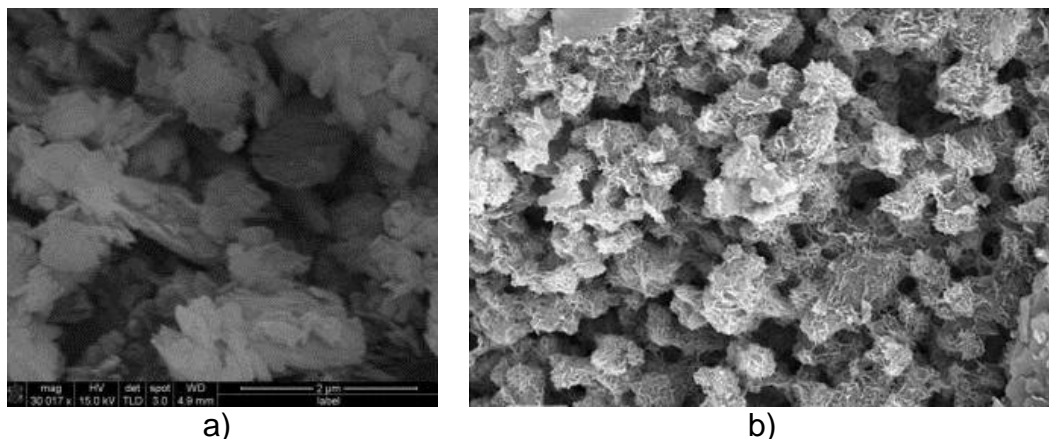


Figura 2.1 - a) Partículas de metacaulino observadas através de MEV (KIM 2012). b) Argamassa de metacaulino e cal aérea no estado endurecido observada através de MEV (CHAROLA 2005)

A caulinite está presente em diversos países como, Portugal, França, Brasil e China. Sendo tradicionalmente empregue na produção de porcelana, o potencial de complemento de ligante na produção de argamassas e betões levou ao início de vários projetos de investigação para a determinação rigorosa das suas propriedades e aplicações. O projeto FCT-METACAL insere-se neste conjunto de iniciativas.

Para além da utilização como adição pozolânica, está a ser estudada a eficácia do metacaulino no controlo da reação alcalino-silica no betão, como acelerador das reações de hidratação, para a obtenção de materiais mais densos com introdução das partículas de metacaulino nos espaços vazios da argamassa (betões de alto desempenho e efeito de *filler*). São também conhecidas as vantagens da incorporação deste material em betões de cimento, para controlo da reação expansiva alcalino-silica com conseqüente melhoria da durabilidade do material (GRUBER 2001).

2.3.5. ARGAMASSAS DE CAL AÉREA COM ADIÇÃO DE METACAULINO

Como já foi referido a utilização de argamassas de cal aérea apresenta diversas vantagens, nomeadamente na área da reabilitação. O principal entrave a uma maior utilização destas argamassas deve-se à lentidão do processo de endurecimento que está associado à difusão de CO₂ no interior da argamassa.

A utilização das propriedades pozolânicas do metacaulino poderá compensar esta desvantagem conferindo resistências mecânicas significativas ao fim de pouco tempo. Desta forma

permite-se a utilização de uma argamassa com menor energia incorporada, em situações onde usualmente se empregariam argamassas de cimento, devido à sua capacidade de endurecimento rápido. Esta aplicação seria de grande interesse para o aumento da competitividade das intervenções de reabilitação e poderia ser alargada a projetos de nova construção. Para tal é necessário aferir qual o efeito das dosagens e condições de cura, nas características das argamassas no estado endurecido em diferentes idades.

3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Neste capítulo podem ser consultadas descrições pormenorizadas dos procedimentos de ensaio utilizados na obtenção dos resultados que constam deste estudo. Como já foi referido, este trabalho é parte integrante de projetos de investigação sendo neste capítulo reproduzidos em detalhe apenas as atividades e ensaios realizados para a obtenção de resultados a um ano de idade. Neste texto são feitas referências para as descrições mais detalhadas de procedimentos ou ensaios, que não foram executados pelo autor.

A formulação e preparação das dosagens foi feita no LNEC pelo bolsheiro do projeto FCT-METACAL. A amassadura e realização dos provetes para a cura em ambiente urbano, foram efetuadas no LNEC. Para as restantes condições de cura todo o processo decorreu nos laboratórios do DEC FCT-UNL. Foram produzidos 105 provetes para cada condição de cura e para ensaios a idades diferentes. As amassaduras e execução dos provetes foram realizadas pelos então mestrandos Rodrigo Massena, Nuno Felgueiras e Sónia Robalo. O autor desta dissertação recebeu os provetes aos 180 dias de idade ficando com a responsabilidade de zelar pela manutenção das condições de curas dos diferentes tipos de argamassa.

Procurou-se realizar os ensaios com os mesmos procedimentos e equipamentos para as caracterizações a diferentes idades. A caracterização das matérias primas das argamassas foi realizada no LNEC pelos bolsheiros dos projetos FCT-METACAL e LIMECONTECH. Estes mestrandos procederam à caracterização das argamassas às idades de 28 dias e 90 dias.

3.1. MATÉRIAS PRIMAS

3.1.1. CONTITUENTES

Agregados

Para a execução dos provetes foi utilizada uma mistura de areias lavadas secas, comercializadas pela empresa AREIPOR. Foram utilizados areias de granulometria diferente: APAS12, APAS20 e APAS30 misturadas segundo o traço volumétrico 1:1,5:1,5. Após determinação das dosagens e da baridade no LNEC, as quantidades foram convertidas em massa para serem reproduzidas nos laboratórios da FCT-UNL. Determinou-se que as quantidades a utilizar na FCT-UNL deveriam ser 1,5 vezes as quantidades determinadas no LNEC, devido a diferenças na dimensão da cuba da misturadora mecânica.

Ligante

Foi utilizada cal aérea hidratada em pó CL90 da marca LUSICAL. Foram tomadas precauções para a manter selada e afastada de fontes de humidade. Na caracterização desta cal em particular mediu-se uma baridade de $0,362 \text{ g/cm}^3$.

Metacaulino

Foi utilizado um metacaulino comercial de origem francesa, ARGICAL M 1200 S, com uma baridade de $0,294 \text{ g/cm}^3$. Tomou-se esta opção devido à inexistência de metacaulino de origem portuguesa de produção contínua. Foram também tomadas precauções para evitar a exposição a humidade elevada.

As características deste material foram alvo de estudo aprofundado, com o objetivo de comparar com outros metacaulinos comercializados. Procurou-se também fazer a comparação com metacaulinos obtidos pelo processamento de caulinite extraída em Portugal. Foi possível determinar que este metacaulino em particular, apresenta valores de reatividade pozolânica normais e uma superfície específica maior que a de outros metacaulinos. (FERRAZ 2012).

3.1.2. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS

A informação constante deste subcapítulo é um resumo dos procedimentos adotados. Para uma descrição pormenorizada o leitor deverá consultar as dissertações dos alunos que acompanharam diretamente estes trabalhos (MASSENA 2011) (FELGUEIRAS 2011).

Análise granulométrica

Foi efetuada a análise granulométrica dos agregados finos por peneiração mecânica (Figura 3.1). O ensaio foi realizado no LNEC pelos bolsiros do projeto FCT-METACAL. No seguimento da análise, foi também determinado o módulo de finura de cada areia e da mistura de areias já referida. Os procedimentos de ensaio basearam-se na norma NP EN 1097-3 (IPQ 2002). Com esta análise, pretendeu-se determinar se a mistura de areias sugerida promovia uma granulometria bem distribuída, resultando assim num menor índice de vazios. Procurou-se desta forma reduzir a quantidade de ligante e minorar os fenómenos de retração.

Determinação da baridade dos constituintes sólidos

Foi determinada a baridade de todos os constituintes sólidos, nomeadamente: agregados, ligante e adição pozolânica (Quadro 3.1). No caso dos agregados foi determinada a baridade de cada areia individualmente e da mistura de areias já referida. Os procedimentos de ensaio basearam-se na norma NP EN 1097-3 (IPQ 2002). A determinação da baridade foi também efetuada pelos bolsiros do projeto FCT-METACAL no LNEC.

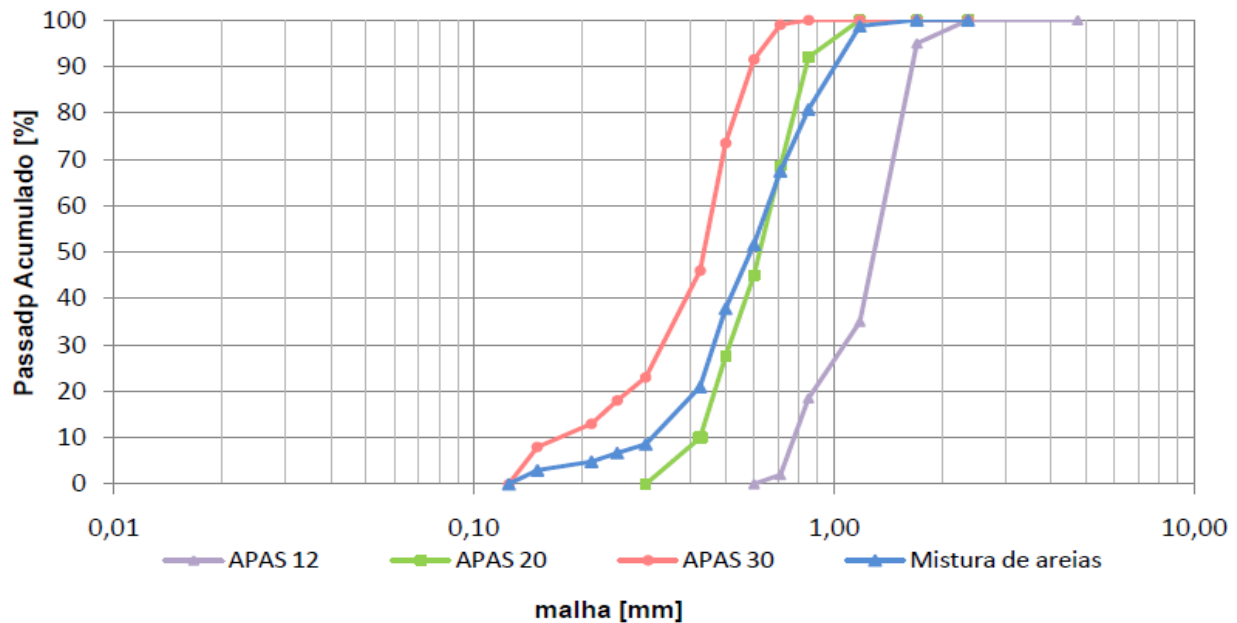


Figura 3.1 - Curva granulométrica da mistura de areias (MASSENA 2011)

Quadro 3.1- Baridade dos agregados, dimensões e módulo de finura

Agregado	Dimensão máxima do agregado [mm]	Dimensão mínima de agregado [mm]	Módulo de finura [mm]	Baridade [g/cm ³]
APAS 12	1,18	0,71	3,03	1,41
APAS 20	1,18	0,43	2,55	1,41
APAS 30	0,71	0,21	1,78	1,39
Mistura de areias	1,18	0,43	5,00	1,46

3.2. EXECUÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS PROVETES

As amassaduras foram executadas com base nas normas EN 1015-2/A1 (CEN 1998) e NP EN 196-1 (IPQ 2006), com a introdução de algumas alterações no tempo de amassadura para melhor se adequar a argamassas de cal. As dosagens foram estabelecidas em função do traço volumétrico pretendido, tendo-se convertido as quantidades para massa, mais adequado para a realização de amassaduras em ambiente de laboratório (Quadro 3.2). Este trabalho foi executado em parte no LNEC e no laboratório de materiais do DEC pelos mestrandos Rodrigo Massena, Nuno Felgueiras e Sónia Robalo.

Inicialmente foram previstas percentagens de substituição de massa de cal por Mk de 10, 20, 30 e 50 por cento. Um erro na formulação das argamassas, levou a que as quantidades e os traços volumétricos inicialmente previstos fossem alterados, resultando nos valores descritos (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 - Composição das argamassas estudadas

Identificador argamassa	% de substituição de massa de cal por Mk [%]	Traço volumétrico (cal : Mk : areia)			Traço volumétrico (cal + Mk : areia)		Traço ponderal (cal : Mk : S)			Traço ponderal (cal + Mk : S)	
		cal	Mk	areia	cal + Mk	areia	cal	Mk	S	cal + Mk	S
A	0	1	-	3,1	1	3,1	1	-	12	1	12
B	9	1	0,1	3,9	1	3,4	1	0,10	15	1	14
C	17	1	0,2	4,7	1	3,8	1	0,20	18	1	15
D	23	1	0,4	5,6	1	4,1	1	0,30	22	1	17
E	33	1	0,6	7,6	1	4,7	1	0,50	29	1	20

As quantidades de massa dos diferentes constituintes sólidos, referidas nas dosagens pré-estabelecidas, foram pesadas em balança de precisão 0,1 g e misturadas em tabuleiros, até ser atingida uma mistura de cor homogênea. A quantidade de água a utilizar foi medida com uma proveta graduada. A mistura dos materiais sólidos com a água foi efetuada, já com a cuba da misturadora em funcionamento, nos 15 segundos iniciais. Após 2,5 minutos parou-se a misturadora para raspar o material retido nas paredes da cuba e na pá, tendo-se colocado em funcionamento por mais 30 segundos.

Foram registados valores de espalhamento para cada amassadura, com o objetivo de fazer a comparação entre as argamassas produzidas no LNEC e no DEC. Isto foi motivado pelas diferenças de dimensão da cuba misturadora e do processo de compactação.

As argamassas foram colocadas em moldes prismáticos de dimensões 4 X 4 X 16 cm³, previamente untados com massa descofrante. Após o preenchimento de cerca de metade do molde, foi feita a compactação com 20 pancadas do compactador mecânico, para os provetes efetuados no DEC, e 25 pancadas de compactação manual com pilão, para os provetes efetuados no LNEC. Seguidamente completou-se o preenchimento do molde e executou-se mais uma vez a compactação.

Os moldes com argamassa foram colocados em sacos de polietileno cheios de ar e fechados, para promover um ambiente de grande humidade relativa durante 6 dias. Após este período, os provetes foram desmoldados cuidadosamente já que as resistências mecânicas a esta idade eram ainda muito baixas. Os provetes foram de seguida colocados nas diferentes condições de cura, onde ficaram até à véspera do início da campanha de ensaios (MASSENA 2011) (FELGUEIRAS 2011).

Quando a superfície dos provetes se apresentaram com alguma rigidez, procedeu-se à identificação individual dos provetes. Cada provete foi identificado com 2 letras e um número. Uma letra referente à argamassa utilizada (A, B, C, D ou E) e outra referente ao processo de cura a que foi submetido. Os números permitem a identificação de provetes executados na mesma argamassa e sujeito ao mesmo processo de cura. Tendo sido produzidos mais provetes do que os necessários para a caracterização às diferentes idades, alguns dos provetes não foram numerados ficando apenas com as 2 letras e a indicação SUP (suplente).

3.3. PROCESSOS DE CURA

O projeto FCT-METACAL previu a simulação de seis condições de cura diferentes, representadas no código de identificação de cada provete por uma letra maiúscula:

M – Cura exterior em ambiente marítimo

U – Cura exterior em ambiente urbano

H – Cura em ambiente muito húmido (sala de cura húmida do DEC)

R – Cura de referência em sala climatizada (sala climatizada do DEC)

P – Cura em sala climatizada com aspersão diária de água potável

S – Cura em sala climatizada com aspersão diária de água do mar

A cura em ambiente marítimo foi simulada na cobertura do DEC (Figura 3.2). Para esse efeito foi preparado um suporte em madeira onde foram colocados os provetes, orientando o seu eixo principal no sentido este - oeste, perpendicular à linha de costa. A ventilação da face inferior foi conseguida colocando os provetes sobre pequenas cantoneiras plásticas de maneira a criar um espaço de ar de 1 cm.

A cura em ambiente húmido foi efetuada na sala de cura húmida do DEC (Figura 3.4). Os provetes foram dispostos em grelhas sobre um tanque com água em permanência. O topo do tanque foi coberto com um filme plástico e a sala foi mantida fechada, de maneira a criar um ambiente de elevada humidade relativa. As condições registadas foram de $90 \pm 5\%$ de humidade relativa e $20 \pm 3^\circ\text{C}$ de temperatura.

A cura em ambiente urbano foi realizada no parque de provetes do LNEC (Figura 3.3). Para tal foi preparado, de maneira semelhante à cura em ambiente marítimo, um suporte em madeira, neste caso com orientação norte - sul.

Os provetes submetidos a cura em ambiente exterior sofreram danos acrescidos devido a condições atmosféricas anormais. O mês de abril de 2011 foi classificado pelo Instituto de Meteorologia, no boletim climatológico do referido mês, como o 2º mais quente desde 1931 (IPMA 2011). Adicionalmente foi registada a queda de granizo na região da Grande Lisboa, poucos dias após o início do processo. Os provetes não teriam adquirido ainda a resistência suficiente para suportar os impactos, tendo alguns deles ficado reduzidos a uma lâmina com metade da sua espessura original. Por esta razão para a realização dos ensaios em provetes de cura em ambiente exterior, foram sempre selecionados os provetes que apresentavam menores danos (MASSENA 2011).

As curas de referência, aspersão diária com água potável e com água salgada, foram efetuadas na sala climatizada do DEC. A aspersão foi efetuada diariamente, com exceção de fins de semana e feriados. Os provetes das curas de referência e aspersão com água potável foram colocados em prateleiras. Os provetes aspergidos com água salgada foram colocados em gavetas que se mantiveram abertas durante o decorrer do processo de cura (Figura 3.5). Os provetes foram humedecidos utilizando

3. Materiais e procedimentos adotados

os mesmos aspersores durante todo o processo. A aspersão foi efetuada a 15 cm de distância do provete, duas aspersões por face e uma aspersão em cada topo, totalizando aproximadamente 10 ml de água por provete. Nas metades de provetes partidos não se aspergiu a face onde se deu a rotura. Para a realização da aspersão dos provetes foi necessário retirá-los do local de acondicionamento e manuseá-los para conseguir aspergir todas as superfícies. Este processo resultou num agravamento da degradação dos provetes.



a)



b)

Figura 3.2 - Cura Marítima cobertura do DEC FCT-UNL. a) fotografia tirada no início do processo de cura (Massena, 2011); b) fotografia tirada no controlo de envelhecimento de março de 2012



a)



b)

Figura 3.3 - Cura Urbana parque de provetes do LNEC; a) fotografia tirada no início do processo de cura; b) fotografia tirada no controlo de envelhecimento de março de 2012



Figura 3.4 - Cura Húmida, provetes sobre o tanque de água potável



a)



b)

Figura 3.5 - Provetes R, P e S na sala climatizada do DEC; a) provetes cura S acondicionados em gavetas; b) Provetes cura P e R acondicionados em prateleiras

3.4. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Os ensaios realizados para a obtenção de resultados a um ano de idade foram realizados em duas séries, exceção feita ao ensaio para avaliação da porosidade aberta. Isto deveu-se ao limite de capacidade do material utilizado para o ensaio de absorção capilar, resultando num limite de cerca de

30 provetes por série de ensaios. Esta condicionante levou a que os provetes submetidos às condições de cura S, U e H tenham sido ensaiados 13 dias após os provetes M, P e R. Considerou-se esta diferença pouco relevante na obtenção de resultados a um ano de idade dos provetes.

A ordem de execução dos ensaios foi a mesma pela qual são introduzidos neste capítulo, exceção feita ao ensaio para determinação da porosidade aberta, que tendo sido o último a ser realizado, é aqui apresentado noutra ordem. Antes do início de cada série de ensaios os provetes estiveram na sala climatizada do DEC a 20 ± 5 °C de temperatura e $65 \pm 5\%$ de humidade relativa, por um período de 24 horas, para que a temperatura estabilizasse gradualmente (Figura 3.6). No período de tempo entre os ensaios de resistência mecânica e o ensaio de absorção capilar, os provetes foram mantidos em estufa à temperatura de 60 °C por um período não inferior a 48 horas para eliminar quaisquer vestígios de humidade.



Figura 3.6 - Provetes na sala climatizada para estabilização gradual das condições de temperatura e humidade

3.4.1. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (E_D)

A avaliação do módulo de elasticidade dinâmico foi feita com recurso ao equipamento ZEUS (ZRM 001) do laboratório de resistências mecânicas do DEC (Figura 3.7). Este equipamento consiste num emissor e recetor de ultrassons de frequências variáveis, monitor e unidade de processamento auxiliar. O aparelho regista a frequência de ressonância fundamental obtida através da excitação repetida do provete por ultrassons de frequência variável, processo referido normalmente como modo de excitação instantânea. Cada valor é obtido após o registo de 3 frequências de ressonância fundamental consecutivas com uma diferença inferior a ± 60 Hz entre cada uma. Foram obtidos pelo menos 4 valores para cada provete ensaiado. A unidade de processamento auxiliar permite a apresentação direta do valor de E_d sendo necessário apenas introduzir o valor da massa e dimensões do provete.



Figura 3.7 - Disposição geral do equipamento de avaliação de E_d

No dia anterior ao ensaio os provetes foram retirados das condições de cura e colocados na sala climatizada a $20 \pm 5^\circ\text{C}$ e a $65 \pm 5\%$ Hr por um período de 24 horas. Procedeu-se à pesagem individual dos provetes numa balança de precisão 0,01g. A pesagem foi feita na sala climatizada, imediatamente antes do ensaio. Seguidamente transportaram-se os provetes para o laboratório de resistências mecânicas onde foram dispostos sobre as bancadas centrais. Os provetes foram colocados no suporte da máquina e ajustou-se a fonte emissora e o recetor às superfícies do topo dos provetes. No decorrer do ensaio, o aparelho emite sons numa ampla gama de frequências. O aparelho indica diretamente o valor de E_d . Os provetes ensaiados foram os mesmos utilizados posteriormente para os restantes ensaios.

3.4.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR FLEXÃO

O ensaio de resistência à tração consiste em provocar a extensão das fibras inferiores, por aplicação de uma carga pontual vertical a metade do comprimento do provete na face superior (Figura 3.8). O ensaio decorreu no seguimento da avaliação do módulo de elasticidade dinâmico. Foi realizado no laboratório de resistências mecânicas do DEC. A relação entre a carga aplicada, as dimensões do provete e o valor da resistência à tração por flexão (R_t) é feita através da seguinte fórmula:

$$R_t = 1,5 \times \frac{F \times l}{b \times d^2} [\text{MPa}] \quad (3.1)$$

onde:

F – Força vertical registada na rotura [N]

l – Distância livre entre apoios [mm]

b – Base da secção do provete [mm]

d – Altura da secção do provete [mm]

Os provetes foram colocados nos apoios da prensa, tomando medidas para garantir que a face exposta ao ar nos moldes não fique em contato nem com os apoios nem com a extremidade da prensa. Alinhou-se o provete com o eixo longitudinal dos apoios e registou-se o valor de l distância livre entre apoios. Aproximou-se a extremidade da prensa da superfície do provete, para diminuir o tempo de espera. O aparelho aplica uma pré-carga de 2 kN sem fazer registo de valores com o objetivo de eliminar quaisquer folgas nos apoios. Uma vez atingido o valor de 2 kN, deu-se início ao registo de valores que são representados no monitor da prensa num gráfico cartesiano força aplicada / tempo até à rotura.



Figura 3.8 - Máquina de tração com dispositivo de flexão por compressão em três pontos, DEC FCT-UNL

3.4.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A avaliação da resistência à compressão foi efetuada no mesmo equipamento utilizado para a resistência à tração por flexão. O ensaio consiste na aplicação de uma força vertical sobre um provete disposto entre duas placas metálicas, até ser atingida a rotura. Para este ensaio a extremidade da prensa mecânica difere da utilizada para o ensaio de tração por flexão, consistindo numa placa metálica e rótula esférica. O equipamento regista os valores de força aplicada em N. A determinação da resistência à compressão, em MPa, é feita dividindo a força pela área, em mm^2 .

Para este ensaio foram utilizadas metades de provetes resultantes do ensaio de tração por flexão. O ensaio foi realizado no seguimento deste último, tendo sido utilizado o mesmo equipamento com as adaptações necessárias. As metades dos provetes foram colocadas num dispositivo metálico, que garante a área de secção de provete em contato com as placas metálicas da prensa. Foram tomadas medidas para garantir que a face exposta ao ar nos moldes não fique em contato com os apoios metálicos. Aproximou-se a extremidade da prensa, para diminuir o tempo de ensaio, e aplicou-se lentamente uma pré-carga de 50 kN durante a qual não se registaram valores. Uma vez atingido o valor da pré-carga, deu-se início ao registo dos valores num gráfico cartesiano força aplicada / tempo. O ensaio decorreu até ser atingida a rotura, evidenciada por uma diminuição significativa da força aplicada

ao provete. Foram recolhidas duas porções de cerca de 1 cm de altura de cada provete para a realização de outros ensaios, nomeadamente porosidade aberta, massa volúmica aparente e para a realização de análises químicas e microscopia.

3.4.4. AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Para a determinação do coeficiente de absorção capilar foram utilizadas as metades de provetes sobrantes do ensaio à tração por flexão. Os provetes foram colocados em caixas fechadas em contacto com uma lâmina de água de 0,5 cm de altura. Foram registados os valores de quantidade de água absorvida, em intervalos de tempo pré-determinados, através da diferença entre o peso do provete seco e o peso do provete em contacto com a água, a cada instante. Os valores obtidos foram dispostos num gráfico cartesiano quantidade de água absorvida / tempo, correspondendo o declive do troço reto inicial do gráfico ao valor do coeficiente de absorção capilar. A aproximação do declive do troço reto foi feita através de regressão linear, utilizando pelo menos 5 pontos colineares. Em alguns casos não foi possível a utilização de 5 pontos para a regressão linear. Essas situações são referidas no capítulo 4.1 - Resultados da campanha experimental.

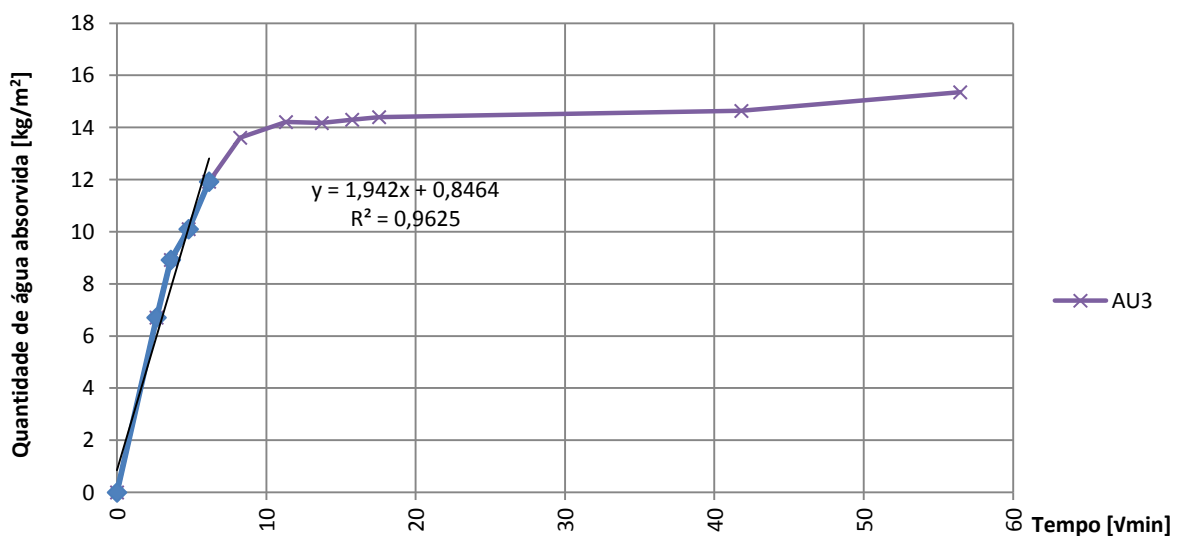


Figura 3.9 - Determinação do coeficiente de absorção capilar por regressão linear correspondente à inclinação do troço inicial reto

Devido à necessidade de efetuar pesagens com pouco tempo de intervalo numa fase inicial, limitou-se o número de provetes por caixa a 15. Os ensaios foram efetuados em duas fases com recurso a duas caixas. Foi feita a separação de provetes contaminados com cloretos, dos restantes que apenas estiveram em contacto com água potável.

Previamente à realização do ensaio os provetes foram acondicionados em estufa por um período não inferior a 48 horas. Na véspera do ensaio os provetes foram colocados na sala climatizada do DEC,

para puderem arrefecer lentamente durante 24 horas. No dia do ensaio as faces laterais dos provetes foram envolvidas em celofane. Desta forma a secagem se processa-se apenas através de uma face do provete (secagem unidirecional). Aplicou-se uma malha de gaze na face inferior do provete e registou-se a sua massa com uma balança de precisão 0,001g. A malha de gaze tem como função minorar as perdas de massa que ocorrem na pesagem.

Foram preparadas as caixas de ensaio colocando uma rede de material esponjoso descontínuo, por forma a garantir o contacto permanente do provete com a água. A caixa foi nivelada com recurso a um nível de bolha de ar e calços. Preencheu-se o fundo com uma lâmina de água de 0,5 cm de altura, utilizando-se para esse fim uma régua metálica. A caixa permaneceu sempre fechada entre pesagens, para manter o ambiente interior de grande humidade relativa.

Para a realização das pesagens destapou-se a caixa e deixou-se escorrer o excesso de água do provete, passando a base do provete pela superfície metálica da bancada. Efetuou-se a pesagem na balança de precisão e voltou-se a colocar o provete na caixa. Foi feita a verificação da altura de lâmina de água entre cada pesagem. No final a caixa foi novamente tapada para manutenção das condições interiores. As pesagens são feitas inicialmente a intervalos de 5 minutos, sendo recomendada a utilização de duas pessoas para a fase inicial desta tarefa. O ensaio deu-se por terminado quando a diferença entre duas pesagens consecutivas não excedeu os 0,2%.

