



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Comportamento Físico de Argamassas de Reboco com Regranulado Negro de Cortiça

Miguel Filipe dos Santos Martins

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Júri

Presidente: Prof. António Heleno Domingues Moret Rodrigues

Orientador: Prof. Fernando António Baptista Branco

Co-Orientador: Doutora Lina Maria Ribeiro Nunes

Vogal: Prof.^a Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Outubro 2010

Agradecimentos

A realização desta dissertação constitui mais um importante passo na minha vida académica e embora este seja um trabalho individual não posso deixar de agradecer a ajuda e contribuição de algumas pessoas e entidades pelo apoio que me deram, algumas das quais passo a destacar de seguida.

Ao Professor Fernando Branco e à Doutora Lina Nunes, respectivamente orientador e co-orientadora desta dissertação, pela disponibilidade, colaboração e conhecimentos transmitidos, que se revelaram essenciais para a realização deste trabalho.

Ao Tiago Silva, meu colega de laboratório, pelo trabalho realizado em conjunto na fase preparatória dos ensaios.

Ao Sr. Leonel Silva, técnico do Laboratório de Materiais de Construção, do Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, pela colaboração e simpatia demonstrada.

Ao Eng.^o José Nascimento, do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos do LNEC, à Eng.^a Isabel Eusébio, do Núcleo de Materiais Orgânicos do LNEC, ao Sr. Manuel Sadio, do Laboratório de Ensaios de Plásticos Celulares do LNEC, e ao Professor João Correia, do Instituto Superior Técnico, pelo aconselhamento e apoio prestados na preparação e elaboração de alguns dos ensaios realizados.

À SOFALCA, na pessoa do Sr. Nuno Estrada, à SECIL, na pessoa do Eng.^o Vítor Vermelhudo, e à UNIBETÃO, pelo fornecimento de materiais necessários à realização da campanha experimental.

Aos meus amigos, pela ajuda e apoio que me souberam transmitir ao longo deste trabalho. Agradeço-lhes ainda por todos os momentos marcantes passados em conjunto, que ajudaram sem dúvida a fazer do meu percurso académico uma experiência extremamente positiva.

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo que me transmitiram, não só ao longo desta dissertação, mas também, ao longo de todo o curso.

Resumo

O aparecimento de problemas em argamassas de reboco interiores é cada vez mais frequente. Estes problemas podem ser causados pela deficiente ventilação dos espaços, mas também pelo desajustado comportamento térmico dos materiais utilizados. Esta situação reduz a durabilidade e afecta o desempenho geral destes rebocos. Perante estes problemas, trabalhos recentes têm abordado a substituição dos agregados pétreos tradicionais por agregados com propriedades distintas, de modo a criar argamassas que melhor respondam às necessidades existentes. Devido às reconhecidas propriedades térmicas e acústicas que a cortiça apresenta, a inclusão de regranulado negro de cortiça surge como uma alternativa às areias para a utilização como agregado em argamassas de reboco. Deste modo, neste trabalho pretendeu-se avaliar o desempenho de argamassas de cal hidráulica e bastardas com regranulado negro de cortiça (RNC). Assim, foram produzidas argamassas com 40, 60, 80 e 100% de substituição de agregados pétreos por RNC, tendo-se para isso recorrido a três diferentes granulometrias. A campanha experimental empreendida serviu para avaliar o comportamento a nível térmico, a resistência à colonização por fungos, a dinâmica de absorção e secagem de água e a sua capacidade para receberem um acabamento com tinta, analisando-se também, de forma simplificada, as capacidades destas argamassas perante solicitações mecânicas.

Embora, de uma forma geral, se tenha verificado um decréscimo das propriedades mecânicas das argamassas com RNC, a aderência da camada de acabamento com tinta não sai afectada. A absorção e secagem de água nas argamassas com RNC também passa a registar uma dinâmica distinta do que se verifica nas argamassas comuns, observando-se que estas propriedades ficam dependentes da granulometria de RNC escolhida. As maiores potencialidades, que poderão surgir com o uso de argamassas com RNC, estão relacionadas com os ganhos térmicos e uma conseqüente redução das condensações superficiais em paredes. Este facto, aliado ao bom comportamento perante uma situação de colonização por fungos, permite afirmar que as argamassas produzidas podem alargar a durabilidade dos rebocos em questão.

Palavras-chave:

Argamassas de reboco; Regranulado negro de cortiça; Durabilidade; Condutibilidade térmica; Problemas de condensações.

Abstract

The emergence of problems in interior plaster mortar is increasingly common. These problems can be caused by poor ventilation of the spaces and the inadequate thermal behavior of materials used. This situation reduces the durability and affects the overall performance of plasters. Recent research has studied the substitution of sand by other aggregates with distinct properties, so as to produce mortars that best meet the current needs of the construction industry. The thermal and acoustic properties of the cork allow the inclusion of regranulated of expanded cork (REC) as an alternative to sand for use as aggregate in mortar. In this context, this research aims to evaluate the performance of rendering mortars with REC. To this end, mortars were produced with 40, 60, 80 and 100% replacement of sand by REC and three different particle size distributions. The experimental campaign was used to evaluate the thermal performance, fungi resistance, dynamics of absorption and drying of water, their ability to receive a finish with paint and compressive and flexural strength.

Although, in general, there has been a decrease in mechanical strength in mortars with REC, the adhesion of the finishing coat of paint is not weakened. In tests of water absorption and drying of the mortar with REC there is a distinct dynamics of what occurs in ordinary mortar, noting that these properties are dependent on particle size of REC used. As for the greatest benefits from the use of mortars with REC, these are related to the thermal gain and a consequent reduction of surface condensation on the walls. This, together with good resistance to fungi colonization, indicates that the mortars with REC may extend the durability of wall rendering.

Keywords:

Plastering mortars; Regranulated of expanded cork; Durability; Thermal conductivity; Condensation problems.

Índice Geral

Agradecimentos.....	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice Geral	iv
Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas	x
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Objectivos da dissertação	1
1.3 Estrutura e organização do trabalho	2
2 Características gerais das argamassas de reboco.....	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Enquadramento histórico.....	7
2.3 Reboco de argamassas hidráulicas	9
2.3.1 Introdução	9
2.3.2 Caracterização dos constituintes.....	10
2.3.2.1 Ligantes hidráulicos	10
2.3.2.2 Agregados pétreos	12
2.3.2.3 Água.....	13
2.3.3 Composição de argamassas de revestimento	14
2.3.4 Cura	15
2.4 Cortiça	16
2.5 Exigências funcionais de revestimentos interiores	20
3 A térmica e a humidade em edifícios.....	23
3.1 Térmica de edifícios	23
3.1.1 Nota introdutória	23
3.1.2 Transmissão de calor.....	23
3.1.3 Transmissão de calor por condução.....	24
3.2 Humidade em paredes	24
3.2.1 Introdução	24
3.2.2 Causas da manifestação de humidades.....	24
3.2.3 Humidade de condensação	25
3.2.4 Recurso a diagramas psicométricos.....	25
3.3 Influência da introdução de regranulado negro de cortiça nas argamassas	26
3.3.1 Introdução	26
3.3.2 Características do RNC por oposição às areias.....	26
3.3.3 Cuidados na formulação de argamassas com RNC	27
3.3.4 Desempenho previsível das argamassas de RNC.....	29

4	Descrição da campanha experimental.....	31
4.1	Considerações gerais.....	31
4.2	Descrição do plano de ensaios	32
4.2.1	Descrição geral	32
4.2.2	Formulações estudadas.....	33
4.2.3	Plano de ensaios	34
4.2.3.1	Ensaio de caracterização dos materiais	34
4.2.3.2	Ensaio prévio de determinação da relação A/L a utilizar.....	36
4.2.3.3	Ensaio de caracterização das argamassas no estado fresco	36
4.2.3.4	Ensaio de caracterização das argamassas no estado endurecido	36
4.3	Caracterização dos materiais constituintes	36
4.3.1	Caracterização dos agregados	36
4.3.1.1	Análise granulométrica	36
4.3.1.2	Baridade	37
4.3.1.3	Absorção de água e massa volúmica.....	38
4.3.2	Caracterização dos ligantes	40
4.3.2.1	Baridade	40
4.4	Caracterização das argamassas no estado fresco	40
4.4.1	Consistência por espalhamento	40
4.4.2	Massa volúmica aparente	41
4.5	Caracterização das argamassas no estado endurecido	42
4.5.1	Resistência à flexão e compressão	42
4.5.2	Absorção de água por capilaridade	44
4.5.3	Absorção de água a baixa pressão	45
4.5.4	Absorção de água por imersão.....	46
4.5.5	Secagem após imersão	48
4.5.6	Ensaio de arrancamento em argamassas pintadas	50
4.5.7	Resistência ao desenvolvimento de fungos	53
4.5.8	Ensaio de condutibilidade térmica.....	54
5	Análise dos Resultados.....	57
5.1	Caracterização dos constituintes das argamassas	57
5.1.1	Análise granulométrica	57
5.1.1.1	Areia.....	57
5.1.1.2	Regranulado negro de cortiça fino	59
5.1.1.3	Comparação de resultados	61
5.1.2	Absorção de água e massa volúmica.....	61
5.1.2.1	Areia.....	62
5.1.3	Baridade.....	62
5.1.3.1	Areia, regranulado negro e pó de cortiça	62
5.1.3.2	Ligantes	62

5.2	Ensaio de consistência para determinação da relação A/L	62
5.2.1	Argamassas de cal hidráulica	63
5.2.2	Argamassas de cal hidráulica e cimento	66
5.3	Caracterização das argamassas no estado fresco	72
5.3.1	Consistência por espalhamento	72
5.3.2	Massa volúmica aparente	73
5.4	Caracterização das argamassas no estado endurecido	75
5.4.1	Massa volúmica	75
5.4.2	Resistência à flexão e compressão	77
5.4.3	Absorção de água por capilaridade	79
5.4.4	Absorção de água a baixa pressão	83
5.4.5	Absorção de água por imersão	84
5.4.6	Secagem após imersão	85
5.4.7	Ensaio de arrancamento em argamassas pintadas	87
5.4.8	Resistência ao desenvolvimento de fungos	89
5.4.9	Ensaio de condutibilidade térmica	99
5.5	Síntese da análise de resultados	104
5.5.1	Propriedades dos agregados	104
5.5.2	Propriedades das argamassas no estado fresco	104
5.5.3	Propriedades das argamassas no estado endurecido	105
6	Conclusões e desenvolvimentos futuros	109
6.1	Conclusões gerais	109
6.2	Propostas de desenvolvimento futuro	113
	Bibliografia	115

ANEXO A – Diagrama Psicométrico

ANEXO B – Ficha Técnica da Cal Hidráulica NHL5

ANEXO C – Ficha Técnica do Cimento CEM II/B-L 32,5 N

ANEXO D – Ficha Técnica da Tinta Stucomat

ANEXO E – Ficha Técnica da Tinta REP

ANEXO F – Resultados do Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade

ANEXO G – Resultados do Ensaio de Secagem Após Imersão (em Massa)

ANEXO H – Resultados do Ensaio de Secagem Após Imersão (em Teor de Água)

ANEXO I – Resultados do Ensaio de Condutibilidade Térmica

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Construção em Vila Nova de Santo André	6
Figura 2.2 - Janela do Convento dos Capuchos.....	6
Figura 2.3 - Fachada do Convento de Santa Cruz	6
Figura 2.4 - Diagrama triangular de Feret, adaptado de (Mendonça, 2007)	15
Figura 2.5 - Extração de pranchas de cortiça (Pereira et al., 2009)	17
Figura 2.6 - Estrutura celular simplificada da cortiça (Pereira <i>et al.</i> , 2004)	18
Figura 4.1 - Provetes produzidos antes da desmoldagem	31
Figura 4.2 - Provetes prismáticos na câmara húmida.....	32
Figura 4.3 - Lajeta na câmara seca.....	33
Figura 4.4 - Tabuleiro com areia	35
Figura 4.5 - Tabuleiro com regranulado negro de cortiça.....	35
Figura 4.6 - Tabuleiros com os ligantes utilizados	36
Figura 4.7 - Análise granulométrica	37
Figura 4.8 - Material utilizado no ensaio e determinação da massa do recipiente.....	37
Figura 4.9 - Execução do ensaio de determinação da baridade em agregados	38
Figura 4.10 – Areia saturada com superfície seca no ensaio de absorção de água.....	39
Figura 4.11 - Fase inicial do ensaio de espalhamento	41
Figura 4.12 - Fase final do ensaio de espalhamento	41
Figura 4.13 - Determinação da massa volúmica aparente da argamassa	42
Figura 4.14 - Ensaio de resistência à flexão	43
Figura 4.15 - Ensaio de resistência à compressão	43
Figura 4.16 - Ensaio de absorção de água por capilaridade	45
Figura 4.17 - Ensaio de absorção de água a baixa pressão	46
Figura 4.18 - Colocação dos provetes no excicador e pesagem.....	47
Figura 4.19 - Colocação dos provetes dentro de água e limpeza da água superficial com pano	47
Figura 4.20 - Operação de impermeabilização das faces laterais e colocação de provetes no excicador	49
Figura 4.21 - Pesagem dos provetes secos e colocação dos provetes dentro de água	49
Figura 4.22 - Limpeza da superfície e aplicação da primeira demão nos rebocos	51
Figura 4.23 - Execução dos entalhes e posicionamento das pastilhas de arrancamento.....	51
Figura 4.24 - Execução do ensaio de arrancamento	52
Figura 4.25 - Proвете de argamassa dentro do frasco de Kolle com a suspensão	53
Figura 4.26 - Provetes posicionados em ambiente controlado, durante o ensaio.....	53

Figura 4.27 - Pesagem após desmoldagem e colocação dos provetes em estufa	55
Figura 5.1 - Curva granulométrica da areia	58
Figura 5.2 - Curva granulométrica do R1	59
Figura 5.3 - Curva granulométrica do R2.....	60
Figura 5.4 - Curvas granulométricas dos agregados analisados.....	61
Figura 5.5 - Curva de consistência da argamassa CH 100A.....	63
Figura 5.6 - Curva de consistência da argamassa CH 60A+R1	64
Figura 5.7 - Curva de consistência da argamassa CH 40A+R1	64
Figura 5.8 - Curva de consistência da argamassa CH 60A+R2	65
Figura 5.9 - Curva de consistência da argamassa CH 40A+R2	65
Figura 5.10 - Curva de consistência da argamassa CH+C 100A	67
Figura 5.11 - Curva de consistência da argamassa CH+C 60A+R1	67
Figura 5.12 - Curva de consistência da argamassa CH+C 60A+R2	68
Figura 5.13 - Curva de consistência da argamassa CH+C 40A+R1	69
Figura 5.14 - Curva de consistência da argamassa CH+C 40A+R2	69
Figura 5.15 - Curva de consistência da argamassa CH+C 20A+40R1+40R3.....	70
Figura 5.16 - Curva de consistência da argamassa CH+C 20A+40R2+40R3.....	70
Figura 5.17 - Curva de consistência da argamassa CH+C 30R1+70R3	71
Figura 5.18 - Variação da MVA das argamassas de cal hidráulica, de acordo com a % de RNC utilizada	74
Figura 5.19 - Variação da MVA das argamassas bastardas, de acordo com a % de RNC utilizada	75
Figura 5.20 - MV das argamassas de CH, de acordo com a % de RNC utilizada, no estado fresco e endurecido.....	76
Figura 5.21 - MV das argamassas de CH+C, de acordo com a % de RNC utilizada, no estado fresco e endurecido.....	77
Figura 5.22 - Resistência à compressão das argamassas com a variação da taxa de substituição de areia por RNC	78
Figura 5.23 - Resistência à flexão das argamassas com a variação da taxa de substituição de areia por RNC.....	79
Figura 5.24 - Absorção de água por capilaridade, em massa, das argamassas de cal hidráulica	81
Figura 5.25 - Absorção de água por capilaridade, em altura, das argamassas de cal hidráulica	81
Figura 5.26 - Absorção de água por capilaridade, em massa, das argamassas bastardas.....	82
Figura 5.27 - Absorção de água por capilaridade, em altura, das argamassas bastardas	82
Figura 5.28 - Curvas de tendência da cinética de absorção das argamassas de cal hidráulica	83
Figura 5.29 - Curvas de tendência da cinética de absorção das argamassas bastardas	84

Figura 5.30 - Curvas de secagem, após imersão, das argamassas de cal hidráulica	86
Figura 5.31 - Curvas de secagem, após imersão, das argamassas bastardas.....	86
Figura 5.32 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH 100A ..	90
Figura 5.33 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH 60A+R1	90
Figura 5.34 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH 60A+R2	91
Figura 5.35 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH 40A+R1	91
Figura 5.36 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH 40A+R2	92
Figura 5.37 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 100A	93
Figura 5.38 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 60A+R1.....	93
Figura 5.39 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 60A+R2.....	94
Figura 5.40 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 40A+R1.....	95
Figura 5.41 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 40A+R2.....	95
Figura 5.42 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 20A+40R1+40R3.....	96
Figura 5.43 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 20A+40R2+40R3.....	97
Figura 5.44 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 30R1+70R3	97
Figura 5.45 - Média da classificação do crescimento dos fungos em cada argamassa de cal hidráulica (CH).....	98
Figura 5.46 - Média da classificação do crescimento dos fungos em cada argamassa bastarda (CH+C)	99
Figura 5.47 - Massa volúmica aparente após condicionamento das argamassas de cal hidráulica	100
Figura 5.48 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica das argamassas de cal hidráulica	100
Figura 5.49 - Massa volúmica aparente após condicionamento das argamassas bastardas ..	101
Figura 5.50 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica das argamassas bastardas...	101

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Classificação de cais (Nero, 2006)	12
Tabela 4.1 - Quadro resumo da mistura de agregados de cada argamassa estudada	34
Tabela 4.2 - Classificação do crescimento de fungos, segundo a ASTM D 5590-00.....	54
Tabela 5.1 - Análise granulométrica e módulo de finura da areia	58
Tabela 5.2 - Análise granulométrica e módulo de finura do R1	59
Tabela 5.3 - Análise granulométrica do R2	60
Tabela 5.4 - Resumo da dimensão mínima, máxima e do módulo de finura dos agregados	61
Tabela 5.5 - Resultados do ensaio de determinação da absorção de água e massa volúmica	62
Tabela 5.6 - Baridade dos agregados	62
Tabela 5.7 - Baridade dos ligantes.....	62
Tabela 5.8 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 100A	63
Tabela 5.9 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 60A+R1	63
Tabela 5.10 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 40A+R1	64
Tabela 5.11 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 60A+R2	65
Tabela 5.12 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 40A+R2	65
Tabela 5.13 - Relações A/L adoptadas para as argamassas de cal hidráulica	66
Tabela 5.14 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 100A	66
Tabela 5.15 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 60A+R1	67
Tabela 5.16 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 60A+R2.....	67
Tabela 5.17 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 40A+R1	68
Tabela 5.18 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 40A+R2.....	68
Tabela 5.19 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 20A+40R1+40R3	70
Tabela 5.20 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 20A+40R2+40R3	70
Tabela 5.21 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 30R1+70R3	71
Tabela 5.22 - Relações A/L adoptadas para as argamassas bastardas	72
Tabela 5.23 - Resultados do ensaio de consistência por espalhamento nas argamassas de cal hidráulica	72
Tabela 5.24 - Resultados do ensaio de consistência por espalhamento nas argamassas bastardas.....	73
Tabela 5.25 - Massa volúmica aparente das argamassas de cal hidráulica no estado fresco ..	73
Tabela 5.26 - Massa volúmica aparente das argamassas bastardas no estado fresco	74
Tabela 5.27 - Massa volúmica das argamassas de cal hidráulica, aos 28 dias	76
Tabela 5.28 - Massa volúmica das argamassas bastardas, aos 28 dias	76

Tabela 5.29 - Tensão de ruptura das argamassas à flexão e compressão, aos 14 dias	78
Tabela 5.30 - Absorção de água por capilaridade nas argamassas de cal hidráulica, ao fim de 72 horas.....	80
Tabela 5.31 - Absorção de água por capilaridade nas argamassas bastardas, ao fim de 192 horas.....	80
Tabela 5.32 - Absorção de água por imersão e variação do teor de água nas argamassas de cal hidráulica.....	85
Tabela 5.33 - Absorção de água por imersão e variação do teor de água nas argamassas bastardas.....	85
Tabela 5.34 - Tensão de ruptura ao arrancamento nas argamassas de cal hidráulica.....	87
Tabela 5.35 - Tensão de ruptura ao arrancamento nas argamassas bastardas	87
Tabela 5.36 - Tipo de ruptura nos provetes de argamassa de cal hidráulica pintada	88
Tabela 5.37 - Tipo de ruptura nos provetes de argamassa bastarda pintada	89
Tabela 5.38 - Condutibilidade térmica das argamassas estudadas e de outros materiais de construção.....	102
Tabela 5.39 - Impacto térmico da aplicação de CH+C 30R1+70R3 para dois casos fictícios .	103
Tabela 5.40 - Impacto nas condensações superficiais com a aplicação de CH+C 30R1+70R3 para dois casos fictícios	103
Tabela 6.1 - Volume de cada agregado na composição das diversas argamassas	109
Tabela 6.2 - Resumo das propriedades, no estado endurecido, das argamassas de cal hidráulica	110
Tabela 6.3 - Resumo das propriedades, no estado endurecido, das argamassas bastardas .	110

1 Introdução

1.1 Enquadramento do tema

As argamassas têm um importante papel na indústria da construção, sendo a sua aplicação possível em diversas situações. Entre as aplicações tradicionalmente associadas às argamassas destacam-se as funções de revestimento, assentamento e enchimento.

Quanto às argamassas de revestimento, ou rebocos, estas estão associadas à parte visível de um paramento, e por isso mesmo, intervêm na estética e conforto transmitido ao utilizador da construção. No entanto, o desempenho destes parâmetros pode ser condicionado pelo aparecimento de diversas patologias (manchas de infiltrações, fissuras, fungos, entre outras), que estão normalmente associadas à presença de humidades, falta de ventilação e/ou ao comportamento térmico dos mesmos. Estes problemas são agravados pela falta de manutenção dos rebocos e ainda pela ocupação que actualmente existe, em que os edifícios, especialmente as habitações, se encontram fechados durante o dia, o que impede uma boa e necessária ventilação dos espaços construídos.

Deve-se então tentar encontrar as melhores soluções ao nível da formulação de argamassas, para que sejam encontradas composições que respondam às necessidades existentes. É neste contexto que se decidiu analisar o efeito da introdução de regranulado negro de cortiça em argamassas de reboco. Foi escolhido este material, essencialmente, devido às conhecidas propriedades térmicas da cortiça (e materiais derivados desta), de forma a criar uma argamassa que responda melhor às necessidades actuais, nomeadamente em termos térmicos.

1.2 Objectivos da dissertação

Perante a, cada vez mais frequente, ocorrência de problemas relacionados com a existência de humidades, em parte devido a condensações superficiais, surge a necessidade de actuar para que esta situação se modifique. A existência de humidades, no interior das habitações, é bastante prejudicial, pois para além de dar um impacto visual negativo a um determinado espaço, cria condições para que ocorra colonização biológica nas zonas afectadas. Deste modo, a produção de argamassas de reboco com características térmicas melhoradas é uma via simples para que estas situações sejam solucionadas.

Assim sendo, recorrendo às reconhecidas propriedades térmicas que a cortiça apresenta, a presente dissertação aborda o estudo de argamassas com incorporação de regranulado negro de cortiça. Através da análise dos resultados obtidos no trabalho laboratorial empreendido, propõe-se quantificar o incremento da capacidade de isolamento térmico destas argamassas,

enquanto são identificadas outras modificações de comportamento em determinadas propriedades físicas. Os ensaios em questão pretendem também determinar se as propriedades distintas, que as argamassas com regranulado negro de cortiça apresentam, podem modificar positivamente a durabilidade dos rebocos, assim como dos paramentos onde estas são aplicadas.

Para a realização dos objectivos descritos, foi realizada uma campanha experimental em que foram produzidas diversas composições de argamassas de cal hidráulica e argamassas bastardas. Foram também utilizadas três diferentes granulometrias de regranulado negro de cortiça, recorrendo a diferentes taxas de substituição, sempre com o intuito de baixar a condutividade térmica das argamassas, respeitando, no entanto, princípios à partida definidos como essenciais para o sucesso de cada formulação.

Por fim, refira-se que, em paralelo à realização deste trabalho de investigação, decorre outra dissertação, que aborda o estudo de argamassas com regranulado negro de cortiça, ao nível do desempenho mecânico. A referida dissertação está a ser desenvolvida pelo aluno Tiago Rodrigues da Silva, também do Instituto Superior Técnico.

1.3 Estrutura e organização do trabalho

O texto da presente dissertação está organizado em seis capítulos, cujo conteúdo é apresentado de seguida.

O primeiro capítulo consiste na parte introdutória do trabalho. Inicialmente faz-se o enquadramento do tema, salientando a importância do estudo em questão. Seguidamente são indicados os objectivos principais do estudo. Por fim, é apresentada a estrutura e organização do texto desta dissertação.

No capítulo 2 é realizada uma pesquisa bibliográfica e a sua análise de forma a adquirir um conhecimento geral sobre o tema. Deste modo, no início do capítulo, faz-se o enquadramento histórico, descrevendo as principais e mais importantes evoluções das argamassas desde que estas surgiram. De seguida, são apresentadas as características gerais dos rebocos de argamassas hidráulicas, assim como dos seus constituintes tradicionais, as composições mais utilizadas e os processos de cura. Após este ponto, é realizada uma descrição geral das principais propriedades da cortiça e do regranulado negro de cortiça, assim como uma breve descrição do processo industrial que a estes materiais são submetidos desde a sua recolha na árvore. No final deste capítulo, são ainda apresentadas as exigências funcionais que os revestimentos interiores devem cumprir.

No capítulo 3 aborda-se, sucintamente, o tema da térmica de edifícios e a ocorrência de humidades superficiais em espaços interiores. Assim, o capítulo inicia-se com a apresentação

dos principais processos de transmissão de calor, com particular destaque para a transmissão de calor por condução. Segue-se depois a descrição do processo de ocorrência de humidades na superfície das paredes interiores. A terminar o capítulo, é realizada uma comparação de algumas das propriedades dos agregados pétreos e do regranulado negro de cortiça. É então realizada uma reflexão sobre as principais modificações que a substituição de areia por regranulado negro de cortiça pode trazer, desde a fase de formulação até ao desempenho final das argamassas no estado endurecido.

No capítulo 4 é realizada a apresentação e descrição do plano de ensaios que se considerou necessário para a obtenção dos objectivos propostos. É assim que, nesta fase, se realiza não só a apresentação dos ensaios a realizar, mas também a descrição dos procedimentos a utilizar, referindo-se ainda a normalização utilizada.

No capítulo 5, apresentam-se todos os resultados obtidos durante a campanha experimental. Através do tratamento e interpretação dos dados obtidos, faz-se a análise de resultados. Esta análise contempla os resultados obtidos nos ensaios aos constituintes e às argamassas no estado fresco e no estado endurecido. Deve-se também referir que os resultados das várias formulações foram confrontados entre si, de acordo com os ligantes utilizados, assim como, as respectivas misturas de agregados usadas. No final do capítulo, realiza-se uma breve síntese dos resultados obtidos.

Por fim, é no capítulo 6 que se faz uma recapitulação das conclusões que se retiraram ao longo de todo o trabalho. É igualmente nesta fase final do trabalho que se apresentam algumas propostas para desenvolvimento futuro.

2 Características gerais das argamassas de reboco

2.1 Introdução

“Argamassa é a mistura de um ou mais ligantes orgânicos ou inorgânicos, agregados, cargas, aditivos e/ou adjuvantes” (EMO, 2001).

De acordo com esta definição, bastante abrangente, uma argamassa é um material de construção que pode ter inúmeras aplicações. Assim surge a necessidade de diferenciar as argamassas de acordo com a finalidade para que forem formuladas. Uma argamassa que tem como fim servir de acabamento, protecção e decoração é denominada argamassa de revestimento ou reboco (EMO, 2001).

Para além dos requisitos gerais que um reboco deve satisfazer, podem também existir rebocos em que durante o processo de formulação existiu o objectivo de obter um desempenho máximo em determinada(s) propriedade(s). As argamassas que constituem estes rebocos são denominadas argamassas de desempenho (EMO, 2001).

No entanto, apesar da especificidade que os revestimentos podem possuir, de forma geral, estes devem proteger os paramentos da acção da água, da acção directa dos agentes climáticos, acção mecânica do choque, acção química da poluição e sais, entre outros (Brito, 2004). No entanto, no caso de rebocos interiores a acção destes agentes é, por norma, menos intensa ou até inexistente.

A utilização de argamassas, nomeadamente para a protecção e revestimento de construções, surgiu há milhares de anos e desde então foi-se desenvolvendo (Cavaco, 2005). Este processo deu-se essencialmente devido ao aparecimento de novas necessidades, à utilização de novas matérias-primas e à evolução da tecnologia (Gomes *et al.*, 2006). Contudo, convém salientar que argamassas mais modernas não são, necessariamente, argamassas de melhor qualidade (Cavaco, 2005). Veja-se o caso de alguns edifícios com centenas de anos que nos dias de hoje ainda apresentam argamassas em bom estado de conservação, o que por vezes não acontece em construções mais recentes.

Existem três tipos de argamassas de reboco: tradicionais, correntes e não tradicionais ou monomassas. Os rebocos tradicionais e os correntes são ambos doseados e preparados em obra. Os rebocos correntes são executados com argamassas constituídas por um ou mais ligantes minerais (cimento e/ou cal hidráulica e/ou aérea), areia, água e, eventualmente, adjuvantes e adições. Na preparação destas argamassas são, normalmente, utilizados agregados da região onde a construção se está a realizar (Brito, 2004).

Actualmente, a produção deste material oferece a possibilidade de criar vários tipos de argamassa, com diferentes propriedades químicas e mecânicas que se adaptam às exigências das construções (Cavaco, 2005; Gomes *et al.*, 2006).

Desta forma, a incorporação de materiais que possuam boas características térmicas na formulação de argamassas de reboco pode trazer vantagens no comportamento térmico, embora seja importante quantificar as implicações dessa alteração nas mais importantes propriedades da argamassa.

Também a utilização de cortiça como material de construção não é recente, pois existem diversos exemplos da sua utilização. Em Portugal, a sua utilização surgiu localizada de forma mais marcada na região do Alentejo, em construções de pequena dimensão, onde era comum o seu uso como material de enchimento e isolamento em paredes de alvenaria, como é visível na Figura 2.1. Também é possível encontrar cortiça em construções de maior dimensão, como é o caso do Convento dos Capuchos (Sintra), Figura 2.2, e do Convento de Santa Cruz (Bussaco), Figura 2.3, mas utilizada essencialmente como material isolante e decorativo.



Figura 2.1 - Construção em Vila Nova de Santo André (Marques, 2008)



Figura 2.2 - Janela do Convento dos Capuchos (CM Sintra, 2010)



Figura 2.3 - Fachada do Convento de Santa Cruz (CM Mealhada, 2010)

Apesar das evidências históricas da utilização esporádica ou localizada de materiais de origem suberícola, actualmente a indústria da construção utiliza de forma recorrente vários produtos derivados da cortiça. Na área das argamassas/betões, actualmente, começa-se a investigar e utilizar (re)granulados de cortiça como agregados no fabrico de betões leves. Estes betões têm aplicação como material de enchimento, contribuindo para um maior conforto térmico-acústico, ajudando também a tornar a construção mais eficiente sob o ponto de vista energético (Marques, 2008; Hernández-Olivares et al., 1999).

A utilização da cortiça como material de construção deve-se sobretudo ao facto deste material ser *“leve, elástico e praticamente impermeável a líquidos e gases, isolante térmico e eléctrico e absorvedor acústico e vibrático, sendo também inócuo e praticamente imputrescível, apresentando a capacidade de ser comprimido praticamente sem expansão lateral”* (Gil, 2006). A cortiça apresenta ainda boa resistência ao fogo e boa estabilidade biológica e química, o que contribui para ampliar o seu campo de utilização (Gil, 2006).

2.2 Enquadramento histórico

A origem das argamassas remonta à época em que o Homem passou a um estilo de vida sedentário, tendo surgido a necessidade de construir abrigos com alguma estabilidade. Deste modo, com a recolha e mistura de vários materiais que encontrava, passou a fabricar pastas que se podem considerar as primeiras argamassas. As primeiras actividades de construção foram mais frequentes em áreas secas, como o Médio Oriente e Mesopotâmia, onde se encontraram vestígios de pequenas construções erguidas com recurso a lamas argilosas (Alvarez, 2007).

Com a evolução de técnicas e a utilização de maior número de materiais, o Homem passou a fabricar pequenos blocos de alvenaria, que secando ao sol a partir de lamas misturadas com palha formavam os primeiros adobes. Apesar destes blocos de adobe terem aparecido à cerca de 10000 anos, ainda hoje é possível verificar a sua validade como material de construção, pois em algumas zonas do mundo com menos recursos é possível observar que se continua a construir recorrendo a esse tipo de materiais, sobretudo devido à sua fácil aplicação e baixo custo. Com a substituição do processo de secagem por cozedura, foi possível melhorar a impermeabilização das construções, impermeabilização que foi progressivamente melhorando com o incremento das temperaturas de cozedura (Alvarez, 2007).