3.4.5. ENSAIO DE SECAGEM

Este ensaio foi executado no seguimento dos ensaios para determinação do coeficiente de absorção capilar. Os provetes saturados após a realização deste último ensaio, foram deixados na sala climatizada do DEC. Foram efetuadas pesagens regulares até à estabilização da sua massa, isto é, até se atingir uma diferença inferior a 0,2% da massa do provete seco, entre pesagens consecutivas e num intervalo máximo de 24 horas. Para a determinação do teor de água dos provetes foi utilizada a fórmula 3.3

$$W_i = \frac{m_i - m_o}{m_o} \times 100 [\%] \quad (3.3)$$

onde:

w_t – teor de água no instante $t = i$

m_i – massa do provete no instante $t = i$

m_o - massa do provete estabilizado

Foi também calculado o índice de secagem para cada provete, dado pelo integral da curva de secagem resultante da variação do teor de água (equação 3.3) ao longo do tempo. A aproximação do integral da curva de secagem foi obtida utilizando a regra do trapézio como indicado na expressão seguinte (BRITO 2009):

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [(t_i - t_{i-1}) \times \frac{W_{i-1} + W_i}{2}]}{W_{max} \times t_f} \quad (3.4)$$

onde:

IS - Índice de secagem

t_i - tempo no instante i [horas]

t_v - tempo total do ensaio [horas]

W_i - Quantidade de água no interior do provete no instante i (percentagem da massa estabilizada do provete) [%]

Os provetes foram colocados na sala climatizada do DEC sobre a superfície da bancada. O procedimento experimental resume-se à pesagem dos provetes a intervalos regulares numa balança de precisão 0,001 g, tendo especial cuidado para evitar as perdas de massa. Quatro das seis faces dos provetes foram mantidas seladas com celofane.

3.4.6. POROSIDADE ABERTA

Para a realização deste ensaio foram utilizadas as porções de provete com ± 1 cm de altura, resultantes do ensaio de resistência à compressão. O ensaio consiste na pesagem de provetes cujos poros abertos para o exterior foram preenchidos com água por ação de vácuo. O valor da porosidade aberta é determinado por diferença de peso. Os ensaios foram realizados no laboratório de materiais do DEC com base na norma NP EN 1936 (2008).

Previamente à realização deste ensaio as porções de provete utilizadas estiveram em estufa por um período não inferior a 48 horas. Seguidamente foram colocadas na sala climatizada do DEC, por um período de 24 horas, para estabilização gradual da temperatura e humidade.

As porções de provetes selecionadas, foram escovadas suavemente para eliminar material solto. De seguida as porções de provete foram pesadas e envolvidas numa malha fina de fibra de vidro, para evitar a ocorrência de perdas de massa. Tomou-se o cuidado de efetuar um pequeno orifício na malha de vidro para a libertação de bolhas de ar que poderiam influenciar os valores de pesagem hidrostática.

As porções de provete foram acomodadas no interior do exsicador, em espiral de forma a otimizar o espaço disponível. Ligou-se a bomba do exsicador para a criação de vácuo, estabelecendo-se uma diferença de pressão de 20 Torr. Os provetes foram mantidos neste ambiente durante 24 horas. Após este período procedeu-se à introdução gradual de água no exsicador, num processo com a duração mínima de 15 minutos, até o nível de água ser ligeiramente superior à altura das porções de provete. Decorreram mais 24 horas com os provetes nestas condições. A pressão atmosférica foi reestabelecida e retirou-se gradualmente a água do exsicador, procedendo-se seguidamente à pesagem hidrostática e pesagem simples dos provetes saturados. A determinação do índice de vazios foi feita com recurso à fórmula 3.5.

$$P_0 = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100 \text{ [%]} \quad (3.5)$$

onde:

P_0 - Porosidade [%]

m_s - Massa do provete seco [g]

m_d - Massa do provete saturado [g]

m_h - Massa do provete imerso [g]

3.4.7. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MINERALÓGICA E MICROESTRUTURAL

Para comparar com os dados de outros ensaios, foram preparadas porções de argamassa para ensaio laboratoriais, com o objetivo de proceder à caracterização química, mineralógica e microestrutural das argamassas utilizadas. Os ensaios de caracterização previstos foram: a análise por microscópio eletrônico de varrimento (MEV); análise por difração de raios X (DRX); e termogravimetria (TGA). Para tal foram preparadas porções de amostras de cada provete ensaiado, nas quantidades e condições adequadas para a realização de cada ensaio. Para a análise por MEV foi obtida uma porção não perturbada da argamassa do provete. Para os restantes ensaios procedeu-se separação dos agregados do ligante, moagem e peneiração.

Este trabalho decorreu nas duas últimas semanas de maio. As amostras preparadas foram guardadas em sacos de polietileno fechados no LNEC, estando disponíveis para a utilização em investigações futuras.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DA CAMPANHA EXPERIMENTAL

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados decorrentes de ensaios realizados pelo autor. Os ensaios foram efetuados pela ordem aqui apresentada, com exceção do ensaio para determinação de porosidade aberta, que foi o último a ser realizado.

4.1.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DOS PROJETES

Foi feita a caracterização do estado de conservação dos projetes, durante o processo de cura, na primeira semana de janeiro. Esta caracterização foi efetuada por observação visual e registo fotográfico. Pretendeu-se com este procedimento verificar se os projetes se encontravam em condições de serem ensaiados, analisar o efeito do processo de cura ao longo do tempo e recuperar a sua identificação, que em alguns casos se estavam a perder devido a danos nas superfícies.

Os que não apresentavam danos foram classificados de "íntegros". Em muitos projetes sujeitos a curas de exterior ou aspersão, notou-se um arredondamento das arestas com conseqüente afunilamento das secções de topo classificados como "danos em arestas e topos". Os projetes cujas superfícies se encontravam degradadas e frágeis, foram classificados com a designação "danos nas superfícies" (Figura 4.1). Esta designação inclui também os projetes que sofreram queda de granizo e chuva intensa nos primeiros dias de cura. Pelo mesmo motivo os projetes sujeitos a cura marítima de composição C, D e E não se encontram classificados pois ficaram extremamente degradados.

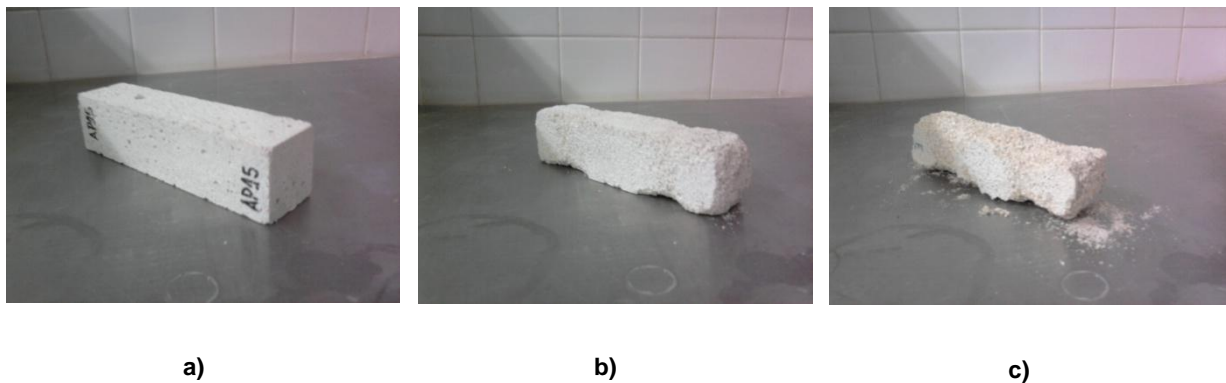


Figura 4.1 - Classificação de danos ocorridos nos projetes; a) projete íntegro; b) danos em arestas e topos; c) danos em superfícies.

No quadro 4.1 são indicadas as percentagens de projetes com diferentes tipos de degradação por argamassa e condição de cura. Os estados de degradação são acumulativos, exceção feita à classificação de íntegro. Assim é frequente que aos danos em arestas e topos estejam também associados danos nas superfícies

Quadro 4.1 - Estado de degradação dos provetes na primeira semana de janeiro de 2012

Cura / Composição	Íntegro [%]	Danos em arestas e topos [%]	Danos nas superfícies [%]	Provete partido [%]	Nº de provetes analisados
AU	95	0	0	5	19
AM	0	0	92	8	12
AR	85	0	0	15	13
AP	81	0	0	19	16
AS	68	16	16	0	19
AH	83	0	0	17	12
BU	0	29	100	29	21
BM	0%	0	100	0	15
BR	100	0	0	0	6
BP	53	5	21	21	19
BS	33	58	42	25	12
BH	79	0	0	21	14
CU	0	76	82	29	17
CM	-	-	-	-	0
CR	100	0	0	0	3
CP	20	53	60	20	15
CS	0	89	56	50	18
CH	93	7	7	7	14
DU	0	85	100	8	13
DM	-	-	-	-	0
DR	100	0	0	0	3
DP	0	100	100	43	14
DS	0	100	75	50	8
DH	33	50	50	67	6
EU	0	100	100	100	10
EM	-	-	-	-	0
ER	75	0	0	25	4
EP	0	100	100	29	14
ES	0	100	86	57	7
EH	63	38	38	38	8

Nota: Um provete íntegro não apresenta qualquer dano, no entanto, um provete partido pode simultaneamente apresentar danos em arestas e topos, e danos nas superfícies. Para efeitos deste estudo não foram ensaiados provetes partidos em substituição de outros, por não ser possível executar o ensaio de avaliação do módulo de elasticidade dinâmico.

Os provetes A (Figura 4.2), sem substituição parcial de massa de cal por MK, sofreram menores danos. Existe o caso particular dos provetes em cura M que apresentam danos nas superfícies pelas razões acima descritas. Os provetes sujeito à cura S apresentam danos nas superfícies e arestas. A manipulação constante dos provetes sobre as cantoneiras de plástico promoveu a diminuição da secção nos pontos de apoios. Adicionalmente os ciclos de secagem molhagem com cristalização dos sais presentes na água do mar, levou a uma degradação superficial ligeira (superfícies friáveis).

Os provetes B (Figura 4.2) em cura marítima, apresentam os mesmos resultados que os A, sendo os danos no entanto mais evidentes (Figura 4.3). Da mesma forma foram observados danos significativos para as curas S e U. O mecanismo de degradação dos provetes sujeitos a cura S deverá ser idêntico ao descrito para os provetes A. Foi possível observar nos provetes partidos da mesma cura a formação de uma camada exterior mais resistente que o núcleo. Os provetes

submetidos à cura P não apresentavam esta característica, sugerindo que este facto está relacionado com o contacto com a água do mar.

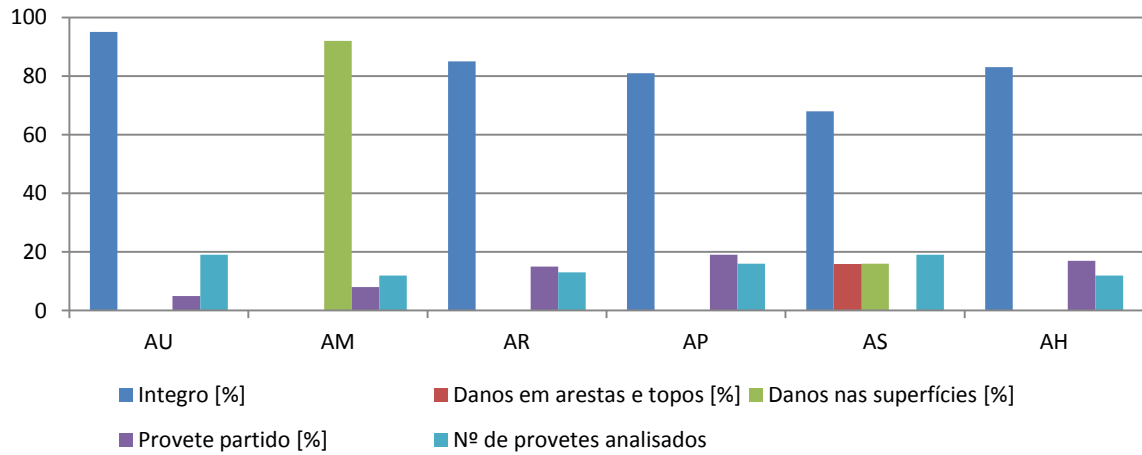


Figura 4.2 - Estado de conservação das Argamassas A



a)



b)

Figura 4.3 - Estado de degradação das superfícies dos provetes a) cura marítima (M) argamassas C, D e E; b) cura urbana (U) argamassas B e C.

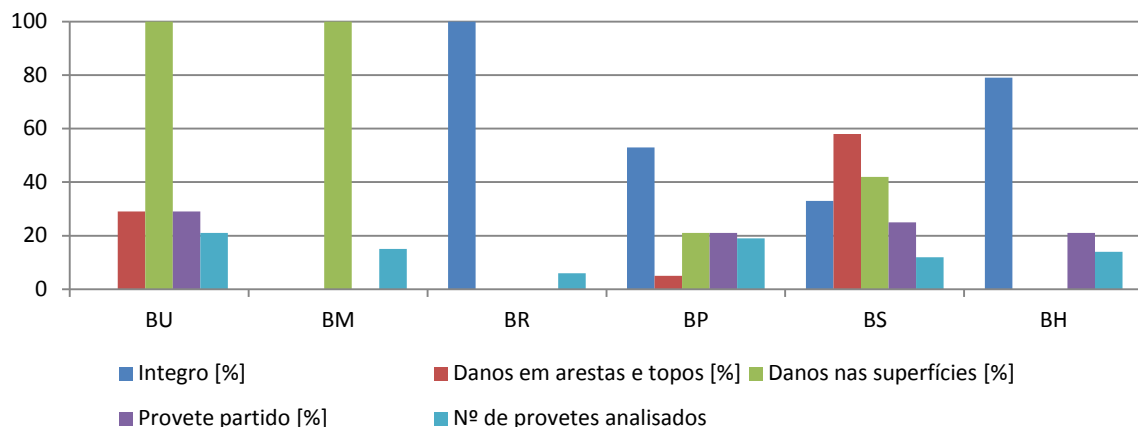


Figura 4.4 - Estado de conservação das argamassas B

Os provetes C (Figura 4.5) sujeitos a cura marítima (M) encontravam-se extremamente degradados, não estando em condições de serem ensaiados (figura 4.1 a). Os provetes C sujeitos a cura U também apresentavam danos superficiais, sendo estes no entanto de menor gravidade que os sujeitos à cura M (figura 4.1 b) e dos sofridos pelos provetes B. Em relação à cura S constatou-se, à semelhança dos provetes B, a formação de uma camada superficial mais dura em comparação com o seu interior. Na cura P notou-se um arredondamento das arestas e topos acentuado.

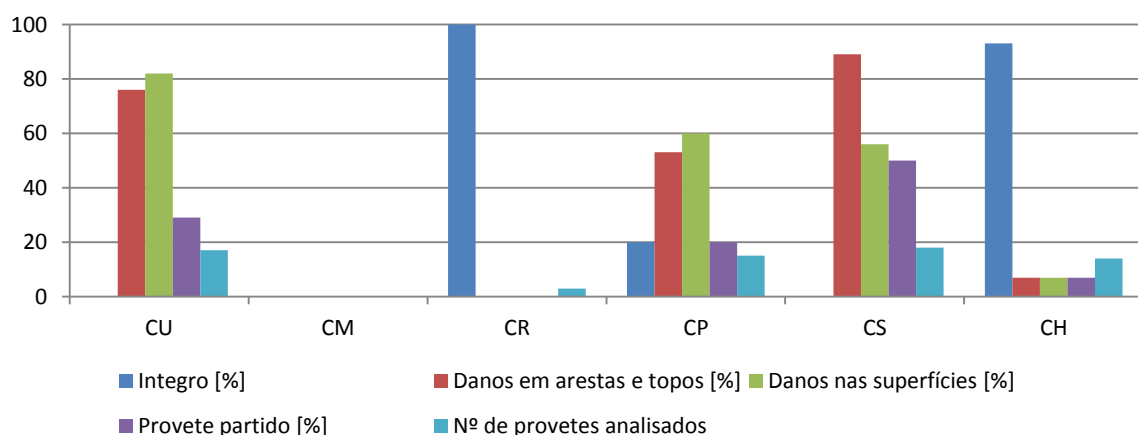


Figura 4.5 - Estado de conservação das argamassas C

Os danos registados em provetes de composição D (Figura 4.6), apresentam o mesmo padrão e mecanismos de degradação descritos para C. O grau de degradação e o número de provetes afetados é também maior. Em alguns provetes sujeitos à cura S ocorreu o destacamento da camada exterior sobre a forma de placas.

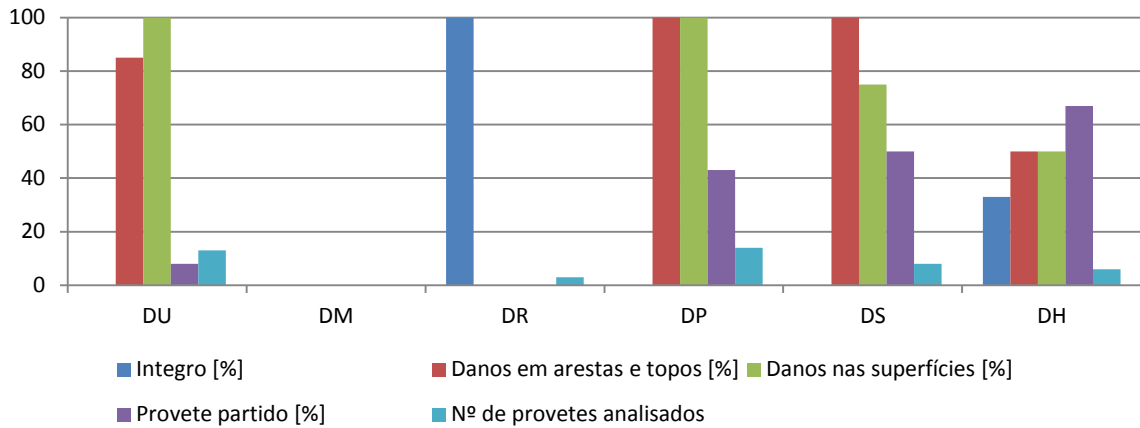


Figura 4.6 - Estado de conservação das argamassas D

Em relação aos provetes E (Figura 4.7), uma degradação extrema foi observada em quase todas as curas, o que pode indicar que a composição adotada não deverá ser aplicada como revestimento exterior. É importante referir que os provetes sujeitos à cura H não sofreram quaisquer danos (figura 3.3), à exceção dos resultantes de manipulação em idades muito jovens, como referido por outros autores (MASSENA 2011). Esta situação foi também verificada para os provetes de todas as composições sujeitos à cura R.

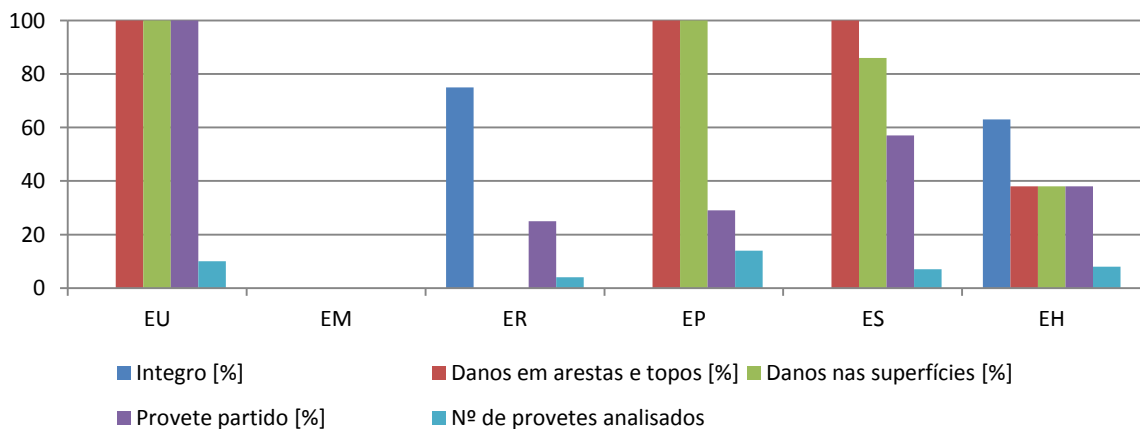


Figura 4.7 - Estado de conservação das argamassas E

4.1.2. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

O módulo de elasticidade dinâmico é um indicador do grau de deformabilidade das argamassas. É de especial interesse para a verificação da sua adequabilidade a funções de revestimento, fornecendo informação sobre a resistência à fendilhação e compatibilidade com o suporte.

O ensaio de módulo de elasticidade dinâmico foi efetuado no laboratório de resistências mecânicas do DEC, após as 24 horas de repouso dos provetes em sala climatizada para

4. Apresentação e discussão de resultados

estabilização das condições de temperatura e humidade. Foram efetuadas 4 medições por cada provete, exceção feita às argamassas C e B sujeitas a cura H, nos quais os valores anormais de módulo de elasticidade motivaram que fossem efetuadas até 11 medições. Nos provetes em que era visível diminuição da secção, devido a danos resultantes do processo de cura (U e M), foram introduzidas as dimensões corrigidas para melhorar a precisão dos resultados. Para a obtenção dos valores médios por composição e cura, foram utilizados todos os valores dos provetes ensaiados (Quadro 4.2 e Figura 4.8).

Numa primeira análise dos resultados globais, são evidentes os valores elevados dos provetes de composição B e C sujeitos à cura H. À exceção das argamassas A, contendo apenas cal aérea sem substituição por Mk, os provetes sujeitos à cura S apresentaram valores de E_d significativamente inferiores, quando comparados dentro da mesma composição. Os dados da análise do estado de conservação, indicam que estes provetes sofreram degradação nas suas superfícies e ligeira diminuição da secção devido ao arredondamento das arestas.

Quadro 4.2 - Resultados do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico (E_d) e respetivo desvio padrão

Cura / Composição	Nº de provetes	E_d [MPa]	Cura / Composição	Nº de provetes	E_d [MPa]
AU	3	4485,9 ± 078	DU	2	2179,1 ± 218
AM	3	4273,7 ± 170	DM	-	-
AR	3	3657,2 ± 113	DR	3	1881,1 ± 037
AP	3	4544,8 ± 120	DP	-	-
AS	3	4808,1 ± 248	DS	2	1701,5 ± 356
AH	3	4415,3 ± 097	DH	3	1961,9 ± 542
BU	3	2618,3 ± 051	EU	3	1403,1 ± 301
BM	3	2845,1 ± 179	EM	-	-
BR	3	3787,6 ± 630	ER	-	-
BP	3	2243,3 ± 197	EP	-	-
BS	3	1346,8 ± 102	ES	-	-
BH	3	6125,9 ± 895	EH	3	1439,3 ± 217
CU	3	2828,5 ± 269			
CM	-	-			
CR	3	2288,9 ± 283			
CP	-	-			
CS	3	1503,3 ± 317			
CH	3	4521,9 ± 774			

Nota: Foram feitas correções à secção dos provetes devido ao mau estado de conservação. Para os provetes CU, BU, DU e DM considerou-se uma secção de 38 x 38 mm², para os provetes DP, EP, CS e DS considerou-se uma secção de 35 x 35 mm².

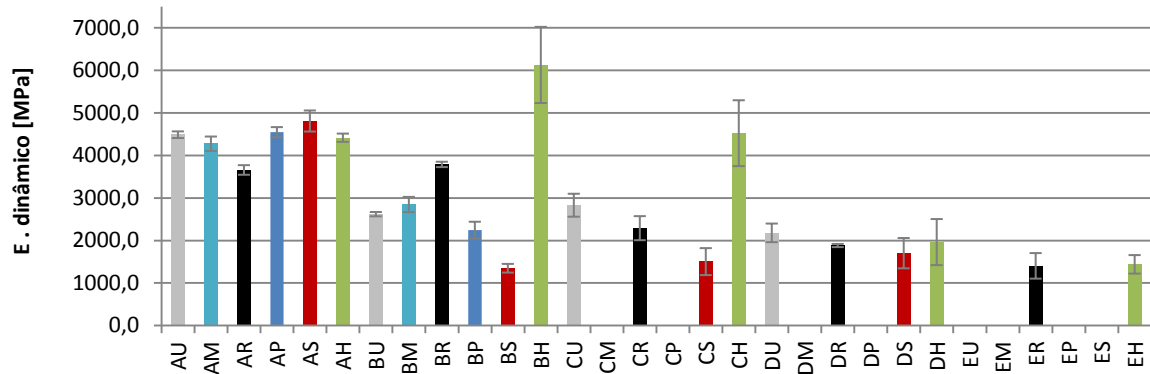


Figura 4.8 - Resultados globais de E. dinâmico e representação do desvio padrão

Os provetes com Mk sujeitos à cura H apresentaram em geral os maiores valores de desvio padrão, quando comparados dentro da mesma composição. O facto de os valores obtidos estarem muito acima do esperado sugere a influência desta cura na correta realização do ensaio. Os valores elevados de E_d para os provetes BH e CH, poderão dever-se à presença de água no seu interior. Os provetes estiveram 24 horas em condições de temperatura e humidade padrão, no entanto a presença do Mk ou uma porosidade reduzida poderão ter retardado a sua evaporação.

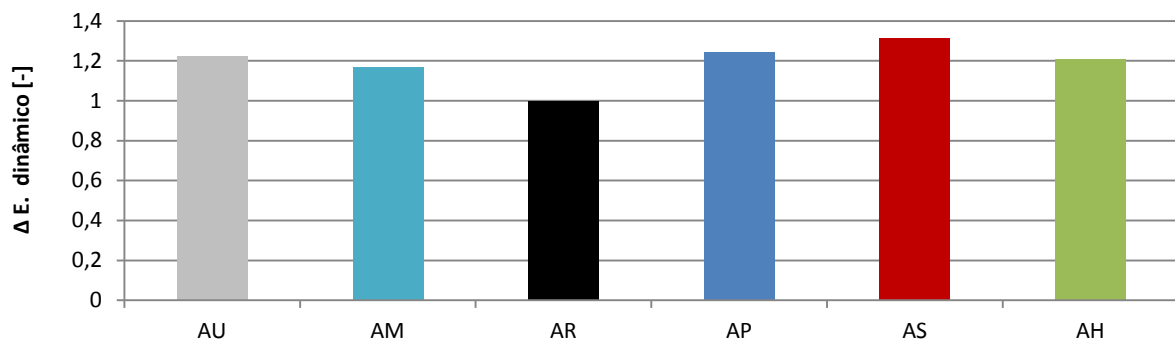


Figura 4.9 - Resultados do ensaio de E dinâmico para argamassas A normalizados em relação à cura de referência

Os valores obtidos para os provetes A apresentam pouca variação. Estes provetes não contêm qualquer percentagem de Mk, devendo-se a diferença nos valores somente às condições de cura. O maior valor de E_d foi verificado para as condições de cura S e os menores para a cura de R. Não existem diferenças significativas entre as curas M, U e H embora as primeiras tenham registado valores inferiores.

O valor mais baixo de E_d foi obtido para a cura de referência. O facto de as curas de aspersão (S e P) se processarem nas mesmas condições de temperatura e concentração de CO_2 , permite apontar a presença regular de água como fator que potencia a obtenção de maiores valores de E_d . A utilização de água do mar na cura de aspersão S, rica em sais solúveis, pode estar na origem dos valores mais elevados destes provetes. Adianta-se a hipótese da migração de sais solúveis para o interior do provete e posterior cristalização no interior dos poros, resultando numa colmatação dos vazios e conseqüentemente num material mais denso. Sendo os provetes de

4. Apresentação e discussão de resultados

dosagem A executados exclusivamente com recurso a cal aérea como ligante, terão maior resistência à pressão exercida pelos sais cristalizados, o que pode explicar porque estes provetes não apresentam a mesma degradação superficial observada noutras argamassas sujeitas às mesmas condições de cura (Quadro 4.1).

Os provetes sujeitos a curas em ambiente exterior foram também expostos periodicamente a água, devido às condições atmosféricas. O valor de E_d para os provetes em cura U, apresentaram um valor ligeiramente superior aos da cura M. Este facto pode ser explicado pela maior concentração de CO_2 em ambiente urbano que promove a reação de carbonatação. No entanto a diferença verificada é muito pequena, sendo necessário recorrer a ensaios laboratoriais de determinação do grau de carbonatação para a verificação desta afirmação.

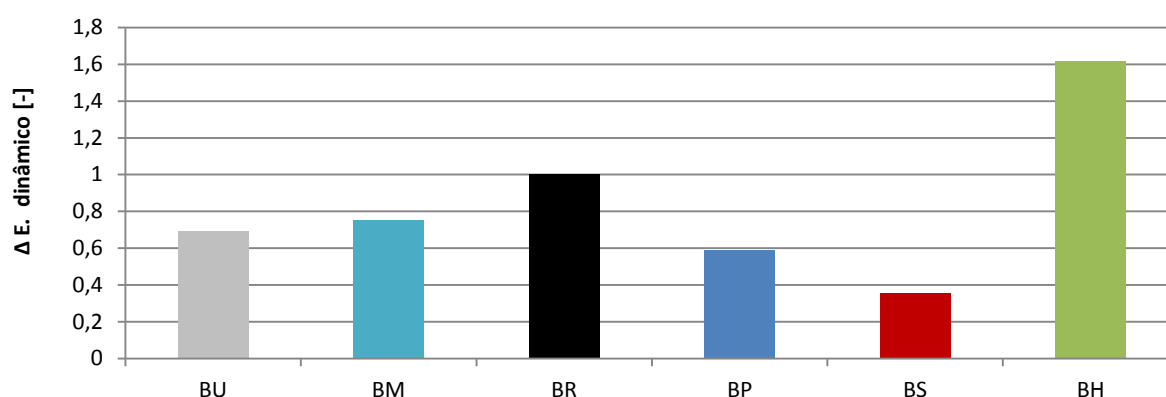


Figura 4.10 - Resultados do ensaio de E dinâmico para argamassas B normalizados em relação à cura de referência

Os provetes B com substituição de 9% de massa de cal por metacaulino, apresentam valores bastante heterogêneos. É evidente a discrepância dos valores de BH em relação aos outros, o que poderá dever-se à presença de humidade no interior dos provetes sujeitos a cura húmida. Esta situação poderá ser confirmada através da análise dos valores obtidos nos ensaios de resistência à flexão e à compressão. Contrariamente ao verificado nas outras dosagens, obtiveram-se para a cura R valores de E_d elevados, em comparação com as curas de exterior (M e U) e em comparação com as curas de aspersão regular (S e P). Evidencia-se que para esta dosagem em particular, quando sujeitos às mesmas concentrações de CO_2 , os efeitos da presença regular de água não conduziram a um aumento do valor de E_d , como o verificado nos provetes A. Já os valores obtidos para as curas em ambiente exterior são ligeiramente superiores, não excedendo no entanto os da cura R.

Relativamente às argamassas de dosagem C com substituição de 17% da massa de cal por metacaulino, não foram obtidos valores sujeitos às curas marítima M e P, as primeiras devido à forte queda de granizo ocorrida poucos dias após o início do processo de cura, e as segundas devido ao avançado estado de degradação das face de topo, o que impossibilitou a execução deste ensaio. O maior valor ocorreu mais uma vez para os provetes sujeitos a cura H, devendo a validade do mesmo ser confirmada pelos restantes ensaios de resistências mecânicas. Verificaram-se valores

ligeiramente maiores para os provetes em cura U, quando comparados com os de referência, sugerindo uma influência positiva do ambiente exterior no processo de cura. Este valor é inclusivamente superior ao obtido para os provetes de dosagem B sujeitos às mesmas condições.

Os valores obtidos para os provetes de composição D com 23% de substituição de massa de cal por metacaulino, apresentam-se coerentes com a tendência já observada de diminuição de E_d com o aumento da percentagem de substituição de massa de cal por metacaulino. O maior valor foi registado para os provetes em cura urbana. Como os provetes sujeitos a cura marítima ficaram severamente danificados, não puderam ser ensaiados. Neste caso não se verificaram valores médios anormais nos provetes sujeitos à cura H. Apenas um dos provetes ensaiados apresentou duas medições significativamente diferentes das restantes. Os provetes sujeitos à cura S, registam os valores mais baixos e simultaneamente maior degradação das superfícies e das arestas e topos, podendo os dois factos estar relacionados.

Nas argamassas E com 33% de substituição de massa de cal por metacaulino, o estado de degradação dos restantes provetes não permitiu a obtenção de valores. Apenas os das curas R e H, os que requeriam menos movimentação e cuja cura se processava em espaços interiores, estavam em condições de serem ensaiados. Os valores para provetes sujeitos às curas R e H não apresentam diferenças significativas, sugerindo pouca influência da presença de humidade durante a cura nos valores de E_d . Note-se que o ambiente da sala climatizada é bastante mais seco que o da sala de cura húmida (65% e 90% de Hr respetivamente). No caso de ocorrência de adulteração dos valores, devido à existência de humidade no interior dos provetes no momento do ensaio, seria de esperar um valor significativamente mais alto para EH.

Analisando a globalidade dos resultados obtidos a 1 ano de idade, nota-se uma tendência para a diminuição do valor de E_d com o aumento do teor de metacaulino. Esta tendência é observável através da análise dos provetes sujeitos a cura R de composição B, C, D e E, ou seja, excluindo os provetes A apenas com cal aérea e areia na sua composição. Os provetes A registaram valores ligeiramente inferiores a B. Refira-se que em ambos os casos os valores obtidos em cada ensaio foram bastante coerentes como é evidenciado pelo desvio padrão. É então seguro afirmar, que a presença em pequenas quantidades de Mk em substituição de massa de cal, promove um aumento do valor de E_d para os provetes sujeitos à cura R.

Foi também observável em todos os provetes com Mk, valores de E_d baixos para provetes sujeitos a cura de aspersão com água do mar (S). Estes provetes apresentavam maior degradação generalizada para todas as composições. A exceção verificou-se para os provetes de dosagem A, apenas com cal aérea e areia, onde foi obtido o maior valor de E_d (isto se admitirmos que os valores obtidos para a cura húmida (H) foram afetados pela presença de humidade no seu interior).

Para explicar o elevado valor de E_d nos provetes AS, adianta-se a hipótese de ocorrência de penetração de água com cloretos dissolvidos em profundidade, com posterior cristalização destes no interior dos poros. Este mecanismo em provetes com substituição de massa de cal por Mk, origina

degradação das superfícies por falta de resistência da estrutura dos poros. Os provetes A que apresentam na generalidade valores mais elevados de E_d poderão de alguma forma resistir a este efeito, beneficiando apenas do preenchimento dos vazios provocado pela ação da cristalização dos cloretos.

Os valores de E_d de alguns provetes sujeitos às curas que provocaram maior degradação, poderão ter sido afetados por uma fonte adicional de erro. Embora tenham sido tomadas medidas para corrigir a espessura dos provetes afetados por degradação superficial, não foram corrigidas as variações de volume decorrentes do arredondamento das arestas. A aproximação da secção de provete à forma retangular, leva a que o volume de provete assumido pelo equipamento seja exagerado, levando a erros no cálculo da densidade e consequentemente de E_d .

4.1.3. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR FLEXÃO

A avaliação da resistência à tração por flexão foi também realizada no laboratório de resistências mecânicas do DEC. Este ensaio foi efetuado no seguimento do ensaio de avaliação do módulo de elasticidade dinâmico e utilizando os mesmos provetes. As médias dos valores obtidos, assim como o número de provetes considerados para a média, estão resumidas no quadro 4.3.

Como se observa na figura 4.11, os valores obtidos foram muito baixos, com exceção das argamassas A. Para as argamassas com maior percentagem de substituição de cal por metacaulino (C, D e E), os valores de resistência à tração são praticamente nulos.

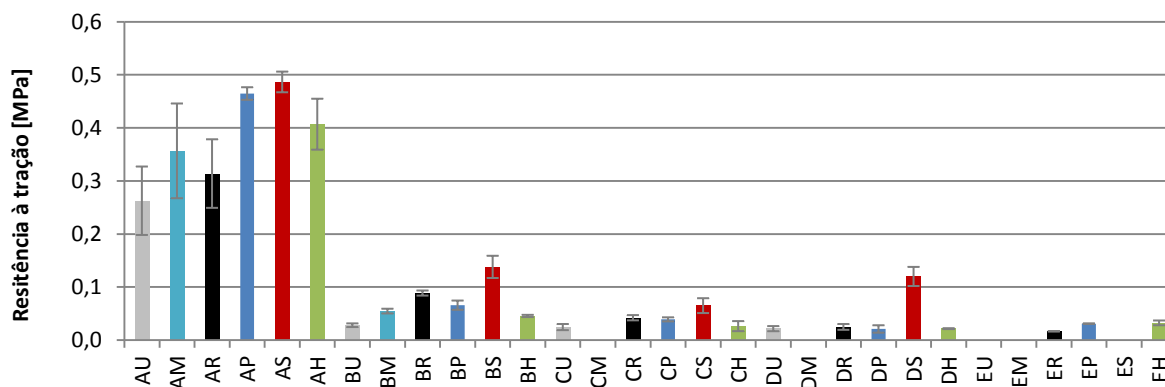


Figura 4.11 - Resultados globais de resistência à tração e respetivo desvio padrão

Os provetes A apresentam valores de resistência dentro do esperado. Registou-se uma melhoria considerável das resistências em argamassas A, sujeitas às curas M e H, e nas duas curas de aspersão (P e S). A cura U, onde a maior concentração de CO_2 deveria promover uma melhoria das resistências mecânicas, não produziu os resultados esperados. Refira-se que grande percentagem dos provetes sujeitos à cura U, apresentaram danos nas superfícies devido à queda de granizo.

Quadro 4.3 - Resultados do ensaio de resistência à tração e respetivo desvio padrão

Cura / Composição	Nº de provetes	R _t [MPa]	Cura / Composição	Nº de provetes	R _t [MPa]
AU	3	0,263 ± 0,064	DU	2	0,022 ± 0,005
AM	3	0,357 ± 0,089	DM	3	0,025 ± 0,005
AR	3	0,314 ± 0,065	DR	3	0,025 ± 0,005
AP	2	0,465 ± 0,012	DP	2	0,014 ± 0,005
AS	3	0,487 ± 0,019	DS	2	0,081 ± 0,012
AH	3	0,436 ± 0,061	DH	2	0,022 ± 0,001
BU	3	0,028 ± 0,003	EU	-	-
BM	3	0,055 ± 0,004	EM	-	-
BR	3	0,089 ± 0,005	ER	2	0,017 ± 0,001
BP	3	0,066 ± 0,009	EP	2	0,021 ± 0,001
BS	3	0,136 ± 0,021	ES	-	-
BH	2	0,046 ± 0,002	EH	3	0,032 ± 0,004
CU	2	0,025 ± 0,006			
CM	-	-			
CR	3	0,042 ± 0,005			
CP	3	0,039 ± 0,004			
CS	3	0,044 ± 0,010			
CH	3	0,026 ± 0,009			

Nota: Foram feitas correções à secção dos provetes devido ao mau estado de conservação. Para os provetes CU, BU, DU e DM considerou-se uma secção de 38 x 38 mm², para os provetes DP, EP, CS e DS considerou-se uma secção de 35 x 35 mm².

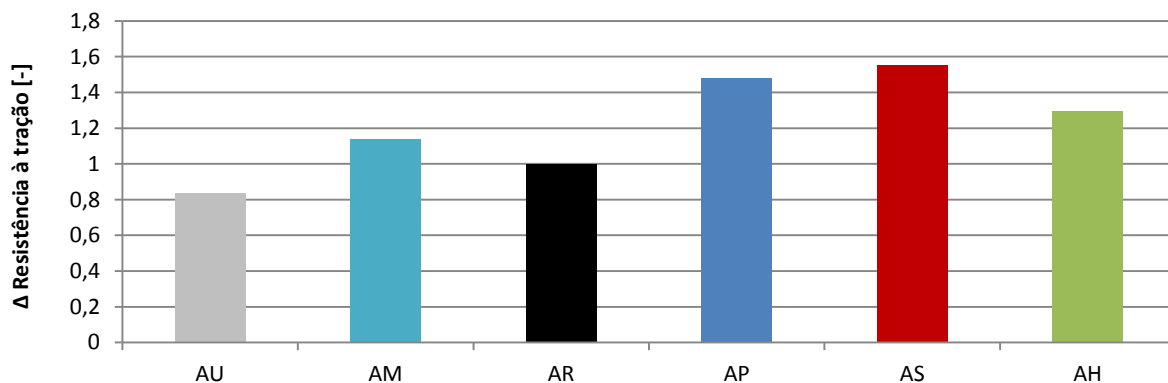


Figura 4.12 - Resultados do ensaio de resistência à tração por flexão para provetes A e respetivo desvio padrão

As argamassas A, cuja cura se processa em ambientes com maior humidade, apresentam valores de resistência superiores. Os provetes A que foram aspergidos (P e S) não sofreram danos significativos ao contrário do sucedido com outras argamassas. O valor mais elevado foi obtido para a cura S, em conformidade com os resultados da avaliação do módulo de elasticidade dinâmico. O menor valor foi obtido para os provetes sujeitos a cura urbana, apesar de na avaliação do módulo de elasticidade dinâmico terem sido registados valores acima dos de referência (cura R).

4. Apresentação e discussão de resultados

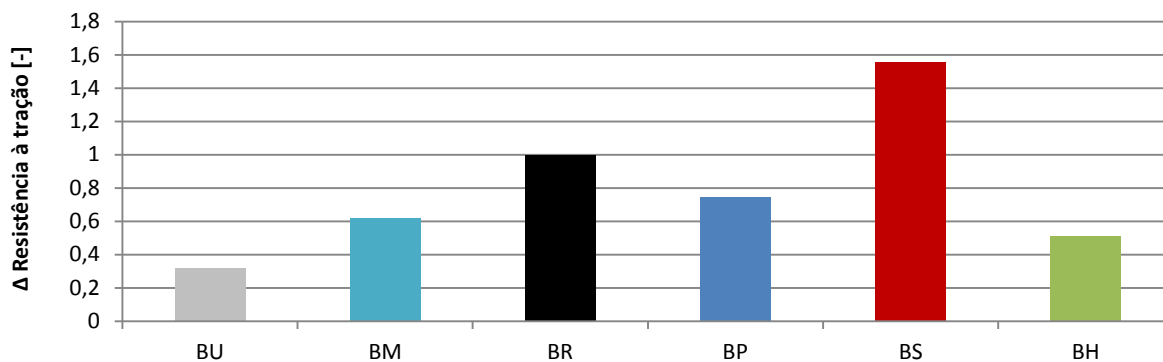


Figura 4.13 - Resultados do ensaio de resistência à tração por flexão para provetes B normalizados em relação à cura de referência

O elevado valor dos provetes BS, tendência verificada em todos os provetes sujeitos a cura S ensaiados à flexão, poderá decorrer de um fenómeno observável durante a aspersão. Notou-se a formação de uma camada exterior mais resistente que o interior, com cerca de meio centímetro de espessura. Isto poderá dever-se aos ciclos de secagem e molhagem, que resultaram na cristalização de cloretos solúveis à superfície e no interior dos poros, explicação já avançada no capítulo 4.1.2. Desta forma é possível explicar a melhoria de comportamento à flexão, já que é na camada exterior que se encontram as fibras tracionadas durante o ensaio.

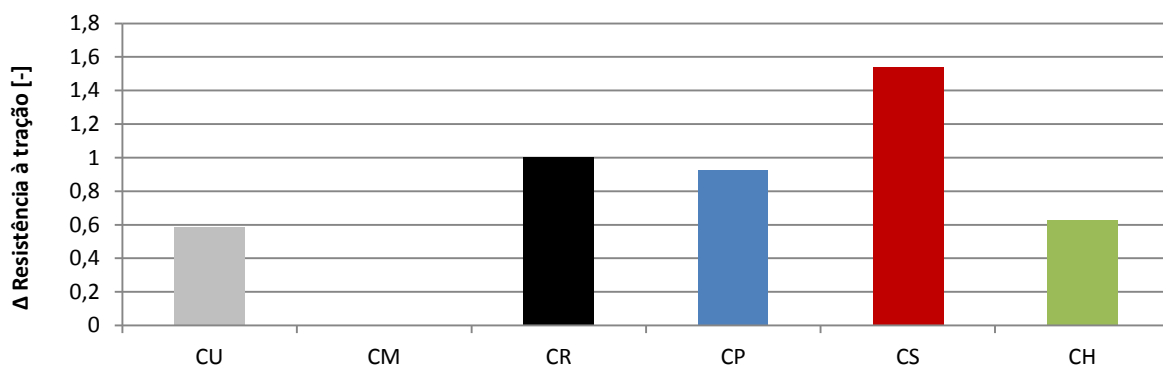


Figura 4.14 - Resultados do ensaio de resistência à tração por flexão para provetes C normalizados em relação à cura de referência

Nas argamassas C os valores registados de resistência à tração foram muito baixos. Os resultados não evidenciaram a esperada correspondência com o ensaio de avaliação do módulo de elasticidade dinâmico. O maior valor foi registado para a cura S, embora próximo do obtido para a cura R.

No caso das argamassas D os valores obtidos são muito baixos, resultando em resistências à tração praticamente nulas. Durante o processo de cura, notou-se que estes provetes partiam facilmente quando não manuseados com extrema precaução, especialmente após o fim-de-semana, quando se apresentavam mais secos.

Para as argamassas E, apenas foi possível obter valores para as curas R, P e H. Para esta última cura, conseguiu-se uma correspondência entre os valores do módulo de elasticidade dinâmico e o do ensaio de resistência à tração.

Nas argamassas submetidas à cura S, verificou-se sempre valores mais elevados do que para outras curas. A formação de uma camada mais resistente na superfície exterior do provete, parece estar na origem desta diferença. O ensaio de resistência à compressão poderá fornecer mais informações sobre esta situação. No caso das argamassas sujeitas à cura U, os resultados ficaram muito aquém do esperado. Os elevados valores de módulo de elasticidade dinâmico obtidos, não obtiveram correspondência no caso do ensaio à tração. A degradação observável nas superfícies poderá ser responsável por este facto.

4.1.4. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de resistência à compressão foi efetuado no seguimento do ensaio de resistência à tração por flexão. Para cada ensaio foram utilizadas metades de provete resultantes do ensaio anterior. O ensaio decorreu no laboratório de resistências mecânicas do DEC. Os resultados obtidos são apresentados no quadro 4.4 e na figura 4.15.

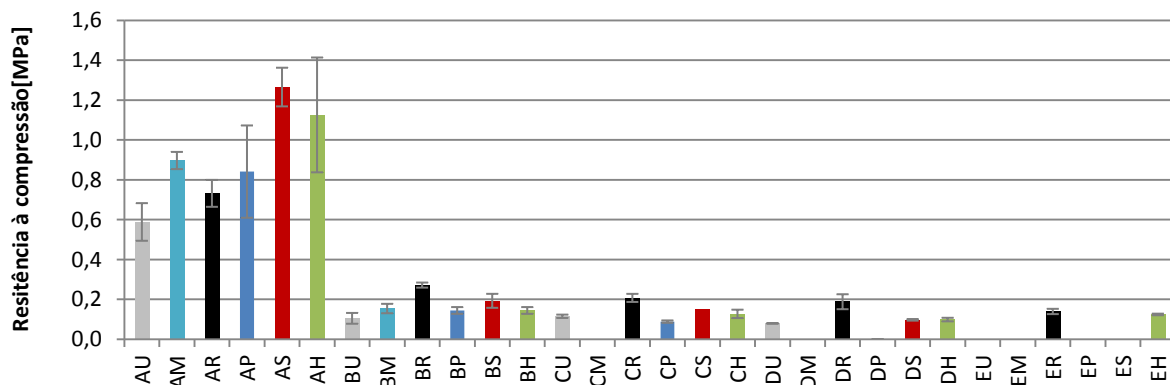


Figura 4.15 - Resultados globais de resistência à compressão e respetivo desvio padrão

Da análise dos resultados globais, destacam-se os valores elevados das argamassas A sujeitas a cura S e argamassas B sujeitas a cura H. Os restantes valores são apresentados no quadro 4.4.

As argamassas A apenas com cal aérea e areia, apresentam os maiores valores de resistência à compressão. No caso dos provetes sujeitos à cura S, o valor obtido foi bastante superior aos restantes. Embora tal situação esteja em conformidade com os resultados de resistência à tração, seria de esperar que os provetes aspergidos com água doce (P), que obtiveram valores semelhantes aos aspergidos com água salgada (S) no ensaio de tração, apresentassem valores de resistência à compressão da mesma ordem. Destes resultados podemos deduzir que a melhoria do comportamento, pelo menos em relação à compressão, se deve não à presença regular de água mas

4. Apresentação e discussão de resultados

sim dos cloretos. Os valores relativamente elevados dos provetes sujeitos à cura M face aos sujeitos à cura U, estão de acordo com esta afirmação, já que ambos estiveram expostos a condições de pluviosidade semelhantes.

Quadro 4.4 - Resultados do ensaio de resistência à compressão e respetivo desvio padrão

Cura / Composição	Nº de provetes	R _c [MPa]	Cura / Composição	Nº de provetes	R _c [MPa]
AU	3	0,589 ± 0,094	DU	1	0,080 ± -
AM	3	0,897 ± 0,043	DM	-	-
AR	3	0,732 ± 0,067	DR	3	0,189 ± 0,038
AP	2	0,842 ± 0,231	DP	-	-
AS	3	1,266 ± 0,097	DS	2	0,075 ± 0,003
AH	2	1,126 ± 0,288	DH	3	0,099 ± 0,009
BU	3	0,105 ± 0,027	EU	-	-
BM	3	0,155 ± 0,024	EM	-	-
BR	3	0,272 ± 0,013	ER	2	0,140 ± 0,013
BP	3	0,145 ± 0,017	EP	-	-
BS	3	0,193 ± 0,035	ES	-	-
BH	2	0,578 ± 0,417	EH	2	0,125 ± 0,004
CU	3	0,116 ± 0,008			
CM	-	-			
CR	3	0,208 ± 0,020			
CP	2	0,103 ± 0,026			
CS	1	0,117 ± -			
CH	3	0,128 ± 0,021			

Nota: No caso das argamassas D sujeitas à cura U e argamassas C em cura S, apenas foi possível ensaiar 1 provete. Os valores para estes dois casos são apresentados aqui a título informativo, não sendo possível fazer afirmações quanto à sua validade. Foram feitas correções à secção dos provetes devido ao mau estado de conservação. Para os provetes CU, BU, DU e DM considerou-se uma secção de 38 x 38 mm², para os provetes DP, EP, CS e DS considerou-se uma secção de 35 x 35 mm².

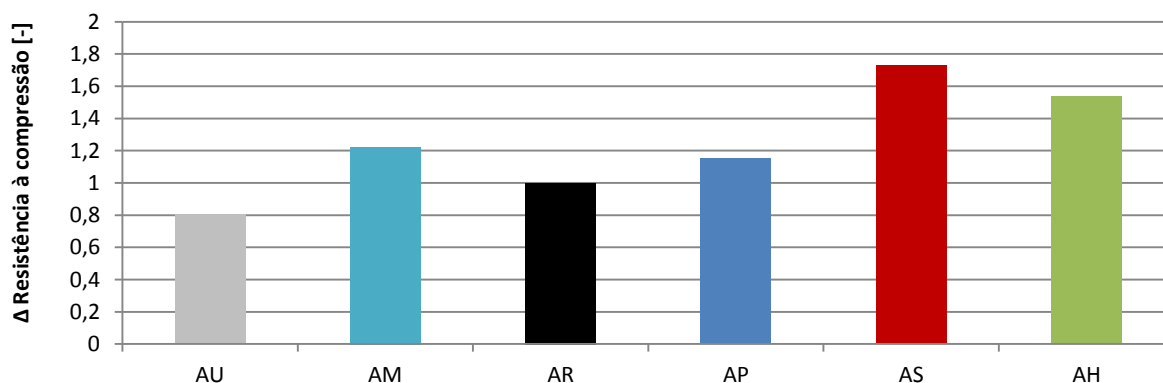


Figura 4.16 - Resultados do ensaio de resistência à compressão para provetes A normalizados em relação à cura de referência

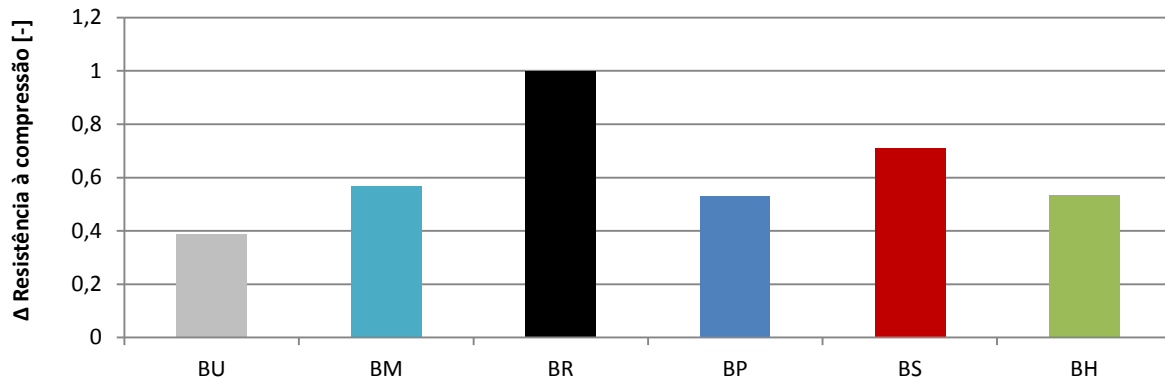


Figura 4.17 - Resultados do ensaio de resistência à compressão para provetes B normalizados em relação à cura de referência

No caso das argamassas B, o maior valor foi obtido para os provetes sujeitos à cura H. É possível que a presença do metacaulino, aliada a uma cura de 1 ano em ambiente de intensa humidade, promova a formação de compostos pozolânicos, com a capacidade de conferir maior resistência. Tal situação poderá ser confirmada pela análise de ensaios laboratoriais de caracterização das argamassas. No entanto, ressalva-se que apenas foram ensaiados 2 provetes, com um valor de desvio padrão muito elevado, podendo os valores elevados de resistência à compressão dever-se a qualquer irregularidade no ensaio. Ainda assim os valores do módulo de elasticidade dinâmico para os referidos provetes, apresentam-se em concordância com os da resistência à compressão. Para o caso dos provetes sujeitos à cura S, os resultados obtidos no ensaio de compressão não estão de acordo com os valores de resistência à tração. Como já foi sugerido anteriormente, esta situação deverá ser originada pelo endurecimento das superfícies dos provetes, resultando num aumento da resistência à tração por flexão sem correspondência na resistência à compressão. Os provetes sujeitos a curas em ambiente exterior (U e M), obtiveram resultados significativamente abaixo das curas em ambiente interior (S, P R e H). Os provetes aspergidos com água doce evidenciam uma ligeira melhoria em comparação com os da cura R.

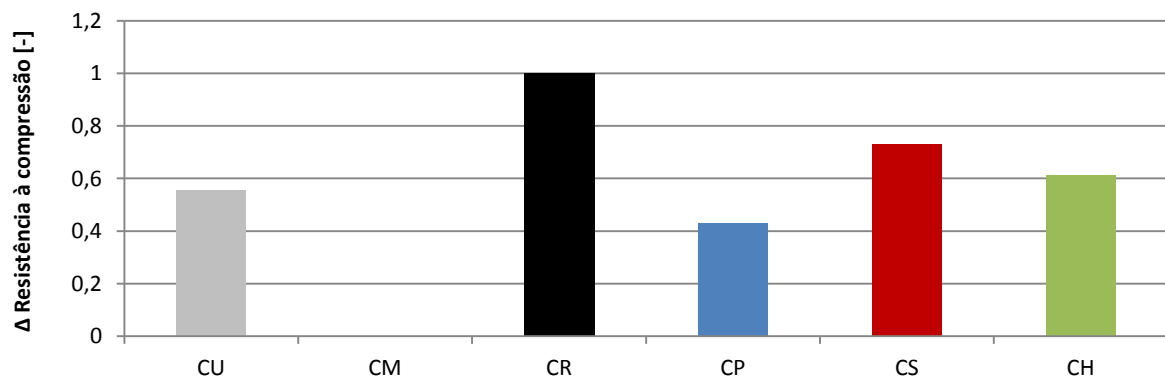


Figura 4.18 - Resultados do ensaio de resistência à compressão para provetes C normalizados em relação à cura de referência

As os provetes realizados com argamassa C, apresentaram resultados baixos quando comparados. O maior valor foi obtido para os provetes sujeitos a cura R. Refira-se que os provetes

realizados com argamassas C apresentavam danos significativos. O valor baixo dos provetes sujeitos à cura H, situação ocorrida também no ensaio de flexão mas em discordância com os valores de módulo de elasticidade dinâmico, suportam a hipótese de presença de umidade no interior do provete no momento do ensaio. O valor de resistência à compressão para argamassas C sujeitas a cura S, foi obtido com recurso apenas a um ensaio.

Os resultados para as argamassas D, apresentam resultados semelhantes aos das argamassas C. Mais uma vez o maior valor foi obtido para a cura R. O estado de degradação das metades resultantes do ensaio de tração, não permitiu a obtenção de valores para a cura P. O valor para argamassas D sujeitas a cura U, foi obtido com recurso apenas a um ensaio.

Para as argamassas E, apenas foi possível obter valores para as curas R e H. Embora os valores sejam baixos, conseguem, no entanto ser superiores a alguns valores de argamassas D. Mais uma vez o maior valor foi obtido para a cura R.

Os resultados da avaliação da resistência à compressão, não apresentam o mesmo padrão verificado na avaliação da resistência à tração. Os maiores valores de resistência à compressão, em quase todas as dosagens, foram obtidos para as argamassas sujeitas à cura R. A exceção ocorre para as dosagens A, sem metacaulino, e argamassas B, embora os maiores valores para esta dosagem, curas P e H, apresentem valores de desvio padrão muito elevados.

4.1.5. POROSIDADE ABERTA

Para a determinação da porosidade aberta, foram utilizadas as porções de provete resultantes do ensaio de flexão que não foram utilizadas para os restantes ensaios. Este ensaio foi realizado no laboratório de materiais do DEC e os resultados obtidos encontram-se resumidos no quadro 4.5.

Os resultados globais indicam uma maior percentagem de porosidade aberta nas argamassas sujeitas a curas em ambiente exterior (U e M) e sujeitas à cura H. Dentro da mesma composição de argamassa, os provetes sujeitos a cura S apresentam os menores valores.

É possível observar um valor de percentagem de porosidade aberta ligeiramente superior à média no caso das argamassas sujeitas às curas U e H. A presença regular de água ou o ambiente de grande humidade relativa, poderão ser responsáveis por esta diferença. Os provetes sujeitos a cura S apresentaram valores significativamente inferiores.

Nas argamassas B verificaram-se novamente os maiores valores para os provetes sujeitos às curas U e H. O menor valor ocorreu nos provetes sujeitos a cura S. Os valores para as curas P e S foram obtidos com recurso apenas a um provete.

No caso das argamassas C, o maior valor foi obtido para os provetes sujeitos a cura H com uma diferença significativa em relação às restantes curas.

Para as argamassas D, verificaram-se valores ligeiramente superiores que nas argamassas C. Repete-se a mesma tendência com os provetes sujeitos a cura H a registar os maiores valores.

Para o caso das argamassas E, só foram obtidos valores para os provetes sujeitos a cura H e com recurso apenas a um provete. O valor registado está na mesma ordem de grandeza que o registado para as argamassas B e C.

Quadro 4.5 - Resultados do ensaio de porosidade aberta e respetivo desvio padrão

Cura / Composição	Nº de provetes	Porosidade aberta [%]	Cura / Composição	Nº de provetes	Porosidade aberta [%]
AU	3	31,60 ± 1,28	DU	3	36,94 ± 5,14
AM	3	30,09 ± 2,68	DM	-	-
AR	3	29,45 ± 0,25	DR	3	34,72 ± 1,04
AP	3	29,84 ± 0,94	DP	-	-
AS	3	23,70 ± 0,40	DS	-	-
AH	3	30,91 ± 1,71	DH	2	37,03 ± 1,87
BU	3	34,90 ± 0,88	EU	-	-
BM	3	33,99 ± 1,12	EM	-	-
BR	3	32,01 ± 4,81	ER	-	-
BP	1	33,23 ± -	EP	-	-
BS	1	31,24 ± -	ES	1	32,63 ± -
BH	3	34,15 ± 0,49	EH	-	-
CU	3	35,34 ± 0,71			
CM	-	-			
CR	3	33,69 ± 1,41			
CP	-	-			
CS	3	34,17 ± 4,66			
CH	3	39,72 ± 2,84			

Nota: No caso das argamassas E sujeitas a cura S, apenas foi possível ensaiar 1 provete. Os valores para estes casos são apresentados aqui a título informativo, não sendo possível fazer afirmações quanto à sua validade

Observou-se que, para todas as composições, os provetes sujeitos a cura H registaram sempre os valores mais elevados. Os sujeitos a cura U, registaram também valores comparativamente altos dentro da mesma composição de argamassa. Os provetes sujeitos a cura S registaram os valores mais baixos.

O aumento da porosidade para os provetes sujeitos a cura H e U pode ser explicado com a presença continuada de humidade, num caso proveniente das condições atmosféricas e no outro da especificidade da cura em questão. No caso da cura S poderá ocorrer a cristalização de sais no interior da argamassa que não tenham sido dissolvidos durante o curto tempo em que estiveram

imersos para a realização deste ensaio. Esta situação poderá ser confirmada com os resultados do ensaio de secagem.