Mais tarde, cerca de 1100 a.C., na Mesopotâmia, começou a utilizar-se cal para o fabrico de argamassas, embora se pense que a sua utilização deste ligante em argamassas de revestimento só tenha surgido na civilização grega (Alvarez, 2007; Gomes *et al.*, 2006). Na antiguidade Greco-Romana a utilização da cal como ligante, na produção de argamassas, foi-

se progressivamente alargando, assim como a utilização de pozolanas naturais (cinzas vulcânicas) (Ribeiro e Lopes, 2007).

Segundo o que Vitruvius relata no seu trabalho *“De Architectura”*, a produção da cal era um processo muito importante para que este ligante depois viesse a dar uma boa coesão à argamassa. Desta forma, devia proceder-se à cozedura, em forno, do calcário (carbonato de cálcio) a temperaturas próximas dos 1000°C, produzindo-se assim óxido de cálcio (normalmente conhecido por cal viva) e libertando dióxido de carbono. O óxido de cálcio era depois “extinto”, através de reacções de hidratação, obtendo-se hidróxido de cálcio, mais conhecida por cal apagada ou cal hidratada (Ribeiro e Lopes, 2007). A cal hidratada tem a capacidade de endurecer e fazer presa através do processo de carbonatação. Este processo químico que dá novamente origem a carbonato de cálcio e onde existe libertação de água é bastante lento prolongando-se, pelo menos, durante 6 meses (Gomes *et al.*, 2006).

Como já foi referido, os Gregos e Romanos utilizavam cinzas vulcânicas, o que acontecia para que as argamassas produzidas possuíssem características de hidraulicidade. Como referia Vitruvius, o *“pó que de forma natural produz coisas admiráveis”* não se encontrava em todas as regiões do império e por essa razão era frequente utilizar material cerâmico moído em conjunto com areia, para que as argamassas garantissem melhores condições de hidraulicidade. Também era conhecido que a argila presente nas rochas calcárias tem influência na produção de cais mais ou menos hidráulicas. As argamassas produzidas segundo estas técnicas eram bastante utilizadas para revestimentos em contacto com a água (Ribeiro e Lopes, 2007).

Após a queda da civilização romana, durante vários séculos, não existiram inovações significativas na formulação e uso de argamassas. Sabe-se que durante a Idade Média as pozolanas deixaram de ser utilizadas de forma expressiva, embora haja vestígios da utilização de argamassas com cerâmica moída em algumas regiões da Europa (Kaefer, 2010).

Já no século XVIII, depois do terceiro Farol de Eddystone (construído em madeira, na região da Cornualha, Reino Unido) ter sido queimado, John Smeaton ficou responsável por dirigir a sua reconstrução. Foi assim que John Smeaton sabendo que a rocha onde o farol iria assentar estava debaixo de água durante parte do ano e querendo construir um farol de grande durabilidade, empreendeu uma campanha de ensaios para encontrar uma nova argamassa que possuísse boas propriedades hidráulicas (Gomes *et al.*, 2006; Kaefer, 2010).

Na intensa campanha experimental que John Smeaton realizou, foram utilizados vários materiais, entre os quais, pedra-pomes, cinzas volantes, resíduos de tijolo e escória de fornos de ferreiros, no entanto, seriam determinadas rochas vulcânicas e as pozolanas, já utilizadas pelos romanos, a revelar melhor eficácia (Santos, 1998). No final, John Smeaton concluiu que, para se obter um ligante de características hidráulicas, na rocha calcária utilizada deveria existir uma quantidade considerável de argila, assim como utilizar fornos que atingissem

temperaturas mais elevadas do que até então se fazia. A descoberta desta cal hidráulica significou um grande avanço no conhecimento sobre materiais de construção aglomerantes. Refira-se ainda que a aplicação deste novo material permitiu que o novo farol de Eddystone tivesse uma longevidade superior a um século, o que é considerável para a época, especialmente se tivermos em conta as exigentes condições a que este se encontrava exposto (Gomes *et al.*, 2006; Santos, 1998).

Com a descoberta deste ligante que endurecia debaixo de água deu-se o início a uma série de avanços importantes que viriam a culminar na descoberta do cimento “Portland”, por Joseph Aspdin, em 1824. Este aglomerante, patenteado por Aspdin, foi designado de “Portland” devido à semelhança deste material com as rochas de uma pequena península com este nome (Gomes *et al.*, 2006; Santos, 2009). O cimento Portland de Aspdin era feito a partir da queima de calcário e argila bem moídos e posteriormente misturados a altas temperaturas, até que o CO₂ fosse libertado. Após este processo o material obtido era moído, obtendo-se o cimento Portland. Este cimento não era fabricado às altas temperaturas actuais e o desperdício energético durante o processo era grande, para além de que as proporções de cada material a utilizar no processo não estavam definidas. O cimento criado por Aspdin não era igual ao que hoje é utilizado na construção, mas ainda assim contribuiu bastante para a evolução dos ligantes hidráulicos (Cruz, 2008).

Depois destas descobertas, o mercado da cal hidráulica e cimento desenvolveu-se, facto que não pode ser dissociado da construção de fábricas destes ligantes um pouco por toda a Europa (Santos, 2009). O crescente consumo de ligantes hidráulicos levou a que a Alemanha, na segunda metade do século XIX, desenvolvesse testes de controlo para cimentos, o que aliado à maior qualidade dos fornos utilizados contribuiu para uma maior uniformidade do clínquer obtido. Refira-se, por fim, que a crescente utilização do cimento Portland levou a que as cais hidráulica e aérea, especialmente esta última, fossem cada vez menos utilizadas (Martins, 2008).

2.3 Reboco de argamassas hidráulicas

2.3.1 Introdução

A partir do momento em que passou a ser possível produzir industrialmente a cal hidráulica e, especialmente, o cimento, estes materiais foram sendo progressivamente mais utilizados. Nas últimas décadas as cais praticamente deixaram de se utilizar em construções novas, passando no entanto a assumir um papel importante em obras de reconstruções e reabilitação, enquanto nas construções novas o cimento é o ligante mais utilizado, sobretudo devido à sua resistência mecânica (Gomes *et al.*, 2006).

Na produção de argamassas é comum utilizar-se mais do que um ligante, passando neste caso a argamassa a denominar-se bastarda, assim como também é vulgar utilizar-se adições e/ou adjuvantes para que determinadas propriedades da argamassa, no estado fresco ou endurecido, sejam melhoradas e satisfaçam melhor as necessidades (Gomes *et al.*, 2006).

No entanto, independentemente da escolha do(s) ligante(s) a utilizar, deve conhecer-se as vantagens e desvantagens de empregar um ou outro ligante para que se faça uma ponderação da melhor solução a adoptar em cada situação. Este cuidado deve existir não só na escolha do ligante, mas também em qualquer decisão tomada durante a formulação de uma argamassa, especialmente nos rebocos, que para além de duráveis devem ainda proteger o suporte onde são aplicados.

2.3.2 Caracterização dos constituintes

2.3.2.1 Ligantes hidráulicos

Os ligantes são materiais que têm a capacidade de aglutinar partículas e funcionam como elementos activos no estabelecimento de ligação entre os vários componentes das argamassas (Cavaco, 2005). Estes quando misturados com água sob a forma de pó fino geram uma pasta, a qual tem a capacidade de endurecer e ganhar presa através de reacções de hidratação e/ou carbonatação e deve possuir um poder mínimo de colagem ao seu suporte (Agostinho, 2008; Cruz, 2008). Os ligantes hidráulicos distinguem-se por ganharem presa e endurecerem, essencialmente, por via de reacções de hidratação, o que exige a presença de água no processo e permite que este aconteça debaixo de água. Nos ligantes aéreos, o endurecimento e ganho de presa processa-se através de reacções de carbonatação, o que torna o processo mais lento. Este facto faz com que o ganho de resistência mecânica, nas argamassas de ligantes aéreos, apenas seja significativo em espaços temporais mais alargados (Penas, 2008).

Cimento Portland - O cimento é o ligante mais utilizado na produção de argamassas, pois apresenta melhores resistências mecânicas, quando comparado com as cals, e menor tempo de presa, o que permite otimizar o rendimento em obra (Cruz, 2008; Penas, 2008). Também a presa do cimento é menos sensível às condições ambientais (Cruz, 2008). No entanto, este ligante também pode dar às argamassas características menos adequadas aos suportes onde estas são aplicadas. As argamassas de cimento estão associadas a uma reduzida capacidade de deformação, menor permeabilidade ao vapor de água e porosidade inferior às argamassas de cal, especialmente quando se trata da cal aérea. Estes problemas de compatibilidade são evidentemente mais graves quando o suporte é uma parede de uma construção antiga (Agostinho, 2008).

O cimento Portland artificial é obtido a partir de carbonato de cálcio (calcário), silicatos de alumínio e ferro (argila) e, normalmente, outras substâncias ricas em sílica, alumina ou ferro. Estes componentes são reduzidos a pó e misturados, sujeitando-se então a temperaturas da ordem dos 1450 °C, por norma em grandes fornos rotativos. No forno, as matérias-primas reagem entre si, originando novos compostos que se agregam em aglomerados com dimensões geralmente entre 2 mm e 20 mm, denominados clínquer.

A mistura de matérias-primas, calcário e argila, deve ser doseada de modo a que, depois de perder a água e dióxido de carbono, a altas temperaturas se obtenha uma composição química dentro dos seguintes limites:

- CaO – 60 a 68%;
- SiO₂ – 17 a 25%;
- Al₂O₃ – 2 a 9%;
- Fe₂O₃ – 0,5 a 6%;
- MgO – 0 a 2%;
- K₂O e Na₂O – 0,5 a 1,5%.

Quando o clínquer sai do forno deve ser arrefecido de forma rápida para que os seus componentes não voltem a reagir, e consequentemente percam as propriedades desejadas. Como já foi referido, a acção da temperatura provoca diversas reacções químicas, reacções estas que levam à formação dos componentes principais do cimento Portland, que de seguida se enumeram, com a indicação da respectiva percentagem em que normalmente ocorrem:

- Silicato tricálcico – 20 a 65%;
- Silicato bicálcico – 10 a 55%;
- Aluminato tricálcico – 0 a 15%;
- Aluminoferrato tetracálcico – 5 a 15%.

O documento normativo NP EN 197-1 (IPQ, 2001) define e apresenta as especificações de 27 cimentos correntes e os seus constituintes. Esta definição inclui as percentagens em que os constituintes são combinados para produzir os diferentes produtos, assim como os requisitos a satisfazer por esses mesmos constituintes e os requisitos mecânicos, físicos e químicos dos 27 cimentos e classes de resistência. Nesta norma também são estabelecidos os critérios de conformidade e os requisitos de durabilidade.

Cal Hidráulica - A cal hidráulica é um ligante hidráulico constituído por silicatos e aluminatos cálcicos, resultantes de cozedura, extinção e moagem de margas calcárias. O material rochoso, através de calcinação em fornos industriais, deve atingir temperaturas entre 1200 °C a 1300 °C, dando origem a uma mistura de cal viva e de silicatos e aluminatos de cálcio,

susceptível de se hidratar, o que lhe confere a sua hidraulicidade. A composição média de uma cal hidráulica é a seguinte:

- $\text{OCa} \approx 55\%$;
- $\text{SiO}_2 \approx 23\%$;
- $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 22\%$.

No entanto, apenas excepcionalmente a matéria-prima utilizada apresenta a composição que é necessária para produzir cais hidráulicas de boa qualidade. Desta forma, é necessário realizar medidas de correcção na mistura, produzindo-se assim cais hidráulicas artificiais (Nero, 2006).

De referir que se pode classificar a natureza das cais de acordo com a percentagem de argila presente, como é possível visualizar na Tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Classificação de cais (Nero, 2006)

Natureza dos produtos	% de argila no calcário	Índice de hidraulicidade	Tempo de presa em água
Cais aéreas	0,0 – 5,3	0,00 – 0,10	só ao ar livre
Cais francamente hidráulicas	5,3 – 8,2	0,10 – 0,16	16 a 30 dias
Cais medianamente hidráulicas	8,2 – 14,8	0,16 – 0,31	10 a 15 dias
Cais propriamente hidráulicas	14,8 – 19,1	0,31 – 0,42	5 a 9 dias
Cais eminentemente hidráulicas	19,1 – 21,8	0,42 – 0,50	2 a 4 dias
Cais limites	21,8 – 26,7	0,50 – 0,65	1 a 12 horas

Quando se analisam as características de argamassas produzidas com cal hidráulica, verifica-se que estas apresentam propriedades intermédias entre as argamassas de cimento e as argamassas de cal aérea. Assim, estas argamassas apresentam resistências mecânicas relativamente baixas, embora o seu desempenho mecânico seja suficiente em situações em que não se prevejam solitações muito gravosas. As argamassas de cal hidráulica são ainda bastante porosas, o que provoca absorções elevadas nos instantes iniciais, embora com o passar do tempo se verifiquem melhorias a este nível. Os módulos de elasticidade dinâmicos das argamassas de cal são baixos, quando comparados com as argamassas de cimento, o que indica que estas argamassas são mais deformáveis. Por fim, note-se que as argamassas de cal hidráulica, por norma, apresentam um baixo valor de aderência ao suporte de alvenaria de tijolo, denotando fraca coesão, como consequência da sua estrutura porosa (Penas, 2008).

2.3.2.2 Agregados pétreos

Os agregados pétreos podem ser classificados como grossos ou areias/finos, estes últimos agregados de acordo com a NP EN 12620 (IPQ, 2004) devem ter a dimensão máxima de 4 mm

e mínima de 0,063 mm. A areia é um material granular proveniente de desagregação natural ou de britagem de rochas. Quimicamente as areias podem-se distinguir entre dois grupos principais, siliciosas e calcárias. As areias siliciosas são geralmente recolhidas de um rio ou de areeiro, enquanto as areias calcárias têm origem em pedreiras de rocha calcária. A distinção de agregados de acordo com a sua obtenção faz-se nas seguintes categorias: naturais, artificiais e reciclados. Os agregados mais utilizados são os naturais e a utilização de outro tipo deve ser acompanhado de um estudo que permita prever o seu comportamento (Rodrigues, 2004).

A escolha do tipo de areia e a sua composição granulométrica tem uma grande influência no comportamento das argamassas, assim como pode permitir a adopção de soluções economicamente mais vantajosas, devido ao uso de menores quantidades de ligante. Os agregados desempenham funções de elevada importância na argamassa, pois para além de serem o esqueleto da mesma, têm um papel determinante na compacidade e retracção das argamassas. A presença de areias grossas na argamassa reduz a tendência para a fendilhação, enquanto as areias finas provocam a redução da porosidade e da absorção de água (Agostinho, 2008).

Quando se faz a mistura das areias com os outros componentes da argamassa deve-se ter o cuidado de verificar que estas estão isentas de sais e matéria orgânica. Também a presença excessiva de argila é prejudicial, pois leva a que haja maior retracção (Agostinho, 2008).

2.3.2.3 Água

A água tem especial importância numa argamassa de ligante hidráulico, pois este constituinte é essencial para que as reacções de hidratação de aluminatos e silicatos ocorram e conseqüentemente se forme uma pasta que permita a aglomeração dos agregados. O doseamento da água deve obedecer a determinados critérios, visto que deste vai depender a trabalhabilidade, assim como, a aderência ao suporte e a facilidade de aplicação da argamassa, factores que condicionam o rendimento da mão-de-obra, mas também características da argamassa no estado endurecido (Penas, 2008).

No entanto, deve-se referir que a quantidade de água é bastante variável de acordo com a composição da argamassa em questão. De forma que antes de iniciar a produção de argamassas é boa prática analisar o(s) ligante(s) utilizado(s), o traço da argamassa, a granulometria e natureza dos agregados e a trabalhabilidade pretendida. Por norma, a quantidade de água a utilizar numa amassadura é apresentada na forma de relação água/ligante (ou A/L) (Penas, 2008).

Como foi referido anteriormente, a água presente na amassadura condiciona também as características da argamassa no estado endurecido, pois com utilização de água em excesso

verifica-se um aumento da retração associada à fase de secagem, assim como da porosidade final da argamassa. O uso de uma relação A/L menor, dentro de limites razoáveis, resulta em maiores resistências mecânicas, obtendo-se uma argamassa mais consistente e compacta, que por oposição à situação anterior será menos porosa e com menos tendência para a fendilhação (Penas, 2008).

Por fim, refira-se que a água de amassadura deve ser uma água limpa e isenta de impurezas, especialmente sais, para que o desempenho da argamassa não seja comprometido devido a degradação acelerada (Cruz, 2008).

2.3.3 Composição de argamassas de revestimento

A formulação de argamassas é um processo complexo que deve levar em consideração a sua situação de utilização, assim como todo o conjunto de exigências funcionais que tenham sido definidas como essenciais. O sucesso na formulação de uma argamassa também está relacionado com a qualidade e adequação dos materiais a utilizar (Gomes *et al.*, 2006).

O traço volumétrico, que corresponde ao volume relativo entre ligantes e agregados, depende de vários factores. Uma das mais importantes variáveis na definição do traço volumétrico é a distribuição granulométrica dos agregados, pois como é sabido o ligante deve preencher os espaços vazios entre agregados. Estima-se que para agregados com boa distribuição granulométrica o volume de vazios deverá ser de cerca de 33%, o que conduzirá a um traço volumétrico de 1:3 (ligante:agregados) (Cavaco, 2005).

A granulometria dos agregados utilizados tem influência na qualidade da argamassa, especialmente no que respeita à compacidade, impermeabilidade e resistência mecânica. No estudo de Feret esta questão é abordada e através de um diagrama triangular, Figura 2.4, é possível relacionar as dimensões relativas entre agregados e a compacidade da argamassa (Cruz, 2008).

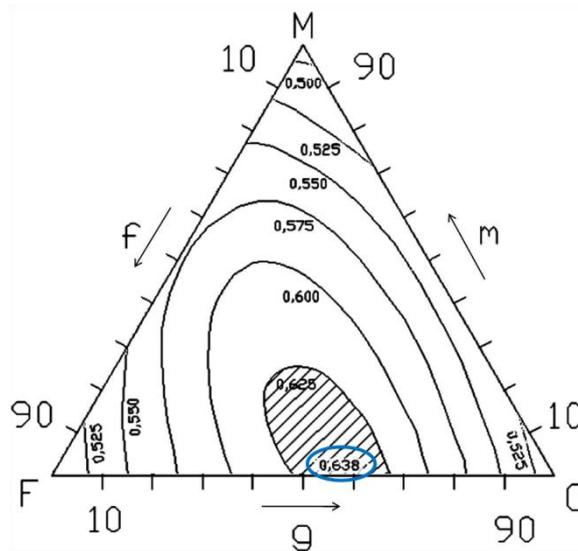


Figura 2.4 - Diagrama triangular de Feret, adaptado de (Mendonça, 2007)

Analisando o diagrama de Feret pode observar-se que a compacidade máxima, cerca de 0,638, é atingida com a utilização de 2/3 de grãos grossos e 1/3 de grãos finos. Portanto, segundo este estudo, é com esta composição de agregados que se atinge o menor volume de vazios. Pelo contrário, se a granulometria for demasiado uniforme atinge-se um volume de vazios elevado e conseqüentemente uma compacidade relativamente baixa (inferior a 0,525).

Deve ressaltar-se que o estudo de Feret é relativo a argamassas produzidas com agregados pétreos, embora algumas das conclusões que este estudo permite tirar se mantenham com a utilização de outros agregados.

Feret concluiu que para uma dada quantidade de areia, a resistência aumenta se a dosagem de ligante também aumenta, assim como também provou que a resistência de uma argamassa não varia de forma significativa se a relação A/L se mantiver constante. Também ficou provado que a compacidade influencia positivamente a resistência mecânica da argamassa (Cruz, 2008).

2.3.4 Cura

A cura pode ser definida como o conjunto de meios que se empregam para condicionar a evaporação de água de amassadura. Este processo é especialmente importante no caso de argamassas de ligantes hidráulicos, pois como já foi descrito, a presença de água é essencial para que as reacções de hidratação ocorram e assim se obtenha uma argamassa conforme o esperado (Coutinho, 1988). Desta forma, argamassas contendo cal hidráulica e cimento são favorecidas durante a cura por ambientes mais saturados em humidade, pois a água presente na amassadura evapora de forma lenta. Na prática não se efectua a cura em rebocos, por essa razão é normal compensar esse facto com um aumento da relação água/ligante, em relação a

outra argamassa. Esta acção é bastante importante, pois os rebocos têm uma elevada superfície livre e por essa razão estão mais expostos a fenómenos de evaporação. As perdas de água em rebocos podem ser comprometedoras no que diz respeito à aderência ao suporte, assim como há a possibilidade da sua superfície se tornar polvorenta e com deficiente coesão (Miranda, 2004). A falta de água durante o processo de cura afecta também a estrutura porosa da argamassa e influencia de forma importante os fenómenos de retracção por secagem (Nsambu e Gomes, 2007; Rato, 2006).

2.4 Cortiça

Este trabalho tem por principal objectivo a produção de argamassas de reboco com características térmicas melhoradas. Deste modo, devido às conhecidas propriedades que possuem, a cortiça e os seus subprodutos podem constituir uma boa opção para a sua introdução nas argamassas como agregado. No entanto, a inclusão de cortiça nas argamassas acarreta modificações em diversas propriedades das argamassas e por essa razão, de seguida, apresentam-se algumas das principais características da cortiça, para se possa antecipar de algum modo o impacto que esta modificação poderá trazer. Por fim, salienta-se ainda que a utilização de cortiça pode ser interessante se atendermos ao facto de que a produção de cortiça é um material, do ponto de vista ambiental, sustentável.

Produção de cortiça - A cortiça é produzida pelo sobreiro, *Quercus suber L.*, constituindo o revestimento exterior do seu tronco e ramos. Esta espécie desenvolve-se nas regiões mediterrânicas e mediterrâneas de influência atlântica, sendo constituída por árvores de crescimento lento e de grande longevidade podendo atingir os 250-350 anos, embora se considere que o período mais produtivo vá até aos 150-200 anos de idade. Em Portugal, o sobreiro ocupa mais de 720 mil hectares, cerca de 22% da área florestal do país, e o montado português apresenta uma estrutura relativamente jovem, com cerca de 40% das árvores na fase “jovem” ou “jovem passando a adulto”, embora a densidade média dos povoamentos de sobreiros não seja a melhor, visto que existe uma densidade de 67 árvores/ha, enquanto o ideal seria 185 árvores/ha. A produção total de cortiça tem um valor médio de 190 mil toneladas por ano, das quais 30 mil toneladas correspondem a cortiça virgem. A produção de cortiça amadia (cortiça de boa qualidade para a produção de rolhas) apresenta variações significativas, de ano para ano, resultantes dos ciclos de extracção da mesma (Pereira *et al.*, 2004).



Figura 2.5 - Extração de pranchas de cortiça (Pereira et al., 2009)

A cortiça é retirada periodicamente, com o objectivo principal de produzir rolhas, normalmente de 9 em 9 anos, sob a forma de pranchas com espessura adequada ao processamento industrial, como é exemplificado na Figura 2.5. A primeira cortiça produzida pelo sobreiro, denominada cortiça virgem, é extraída quando a árvore apresenta 20 a 35 anos, e é facilmente identificada devido aos sulcos e fendas verticais que apresenta. Estas marcas são resultantes das tensões que se criam devido ao crescimento radial do tronco e a cortiça produzida nesta fase destina-se essencialmente à trituração e produção de aglomerados. A segunda camada de cortiça produzida, cortiça segundeira, também apresenta numerosas fracturas e um forte engrossamento devido ao ainda considerável crescimento nesta fase da jovem árvore. Desta forma, a cortiça extraída nesta fase também não tem qualidade suficiente para a produção de rolhas e portanto é rentabilizada da mesma forma que a cortiça virgem. Normalmente, a partir desta fase os sobreiros já apresentam um crescimento lento, o que resulta em menores tensões na camada de cortiça que se vai formando, este facto significa que a cortiça produzida já é de boa qualidade, com reduzida quantidade de fracturas e fendas. A cortiça produzida a partir desta fase é denominada cortiça amadia. Também é possível extrair cortiça de ramos que foram podados, a chamada cortiça virgem de falca, embora esta normalmente venha associada a alguma quantidade de madeira e entrecasco, o que baixa o interesse comercial da mesma. De referir ainda que a operação de extração de cortiça está regulamentada por legislação específica, no caso, o Decreto-Lei 11/97, de 14 de Janeiro (Pereira *et al.*, 2004).

Estrutura da cortiça - A cortiça é constituída por materiais celulares, materiais estes que apesar de entre diferentes espécies apresentarem algumas diferenças, têm propriedades qualitativamente semelhantes, o que permite que sejam abordados e interpretados de forma similar. Os materiais celulares são constituídos por células ocas, abertas ou fechadas, e a fracção em volume do sólido que constitui as células não excede 30%.

As células de cortiça, de forma simplificada, podem ser descritas como prismas, em média hexagonais, empilhados em colunas ou fiadas, cujo eixo é segundo a direcção radial, Figura 2.6. As suas células são fechadas e a fracção em volume do sólido é de cerca de 15%. Na cortiça o material sólido é um composto que inclui polímeros como a suberina, a lenhina e a celulose (Pereira *et al.*, 2004).

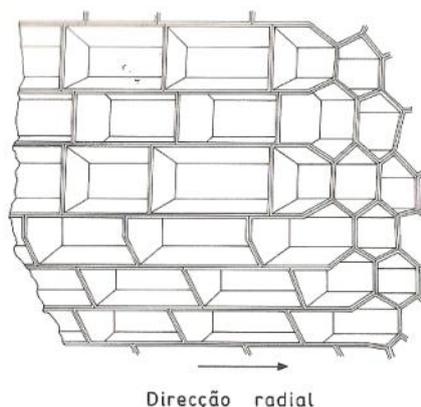


Figura 2.6 - Estrutura celular simplificada da cortiça (Pereira *et al.*, 2004)

Como acontece com a maioria das plantas lenhosas, o ciclo anual do sobreiro compreende duas fases: a de actividade vegetativa e a de repouso invernal. Estas duas fases provocam que as células produzidas em cada um dos ciclos possuam características distintas. As células de Primavera são mais longas radialmente e apresentam paredes mais delgadas, devido ao crescimento mais rápido. Devido à maior espessura das paredes e à sua menor altura, as células de Outono são mais resistentes. As células de cortiça quando observadas macroscopicamente apresentam pequenas ondulações, especialmente as células com parede fina, as quais podem ser eliminadas quase na totalidade através de cozedura a temperaturas próximas de 200 °C (Pereira *et al.*, 2004).

Estrutura química da cortiça - A cortiça difere dos outros materiais lenhocelulósicos na sua constituição química, sendo que a mais importante diferença reside no facto do componente maioritário das paredes celulares ser a suberina, o que não acontece nas células da madeira. É a presença deste componente químico que confere à cortiça algumas das suas propriedades mecânicas e as suas características de impermeabilidade. Os principais componentes químicos da cortiça são a suberina (45%), a lenhina (27%), os polissacáridos (12%), os taninos (6%) e os ceróides (5%), embora os valores indicados possam variar significativamente entre cortiças, dependendo da idade da árvore, da exposição solar, da altitude, do tipo de cortiça em causa, entre outros. A suberina, a lenhina e os polissacáridos são considerados componentes estruturais, pois são macromoléculas de natureza polimérica, insolúveis que conferem às células a sua forma e grande parte das suas propriedades físicas e químicas (Marques, 2008).

Características da cortiça - A cortiça é um material anisotrópico e por essa razão as suas propriedades mecânicas devem ser avaliadas nas três direcções principais, embora as propriedades nas duas direcções não-radiais sejam semelhantes. Deste modo, considera-se apenas a direcção radial e uma qualquer direcção não-radial. O comportamento à compressão e tracção da cortiça depende da velocidade com que estas acções são aplicadas, mas também da temperatura e do teor de humidade, por este material ter comportamento viscoelástico. Em média, a densidade de uma cortiça amadia cozida é de aproximadamente 250 Kg.m^{-3} , embora possam existir variações consideráveis nestes valores até dentro da mesma cortiça. Ainda que existam poucos resultados bem documentados sobre o desgaste da cortiça e de aglomerados, ao analisar alguns estudos existentes observa-se que as taxas de desgaste são muito baixas (Pereira *et al.*, 2004).

Com a cozedura da cortiça, durante o seu tratamento industrial, existem variações volumétricas que podem atingir os 15%, para temperaturas da ordem dos $100 \text{ }^\circ\text{C}$. As dimensões da cortiça também podem modificar-se através de imersão, podendo deste modo expandir-se cerca de 2% numa só direcção. Após imersão e secagem, a cortiça praticamente recupera as dimensões iniciais, o que não acontece no caso da cozedura. Este facto leva a que o valor da densidade das pranchas de cortiça possa ser reduzido até 80% do inicial. A operação de cozedura, a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, também modifica o coeficiente de porosidade, diminuindo-o em cerca de 50% (Pereira *et al.*, 2004).

No caso dos aglomerados negros de cortiça, o calor específico, ou seja a energia necessária para aumentar de um grau Kelvin a temperatura da unidade de massa, é de aproximadamente $1700 \text{ J.(Kg.K)}^{-1}$. Este valor é ligeiramente inferior aos valores usuais nos polímeros, onde este valor está na ordem dos $2000 \text{ J.(Kg.K)}^{-1}$. A condutibilidade térmica, que relaciona o fluxo de calor resultante de um gradiente de temperatura, na cortiça e aglomerados de cortiça é bastante baixa, ou seja, estes materiais têm excelentes características para isolamento térmico. Os valores médios da condutibilidade térmica para cortiça e aglomerados de cortiça encontram-se dentro dos intervalos indicados de seguida:

- Cortiça: $\lambda [\text{W}.\text{(mK)}^{-1}] \approx 0,040\text{-}0,045$;
- Aglomerados de Cortiça: $\lambda [\text{W}.\text{(mK)}^{-1}] \approx 0,035\text{-}0,070$.

A cortiça é também utilizada como material “antivibrático”, ou seja, como absorvedor de energia mecânica, pois como resultado da sua componente viscosa da deformação consegue dissipar energia (Gil, 2006; Pereira *et al.*, 2004).

Regranulado negro de cortiça - Na indústria da cortiça o processamento da matéria-prima pode seguir duas vias, de acordo com o tipo e qualidade da cortiça em questão. Para a produção de granulados de cortiça são utilizados os refugos e bocados de cortiça amadia que não podem ser utilizados no fabrico de rolhas e discos, assim como, as cortiças virgem,

segundeira e outros tipos menos nobres. São considerados granulados as partículas com dimensões entre 0,25 mm e 22,4 mm. Partículas que se insiram abaixo deste intervalo são denominadas “pó de cortiça” (Gil, 2006).

Actualmente, a principal aplicação de granulados é no fabrico de aglomerados, mas também se utilizam estes materiais directamente na construção civil, nomeadamente servindo de enchimento para isolamento de vários tipos de construção, preparação de argamassas e betões de baixa massa volúmica, fabrico de pavimentos flutuantes e isolamentos vibrático e acústico. O regranulado negro de cortiça é um subproduto do processo de fabrico das placas de aglomerado de cortiça, neste caso de aglomerados puros. Nos aglomerados puros, a aglutinação dos grânulos de cortiça é conseguida à custa dos produtos resultantes da degradação térmica da cortiça, quando aquecida a temperaturas superiores a 200-250 °C. Os aglomerados com maior importância são os expandidos, ou normalmente designados de aglomerados negros, e estes são fabricados numa autoclave paralelepípedica submetendo os grânulos de cortiça previamente compactados à acção de vapor de água sobreaquecido, a temperaturas da ordem dos 350 °C, durante cerca de 20 minutos. Através deste processo, os grânulos de cortiça sofrem uma alteração da sua estrutura celular e acontece a expansão dos mesmos (Pereira *et al.*, 2004).

O desempenho do regranulado negro de cortiça pode ser afectado pela presença de partículas de madeira, decorrente da utilização de cortiça de menor qualidade. A densidade dos aglomerados negros de cortiça é também relativamente variável, pois depende de factores como a compactação dada ao granulado e a distribuição granulométrica do material utilizado. Quanto ao desempenho térmico dos aglomerados negros de cortiça, pode-se afirmar que este é bastante interessante, pois a condutividade térmica pode chegar a valores da ordem de 0,035 [W.(mK)⁻¹], ou seja, ainda mais baixa do que o habitual na cortiça (Pereira *et al.*, 2004).

2.5 Exigências funcionais de revestimentos interiores

As argamassas objecto de estudo inserem-se no tipo de “revestimentos interiores de ligantes minerais tradicionais”, podendo ter a classificação funcional de “revestimentos de regularização e/ou acabamento”. Os revestimentos de regularização são aplicados directamente sobre os suportes e proporcionam à parede as condições requeridas de planeza, verticalidade e regularidade superficial, enquanto os revestimentos de acabamento proporcionam às paredes um complemento de regularização, conferindo-lhe um aspecto mais agradável (LNEC, 2000).

As argamassas de reboco interior, independentemente da solução adoptada, devem possuir determinadas características, ou seja, cumprir exigências funcionais. Neste âmbito, ao conjunto paramento-revestimento é exigido, de forma resumida, que verifique a segurança contra riscos de incêndio, de estanquidade à água e de resistência a acções de choque. No entanto as exigências funcionais são diferentes entre vários espaços construídos, como será fácil

perceber. Aos revestimentos interiores exige-se, de forma geral, que eliminem as irregularidades do suporte, que proporcionem às paredes uma superfície plana, vertical e lisa, que mantenham uma superfície fácil de limpar, que resistam às acções de choque ou de atrito de ocorrência normal e que satisfaçam as exigências de aspecto pretendidas. É também essencial que o reboco não promova uma degradação acelerada do paramento ou, de qualquer forma, limite o seu desempenho (LNEC, 2000).

Exigências de segurança - As exigências de segurança podem ser divididas em três classes distintas, mais concretamente, estabilidade, segurança contra risco de incêndio e segurança no uso. A segurança contra riscos de incêndio traduz-se pela limitação da propagação do fogo e também pela libertação de produtos tóxicos e fumo, enquanto a segurança no uso refere-se essencialmente na limitação da rugosidade do revestimento em causa. A estabilidade refere-se a acções normais de uso, em que as cargas mais relevantes são o peso próprio e os choques normais (LNEC, 2000). No caso das argamassas de isolamento térmico e de uso geral, segundo a EN 998-1 (IPQ, 2003), a tensão de ruptura à compressão, aos 28 dias, deve ser no mínimo de 0,4 MPa, o que corresponde à categoria CS I.

Exigências de estanquidade - A estanquidade à água é uma característica que é tradicionalmente associada aos revestimentos de paredes exteriores, embora também nas paredes interiores seja importante avaliar esta exigência funcional. Esta situação deve-se essencialmente ao facto do revestimento interior absorver água que está presente na atmosfera (LNEC, 2000). Assim, as argamassas de reboco devem possuir uma estrutura interna que permita um equilíbrio entre a velocidade e quantidade de água que a mesma absorve e a sua posterior dinâmica de secagem.

Exigências térmicas - Esta exigência está, como facilmente se percebe, relacionada com a necessidade de manter o ambiente interior de um edifício com as adequadas condições de conforto que determinado uso do espaço exige. As exigências térmicas e de estanquidade influenciam significativamente a durabilidade do paramento, visto que em conjunto podem evitar a existência de humidades no interior das paredes (LNEC, 2000).

Neste âmbito, os valores de cálculo da condutibilidade térmica (λ) de alguns dos materiais mais utilizados em revestimentos interiores são os seguintes (Santos e Matias, 2006):

- Estuque de gesso e areia $\rightarrow \lambda = 0,80 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$;
- Argamassas e rebocos tradicionais $\rightarrow \lambda = 1,30 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$;
- Argamassas e rebocos de cal e areia ou de argam. bastardas $\rightarrow \lambda = 0,80 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$.

Exigências de conforto visual e táctil - Apesar do conforto visual não ser uma exigência directamente relacionada com o desempenho do revestimento a nível mecânico, é uma das características mais valorizadas, especialmente nos espaços interiores. Para se atingir um bom

nível de desempenho visual deve-se procurar atingir um revestimento com planeza (geral e localizada), verticalidade, rectidão das arestas, regularidade e perfeição da superfície, assim como, homogeneidade de cor e brilho. No que diz respeito ao conforto táctil, o revestimento dos paramentos deve apresentar aspereza limitada, ausência de pegajosidade e uma superfície seca (LNEC, 2000).

Exigências de higiene - Para que as exigências de higiene sejam verificadas, deve-se ter em atenção se a superfície do paramento não apresenta condições de acumulação de poeiras e outras sujidades, assim como se deve privilegiar revestimentos em que a operação de limpeza seja uma operação fácil (LNEC, 2000). Ainda neste âmbito deste tipo de exigência funcional, deve-se também salvaguardar que os revestimentos interiores não sejam superfícies que propiciem condições favoráveis para o desenvolvimento de colonização biológica.

Exigências de compatibilidade - Os revestimentos devem possuir compatibilidade com o suporte onde assentam. Nesta circunstância, a compatibilidade mecânica e química é a mais importante para que o sistema paramento-revestimento funcione como um único elemento (LNEC, 2000). Para além da compatibilidade com a parede onde assentam, as argamassas de reboco devem também constituir um bom suporte à camada de tinta que poderá servir de acabamento, evitando-se assim que aconteça o “descasque” de partes da camada de tinta.

Exigências de economia - Como é desejável para qualquer elemento construtivo, o revestimento deve ser tão económico quanto possível, cumprindo as exigências adequadas ao seu bom desempenho, assim como deve também permitir uma manutenção fácil e barata (LNEC, 2000).

3 A térmica e a humidade em edifícios

3.1 Térmica de edifícios

3.1.1 Nota introdutória

O comportamento térmico dos edifícios é de grande importância, especialmente num momento em que os custos energéticos são tão importantes na utilização e exploração de um edifício. Para além das implicações económicas e ambientais que um desempenho térmico consentâneo com as necessidades existentes possa trazer, também se deve focar as vantagens a nível da satisfação das exigências de conforto, bem como da prevenção do aparecimento de determinadas patologias (Piedade, 2006)

3.1.2 Transmissão de calor

A transmissão de calor pode realizar-se sob a forma de três processos distintos, mas antes de abordar essa questão, deve-se referir os princípios básicos da termodinâmica (Piedade, 2006):

- *A transmissão de calor entre dois elementos verifica-se sempre que, entre eles, se estabelece uma diferença de temperaturas dando-se uma transferência de energia de um para o outro;*
- *Esta transmissão de calor faz-se sempre no sentido do elemento a mais elevada temperatura para o de temperatura mais baixa e com conservação de energia, isto é, a quantidade de calor que o elemento mais “quente” cede é igual à quantidade que o elemento mais “frio” recebe.*

A transmissão de calor pode ser feita por processos de condução, convecção e/ou radiação. Na generalidade dos casos estes processos coexistem, embora no momento em que se elabora o estudo destes, de forma a simplificar, se opte por individualizar os mecanismos. Neste trabalho apenas se abordará a transferência de calor por condução, pois esta é a forma típica de transmissão nos corpos sólidos. Esta forma de transmissão de calor é regida pela Lei de Fourier, que diz que o fluxo de calor que atravessa uma dada superfície S é proporcional ao produto da área atravessada pelo gradiente de temperatura existente, como é apresentado na seguinte expressão:

$$dQ_x = -\lambda \cdot S \cdot \frac{d\theta}{dx} \quad (3.1)$$

3.1.3 Transmissão de calor por condução

De acordo com a Lei de Fourier, o fluxo de calor que atravessa uma placa é directamente proporcional às superfícies e diferenças de temperaturas superficiais da placa e inversamente proporcional à sua espessura. Apesar disto, cada material possui uma condutibilidade térmica – λ – que pode ser definida como a quantidade de calor que atravessa determinado material de área unitária, na unidade de tempo, quando existe uma diferença de temperatura de uma unidade entre essa superfície e outra igual, a uma distância unitária. Este factor é variável não só com o tipo de material mas também com a fase em que o mesmo se encontra, o seu peso específico, porosidade, humidade, temperatura, entre outros (Piedade, 2006).

Com o que foi atrás referido, facilmente se conclui que para existir um melhor isolamento térmico de uma parede existem duas formas de actuação, ou seja, pode-se aumentar a espessura de aplicação dos materiais que a constituem, o que normalmente não é uma boa solução, ou fazer a substituição de materiais com uma elevada condutibilidade térmica por outros em que esta propriedade tenha valores significativamente menores.

Para a determinação deste parâmetro é normalmente utilizado um ensaio de condução de calor em regime permanente, com fluxo unidimensional. Deste modo, utilizando uma placa de material homogéneo com as dimensões faciais e espessura necessárias, cria-se uma diferença de temperaturas entre as duas faces opostas, estabelecendo-se assim um fluxo de calor unidireccional.

3.2 Humidade em paredes

3.2.1 Introdução

A ocorrência de humidades nas construções dá, por norma, origem a importantes problemas nos edifícios. Estes problemas traduzem-se no encurtamento da vida útil dos materiais atingidos, assim como numa significativa redução do nível de conforto e até da salubridade nos espaços afectados. Deste modo, devem ser estabelecidos padrões de desempenho que evitem ou limitem o risco de aparecimento de tais manifestações de humidade (Rodrigues e Piedade, 2006).

3.2.2 Causas da manifestação de humidades

A presença de humidades em edifícios pode ter várias origens e formas de manifestação. De forma a simplificar e enquadrar o tipo de problema em questão é comum fazer a classificação dos tipos de humidade (Rodrigues e Piedade, 2006), da forma que se enumera de seguida:

- Humidade de condensação – proveniente do vapor de água que se condensa nos paramentos;
- Humidade de obra – causada pela água presente no momento da execução do elemento construtivo;
- Humidade de absorção e capilaridade – proveniente da ascensão capilar através de fundações e paredes;
- Humidade de infiltração – decorrente da infiltração de água proveniente do exterior através dos elementos da envolvente;
- Humidade devido a fenómenos de higroscopicidade;
- Humidade devido a causas fortuitas.

3.2.3 Humidade de condensação

Neste trabalho dar-se-á destaque à humidade de condensação, especialmente as condensações superficiais, pois é uma das causas mais comuns de humidade em edifícios, nomeadamente nos de habitação.

A condensação do vapor de água pode acontecer sobre os paramentos e/ou no interior dos elementos de construção. Este fenómeno acontece, pois como é sabido, para cada valor de pressão e temperatura, o ar só pode conter uma quantidade limitada de vapor de água, pois ultrapassando este limite ocorrem condensações. Esta quantidade de vapor de água é designada de *concentração máxima de vapor* ou *humidade absoluta*. Para dadas condições de pressão e temperatura, a relação entre a concentração de vapor de água existente e a concentração máxima admissível é denominada por “humidade relativa do ar” e exprime-se, em regra, em percentagem (Rodrigues e Piedade, 2006).

De acordo com tudo isto, sempre que exista uma situação em que a temperatura superficial das paredes seja inferior à da correspondente à concentração máxima de vapor para as condições ambientais observadas (de temperatura e humidade relativa do ar), verificar-se-á a ocorrência de condensações nessa zona. Por esta razão é extremamente importante que o comportamento térmico de uma parede, nomeadamente do seu reboco, seja o mais favorável possível, ou seja, que garanta que as temperaturas superficiais não são demasiadamente baixas em condições normais de utilização.

3.2.4 Recurso a diagramas psicométricos

Para analisar as condições a partir das quais existe a ocorrência de condensações recorre-se, frequentemente, a diagramas psicométricos (Anexo A). Os diagramas psicométricos são *monogramas que permitem determinar os valores de todas as grandezas características do ar húmido, para um dado estado do mesmo, a partir do conhecimento dos valores que duas delas têm no estado considerado e, também, permite determinar as variações que cada uma dessas*

grandezas acusa em qualquer transformação sofrida pelo ar húmido (Rodrigues e Piedade, 2006).

Um diagrama psicrométrico permite traçar uma curva de pressões de saturação do vapor de água em função da temperatura, que também representa o ponto de orvalho para as várias temperaturas do intervalo. Este facto é extremamente importante, pois sabe-se que qualquer ponto abaixo dessa curva representa um estado não saturado do ar húmido, ou seja, uma situação em que não existe condensação. Um conceito muito utilizado é o de humidade relativa, que é dado pelo quociente entre a ordenada do ponto A e a ordenada da intersecção da paralela ao eixo das ordenadas, passando pelo ponto em questão, com a curva de saturação. Neste caso, também, é possível traçar curvas de igual humidade relativa (Rodrigues e Piedade, 2006).

3.3 Influência da introdução de regranulado negro de cortiça nas argamassas

3.3.1 Introdução

A substituição de areia por regranulado negro de cortiça numa argamassa irá provocar a alteração das características da mesma. Estas diferenças na argamassa ir-se-ão verificar, tanto no estado fresco, como no estado endurecido, onde é previsível que existam significativas diferenças de comportamento a nível físico e mecânico. Desta forma, analisando trabalhos laboratoriais que abordam materiais com características comparáveis pode-se extrapolar e tentar antever qual será o comportamento das argamassas de reboco com regranulado negro de cortiça.

3.3.2 Características do RNC por oposição às areias

Neste trabalho laboratorial o regranulado negro de cortiça será estudado como substituto da areia na formulação das argamassas. Por esta razão, como primeira abordagem, deve-se confrontar as principais características da areia com as do regranulado negro de cortiça.

Por norma, as argamassas são produzidas com recurso a materiais inorgânicos, o que neste caso não acontece devido ao uso de regranulado negro de cortiça. As diferenças ao nível da rigidez e da resistência mecânica da areia e do regranulado negro de cortiça constituem também pontos de análise bastante importantes, pois estas diferenças provocam a alteração do papel dos agregados no funcionamento da argamassa, ou seja, as areias deixam a função estrutural na argamassa para o ligante e não para os novos agregados. Esta situação ocorre pelo facto da pasta ligante depois de endurecer possuir uma rigidez maior do que o regranulado negro de cortiça.

No referente à absorção de água também existirão diferenças importantes, pois a areia é um material que absorve pouca água, enquanto no regranulado negro de cortiça esta propriedade é bastante variável. No regranulado negro de cortiça a absorção de água está relacionada com a granulometria utilizada, sabendo-se que no material mais fino a absorção é elevada, enquanto que para granulometrias superiores a absorção de água é progressivamente mais reduzida. Isto acontece devido à estrutura celular da cortiça, que como já se explicou, contém um gás semelhante ao ar atmosférico na sua constituição, o qual se encontra retido em pequenas bolsas ou alvéolos. Com a destruição destes alvéolos, à medida que a granulometria do material é menor, perdem-se as propriedades impermeabilizantes ao ar e a líquidos que estas conferiam ao material, explicando-se desta forma a elevada absorção do pó de cortiça.

As características térmicas da areia são bastante menos favoráveis do que as da cortiça para uso em isolamento térmico. No entanto, a capacidade de isolamento térmico que o regranulado negro de cortiça apresenta é, uma vez mais, variável com a granulometria utilizada. Neste caso verifica-se que uma granulometria mais elevada será a mais benéfica em termos térmicos, quando comparada das granulometrias mais próximas do pó de cortiça. Este facto deve-se, novamente, ao facto de no regranulado mais fino as barreiras de passagem do ar existirem em menor número, o que permite uma maior penetração do ar e conseqüentemente um isolamento térmico mais reduzido.

Deve ser também referido que existe uma enorme diferença entre a massa volúmica da cortiça e a massa volúmica da areia, o que torna conseqüentemente a argamassa bastante mais leve, apesar deste facto não ser muito importante em argamassas de reboco.

Outro ponto que se deve alvo de destaque é a diferença de forma entre a areia fina de rio, normalmente usada para produção de argamassas, que por norma apresenta uma forma aproximadamente redonda e mais regular que os grânulos de regranulado negro de cortiça. Este facto pode resultar em alterações importantes na compacidade e no volume de vazios da argamassa produzida, assim como, na organização interna dos agregados no interior da argamassa.

3.3.3 Cuidados na formulação de argamassas com RNC

Como foi referido no ponto anterior, as diferenças entre a areia e o regranulado negro de cortiça são significativas, o que pode provocar importantes mudanças no comportamento de uma argamassa, com a substituição areia por regranulado negro de cortiça.

Os resultados de um trabalho experimental sobre betões de enchimento, em que as resistências mecânicas são mais limitativas, demonstraram que quantidades de regranulado negro de cortiça da ordem dos 30% e 50% do total de volume de agregados são aceitáveis para que as exigências mínimas sejam satisfeitas (Marques, 2008). Desta forma, admite-se que

se podem utilizar percentagens, no mínimo, iguais ou superiores de RNC na produção de argamassas de reboco.

Para evitar uma compacidade demasiado baixa devido à utilização de material grosseiro, deve-se tentar conciliar as indicações dadas no diagrama de Feret, em que é aconselhada a utilização de 2/3 de grãos grossos e 1/3 de grãos finos, para que o espaço existente entre os agregados grossos seja devidamente preenchido, com as necessidades consideradas pertinentes para que o aproveitamento térmico das argamassas seja efectivo. Como foi referido este estudo foi realizado para agregados pétreos, embora o princípio do estudo se mantenha, ainda que os valores da compacidade possam diferir.

Actualmente, o ligante hidráulico mais utilizado é o cimento, no entanto, como não existem conhecimentos suficientes sobre argamassas de reboco com regranulado negro de cortiça, poderá não ser prudente utilizar apenas esse ligante. Esta preocupação surge pelo facto do regranulado negro de cortiça ser um agregado de características bastante diferentes do habitual, deste modo, poderá revelar-se uma decisão menos arriscada utilizar ligantes ou misturas ligantes de características intermédias. Perante esta situação, a cal hidráulica e uma mistura de cal hidráulica e cimento poderão ser consideradas soluções mais moderadas.

Visto que, em argamassas ordinárias, as areias desempenham uma função estrutural opta-se com a introdução do regranulado negro de cortiça pela manutenção de alguma areia para que esta contribua, ainda que com menor significado, para a resistência mecânica. Existe também a vantagem da areia poder funcionar como a fracção fina da mistura de agregados, sem comprometer o comportamento da argamassa no capítulo da absorção de água. No entanto, no decorrer do trabalho laboratorial, se se revelar pertinente poderá ser interessante estudar as características de uma argamassa produzida sem recurso a agregados de origem pétreo, ou seja, utilizando apenas regranulado negro e pó de cortiça.

Uma importante característica da argamassa em estado fresco é a sua trabalhabilidade, pois desta depende, em grande parte, o sucesso da aplicação da argamassa em obra. Neste contexto, as diferenças relevantes a nível da absorção de água e as diferentes superfícies específicas da areia e do regranulado negro de cortiça são suficientes para concluir que a relação água/ligante das amassaduras poderá sofrer importantes alterações com esta mudança na natureza dos agregados.

Por fim, deve-se salientar que para se tentar maximizar os ganhos a nível térmico é necessário aumentar a dimensão do regranulado negro de cortiça a utilizar. Desta forma, considerando-se que a camada de reboco possa ter cerca de 2 cm de espessura e tendo como limite máximo não usar agregados que ultrapassem um terço desse valor, chega-se a um valor limite para a dimensão dos agregados de cerca de 6,5 mm. Depois de analisar alguns trabalhos experimentais, realizados anteriormente, verifica-se que as areias normalmente utilizadas não

têm percentagens muito elevadas de agregados acima de 1 mm de diâmetro (Agostinho, 2008; Cruz, 2008; Marques, 2008; Martins, 2008; Penas, 2008). Ou seja, utilizando regranulado negro de cortiça próximo desse limite máximo ir-se-á trabalhar com agregados significativamente maiores do que o normalmente utilizado, o que poderá significar menor planeza do reboco, além de alterações na compacidade e no volume de vazios.

3.3.4 Desempenho previsível das argamassas de RNC

Numa argamassa, os agregados pétreos têm uma função estrutural (Coutinho, 2008). É então esperado que o resultado da substituição total ou parcial de areia por regranulado negro de cortiça seja uma significativa redução da resistência mecânica, como acontece no caso dos betões leves (Marques, 2008).

É previsível que com a utilização de quantidades significativas de regranulado negro de cortiça de granulometria mais fina a absorção de água seja mais elevada do que quando apenas se utiliza areia. Nas argamassas com inclusão de regranulado negro de cortiça é possível que o crescimento de fungos e manchas seja ampliado, se a presença de humidade aumentar, podendo por estas razões existir uma degradação acelerada dos rebocos. Esta possibilidade existe sobretudo pelo facto do regranulado negro e pó de cortiça serem materiais orgânicos, o que pode proporcionar a libertação de substâncias que, com a presença de água, se espalhem mais facilmente na argamassa. No entanto deve-se lembrar que a cortiça, por si só, é um material imputrescível e quimicamente inerte.

A aderência de tintas à argamassa de reboco com regranulado negro de cortiça poderá ser menor do que em argamassas correntes. Esta extrapolação é feita com base no facto dos maiores grânulos (do regranulado negro) presentes na argamassa possuírem baixa absorção de água, o que os torna menos aptos a ligarem-se com materiais que no momento da aplicação se encontram em estado líquido. A existência de agregados de menor dimensão pode contrariar este efeito.

Devido ao facto de se utilizarem agregados de dimensões superiores ao comum, a lisura da superfície do reboco deverá ser prejudicada. O reboco será menos rígido e mais flexível, adaptando-se melhor a pequenas deformações que o paramento venha a apresentar. A resistência mecânica será bastante menor do que numa argamassa corrente.

Apesar de neste trabalho experimental não se abordar o problema do isolamento acústico é expectável que a substituição de areia por regranulado negro de cortiça em argamassas de reboco traga vantagens a este nível devido às suas reconhecidas propriedades acústicas.

Espera-se que as características térmicas das argamassas através da introdução de regranulado negro sejam fortemente melhoradas, contribuindo assim para que os paramentos

onde venham a ser aplicadas se comportem de forma mais eficiente do ponto de vista térmico. Desta forma deverá ser reduzida a probabilidade da existência de condensações superficiais nos rebocos, o que está normalmente associado a inúmeras patologias de paramentos interiores.

4 Descrição da campanha experimental

4.1 Considerações gerais

Neste trabalho experimental faz-se a análise de diversas argamassas de cal hidráulica e bastardas de cal hidráulica e cimento, de forma a avaliar o seu potencial desempenho como argamassas de reboco em edifícios que, à partida, apresentem alguns problemas térmicos e de condensações superficiais, bem como em edifícios novos.

Com a substituição parcial ou total de areia por regranulado negro de cortiça e/ou pó de cortiça, as argamassas adquirem características distintas, como é o caso da trabalhabilidade. Considerando-se que esta característica, em particular, deve ser conservada para que as condições de aplicação em obra sejam semelhantes, surgiu a necessidade de realizar alguns ensaios prévios para que se obtenha o nível de trabalhabilidade desejado, em função da modificação das relações A/L.

Os ensaios das argamassas no estado endurecido abordam essencialmente aspectos do desempenho físico associados à sua aplicabilidade em revestimentos interiores de paredes em que o desempenho térmico não é o mais adequado. Deste modo, as características em questão são avaliadas através do ensaio de provetes prismáticos e lajetas, assim como, da aplicação de uma camada de reboco de 2 cm em tijolos, onde se tenta recriar a aplicação da argamassa em obra, Figura 4.1.



Figura 4.1 - Provetes produzidos antes da desmoldagem

Para os ensaios realizados no âmbito deste trabalho, sempre que possível, são seguidos os princípios de documentos normativos e especificações aplicáveis para a caracterização dos materiais em avaliação. No entanto, devido à especificidade das argamassas em questão e da disponibilidade dos meios necessários, surge a necessidade de por vezes adaptar procedimentos.

4.2 Descrição do plano de ensaios

4.2.1 Descrição geral

Nesta campanha experimental, como já referido, decidiu-se fazer o estudo de argamassas de cal hidráulica e argamassas bastardas de cal hidráulica e cimento, de acordo com as razões já apontadas, tendo por orientação aproximar, sempre que possível, a composição destas argamassas às argamassas de reboco correntes. Deste modo, opta-se por traços volumétricos semelhantes aos habitualmente utilizados (Agostinho, 2008), ou seja, 1:3 no caso das argamassas de cal hidráulica e 0,5:0,5;3 no caso das argamassas bastardas. Os traços volumétricos são mantidos na produção de todas as argamassas para que seja possível fazer a comparação de resultados com a modificação da mistura de agregados.

Para cada mistura ligante é produzida uma argamassa utilizando como agregados apenas a areia. Estas argamassas foram produzidas para que exista uma argamassa de controlo e conseqüentemente seja possível quantificar o impacto da inclusão do regranulado negro de cortiça e do pó de cortiça. As argamassas são produzidas com percentagens de cortiça (em relação ao volume total dos agregados) a partir dos 40%, seguindo-se também a produção de argamassas com 60%, 80% e 100% de cortiça (as duas últimas só nas argamassas bastardas). Para além da variação da quantidade de RNC na argamassa também se utilizará mais do que uma granulometria deste material, para que seja possível analisar a sua influência no desempenho das argamassas.

O plano de ensaios incide, essencialmente, sobre as características físicas e não mecânicas das argamassas, embora, de forma a aferir se as argamassas são viáveis como material de revestimento, sejam realizados os ensaios de resistência à compressão e flexão, aos 14 dias.



Figura 4.2 - Provetes prismáticos na câmara húmida

Quanto ao processo da elaboração das diversas amassaduras, o processo de mistura utilizado foi igual nas argamassas de controlo, nas argamassas com RNC e aquele que por norma é

utilizado nos trabalhos laboratoriais que anteriormente decorreram no DECivil. Neste processo existiu apenas existiu uma pequena particularidade, que consistiu em adicionar os agregados pela ordem inversa à sua massa volúmica. As condições de cura para os provetes produzidos para cada um dos ensaios são idênticas, qualquer que seja a composição estudada de forma a ter resultados comparáveis. Os provetes prismáticos (160 x 40 x 40 mm) depois de produzidos, ficaram durante 24 horas nos moldes, em condições ambiente, e depois de desmoldados foram colocados durante 6 dias numa “câmara húmida”, com humidade relativa de $95 \pm 5\%$ e temperatura de $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, Figura 4.2. As argamassas aplicadas em tijolos, depois de aplicadas, ficam 24 horas em ambiente não controlado, nas condições ambientais existentes no Laboratório de Construção do DECivil, e posteriormente são transferidas para uma “câmara seca” com $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura e humidade relativa de $50 \pm 5\%$. Por fim, as lajetas produzidas têm um tratamento semelhante às argamassas aplicadas em tijolo, embora até que sejam transferidos para a “câmara seca” seja necessário aguardar 48 horas para que a desmoldagem seja possível sem que ocorram problemas, Figura 4.3.



Figura 4.3 - Lajeta na câmara seca

Por fim, deve-se referir que todos os materiais utilizados se encontravam acondicionados em barricas fechadas, o que permite que as suas condições de armazenamento se mantenham sem variações significativas ao longo de todo o trabalho. Os agregados antes de utilizados foram colocados numa estufa a $100 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ e posteriormente arrefecidos, para que o teor em água dos agregados no momento da utilização seja constante.

4.2.2 Formulações estudadas

Este trabalho tem como objectivo analisar as consequências da introdução de regranulado negro de cortiça e a influência da respectiva granulometria nas argamassas produzidas. Deste modo, manteve-se o traço volumétrico inalterado ao longo de todo o processo experimental e a introdução de regranulado negro de cortiça “obrigou” à retirada do mesmo volume de areia da mistura. Como já referido, a garantia das condições de aplicação em obra, nomeadamente ao nível da trabalhabilidade, tornou necessária a realização de ensaios preliminares para a

determinação de curvas de trabalhabilidade em função da relação A/L utilizada para cada formulação tentada.

As percentagens de regranulado negro de cortiça utilizadas variam desde os 40% até aos 100% da mistura de agregados com várias combinações como se identifica na Tabela 4.1. Foram utilizadas três diferentes granulometrias de material derivado de cortiça, denominados neste trabalho de R1, R2 e R3, que correspondem ao “regranulado fino”, ao “regranulado grosso” e ao “pó de cortiça”, respectivamente.

Tabela 4.1 - Quadro resumo da mistura de agregados de cada argamassa estudada

Argamassas de Cal Hidráulica	Argamassas Bastardas
<ul style="list-style-type: none"> • 100% de Areia (Argamassa CH 100A) • 60% de Areia + 40% de R1 (Argamassa CH 60A+R1) • 40% de Areia + 60% de R1 (Argamassa CH 40A+R1) • 60% de Areia + 40% de R2 (Argamassa CH 60A+R2) • 40% de Areia + 60% de R2 (Argamassa CH 40A+R2) 	<ul style="list-style-type: none"> • 100% de Areia (Argamassa CH+C 100A) • 60% de Areia + 40% de R1 (Argamassa CH+C 60A+R1) • 40% de Areia + 60% de R1 (Argamassa CH+C 40A+R1) • 20% de Areia + 40% de R1 + 40% de R3 (Argamassa CH+C 20A+40R1+40R3) • 60% de Areia + 40% de R2 (Argamassa CH+C 60A+R2) • 40% de Areia + 60% de R2 (Argamassa CH+C 40A+R2) • 20% de Areia + 40% de R2 + 40% de R3 (Argamassa CH+C 20A+40R2+40R3) • 30% de R1 + 70% de R3 (Argamassa CH+C 30R1+70R3)

Para além destas composições outras misturas foram produzidas, embora não se tenha obtido misturas com o mínimo de consistência. Este facto provocou o abandono dessas mesmas composições, por se considerar que eram misturas sem interesse e inviáveis para o estudo em questão.

4.2.3 Plano de ensaios

Os ensaios realizados no âmbito desta campanha experimental podem ser divididos em três tipos, os de caracterização dos materiais a utilizar nas amassaduras, de caracterização das argamassas no estado fresco e, finalmente, de caracterização das argamassas no estado endurecido. Os ensaios realizados efectuados em cada uma dessas fases são enumerados de seguida.

4.2.3.1 Ensaios de caracterização dos materiais

Areias

Para as areias de rio utilizadas, Figura 4.4, na produção das argamassas, fez-se a análise granulométrica, determinou-se a baridade, a absorção de água e a massa volúmica da mesma.



Figura 4.4 - Tabuleiro com areia

Regranulado negro de cortiça e pó de cortiça

Para o regranulado negro e pó de cortiça, Figura 4.5, foi determinada a baridade de cada uma das granulometrias utilizadas. Tal como nas areias, fez-se a análise granulométrica do regranulado negro de cortiça, o que não aconteceu para o pó de cortiça. Esta decisão foi tomada devido à reduzida massa e dimensão das partículas em questão. Estas propriedades do pó de cortiça levam a que grande parte do material fique presa aos peneiros devido a cargas electrostáticas. No entanto, colocou-se uma amostra de pó de cortiça, R3, num peneiro com abertura de 0,250 mm e realizou-se uma lenta e cuidadosa peneiração manual, observando-se que a (quase) totalidade deste material passou através desta malha.



Figura 4.5 - Tabuleiro com regranulado negro de cortiça

Ligantes

Para os ligantes utilizados, cal hidráulica e cimento portland, Figura 4.6, foi determinada a baridade, com o objectivo de facilmente se converter o traço volumétrico em traço em massa.

No entanto, a empresa fabricante dos ligantes em questão fornecem mais informação sobre os mesmos nas respectivas fichas técnicas. Nestes documentos, apresentados nos Anexos B e C, é possível conhecer melhor as propriedades mecânicas, químicas e físicas dos ligantes, assim como os principais cuidados a ter durante a sua aplicação.



Figura 4.6 - Tabuleiros com os ligantes utilizados

4.2.3.2 Ensaios prévios de determinação da relação A/L a utilizar

Para cada argamassa produzida foi necessário realizar ensaios para que se determinasse a relação A/L ideal para que se obtivesse a consistência pretendida.

4.2.3.3 Ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco

Nas argamassas produzidas realizaram-se ensaios de consistência por espalhamento e de determinação da massa volúmica aparente.

4.2.3.4 Ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido

Nas argamassas no estado endurecido foram realizados os seguintes ensaios:

- Resistência à compressão e flexão, aos 14 dias;
- Absorção de água por capilaridade;
- Absorção de água sob baixa pressão;
- Teor em água às 48 horas;
- Secagem;
- Arrancamento em argamassas pintadas;
- Resistência à colonização por fungos;
- Condutibilidade térmica.

4.3 Caracterização dos materiais constituintes

4.3.1 Caracterização dos agregados

4.3.1.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica dos agregados foi efectuada segundo o procedimento da norma NP EN 933-2 (IPQ, 1999), com a série de peneiros especificada, ou seja, 0,063; 0,125; 0,250;

0,500; 1,00; 2,00; 4,00; 8,00 [mm]. Os peneiros são colocados uns em cima dos outros, pela ordem indicada, com os peneiros de maior abertura a ficar no topo da pilha, Figura 4.7.



Figura 4.7 - Análise granulométrica

Desta forma, após a secagem dos agregados numa estufa, à temperatura de 100 ± 5 °C, a amostra é colocada no topo da pilha de peneiros e procede-se à peneiração mecânica. Após a peneiração é determinada a massa da amostra que fica retida em cada peneiro. Com os resultados obtidos traça-se a curva granulométrica, determinando-se também a mínima e máxima dimensão dos agregados. A dimensão mínima e máxima dos agregados representam a abertura do peneiro através do qual não passa mais do que 5% do agregado e a abertura do peneiro onde passa pelo menos 90% do agregado, respectivamente.