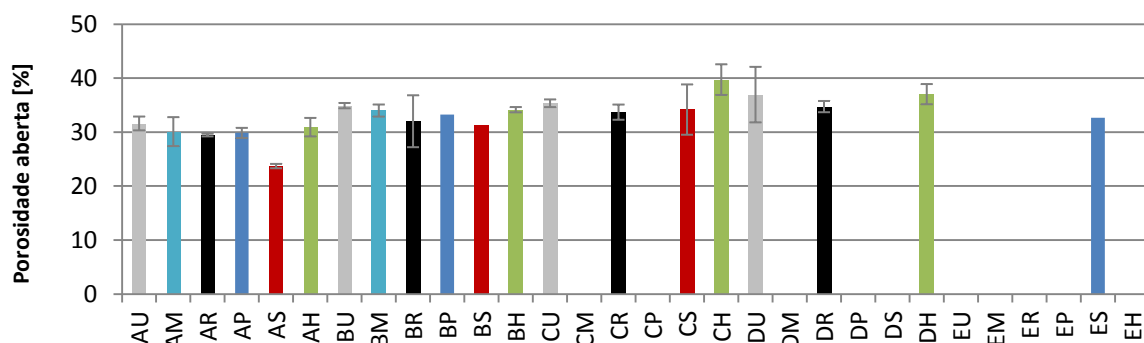


Figura 4.19 - Resultado globais do ensaio para determinação da porosidade aberta e respetivo desvio padrão

4.1.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

O ensaio consiste na pesagem regular de provetes cuja base é mantida em contacto com água, tomando-se medidas para a manutenção de uma altura constante de lâmina líquida. Após a conclusão do ensaio de resistência à compressão, os provetes foram colocados em estufa para a eliminação de quaisquer vestígios de humidade. Na manhã do ensaio de absorção de água por capilaridade, os provetes foram retirados e dispostos na sala climatizada do DEC para pesagem e para que se procedesse à selagem das faces laterais. Foi também aplicada uma camada de gaze na face inferior para minorar os efeitos de perdas de massa.

Os valores foram obtidos dispondo os resultados de pesagens sucessivas num gráfico cartesiano em função do tempo, correspondendo o coeficiente de capilaridade ao declive do troço inicial do gráfico aproximado por regressão linear. Os resultados estão resumidos no quadro 4.6 e na figura 4.20.

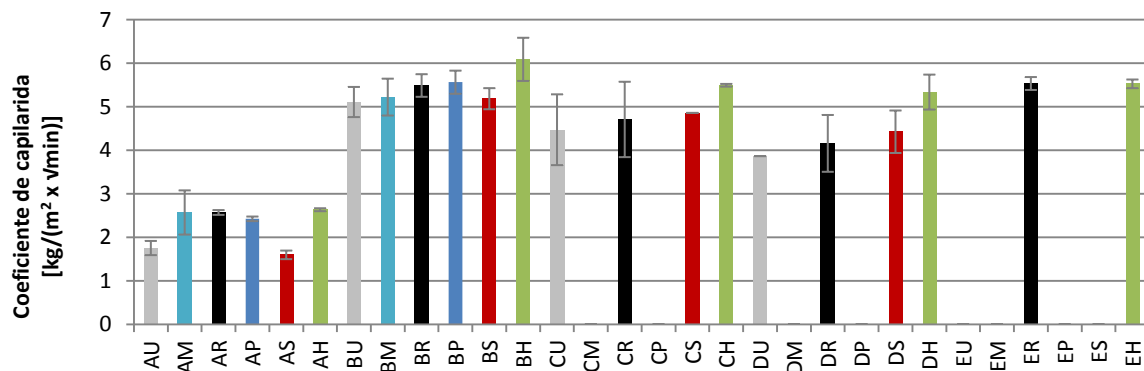


Figura 4.20 - Resultados globais do ensaio de absorção de água por capilaridade e respetivo desvio padrão

Os resultados obtidos apresentam-se bastante homogêneos para as composições com substituição de massa de cal por metacaulino. Os maiores valores por dosagem foram obtidos para os provetes sujeitos à cura H. Infelizmente muitas das metades resultantes do ensaio de resistência à tração não se encontravam em condições de ser submetidas a este ensaio, tendo-se obtido valores para todas as curas apenas para as dosagens A e B. Existe uma diferença significativa entre a gama de valores obtidos para as argamassas A (sem metacaulino) e as restantes argamassas, sugerindo uma forte influência da presença de metacaulino nos resultados deste ensaio.

Quadro 4.6 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade e respetivo desvio padrão

Cura / Composição	Nº de provetes	Coefficiente de capilaridade [kg/m ² x v(min)]	Cura / Composição	Nº de provetes	Coefficiente de capilaridade [kg/m ² x v(min)]
AU	3	1,75 ± 0,16	DU	1	3,87 ± -
AM	3	2,57 ± 0,51	DM	-	-
AR	3	2,57 ± 0,05	DR	3	4,16 ± 0,65
AP	3	2,43 ± 0,05	DP	-	-
AS	3	1,60 ± 0,10	DS	2	4,43 ± 0,49
AH	3	2,63 ± 0,03	DH	3	5,34 ± 0,40
BU	3	5,11 ± 0,35	EU	-	-
BM	3	5,22 ± 0,42	EM	-	-
BR	3	5,49 ± 0,26	ER	2	5,53 ± 0,15
BP	3	5,56 ± 0,27	EP	-	-
BS	2	5,18 ± 0,24	ES	-	-
BH	3	6,09 ± 0,50	EH	3	5,53 ± 0,10
CU	3	4,47 ± 0,81			
CM	-	-			
CR	3	4,71 ± 0,87			
CP	-	-			
CS	1	4,86 ± -			
CH	2	5,49 ± 0,03			

Nota: No caso das argamassas D sujeitas à cura U e argamassas C em cura S, apenas foi possível ensaiar 1 provete. Os valores para estes dois casos são apresentados aqui a título informativo, não sendo possível fazer afirmações quanto à validade destes resultados em particular.

Esta dosagem de argamassas, sem substituição de massa de cal por metacaulino, apresentam os valores de coeficiente de capilaridade mais baixos, traduzindo-se em maior tempo para a absorção de uma determinada quantidade de água. Os maiores valores foram obtidos para a cura M, embora os provetes sujeitos às curas R, P e H apresentem valores da mesma ordem de grandeza. Os provetes sujeitos às curas U e S apresentam valores significativamente mais baixos.

Os provetes elaborados com recurso a argamassas B, apresentam valores de coeficiente de capilaridade muito elevados. Dentro da mesma composição, o máximo foi obtido para os provetes sujeitos à cura H, com um valor muito semelhante aos sujeitos à cura R. Ambas as curas partilham a

4. Apresentação e discussão de resultados

característica de submeterem os provetes ao menor nível de perturbação. O menor valor foi registado para a cura U. Os valores registados são significativamente maiores que os obtidos para argamassas A.

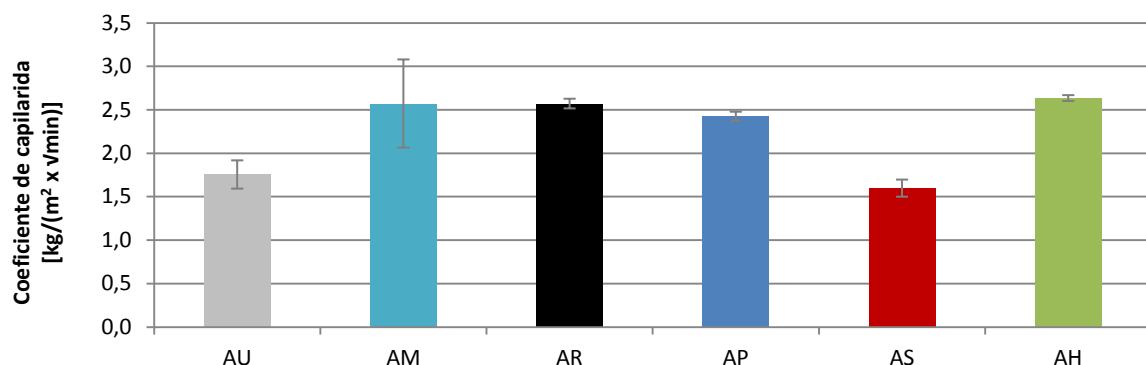


Figura 4.21 - Resultados do ensaio de absorção capilar para argamassas A e respetivo desvio padrão

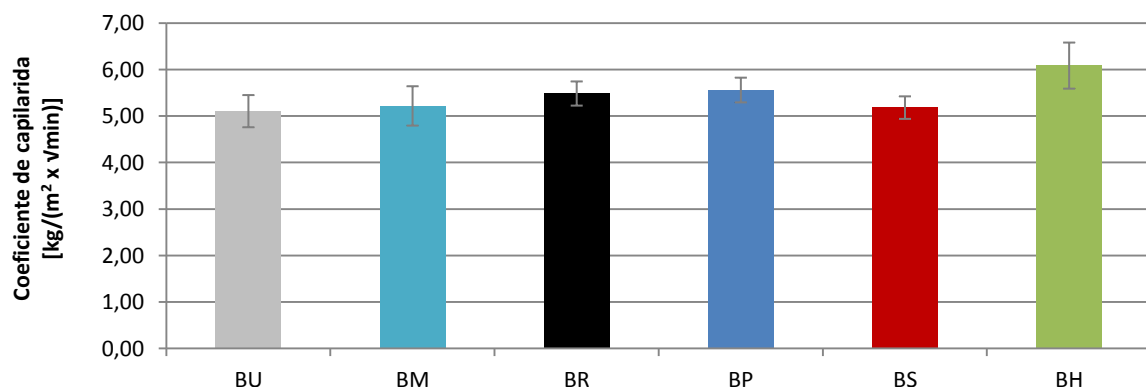


Figura 4.22 - Resultados do ensaio de absorção capilar para argamassas B e respetivo desvio padrão

Os valores obtidos para as argamassas C apresentam um padrão de distribuição semelhante ao das argamassas B, embora com valores ligeiramente inferiores. Mais uma vez os menor valor foi registado para a cura U e os maiores valores para as curas H e R. O valor referente à cura S foi obtido com recurso apenas a um provete.

Os valores obtidos para as argamassas D, foram muito semelhantes aos obtidos para as argamassas C. Mais uma vez os maiores valores foram obtidos para as curas H e R e os menores para a cura U. Os resultados referentes à cura U foram obtidos com recurso apenas a um provete.

Para as argamassas de dosagem E registaram-se valores ligeiramente superiores aos obtidos para argamassas C e D. O estado de degradação deste provetes levou a que apenas fossem obtidos valores para as curas H e R.

Os resultados para as argamassas A, apresentam uma diferença significativa quando comparados com as restantes composições. Já as restantes dosagens apresentam valores de coeficiente de capilaridade muito semelhantes com os valores mais elevados registados pelas argamassas B. As argamassas E apresentaram valores ligeiramente superiores às argamassas C e D. Nas argamassas com recurso a metacaulino repete-se o padrão de distribuição de valores dentro da mesma dosagem com as curas U e S a evidenciarem coeficientes de capilaridade ligeiramente inferiores às curas H e R.

4.1.7. SECAGEM

Foi iniciado imediatamente após a conclusão do ensaio para a determinação do coeficiente de capilaridade. Os provetes foram colocados a secar na sala climatizada do DEC, apenas com a face de topo exposta ao ar. Foram efetuadas pesagens a intervalos regulares até existir uma diferença inferior a 0,2% do peso do provete em pesagens diárias consecutivas.

Foi calculado o índice de secagem, como aproximação do integral da curva de secagem de cada provete, considerando o teor de água inicial e o tempo final do ensaio, como descrito no capítulo 3.4.5. Para comparação dos diferentes resultados, foi definido como tempo final do ensaio 199 horas. Este indicador reflete a facilidade com que a água contida no provete é libertada para o ambiente controlado da sala climatizada. O índice de secagem é influenciado por diversos fatores como as condições ambientais, higroscopicidade e dimensões e configuração dos poros. Foi também calculada a taxa de secagem que corresponde ao declive do troço reto inicial da curva de secagem. Este segundo indicador é também função das características dos materiais, mas é essencialmente função das condições ambientais de secagem. Os resultados obtidos encontram-se resumidos no quadro 4.7 e figura 4.23.

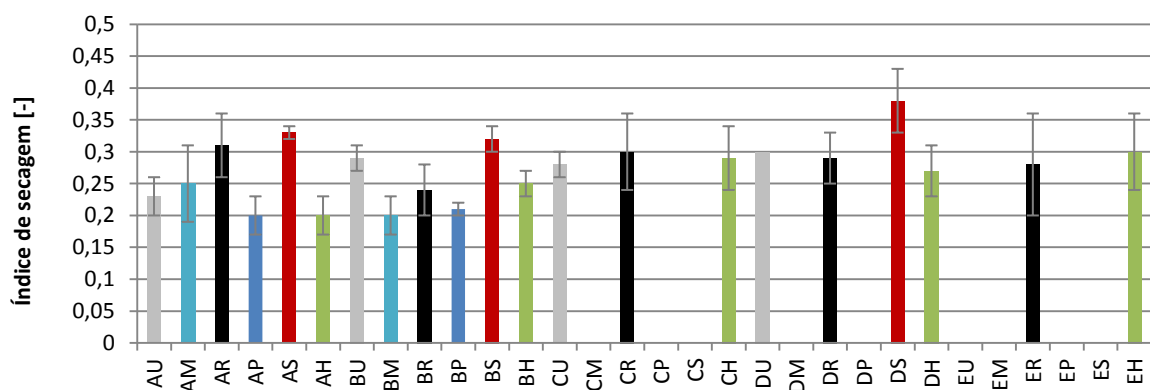


Figura 4.23 - Resultados globais do ensaio de secagem, índice de secagem e respetivo desvio padrão

Quadro 4.7 - Resultados ensaio de secagem e respetivo desvio padrão

Cura / Composição	Nº de provetes	Índice de Secagem [-]	Taxa de secagem [kg / m ² x horas]	Cura / Composição	Nº de provetes	Índice de Secagem	Taxa de secagem [kg / m ² x horas]
AU	3	0,47 ± 0,07	0,840 ± 0,016	DU	1	0,60 ± -	0,068 ± -
AM	3	0,32 ± 0,01	0,121 ± 0,006	DM	-	-	-
AR	3	0,59 ± 0,06	0,052 ± 0,007	DR	3	0,56 ± 0,05	0,083 ± 0,015
AP	3	0,46 ± 0,03	0,096 ± 0,011	DP	-	-	-
AS	3	0,55 ± 0,03	0,049 ± 0,004	DS	2	0,60 ± 0,10	0,228 ± 0,091
AH	3	0,40 ± 0,07	0,085 ± 0,017	DH	3	0,53 ± 0,02	0,083 ± 0,005
BU	3	0,60 ± 0,05	0,063 ± 0,008	EU	-	-	-
BM	3	0,40 ± 0,06	0,115 ± 0,019	EM	-	-	-
BR	3	0,48 ± 0,07	0,094 ± 0,021	ER	1	0,60 ± -	0,101 ± 0,036
BP	3	0,42 ± 0,02	0,118 ± 0,007	EP	-	-	-
BS	2	0,44 ± 0,08	0,122 ± 0,018	ES	-	-	-
BH	3	0,53 ± 0,03	0,075 ± 0,005	EH	3	0,62 ± 0,10	0,065 ± 0,018
CU	2	0,59 ± 0,03	0,072 ± 0,006				
CM	-	-	-				
CR	3	0,56 ± 0,07	0,083 ± 0,017				
CP	-	-	-				
CS	-	-	-				
CH	2	0,59 ± 0,10	0,068 ± 0,013				

Nota: No caso das argamassas D sujeitas à cura U e argamassas C em cura S, apenas foi possível ensaiar 1 provete. Os valores para estes dois casos são apresentados aqui a título informativo não sendo possível fazer afirmações quanto à validade destes resultados em particular.

Os resultados globais da determinação do índice de secagem permitem observar que as argamassas sujeitas às curas U e R obtiveram os valores mais elevados. A observação das curvas de secagem (figura 4.24 e 4.26) mostra que esta se processa de forma mais lenta que nos provetes sujeitos a outras curas. Verificou-se também pela observação destas curvas que a taxa de secagem sofreu menos variações ao longo do tempo. Para as restantes condições de cura foram obtidos valores bastante homogéneos.

No caso das argamassas A os valores mais elevados foram obtidos para as curas S e R (Figura 4.25). Os resultados obtidos para a cura S podem ser explicados pela presença de sais com propriedades higroscópicas no interior do provete, resultantes do processo de cura.

As argamassas B apresentam o maior valor para os provetes sujeitos à cura H (Figura 4.27). Foram também registados valores elevados para os provetes sujeitos à cura U. Os restantes processos de cura apresentam pouca diferença entre eles. Os resultados obtidos para os provetes H, estão de acordo com o determinado no ensaio de absorção capilar e de avaliação do módulo de elasticidade dinâmico, onde registaram também valores elevados. A correspondência de valores entre

estes três ensaios aponta para uma diminuição das dimensões dos poros, decorrente da presença de Mk e deste processo de cura em particular.

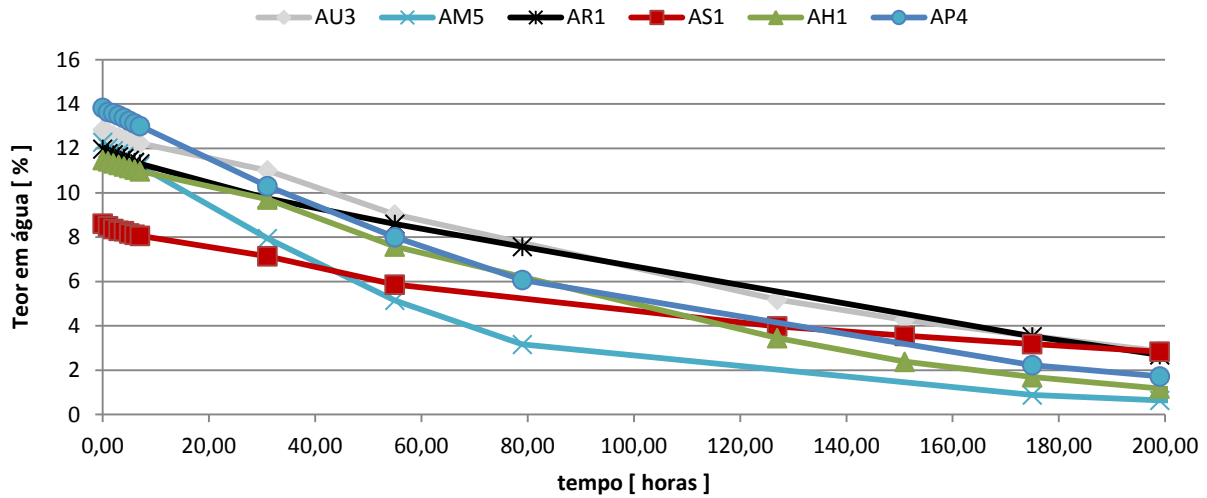


Figura 4.24 - Curva de secagem a 199 horas para argamassas A

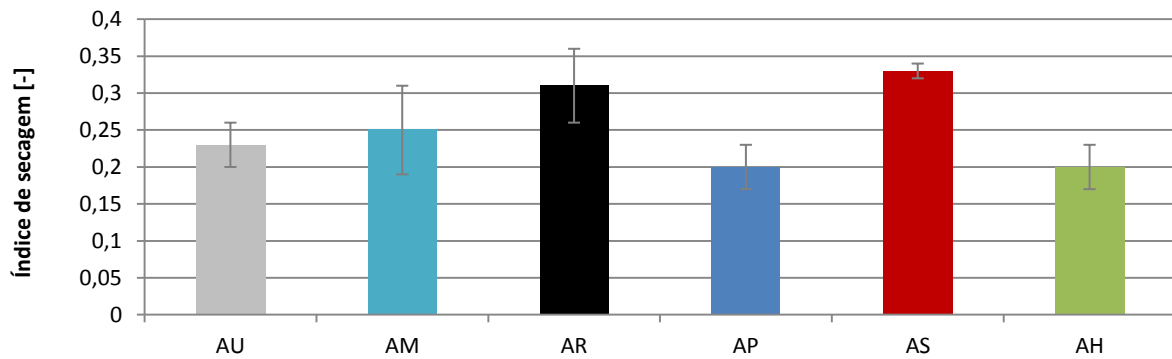


Figura 4.25 - Resultados do ensaio de secagem, índice de secagem para argamassas A e respetivo desvio padrão

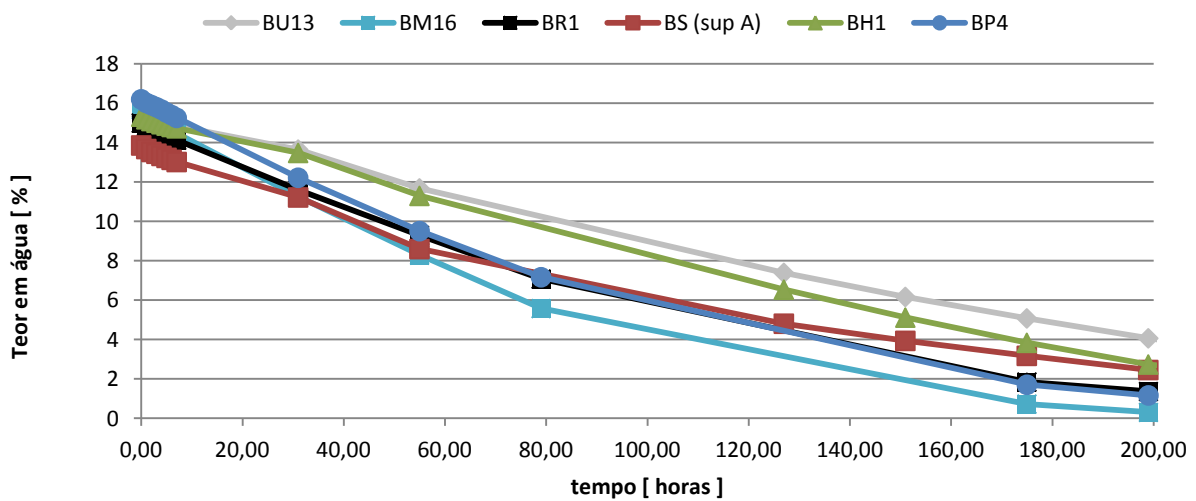


Figura 4.26 - Curva de secagem a 199 horas para argamassas B

4. Apresentação e discussão de resultados

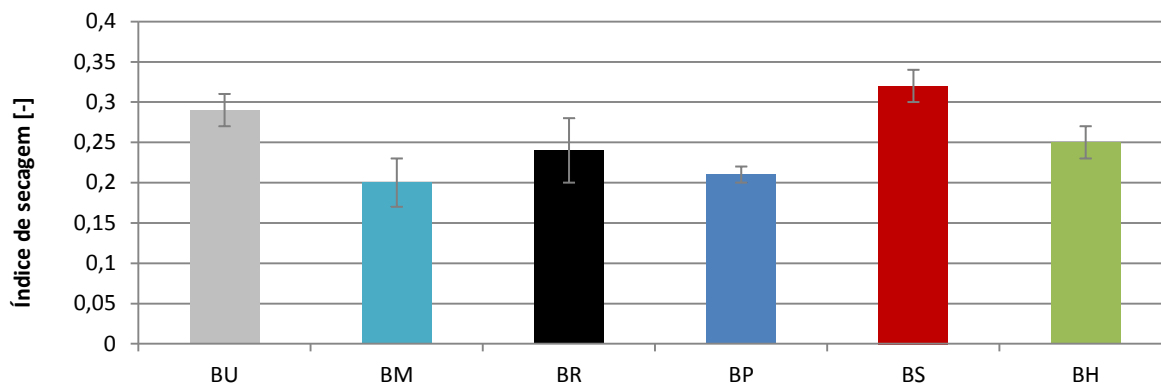


Figura 4.27 - Resultados do ensaio de secagem, índice de secagem para argamassas B e respetivo desvio padrão

Para as argamassas C foram obtidos resultados também muito homogêneos tendo o maior valor sido registado para os provetes sujeitos à cura R. Os provetes sujeitos à cura S fissuraram antes da conclusão do ensaio.

Para as argamassas D os maiores valores foram obtidos para os provetes sujeitos à cura S. Os restantes valores apresentam-se bastante semelhantes. Os valores para a cura U foram obtidos com recurso apenas a um provete.

Os resultados para as argamassas de composição E continuam na mesma ordem de grandeza que os dos restantes argamassas.

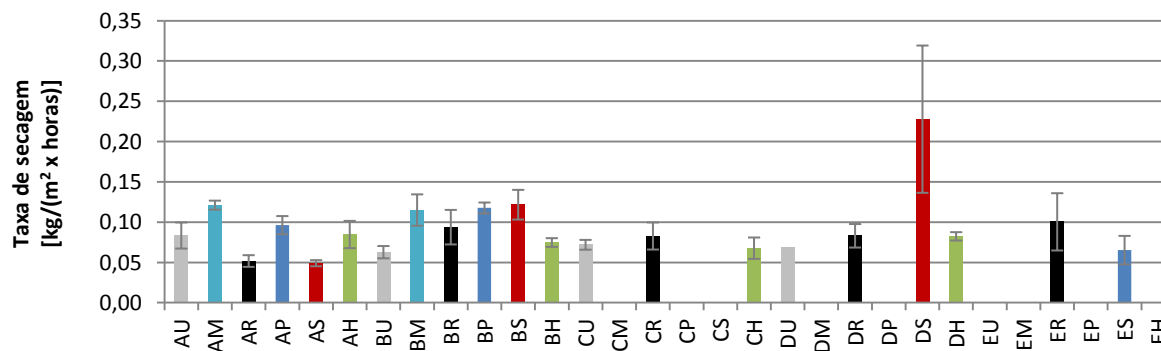


Figura 4.28 - Resultados globais do ensaio de secagem, taxa de secagem e respetivo desvio padrão

Como já foi referido, os valores deste ensaio dependem essencialmente das condições ambientais. No caso dos provetes de dosagem A, os maiores valores foram obtidos para os provetes sujeitos à cura M. Observa-se uma correspondência entre os provetes que obtiveram maiores valores de índice de secagem e os provetes com menor taxa de secagem. O mesmo pode ser observado para os provetes B. O facto de esta tendência não se verificar totalmente para os provetes sujeitos à cura S, pode ser explicado pela influência dos sais higroscópicos só se sentir após o período inicial de

secagem. Note-se que os resultados obtidos para os provetes DS apresentam um valor elevado de desvio padrão.

Os resultados do ensaio de secagem mostram que a cura S e U afeta o tempo de secagem das argamassas, atrasando a libertação de água sobre a forma de vapor. A influência da cura S em particular, parece não se fazer sentir na fase inicial do ensaio, embora a análise das curvas de secagem (figura 4.19 e 4.21) o evidencie. Uma explicação para este fenómeno é a presença de sais higroscópicos como resultado do processo de cura.

4.2. EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS COM A IDADE

O presente estudo, dedicado à influência das condições de cura de argamassas com 1 ano de idade, foi precedido por outros trabalhos de caracterização de argamassas a idades mais jovens, no âmbito do projeto FCT-METACAL. Neste capítulo procurou-se analisar a variação de valores ao longo do tempo, tratando os dados obtidos por outros autores para as idades de 28, 60 e 90 dias (MASSENA 2011) (FELGUEIRAS 2011) e comparando os resultados obtidos pelo autor do presente trabalho para as mesmas idades, com os obtidos a um ano e antes apresentados nesta dissertação. Foram analisadas todas as composições de argamassa. Os resultados obtidos para as idades jovens dos provetes sujeitos às curas S e P não se encontram publicados à data da conclusão deste estudo.

Utilizaram-se os valores não tratados registados nas fichas de ensaio. O tratamento de dados foi efetuado pelo autor deste trabalho, seguindo os mesmos procedimentos utilizados para os resultados obtidos a 1 ano de idade. Os valores médios obtidos após o tratamento de dados pode ser consultado em quadros síntese que constituem os anexos VII a XII. A representação gráfica dos valores obtidos a diferentes idades, utilizada para a elaboração dos quadros presentes neste subcapítulo, constituem o anexo XII.

4.2.1. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi efetuado por outros autores às idades de 28, 60 e 90 dias, no laboratório de resistências mecânicas do DEC. Procurou-se repetir em todos os aspetos os procedimentos de ensaio definidos para o primeiro estudo, bem como utilizar os mesmos equipamentos. Para ilustrar as afirmações contidas neste capítulo foram elaborados gráficos com a representação dos valores obtidos a diferentes idades que constituem o anexo XVIII. A informação obtida na comparação destes gráficos foi resumida em tabelas, que indicam o sentido da variação dos valores entre as diferentes idades de ensaio. Adicionalmente foi sinalizado com o símbolo + a idade em que ocorreu o valor máximo. Em alguns casos não se realizou o ensaio previsto ou não foi possível obter dados. Estas situações estão sinalizadas com o símbolo -.

É referido por Massena (2011) a ocorrência de um período de tempo quente e seco nos primeiros dias do processo de cura em exposição natural, seguido de fortes chuvadas com queda de

4. Apresentação e discussão de resultados

granizo. Estes fatores deverão ter influenciado grandemente o processo de cura dos provetes em ambiente exterior (U e M) na medida em que ambientes secos não promovem a reação de hidratação do metacaulino, e a queda de granizo, numa fase inicial do endurecimento, levou à diminuição da secção dos provetes

Quadro 4.8 - Evolução dos valores de E_d e adequação a gama de valores para edifícios antigos aos 90 dias

Composição / Cura	Idades de ensaio						Revestimento	Enchimento	Refechamento de juntas	
	28 dias		60 dias		90 dias	1 ano				
AU		↗	+	↘		↗		X	X	X
AM		↗		↗	+	↘		X	X	X
AR		↗		↗		↗	+	X	X	X
AP		↗		↗		↗	+	X	X	X
AS		↗		↗	+	↘				X
AH		↗		↗		↗	+	X	X	X
BU		↗		↘		↗	+	X	X	
BM		↗	+	↘		↗		X	X	
BR		↗		↗	+	↘		X	X	X
BP		↗	+	↗		↘		X	X	X
BS		↗	+	↗		↘		X	X	X
BH		↘		↗		↗	+			X
CU	-	-	-	-	-		+	-	-	-
CM		↗	+	↘		-				
CR		↗	+	↘		↘		X	X	
CP		↗	+	↘		-	-			
CS		↗	+	↘		↘				
CH		↗		↗		↗	+			

Composição / Cura	Idades de ensaio						Revestimento	Enchimento	Refechamento de juntas	
	28 dias		60 dias		90 dias	1 ano				
DU		↗		↗		↗	+			
DM		↗		↗	+	-	-			
DR		↗	+	↘		↘				
DP		↗	+	↘	-	-	-			
DS	+	↘		↗		↗				
DH		↗	+	↘		↗				
EU		↗	+	-	-	-	-			
EM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ER		↗		↗		↗	+			
EP	+	↘		↗	-	-	-			
ES		↗	+	↘	-	-	-			
EH		↘		↗	+	↗				

Legenda ↗ Aumento do valor
 ↘ Diminuição do valor
 → Valor mantido
 + Idade onde ocorre o valor máximo
 - Sem dados / ensaio não realizado

A análise da globalidade dos resultados (Quadro 4.8), aponta para uma tendência de subida dos valores de E_d em todas as argamassas estudadas. Esta tendência verifica-se pelo menos até aos 90 dias de idade, na maioria das argamassas. O maior incremento de E_d acontece entre as idades de 28 e 60 dias. Os valores obtidos para um ano de idade são por vezes mais baixos que os obtidos a 90 dias. A exceção ocorre para os provetes sujeitos a cura H cujos valores aumentaram grandemente dos 90 dias para um ano de idade. No entanto, como já foi aqui referido, este facto pode dever-se à presença de água no interior dos provetes no momento do ensaio. Existe correspondência entre o aumento de E_d nestes provetes e o aumento de resistência à compressão. Esta tendência não se verifica para a resistência à tração onde os maiores valores são geralmente obtidos para os provetes sujeitos à cura S. Uma explicação para o sucedido é a ocorrência da esperada reação pozolânica

associada a um ambiente de forte Hr e possivelmente menor acesso de CO₂, como será o caso da sala de cura húmida.