4.3.1.2 Baridade

A baridade corresponde à massa de agregado seco que preenche uma unidade de volume aparente, ou seja, incluindo o volume de vazios entre partículas. Neste trabalho a determinação da baridade da areia foi realizada através da aplicação da norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2002).



Figura 4.8 - Material utilizado no ensaio e determinação da massa do recipiente

A baridade é medida em provetes sem compactação e efectua-se a medição da massa de três provetes elementares, Figura 4.8 e Figura 4.9, dos quais se calcula a média dos valores resultantes da seguinte expressão:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (4.1)$$

Sendo,

ρ_b a baridade, em gramas por litro;

m_2 a massa do recipiente e provete, em gramas;

m_1 a massa do recipiente vazio, em gramas;

V a capacidade do recipiente, em litros.



Figura 4.9 - Execução do ensaio de determinação da baridade em agregados

4.3.1.3 Absorção de água e massa volúmica

A absorção de água e a massa volúmica da areia foram determinados através da aplicação da norma NP EN 1097-6 (IPQ, 2003), segundo o método do picnómetro. Assim, determinou-se a massa volúmica dos agregados saturados com a superfície seca, e ainda, a massa volúmica das partículas secas em estufa, a massa volúmica do material impermeável das partículas e, por fim, a absorção de água da areia.

O ensaio consiste na imersão do provete (de massa superior a 1Kg, como determina a norma) no picnómetro, agitando-se cuidadosamente o mesmo de modo a eliminar o ar ocluído, ficando depois este conjunto em banho-maria durante aproximadamente 24 horas. Após este período de repouso, o picnómetro é retirado do banho-maria e voltou a remover-se o ar ocluído. Concluída esta operação, adicionou-se água no picnómetro até transbordar e, depois de secar a superfície exterior do picnómetro, efectuiu-se a pesagem (M_2).

A esta sequência seguiu-se a decantação da maioria da água que cobria o provete e o esvaziamento do picnómetro sobre um tabuleiro. O picnómetro voltou a encher-se, mas apenas com água, e procedeu-se à pesagem (M_3).

O provete, já colocado sobre o tabuleiro, é deixado numa zona ventilada para que a humidade superficial dos agregados evapore. Quando o provete saturado fica com superfície seca, volta-se a efectuar uma pesagem (M_1), Figura 4.10.



Figura 4.10 – Areia saturada com superfície seca no ensaio de absorção de água

Por fim, seca-se a areia em estufa à temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até se obter massa constante e regista-se esse valor (M_4).

As massas volúmicas dos agregados foram calculadas através das seguintes expressões:

$$\rho_a = \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)]/\rho_w} \quad (4.2)$$

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)]/\rho_w} \quad (4.3)$$

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{[M_4 - (M_2 - M_3)]/\rho_w} \quad (4.4)$$

Já o cálculo da absorção de água é realizado pela aplicação da fórmula que se segue:

$$WA_{24} = \frac{M_1 - M_4}{M_4} \times 100 \quad [\%] \quad (4.5)$$

Sendo,

ρ_a a massa volúmica do material impermeável das partículas (kg/dm^3);

ρ_{rd} a massa volúmica das partículas secas em estufa (kg/dm^3);

ρ_{ssd} a massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca (kg/dm^3);

ρ_w a massa volúmica da água (kg/dm^3);

WA_{24} a absorção de água após imersão em água durante 24h (%);

M_1 a massa do agregado saturado com superfície seca (g);

M_2 a massa do picnómetro contendo o provete imerso na água e saturado (g);

M_3 a massa do picnómetro cheio de água (g);

M_4 a massa do provete de ensaio seco em estufa (g).

4.3.2 Caracterização dos ligantes

4.3.2.1 Baridade

A baridade dos ligantes foi determinada de forma a procurar reproduzir o procedimento adoptado em obra. Assim, para o seu cálculo preencheu-se de uma só vez um recipiente de 3 dm³ com o ligante em causa, retirando de seguida o excesso com o auxílio de uma régua. Posteriormente, avalia-se a massa do conjunto “recipiente + provete” e repete-se o mesmo procedimento mais duas vezes.

Por fim, a baridade é calculada através da aplicação da seguinte expressão:

$$\text{Baridade} = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [\text{g/dm}^3] \quad (4.6)$$

Sendo,

m_2 a massa do recipiente e provete, em gramas;

m_1 a massa do recipiente vazio, em gramas;

V a capacidade do recipiente, em litros.

4.4 Caracterização das argamassas no estado fresco

4.4.1 Consistência por espalhamento

A consistência das argamassas foi determinada através do ensaio de espalhamento, seguindo o princípio estabelecido na norma EN 1015-3 (IPQ, 1999). Neste ensaio, que se realiza logo após a produção de uma argamassa, enche-se um molde tronco-cónico, colocado no centro do disco da mesa de espalhamento, com a argamassa fresca até cerca de metade da sua capacidade e procede-se à sua compactação com um varão aplicando 15 pancadas, Figura 4.11.



Figura 4.11 - Fase inicial do ensaio de espalhamento

De seguida procede-se ao enchimento da restante capacidade do molde e aplica-se novamente 15 pancadas. O material é então rasado pelo nível do molde, para que o excesso de argamassa seja retirado, e retira-se o molde tronco-cônico de forma cuidadosa. Por fim, submete-se a amostra à acção de 25 pancadas, aplicadas em aproximadamente 15 segundos, no disco da mesa de espalhamento, Figura 4.12.



Figura 4.12 - Fase final do ensaio de espalhamento

O espalhamento é expresso pela diferença entre a média de três diâmetros (D_{med}), correspondentes ao espalhamento registado pela amostra de argamassa em diferentes direcções, e o diâmetro inicial do provete de argamassa, neste caso 100 mm, de modo a obter-se o resultado em percentagem, tal como apresentado de seguida.

$$Espalhamento = \frac{D_{med} - 100}{100} \times 100 [\%] \quad (4.7)$$

Deve-se referir que este ensaio para além de utilizado na avaliação da consistência por espalhamento das argamassas no estado fresco, também foi utilizado para a definição de cada relação A/L a utilizar na produção das argamassas.

4.4.2 Massa volúmica aparente

A determinação da massa volúmica aparente, neste trabalho, segue o que está estabelecido na norma EN 1015-6 (IPQ, 1998). Deste modo, através de um procedimento simples e rápido é

possível determinar a massa volúmica aparente da argamassa através do quociente entre a massa e o volume ocupado pela amostra, através de condições de compactação referidas nesse documento.

De acordo com o descrito na norma europeia utilizada, depois de preparada a argamassa, enche-se até metade um recipiente com capacidade de 1 dm³. A esta acção segue-se a compactação da argamassa, através da aplicação de 15 pancadas com um varão de compactação. Volta-se a colocar mais argamassa no recipiente, até este encher e ficar com algum excesso de argamassa, e volta-se a proceder à acção de compactação, desta vez na segunda camada. Posteriormente, com auxílio de uma régua alisa-se a superfície da argamassa no recipiente, sem que se induza maior compactação com este movimento, e retira-se a argamassa em excesso e pesa-se o conjunto “recipiente + argamassa”, Figura 4.13.



Figura 4.13 - Determinação da massa volúmica aparente da argamassa

O valor da massa volúmica aparente (MVA) é obtido através da divisão da massa da argamassa no interior do recipiente utilizado pelo seu volume, ou seja,

$$MVA = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [kg/dm^3] \quad (4.8)$$

Sendo,

m_2 a massa do recipiente e provete, em quilogramas;

m_1 a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V a capacidade do recipiente, em dm³.

4.5 Caracterização das argamassas no estado endurecido

4.5.1 Resistência à flexão e compressão

O ensaio para determinação da resistência à flexão realizou-se de acordo com o princípio da norma EN 1015-11 (IPQ, 1999), embora se tenham antecipado os ensaios em relação ao previsto nesse mesmo documento. A alteração na idade da realização dos ensaios deve-se ao objectivo destes trabalhos, em que apenas se quer aferir se as argamassas produzidas têm

resistências mecânicas acima de um patamar mínimo. De acordo com esta linha de pensamento, decidiu-se analisar as resistências à flexão e compressão aos 14 dias, em vez dos 28 dias estipulados.

Para a execução destes ensaios foi necessário produzir um molde de três provetes, para cada uma das argamassas. O método de ensaio, como referido, é o disposto na norma europeia EN 1015-11 (IPQ, 1999), que consiste em assentar o provete sobre dois apoios cilíndricos e posteriormente aplicá-lo a forças gradualmente crescentes, a meio vão, até que ocorra a ruptura, Figura 4.14. Com o valor máximo da força aplicada é possível calcular a tensão de ruptura do provete.

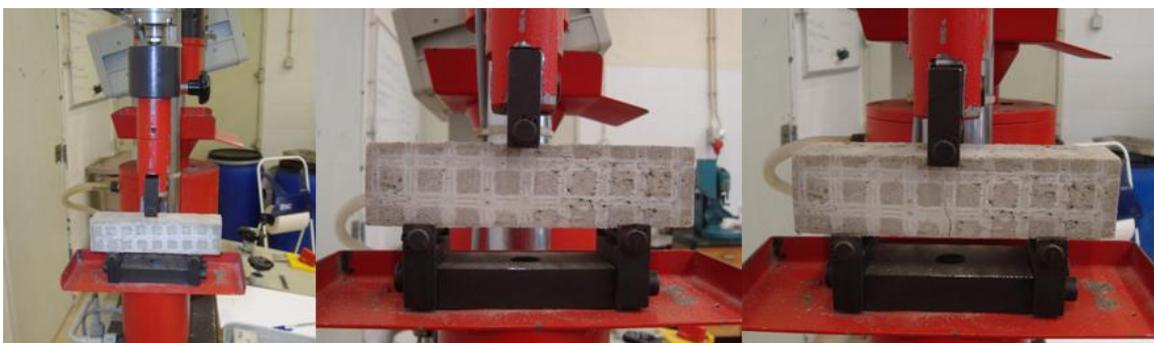


Figura 4.14 - Ensaio de resistência à flexão

No ensaio de resistência à compressão são utilizados os meios provetes que resultam do ensaio de resistência à flexão. Neste ensaio aplica-se numa dada área uma carga de compressão, até à ruptura do material, da forma referida na norma europeia, determinando-se a carga máxima suportada pelo provete, Figura 4.15.



Figura 4.15 - Ensaio de resistência à compressão

Para a obtenção das tensões de ruptura à flexão e compressão dos provetes analisados utilizam-se as seguintes expressões:

$$f_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{d_1 \times d_2^2} \cong 0,00234 \times F_f \quad [MPa] \quad (4.9)$$

$$f_c = \frac{F_c}{A} = 0,000625 \times F_c \quad [MPa] \quad (4.10)$$

Sendo,

f_f a tensão de ruptura à flexão;

F_f a carga aplicada a meio-vão na ruptura à flexão, em Newtons;

L a distância entre os apoios cilíndricos, neste caso 100 mm;

d_1 e d_2 as dimensões das arestas dos topos do provete utilizado, ou seja, 40 mm;

f_c a tensão de ruptura à compressão;

F_c a carga aplicada na ruptura à compressão, em Newtons;

A a área da zona comprimida, ou seja, $40 \times 40 = 1600 \text{ mm}^2$.

Por fim, deve-se calcular a média dos três e seis ensaios para a flexão e compressão, respectivamente.

4.5.2 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade, realizado para verificar as modificações que a introdução do regranulado negro de cortiça escolhido provoca nas argamassas, baseia-se na especificação do LNEC E 393 (LNEC, 1993).

Neste ensaio a absorção de água por capilaridade é traduzida pela diferença entre a massa do provete que esteve com uma das faces em contacto com a água durante determinado intervalo de tempo e a massa do provete seco, dividida pela área da superfície em contacto com a água. Também é comum apresentar a absorção por capilaridade em função da altura média da ascensão capilar, medida perpendicularmente à face do provete que se encontra em contacto com a água.

Para a execução do ensaio produziram-se três provetes prismáticos de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$, que após os 28 dias de idade foram colocados em estufa a $60 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, durante 48 horas, sendo depois arrefecidos dentro de um excicador com sílica gel, durante 24 horas, Figura 4.16. Após a realização deste procedimento preparatório, colocaram-se algumas varetas de vidro e água dentro de um tabuleiro até uma altura de $5 \pm 1 \text{ mm}$. Depois disto deve-se posicionar os provetes em cima das varetas e se necessário ajustar o nível da água, Figura 4.16. De seguida, cobre-se o tabuleiro que contém os provetes com uma campânula, Figura 4.16, de modo a minimizar o efeito da evaporação da água, embora se deva verificar periodicamente e corrigir sempre que necessário a altura da água no tabuleiro.



Figura 4.16 - Ensaio de absorção de água por capilaridade

As medições efectuaram-se aos 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 1 h, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h, 48 h e 72 h. O ensaio das argamassas bastardas foi prolongado e também foram realizadas medições às 96 h, 144 h e 192 h. A decisão de prolongar as medições nas argamassas bastardas surgiu devido à menor velocidade de absorção nestas argamassas.

Os resultados, como foi explicado mais atrás, são determinados com base na variação da massa dos provetes e na altura da ascensão, de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\frac{\Delta m_i}{S} = \frac{m_2 - m_1}{A} \quad [kg/m^2] \quad (4.11)$$

$$h_i = \frac{h_i^1 + h_i^2 + h_i^3 + h_i^4}{4} \quad [mm] \quad (4.12)$$

Onde,

$\Delta m_i/S$ é a absorção capilar do provete i ;

m_1 é a massa do provete seco, em quilogramas, no início do ensaio;

m_2 é a massa do provete após um determinado intervalo de tempo, em quilogramas;

A é a área da face em contacto com a água, neste caso, $0,04 \times 0,04 = 0,0016 \text{ m}^2$;

h_i é a altura média do provete i ;

h_i^j é a altura da face j do provete i , em milímetros.

Por fim, deve calcular-se as médias para cada argamassa formulada.

4.5.3 Absorção de água a baixa pressão

O ensaio de absorção de água a baixa pressão foi realizado segundo o método do cachimbo (RILEM, 1980). Os provetes produzidos para a realização deste ensaio são constituídos por uma camada de reboco, com espessura de cerca de 2 cm, aplicada num tijolo previamente submerso durante 2 horas. Os provetes utilizados neste ensaio foram ensaiados 28 dias após a produção das argamassas.

Neste ensaio são utilizados tubos de vidro graduados, em forma de cachimbo, com capacidade de 4 ml, que são posicionados à superfície do revestimento com auxílio de uma massa de fixação, Figura 4.17. A secção destes cachimbos em contacto com a água possui um diâmetro de 27 mm.

Após a montagem de todo o material, procede-se ao enchimento dos cachimbos até à marca dos 4 ml, tal como mostrado na Figura 4.17, e procede-se à medição dos valores absorvidos em determinados instantes pré-definidos, assim como o intervalo de tempo necessário para a absorção total dos 4 ml de água.

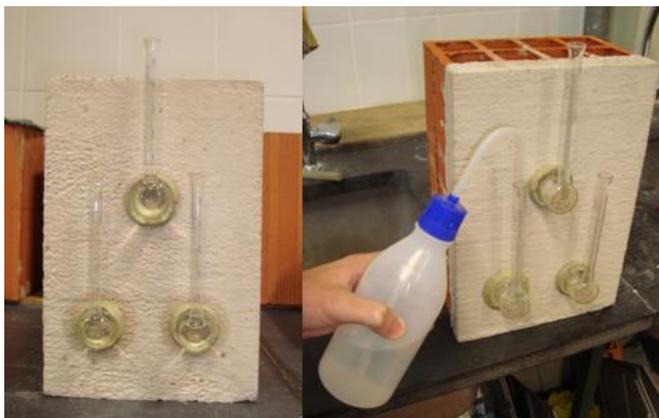


Figura 4.17 - Ensaio de absorção de água a baixa pressão

Os instantes em que foram medidos os valores de absorção de água foram os seguintes: 15 seg, 30 seg, 60 seg, 90 seg, 2 min, 3 min, 4 min, 5 min, 7 min, 10 min e posteriormente a cada 2 minutos enquanto os 4 ml de água não foram totalmente absorvidos.

Para a análise de resultados são posteriormente traçadas curvas de absorção, em função da raiz quadrada do tempo em segundos.

4.5.4 Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão segue no essencial o determinado na especificação do LNEC E 394 (LNEC, 1993), apenas com as modificações consideradas necessárias devido ao material em análise não ser betão.

Para a realização deste ensaio utilizaram-se 3 provetes prismáticos, de 40 x 40 x 160 mm, com idade de 28 dias, de cada composição estudada. Estes provetes foram submetidos a secagem em estufa, a 60 ± 5 °C, durante dois dias, e arrefecidos num excicador com sílica gel durante 24 horas, Figura 4.18.

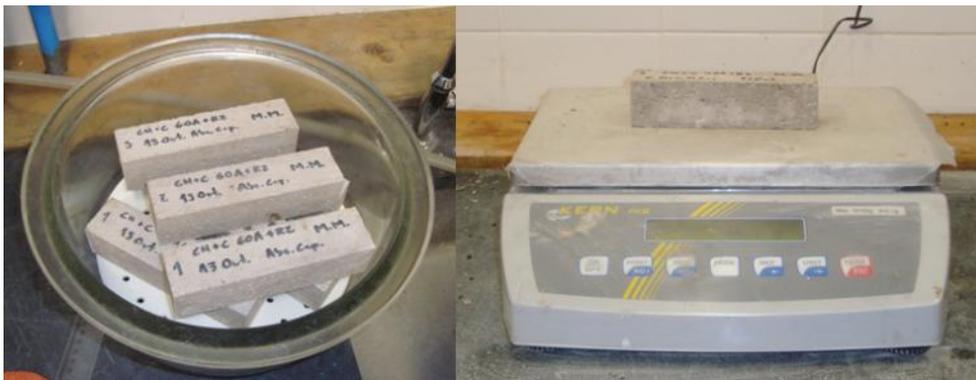


Figura 4.18 - Colocação dos provetes no excicador e pesagem

Após este processo de preparação dos provetes, procedeu-se ao registo da massa seca dos provetes, Figura 4.18, ao que se seguiu a sua imersão por um período de 48 horas, Figura 4.19. Depois deste intervalo de tempo, os provetes foram retirados da água e a sua superfície foi limpa com um pano húmido, Figura 4.19, e a sua massa novamente registada.



Figura 4.19 - Colocação dos provetes dentro de água e limpeza da água superficial com pano

Deve-se salientar que durante a operação de colocação dos provetes em água existiram cuidados para que na face interior destes não ficassem retidas bolhas de ar. Devido à especificidade das argamassas produzidas, nos provetes de menor massa volúmica foi necessário proceder à colocação de provetes de maior massa volúmica para que as essas não flutuassem.

Para a avaliação da absorção de água por imersão é, normalmente, calculado o teor em água por imersão, ao fim de 48 horas, através da seguinte expressão:

$$W_{48h} = \frac{m_{48h} - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 \quad [\%] \quad (4.13)$$

Onde,

m_{48h} é a massa do provete húmido após imersão durante 48 horas, em gramas;

m_{seca} é a massa do provete seco antes de imersão, em gramas.

No entanto, como as argamassas produzidas no âmbito deste trabalho têm massas volúmicas muito distintas, o teor em água por imersão não transmite a verdadeira dimensão da quantidade de água absorvida. Este facto é evidente se observarmos um caso hipotético em que a diferença entre o provete seco e húmido é igual, mas onde o provete em análise tem o dobro da massa volúmica do outro. Nesta situação a argamassa correspondente ao provete de maior massa terá um teor de absorção igual a metade do outro, como é comprovado na seguinte demonstração:

Considerando que $m_{seca}^i = 2 \times m_{seca}^j$ e $\Delta m_{\acute{a}gua}^i = \Delta m_{\acute{a}gua}^j$ e sabendo que $m_{48h} = m_{seca} + \Delta m_{\acute{a}gua}$,

$$W_{48h}^i = \frac{m_{48h}^i - m_{seca}^i}{m_{seca}^i} \times 100 = \frac{m_{seca}^i + \Delta m_{\acute{a}gua}^i - m_{seca}^i}{m_{seca}^i} \times 100 = \frac{\Delta m_{\acute{a}gua}^i}{2m_{seca}^j} \times 100 \quad (4.14)$$

$$W_{48h}^j = \frac{m_{48h}^j - m_{seca}^j}{m_{seca}^j} \times 100 = \frac{m_{seca}^j + \Delta m_{\acute{a}gua}^j - m_{seca}^j}{m_{seca}^j} \times 100 = \frac{\Delta m_{\acute{a}gua}^j}{m_{seca}^j} \times 100 \quad (4.15)$$

$$\frac{W_{48h}^i}{W_{48h}^j} = \frac{\frac{\Delta m_{\acute{a}gua}^i}{2m_{seca}^j} \times 100}{\frac{\Delta m_{\acute{a}gua}^j}{m_{seca}^j} \times 100} \Leftrightarrow W_{48h}^i = \frac{1}{2} \times W_{48h}^j \quad (4.16)$$

Deste modo, para que ao analisar os dados resultantes deste ensaio não sejamos induzidos em erro, optou-se por também apresentar os dados em função do volume de água absorvido, $V_{48h}^{\acute{a}gua}$, aplicando a seguinte expressão:

$$V_{48h}^{\acute{a}gua} = \frac{m_{48h} - m_{seca}}{1000} \times 1000 \quad [\text{cm}^3] \quad (4.17)$$

4.5.5 Secagem após imersão

No ensaio de secagem após imersão pretende-se avaliar as características das argamassas de revestimento quanto à sua rapidez de secagem, analisando a influência da introdução de regranulado negro de cortiça.

O ensaio, no essencial, consiste em impermeabilizar as faces laterais de um provete para que, após saturação da argamassa, a evaporação ocorra apenas numa direcção, através de uma face de área conhecida.

Para a execução deste ensaio foram produzidos 4 provetes prismáticos de 40 x 40 x 80 mm, a partir do corte com rebarbadora de dois prismas de 40 x 40 x 160 mm. Embora seja frequente a utilização de provetes resultantes do ensaio de resistência à flexão, neste caso, optou-se por

não o fazer, pois a existência de micro-fissuras nos prismas poderia modificar de algum modo os resultados.

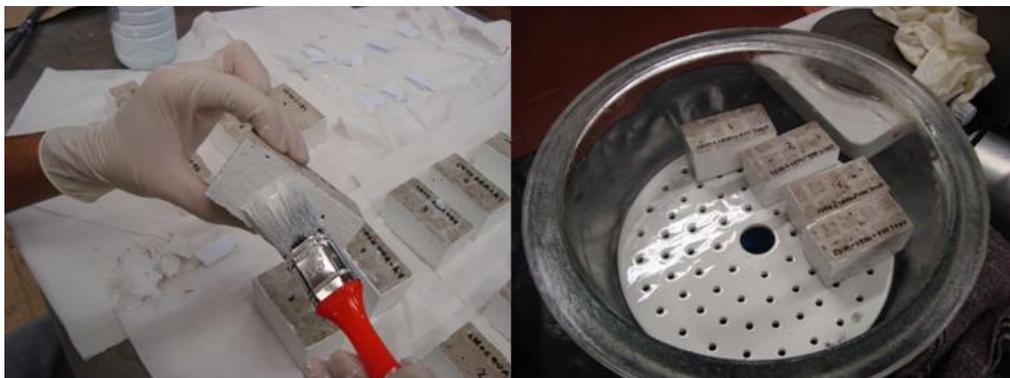


Figura 4.20 - Operação de impermeabilização das faces laterais e colocação de provetes no excicador

Posto isto, aplica-se com trincha uma primeira camada de uma tinta com base em resina epoxi (Icosit K 25, da Sika) nas faces laterais do provetes, Figura 4.20. Após secagem, durante de 24 horas como indicado na ficha técnica do produto, aplica-se uma segunda camada que permanece em secagem durante 8 dias. A aplicação deste material com base em resina epoxi serve para que as faces laterais dos provetes fiquem com uma camada de impermeabilização, evitando assim a evaporação através dessa zona.



Figura 4.21 - Pesagem dos provetes secos e colocação dos provetes dentro de água

Depois de aplicada a tinta epoxi, segue-se a secagem dos provetes em estufa a 60 ± 5 °C, durante 48 horas, Figura 4.20. Decorrido o período indicado faz a medição da massa de cada provete a ensaiar e procede-se à imersão em água, durante 48 horas, Figura 4.21. Após as 48 horas, retiram-se os provetes de água e regista-se a sua massa, ao que segue o isolamento de uma das faces com recurso a película aderente e elásticos, de modo a garantir que a evaporação tenha decorra de forma unidireccional, através de uma das faces do provete. Quando a película e os elásticos estão posicionados de forma correcta deve-se registar novamente as massas dos provetes, para que seja possível determinar a massa do conjunto “película + elásticos”. Deve-se referir que a avaliação da massa dos provetes deve ser feita até

que seja atingida massa constante, o que se considerou acontecer ao fim de 70 dias de secagem, com recurso a uma balança com precisão de 0,01 g.

Após registo das massas ao longo da duração do ensaio determina-se o teor em água em cada instante, W_i , aplicando a seguinte fórmula:

$$W_i = \frac{m_i - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 \quad [\%] \quad (4.18)$$

Onde,

m_i é a massa do provete, registada ao fim do tempo i , em gramas;

m_{seca} é a massa do provete seco em estufa, em gramas;

Tal como foi feito para o ensaio de absorção de água por imersão também se fará neste caso a análise do volume de água retido nas argamassas, com a aplicação da equação seguinte:

$$V_{t_i}^{água} = \frac{m_{t_i} - m_{seca}}{1000} \times 1000 \quad [\text{cm}^3] \quad (4.19)$$

Onde,

$V_{t_i}^{água}$ é o volume de água no instante i ;

m_{t_i} é a massa do provete húmido no instante i , em gramas;

m_{seca} é a massa do provete seco, em gramas.

Neste caso, com a análise a decorrer ao longo do tempo, e não apenas num único instante, é possível traçar uma curva do volume de água retida.

4.5.6 Ensaio de arrancamento em argamassas pintadas

O ensaio de arrancamento nas argamassas pintadas foi realizado de acordo com os princípios presentes na ISO 4624 (ISO, 2002). Este ensaio serviu para avaliar, de forma simples, a qualidade das camadas de reboco numa situação em que o acabamento é realizado através da aplicação de tintas de uso comum.

Com o objectivo de tornar a análise mais conclusiva e menos dependente da qualidade e das propriedades da tinta em questão, optou-se por realizar o ensaio por duas vezes, recorrendo a duas tintas distintas. Desta forma, foram utilizadas duas tintas aquosas com diferentes veículos fixos, mais concretamente, uma tinta acrílica (Stucomat, da Robbialac) e outra vinílica (REP, da Robbialac), as quais têm as respectivas fichas técnicas apresentadas nos Anexos D e E. De referir que o veículo fixo de uma tinta pode ser descrito, de modo simplificado, como o ligante da tinta. Este é o principal constituinte da tinta e tem por função agregar os vários sólidos presentes, fixando-os ao substrato (Cunha, 2009).

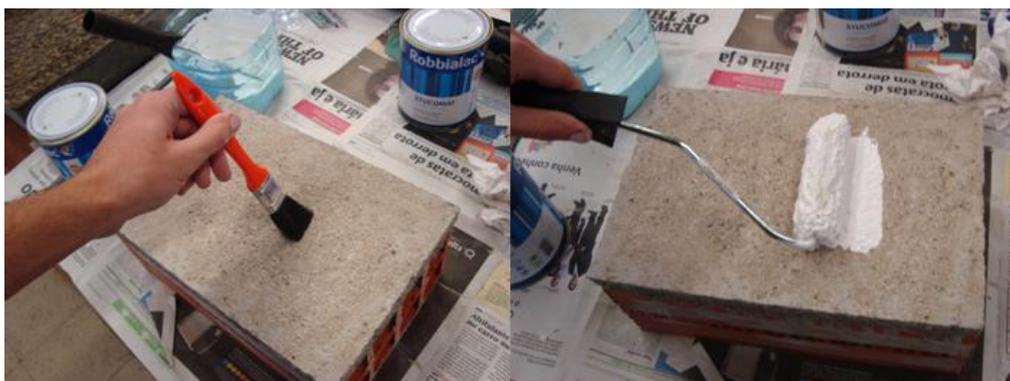


Figura 4.22 - Limpeza da superfície e aplicação da primeira demão nos rebocos

Para a realização do ensaio, foram produzidos 2 provetes de argamassa aplicada em tijolo para cada composição formulada, ou seja, no total foram necessários 26 provetes. Quando os provetes atingiram a idade de 28 dias, iniciou-se a aplicação da primeira demão, de cada tinta, no respectivo tijolo, Figura 4.22. A segunda demão foi aplicada de acordo com os intervalos de tempo estipulados nas respectivas fichas técnicas. De salientar que a operação de pintura das argamassas foi realizada com recurso a rolo e que não foi realizada nenhuma diluição das tintas com água.

Após a aplicação da segunda demão da tinta, os provetes foram deixados, durante cerca de 2 meses, no ambiente de laboratório, sem qualquer condicionamento no que diz respeito a humidade ou temperatura, para melhor simular as condições reais de aplicação.



Figura 4.23 - Execução dos entalhes e posicionamento das pastilhas de arrancamento

Após esta fase, efectuaram-se os entalhes circulares (3 por tijolo) com recurso a um berbequim com broca craniana diamantada, montado numa coluna vertical, Figura 4.23. A profundidade de perfuração mínima para a realização destes ensaios é de cerca de 3 mm, ou seja, não é importante que se corte a totalidade da espessura do reboco, mas sim a camada de tinta e a zona da argamassa em contacto com esta. Depois da preparação dos provetes fez-se uma limpeza cuidada da superfície destes, para de seguida se fazer a colagem das pastilhas de arrancamento. A colagem foi realizada com cola epoxi (Araldit Rápido) e deixou-se secar

durante, aproximadamente, 48 horas. Para a execução do ensaio de arrancamento em argamassas pintadas recorreu-se à utilização de um aparelho que faz a aplicação de uma força perpendicular à pastilha até que ocorra a ruptura, Figura 4.24. Apesar da ISO 4624 (ISO, 2002) indicar que as pastilhas de arrancamento devem ter um diâmetro de 20 mm foram utilizadas pastilhas de 50 mm, pois eram as existentes no Laboratório de Construção do DECivil, e o princípio do ensaio não é modificado devido a esta alteração.



Figura 4.24 - Execução do ensaio de arrancamento

Depois de ocorrer a ruptura, procede-se à análise visual, com o objectivo de se verificar qual das seguintes formas de ruptura ocorreu:

- Tipo A – ruptura coesiva no substrato ou argamassa;
- Tipo A/T – ruptura adesiva entre a argamassa e a camada de tinta;
- Tipo T – ruptura coesiva na camada de tinta.

Apesar da clara distinção entre as várias formas de ruptura indicadas, deve-se notar que é possível, e até bastante comum, que vários tipos de ruptura ocorram no mesmo ensaio de arrancamento. Deste modo, a par da tensão verificada no momento da ruptura, deve-se indicar, no resumo dos resultados obtidos, a percentagem de cada tipo de ruptura em cada ensaio, por exemplo, “1 MPa, 30% A, 70% A/T”.

Para a determinação da tensão de ruptura no arrancamento, σ_{rot} , aplica-se a seguinte fórmula:

$$\sigma_{rot} = \frac{F_{rot}}{A_{pastilha}} \quad [MPa] \quad (4.20)$$

Onde,

F_{rot} é a força de arrancamento na ruptura, em Newtons;

$A_{pastilha}$ é a área da pastilha de arrancamento, em mm^2 , neste caso $A_{pastilha} = \pi \times 25^2 \text{ mm}^2$.

4.5.7 Resistência ao desenvolvimento de fungos

De modo a aferir a tendência que as argamassas produzidas possam ter para fornecer boas características de desenvolvimento a várias espécies de fungos, considerou-se relevante a realização de um ensaio no qual este aspecto fosse o ponto em análise. Deste modo, a determinação da resistência ao desenvolvimento de fungos nas argamassas processou-se de acordo com uma adaptação das normas americanas ASTM G21-90 (ASTM, 1990) e ASTM D 5590-00 (ASTM, 2000).

Estas normas especificam que, através da aplicação de um método onde são criadas condições bastante favoráveis ao crescimento acelerado de fungos, é possível retirar informação, que posteriormente através do seu tratamento permite classificar qualitativamente argamassas no que diz respeito a este aspecto em particular. Neste caso, o fungo escolhido como representativo, para a realização do ensaio, foi o *Aspergillus niger*.

Este ensaio foi elaborado no LNEC, Departamento de Estruturas – Núcleo de Estruturas de Madeira, e para a execução do método escolhido foram produzidos 6 provetes, de cada uma das argamassas estudadas, com $40 \times 40 \times 15 \pm 2$ mm, através do corte de provetes prismáticos de $40 \times 40 \times 160$ mm. Embora se tenha feito a produção de 6 provetes para cada composição, apenas foi possível submeter 4 dos provetes produzidos a este procedimento.

Após os provetes de argamassa estarem prontos a ser ensaiados, foi necessário preparar uma suspensão de esporos do fungo *Aspergillus niger*, de modo a posteriormente montar, por fim, o ensaio. Esta suspensão foi diluída e dividida em quantidades semelhantes, para mais tarde colocar os provetes a ensaiar em iguais condições de exposição.

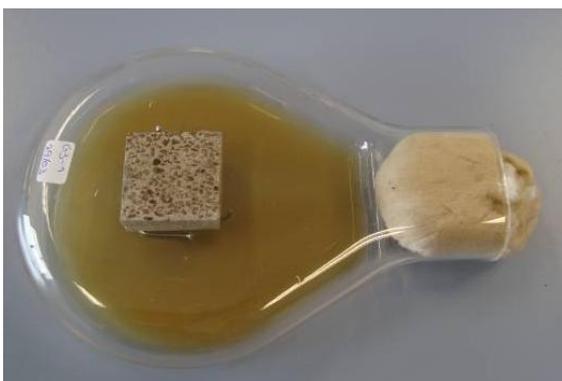


Figura 4.25 - Provetes de argamassa dentro do frasco de Kolle com a suspensão



Figura 4.26 - Provetes posicionados em ambiente controlado, durante o ensaio

Quando a suspensão de esporos está preparada, coloca-se e posiciona-se um provete de argamassa dentro de um frasco de Kolle com o auxílio de um suporte. Após este passo, a suspensão de esporos de *Aspergillus niger* é colocada dentro do mesmo recipiente de vidro (Figura 4.25). Depois da montagem do ensaio, a argamassa fica em contacto com a suspensão

de esporos do fungo utilizado. Durante as 4 semanas correspondentes ao ensaio os provetes ficam colocados numa sala com temperatura de 22°C e humidade relativa de 70% (Figura 4.26).

Como foi referido, o ensaio teve a duração de 4 semanas e durante esse período, no final de cada ciclo de 7 dias realizou-se uma avaliação da evolução do crescimento de fungos em cada argamassa produzida. Esta avaliação foi realizada com o auxílio de um microscópio óptico, onde foi possível verificar que percentagem da superfície da argamassa já se encontrava com colonização. A classificação da colonização dos fungos na superfície dos provetes faz-se de acordo com o indicado na Tabela 4.2:

Tabela 4.2 - Classificação do crescimento de fungos, segundo a ASTM D 5590-00

Crescimento observado nos provetes	Classificação
Nenhum	0
Vestígios de crescimento (<10%)	1
Crescimento ligeiro (10-30%)	2
Crescimento moderado (30-60%)	3
Crescimento intenso (60-100%)	4

No final das 4 semanas faz-se a comparação entre os crescimentos observados nas diversas argamassas, inclusive nas argamassas de controlo e nos REC.

Nas condições de ensaio, através da análise dos resultados obtidos, é possível retirar conclusões sobre o desenvolvimento de fungos nas argamassas produzidas, sendo possível identificar quais as argamassas mais vulneráveis a ataques de fungos.

Por fim, faz-se notar que embora a utilização mais usual das argamassas de reboco seja com um acabamento de pintura, e conseqüentemente seja dessa forma que as argamassas são colocadas perante a situação de colonização por fungos, optou-se por, neste caso de estudo, se realizar o ensaio em argamassas não pintadas.

4.5.8 Ensaio de condutibilidade térmica

Os ensaios de comportamento térmico foram realizados no LNEC, através do Departamento de Edifícios – Núcleo de Revestimentos e Isolamentos, seguindo as normas EN 12664 (IPQ, 2001), nos procedimentos para o ensaio da determinação da condutibilidade térmica, e a NP EN 1602 (IPQ, 1998), na determinação da massa volúmica.

Para a execução dos ensaios produziram-se 4 provetes de 300 x 300 x 50 ± 3 mm de cada uma das argamassas a estudar. No entanto, embora se tenha produzido 4 provetes de cada uma das formulações estudadas, devido a limitações na disponibilidade dos equipamentos do

Laboratório de Ensaios de Plásticos Celulares (LNEC/LEPC), apenas foi possível ensaiar 2 provetes de cada uma das composições. No que diz respeito às composições estudadas, decidiu-se apenas avaliar as características térmicas das argamassas produzidas com recurso de regranulado negro de cortiça e/ou pó de cortiça em quantidade igual ou superior a 60% da mistura de agregados.



Figura 4.27 - Pesagem após desmoldagem e colocação dos provetes em estufa

Os provetes produzidos, depois de desmoldados, foram colocados em câmara com ambiente controlado, a temperatura de 20 ± 2 °C e humidade relativa de 50 ± 5 %, até aos 28 dias de idade, Figura 4.27. Passado este período, entregaram-se os provetes no LNEC/LEPC, onde foram novamente colocados a secar em condições bastante semelhantes, no caso, temperatura de 23 ± 2 °C e humidade relativa de 50 ± 5 %, onde permaneceram até à data do seu ensaio.

Antes de se realizar o ensaio de condutibilidade térmica, os provetes foram pesados com o objectivo de determinar a sua massa volúmica aparente após condicionamento. Iniciou-se então o ensaio de condutibilidade térmica que, de forma simplificada, consiste na colocação do provete em análise entre duas placas do aparelho, sem deixar espaço entre estas e o provete. Estas placas criam então diferenciais de temperatura entre faces opostas do provete, o que possibilita a medição do fluxo de calor que se cria através do provete.

Os resultados do ensaio são obtidos a partir da média dos valores de condutibilidade térmica dos 2 provetes de cada tipo de argamassa estudada. Os valores da condutibilidade térmica obtidos, para cada composição estudada, podem ser comparados com os valores de referência (Santos e Matias, 2006) que outros materiais de construção apresentam. Pode-se assim estimar os ganhos a nível térmico que os materiais em estudo podem acarretar.

5 Análise dos Resultados

Neste capítulo analisam-se os resultados obtidos na campanha experimental. Para além de se pretender caracterizar as argamassas e os seus constituintes, também se apresentam os resultados que levaram a adoptar cada uma das relações A/L.

De modo a tornar a apresentação de resultados mais fácil e intuitiva, sempre que justificável, os dados são apresentados de forma gráfica e realizando a comparação entre as várias argamassas. Esta análise de resultados centra-se essencialmente nos seguintes objectivos: a avaliação das argamassas perante a percentagem e granulometria de regranulado negro e pó de cortiça utilizados, assim como a adaptabilidade destas variáveis às misturas ligantes escolhidas.

5.1 Caracterização dos constituintes das argamassas

As propriedades das argamassas estão intimamente ligadas com as características dos materiais utilizados na sua produção. Como tal, neste ponto procurou avaliar-se as características mais relevantes e que podem permitir uma melhor compreensão da adequabilidade dos materiais às funções a si destinadas no funcionamento das argamassas.

5.1.1 Análise granulométrica

O ensaio da análise granulométrica foi realizado com o objectivo de caracterizar os agregados, nomeadamente, a areia e os regranulados negros de cortiça seleccionados para este trabalho. Pelas razões já apresentadas, não se realizou este ensaio para o pó de cortiça.

Os resultados obtidos são apresentados individualmente e por fim, de forma resumida, em conjunto.

5.1.1.1 Areia

Na Tabela 5.1, pode-se observar a análise granulométrica da areia fina, bem como o cálculo do módulo de finura deste agregado.

Tabela 5.1 - Análise granulométrica e módulo de finura da areia

Peneiro [mm]	Material Retido		Material Acumulado	
	[g]	[%]	Passado [%]	Retido [%]
125,0	0,0	0,00	100,00	0,00
63,0	0,0	0,00	100,00	0,00
31,5	0,0	0,00	100,00	0,00
16,0	0,0	0,00	100,00	0,00
8,0	0,0	0,00	100,00	0,00
4,0	0,0	0,00	100,00	0,00
2,0	0,2	0,01	99,99	0,01
1,0	20,4	1,44	98,55	1,45
0,500	351,7	24,80	73,75	26,25
0,250	759,0	53,52	20,23	79,77
0,125	276,1	19,47	0,76	99,24
0,063	10,5	0,74	0,02	99,98
Refugo	0,3	0,02	0,00	100,00
Totais	1418,2	100,00	-	306,706
Módulo de Finura (MF) =				3,067

Com os dados apresentados na Tabela 5.1, consegue-se elaborar a curva granulométrica da areia, Figura 5.1. Nos gráficos onde são representadas as curvas granulométricas, o eixo das abcissas corresponde à dimensão das partículas do agregado, enquanto o eixo das ordenadas representa a percentagem de material passado em cada peneiro. De salientar ainda que a curva granulométrica é, normalmente, apresentada numa escala logarítmica.

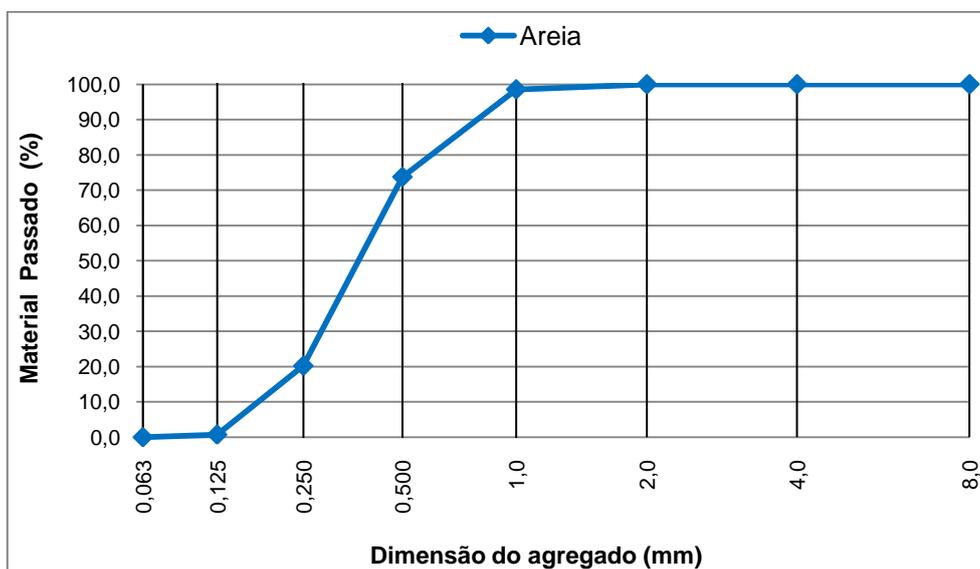


Figura 5.1 - Curva granulométrica da areia

Com os dados recolhidos durante o ensaio de análise granulométrica é possível determinar a dimensão mínima e máxima da areia.

Os resultados da areia analisada são os seguintes:

- $D_{\min} = 0,125$ mm;
- $D_{\max} = 1,0$ mm.

5.1.1.2 Regranulado negro de cortiça fino

A análise granulométrica do regranulado negro de cortiça fino, R1, pode ser observada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Análise granulométrica e módulo de finura do R1

Peneiro [mm]	Material Retido		Material Acumulado	
	[g]	[%]	Passado [%]	Retido [%]
125,0	0,0	0,00	100,00	0,00
63,0	0,0	0,00	100,00	0,00
31,5	0,0	0,00	100,00	0,00
16,0	0,0	0,00	100,00	0,00
8,0	0,0	0,00	100,00	0,00
4,0	0,3	0,19	99,81	0,19
2,0	122,1	76,94	22,87	77,13
1,0	33,7	21,24	1,64	98,36
0,500	0,9	0,57	1,07	98,93
0,250	1,1	0,69	0,38	99,62
0,125	0,4	0,25	0,13	99,87
0,063	0,1	0,06	0,06	99,94
Refugo	0,1	0,06	0,00	100,00
Totais	158,7	100,00	-	574,04
Módulo de Finura (MF) =				5,740

Na Figura 5.2, apresenta-se a curva granulométrica do regranulado negro de cortiça fino, R1.

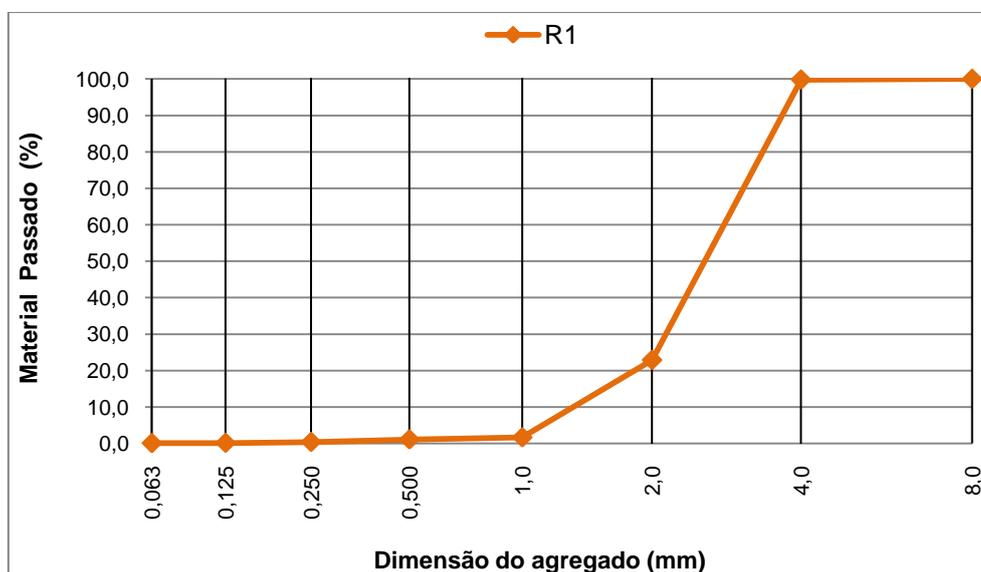


Figura 5.2 - Curva granulométrica do R1

As dimensões, mínima e máxima, do regranulado negro de cortiça fino, R1, são os seguintes:

- $D_{\min} = 1,0$ mm;
- $D_{\max} = 4,0$ mm.

Na Tabela 5.3 estão indicados os resultados da análise granulométrica ao regranulado negro de cortiça grosso, R2.

Tabela 5.3 - Análise granulométrica do R2

Peneiro [mm]	Material Retido		Material Acumulado	
	[g]	[%]	Passado [%]	Retido [%]
125,0	0,0	0,00	100,00	0,00
63,0	0,0	0,00	100,00	0,00
31,5	0,0	0,00	100,00	0,00
16,0	0,0	0,00	100,00	0,00
8,0	0,0	0,00	100,00	0,00
4,0	23,7	20,77	79,23	20,77
2,0	41,2	36,11	43,12	56,88
1,0	34,8	30,50	12,62	87,38
0,500	12,8	11,22	1,40	98,60
0,250	1,4	1,23	0,18	99,82
0,125	0,2	0,18	0,00	100,00
0,063	0,0	0,00	0,00	100,00
Refugo	0,0	0,00	0,00	100,00
Totais	114,1	100,00	-	563,45
Módulo de Finura (MF) =				5,635

Por sua vez, na Figura 5.3, pode ser observada a curva granulométrica do R2.

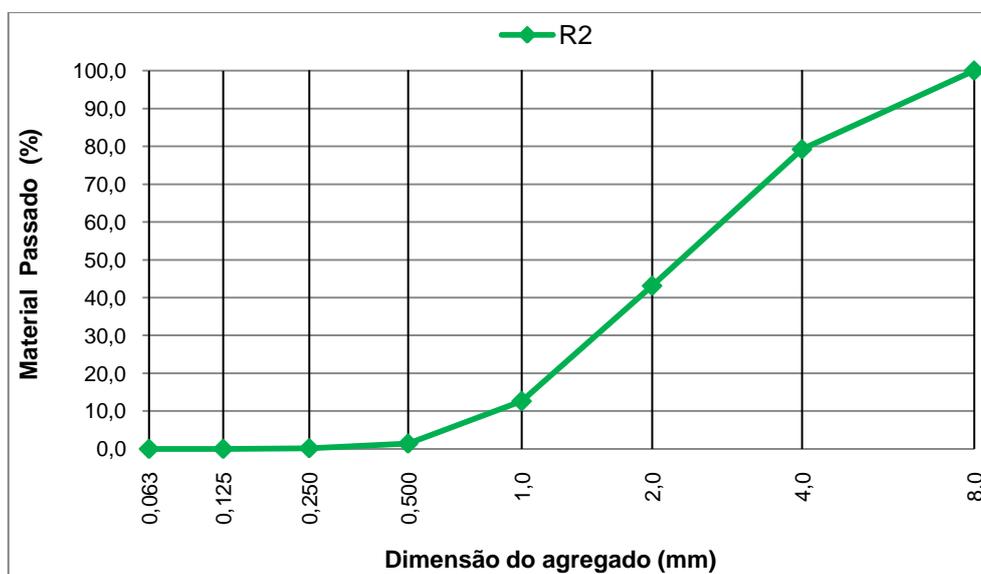


Figura 5.3 - Curva granulométrica do R2

As dimensões, mínima e máxima, do regranulado negro de cortiça fino são as apresentadas adiante:

- $D_{\min} = 0,500$ mm;
- $D_{\max} = 8,0$ mm.

5.1.1.3 Comparação de resultados

Neste ponto do trabalho, representam-se as curvas granulométricas da areia, do R1 e do R2 no mesmo gráfico (Figura 5.4). Neste diagrama é possível observar que o agregado mais fino é a areia, que essencialmente apresenta agregados de dimensões inferiores a 1,0 mm. No que respeita aos regranulados negros de cortiça, verifica-se que o declive da curva granulométrica do R2 tem declive menos acentuado que R1, o que permite concluir que a granulometria do R1 é menos extensa que a do R2.

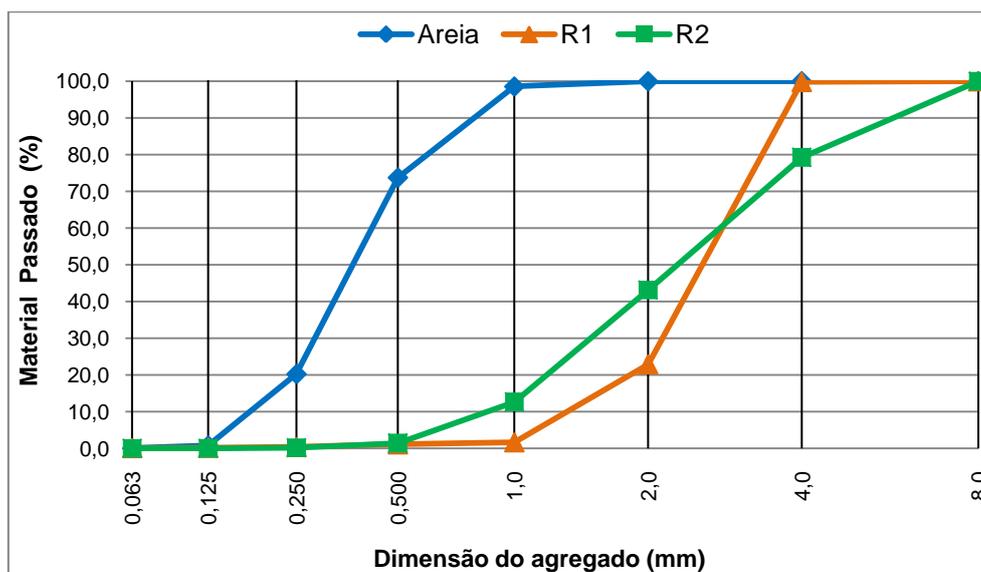


Figura 5.4 - Curvas granulométricas dos agregados analisados

Com os resultados apresentados na Tabela 5.4, corrobora-se o que já se podia concluir através da Figura 5.4, verificando-se ainda que apesar da dimensão máxima do R2 ser superior ao do R1, o módulo de finura (MF) do R2 é ligeiramente inferior ao do R1.

Tabela 5.4 - Resumo da dimensão mínima, máxima e do módulo de finura dos agregados

	Areia	R1	R2
D_{\min} [mm]	0,125	1,0	0,500
D_{\max} [mm]	1,0	4,0	8,0
MF	3,067	5,740	5,635

5.1.2 Absorção de água e massa volúmica

A determinação da absorção de água e da massa volúmica seguiu o previsto na NP EN 1097-6 (IPQ, 2003). Este ensaio realizou-se apenas para a areia utilizada na produção das argamassas. Este ensaio permitiu calcular a massa volúmica impermeável (ρ_a), a massa volúmica das partículas secas em estufa (ρ_{rd}), a massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca (ρ_{ssd}) e a absorção de água dos agregados (WA_{24h}).

5.1.2.1 Areia

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Resultados do ensaio de determinação da absorção de água e massa volúmica

	Areia
ρ_a [g/dm ³]	2766,7
ρ_{rd} [g/dm ³]	2727,6
ρ_{ssd} [g/dm ³]	2741,7
WA _{24h} [%]	0,52

5.1.3 Baridade

A baridade dos materiais foi calculada da forma descrita no capítulo anterior. Este procedimento tem bastante importância no desenvolvimento das acções seguintes, visto que a baridade é essencial para a conversão dos traços em volume para traços em massa.

5.1.3.1 Areia, regranulado negro e pó de cortiça

Os resultados obtidos para os agregados são os apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Baridade dos agregados

	Areia	R1	R2	R3
pb [g/dm ³]	1549,2	84,2	86,3	115,4

Com a análise dos resultados obtidos constata-se que, como seria de esperar, a areia apresenta uma baridade muito maior que os regranulados e o pó de cortiça. O pó de cortiça, R3, apresenta a maior baridade entre os derivados da cortiça, possivelmente por ser o material mais fino, enquanto os valores do R1 e R2 são bastante próximos.

5.1.3.2 Ligantes

Na Tabela 5.7 são apresentados os resultados relativos ao ensaio de determinação da baridade dos ligantes, segundo o procedimento de obra.

Tabela 5.7 - Baridade dos ligantes

	Cal Hidráulica	Cimento
pb [g/dm ³]	971,6	1202,1

5.2 Ensaio de consistência para determinação da relação A/L

Com o intuito de determinar a relação A/L óptima, para que se produzam argamassas com uma trabalhabilidade dentro de valores habituais, foram realizados vários ensaios de modo a traçar a curva de consistência de cada uma das argamassas. O objectivo era atingir um

espalhamento de 65 ± 3 %. Este nível de trabalhabilidade foi o escolhido por ser um valor habitual em vários trabalhos de investigação já realizados (Agostinho, 2008; Cruz, 2008; Martins, 2008; Mendonça, 2007).

5.2.1 Argamassas de cal hidráulica

Começou-se por realizar os ensaios de consistência, segundo o procedimento já mencionado, para a argamassa de cal hidráulica apenas com areia. Os valores deste ensaio podem ser visualizados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 100A

CH 100A			
A/L	0,90	0,95	1,00
Consistência	52,4%	66,6%	77,1%
Desvio-Padrão	4,16%	2,07%	1,04%

Com os dados obtidos e registados na Tabela 5.8 traçou-se a curva de consistência em função da relação A/L utilizada, Figura 5.5.

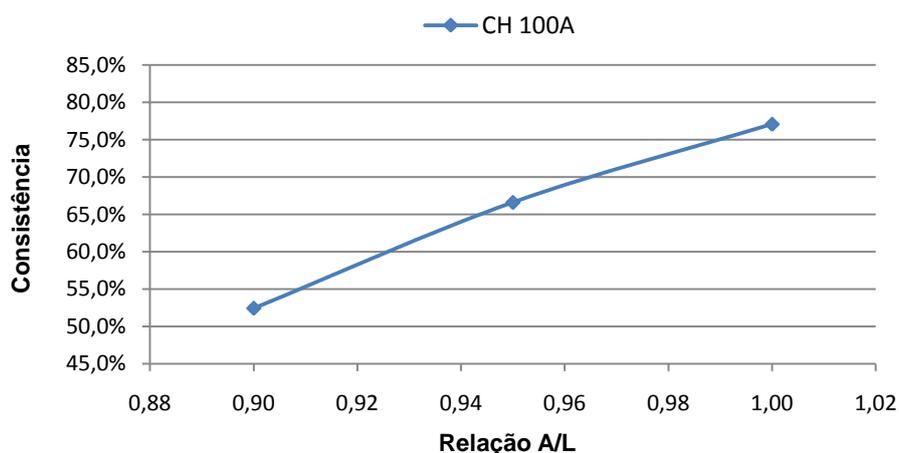


Figura 5.5 - Curva de consistência da argamassa CH 100A

De seguida, realizou-se o mesmo procedimento para a argamassa CH 60A+R1. Os resultados obtidos nesses ensaios de consistência estão registados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 60A+R1

CH 60A+R1			
A/L	0,75	0,80	0,95
Consistência	54,6%	64,2%	118,1%
Desvio-Padrão	3,79%	1,15%	4,78%

A curva de consistência da argamassa CH 60A+R1 está representada na Figura 5.6.

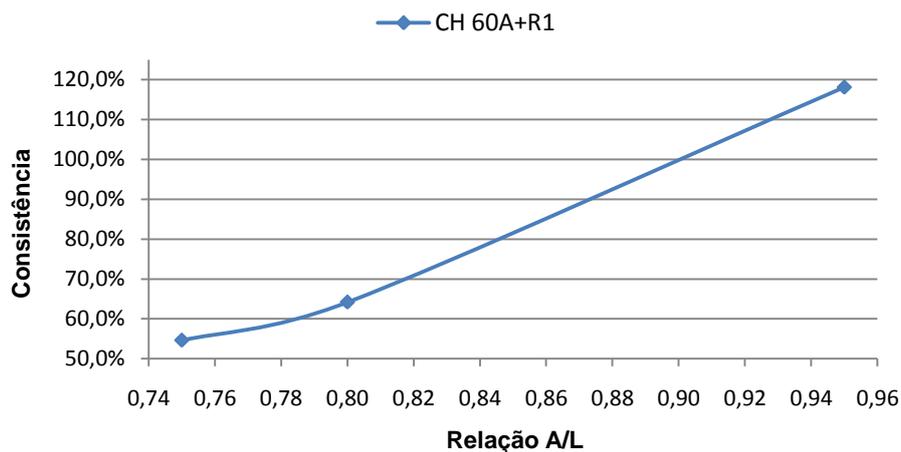


Figura 5.6 - Curva de consistência da argamassa CH 60A+R1

Os resultados correspondentes aos ensaios da argamassa CH 40A+R1 estão registados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 40A+R1

CH 40A+R1			
A/L	0,75	0,77	0,80
Consistência	60,4%	65,7%	71,1%
Desvio-Padrão	2,49%	1,89%	0,47%

A curva de consistência, em função da relação A/L utilizada, desta argamassa é apresentada na Figura 5.7.

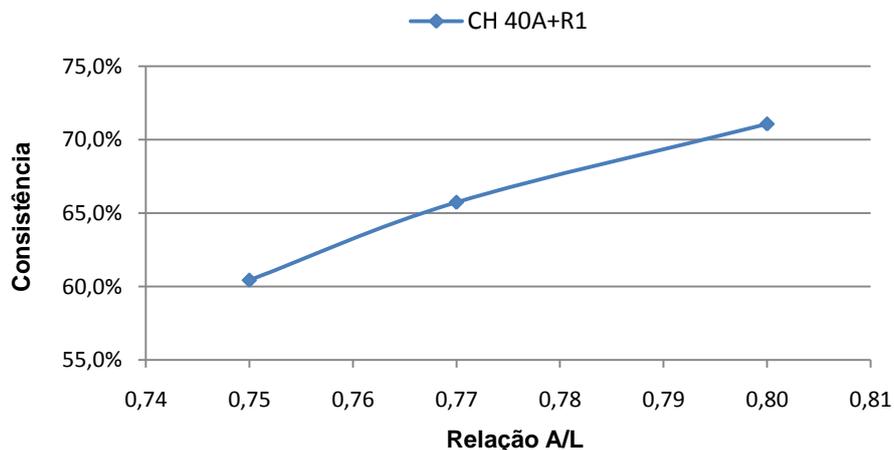


Figura 5.7 - Curva de consistência da argamassa CH 40A+R1

Depois de analisadas as argamassas em que foi utilizado o R1, foram também ensaiadas as argamassas com utilização de R2, ou seja, CH 60A+R2 e CH 40A+R2.

Na Tabela 5.11 apresentam-se os valores obtidos para a argamassa CH 60A+R2.

Tabela 5.11 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 60A+R2

CH 60A+R2			
A/L	0,80	0,83	0,85
Consistência	57,7%	66,3%	72,9%
Desvio-Padrão	4,32%	0,92%	2,47%

A Tabela 5.11 dá origem à curva de consistência representada na Figura 5.8.

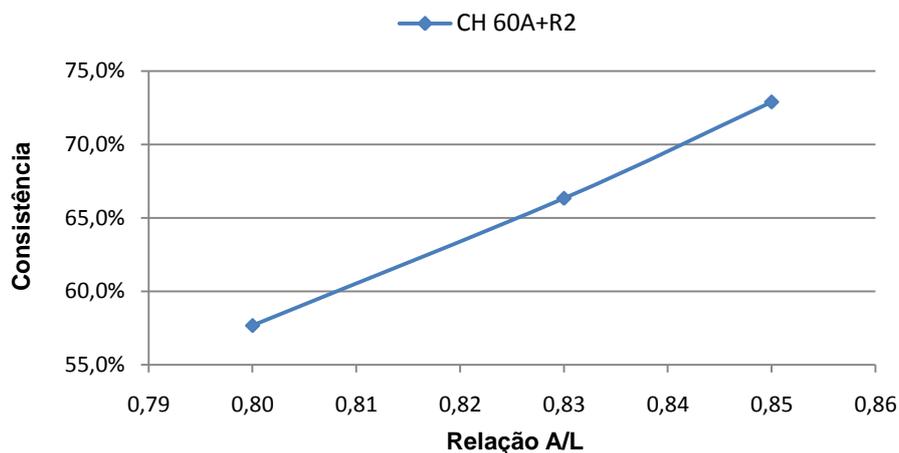


Figura 5.8 - Curva de consistência da argamassa CH 60A+R2

Do mesmo modo, são apresentados os resultados dos ensaios de consistência da argamassa CH 40A+R2, na Tabela 5.12, assim como a sua representação gráfica na respectiva curva de consistência, na Figura 5.9.

Tabela 5.12 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 40A+R2

CH 40A+R2			
A/L	0,75	0,78	0,80
Consistência	55,2%	65,9%	73,7%
Desvio-Padrão	3,53%	1,16%	4,88%

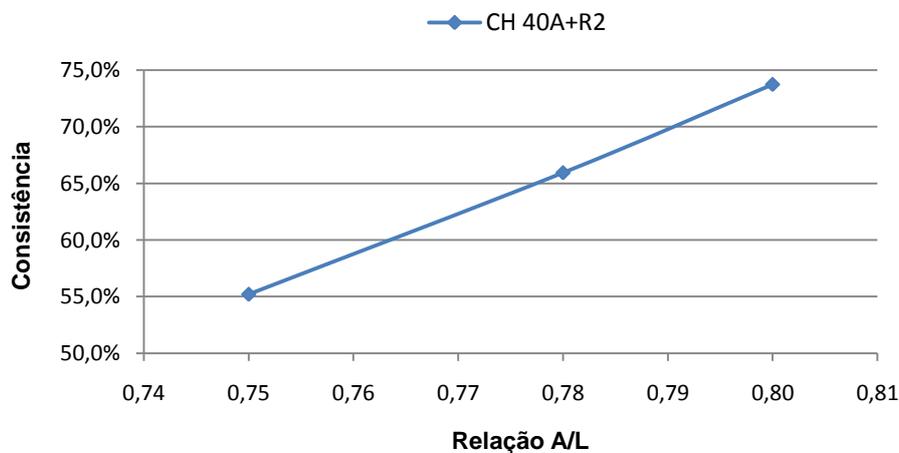


Figura 5.9 - Curva de consistência da argamassa CH 40A+R2

Tabela 5.13 - Relações A/L adoptadas para as argamassas de cal hidráulica

	CH				
	100A	60A+R1	40A+R1	60A+R2	40A+R2
A/L	0,95	0,80	0,77	0,83	0,78

Por fim, na Tabela 5.13, apresentam-se os valores finais da relação A/L a utilizar em cada uma das argamassas de cal hidráulica. As relações A/L adoptadas para cada uma das argamassas correspondem à quantidade de água necessária para que as argamassas produzidas tenham um espalhamento de $65 \pm 3\%$ no ensaio de consistência. Através da análise deste quadro, verifica-se que a argamassa que necessita de maior quantidade de água na amassadura é a argamassa produzida sem recurso a regranulado negro de cortiça. Também é possível concluir que quanto maior for a percentagem de cortiça, menor será a quantidade de água necessária, para obter a mesma trabalhabilidade. A granulometria utilizada também influenciou na quantidade de água a utilizar nas amassaduras, verificando-se que quando se utilizou R2 em vez de R1 a quantidade de água necessária foi ligeiramente mais elevada.

5.2.2 Argamassas de cal hidráulica e cimento

Após traçar as curvas de consistência das argamassas de cal hidráulica, realizou-se o mesmo procedimento para as argamassas bastardas.