Os valores obtidos encontram-se, na generalidade, dentro do intervalo considerado aceitável para a sua utilização como argamassa de revestimento e de enchimento. Para a utilização como argamassa de refechamento de juntas, apenas se adequam as argamassas de composição A e B.

4.2.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR FLEXÃO

Foram obtidos por outros autores valores para a resistência à tração às idades de 28 e 90 dias. A tendência geral do ensaio é de diminuição dos valores entre as idades de 90 dias e um ano. A exceção ocorre para algumas argamassas sujeitas às curas S, H e P. Os provetes com maior teor de Mk apresentam os valores máximos de resistência à tração para idades mais jovens. Estes resultados encontram-se resumidos no quadro 4.9

As argamassas A sujeitas às curas U, M, R e S apresentaram um pico de resistência aos 90 dias de idade. Já as sujeitas a cura P e H obtiveram uma evolução positiva. As argamassas B perderam, em geral, resistência com as idades mais avançadas. No caso dos provetes B sujeitos a cura R, os valores obtidos foram praticamente idênticos em todas as idades, o que sugere que as reações que conferem resistência cessaram pouco após o início do processo de cura. Tal facto pode estar associado a uma rápida carbonatação e pouca disponibilidade de Mk, devido à inclusão de pouca quantidade deste material nesta composição em particular (9% de substituição de massa de cal). A diminuição de resistência verificada para as outras curas pode dever-se aos danos sofridos como sugere os resultados da análise do estado de degradação (Quadro 4.1, capítulo 4.1.1).

As argamassas de composição C e D apresentam a mesma tendência de diminuição das resistências observada em B, mas com os picos de valores a ocorrerem quase sempre para a idade de 28 dias. Refira-se mais uma vez que este comportamento pode dever-se ao estado de degradação verificado após um ano, já que estes fenómenos parecem acentuar-se nas composições com maior percentagem de substituição de Mk, que simultaneamente possuem os traços mais fracos em ligante.

Os provetes de composição E, seguem o mesmo comportamento com a exceção da cura H, onde ocorreu um ligeiro aumento dos valores.

Em termos de adequação à gama de valores padrão, apenas as argamassas A sujeitas a curas S, P e U registaram valores dentro do intervalo pretendido. Para as restantes curas das mesmas argamassas, os valores apenas se adequam às funções de revestimento e enchimento. As restantes composições registaram valores inferiores ao necessário para a sua utilização prática.

4. Apresentação e discussão de resultados

Quadro 4.9 - Evolução dos valores de resistência à flexão e adequação a gama de valores para edifícios antigos aos 90 dias

Composição / Cura	Idades de ensaio				Revestimento	Enchimento	Refechamento de juntas
	28 dias		90 dias	1 ano			
AU		↗	+	↘	X	X	X
AM		↗	+	↘	X	X	
AR		↗	+	↘	X	X	
AP		↗		↗	+	X	X
AS		↗	+	↘	X	X	X
AH		↗		↗	+	X	X
BU	-	-	+	↘			
BM	+	↘		↘			
BR	+	→		↘			
BP	+	→		↘			
BS		↗		↗	+		
BH		↗	+	↘			
CU	-	-	+	↘			
CM	+	↘		-	-		
CR	+	→		↘			
CP	+	↘		↘			
CS		↗	+	↘			
CH	+	↘		↘			

Composição / Cura	Idades de ensaio				Revestimento	Enchimento	Refechamento de juntas
	28 dias		90 dias	1 ano			
DU	+	↘		↘			
DM	+	↘		-	-		
DR	+	→		↘			
DP	+	↘		↘			
DS		↘		↗	+		
DH	+	↘		↘			
EU	-	-	-	-	-		
EM	-	-	-	-	-		
ER	+	↘		↘			
EP	+	↘		↘			
ES	+	→		-	-		
EH	+	↘		↗			

Legenda

- ↗ Aumento do valor
- ↘ Diminuição do valor
- Valor mantido
- + Idade onde ocorre o valor máximo
- Sem dados / ensaio não realizado

Os provetes executados com recurso à composição B sujeitos a cura em ambiente exterior, obtiveram os maiores valores para as idades mais jovens, sofrendo ao longo de um ano uma ligeira diminuição da resistência. Este facto poderá ser entendido se considerarmos que os ambientes com forte concentração de CO₂ (U) e humidade relativa (M), promovem uma rápida carbonatação e reação pozolânica respetivamente. Os sujeitos a cura R obtiveram os maiores valores a idades mais avançadas, 90 dias. No caso dos provetes sujeitos a cura H, registou-se um aumento muito significativo da resistência a 1 ano de idade para argamassas A e B. Estes valores vêm no entanto afetados por um desvio padrão alto.

4.2.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Neste ensaio foi possível obter valores para as idades de 28, 60 e 90 dias. Mais uma vez a tendência geral foi a de diminuição das resistências para idades mais avançadas com exceção de composições A e B sujeitas a cura H.

As argamassas A apenas com cal aérea e areia, obtiveram valores muito superiores aos das restantes argamassas. Para todas as curas exceto a H, o maior valor ocorreu aos 90 dias de idade tendo a resistência diminuído ligeiramente até a 1 ano de idade. Para estas argamassas a reação de carbonatação deveria ser contínua, refletindo-se num aumento constante das resistências mecânicas com a idade, embora com tendência para desacelerar à medida que diminui a quantidade de hidróxido de cálcio disponível para reagir. A diminuição da resistência a 1 ano para as curas em ambiente exterior, pode ser justificado por danos ocorridos nos provetes. No entanto, a mesma tendência é evidenciada pelos provetes sujeitos à cura R, que não sofreram quaisquer danos e cuja movimentação foi reduzida ao mínimo.

Quadro 4.10 - Evolução dos valores de resistência à compressão e adequação a gama de valores para edifícios antigos aos 90 dias

Composição / Cura	Idades de ensaio					Revestimento	Enchimento	Refechamento de juntas
	28 dias		60 dias		90 dias			
AU		↗		↗	+	↘		X
AM		↗		↗	+	↘		X
AR		↗		↗	+	↘		X
AP		↗		↗	+	↘		X
AS		↗		↗	+	↘		X
AH		↗		↘		↗	+	X
BU	+	↘		↘		↘		
BM	+	↘		↘		↘		
BR		↗		↗	+	↘		
BP		↗		↘		↗	+	
BS		↗		↗	+	↘		
BH		↗		↗		↗	+	
CU	+		-	-	-	-	-	
CM	+	↘		↗		-	-	
CR		↗		↗	+	↘		
CP		↗	+	↘		↘		
CS		↗		↗	+	↘		
CH	+	↘		↘		↗		

Composição / Cura	Idades de ensaio					Revestimento	Enchimento	Refechamento de juntas
	28 dias		60 dias		90 dias			
DU	+	↘		↘		↘		
DM	+	↘		↗		-	-	
DR		↘		↗	+	↘		
DP	+	↘		↗	-	-	-	
DS	+	↘		↘		↘		
DH	+	↘		↘		↘		
EU	-	-	+	↘	-	-	-	
EM	-	-	+	↘	-	-	-	
ER		↘		↗	+	↘		
EP	+	↘		↗	-	-	-	
ES	+	↘		↘	-	-	-	
EH	+	↘		↗		↘		

Legenda ↗ Aumento do valor
↘ Diminuição do valor
→ Valor mantido
+ Idade onde ocorre o valor máximo
- Sem dados / ensaio não realizado

Para o caso dos provetes com metacaulino na sua composição e sujeitos a cura de exterior, as resistências máximas foram obtidas para idades mais jovens. Se este facto se deve a uma maior concentração de CO₂ ou se é produto da ocorrência de reação pozolânica promovida por um ambiente de maior humidade relativa, apenas pode ser confirmado com ensaios químicos. Poderá ter ocorrido a formação de compostos pozolânicos instáveis que se terão degradado com o avançar do processo de cura, resultando em resistências mais baixas a um ano de idade. Refira-se ainda que os

4. Apresentação e discussão de resultados

resultados obtidos no caso dos provetes BH, sugerem a ocorrência da reação pozolânica, já que é um ambiente de forte humidade relativa e simultaneamente baixa concentração de CO₂. Isto poderá ter resultado numa maior concentração de hidróxido de cálcio disponível para reagir com o Mk, por dificuldade de ocorrência da reação de carbonatação.

4.2.4. POROSIDADE ABERTA

No caso do ensaio para determinação da porosidade aberta, não foi possível obter séries completas de dados para a maior parte dos provetes. A análise dos dados obtidos parece indicar um padrão de valores elevados para os 28 dias, seguido de uma ligeira descida para as idades intermédias (Quadro 4.11).

Os provetes de composição E apresentaram valores muito semelhantes ao longo do tempo para a cura R e uma ligeira descida para a cura H

Quadro 4.11 - Evolução dos valores de porosidade aberta

Composição / Cura	Idades de ensaio						
	28 dias		60 dias		90 dias		1 ano
AU	+	↘		-	-	↗	
AM	+	↘		-	-	↗	
AR	+	↘		↘		↗	
AP	+	↘		↗		↗	
AS	+	↘		↗		↗	
AH		↘	-	-		↗	+
BU	+	-	-	-	-	↗	+
BM	+	-	-	-	-	↗	+
BR		↘		↗		↗	+
BP		↘		→		↗	+
BS		↘		↘		↗	+
BH		↘		↗		↗	+
CU	+	↘		-	-	↗	+
CM	+	↗		-	-	-	-
CR		↘		↗	+	↘	
CP	+	↘		↗		-	-
CS		↘		↘		↗	+
CH		↘		↘		↗	+

Composição / Cura	Idades de ensaio						
	28 dias		60 dias		90 dias		1 ano
DU		↗		-	-	↗	+
DM		↘		-	-	-	-
DR	-	-	-	-	-	-	+
DP	+	↘		↗		-	-
DS	+	↘		↘		-	-
DH		↘		-	-	↗	+
EU	+	↘		-	-	-	-
EM	-	-	+	-	-	-	-
ER		→		↗	+	-	-
EP	-	-	-	-	-	-	-
ES	-	-	-	-	-	-	+
EH	+	-	-	↘		-	-

Legenda ↗ Aumento do valor
 ↘ Diminuição do valor
 → Valor mantido
 + Idade onde ocorre o valor máximo
 - Sem dados / ensaio não realizado

Os maiores valores de porosidade foram obtidos para as argamassas C e D que simultaneamente apresentam os maiores valores de coeficiente de capilaridade e de índice de secagem, de entre as argamassas analisadas neste capítulo. Este conjunto de dados parece indicar

uma influência de composições com forte teor de Mk nos resultados dos 3 ensaios. O Mk terá portanto uma influência na absorção capilar, promovendo uma absorção mais rápida. O mesmo material parece dificultar o processo de secagem, evidenciado pelos valores elevados de índice de secagem, mas simultaneamente promove argamassas com uma percentagem de porosidade aberta elevada.

4.2.5. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Os resultados para o coeficiente de capilaridade foram obtidos por outros autores para as idades de 28 e 90 dias. Os resultados para as argamassas A, apresentam um grande incremento para os valores obtidos a um ano de idade. Nas situações em que foi possível efetuar ensaios aos 90 dias de idade, foi notada pouca diferença em relação aos valores obtidos a 28 dias, mas com tendência para um pequeno decréscimo (Quadro 4.12).

Quadro 4.12 - Evolução dos valores de coeficiente de capilaridade e adequação a gama de valores para edifícios antigos aos 90 dias

Composição / Cura	Idades de ensaio					Revestimento	Refechamento de juntas
	28 dias		90 dias		1 ano		
AU		↗	+	↘			
AM		↗		↗	+		
AR		↗		↗	+		
AP		↗		↗	+		
AS		↗		↗	+		
AH		↗		↗	+		
BU		↗	+	↘			
BM	+	↘		↘			
BR	+	↘		↘			
BP	+	↘		↘			
BS	+	↘		↘			
BH		↘		↗	+		
CU	+	↘		↘			
CM		↗	+	-	-		
CR	+	↘		-	-		
CP		↗	+	-	-		
CS		↗	+	↘			
CH		↗	+	↘			

Composição / Cura	Idades de ensaio					Revestimento	Refechamento de juntas
	28 dias		90 dias		1 ano		
DU	+	↘		↘			
DM	+	↘		-	-		
DR		↗	+	↘			
DP	+	↘		-	-		
DS		↗	+	↘			
DH		↗	+	↘			
EU	-	-	-	-	-		
EM	-	-	-	-	-		
ER	+	↘		↗			
EP	+	↘		-	-		
ES	+	↘		-	-		
EH		↗	+	↘			

Legenda ↗ Aumento do valor
 ↘ Diminuição do valor
 → Valor mantido
 + Idade onde ocorre o valor máximo
 - Sem dados / ensaio não realizado

As argamassas B apresentaram um comportamento semelhante ao das argamassas A, com uma maior diferença entre os 28 e 90 dias. Os valores máximos registados foram bastante superiores

4. Apresentação e discussão de resultados

aos obtidos pelas argamassas A. Este facto pode dever-se ao conhecido efeito de *filler*, decorrente da introdução de uma pequena percentagem de metacaulino.

No caso das argamassas C, foi detetado o mesmo comportamento que para as argamassas B, com a exceção dos provetes sujeitos a cura H que apresentam uma tendência de subida constante. Os valores máximos obtidos foram ligeiramente inferiores aos das argamassas B

Para os provetes de composição D, os valores máximos foram obtidos a idades mais jovens. É visível uma diminuição do coeficiente de capilaridade para os resultados obtidos a 90 dias em provetes sujeitos a cura R e H. Os valores máximos obtidos são muito semelhantes aos das argamassas C.

Em relação a argamassas E, é possível observar um comportamento semelhante às outras formulações com uma perceptível descida do valor de coeficiente de capilaridade aos 90 dias, exceção feita aos sujeitos a cura H. Os valores máximos obtidos são semelhantes aos registados para argamassas D e C.

A análise da globalidade dos resultados aponta para um aumento do valor máximo do coeficiente de capilaridade nas argamassas com Mk na sua composição. Os maiores valores foram registados para as argamassas B, notando-se uma ligeira diminuição nas restantes composições. Os valores máximos ocorreram a um ano de idade, para a composição A, e para idades mais jovens nas composições com inclusão de Mk. Em provetes sujeitos a cura M de composição D e C, apenas foi possível obter resultados para os 28 dias de idade, nada sendo possível afirmar sobre a evolução deste parâmetro.

O valor do coeficiente de capilaridade é tanto maior, quanto maior for a velocidade com que a água é absorvida. Este facto está essencialmente relacionado com a porosidade dos materiais. Se um elevado valor de porosidade indica uma maior quantidade de água que um provete pode conter, já a dimensão dos poros funciona numa razão de proporcionalidade inversa para a velocidade de absorção de água. Assim, na maior parte dos casos, menor porosidade é indicador de maior ascensão capilar.

O facto dos valores máximos terem sido obtidos para as idades mais avançadas na generalidade dos casos, está de acordo com o esperado, já que o decorrer da reação de carbonatação provoca uma diminuição do seu diâmetro. Em relação à presença de metacaulino, este parece aumentar o valor máximo de coeficiente de capilaridade. No entanto notou-se que nas dosagens mais ricas em Mk, o valor máximo acaba por diminuir ligeiramente ao fim de um ano.

Nenhuma das argamassas estudadas registou valores dentro da gama aceitável para as funções de revestimento ou refechamento de juntas, juntas o que significa que a mistura de areias utilizada é provavelmente pouco representativa de argamassas correntes em edifícios antigos.

4.2.6. SECAGEM

Os valores deste ensaio às idades de 28 e 90, dias foram obtidos por outros autores. O índice de secagem fornece informação sobre a velocidade e facilidade com que se processa a secagem. Ao contrário do coeficiente de capilaridade, este parâmetro é mais baixo quanto mais facilmente se processar a secagem. Os resultados foram inicialmente obtidos considerando tempos finais diferentes. Para que fosse possível fazer a comparação, foi recalculado o índice de secagem para um tempo final de 76,30 horas nas idades de 28 e 90 dias. Nas situações em que o ensaio terminou antes do tempo, optou-se por prolongar o último valor de teor de água registado até às 76,30 horas. Para os valores obtidos a 1 ano optou-se por manter o tempo final de 198 horas já que assim se obtém mais informação sobre o comportamento do provete à secagem. A comparação com os resultados obtidos a um ano não foi efetuada pois as faces laterais dos provetes foram seladas para induzir a secagem unidirecional, ao contrário do que foi feito aos 28 e 90 dias.

Verificou-se um padrão de diminuição do índice de secagem dos 28 para os 90 dias em todos os provetes analisados. Os valores obtidos no primeiro ensaio têm uma distribuição bastante homogénea entre curas e composições.

As composições com metacaulino na sua composição registaram valores de índice de secagem superior, estando de acordo com os resultados do ensaio de absorção capilar onde estas composições também registaram os maiores valores. Para o caso da capilaridade os maiores valores foram obtidos pelas argamassas B ao passo que para o ensaio de secagem os maiores valores foram obtidos para as argamassas C.

5. CONCLUSÃO

5.1. CONCLUSÕES FINAIS

O presente estudo insere-se no projeto de investigação FCT-METACAL no qual foram executados e colocados em diferentes condições de cura, provetes de argamassa de cal aérea e areia e ao traço volumétrico 1:3 e provetes de argamassas com diferentes percentagens de substituição de cal aérea por Mk, com traços volumétricos ligante : agregado mais baixos (mesmo considerando o ligante como o conjunto da cal e do metacaulino). Desta forma, o traço de 1:3 de sistema ligante : areia, não foi constante em todas as composições, sendo progressivamente mais fraco à medida que aumentamos a percentagem de substituição de cal por metacaulino.

O autor deste trabalho continuou os processos de cura desde novembro de 2011, sensivelmente aos 8 meses de idade dos provetes e até estes completarem um ano de idade em março / abril de 2012. Foram realizados os mesmos ensaios de caracterização física e mecânica já efetuados por outros autores que integravam o projeto de investigação METACAL.

Foi feito o controlo do estado de conservação dos provetes aproximadamente a 10 meses de idade. Os provetes de composição A resistiram bem a todas as condições de cura, como seria de esperar, já que se trata de uma argamassa amplamente estudada. De entre estes, apenas os provetes sujeitos a cura S, com aspersão diária de água do mar, apresentaram alguns danos superficiais e arredondamento de arestas. Nas restantes composições de argamassa estudadas, o nível de danos aumenta quanto maior for a percentagem de substituição de massa de cal aérea por Mk e simultaneamente mais fraco o traço ligante : agregado. Os provetes mais danificados, dentro da mesma composição de argamassa, foram os sempre sujeitos a cura S. Em alguns provetes DS e ES, foi possível observar a formação de uma camada exterior mais rígida que por vezes se destacava. As condições atmosféricas nos primeiros dias do processo de cura afetaram grandemente os provetes em exposição natural (curas U e M), num mês de abril com grande amplitude térmica, pluviosidade intensa e queda de granizo (ver anexo VI) . No caso dos provetes sujeitos a cura M, o mau estado de conservação a um ano de idade levou a que apenas as composições de argamassa A e B pudessem ser submetidas a ensaios. As argamassas em cura H e R apresentaram o menor nível de danos.

No ensaio para avaliação do módulo de elasticidade, as argamassas executadas apenas com cal aérea e areia obtiveram valores de E_d superiores aos das argamassas com substituição parcial de massa de cal por Mk. Apenas os provetes BR obtiveram valores ligeiramente superiores aos AR, sujeitos à mesma cura. Foram registados valores altos de E_d para as argamassas com Mk sujeitas a cura H. No entanto, estes resultados podem ser resultado da presença de humidade no interior do provete. Esta teoria é suportada pelos valores elevados de desvio padrão e os dados complementares obtidos nos ensaios de capilaridade e secagem.

Para as argamassas A, em cura de aspersão com água do mar (S) obtiveram-se melhores resultados. Já os provetes de composições de argamassa com Mk sujeitas à mesma cura, ficaram muito danificados e registaram valores muito inferiores. As argamassas A apenas com cal aérea, obtiveram valores de resistências mecânicas também muito superiores aos das restantes argamassas. Estas características permitiram que as argamassas A, ao contrário das restantes, resistissem melhor à ação da pressão originada pela cristalização de sais solúveis. Desta forma a colmatação dos poros com sais cristalizados originou um material mais denso e conseqüentemente maiores valores de E_d .

Em termo de evolução das características com a idade, obtiveram-se valores de E_d maiores para um ano de idade para as argamassas A, o que está de acordo com a evolução esperada da reação de carbonatação. Nas argamassas com substituição de cal aérea por Mk, apenas os provetes sujeitos a cura H obtiveram evoluções positivas. O facto de a cura H se processar num ambiente de grande humidade relativa e concentração de CO_2 baixa, sugere algum nível de reação pozolânica.

Os resultados do ensaio de resistência à tração evidenciaram mais uma vez uma grande diferença de valores entre as argamassas de composição A e as restantes com Mk. As resistências verificadas nas argamassas com Mk são praticamente nulas. Esta diferença não parece justificável apenas pela diminuição de quantidade de cal aérea. Note-se que para as argamassas de composição B, com substituição de 9% de massa de cal por Mk, os valores de resistência à tração registados são cerca de um quinto dos registados para argamassas A. Para as argamassas de composição B, C, D e E a tendência foi sempre de diminuição da resistência à tração ao fim de um ano. A presença de Mk deverá exercer alguma influência negativa na reação de carbonatação.

Os maiores valores de resistência à tração, dentro da mesma composição de argamassa, foram obtidos para a cura S. Para o ensaio de resistência à compressão esta situação apenas se verifica para as argamassas A. Uma explicação para este facto prende-se com a formação de uma camada exterior mais resistente, devido à cristalização de sais solúveis, que corresponde às fibras mais solicitadas à flexão. As mesmas argamassas quando ensaiadas à compressão não apresentaram valores altos para a cura S.

Verificou-se o aumento das resistências mecânicas com a idade para argamassas de composição A. Para as restantes argamassas, com recurso a Mk, a tendência geral foi para a diminuição, face aos valores obtidos a 90 dias. A exceção ocorre para os valores de E_d registados para provetes em cura húmida (H). Observou-se que para argamassas com Mk em exposição natural (M e U), as resistências máximas ocorreram a idades mais jovens. Isto pode dever-se a uma rápida carbonatação em ambiente com maior concentração de CO_2 , ou à formação de compostos pozolânicos instáveis.

O ensaio de absorção capilar evidenciou mais uma vez a diferença de comportamento entre as argamassas A e as restantes, com recurso a Mk. Os maiores valores de coeficiente de

capilaridade foram obtidos para as argamassas B, onde o Mk parece funcionar eficientemente como corretor da porosidade, reduzindo a dimensão dos poros e gerando pressões de ascensão capilar maiores. Nestas argamassas B, existe correspondência entre os maiores valores de coeficiente de capilaridade e os maiores valores de E_d para a cura H. As restantes composições com Mk registaram valores muito semelhantes. Os valores mais baixos verificaram-se, de uma forma global, nas curas U e S. No caso da cura S este comportamento deverá ser resultado da presença de sais que poderão obstruir os poros. O valores de coeficiente de capilaridade registados a 1 ano foram maiores para as argamassas de composição A e menores para as restantes argamassas.

No ensaio de secagem todas as composições de argamassas apresentaram valores semelhantes, estando as maiores diferenças associadas aos diferentes processos de cura. Nos provetes sujeitos a cura S, isto poderá dever-se à presença de sais higroscópicos como sugere a curva de secagem dos provetes AS e BS, que apresenta, um desenvolvimento quase linear (figura 4.19 e 4.21, capítulo 4.1.7). A Análise da taxa de secagem revelou valores mais elevados para as curas de exposição natural e de aspersão (U, M, S e P).

As argamassas B e C registaram os maiores valores de porosidade aberta em conformidade com os resultados da capilaridade. Já os sujeitos a cura S obtiveram quase sempre os valores mais baixos, dentro da mesma composição de argamassa.

Em termos de adequação à gama de valores padrão para edifícios antigos aos 90 dias, verificou-se que nenhuma das composições estudadas, apresentou valores aceitáveis nos quatro ensaios e para todas as funções consideradas. Em termos de resistência à flexão e à compressão, apenas as argamassas A poderão ser utilizadas para funções de revestimento e enchimento.

Os provetes com elevado teor de metacaulino parecem estabilizar os ganhos de resistência mecânica logo aos 60 dias. Isto poderá dever-se às dificuldade de penetração do ar no provete, por efeito da adição do Mk, dificultando a reação de carbonatação que é responsável pela maior parte das resistências mecânicas.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA INVESTIGAÇÕES FUTURAS

Os resultados das resistências mecânicas para as argamassas ao traço volumétrico 1:3 efetuado neste estudo, sugere que uma dosagem mais forte em ligante poderá apresentar resultados mais satisfatórios. Deverão ser investigadas argamassas com diferentes percentagens de substituição de massa de cal aérea por metacaulino ao traço 1:2.

Os provetes sujeitos a cura H apresentaram em alguns casos resultados surpreendentes em termos de resistências mecânicas. A investigação de argamassas sujeitas a ambientes de humidade relativa muito elevada (>95%), poderá fornecer informação sobre o potencial da reação pozolânica na obtenção de melhores comportamentos.

O estudo de provetes normalizados, embora apresente vantagens em termos de metodologias de ensaio já estabelecidas, não reflete as condições de aplicação de argamassas para a maioria das funções previstas. Deverão ser levadas a cabo investigações com procedimentos experimentais semelhantes às condições reais de aplicação.

6. BIBLIOGRAFIA

CHAROLA, A. E; FARIA, M. P; McGHIE, A. e HENRIQUES, F. A. (2005). *Pozolanic components in lime mortars: correlating behavior, composition and microstructure*. Restoration of Buildings and Monuments. Vol.11, nº2, pp.111-118

CEN (1998) *EN 1015-2 Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars*, Bruxelas

COUTINHO, J. (2002) *Materiais de Construção 2 - parte 1 - Ligantes e caldas*, apontamentos de apoio à disciplina, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto (FEUP)

COUTINHO, A. S. (1988) *Fabrico e propriedades do betão, volume I*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

BRITO, V. (2009) *Influência dos revestimentos por pintura na secagem do suporte*, dissertação para a obtenção do grau de mestre, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL)

FARIA, M. P. (2004) *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas, tese de doutoramento em Engenharia Civil*, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL)

FARIA, M. P. (2004) *Parede de terra crua - condicionantes associadas ao seu revestimento*, Grémio das Empresas de Conservação e Restauro do Património Arquitectónico (GECORPA). Pedra & Cal nº24, 14-15.

FARIA, M. P; HENRIQUES, F.(2006) *Current mortars in conservation: an overview*. Aedificatio Publishers. Restoration of Buildings and Monuments nº 10, 609-622.