Na Tabela 5.14 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de consistência da argamassa produzida sem recurso a regranulado negro e pó de cortiça, ou seja, a argamassa CH+C 100A.

Tabela 5.14 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 100A

CH+C 100A			
A/L	0,79	0,80	0,90
Consistência	65,7%	67,4%	83,0%
Desvio-Padrão	0,06%	3,20%	3,91%

Os resultados apresentados na tabela anterior permitem traçar a correspondente curva de consistência, Figura 5.10.

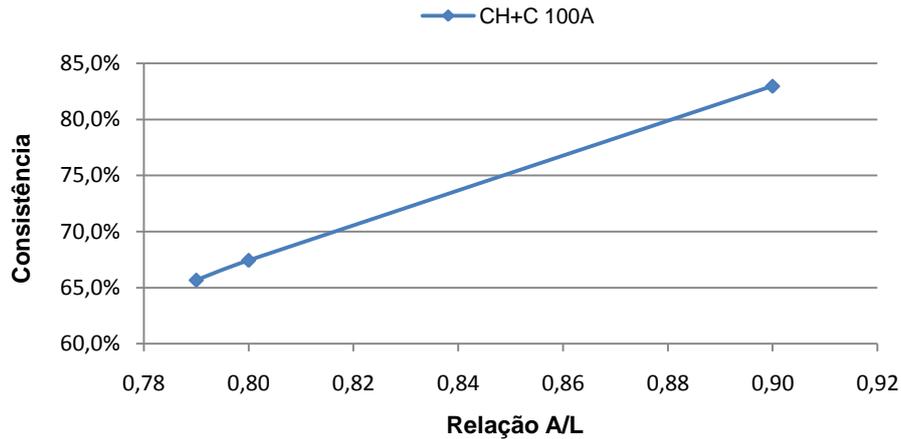


Figura 5.10 - Curva de consistência da argamassa CH+C 100A

Na Tabela 5.15 e na Tabela 5.16, apresentam-se os resultados obtidos nas argamassas em que 40% da mistura de agregados é composta por regranulado negro de cortiça, R1 e R2, respectivamente.

Tabela 5.15 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 60A+R1

CH+C 60A+R1			
A/L	0,60	0,65	0,70
Consistência	57,9%	64,0%	71,7%
Desvio-Padrão	1,78%	0,95%	3,57%

Tabela 5.16 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 60A+R2

CH+C 60A+R2			
A/L	0,60	0,65	0,68
Consistência	51,1%	64,5%	78,0%
Desvio-Padrão	1,71%	3,17%	0,86%

Os gráficos com as curvas de consistência das duas argamassas, CH+C 60A+R1 e CH+C 60A+R2, são apresentados na Figura 5.11 e na Figura 5.12.

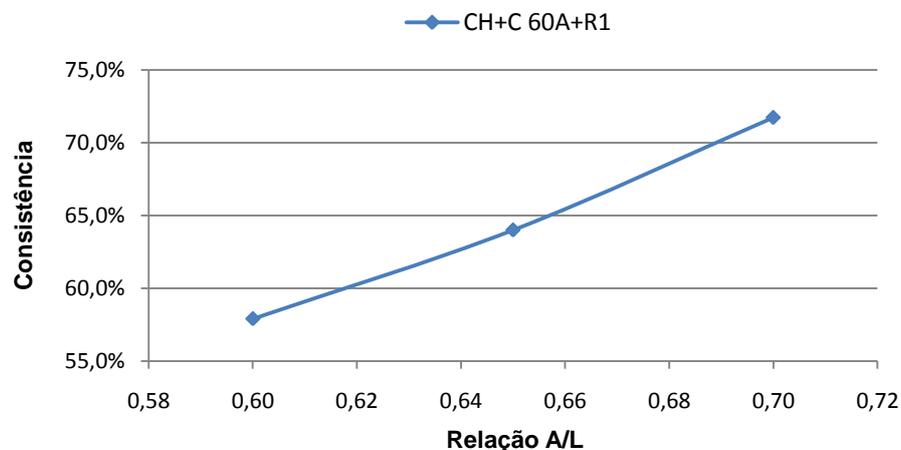


Figura 5.11 - Curva de consistência da argamassa CH+C 60A+R1

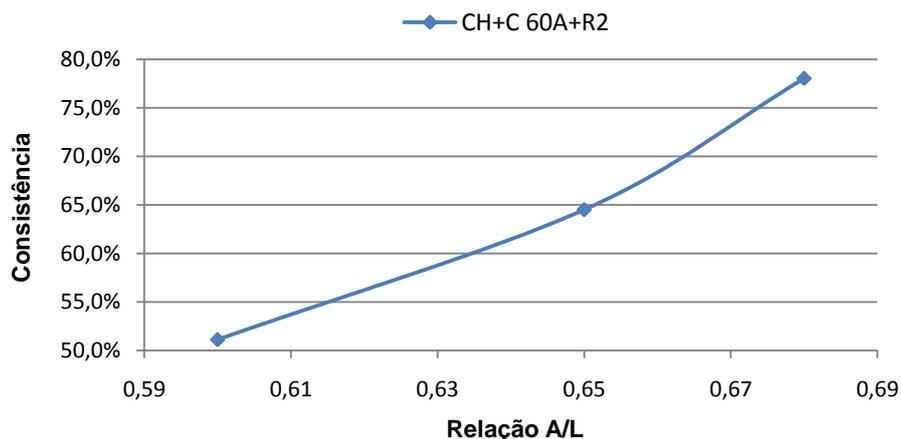


Figura 5.12 - Curva de consistência da argamassa CH+C 60A+R2

Através de uma breve análise dos resultados apresentados por estas duas últimas argamassas é possível constatar que, apesar da relação A/L em que as duas argamassas atingem a trabalhabilidade pretendida ser semelhante, uma igual variação da relação A/L utilizada não corresponde a uma igual modificação da trabalhabilidade das duas argamassas. Neste caso, ainda no seguimento da afirmação anterior, pode-se referir que a trabalhabilidade da argamassa em que foi utilizado o regranulado R1 é menos sensível à quantidade de água utilizada.

Por sua vez, na Tabela 5.17 e na Tabela 5.18 apresentam-se as consistências obtidas através da utilização das várias relações A/L utilizadas para cada uma das argamassas com 60% da mistura de agregados constituída por regranulado negro de cortiça.

Tabela 5.17 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 40A+R1

CH+C 40A+R1			
A/L	0,60	0,62	0,63
Consistência	58,5%	67,8%	70,4%
Desvio-Padrão	1,30%	1,75%	2,15%

Tabela 5.18 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 40A+R2

CH+C 40A+R2				
A/L	0,62	0,63	0,64	0,68
Consistência	54,6%	64,8%	73,7%	105,9%
Desvio-Padrão	4,10%	2,54%	4,33%	1,30%

Na Figura 5.13 e Figura 5.14 estão representadas as curvas de consistência das duas argamassas.

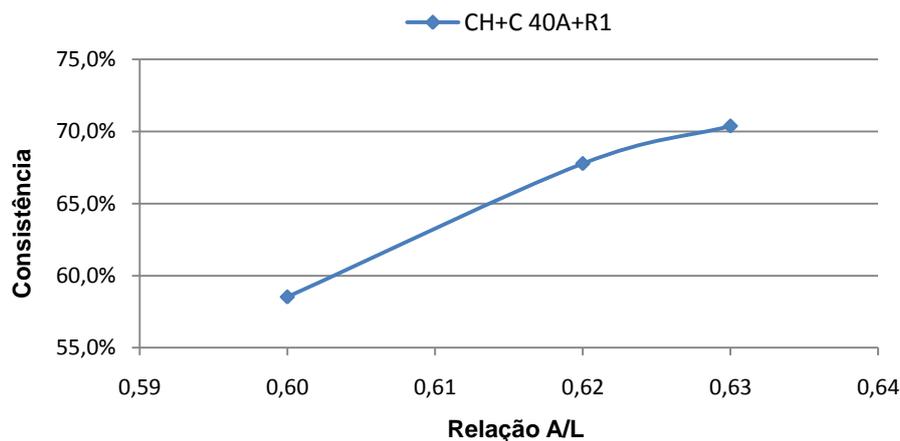


Figura 5.13 - Curva de consistência da argamassa CH+C 40A+R1

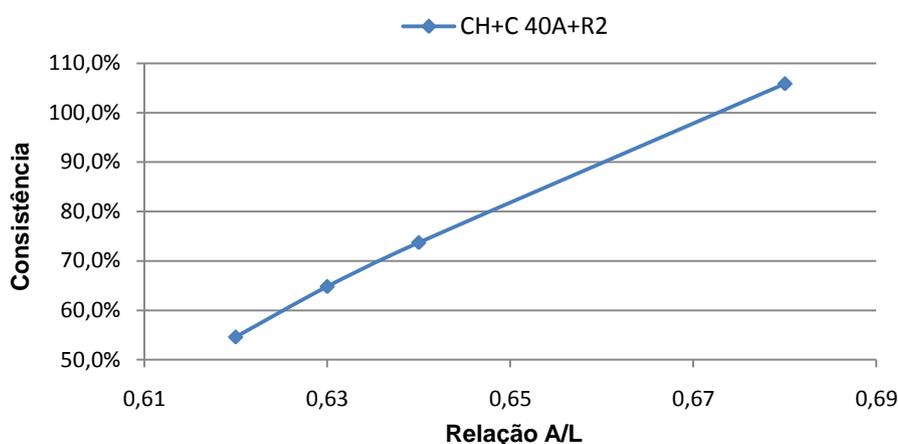


Figura 5.14 - Curva de consistência da argamassa CH+C 40A+R2

A relação A/L a utilizar nestas argamassas é da mesma ordem de grandeza, embora se verifique que com a utilização de R2 esta relação é ligeiramente superior. Verifica-se também que existe uma maior variação da consistência de ambas as argamassas, quando modificada a relação A/L, fazendo uma comparação com as argamassas bastardas com utilização de 60% de regranulado na mistura de agregados.

De seguida, passou-se à análise das argamassas em que apenas 20% da mistura de agregados era composta por areia, ou seja, a argamassa CH+C 20A+40R1+40R3 e a CH+C 20A+40R2+40R3. Nestes casos não foram utilizados apenas os regranulados R1 e R2 na formulação das argamassas, recorrendo-se também ao uso do denominado pó de cortiça (R3). A introdução do pó de cortiça surgiu pela tentativa de não modificar significativamente a compacidade da argamassa, ou seja, trocou-se um material fino, no caso a areia, por outro de granulometria também fina, o pó de cortiça. Os resultados obtidos nos ensaios de consistência destas argamassas são apresentados na Tabela 5.19 e na Tabela 5.20.

Tabela 5.19 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 20A+40R1+40R3

CH+C 20A+40R1+40R3			
A/L	0,75	0,80	0,85
Consistência	31,1%	47,4%	66,3%
Desvio-Padrão	1,08%	4,07%	1,91%

Tabela 5.20 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 20A+40R2+40R3

CH+C 20A+40R2+40R3			
A/L	0,85	0,90	0,94
Consistência	33,2%	54,7%	65,2%
Desvio-Padrão	1,40%	1,55%	0,96%

As curvas de consistência, traçadas a partir dos dados recolhidos para estas argamassas, estão representadas na Figura 5.15 e na Figura 5.16.

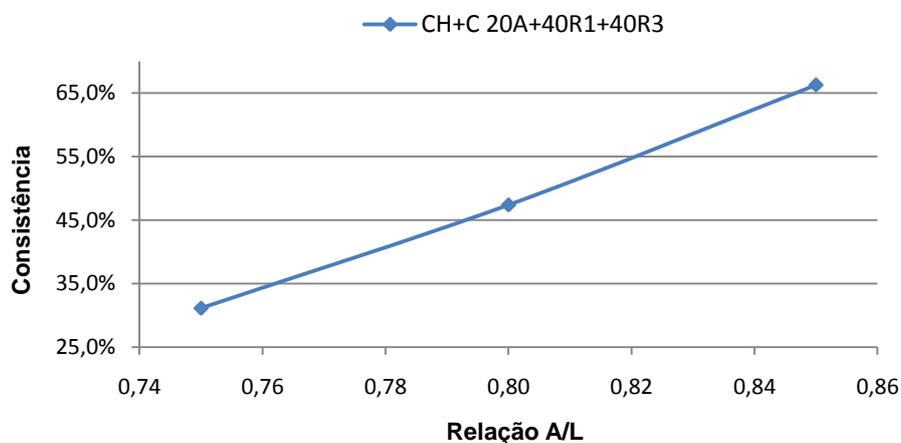


Figura 5.15 - Curva de consistência da argamassa CH+C 20A+40R1+40R3

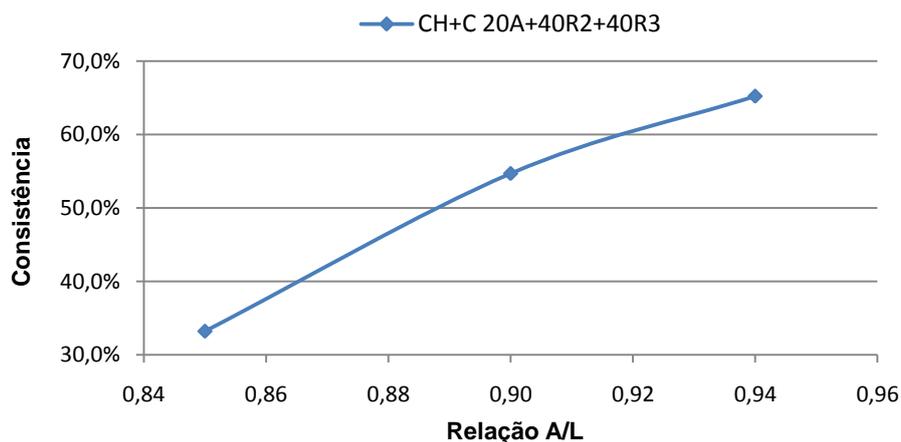


Figura 5.16 - Curva de consistência da argamassa CH+C 20A+40R2+40R3

Também nestas argamassas se verifica que a utilização de R2 torna necessária a utilização de uma maior quantidade de água, para que seja atingida a mesma trabalhabilidade. Comparando as argamassas bastardas com 20% de areia na mistura de agregados, com as outras em que se utilizou 40% e 60% de areia, conclui-se que a introdução do pó de cortiça, R3, aliado à

menor quantidade de areia presente faz aumentar a relação A/L necessária para realizar a amassadura.

Por fim, realizaram-se os ensaios para uma argamassa bastarda em que não se utilizou areia, ou seja, a argamassa CH+C 30R1+70R3. Nesta argamassa utilizou-se novamente R3, devido às razões já apresentadas para as argamassas referidas anteriormente. Os resultados obtidos nos ensaios de consistência desta argamassa são apresentados na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 30R1+70R3

CH+C 30R1+70R3				
A/L	1,10	1,14	1,16	1,23
Consistência	42,5%	58,4%	64,7%	75,6%
Desvio-Padrão	2,47%	1,51%	1,44%	0,55%

A curva de consistência correspondente a esta argamassa é apresentada na Figura 5.17.

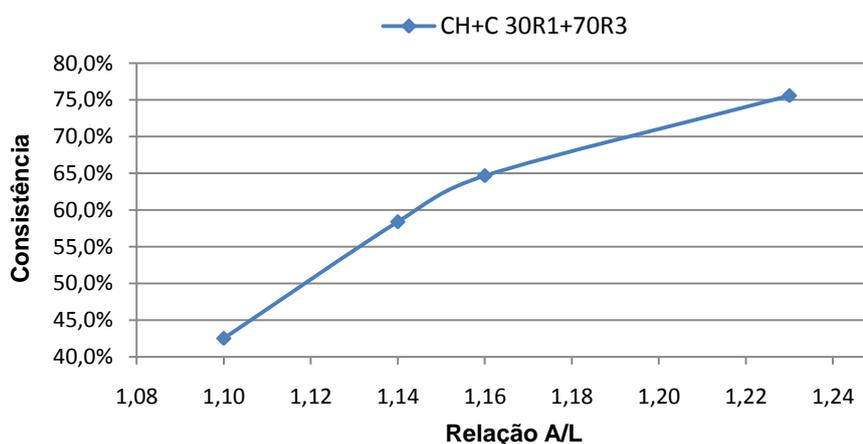


Figura 5.17 - Curva de consistência da argamassa CH+C 30R1+70R3

A relação A/L necessária para obter uma consistência próxima dos 65%, no ensaio de trabalhabilidade, é claramente superior aos outros resultados obtidos. Este resultado pode ser explicado pela utilização de uma grande quantidade de R3 e pela não inclusão de areia na mistura, ou seja, introduziu-se um material muito absorvente e retirou-se um com baixa absorção, o que em condições normais faz aumentar a necessidade de água na amassadura.

Na Tabela 5.22 são indicadas as relações A/L adoptadas para as argamassas bastardas produzidas durante todo o trabalho experimental. Com a análise deste quadro é possível verificar que as argamassas com 40% e 60% de areia necessitam de menor quantidade de água para a execução da amassadura, do que a argamassa de controlo em que não foi utilizado nenhum agregado para além da areia. Pelo contrário, as argamassas produzidas com 0% e 20% de areia necessitam de uma maior quantidade de água para a realização da amassadura do que na argamassa de controlo, o que estará certamente relacionado com a maior quantidade de material derivado de cortiça com granulometria fina, ou seja, com a

presença de material com maior absorção de água. Esta explicação serve também para justificar as quantidades de água necessárias, sempre ligeiramente superiores, quando é utilizado o R2 do que quando comparado com a utilização do R1. Pois lembra-se novamente que a percentagem de material fino no R2 é maior do que no R1, o que promove uma maior absorção.

Tabela 5.22 - Relações A/L adoptadas para as argamassas bastardas

CH+C								
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2	20A+40R1+40R3	20A+40R2+40R3	30R1+70R3
A/L	0,79	0,65	0,65	0,62	0,63	0,85	0,94	1,16

5.3 Caracterização das argamassas no estado fresco

Para a execução dos ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco foi produzida uma amassadura para cada uma das composições. Deste modo, depois de realizada a amassadura fez-se o ensaio de espalhamento e de seguida, com a restante argamassa, o ensaio para determinação da massa volúmica aparente.

5.3.1 Consistência por espalhamento

Este ensaio, devido à realização dos ensaios de espalhamento para determinação da curva de consistência, poderia não se ter realizado. No entanto, como se teria que produzir esta amassadura de modo a realizar o ensaio de determinação da massa volúmica aparente, optou-se por medir a consistência destas argamassas de modo a confirmar os resultados obtidos através das curvas de consistência.

Deste modo, o objectivo do ensaio era verificar se a consistência de cada uma das argamassas está dentro do intervalo definido, ou seja, um espalhamento igual $65 \pm 3 \%$.

Os resultados obtidos neste ensaio são apresentados na Tabela 5.23 e na Tabela 5.24, para as argamassas de cal hidráulica e as argamassas bastardas, respectivamente.

Tabela 5.23 - Resultados do ensaio de consistência por espalhamento nas argamassas de cal hidráulica

CH					
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2
A/L	0,95	0,80	0,83	0,77	0,78
Consistência	63,9%	62,2%	64,5%	64,6%	67,5%
Desvio Padrão	4,0%	2,8%	1,3%	0,4%	0,7%

Tabela 5.24 - Resultados do ensaio de consistência por espalhamento nas argamassas bastardas

	CH+C							
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2	20A+40R1+40R3	20A+40R2+40R3	30A+70R3
A/L	0,79	0,65	0,65	0,62	0,63	0,85	0,94	1,16
Consistência	65,7%	62,4%	63,5%	67,8%	64,8%	63,2%	66,2%	67,1%
Desvio Padrão	0,1%	2,1%	0,6%	1,7%	2,1%	1,3%	5,0%	1,1%

Pela análise destes resultados pode-se afirmar que a consistência das argamassas é a esperada, ou seja, próxima do espalhamento desejado que neste caso é de 65%. Os resultados alcançados neste ensaio não são exactamente os mesmos do que os já obtidos nos ensaios de determinação da relação A/L, no entanto, este facto poderá dever-se a pequenos erros e variáveis não controláveis que surgem durante os ensaios, ao que se junta a variabilidade das características dos materiais utilizados.

5.3.2 Massa volúmica aparente

A massa volúmica aparente (MVA) das argamassas no estado fresco foi determinada segundo o procedimento indicado no capítulo anterior. Este ensaio serviu para medir a variação de massa volúmica que é conseguida com a introdução dos agregados leves utilizados.

Na Tabela 5.25 são apresentados os resultados correspondentes às argamassas de cal hidráulica, assim como a variação, em percentagem, da massa volúmica aparente de cada uma das argamassas comparativamente à argamassa de controlo.

Tabela 5.25 - Massa volúmica aparente das argamassas de cal hidráulica no estado fresco

	CH				
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2
MVA [g/dm ³]	1982,7	1623,7	1666,1	1469,4	1479,3
ΔMVA	-	-18,1%	-16,0%	-25,9%	-25,4%

A representação gráfica da massa volúmica aparente, de acordo a percentagem de substituição de areia por RNC, pode ser observada na Figura 5.18.

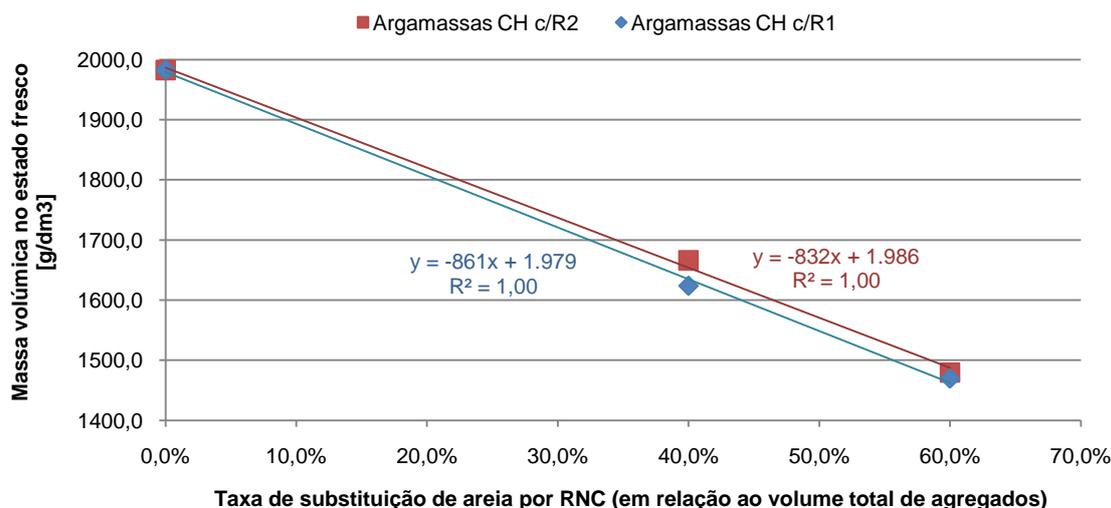


Figura 5.18 - Variação da MVA das argamassas de cal hidráulica, de acordo com a % de RNC utilizada

Com a observação do gráfico anterior, constata-se que as massas volúmicas aparentes das argamassas produzidas não são muito diferentes quanto se utiliza um ou outro regranulado negro de cortiça. Também se pode afirmar que a variação da massa volúmica aparente das argamassas, com diferentes taxas de substituição de areia por RNC, varia de forma aproximadamente linear, com um declive da mesma ordem de grandeza.

As massas volúmicas aparentes das argamassas bastardas no estado fresco estão indicadas na Tabela 5.26.

Tabela 5.26 - Massa volúmica aparente das argamassas bastardas no estado fresco

	CH+C							
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2	20A+40R1+40R3	20A+40R2+40R3	30A+70R3
MVA [g/dm ³]	2106,2	1687,1	1716,1	1499,4	1449,0	1159,0	1133,4	889,5
ΔMVA	-	-19,9%	-18,5%	-28,8%	-31,2%	-45,0%	-46,2%	-57,8%

Tal como acontece nas argamassas de cal hidráulica, a utilização de R1 ou R2 tem implicações idênticas a nível da massa volúmica das argamassas bastardas, como é comprovado pelas variações semelhantes de MVA que existem entre argamassas com iguais taxas de substituição de RNC.

Na Figura 5.19 é apresentado o gráfico com os resultados da determinação da massa volúmica aparente das argamassas bastardas, no entanto, deve-se salientar que as argamassas com 80% e 100% de substituição, de areia por RNC, não contêm apenas uma granulometria.

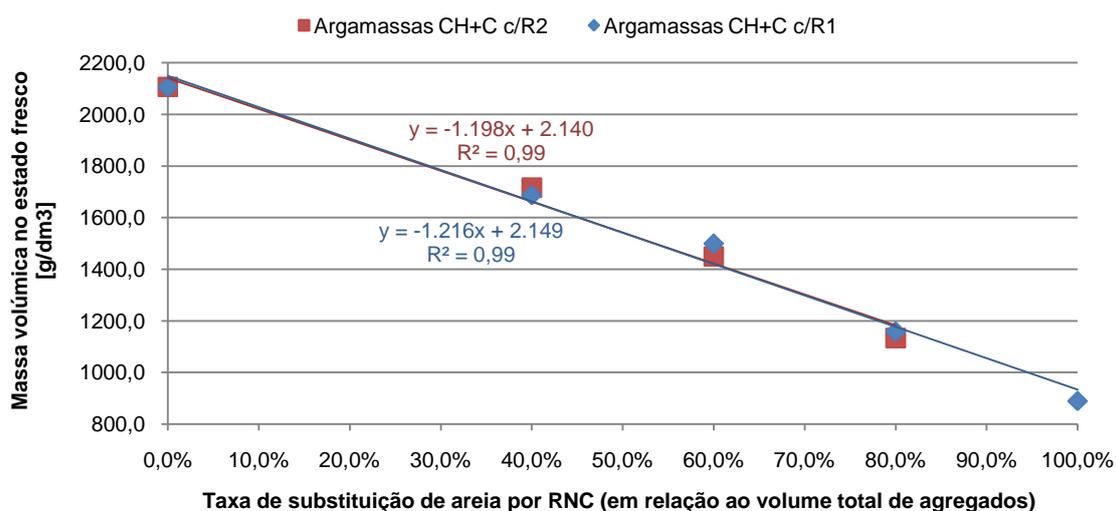


Figura 5.19 - Variação da MVA das argamassas bastardas, de acordo com a % de RNC utilizada

Neste gráfico, é visível que a substituição de areia por RNC provoca uma variação aproximadamente linear, tal como nas argamassas de cal hidráulica, notando-se neste caso ainda uma semelhança maior no declive das rectas. No entanto, os pontos que correspondem a uma taxa de substituição igual a 80% e 100% modificam levemente o declive da recta, o que pode ser explicado pelo uso de simultâneo de R1 ou R2 e de R3.

Por fim, deve-se ainda realçar que a massa volúmica aparente, das argamassas no estado fresco, é reduzida em mais de 50% quando toda a areia é substituída por regranulado negro e pó de cortiça.

5.4 Caracterização das argamassas no estado endurecido

5.4.1 Massa volúmica

A massa volúmica das argamassas foi determinada aos 28 dias, utilizando os provetes produzidos para os ensaios de secagem e resistência ao desenvolvimento de fungos. Os valores finais obtidos são os indicados na Tabela 5.27 e Tabela 5.28, para as argamassas de cal hidráulica e bastardas, respectivamente. Nestas tabelas também é indicada a variação da massa volúmica, em percentagem, que cada argamassa apresenta em relação à respectiva argamassa de referência.

Tabela 5.27 - Massa volúmica das argamassas de cal hidráulica, aos 28 dias

	CH				
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2
MV [g/dm ³]	1874,9	1501,7	1466,9	1197,5	1229,6
ΔMV	-	-19,9%	-21,8%	-36,1%	-34,4%

Tabela 5.28 - Massa volúmica das argamassas bastardas, aos 28 dias

	CH+C								
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2	20A+40R1+40R3	20A+40R2+40R3	30A+70R3	
MV [g/dm ³]	1944,7	1574,0	1552,7	1323,4	1309,6	970,1	916,7	604,9	
ΔMV	-	-19,1%	-20,2%	-31,9%	-32,7%	-50,1%	-52,9%	-68,9%	

Na Figura 5.20 e na Figura 5.21 são apresentadas as linhas de tendência da massa volúmica das argamassas de cal hidráulica e bastardas, respectivamente, de acordo com a percentagem de regranulado negro e pó de cortiça utilizados, quer nas argamassas com 28 dias de idade, quer nas argamassas no estado fresco.

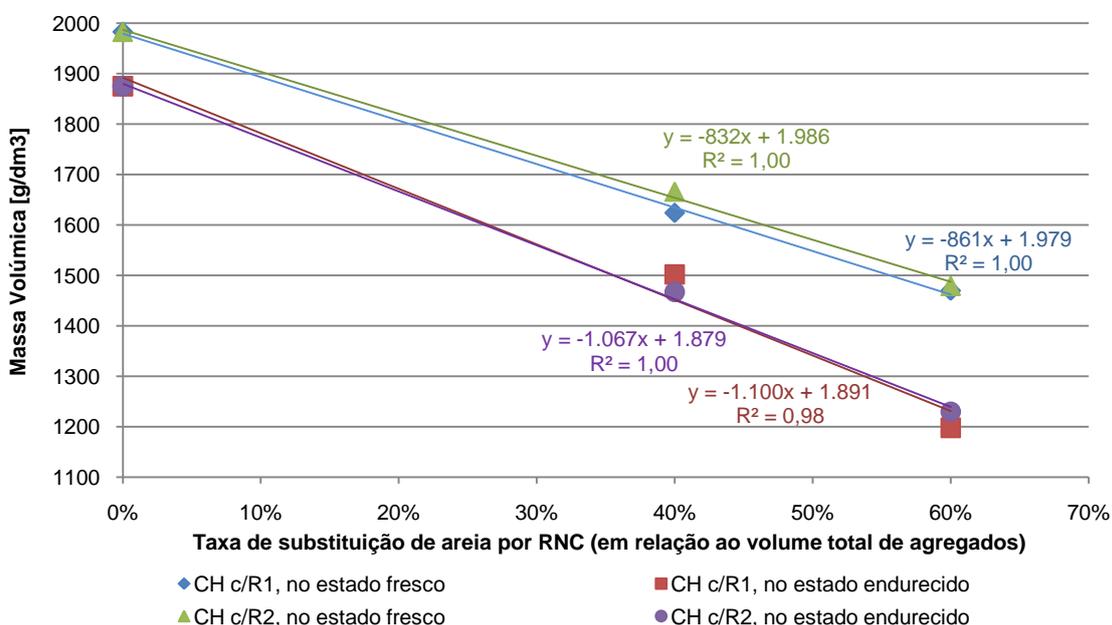


Figura 5.20 - MV das argamassas de CH, de acordo com a % de RNC utilizada, no estado fresco e endurecido

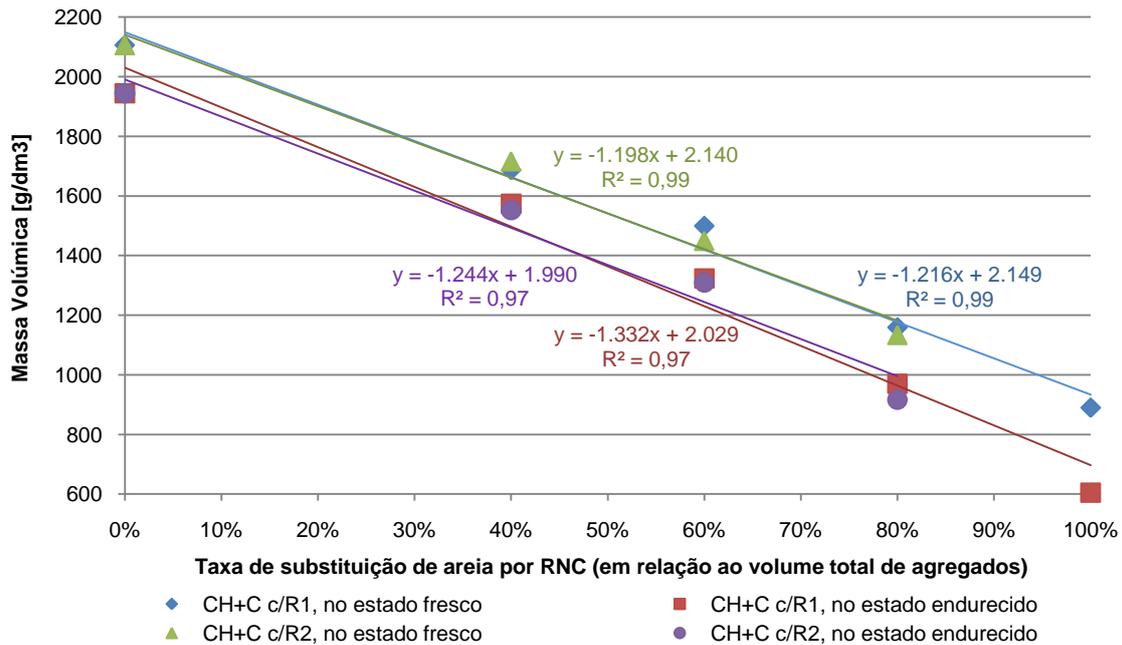


Figura 5.21 - MV das argamassas de CH+C, de acordo com a % de RNC utilizada, no estado fresco e endurecido

Observando as linhas de tendência presentes nos gráficos anteriores, conclui-se que a inclusão de RNC nas argamassas provoca uma redução mais significativa da massa volúmica quando estas atingem o estado endurecido. Esta situação possivelmente ocorre devido à maior quantidade de água presente nas argamassas com grande teores de RNC, que durante o período de cura é libertada. De notar também que as argamassas produzidas podem atingir massas volúmicas consideravelmente baixas, pois note-se que as argamassas com 80% e 100% de regranulado negro e pó de cortiça (em relação ao volume total de agregados) possuem, aos 28 dias, uma massa volúmica inferior à da água, em condições ambiente.