FELGUEIRAS, N. (2011) *Avaliação da evolução das características de argamassas de cal aérea com diferentes teores de metacaulino sujeitas a ambientes de diferente humidade relativa*, dissertação para a obtenção do grau de mestre, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL)

FERRAZ, E; SLÁVKA, A; SILVA, A. ROCHA, F; VELOSA, A. (2012) *Utilização do ensaio de Chapalle modificado para avaliação da reactividade pozolânica de metacaulinos*, APFAC - Congresso Português de Argamassas (CD-rom)

GAMEIRO, A; SILVA, A; VEIGA, R; VELOSA, A; FARIA, M. P.(2010) *Lime-metakaolin mortars for historical buildings repair: study og the hardening reaction*, artigo apresentado em congresso, ICDS12-International Conference Durable Structures: from construction to rehabilitation, Lisboa

GONÇALVES, A. (2010) *Estudo da influência dos factores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio in-situ*, dissertação para a obtenção do grau de mestre, Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa (IST-UTL)

GRUBER, K; RAMLOCHAN, T; BODDY, A; HOOTON, R; THOMAS, M. (2001) *Increasing concrete durability with high reactivity metakaoli.* Elsevier Ltd. Cement and Concrete Composites nº23, 479-474

IPMA (2011) *Boletim climatológico de abril de 2011*, Instituto Português do Mar e da Atmosfera. <http://www.ipma.pt/pt/publicacoes/boletins.jsp> - retirado em 19/03/2013

INE (2011) *Resultados provisórios Censos 2011*, Instituto Nacional de Estatística (INE)

IPQ (2001) NP EN 197-1 *Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes*, Almada

IPQ (2010) NP EN 998-1 e 2, *Especificações para argamassas de alvenaria*, Almada

IPQ (2011) NP EN 459-1 e 2, *Cal para construção, definições, especificações e critérios de conformidade*, Almada

IPQ (2002) NP EN 1097-3, *Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados parte 3 - determinação da baridade e volume de vazios*, Almada

IPQ (2006) NP EN 196-1, *Métodos de ensaios de cimentos parte 1 - determinação das resistências mecânicas*, Almada

IPQ (2008) NP EN 1936, *Métodos de ensaios para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta*, Almada

KIM, H. K; HWANG, E. A; LEE, H. K. (2012), *Impacts of metakaolin lightweight concrete by type of fine aggregate.* Elsevier Ltd. Construction and Building Materials nº 36, 719-726

MASSENA, R. (2011) *Avaliação da evolução das características de argamassas de cal aérea com diferentes teores de metacaulino em exposição natural*, dissertação para a obtenção do grau de mestre, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa

MELO, A. CARNEIRO, M. (2010) *Effect of Metakaolin's finesses and content in self-consolidating concrete.* Elsevier Ltd. Construction and Building Materials nº 24, 1529-1535

PACHECO-TORGAL, F; FARIA, J; JALALI, S. (2012) *Some considerations about the use of lime-cement mortars for building conservation purposes in Portugal: A reprehensible option or a lesser evil?* Elsevier Ltd. Construction and Building Materials nº30, pp 488-494

PINTO, A. (2004) *Sistemas ligantes obtidos por activação alcalina do metacaulino*, tese de Doutoramento, Universidade do Minho (UL)

PENAS, F (2008) *Argamassas de Cal Hidráulica para Revestimentos de Paredes*, dissertação para a obtenção do grau de mestre, Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa (IST-UTL)

PONTE, J. SANTOS SILVA, A. FARIA, M. P. (2004) *Evaluation of pozzolanic reactivity of artificial pozzolan*. Elsevier Ltd. Construction and Building Materials nº30,488-494

SCNEIDER, M; ROMER, M; TSCHUDIN, M; BOLIO, H. (2011) *Sustainable cement productions - present and future*. Elsevier Ltd. Construction and Building Materials nº25, 642-650

WECD (1987) *Our Common Future*, World Commission On Environment and Development, Oxford University Press

UNESCO (1998) *Records of the General Conference Twenty-ninth Session Paris 21 October to 12 November 1997, Volume 1 Resolutions*; United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

UN (1948) *Universal Declaration of Human Rights*, United Nations Organization

REES, W; WACKERNAGEL, M; TESTAMALE, P. (1996) *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, New Society Publishers

STEFANIDOU M, (2010) *Methods for porosity measurement in lime-based mortar*, Elsevier Ltd., Construction and Building Materials nº 24, 2572-2578

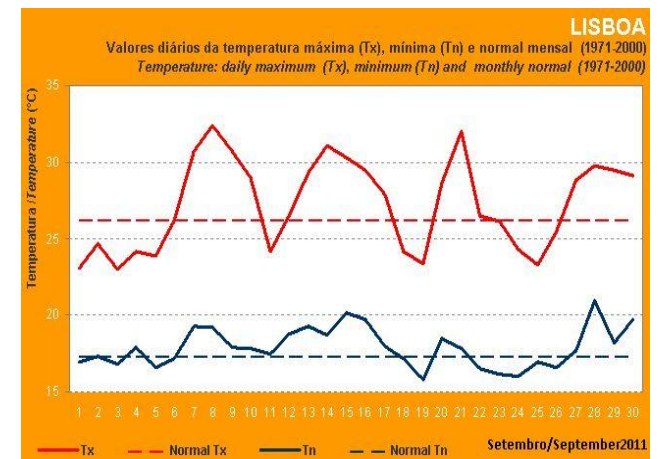
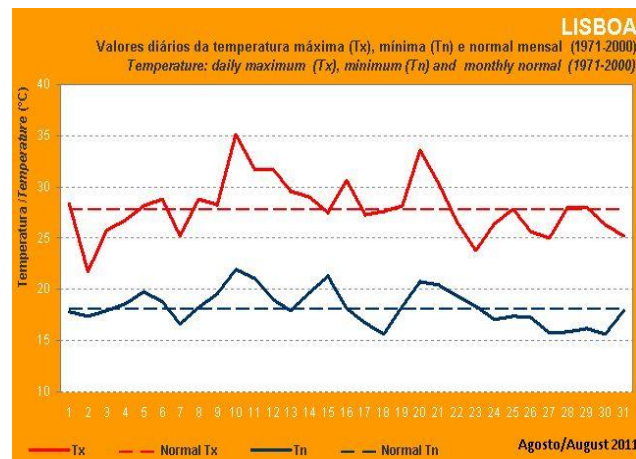
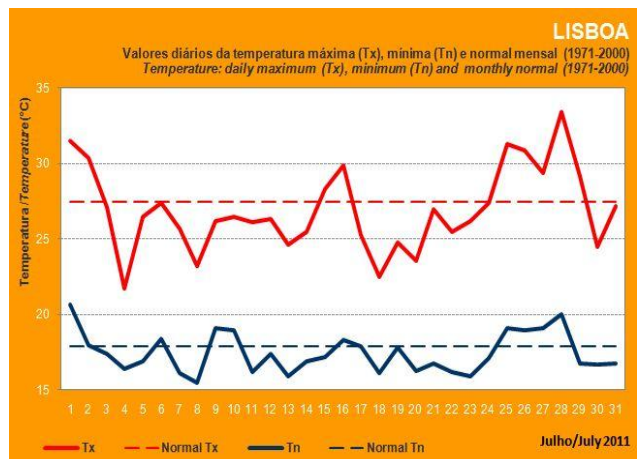
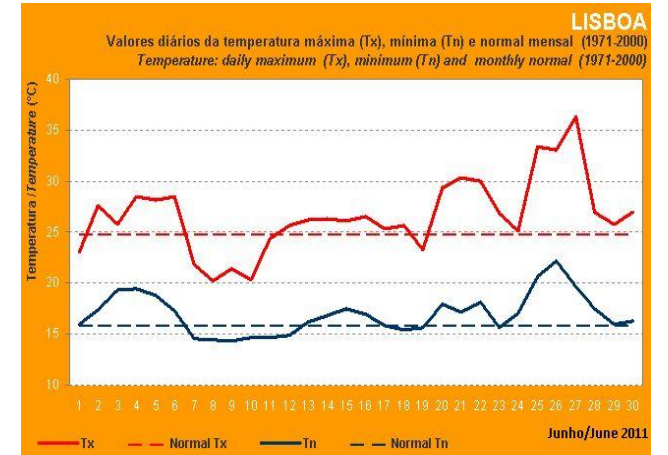
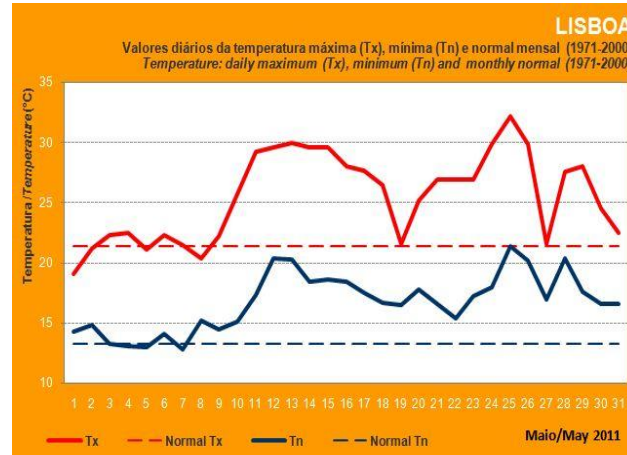
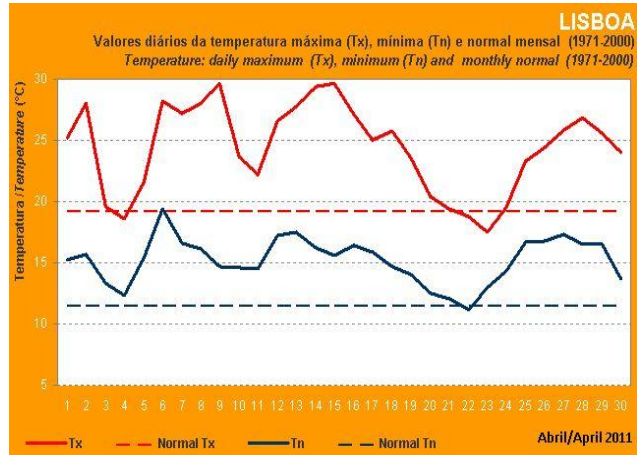
VEIGA, R; VELOSA, A; MAGALHÃES, A. (2009) *Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: Characterization and performance evaluation*. Elsevier Ltd. Construction and Building Materials nº 23, 318-327

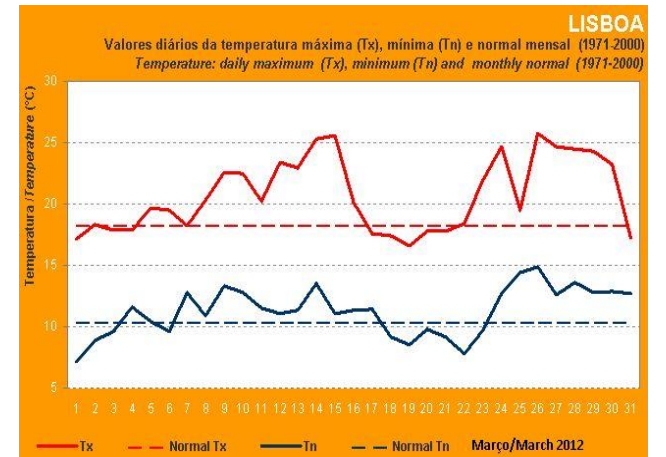
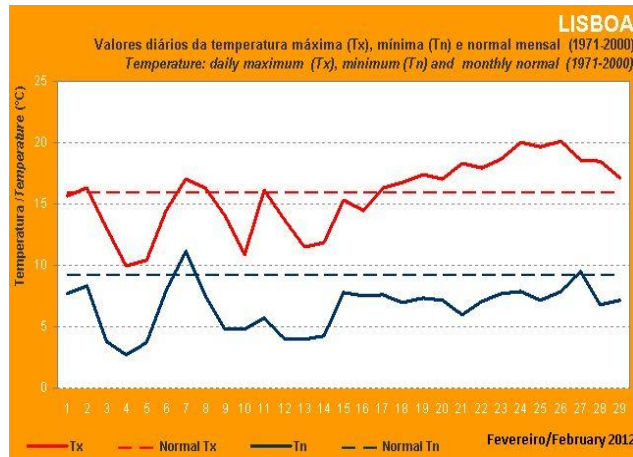
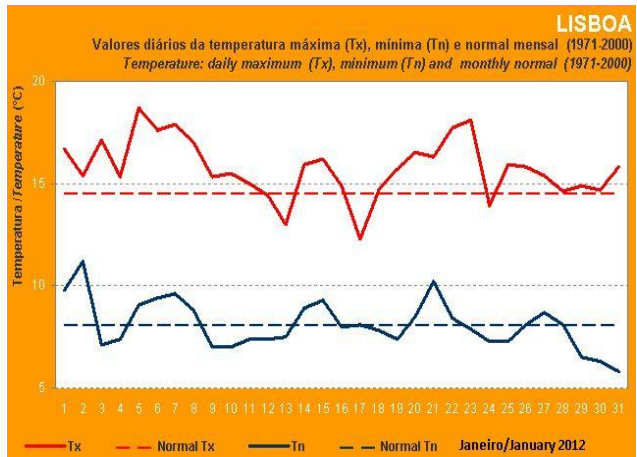
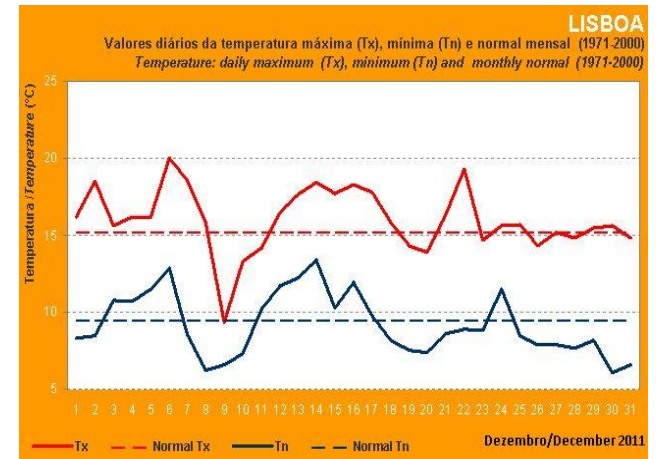
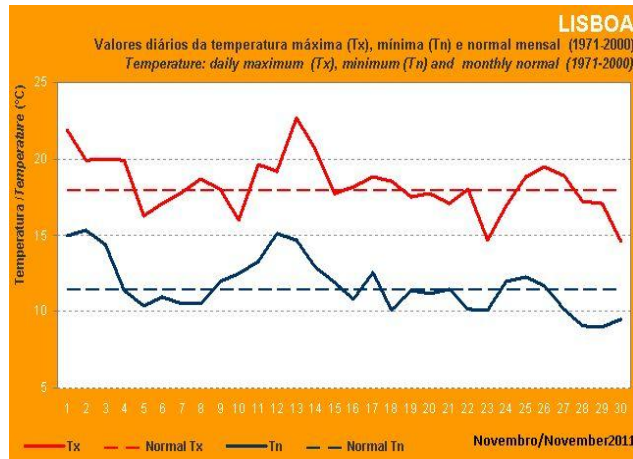
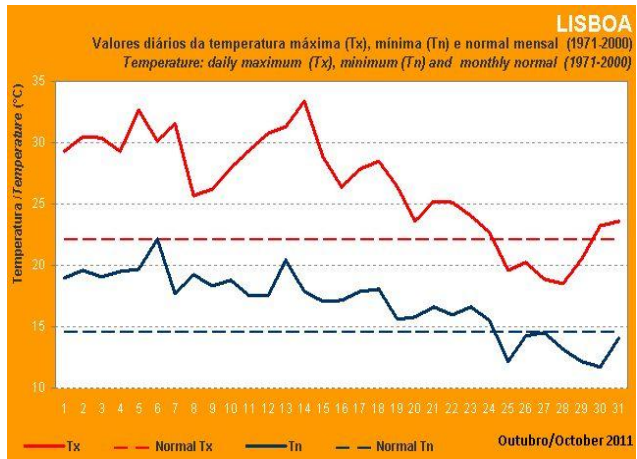
VEIGA, R; VELOSA, A; FRAGATA, A. (2010) *Lime based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings*. Taylor & Francis. International Journal of Architecture and Heritage nº 4, 177-195

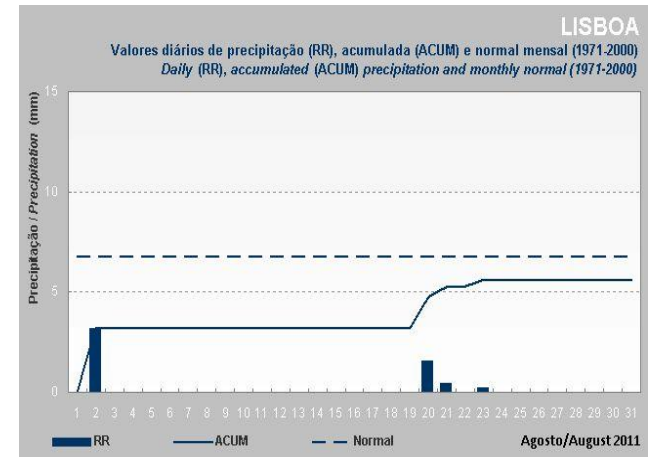
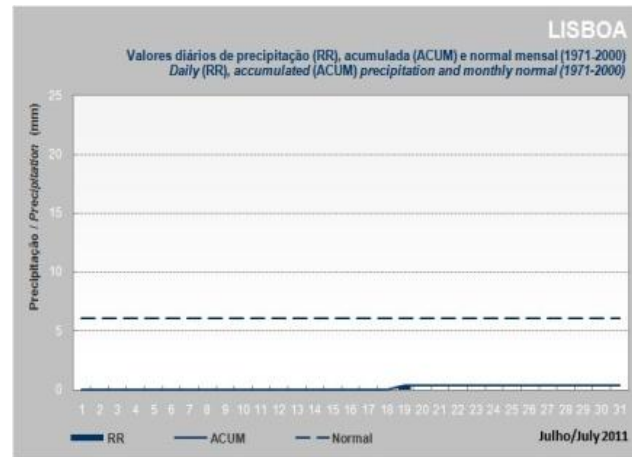
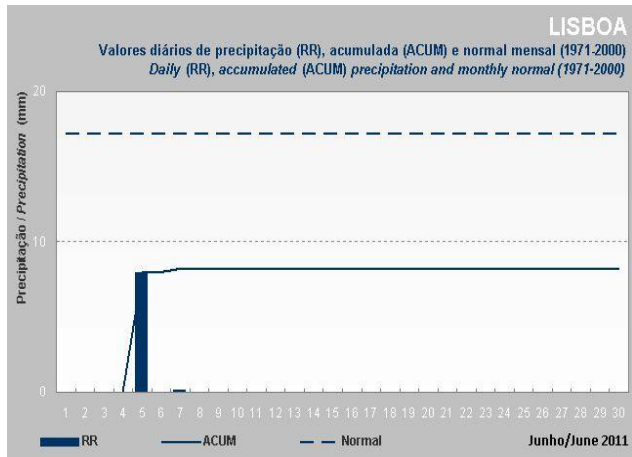
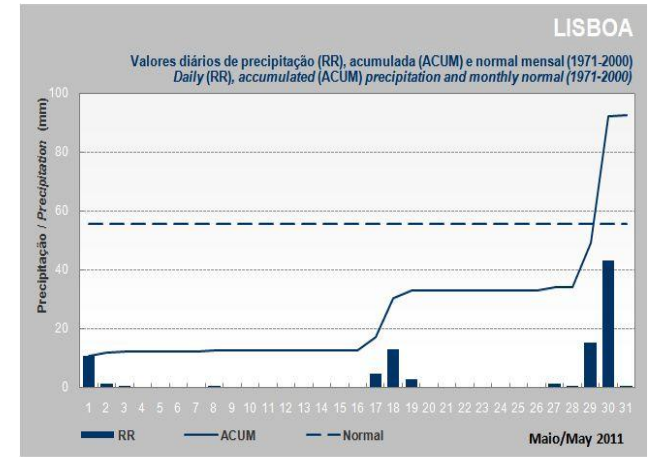
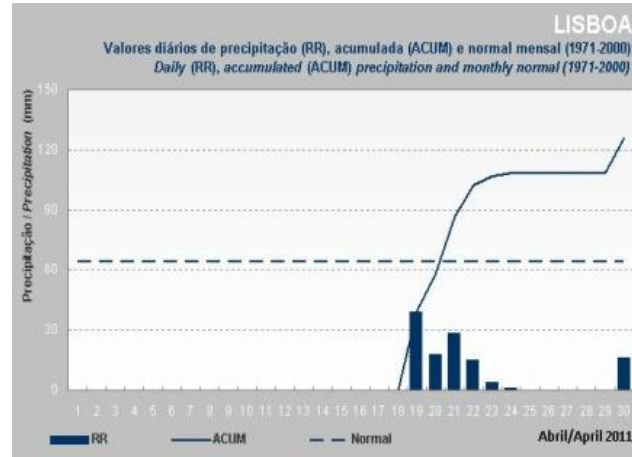
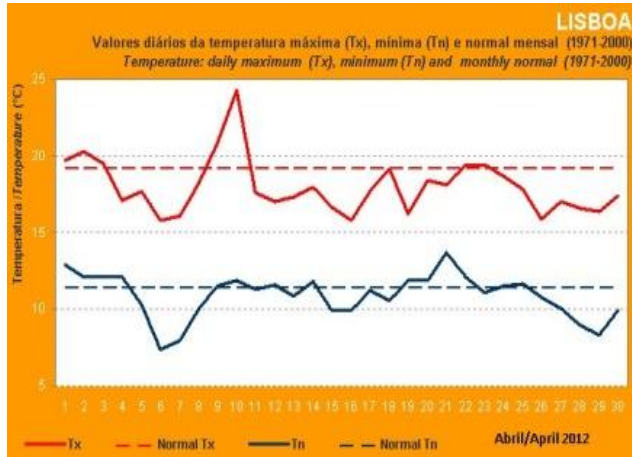
VENTOLÀ, VENDRELL, M; GIRALDEZ, P; MERINO, L. (2011) *Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabric*. Elsevier Ltd. Construction and Building Materials nº25, 3313-3318

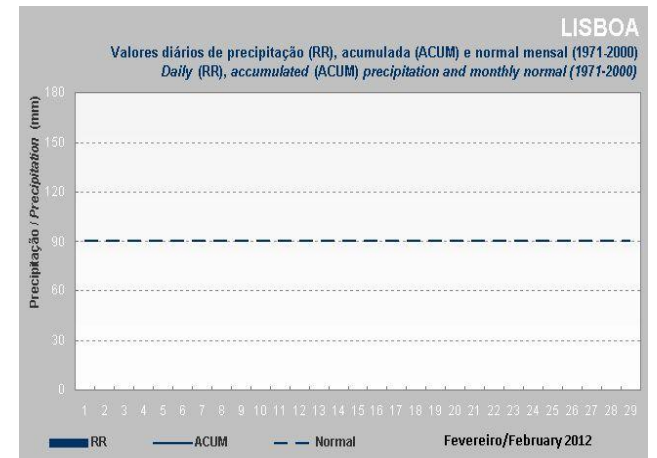
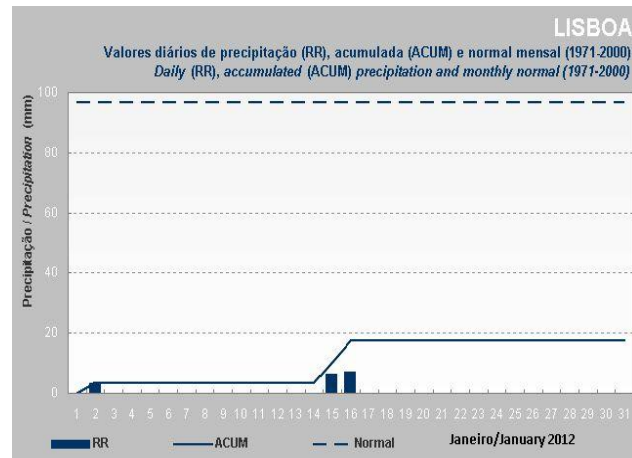
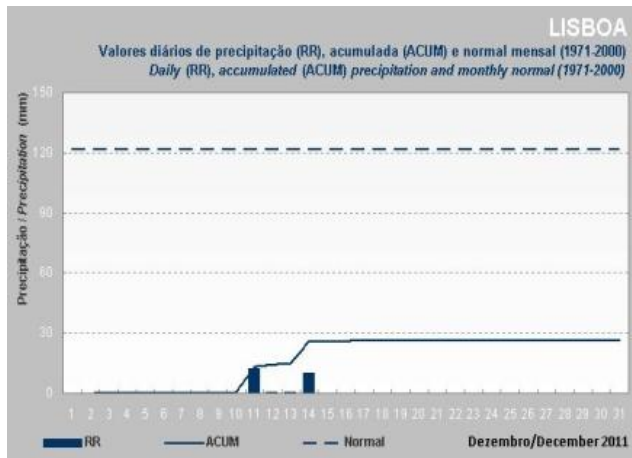
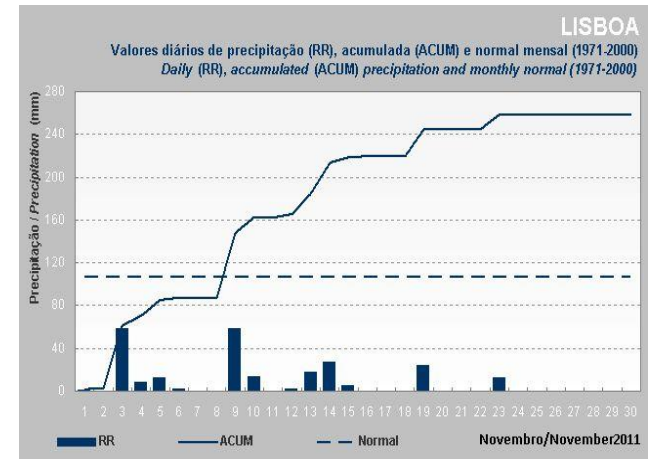
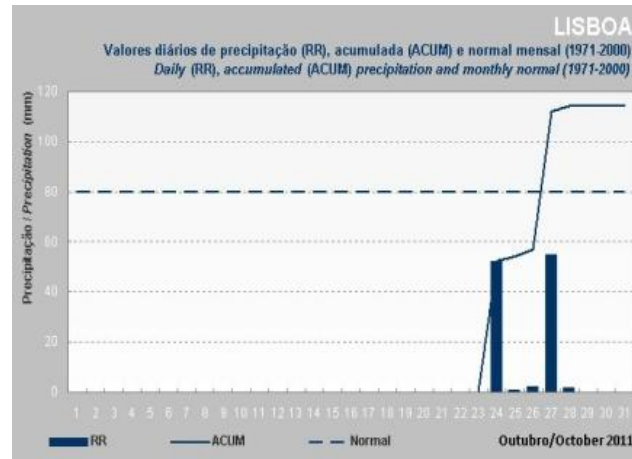
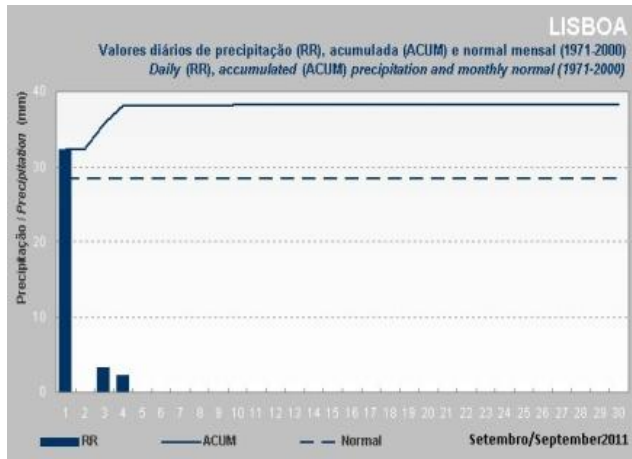
ŽIVICA, V; BALKOVIC, S; DRABIK, M. (2011) *Properties of metakaolin geopolymer hardened paste prepared by high pressure compaction*. Elsevier Ltd. Construction and Building Materials nº25, 2206-2213

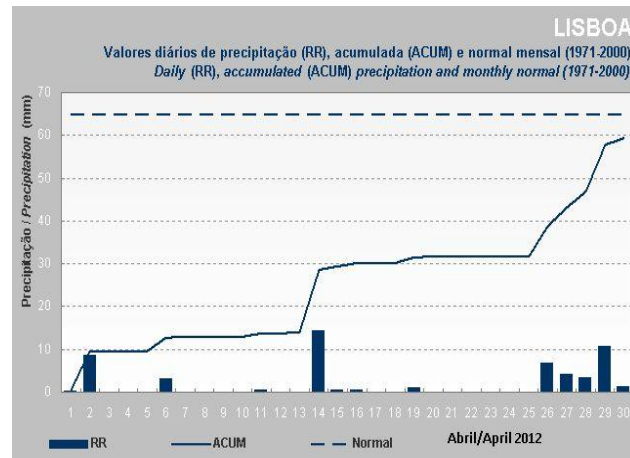
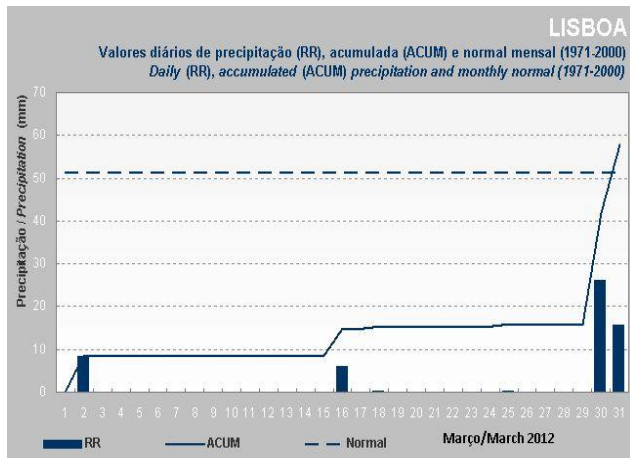
ANEXO I - TEMPERATURA MÁXIMA E PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NA REGIÃO DE LISBOA DE ABRIL DE 2011 A ABRIL DE 2012











Fonte: Instituto Português do Mar e Atmosfera
<http://www.ipma.pt/pt/oclima/monitorizacao/> retirado em 19/02/2013

ANEXO II - VALORES OBTIDOS NO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO MÓDULO ELASTICIDADE DINÂMICO A 1 ANO

Id. Provete	Massa [g]	E [Mpa]											E medio provete [Mpa]	Desvio Padrão [Mpa]	E medio argamassa [Mpa]	Dv. Padrão [Mpa]
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11				
AM5	441,98	4420	4360	4428	4407								4404	30,4	4273,7	170
AM8	445,30	4127	4108	3991	4101								4082	61,5		
AM13	442,35	4339	4346	4327	4330								4336	8,7		
AR1	442,88	3389	3453	3383	4731								3739	662,1	3657,2	113
AR2	444,84	3697	3701	3698	3720								3704	10,8		
AR3	443,96	3530	3541	3526	3517								3529	9,9		
AP4	440,32	4538	4587	4583	4579								4572	22,7	4544,8	120
AP5	446,54	4673	4646	4638	4638								4649	16,6		
AP6	440,69	4282	4426	4481	4467								4414	91,0		
AS1	464,30	5045	5022	5065	5059								5048	19,1	4808,1	248
AS2	459,31	4578	4537	4570	4527								4553	24,8		
AS3	466,49	4851	4815	4785	4843								4824	29,9		
AU1	432,67	4425	4421	4454	4412								4428	18,2	4485,9	78
AU2	428,55	4561	4548	4606	4583								4575	25,5		
AU3	427,64	4411	4461	4456	4493								4455	33,7		
AH1	448,39	4458	4623	4518	4481								4520	73,0	4415,3	97
AH3	447,34	4447	4331	4389	4423								4398	50,3		
AH4	449,46	4352	4258	4328	4376								4329	50,9		
BM16	414,10	2623	2676	2638	2702								2660	35,9	2845,1	179
BM17	397,13	3147	3031	2993	2899								3018	102,6		
BM18	389,28	2897	2793	2855	2887								2858	46,9		
BP4	436,19	2342	2507	2509	2493								2463	80,8	2243,3	197
BP6	409,11	2351	2354	2038	1996								2185	194,5		
BP(sup)	409,76	1999	2102	2152	2076								2082	63,8		

Id. Provete	Massa	E											E medio provete	Desvio Padrão	E medio argamassa	Dv. Padrão
		[Mpa]														
	[g]	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
BR1	451,82	3749	3696	3721	3698								3716	24,8	3787,6	63
BR2	450,27	3882	3884	3791	3787								3836	54,3		
BR3	441,61	3809	3796	3815	3823								3811	11,4		
BS4	447,22	1341	1321	1247	1304								1303	40,4	1346,8	102
BS5	441,49	2337	1141	1217	1158								1463	583,4		
BS6	444,15	1536	1202	1175	1183								1274	175,0		
BU13	431,58	2659	2714	2632	2681								2672	34,7	2618,3	51
BU14	421,86	2557	2535	2608	2581								2570	31,4		
BU15	419,15	2615	2608	2632	2597								2613	14,7		
BH1	450,45	5207	5372	5389	5283	5469							5344	101,1	6125,9	895
BH3	452,32	7108	7190	7050	7058								7102	64,3		
BH4	443,89	6919	6020	6020	6200	5520	5596	5580	5603				5932	474,5		
CR1	451,20	2463	2404	2412	2421								2425	26,3	2288,9	283
CR2	452,29	2417	2486	2540	2469								2478	50,7		
CR3	441,05	1988	1985	1937	1945								1964	26,5		
CS(sup)	391,38	1309	1321	1323	1325								1320	7,2	1503,3	317
CS8	390,43	1307	1230	1329	1418								1321	77,4		
CS9	374,36	1890	1913	1798	1876								1869	49,9		
CU14	398,60	2556	2450	2573	2491								2518	57,2	2828,5	269
CU17	414,01	2994	2984	2973	2958								2977	15,4		
CU18	409,62	2962	2987	3018	2996								2991	23,2		
CH4	437,56	5362	4660	4400	4640	1377	1908	2321	2151	5275	3557	4435	3644	1448,2	4521,9	774
CH5	448,74	5396	4903	5298	2670	5811							4816	1242,1		
CH6	441,58	5919	6041	4946	3083	5608	5038						5106	1087,2		