5.4.2 Resistência à flexão e compressão

Os ensaios de resistência à flexão e à compressão foram realizados em provetes com 14 dias de idade. Este ensaio, visto que o trabalho experimental não tem por finalidade estudar o comportamento mecânico das argamassas, apenas tem por objectivo aferir se as argamassas produzidas têm potencial para atingir uma resistência à compressão mínima, que a norma europeia EN 998-1 (IPQ, 2003) estabelece. Neste caso, tendo por referência as argamassas de reboco para isolamento térmico, a norma especifica que estas devem ter no mínimo uma resistência à compressão igual a 0,4 MPa. Ou seja, se uma argamassa estudada, aos 14 dias, possuir características iguais ou superiores às mínimas indicadas, considera-se que o seu aproveitamento é suficiente para as necessidades existentes. Na Tabela 5.29 são apresentados os resultados obtidos neste ensaio.

Tabela 5.29 - Tensão de ruptura das argamassas à flexão e compressão, aos 14 dias

Argamassa		Tensão de ruptura à flexão [MPa]	Tensão de ruptura à compressão [MPa]
CH	100A	0,76 ± 0,09	3,33 ± 0,24
	60A+R1	0,74 ± 0,11	2,62 ± 0,06
	60A+R2	0,51 ± 0,04	2,27 ± 0,04
	40A+R1	0,64 ± 0,12	1,98 ± 0,08
	40A+R2	0,62 ± 0,04	1,79 ± 0,02
CH+C	100A	2,27 ± 0,03	11,90 ± 0,53
	60A+R1	1,71 ± 0,18	7,83 ± 0,30
	60A+R2	2,02 ± 0,14	7,35 ± 0,64
	40A+R1	1,61 ± 0,10	5,96 ± 0,29
	40A+R2	1,62 ± 0,08	5,92 ± 0,21
	20A+40R1+40R3	1,13 ± 0,02	2,35 ± 0,07
	20A+40R2+40R3	0,80 ± 0,01	2,45 ± 0,19
30R1+70R3	0,47 ± 0,03	1,01 ± 0,03	

Analisando a coluna correspondente à tensão de ruptura à compressão, rapidamente se percebe que o limite mínimo nunca é ultrapassado. Este facto indica, numa primeira análise, que as argamassas possuem uma resistência suficiente para se inserirem, no mínimo, no intervalo correspondente à categoria CS1 (0,4 a 2,5 MPa) da norma europeia EN 998-1 (IPQ, 2003). Apesar da satisfação deste requisito, deve-se notar que a introdução de RNC nas argamassas provoca uma perda considerável de resistência à compressão e à flexão. No caso da compressão, com a substituição total da areia por regranulado negro e pó de cortiça, existe uma redução para um valor inferior a 10% da resistência inicial. No ensaio de flexão, em que o provete entra em ruptura por tracção, a redução de resistência não é tão acentuada, verificando-se uma diminuição para cerca de 20% dos valores iniciais, também com a substituição total de areia por regranulado negro e pó de cortiça.

Na Figura 5.22 e na Figura 5.23 são apresentadas as regressões que identificam as tendências da evolução das resistências à compressão e à flexão, respectivamente, de cada uma das argamassas.

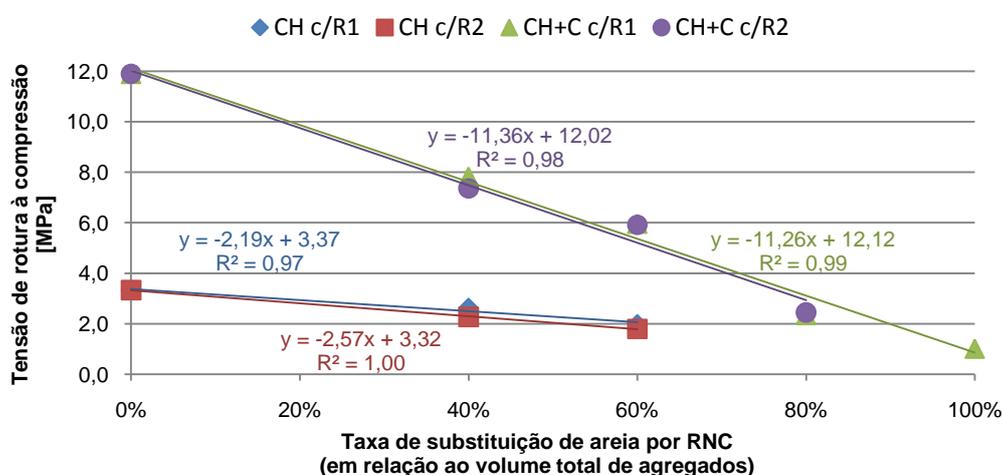


Figura 5.22 - Resistência à compressão das argamassas com a variação da taxa de substituição de areia por RNC

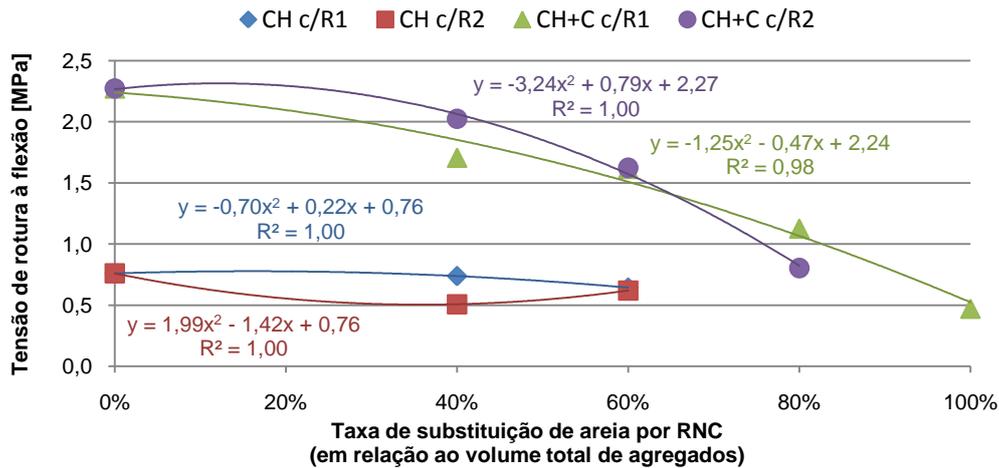


Figura 5.23 - Resistência à flexão das argamassas com a variação da taxa de substituição de areia por RNC

No primeiro gráfico, Figura 5.22, pode observar-se que as resistências das argamassas variam de forma aproximadamente linear. Também é evidente que as argamassas bastardas vêem a sua resistência à compressão mais rapidamente reduzida, com o aumento da taxa de substituição, do que no caso das argamassas de cal hidráulica. Esta situação deve-se ao facto de as argamassas bastardas apresentarem maiores resistências iniciais, o que as deixa mais susceptíveis quando se introduzem na sua composição agregados de baixa resistência, como é o caso do regranulado negro e pó de cortiça.

No segundo gráfico, Figura 5.23, constata-se que a variação da resistência à flexão segue uma tendência polinomial. No caso das argamassas bastardas verifica-se que a presença de R2 penaliza sobretudo as resistências para taxas de substituição mais elevadas, quando se efectua a comparação com as argamassas com R1. Nas argamassas de cal hidráulica, com uma taxa de substituição de 60%, não existe uma grande penalização da resistência à flexão, ocorrendo apenas uma redução de 20% da tensão de ruptura nesta situação. Nestas argamassas ocorre uma situação fora do esperado, pois com a utilização de R2 a resistência é menor com uma taxa de substituição de 40% do que na de 60%, o que faz inverter a concavidade da regressão da resistência dessa argamassa. Este facto pode dever-se a algum problema com a amassadura que deu origem aos provetes analisados, à deficiente distribuição das partículas de cortiça nos provetes analisados, ou ainda, a partículas de cortiça às quais a pasta ligante, durante a fase da amassadura, não se ligou devidamente, criando assim planos de debilidade no interior dos provetes, nos quais poderá ter ocorrido a ruptura.

5.4.3 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade consiste na penetração na argamassa de um fluído, por acção da diferença de pressões. Esta absorção ocorre quando o líquido contacta com os poros

e é provocada pelas forças capilares, sendo estas tanto maiores quanto menores forem as secções dos poros.

No ensaio efectuado realizou-se a determinação da altura de ascensão capilar, assim como, a variação da massa do provete, quando se colocou um dos topos em contacto com água. Os resultados obtidos neste ensaio são integralmente apresentados no Anexo F.

Na Tabela 5.30 e Tabela 5.31, pode observar-se os resultados finais obtidos neste ensaio, para as argamassas de cal hidráulica e bastardas, respectivamente.

Tabela 5.30 - Absorção de água por capilaridade nas argamassas de cal hidráulica, ao fim de 72 horas

Argamassas		Absorção de água por capilaridade [kg/m ²]	Δ Abs. Cap.	Abs. Cap. [mm]
CH	100A	36,7	-	155,0
	60A+R1	36,5	-0,77%	155,0
	40A+R1	36,2	-1,47%	155,0
	60A+R2	37,5	2,18%	155,0
	40A+R2	38,9	5,82%	155,0

Tabela 5.31 - Absorção de água por capilaridade nas argamassas bastardas, ao fim de 192 horas

Argamassas		Absorção de água por capilaridade [kg/m ²]	Δ Abs. Cap.	Abs. Cap. [mm]
CH+C	100A	29,9	-	155,0
	60A+R1	19,3	-35,54%	105,2
	40A+R1	17,7	-41,01%	99,7
	20A+40R1+40R3	37,2	24,22%	155,0
	60A+R2	20,1	-32,99%	120,7
	40A+R2	19,1	-36,10%	106,4
	20A+40R2+40R3	49,6	65,73%	155,0
	30R1+70R3	63,2	111,15%	155,0

Com a observação destes resultados, constata-se que, nas argamassas de cal hidráulica, os valores da absorção de água por capilaridade não se modificam de forma muito significativa com a substituição de areia por regranulado negro de cortiça. No caso da utilização do R1, verifica-se que a absorção de água por capilaridade diminuiu ligeiramente, o que já não ocorre com a utilização de R2. Nesse caso, observou-se que o uso dessa granulometria fez aumentar a absorção de água por capilaridade, o que possivelmente ocorre devido à presença de material com maior poder de absorção, ou seja, a parcela mais fina do R2.

Quanto às argamassas bastardas, a introdução de regranulado negro e pó de cortiça influi de forma significativa nos valores da absorção por capilaridade. A utilização de apenas R1 e R2 provoca uma clara diminuição da absorção, em relação à argamassa de referência, o que não ocorre quando estas granulometrias são misturadas com R3, ou pó de cortiça. A utilização conjunta de R2 e R3 provoca um aumento muito mais expressivo do que quando se faz a

utilização de R1 e R3, pois no primeiro caso a absorção por capilaridade (em massa) aumenta mais de 65%, enquanto no segundo caso o crescimento não atinge os 25%.

Na Figura 5.24 e Figura 5.25, são apresentadas as curvas com a absorção por capilaridade em massa e altura, respectivamente, nas argamassas de cal hidráulica.

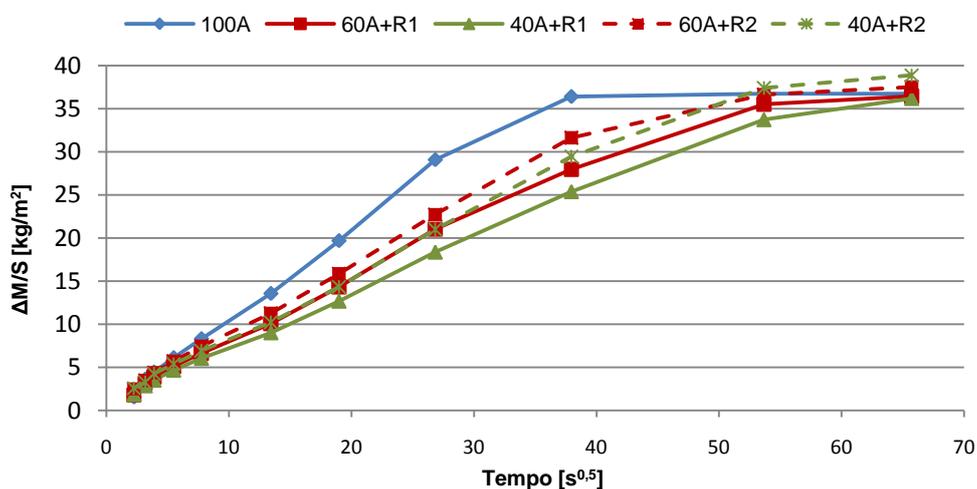


Figura 5.24 - Absorção de água por capilaridade, em massa, das argamassas de cal hidráulica

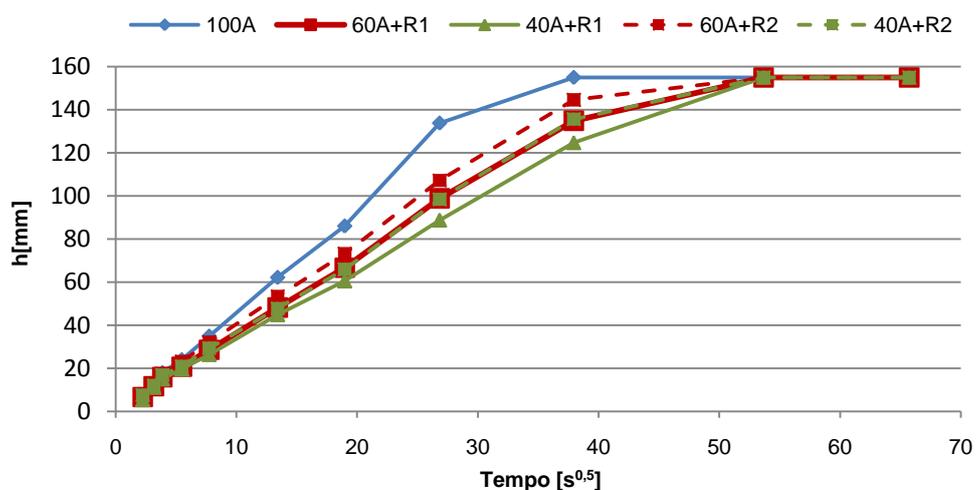


Figura 5.25 - Absorção de água por capilaridade, em altura, das argamassas de cal hidráulica

Analisando as curvas obtidas, pode-se constatar que a massa dos provetes, das argamassas com RNC, mesmo após a água ter atingido o topo dos provetes (155 mm) continua a aumentar, embora em menor velocidade. Este facto não ocorre na mesma grandeza na argamassa de controlo, o que possivelmente significa que o RNC presente nas argamassas de cal hidráulica, após a saturação dos provetes, continua a absorver água. Esta eventualidade também explicaria o facto de a quantidade de água absorvida nas argamassas com RNC, no final do ensaio, ser ligeiramente superior ao determinado na argamassa de controlo. Na comparação de resultados entre as argamassas produzidas com RNC, observa-se que a utilização do R1

possibilita uma maior diminuição da absorção por capilaridade, tanto para uma taxa de substituição de 40% ou 60%.

Na Figura 5.26 e Figura 5.27, são apresentadas as curvas com a absorção por capilaridade em massa e altura, respectivamente, nas argamassas de cal hidráulica.

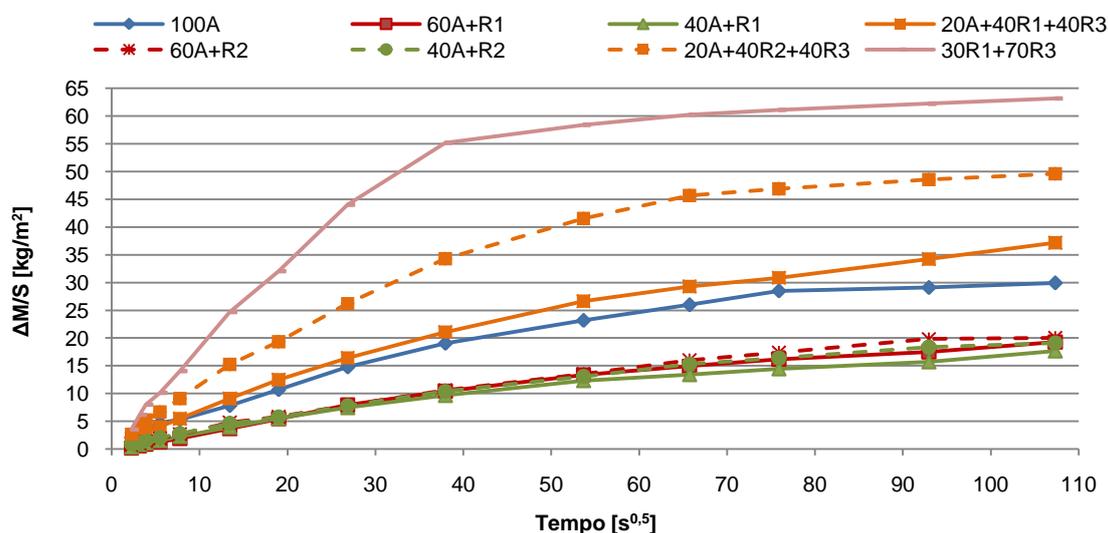


Figura 5.26 - Absorção de água por capilaridade, em massa, das argamassas bastardas

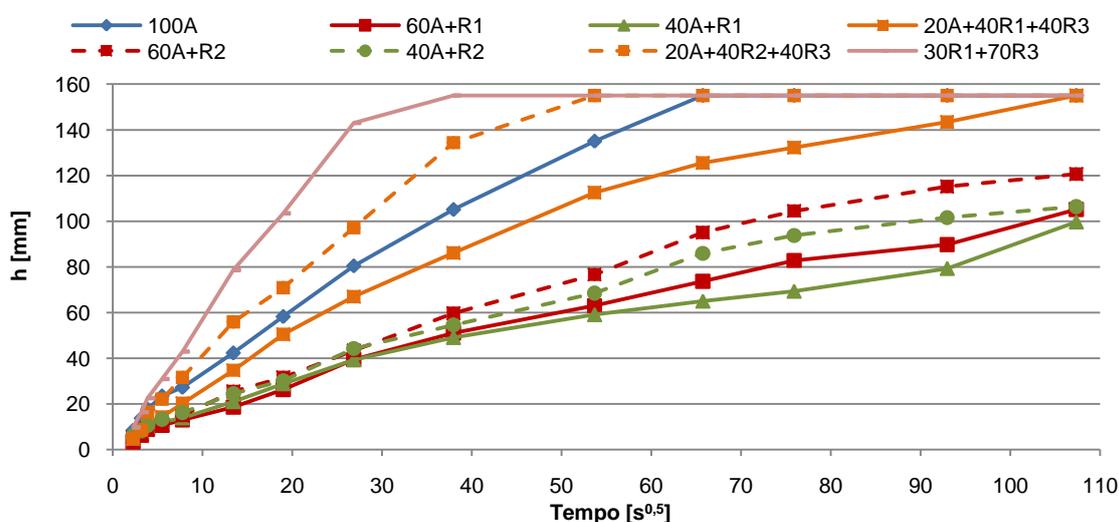


Figura 5.27 - Absorção de água por capilaridade, em altura, das argamassas bastardas

Nos gráficos correspondentes às argamassas bastardas, verifica-se que a velocidade de absorção por capilaridade é maior nas argamassas com grande taxa de substituição de areia por regranulado negro e pó de cortiça. Este facto poderá dever-se à presença nessas argamassas de pó de cortiça, R3, que é um material com grande capacidade de absorção. No que diz respeito às argamassas com taxas de substituição iguais a 40% e 60%, os resultados obtidos não são muito díspares entre si, notando-se em todas estas argamassas uma redução

significativa da absorção quando os seus resultados são confrontados com os da argamassa de referência.

5.4.4 Absorção de água a baixa pressão

A realização do ensaio de absorção de água a baixa pressão, através do método dos cachimbos, permitiu traçar as curvas de tendência da cinética de absorção das argamassas estudadas. Essas curvas são apresentadas para as argamassas de cal hidráulica e argamassas bastardas, na Figura 5.28 e Figura 5.29, respectivamente.

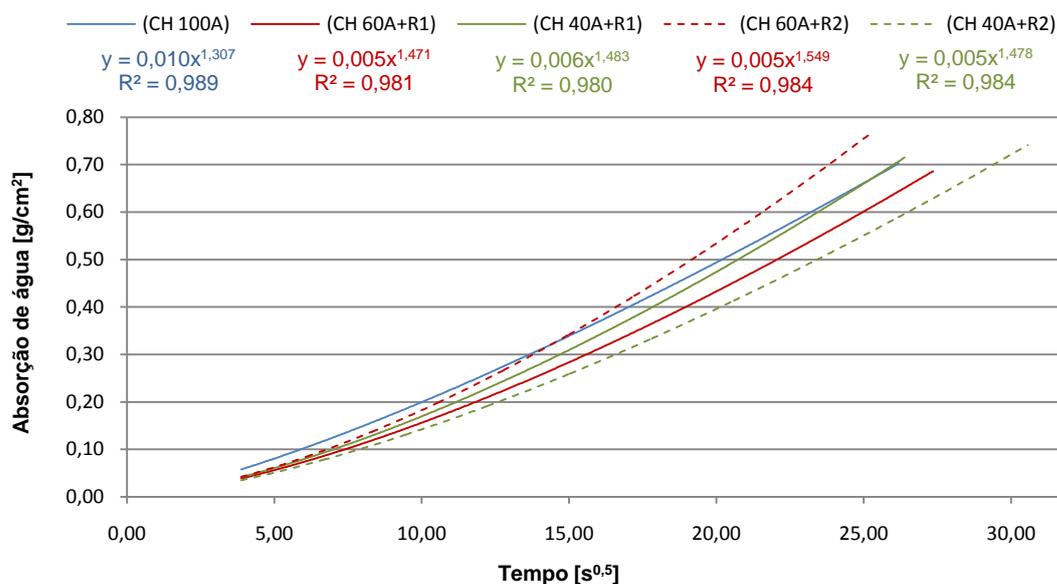


Figura 5.28 - Curvas de tendência da cinética de absorção das argamassas de cal hidráulica

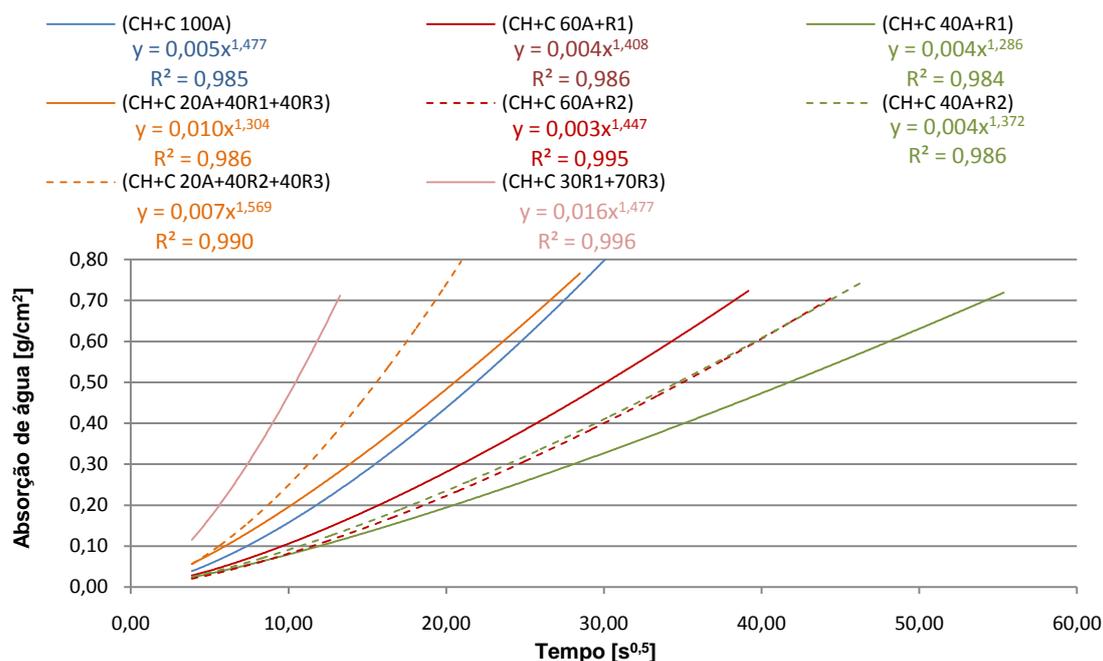


Figura 5.29 - Curvas de tendência da cinética de absorção das argamassas bastardas

Através da análise dos gráficos apresentados, conclui-se que o impacto da substituição de areia por RNC é bastante mais significativo no caso das argamassas bastardas do que nas argamassas de cal hidráulica. Também se verifica que a absorção de água nas argamassas bastardas, com alta taxa de substituição de areia por RNC (igual ou superior a 80%), cresce significativamente, o que poderá ser explicado com a presença de pó de cortiça, R3, tal como acontece no ensaio de absorção por capilaridade.

Na análise realizada, constata-se que existe uma diferença de comportamento entre argamassas de cal hidráulica e bastardas quando se incorpora regranulado negro e pó de cortiça, para taxas de substituição de 40% e 60%. Nas primeiras argamassas, o tempo necessário para que a totalidade da absorção ocorra não sofre uma modificação muito significativa, enquanto nas argamassas bastardas a absorção torna-se bastante mais lenta do que quando comparadas com as argamassas de referência.

5.4.5 Absorção de água por imersão

O ensaio de determinação da absorção de água por imersão foi realizado em conformidade com a especificação LNEC E-394 (LNEC, 1993). Os resultados deste ensaio permitem obter maior conhecimento sobre a existência de poros abertos nas argamassas produzidas.

Na Tabela 5.32 e na Tabela 5.33 são apresentados os resultados finais deste ensaio, nomeadamente a absorção de água de cada provete (em massa) e a variação do teor em água.

Tabela 5.32 - Absorção de água por imersão e variação do teor de água nas argamassas de cal hidráulica

Argamassa	Δm_i [g]	Δw_i
CH 100A	56,7	11,91%
CH 60A+R1	57,6	15,15%
CH 60A+R2	56,8	15,05%
CH 40A+R1	60,9	19,50%
CH 40A+R2	57,5	19,30%

Com os dados apresentados, conclui-se que a introdução de regranulado negro de cortiça nas argamassas de cal hidráulica faz aumentar a absorção de água por imersão, na ordem dos 2/3% para uma taxa de substituição de 40% e de cerca de 5% para uma taxa de substituição de 60%.

Tabela 5.33 - Absorção de água por imersão e variação do teor de água nas argamassas bastardas

Argamassa	Δm_i [g]	Δw_i
CH+C 100A	52,1	10,58%
CH+C 60A+R1	52,9	13,36%
CH+C 60A+R2	48,2	12,47%
CH+C 40A+R1	52,1	15,79%
CH+C 40A+R2	47,6	15,23%
CH+C 20A+40R1+40R3	71,0	30,50%
CH+C 20A+40R2+40R3	75,2	33,83%
CH+C 30R1+70R3	94,6	68,02%

Nas argamassas bastardas, o comportamento das argamassas para taxas de substituição iguais às ensaiadas para argamassas de cal hidráulica é bastante similar em termos de teor de água nas argamassas. Para percentagens de substituição mais elevadas, o comportamento das argamassas bastardas é bastante penalizado, atingindo-se um aumento do teor de água na argamassa próximo dos 70%, o que corresponde a uma absorção de água de quase 95 gramas, num provete de 256 cm³, o que é considerável.

5.4.6 Secagem após imersão

O ensaio de secagem após imersão foi realizado para que se faça a análise da velocidade de secagem unidireccional das argamassas produzidas. Para tal, com os resultados obtidos, foi traçada uma curva de secagem, em função da massa de água presente nos provetes em relação ao momento em que estes foram retirados do excicador, Figura 5.30 e Figura 5.31. A variação da massa de água presente nas argamassas ao longo do ensaio, assim como, o teor de água ao longo dos 70 dias de ensaio são apresentados nos Anexos G e H.

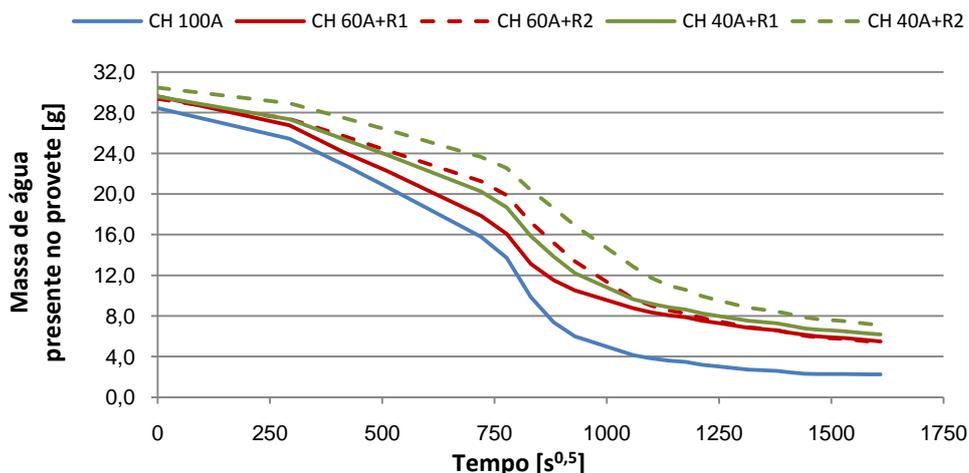


Figura 5.30 - Curvas de secagem, após imersão, das argamassas de cal hidráulica

Com a análise das curvas de secagem das argamassas de cal hidráulica, constata-se que as argamassas com regranulado negro de cortiça têm um processo de secagem mais lento, o que é agravado com a utilização de R2 em relação à utilização de R1. Também se pode afirmar que a massa de água presente nos provetes é tendencialmente maior no caso das argamassas com RNC do que na argamassa de controlo.

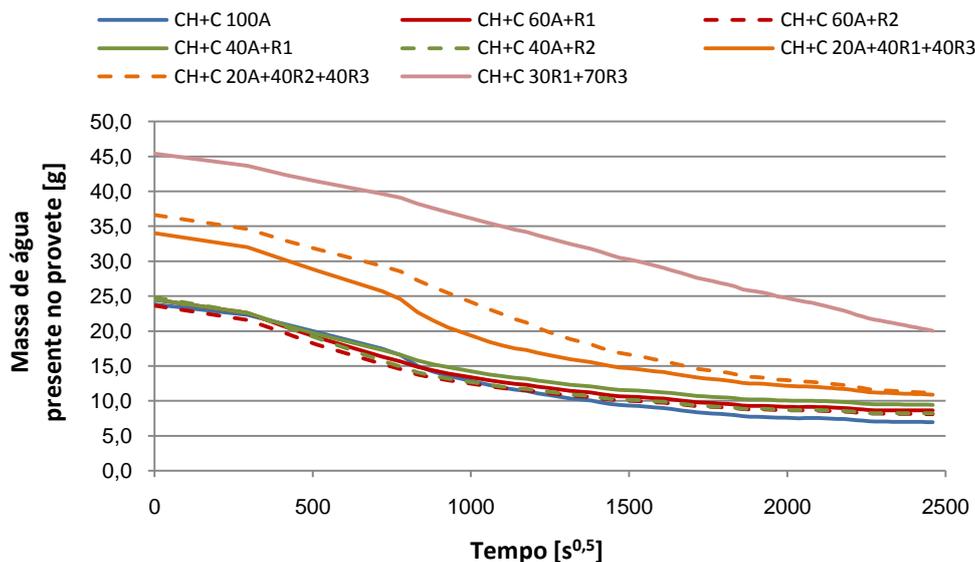


Figura 5.31 - Curvas de secagem, após imersão, das argamassas bastardas

Nas argamassas bastardas ensaiadas, verificou-se que a secagem para taxas de substituição de 40% e 60% apresenta uma dinâmica bastante semelhante à argamassa de referência, o que não sucede para uma taxa de substituição de 80% e 100%. Nestas argamassas, constata-se que a absorção de água após imersão é consideravelmente maior (no caso da substituição total de areia por RNC a absorção de água, em massa, atinge-se um acréscimo de cerca de 90%), verifica-se ainda que o teor de água no fim do período de secagem é maior tal como em

todas as outras argamassas com regranulado negro e pó de cortiça. Pode-se ainda referir que na argamassa produzida sem a utilização de areia, CH+C 30R1 + 70R3, se deveria ter prolongado o registo da massa dos provetes, pois a curva de secagem, no final dos 70 dias, ainda não apresenta uma tendência de estabilização tal como acontece em todas as outras argamassas.