Id. Provete	Massa	E											E medio provete	Desvio Padrão	E medio argamassa	Dv. Padrão
		[Mpa]														
	[g]	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
DR1	442,88	1841	1858	1835	1844								1845	9,7	1881,1	37
DR2	444,84	1861	1944	1930	1938								1918	38,6		
DR3	443,96	1926	1886	1849	1861								1881	34,0		
DS2	401,22	1444	1428	1418	1508								1450	40,4	1701,5	356
DS3	398,37	2033	1922	1923	1936								1954	53,4		
DU4	344,20	2393	2335	2311	2295								2334	42,9	2179,1	218
DU5	334,31	2120	1979	1998	2002								2025	64,3		
DH6	430,67	1121	1028	4625	3562								2584	1796,6	1961,9	542
DH16	439,20	1683	1690	1749	1704								1707	29,6		
DH8	445,70	1732	1447	1628	1574								1595	118,6		
ER7	451,82	1301	1267	1281	1274								1281	14,7	1403,1	301
ER10	450,27	1248	1100	1180	1204								1183	62,1		
ER12	441,61	1722	1771	1728	1761								1746	24,1		
EH13	440,21	1618	1621	1640	1624								1626	9,8	1439,3	217
EH14	440,51	1200	1210	1196	1198								1201	6,2		
EH15	438,93	1496	1487	1490	1491								1491	3,7		

ANEXO III - VALORES OBTIDOS NOS ENSAIO DE AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO E À COMPRESSÃO A 1 ANO

Identificação Provete	Ft	Fc	Rt _{provete}	R _{c provete}	Rt _{arg}	R _{c arg}	Dv. Padrão Rt	Dv. Padrão Rc
	[N]	[N]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
AU1	115,74	770,02	0,271	0,481	0,263	0,589	0,064	0,094
AU2	137,6	1052,12	0,323	0,658				
AU3	82,94	1005,01	0,194	0,628				
BU13	13,49	136,28	0,032	0,085	0,028	0,105	0,003	0,027
BU14	10,56	151,99	0,025	0,095				
BU15	11,88	217,88	0,028	0,136				
CU14	-	194,33	-	0,121	0,025	0,116	0,006	0,008
CU17	12,24	191,52	0,029	0,120				
CU18	8,75	169,93	0,021	0,106				
DU4	10,68	128,15	0,025	0,080	0,022	0,080	0,005	-
DU5	-	-	-	-				
DU6	7,77	-	0,018	-				
AM5	180,1	1358,33	0,422	0,849	0,357	0,897	0,089	0,043
AM8	167,74	1456,19	0,393	0,910				
AM13	108,82	1491,81	0,255	0,932				
BM16	21,18	252,37	0,050	0,158	0,055	0,155	0,004	0,024
BM17	24,2	282,38	0,057	0,176				
BM18	24,65	207,51	0,058	0,130				
AR1	147,61	1162,88	0,346	0,727	0,314	0,732	0,065	0,067
AR2	152,01	1068,66	0,356	0,668				
AR3	102,22	1284,02	0,240	0,803				
BR1	37,23	459,04	0,087	0,287	0,089	0,272	0,005	0,013
BR2	40,15	425,39	0,094	0,266				
BR3	36,19	422,3	0,085	0,264				
CR1	18,57	339,3	0,044	0,212	0,042	0,208	0,005	0,020
CR2	19,77	361,45	0,046	0,226				
CR3	15,66	297,52	0,037	0,186				
DR1	8,14	233,87	0,019	0,146	0,025	0,189	0,005	0,038
DR2	12,77	325	0,030	0,203				
DR3	10,95	347,43	0,026	0,217				
ER1	6,94	238,91	0,016	0,149	0,017	0,140	0,001	0,013
ER10	7,25	208,91	0,017	0,131				
AP5	194,74	1608,46	0,456	1,005	0,465	0,842	0,012	0,231
AP6	201,9	1084,64	0,473	0,678				
-	-	-	-	-				
BP4	32,03	262,75	0,075	0,164	0,066	0,145	0,009	0,017
BP6	24,61	219,85	0,058	0,137				
BP(sup)	27,59	212,27	0,065	0,133				

Identificação Provete	Ft	Fc	Rt _{provete}	R _{c provete}	Rt _{arg}	R _{c arg}	Dv. Padrão Rt	Dv. Padrão Rc
	[N]	[N]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
CP4	14,85	-	0,035	-	0,039	0,089	0,004	0,006
CP5	17,92	149,18	0,042	0,093				
CP6	17,30	135,16	0,041	0,084				
DP1	7,41	-	0,017	-	0,014	-	0,005	-
DP2	4,47	-	0,010	-				
-	-	-	-	-				
EP13	8,74	-	0,020	-	0,021	-	0,001	-
EP14	9,05	-	0,021	-				
-	-	-	-	-				
AH1	-	-	-	-	0,407	1,126	0,048	0,288
AH3	159,04	1475,29	0,373	0,922				
AH4	188,26	2126,58	0,441	1,329				
BH1	18,8	1444,17	0,044	0,903	0,046	0,813	0,002	0,127
BH3	20,06	1157,64	0,047	0,724				
BH4	-	-	-	-				
CH4	13,39	217,28	0,031	0,136	0,026	0,128	0,009	0,021
CH5	6,58	230,18	0,015	0,144				
CH6	13,76	166,82	0,032	0,104				
DH6	-	160,37	-	0,100	0,022	0,099	0,001	0,009
DH16	9,48	143,83	0,022	0,090				
DH8	8,97	172,15	0,021	0,108				
EH14	14,63	204,39	0,034	0,128	0,032	0,125	0,004	0,004
EH15	11,68	195,42	0,027	0,122				
EH16	15,28	-	0,036	-				
AS1	217,15	2126,58	0,509	1,329	0,487	1,266	0,019	0,097
AS2	201,73	2102,47	0,473	1,314				
AS3	204,05	1846,5	0,478	1,154				
BS4	56,24	-	0,132	-	0,138	0,193	0,021	0,035
BS5	49,94	349,06	0,117	0,218				
BS6	67,58	269,71	0,158	0,169				
CS(sup)	23,13	186,44	0,054	0,117	0,044	0,117	0,010	-
CS8	17,57	-	0,041	-				
CS9	15,15	-	0,036	-				
DS2	38	123,64	0,089	0,077	0,081	0,075	0,012	0,003
DS3	30,74	116,07	0,072	0,073				
DS6	-	-	-	-				

**ANEXO IV - VALORES OBTIDOS NO ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DE POROSIDADE ABERTA
A 1 ANO**

Identificação Provetes	Massa			Porosid. Ab. Prov	Poros. aberta argamassa	Dv. Padrão
	[g]					
	M ₁	M ₂	M ₃	[%]		
AH1	60,768	35,128	71,336	29,187	31	1,7
AH2	45,709	26,615	54,946	32,604		
AH3	75,420	43,825	89,570	30,932		
AS1	73,145	40,290	83,562	24,073	24	0,4
AS2	70,661	39,083	80,502	23,760		
AS3	85,526	47,444	97,079	23,276		
AP4	50,540	29,322	60,036	30,917	30	0,9
AP5	70,791	41,142	83,035	29,227		
AP6	73,514	42,420	86,450	29,380		
AU1	73,819	42,617	89,232	33,064	32	1,3
AU2	65,826	38,135	78,295	31,048		
AU3	60,146	34,768	71,381	30,686		
AM5	60,884	35,221	73,565	33,072	30	2,7
AM8	69,537	40,182	81,702	29,299		
AM13	75,002	43,898	87,038	27,900		
AR1	65,056	36,931	76,950	29,721	29	0,3
AR2	75,702	42,931	89,234	29,225		
AR2	56,325	32,008	66,455	29,407		
BH1	55,383	32,855	67,341	34,675	34	0,5
BH3	59,482	35,548	71,646	33,697		
BH4	74,809	44,488	90,481	34,075		
BS1	91,625	53,149	109,103	31,236	31	-
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
BP4	62,743	37,135	75,489	33,233	33	-
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		
BU1	56,164	33,200	68,131	34,259	35	0,9
BU2	47,184	27,796	57,418	34,549		
BU3	50,003	29,811	61,315	35,907		
BM16	51,700	30,455	62,024	32,703	34	1,1
BM2	43,869	25,796	53,489	34,738		
BM18	44,133	26,073	53,664	34,544		
BR1	34,522	18,838	40,181	26,515	32	4,8
BR2	33,966	20,227	41,503	35,425		
BR3	57,093	33,821	69,134	34,098		

Identificação Provetes	Massa			Porosid. Ab. Prov	Poros. aberta argamassa	Dv. Padrão
	[g]					
	M ₁	M ₂	M ₃			
CH1	40,377	23,982	52,715	42,940	40	2,8
CH2	45,982	27,208	57,279	37,568		
CH3	45,919	27,492	57,533	38,660		
CS1	100,242	57,839	120,246	32,054	34	4,7
CS2	91,764	53,057	109,107	30,942		
CS10	47,541	27,924	60,356	39,513		
CU14	49,101	29,510	59,898	35,530	35	0,7
CU18	53,346	31,957	65,350	35,948		
CU17	59,800	35,846	72,448	34,555		
CR1	60,855	36,407	74,201	35,312	34	1,4
CR2	53,903	32,230	64,583	33,011		
CR3	75,415	45,082	90,183	32,744		
DH1	66,766	39,296	82,020	35,704	37	1,9
DH2	47,801	28,499	59,810	38,354		
-	-	-	-	-		
DU1	30,239	17,928	39,128	41,929	37	5,1
DU2	42,411	23,714	51,076	31,668		
DU3	56,554	33,527	70,207	37,222		
DR1	60,563	35,812	73,846	34,924	35	1,0
DR2	27,533	16,325	33,740	35,642		
DR3	54,983	32,836	66,189	33,598		
ES12	48,992	28,684	58,827	32,628	33	-
-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-		

ANEXO V - VALORES OBTIDOS NO ENSAIO DE ABSORÇÃO CAPILAR A 1 ANO

Dia	Hora	Identificação dos provetes											
		AM5	AM8	AM13	BM16	BM17	BM18	AP4	AP5	AP6	BP4	BP6	BP(sup)
		Massa dos provetes [g]											
22-03-2012	11:10	220,095	215,347	206,372	191,654	186,148	193,157	221,755	220,778	222,686	186,027	201,534	216,424
22-03-2012	11:15	233,177	229,085	216,779	212,204	206,996	212,359	234,039	233,005	234,680	207,874	224,372	237,869
22-03-2012	11:20	237,436	233,675	219,840	219,305	213,042	219,109	237,268	236,335	237,937	213,232	230,523	245,818
22-03-2012	11:25	239,665	235,727	220,805	219,762	213,298	221,541	238,766	237,892	239,343	213,272	230,658	248,227
22-03-2012	11:40	245,013	240,235	223,639	220,758	213,807	222,523	242,539	242,586	243,940	213,985	231,348	248,874
22-03-2012	12:10	246,081	240,883	227,060	221,000	213,974	222,854	246,048	246,322	247,343	213,736	231,440	249,106
22-03-2012	13:10	246,557	241,100	229,928	221,510	214,791	223,141	247,190	247,549	248,763	214,271	232,010	249,267
22-03-2012	14:10	246,452	241,085	230,257	220,683	214,482	223,027	247,133	247,959	248,985	214,348	231,977	249,374
22-03-2012	15:10	246,117	241,281	230,481	221,499	214,687	223,551	247,413	247,883	249,141	214,377	232,320	249,452
22-03-2012	16:10	246,169	240,843	230,188	220,998	214,252	223,240	247,022	247,308	248,789	213,855	231,484	249,205
23-03-2012	16:10	246,780	241,473	230,793	221,713	214,879	223,815	247,446	247,668	249,122	214,005	231,975	249,375
26-03-2012	16:10	247,782	242,211	231,928	222,521	215,548	224,835	252,214	251,545	253,417	215,984	234,292	251,496
27-03-2012	16:10	247,780	242,264	232,087	222,586	215,582	224,960	252,581	252,185	254,144	216,291	234,102	252,112
29-03-2012	9:18	247,938	242,269	232,339	223,094	215,835	225,033	252,945	254,631	254,631	216,528	234,499	252,371
02-04-2012	9:42	248,077	242,540	232,745	223,238	216,289	225,501	253,215	254,916	254,916	217,098	234,855	252,694

Dia	Hora	Identificação dos provetes													
		AR1	AR2	AR3	BR1	BR2	BR3	CR1	CR2	CR3	DR1	DR2	DR3	ER10	ER13
	Massa dos provetes [g]														
22-03-2012	11:51	210,084	209,739	220,781	223,788	229,425	201,422	214,811	235,188	216,115	196,430	219,212	206,262	155,070	157,777
22-03-2012	11:56	222,014	219,248	231,178	244,114	251,607	222,119	233,308	252,974	236,624	217,673	240,287	225,720	177,157	179,940
22-03-2012	12:01	226,371	224,945	235,811	254,180	261,634	231,439	241,513	261,176	245,720	225,607	246,886	231,098	182,985	184,365
22-03-2012	12:06	228,847	227,557	238,165	256,671	263,280	231,862	245,667	266,897	250,972	228,339	252,986	235,024	183,370	184,794
22-03-2012	12:21	232,478	231,754	242,288	256,655	263,241	232,024	249,074	271,911	251,758	230,229	257,010	240,232	183,314	184,822
22-03-2012	12:51	234,876	235,436	247,340	257,197	263,776	233,110	249,770	272,306	252,170	230,444	257,169	240,745	184,137	185,122
22-03-2012	13:51	234,941	235,745	247,953	257,422	263,774	232,475	249,991	272,634	252,154	230,545	257,281	241,131	183,864	184,773
22-03-2012	14:51	235,194	235,546	248,345	257,611	264,250	232,862	250,078	272,594	252,597	231,014	257,032	241,139	184,487	185,251
22-03-2012	15:51	235,343	235,541	248,162	256,849	263,775	232,443	249,731	272,194	252,024	230,711	256,889	240,902	184,695	184,370
23-03-2012	15:51	235,515	235,658	248,292	257,288	264,056	232,670	250,336	272,817	252,688	230,940	257,298	241,466	184,478	184,890
26-03-2012	15:51	235,819	236,049	248,870	257,707	264,535	233,298	251,414	274,180	253,633	231,902	258,570	242,384	185,059	185,654
27-03-2012	15:51	236,158	236,085	248,784	257,695	264,506	233,298	251,866	274,550	254,110	232,301	259,116	242,693	185,219	186,175
29-03-2012	9:18	236,224	236,224	249,014	257,858	264,907	233,499	252,258	275,128	254,631	232,933	259,747	243,372	185,428	186,334
02-04-2012	9:35	236,377	236,377	249,371	258,401	265,344	233,984	252,528	275,475	254,951	233,305	259,929	244,146	185,588	186,619

Dia	Hora	Identificação dos provetes																	
		AS1	AS2	AS3	BS4	BS(sup)	CS(sup)	DS(supA)	DS(supB)	AU1	AU2	AU3	BU13	BU14	BU15	CU14	CU17	CU18	DU4
		Massa dos provetes [g]																	
03-04-2012	13:15	234,903	239,969	223,170	215,346	222,063	267,306	268,285	193,161	220,617	207,191	199,247	221,713	192,574	204,458	183,718	193,160	185,790	182,018
03-04-2012	13:22	243,810	249,347	233,108	239,489	243,352	289,486	289,279	211,749	229,980	217,275	209,982	245,870	213,630	225,649	202,751	214,179	204,379	199,237
03-04-2012	13:28	246,638	251,932	235,949	245,699	250,957	298,114	298,483	220,062	232,643	219,842	213,521	252,674	219,617	234,298	210,466	223,587	209,430	207,999
03-04-2012	13:38	248,236	253,605	237,622	245,969	252,558	303,128	303,825	223,156	234,411	221,488	215,411	253,667	219,976	234,402	212,668	224,030	212,408	210,210
03-04-2012	13:53	249,418	255,514	239,877	245,970	252,856	308,615	310,099	223,984	236,831	223,701	218,325	253,696	219,784	234,524	212,826	224,265	214,358	210,763
03-04-2012	14:23	253,627	258,279	243,057	246,163	253,006	310,324	310,716	224,225	240,161	226,825	221,023	253,583	219,952	234,680	212,972	224,392	215,652	210,850
03-04-2012	15:23	255,941	261,224	244,105	246,167	253,173	310,124	310,993	224,665	243,111	229,035	221,985	253,700	220,281	234,853	212,988	224,390	215,668	210,770
03-04-2012	16:23	256,180	261,601	243,949	245,836	253,072	309,939	311,294	224,847	243,786	229,333	221,921	253,553	219,873	234,582	212,961	224,484	215,692	210,890
03-04-2012	17:23	256,193	261,644	244,024	245,904	253,276	310,146	311,397	224,981	244,195	229,809	222,130	253,734	220,180	234,878	213,014	224,566	215,895	211,026
03-04-2012	18:23	256,237	261,752	244,131	245,962	253,292	310,437	311,469	225,076	244,375	229,899	222,286	254,014	220,372	234,871	213,198	224,753	215,981	211,203
04-04-2012	18:23	255,758	261,626	243,538	244,706	252,835	309,841	312,101	225,371	245,300	230,538	222,669	254,306	220,811	235,402	213,599	225,435	216,458	211,657
05-04-2012	18:23	255,899	261,426	243,537	244,585	252,541	309,014	311,603	225,319	246,392	231,674	223,814	255,065	221,619	236,186	214,200	226,008	217,285	212,545
09-04-2012	17:55	256,111	261,574	243,442	246,442	254,078	309,496	311,561	225,268	248,439	233,516	225,703	256,696	223,062	237,951	215,457	227,208	218,477	213,646
10-04-2012	18:04	256,310	261,776	243,679	246,225	254,131	309,052	310,784	225,052	248,670	233,941	225,794	257,108	223,190	237,998	215,417	227,529	218,580	213,678
11-04-2012	9:14	256,381	261,882	243,736	246,237	254,118	308,853	310,175	224,539	248,730	234,002	225,974	256,910	223,048	237,982	215,439	227,177	218,491	213,770

Dia	Hora	Identificação dos provetes													
		AH1	AH3	AH4	BH1	BH3	BH4	CH5	CH6	DH6	DH8	DH16	EH14	EH15	EH16
		Massa dos provetes [g]													
03-04-2012	12:32	243,846	232,984	223,644	233,794	217,977	217,501	238,917	232,615	232,576	222,590	205,227	208,038	231,880	231,852
03-04-2012	12:37	254,607	244,265	236,167	257,554	238,313	236,844	258,269	252,422	251,953	242,969	222,423	227,130	251,631	251,534
03-04-2012	12:42	259,307	249,108	240,417	267,432	248,164	246,692	267,396	261,344	261,227	251,780	230,525	236,171	260,827	260,473
03-04-2012	12:47	261,671	251,226	242,044	268,228	249,755	249,586	272,371	266,342	266,365	256,962	235,089	241,274	266,709	265,742
03-04-2012	13:02	266,391	256,070	246,350	268,298	249,813	249,565	274,438	270,427	269,072	258,173	237,864	242,101	269,589	268,497
03-04-2012	14:02	270,075	257,682	248,147	268,379	249,931	250,182	274,679	270,637	269,678	258,473	238,261	242,462	270,083	268,783
03-04-2012	15:02	270,101	257,551	248,171	268,414	249,961	249,827	274,637	270,877	270,009	258,759	238,450	242,504	270,374	268,979
03-04-2012	16:02	270,061	257,631	248,156	268,463	249,968	249,774	274,520	270,875	270,201	258,714	238,487	242,533	270,386	268,933
03-04-2012	17:02	270,098	257,651	248,231	268,536	249,995	249,837	274,728	270,999	270,593	258,966	238,637	242,686	270,704	269,137
03-04-2012	18:02	270,162	257,940	248,337	268,631	250,082	249,995	274,794	271,031	270,834	259,117	238,738	242,820	270,846	269,209
04-04-2012	18:04	270,695	258,190	248,882	269,231	250,547	250,553	275,522	271,897	271,977	260,106	239,395	243,469	271,948	269,886
05-04-2012	18:09	270,955	258,613	248,707	269,612	251,034	250,931	275,939	272,509	272,485	260,561	239,714	243,696	272,302	270,413
09-04-2012	17:50	272,646	259,935	250,839	271,141	252,691	252,657	277,431	273,943	273,539	262,118	240,499	245,172	273,676	271,626
10-04-2012	17:50	272,875	260,274	250,947	271,339	252,679	252,820	277,694	274,132	273,675	262,282	240,666	245,298	273,769	271,859

ANEXO VI - VALORES OBTIDOS NO ENSAIO DE SECAGEM A 1 ANO

Dia	Hora	Identificação dos Provetes														
		AM5	AM8	AM13	BM16	BM17	BM18	AP4	AP5	AP6	BP4	BP6	BP(sup)	AR1	AR2	AR3
Massa dos provetes no instante t [g]																
02-04-2012	11:30	247,12	241,52	231,41	221,70	214,31	224,08	252,42	251,45	254,06	216,16	233,35	251,67	235,24	235,40	248,27
02-04-2012	12:30	246,54	241,05	230,98	221,03	213,87	223,39	252,02	251,14	253,62	215,82	232,82	251,08	234,81	234,86	247,75
02-04-2012	13:30	246,28	240,87	230,79	220,82	213,64	223,22	251,90	251,01	253,46	215,63	232,64	250,79	234,70	234,79	247,54
02-04-2012	14:30	246,00	240,62	230,55	220,53	213,37	222,95	251,66	250,82	253,24	215,41	232,33	250,43	234,52	234,63	247,30
02-04-2012	15:30	245,71	240,36	230,32	220,25	213,11	222,77	251,43	250,61	253,04	215,19	232,04	250,09	234,35	234,47	247,11
02-04-2012	16:30	245,37	240,05	230,05	219,95	212,84	222,54	251,13	250,37	252,80	214,93	231,73	249,80	234,16	234,30	246,90
02-04-2012	17:30	245,05	239,76	229,80	219,67	212,56	222,31	250,87	250,11	252,57	214,67	231,43	249,44	233,99	234,16	246,71
02-04-2012	18:30	244,75	239,49	229,53	219,39	212,30	222,10	250,61	249,89	252,34	214,42	231,13	249,10	233,84	234,02	246,53
03-04-2012	18:30	237,58	232,65	223,68	213,22	206,90	217,62	244,59	244,41	247,13	208,76	224,68	242,63	230,57	231,39	243,01
04-04-2012	18:30	231,44	226,67	218,29	207,55	201,89	213,37	239,49	239,59	242,60	203,71	219,09	236,99	228,13	229,51	240,36
05-04-2012	18:30	227,04	221,86	213,67	202,34	197,26	209,29	235,22	235,34	238,58	199,37	214,40	232,27	225,98	227,86	237,88
09-04-2012	18:30	222,02	216,89	207,60	193,05	187,26	197,18	226,71	225,81	229,40	189,21	204,58	221,37	217,48	221,04	227,69
10-04-2012	18:30	221,50	216,44	207,13	192,26	186,34	195,77	225,57	224,67	228,09	188,20	203,51	220,04	215,73	219,20	225,98
22-04-2012	16:16	220,21	215,50	206,24	191,45	185,26	191,11	222,00	221,02	223,15	185,96	200,95	216,61	210,72	211,02	221,26
23-04-2012	16:22	220,21	215,50	206,25	191,04	185,22	192,85	221,96	220,98	222,88	185,94	200,91	216,58	210,49	210,39	221,21
24-04-2012	17:40	220,21	215,50	206,25	191,02	185,17	192,84	221,97	220,98	222,88	185,95	200,91	216,58	210,49	210,27	221,22
26-04-2012	18:13	220,21	215,49	206,24	190,99	185,15	192,81	221,96	220,97	222,87	185,93	200,90	216,58	210,50	210,19	221,26
27-04-2012	16:56	220,21	215,49	206,24	190,93	185,10	192,79	221,96	220,97	222,88	185,93	200,89	216,54	210,51	210,18	221,27
30-04-2012	17:58	220,21	215,49	206,24	190,93	184,99	192,74	221,96	220,98	222,87	185,91	200,87	216,54	210,53	210,20	221,30
02-05-2012	18:04	220,21	215,50	206,24	190,92	184,97	192,64	221,97	220,98	222,88	185,91	200,87	216,55	210,55	210,22	221,31
03-05-2012	17:58	220,21	215,50	206,24	190,90	184,95	192,57	221,99	220,99	222,89	185,93	200,87	216,55	210,56	210,24	221,32

Dia	Hora	Identificação dos Provetes										
		BR1	BR2	BR3	CR1	CR2	CR3	DR1	DR2	DR3	ER10	ER13
		Massa dos provetes no instante t [g]										
02-04-2012	11:30	257,35	263,84	232,59	251,96	274,67	254,39	231,89	258,60	242,54	184,61	184,47
02-04-2012	12:30	256,96	263,25	232,23	251,57	274,28	254,03	231,47	258,00	242,13	183,90	184,19
02-04-2012	13:30	256,76	263,11	232,10	251,45	274,14	253,89	231,36	257,78	241,98	183,71	183,71
02-04-2012	14:30	256,48	262,87	231,89	251,27	273,97	253,69	231,18	257,55	241,76	183,54	183,51
02-04-2012	15:30	256,21	262,65	231,68	251,12	273,76	253,50	231,00	257,30	241,54	183,42	183,33
02-04-2012	16:30	255,95	262,46	231,41	250,92	273,49	253,27	230,83	257,09	241,28	183,26	183,10
02-04-2012	17:30	255,67	262,24	231,16	250,77	273,26	253,07	230,64	256,84	241,04	183,12	182,89
02-04-2012	18:30	255,40	262,05	230,94	250,61	273,03	252,88	230,47	256,60	240,83	182,99	182,68
03-04-2012	18:30	249,73	258,05	225,15	246,98	267,12	248,25	226,95	252,39	235,55	179,96	177,77
04-04-2012	18:30	244,58	254,37	219,85	243,86	261,70	244,08	223,68	248,61	230,87	177,39	173,41
05-04-2012	18:30	239,64	250,72	215,00	240,70	256,38	239,98	220,42	244,75	226,23	174,79	169,06
09-04-2012	18:30	227,92	238,08	205,29	228,63	241,25	226,15	207,93	230,00	212,77	164,98	157,33
10-04-2012	18:30	226,85	235,92	204,46	226,13	239,95	223,68	205,10	227,38	211,49	162,90	156,27
22-04-2012	16:16	224,05	229,77	201,62	216,05	235,66	216,33	197,11	220,26	206,62	155,67	153,93
23-04-2012	16:22	224,03	229,63	201,59	215,20	235,41	216,17	196,51	219,65	206,35	155,28	153,82
24-04-2012	17:40	224,02	229,62	201,58	215,01	235,39	215,49	196,44	219,55	206,34	155,18	153,78
26-04-2012	18:13	224,03	229,61	201,58	214,86	235,38	215,30	196,38	219,48	206,32	155,11	153,68
27-04-2012	16:56	224,02	229,61	201,57	214,84	235,37	215,02	196,37	219,15	206,28	155,05	153,62
30-04-2012	17:58	224,01	229,61	201,56	214,82	235,36	214,93	196,23	219,13	206,23	155,00	153,56
02-05-2012	18:04	224,02	229,60	201,57	214,83	235,37	214,86	196,26	219,43	206,22	154,90	153,39
03-05-2012	17:58	224,01	229,61	201,58	214,83	235,38	214,77	196,26	219,45	206,19	154,81	153,28

Dia	Hora	Identificação dos Provetes												
		AS1	AS2	AS3	BS4	BS(sup)	DS(sup A)	DS(sup)	AU1	AU2	AU3	BU13	BU14	BU15
		Massa dos provetes no instante t [g]												
11-04-2012	09:25	255,13	259,41	242,06	242,60	252,83	307,73	220,13	247,39	231,88	224,82	255,73	221,73	235,71
11-04-2012	10:25	254,84	259,26	241,85	241,67	252,45	305,80	218,83	247,18	231,64	224,61	255,60	221,57	235,38
11-04-2012	11:25	254,58	258,91	241,57	241,03	252,10	305,24	218,20	246,94	231,43	224,36	255,36	221,37	235,15
11-04-2012	12:25	254,38	258,69	241,41	240,73	251,90	304,15	217,73	246,73	231,22	224,20	255,25	221,28	234,98
11-04-2012	13:25	254,34	258,50	241,28	240,49	251,65	303,92	217,65	246,54	231,04	224,05	255,08	221,17	234,78
11-04-2012	14:25	254,10	258,33	241,13	240,27	251,43	303,77	217,43	246,34	230,85	223,91	254,93	221,06	234,64
11-04-2012	15:25	253,97	258,17	241,00	240,09	251,22	303,62	217,31	246,13	230,67	223,77	254,78	220,96	234,49
11-04-2012	16:25	253,83	257,99	240,91	239,90	250,98	303,46	217,17	245,92	230,48	223,62	254,63	220,85	234,33
12-04-2012	16:25	251,67	255,28	238,81	236,29	246,98	301,17	214,85	242,15	227,03	221,18	251,97	218,95	231,56
13-04-2012	16:23	248,67	252,02	235,80	230,49	241,16	298,01	211,31	236,21	221,40	217,21	247,61	215,60	226,84
16-04-2012	16:23	244,26	247,64	231,05	220,76	232,74	292,24	204,15	227,44	213,18	209,57	238,09	208,11	217,37
17-04-2012	16:23	243,24	246,67	229,94	218,51	230,82	290,64	202,19	225,79	211,69	207,75	235,38	205,89	214,85
18-04-2012	16:23	242,38	245,86	229,02	216,60	229,14	289,23	200,53	224,54	210,53	206,31	232,98	203,87	212,59
19-04-2012	16:23	241,57	245,08	228,14	214,80	227,53	288,40	198,91	223,52	209,55	204,96	230,73	201,87	210,59
20-04-2012	16:23	240,89	244,42	227,42	213,32	226,20	287,79	197,56	222,79	208,85	203,86	228,73	200,19	209,01
23-04-2012	16:42	239,17	242,84	225,59	210,07	223,23	284,54	194,22	221,35	207,44	201,57	225,33	196,55	205,85
24-04-2012	18:00	238,66	242,38	225,05	209,25	222,42	283,11	193,29	221,01	207,12	201,06	224,56	195,65	205,13
26-04-2012	18:29	237,82	241,60	224,13	207,98	221,12	282,06	191,69	220,52	206,71	200,27	223,50	194,32	204,13
27-04-2012	17:16	237,45	241,23	223,72	207,49	220,55	280,15	191,02	220,40	206,61	199,98	223,03	193,82	203,73
30-04-2012	18:15	236,34	240,20	222,55	206,40	219,24	279,27	189,34	220,26	206,51	199,34	222,06	192,70	203,13
02-05-2012	18:23	235,75	239,61	221,93	206,04	218,53	276,68	188,45	220,25	206,50	199,22	221,82	192,33	203,07
03-05-2012	18:13	235,59	239,49	221,76	205,94	218,31	274,70	188,14	220,26	206,52	199,23	221,81	192,31	203,07
04-05-2012	17:59	235,37	239,37	221,54	205,23	217,77	274,07	187,82	220,24	206,51	199,20	221,76	192,25	203,00
07-05-2012	17:16	234,58	238,63	220,63	202,29	217,21	272,45	186,87	220,26	206,53	199,18	221,70	192,17	202,99
08-05-2012	18:16	234,57	238,65	220,84	202,01	217,20	272,16	186,75	220,32	206,57	199,22	221,77	192,22	203,01

Dia	Hora	Identificação dos Provetes																
		CU14	CU17	DU4	AH1	AH3	AH4	BH1	BH3	BH4	CH5	CH6	DH6	DH8	DH16	EH14	EH15	EH16
		Massa dos provetes no instante t [g]																
11-04-2012	09:25	214,60	225,84	212,13	271,84	259,41	249,64	269,60	251,34	251,36	276,18	272,59	272,35	259,57	239,60	243,72	271,15	270,13
11-04-2012	10:25	214,43	225,59	211,86	271,70	259,01	249,48	269,31	251,13	251,10	275,92	272,32	272,15	259,38	239,49	243,43	270,92	270,03
11-04-2012	11:25	214,25	225,41	211,60	271,48	258,78	249,20	269,10	250,91	250,92	275,72	272,04	271,82	259,09	239,26	243,23	270,63	269,83
11-04-2012	12:25	214,14	225,28	211,45	271,30	258,51	248,99	268,91	250,72	250,74	275,52	271,90	271,60	258,94	239,12	243,09	270,46	269,71
11-04-2012	13:25	213,99	225,11	211,29	271,13	258,25	248,79	268,72	250,33	250,53	275,32	271,75	271,40	258,76	238,93	242,92	270,28	269,60
11-04-2012	14:25	213,86	224,97	211,15	270,96	258,03	248,64	268,56	250,53	250,39	275,14	271,60	271,21	258,59	238,74	242,75	270,10	269,49
11-04-2012	15:25	213,73	224,82	211,03	270,79	257,81	248,46	268,41	250,18	250,24	274,96	271,47	271,04	258,44	238,57	242,61	269,92	269,39
11-04-2012	16:25	213,58	224,66	210,89	270,60	257,55	248,26	268,23	250,00	250,07	274,77	271,35	270,85	258,25	238,40	242,53	269,69	269,27
12-04-2012	16:25	211,25	221,91	208,65	267,51	253,13	244,76	265,32	246,87	247,09	271,39	268,86	266,92	255,15	235,21	239,78	266,38	267,42
13-04-2012	16:23	207,32	217,12	204,77	262,33	245,66	238,82	260,20	241,34	241,72	265,55	264,57	261,20	249,76	229,70	235,18	260,52	264,19
16-04-2012	16:23	198,80	207,12	196,27	252,26	235,70	228,26	249,07	229,23	230,13	252,92	255,01	248,87	237,96	217,57	224,73	247,58	257,15
17-04-2012	16:23	196,32	204,48	193,78	249,65	234,77	226,44	245,77	225,67	226,50	248,98	251,86	245,07	234,19	213,83	221,41	243,53	254,82
18-04-2012	16:23	194,15	202,26	191,53	247,97	234,15	225,15	242,77	222,82	223,41	245,64	248,77	241,50	230,69	210,86	218,14	239,81	252,39
19-04-2012	16:23	192,11	200,30	189,42	246,72	233,66	224,44	240,21	221,01	221,24	243,32	245,53	238,19	227,54	208,99	215,02	236,77	248,90
20-04-2012	16:23	190,45	198,76	187,74	245,90	233,30	223,97	238,56	219,95	220,05	241,96	242,54	236,04	225,60	207,89	212,82	233,25	246,00
23-04-2012	16:42	186,88	195,77	184,71	244,45	232,60	223,04	235,66	218,17	217,96	239,70	236,82	231,79	222,96	206,06	209,76	230,76	238,90
24-04-2012	18:00	186,07	195,09	183,99	244,13	232,55	222,90	235,02	217,80	217,52	239,22	235,80	231,20	222,41	205,70	209,20	230,27	237,07
26-04-2012	18:29	184,93	194,10	183,03	243,64	232,53	222,84	234,07	217,28	216,88	238,57	234,34	229,03	221,64	205,19	208,40	229,53	234,73
27-04-2012	17:16	184,49	193,74	182,34	243,47	232,55	222,84	233,72	217,18	216,67	238,34	233,81	228,01	221,34	205,05	208,11	229,23	234,07
30-04-2012	18:15	183,59	193,01	181,40	243,34	232,52	222,83	232,94	217,15	216,52	237,89	232,58	226,90	220,86	204,95	207,61	228,67	232,64
02-05-2012	18:23	183,43	192,88	181,06	243,33	232,24	222,85	232,81	217,16	216,52	237,85	232,09	226,31	220,80	204,95	207,52	228,50	231,71
03-05-2012	18:13	198,42	192,88	180,95	243,34	232,54	222,85	232,82	217,16	216,53	237,85	231,96	226,06	220,80	204,95	207,55	228,47	231,48
04-05-2012	17:59	183,37	192,25	180,83	243,33	232,53	222,84	232,80	217,15	216,52	237,81	231,83	225,78	220,68	204,94	207,52	228,35	231,27
07-05-2012	17:16	183,34	192,17	180,71	243,33	232,55	222,85	232,80	217,16	216,52	237,81	231,71	225,51	220,67	204,94	207,50	228,26	230,89
08-05-2012	18:16	183,40	192,88	180,62	243,34	232,56	222,85	232,82	217,18	216,54	237,72	231,63	225,29	220,66	204,96	207,55	228,19	230,83

ANEXO VII - MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO, SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS A DIFERENTES IDADES

Módulo de elasticidade dinâmico								
	28 dias		60 dias		90 dias		1 ano	
	[MPa]	Desvio padrão	[MPa]	Desvio padrão	[MPa]	Desvio padrão	[MPa]	Desvio padrão
AU	3404	149	4700	200	4369	174	4485,9	78
AM	3043	163	4130	189	4369	174	4273,7	170
AR	2567	55	3265	48	3380	54	3657,2	113
AP	2791,3	489	4065,3	156	4234,6	158	4544,8	120
AS	3341,8	25	4936,6	60	5303,4	64	4808,1	248
AH	2645	223	3716	107	3988	100	4415,3	97
BU	608	102	2493	98	2388	98	2618,3	51
BM	760	67	2977	224	2815	180	2845,1	179
BR	861	27	967	48	3803	80	3787,6	63
BP	828	54	3458,4	76	3453,3	83	2243,3	197
BS	811,8	48	3307,2	153	3271,1	83	1346,8	102
BH	1284	97	1105	129	4157	165	6125,9	895
CU	-	-	-	-	-	-	2828,5	269
CM	549	46	1604	284	1417	77	-	-
CR	583	87	2339	274	2329	260	2288,9	283
CP	472,3	12	1776,8	46	1690,8	92	-	-
CS	585,8	65	1831,4	299	1781,9	298	1503,3	317
CH	898	95	1959	349	3157	335	4521,9	774
DU	435	93	1426	112	1651	220	2179,1	218
DM	468	92	1065	96	1288	182	-	-
DR	468	17	1913	59	1892	52	1881,1	37
DP	1319,8	115	1282,6	123	1235,8	176	-	-
DS	1763,8	265	1534,9	300	1542,7	218	1701,5	356
DH	1335	62	2035	511	1891	502	1961,9	542
EU	228	47	745	292	-	-	-	-
EM	-	-	-	-	-	-	-	-
ER	885	81	1386	271	1386	271	1403,1	301
EP	1204,6	227	1165,7	192	1190,6	203	-	-
ES	1326,4	91	1338,7	65	1253	159	-	-
EH	1394	100	1045	269	1808	290	1439,3	217

ANEXO VIII - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS A DIFERENTES IDADES

Resistência à tração						
	28 dias		90 dias		1 ano	
	[MPa]	Desvio padrão	[MPa]	Desvio padrão	[MPa]	Desvio padrão
AU	0,32	0,01	0,44	0,02	0,26	0,06
AM	0,32	0,02	0,39	0,02	0,36	0,09
AR	0,20	0,05	0,38	0,03	0,31	0,06
AP	0,19	0,13	0,41	0,05	0,46	0,01
AS	0,35	0,01	0,65	0,00	0,49	0,02
AH	0,22	0,01	0,34	0,09	0,41	0,05
BU	-	-	0,05	0,01	0,03	0,00
BM	0,14	0,01	0,07	0,00	0,05	0,00
BR	0,09	0,00	0,09	0,01	0,09	0,00
BP	0,08	0,01	0,08	0,00	0,07	0,01
BS	0,09	0,00	0,10	0,01	0,14	0,02
BH	0,04	0,00	0,07	0,01	0,05	0,00
CU	-	-	0,03	0,01	0,02	0,01
CM	0,23	0,03	0,03	0,01	-	-
CR	0,05	0,00	0,05	0,01	0,04	0,00
CP	0,06	0,01	0,04	0,01	0,04	0,00
CS	0,07	0,02	0,08	0,24	0,07	0,01
CH	0,08	0,02	0,04	0,00	0,03	0,01
DU	0,23	0,01	0,03	0,01	0,02	0,00
DM	0,15	0,10	0,02	0,00	-	-
DR	0,04	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01
DP	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01
DS	0,05	0,00	0,04	-	0,12	0,02
DH	0,12	0,01	0,04	0,02	0,02	0,00
EU	-	-	-	-	-	-
EM	-	-	-	-	-	-
ER	0,03	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
EP	0,12	0,04	0,08	0,11	0,03	0,00
ES	0,02	0,01	0,02	0,02	-	-
EH	0,15	0,02	0,03	0,01	0,03	0,00

ANEXO IX - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS A DIFERENTES IDADES

Resistência à compressão								
	28 dias		60 dias		90 dias		1 ano	
	[MPa]	Desvio padrão	[MPa]	Desvio padrão	[MPa]	Desvio padrão	[MPa]	Desvio padrão
AU	0,34	0,20	0,79	0,06	0,82	0,01	0,59	0,09
AM	0,54	0,02	1,05	0,11	1,07	0,03	0,90	0,04
AR	0,49	0,01	0,74	0,04	0,92	0,04	0,73	0,07
AP	0,48	0,05	0,93	0,07	1,184	0,075	0,84	0,23
AS	0,50	0,05	1,06	0,03	1,619	0,078	1,27	0,10
AH	0,41	0,03	0,74	0,01	0,65	0,05	1,13	0,29
BU	0,21	0,01	0,15	0,04	0,14	0,01	0,11	0,03
BM	0,22	0,01	0,21	0,02	0,20	0,02	0,15	0,02
BR	0,18	0,00	0,26	0,06	0,30	0,01	0,27	0,01
BP	0,13	0,10	0,247	0,012	0,21	0,04	0,15	0,02
BS	0,15	0,01	0,235	0,025	0,238	0,018	0,19	0,04
BH	0,10	0,02	0,12	0,00	0,17	0,01	0,15	0,02
CU	-	-	-	-	-	-	0,12	0,01
CM	0,30	0,05	0,14	0,03	0,17	0,02	-	-
CR	0,17	0,02	0,22	0,04	0,26	0,01	0,21	0,02
CP	0,13	0,04	0,199	0,007	0,194	0,015	0,09	0,01
CS	0,18	0,03	0,211	0,001	0,237	0,087	0,15	-
CH	0,23	0,04	0,14	0,05	0,11	0,01	0,13	0,02
DU	0,20	0,01	0,14	0,01	0,09	0,04	0,08	-
DM	0,27	0,03	0,12	0,03	0,14	0,02	-	-
DR	0,20	0,02	0,19	0,06	0,27	0,01	0,19	0,04
DP	0,18	0,01	0,126	0,025	0,151	0,028	-	-
DS	0,22	0,02	0,174	0,028	0,172	0,021	0,10	0,00
DH	0,31	0,02	0,14	0,02	0,11	0,08	0,10	0,01
EU	-	-	0,06	0,02	0,04	0,01	-	-
EM	-	-	0,06	0,02	0,02	0,00	-	-
ER	0,13	0,03	0,12	0,01	0,14	0,01	0,14	0,01
EP	0,12	0,04	0,088	0,01	0,1	0,003	-	-
ES	0,14	0,01	0,118	0,02	0,102	0,032	-	-
EH	0,43	0,02	0,10	0,02	0,14	0,01	0,12	0,00

ANEXO X - POROSIDADE ABERTA, SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS A DIFERENTES IDADES

Porosidade aberta								
	28 dias		60 dias		90 dias		1 ano	
	[%]	Desvio padrão	[%]	Desvio Padrão	[%]	Desvio padrão	[%]	Desvio padrão
AU	33	1,3	20	0,4	-	-	31,6	1,28
AM	32	0,6	22	1,0	-	-	30,09	2,68
AR	31	1,2		-	23	0,3	29,45	0,25
AP	30	1,1	21	1,9	23	0,3	29,84	0,94
AS	30	0,2	19	0,1	21	0,3	23,7	0,4
AH	30	0,8	-	-	23	0,2	30,91	1,71
BU	32	1,3	-	-	-	-	34,9	0,49
BM	31	0,1	-	-	-	-	33,99	1,12
BR	32	1,3	25	0,5	27	0,4	32,01	4,81
BP	32	0,4	27	0,9	27	0,3	33,23	-
BS	31	0,2	26	0,7	25	0,5	31,24	-
BH	32	0,3	27	0,3	26	0,2	34,15	0,49
CU	32	0,8	25	1,1	-	-	35,34	0,71
CM	27	3,6	28	0,9	-	-	-	-
CR	32	1	26	1,1	38	0,3	33,69	1,41
CP	30	0,3	26	0,8	28	1,1	-	-
CS	32	0,8	26	0,2	24	0,4	34,17	4,66
CH	33	1,7	26	1,5	25	0	39,72	2,84
DU	29	2,5	34	7,8	-	-	36,94	5,14
DM	27	2,7	25	7,3	-	-	-	-
DR	-	-	-	-	-	-	34,72	1,04
DP	29	1,6	28	-	29	0,9	-	-
DS	32	2,4	24	2,8	19	1,4	-	-
DH	34	0,6	-	-	28	0	37,03	1,87
EU	31	2	28	1,7	-	-	-	-
EM	-	-	29	0,1	-	-	-	-
ER	25	5,6	25	0	26	0,6	-	-
EP	-	-	-	-	-	-	-	-
ES	-	-	-	-	-	-	32,63	-
EH	33	0,3	-	-	27	2,2	-	-

ANEXO XI - COEFICIENTE DE CAPILARIDADE, SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS A DIFERENTES IDADES

Coeficiente de capilaridade						
	28 dias		90 dias		1 ano *	
	[kg / (m ² x v/min)]	Desvio padrão	[kg / (m ² x v/min)]	Desvio padrão	[kg / (m ² x v/min)]	Desvio padrão
AU	1,34	0,06	1,80	0,15	1,75	0,16
AM	1,85	0,11	2,43	0,11	2,57	0,51
AR	1,74	0,08	2,00	0,08	2,57	0,06
AP	1,73	0,01	2,31	0,19	2,43	0,05
AS	1,50	0,03	1,58	0,05	1,60	0,10
AH	1,80	0,04	1,98	0,01	2,63	0,03
BU	4,85	0,78	5,42	0,33	5,11	0,35
BM	6,16	0,25	6,02	0,45	5,22	0,42
BR	6,09	0,25	5,94	0,18	5,49	0,26
BP	5,92	0,31	5,76	0,16	5,56	0,27
BS	5,65	0,50	5,59	0,05	5,18	0,24
BH	5,21	0,28	4,32	0,26	6,09	0,50
CU	5,25	0,21	4,54	0,19	4,47	0,81
CM	4,59	0,20	5,03	0,33	-	-
CR	5,35	0,19	5,98	0,11	4,71	0,87
CP	5,23	0,12	5,55	0,14	-	-
CS	4,88	0,21	5,53	0,18	4,86	-
CH	5,01	0,23	5,81	0,31	5,49	0,03
DU	4,40	0,20	3,36	0,22	3,87	-
DM	4,38	0,19	3,73	0,19	-	-
DR	5,79	0,17	6,23	0,18	4,16	0,65
DP	5,34	0,13	4,42	0,08	-	-
DS	5,43	0,19	5,62	0,10	4,43	0,49
DH	5,02	0,36	6,51	0,39	5,34	0,40
EU	-	-	-	-	-	-
EM	-	-	-	-	-	-
ER	5,54	0,10	5,42	0,03	5,53	0,15
EP	5,66	0,30	5,21	0,09	-	-
ES	5,89	#DIV/0!	4,72	0,12	-	-
EH	5,57	0,44	6,11	0,71	5,53	0,10

Nota:

* Faces laterais seladas

ANEXO XII - ÍNDICE DE SECAGEM, SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS A DIFERENTES IDADES

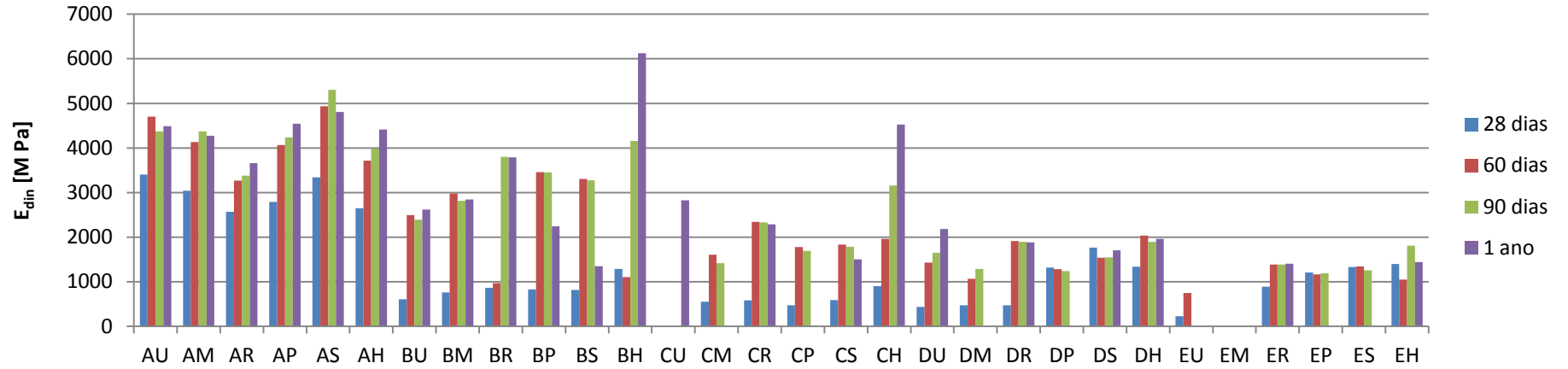
Índice de secagem						
	28 dias		90 dias		1 ano **	
	[MPa]	Desvio padrão	[MPa]	Desvio padrão	[MPa]	Desvio padrão
AU	0,37	0,00	0,26	0,00	0,23	0,03
AM	0,42	0,03	0,28	0,01	0,25	0,06
AR	0,32	0,06	0,15	0,00	0,31	0,05
AP	0,38	0,01	0,28	0,00	0,2	0,03
AS	0,50	0,01	0,34	0,06	0,33	0,01
AH	0,30	0,02	0,15	0,00	0,2	0,03
BU	0,49	0,00	0,30	0,01	0,29	0,02
BM	0,49	0,02	0,34	0,02	0,2	0,03
BR	0,39	0,05	0,18	0,01	0,24	0,04
BP	0,46	0,05	0,35	0,02	0,21	0,01
BS	0,49	0,02	0,38	0,03	0,32	0,02
BH	0,56	0,03	0,22	0,03	0,25	0,02
CU	0,52	0,01	0,30	0,05	0,28	0,02
CM	0,50	0,02	0,34	0,03	-	-
CR	0,48	0,02	0,32	0,01	0,3	0,06
CP	0,40	0,01	0,29	0,01	-	-
CS	0,48	0,01	0,32	0,04	-	-
CH	0,55	0,03	0,49	0,07	0,29	0,05
DU	0,51	0,02	-	-	0,3	-
DM	0,52	0,02	-	-	-	-
DR	0,45	0,01	0,42	0,03	0,29	0,04
DP	0,52	0,06	0,38	0,01	-	-
DS	0,49	0,08	0,41	0,07	0,38	0,05
DH	0,52	0,04	0,47	0,00	0,27	0,04
EU	-	-	-	-	-	-
EM	-	-	-	-	-	-
ER	0,37	0,03	0,45	0,21	0,28	0,08
EP	0,36	0,04	0,46	0,04	-	-
ES	0,45	0,00	0,52	0,00	-	-
EH	0,41	0,01	0,54	-	0,3	0,06

Nota:

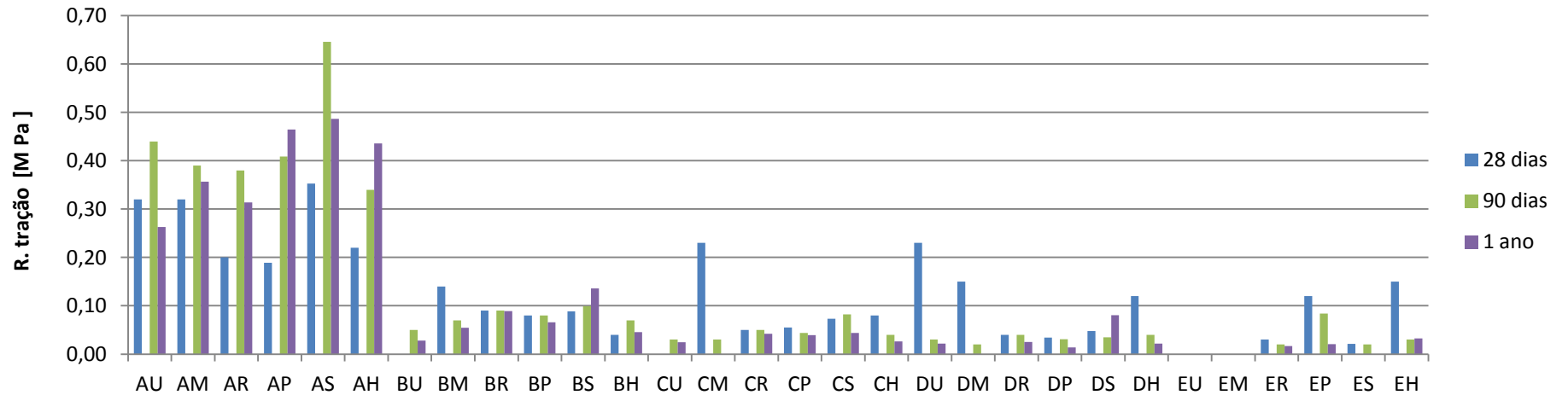
** Secagem unidirecional

ANEXO XIII - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS OBTIDOS A DIFERENTES IDADES

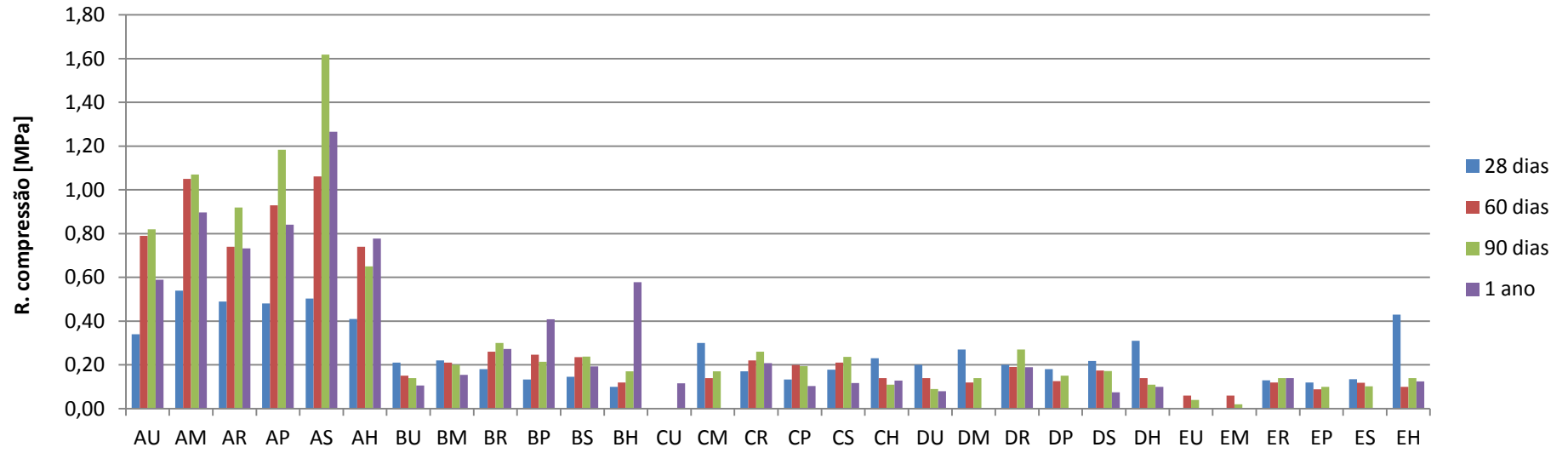
Resultados a diferentes idades do módulo de elasticidade dinâmico



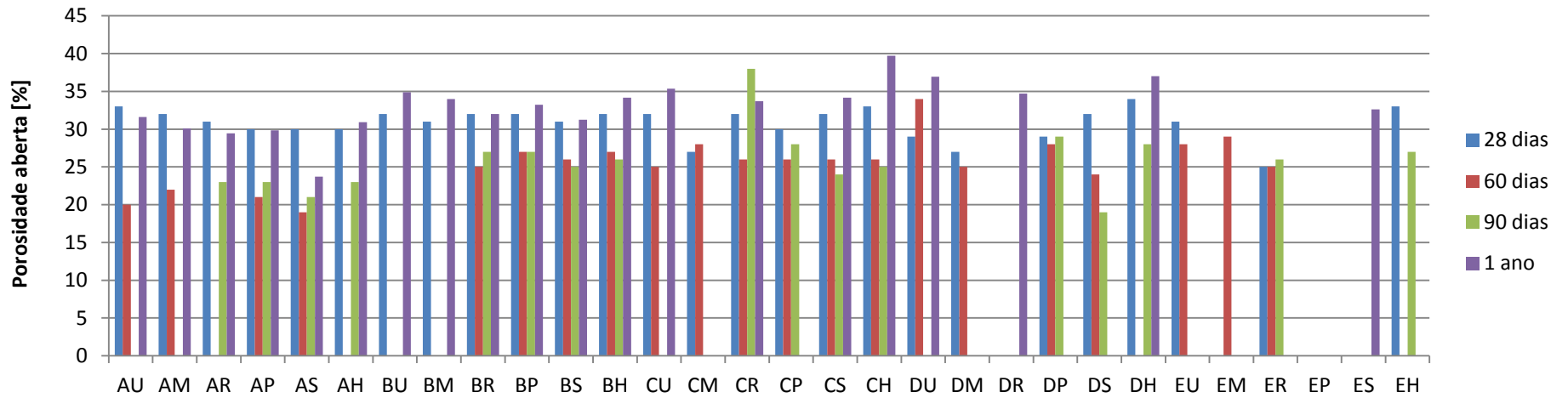
Resultados a diferentes idades da resistência à tração



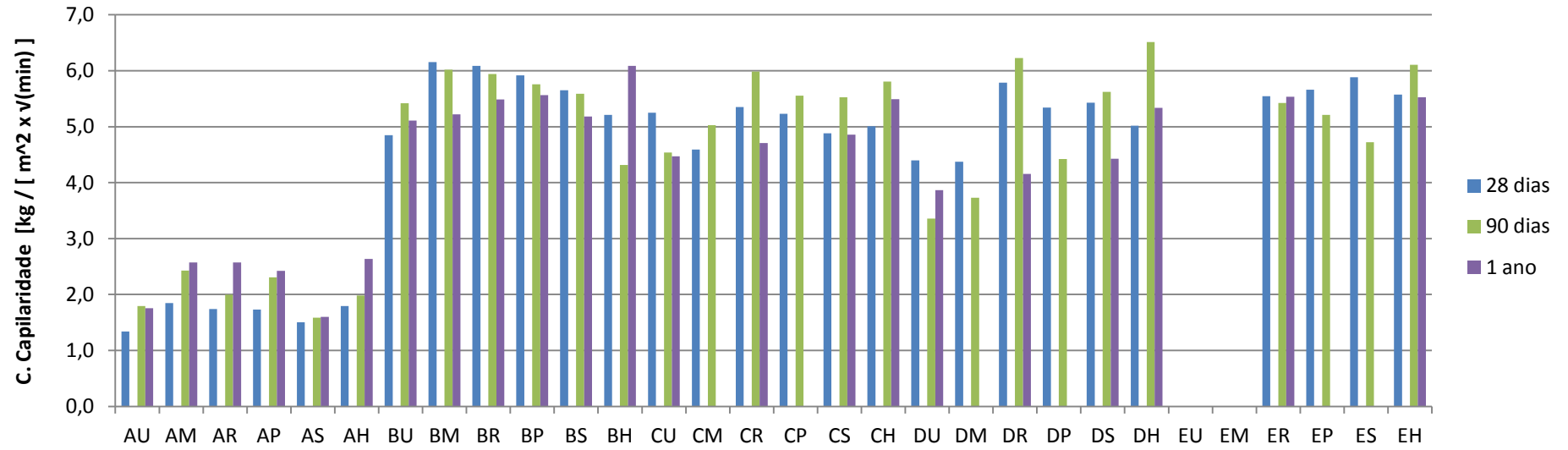
Resultados a diferentes idades da resistência à compressão



Resultados a diferentes idades da porosidade aberta



Resultados a diferentes idades do coeficiente de capilaridade



Resultados a difentes idades do índice de secagem