Uma nota ainda para a zona dos gráficos onde existe um súbito aumento do declive das curva de secagem, o que possivelmente se explica pela alteração das condições de temperatura e humidade do local onde os provetes se encontravam.

5.4.7 Ensaio de arrancamento em argamassas pintadas

O ensaio de arrancamento foi realizado com o intuito de analisar a aplicabilidade real das argamassas para uma situação comum de acabamento com tinta. Para que o resultado do ensaio não ficasse dependente das propriedades de uma única tinta, foram escolhidas duas tintas com diferente veículo fixo, no caso, uma tinta aquosa acrílica (Stucomat) e uma tinta aquosa vinílica (REP).

Numa primeira análise, apresentam-se os dados relativos à tensão de ruptura que foi registada no ensaio de arrancamento para cada binómio “argamassa-tinta”, Tabela 5.34 e Tabela 5.35.

Tabela 5.34 - Tensão de ruptura ao arrancamento nas argamassas de cal hidráulica

Tinta	Tensão de ruptura nas argamassas "CH" [MPa]				
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2
Acrílica	0,226	0,076	0,071	0,121	0,084
Vinílica	0,191	0,161	0,122	0,157	0,137

Tabela 5.35 - Tensão de ruptura ao arrancamento nas argamassas bastardas

Tinta	Tensão de ruptura nas argamassas "CH+C" [MPa]							
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2	20A+40R1+40R3	20A+40R2+40R3	30R1+70R3
Acrílica	0,179	0,219	0,130	0,227	0,201	0,248	0,102	0,158
Vinílica	0,189	0,364	0,334	0,387	0,357	0,318	0,244	0,177

Quanto aos resultados obtidos nas argamassas de cal hidráulica, Tabela 5.34, constata-se que a introdução de regranulado negro de cortiça provoca uma redução da resistência à tracção nos provetes estudados. Também é notório que este efeito é ampliado com a utilização do regranulado R2, quando comparado com a utilização de R1. Nos provetes de argamassa de cal hidráulica também se verifica que a aplicação de tinta aquosa acrílica é mais sensível à substituição de areia por RNC, do que acontece para a aplicação de tinta aquosa vinílica.

Nos provetes de argamassas bastardas não se pode afirmar que exista uma tendência clara no que diz respeito à tensão de ruptura por arrancamento, embora mais uma vez seja claro que a utilização de R2, em alternativa ao R1, acaba por penalizar o desempenho da argamassa. Com a aplicação de tinta aquosa acrílica, em provetes de argamassa bastarda, constata-se que a utilização de areia em conjunto com o regranulado R1 resulta numa melhoria da resistência ao arrancamento. Pode-se referir ainda que esse efeito é tanto maior quanto a percentagem de RNC utilizada, dentro da gama de argamassas produzidas neste trabalho experimental. A aplicação de tinta aquosa vinílica revelou resultados bastante animadores, pois conseguem-se resultados substancialmente melhores com a utilização conjunta de R1 ou R2 e areia na formulação destas argamassas, em relação à argamassa de referência. O aumento de resistência ao arrancamento das argamassas pintadas, nestes casos, pode atingir os 100%.

No caso da substituição total da areia por regranulado negro e pó de cortiça nas argamassas bastardas, as resistências obtidas são um pouco menores, no caso da tinta aquosa acrílica a diminuição é de cerca de 12%, enquanto na aquosa vinílica não atinge os 7%.

De seguida, apresenta-se a informação relativa à zona do provete onde ocorreu a ruptura, Tabela 5.36 e Tabela 5.37. Estes dados são importantes, pois permitem compreender se a camada de tinta aplicada se ligou convenientemente ao suporte ou se, pelo contrário, a introdução de regranulado negro e pó de cortiça penaliza esse importante aspecto.

Tabela 5.36 - Tipo de ruptura nos provetes de argamassa de cal hidráulica pintada

Tinta	Zona predominante de ruptura nas argamassas "CH"				
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2
Acrílica	30% A, 70% A/T	70% A, 30% A/T	100% A/T	10% A, 90% A/T	50% A, 50% A/T
Vinílica	100% A/T	80% A, 20% A/T	100% A/T	100% A/T	50% A, 50% A/T

Nas argamassas de cal hidráulica, o tipo de ruptura dos provetes varia essencialmente com o tipo de RNC utilizado. Com a utilização de R1, a solução com uma taxa de substituição de 60% revelou-se a que mais problemas apresenta na ligação argamassa-tinta, pois nos ensaios com os dois tipos de tinta a ruptura é, essencialmente, coesiva. Na argamassa CH 60A+R1, em existe uma taxa de substituição de 40% de areia por R1, o provete em que foi aplicada tinta acrílica não sofre nenhuma alteração do tipo de ruptura e no caso da utilização de tinta vinílica a ruptura passa de adesiva a coesiva. Nas argamassas onde foi incorporado o regranulado R2, o comportamento com os dois tipos de tipos de tinta foi bastante semelhante, constatando-se que com maior quantidade de R2 a tinta adere melhor à argamassa de reboco.

Tabela 5.37 - Tipo de ruptura nos provetes de argamassa bastarda pintada

Tinta	Zona predominante de ruptura nas argamassas "CH+C"							
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2	20A+40R1+40R3	20A+40R2+40R3	30R1+70R3
Acrílica	100% A/T	100% A/T	100% A/T	100% A/T	100% A/T	20% A, 80% A/T	10% A, 90% A/T	10% A, 90% A/T
Vinílica	100% A/T	100% A/T	100% A/T	100% A/T	100% A	90% A, 10% A/T	30% A, 70% A/T	30% A, 70% A/T

Nas argamassas bastardas, observa-se que, nos provetes com menor teor de regranulado e pó de cortiça, a ruptura acontece na zona da ligação da argamassa e da tinta, ou seja, a ruptura é adesiva. Esta situação pode ocorrer devido a estas argamassas apresentarem maior resistência mecânica, o que leva a que seja a zona junto à tinta seja a mais propícia a romper, até por ser essa zona que está mais exposta ao fenómeno da evaporação durante a cura. Nos provetes com maior utilização de cortiça (com 80% e 100% do total do volume dos agregados) e em que se aplicou a tinta acrílica, a forma preponderante de ruptura foi também a adesiva, embora em algumas zonas se notasse que a ruptura ocorria na argamassa. Nos provetes em que foi aplicado o acabamento com tinta aquosa vinílica sobressai o facto de dois tipos de argamassa, CH+C 40A+R2 e CH+C 20A+40R1+40R3, apresentarem uma ruptura do tipo coesivo na argamassa. Esta ocorrência pode significar que a ligação argamassa-tinta nestas situações foi bem conseguida o que levou a que o plano de fraqueza do provete se localizasse na argamassa, o que não aconteceu nos restantes casos estudados.

5.4.8 Resistência ao desenvolvimento de fungos

O ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos teve como objectivo estudar a viabilidade da aplicação das argamassas com RNC, em alternativa às argamassas de reboco comuns. Deste modo, os dados obtidos são apresentados individualmente, focando-se os seguintes pontos:

- Área colonizada, através da classificação segundo a ASTM D 5590-00;
- Velocidade a que a colonização ocorre, durante as 4 semanas de ensaio;
- Homogeneidade dos resultados obtidos para cada argamassa.

Argamassa CH 100A

Na Figura 5.32 é apresentada a classificação, ao longo das 4 semanas de ensaio, de cada um dos provetes estudados de CH 100A. Após a análise destes dados, pode-se afirmar que o resultado mais frequente nas amostras estudadas é o “crescimento moderado”, embora também haja a ocorrência de uma amostra com “crescimento ligeiro” e outra com “vestígios de

crescimento”. Pode-se ainda afirmar que na superfície deste tipo de argamassas existiu crescimento de fungos desde o início do ensaio, embora este tenha estabilizado a partir da segunda ou terceira semana, exceção feita ao provete com menor crescimento de fungos, no qual apenas foi visível crescimento durante a última semana de ensaio.

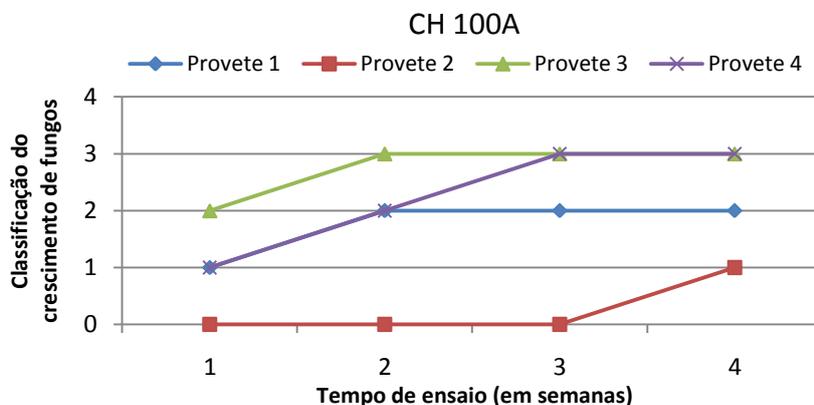


Figura 5.32 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH 100A

Argamassa CH 60A+R1

No ensaio dos provetes da argamassa CH 60A+R1, Figura 5.33, obtiveram-se resultados mais homogêneos do que na argamassa de controlo (CH 100A). No final das 4 semanas, a classificação, mais frequente, nesta argamassa é o “crescimento ligeiro”. O ritmo de colonização das amostras também é relativamente semelhante, pois as quatro curvas, apesar de não serem coincidentes, formam um “canal de crescimento”.

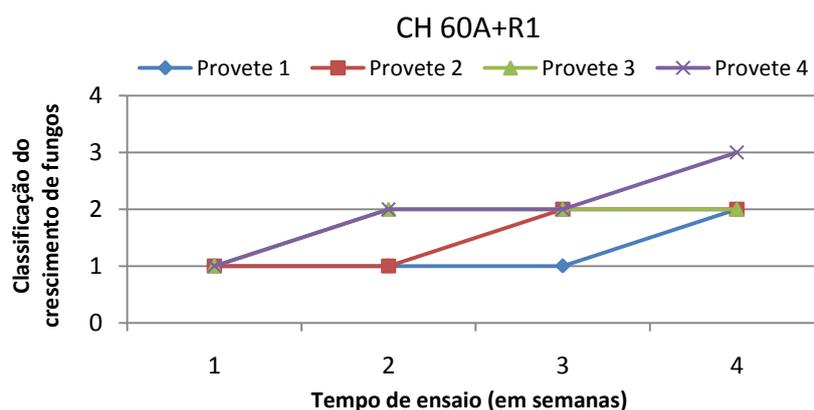


Figura 5.33 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH 60A+R1

Confrontando os resultados desta argamassa com a respectiva argamassa de controlo, observa-se que esta argamassa apresenta valores menos dispersos e que estes revelam também uma subtil menor tendência para a colonização com fungos.

Argamassa CH 60A+R2

Os dados obtidos através do ensaio realizado aos provetes de CH 60A+R2 são apresentados de seguida, Figura 5.34. Este ensaio demonstrou que, ao fim das 4 semanas, o resultado mais frequente é a colonização do provete atinja o intervalo 30%-60%, ou seja, “crescimento ligeiro”. A velocidade de colonização dos provetes estudados é também semelhante à argamassa produzida com R1, embora um dos provetes, o “Provete 1”, apresente um comportamento díspar, em que o crescimento atinge a totalidade da superfície, com desenvolvimento a ritmo elevado.

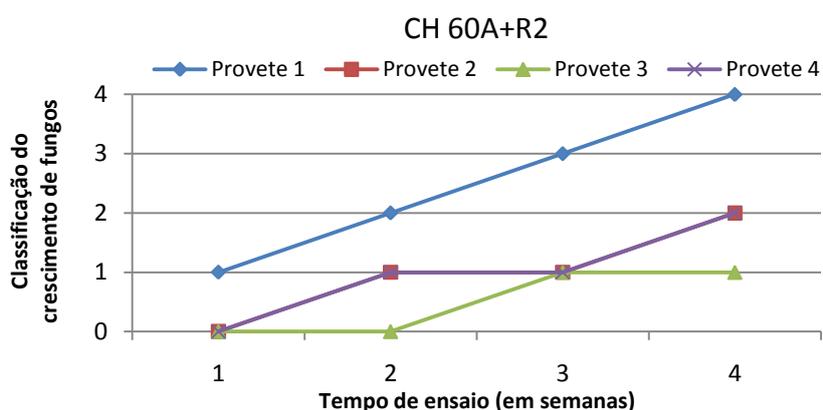


Figura 5.34 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH 60A+R2

Argamassa CH 40A+R1

Os dados retirados do ensaio realizado à argamassa de cal hidráulica CH 40A+R1, em que 60% da mistura de agregados é composta por R1, são apresentados no gráfico da Figura 5.35.

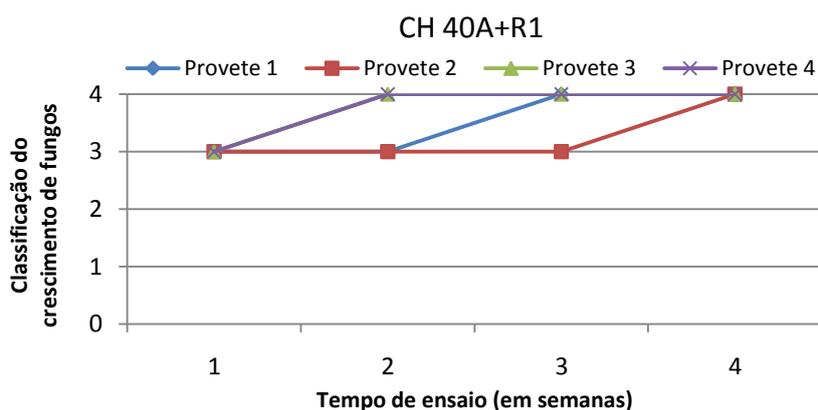


Figura 5.35 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH 40A+R1

Com o crescimento do teor de RNC, no caso R1, verifica-se que a colonização por fungos é significativa, pois no final das 4 semanas de ensaio a totalidade da superfície dos provetes estava totalmente colonizada. A colonização máxima dos provetes foi atingida em 3 semanas

diferentes, o que revela alguma disparidade nos resultados, no que diz respeito à velocidade de colonização. Deste modo, pode-se concluir que utilizando uma taxa de substituição de 60% de areia por R1 o comportamento da argamassa à colonização por fungos piora significativamente, ao contrário do que acontece quando se realiza uma substituição de apenas 40%, onde se observa uma pequena melhoria em relação à argamassa de controlo.

Argamassa CH 40A+R2

Na Figura 5.36, apresentam-se os resultados dos provetes de CH 40A+R2.

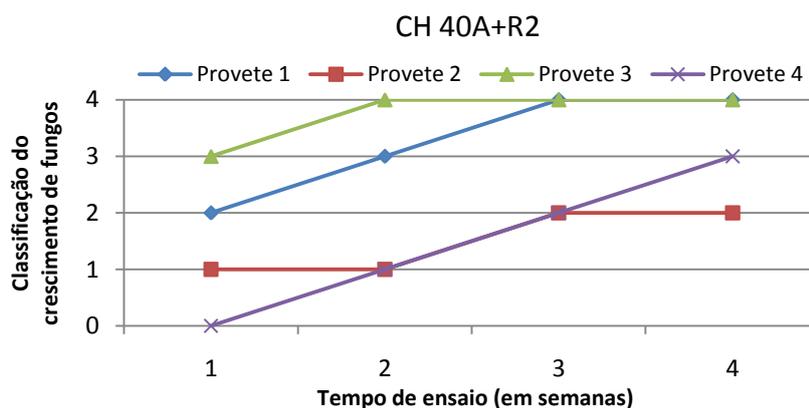


Figura 5.36 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH 40A+R2

O resultado mais frequente no ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos da argamassa CH 40A+R2 é “crescimento intenso”, embora também haja a ocorrência de “crescimento moderado” e de “crescimento ligeiro”. Mais uma vez, com utilização de R2, se constata que existe uma maior dispersão dos resultados obtidos, por comparação das argamassas com R1. Este facto poderá ser originado pela presença de maior quantidade de regranulado fino de cortiça, assim como, pela maior heterogeneidade do regranulado utilizado.

Argamassa CH+C 100A

Na Figura 5.37 são apresentados os resultados obtidos neste ensaio por parte da argamassa bastarda de controlo.

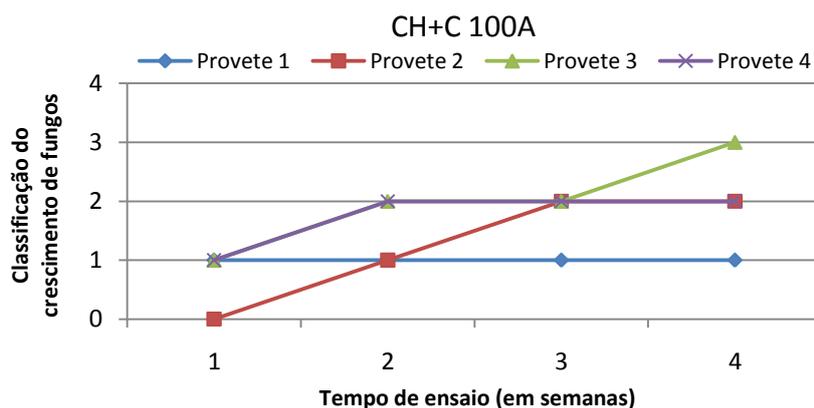


Figura 5.37 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 100A

Com os dados obtidos, pode-se afirmar que neste ensaio, ao fim das 4 semanas, não existe grande probabilidade de se observar mais de 50% do provete atingido por colonização. Aliás, o resultado mais frequente foi o “crescimento ligeiro”, onde o crescimento não ultrapassa os 30% da superfície total do provete. Deve-se referir também que num dos provetes não existiu crescimento depois da primeira semana, tendo-se verificado nesse mesmo caso que apenas existiram “vestígios de crescimento” no final do ensaio. Nos restantes provetes (provete 2, 3 e 4) o ritmo de colonização não foi muito díspar.

Argamassa CH+C 60A+R1

Os resultados obtidos no ensaio da argamassa bastarda CH+C 60A+R1 são apresentados na Figura 5.38.

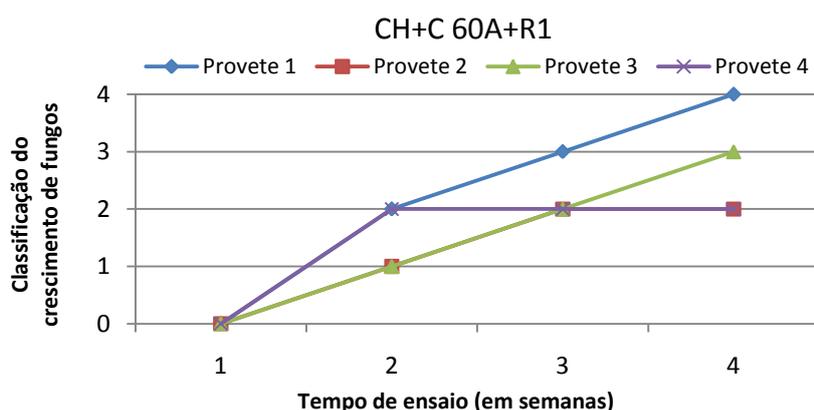


Figura 5.38 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 60A+R1

No gráfico apresentado é notório que esta argamassa não é colonizada por fungos durante primeira semana, embora a partir desse momento ocorra um crescimento a ritmo que pode ser considerado elevado. Este facto leva a que um dos provetes tenha ficado totalmente colonizado, enquanto outro sofreu “crescimento moderado”, embora o acontecimento mais

frequente verificado tenha sido “crescimento ligeiro”. Deste modo, é expectável que esta argamassa apresente alguma resistência inicial à colonização, resistência que se desvanece após a presença dos primeiros sinais de fungos.

Argamassa CH+C 60A+R2

Os resultados obtidos com o ensaio da outra argamassa bastarda em que foi utilizada uma taxa de substituição de 40% de areia por RNC, neste caso R2, são apresentados na Figura 5.39.

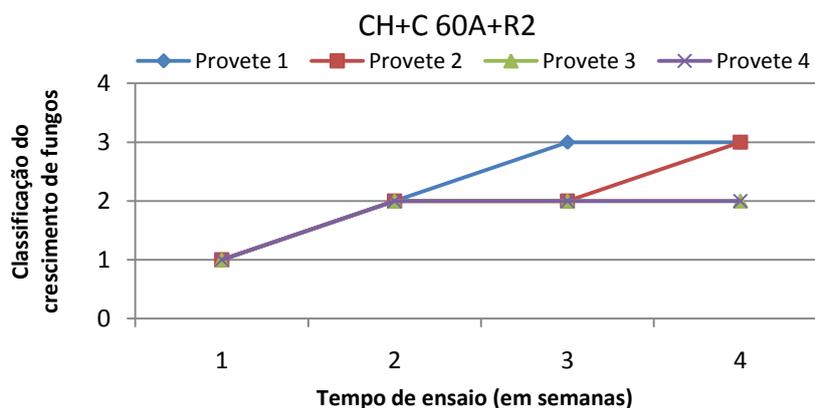


Figura 5.39 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 60A+R2

Com a utilização de R2, verifica-se que a presença de colonização logo após decorrida 1 semana de ensaio. A presença de fungos na superfície dos provetes estudados evoluiu até final do ensaio, registando-se após 4 semanas a existência de igual número de casos de “crescimento ligeiro” e de “crescimento moderado”. O conjunto de resultados obtido pode ser considerado relativamente homogêneo, no que diz respeito à colonização final das amostras, quer no que toca à velocidade do crescimento dos fungos.

Argamassa CH+C 40A+R1

O gráfico da Figura 5.40 mostra a evolução da colonização por fungos dos 4 provetes de CH+C 40A+R1 estudados.

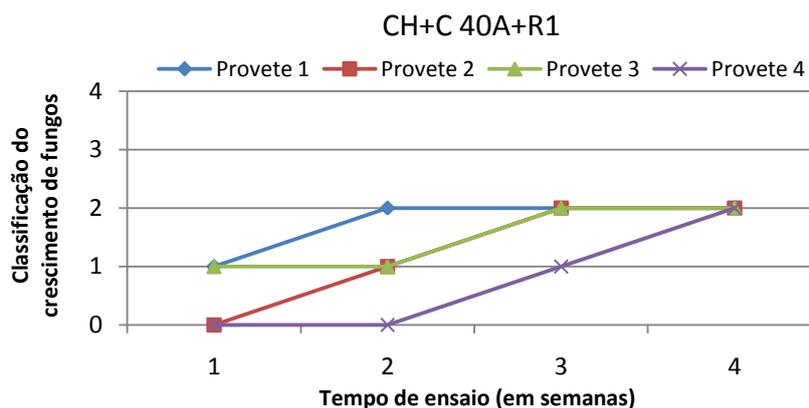


Figura 5.40 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 40A+R1

As argamassas produzidas com esta argamassa apresentam “crescimento ligeiro” em todos os provetes, no final das 4 semanas de ensaio, embora o ritmo de colonização observado não tenha sido homogêneo. Deste modo, é possível concluir que este material não cria as condições necessárias para que os fungos utilizados se desenvolvam facilmente em toda a extensão dos provetes.

Argamassa CH+C 40A+R2

Os resultados do provetes da argamassa CH+C 40A+R2 são apresentados no gráfico seguinte, Figura 5.41.

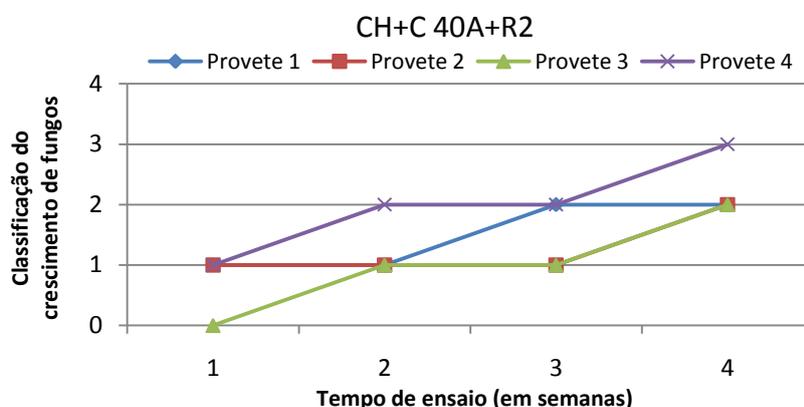


Figura 5.41 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 40A+R2

O “crescimento ligeiro” é o resultado mais observado no final das 4 semanas de ensaio, embora num dos provetes tenha ocorrido “crescimento moderado”. Quanto ao ritmo de crescimento da área colonizada, apesar das curvas traçadas não serem coincidentes, consegue-se identificar um “canal de crescimento”. Este “canal de crescimento” marca, de forma clara, a tendência geral do crescimento dos fungos nestas argamassas.

Argamassa CH+C 20A+40R1+40R3

A Figura 5.42 esquematiza o crescimento de fungos na superfície das argamassas durante as 4 semanas correspondentes à duração do ensaio.

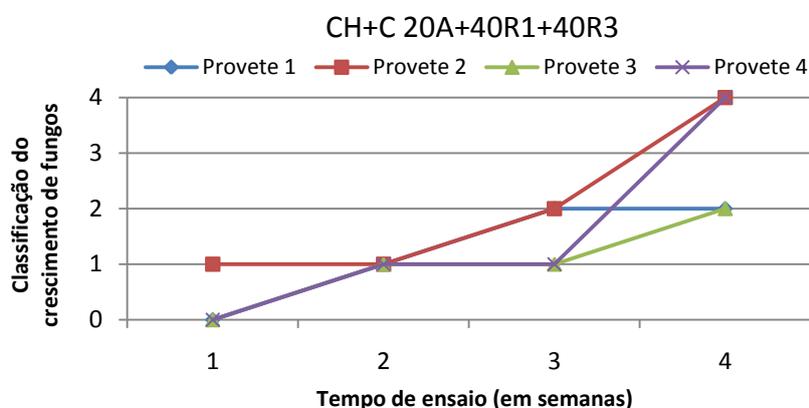


Figura 5.42 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 20A+40R1+40R3

Analisando os resultados obtidos com esta argamassa, pode-se afirmar que, até ao final das duas primeiras semanas de ensaio, o crescimento observado é residual. No entanto, a partir desse momento, 2 dos provetes estudados aumentam o ritmo de crescimento de forma significativa, o que leva a que no final do ensaio se verifique a existência de “crescimento intenso” nesses mesmos provetes. Nos restantes 2 provetes estudados não aconteceu o mesmo fenómeno de crescimento a partir das 2 semanas de ensaio, sendo que o resultado final em ambos foi “crescimento ligeiro”.

Deste modo, pode-se concluir que o comportamento desta argamassa perante uma situação de possível colonização por fungos não é muito claro. Um factor que poderá estar na origem das diferentes velocidades de desenvolvimento dos fungos, a partir da 2 semana, é a presença de R3. Este facto, aliado ao baixo teor de areia na argamassa, também pode ser uma das explicações para que o desenvolvimento dos fungos seja maior, no final do ensaio.

Argamassa CH+C 20A+40R2+40R3

Os resultados obtidos no ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos na argamassa CH+C 20A+40R2+40R3, ao longo de 4 semanas, estão representados na Figura 5.43.

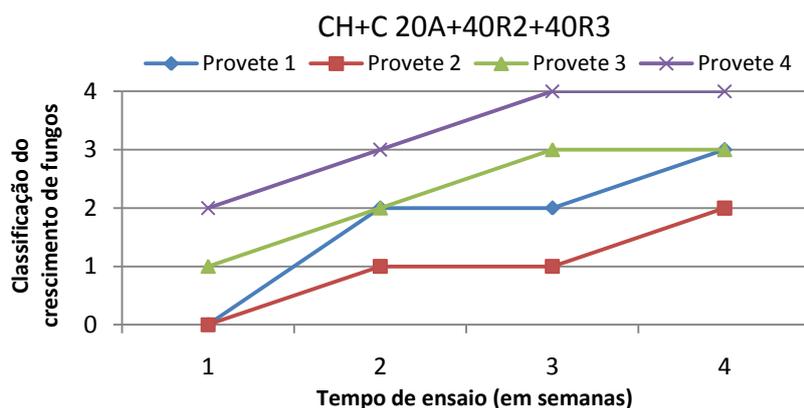


Figura 5.43 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 20A+40R2+40R3

O primeiro dado que facilmente se retira da observação da Figura 5.43 é que os provetes estudados apresentam resultados bastante diferentes entre si. Ainda assim, é possível concluir-se que o resultado mais frequente, no final das 4 semanas de ensaio, é “crescimento moderado”, embora haja a existência de um provete com “crescimento intenso” e outro com “crescimento ligeiro”.

A utilização do R3, tal como na argamassa CH+C 20A+40R1+R3, em conjunto presença da fracção de finos do regranulado R2, pode também ser responsável pela variabilidade dos resultados obtidos.

Argamassa CH+C 30R1+70R3

Por fim, indicam-se os resultados da argamassa bastarda produzida sem inclusão de areia, Figura 5.44.

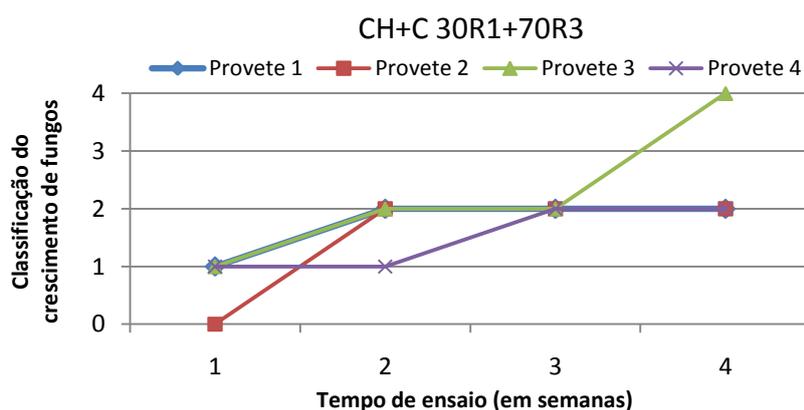


Figura 5.44 - Ensaio de resistência ao desenvolvimento de fungos, na argamassa CH+C 30R1+70R3

Três dos provetes da argamassa CH+C 30R1+70R3 apresentaram “crescimento ligeiro”, enquanto o restante sofreu um “crescimento intenso”. Com a excepção do provete 4, a partir da segunda semana não existiu uma expansão significativa da área colonizada. Este facto, pode

significar que uma argamassa com esta composição não constitui um bom suporte para fungos, embora se deva tentar compreender o porquê de um dos provetes não se comportar de modo semelhante.

Análise global do comportamento das argamassas

Para além dos ensaios nas argamassas, também se realizaram ensaios de desenvolvimento à resistência de fungos nas três granulometrias de RNC e num material que serviu de referência (papel). Os resultados registados foram bastante claros, pois as três granulometrias (tal como o papel) no final do ensaio obtiveram um crescimento correspondente à classificação mais elevada (crescimento intenso), ou seja, um mau desempenho nas condições existentes.

De seguida apresenta-se a Figura 5.45, onde é representada a média do crescimento observado em cada argamassa de cal hidráulica.

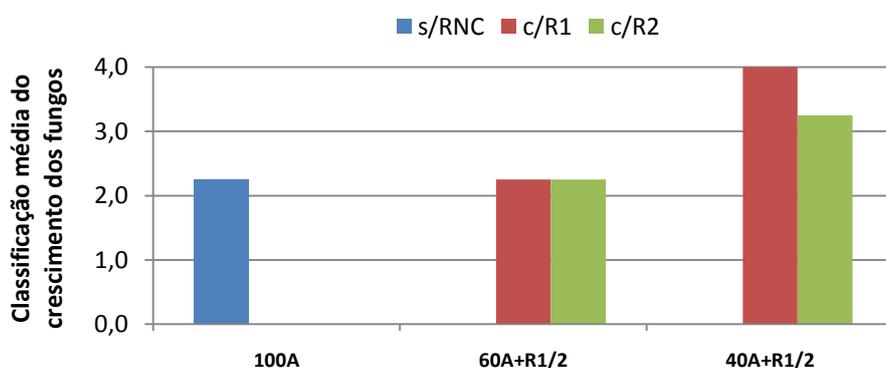


Figura 5.45 - Média da classificação do crescimento dos fungos em cada argamassa de cal hidráulica (CH)

Com a análise deste gráfico pode-se concluir que perante as condições existentes só as argamassas bastardas com uma taxa de substituição de 60% têm um comportamento menos satisfatório que a respectiva argamassa de controlo (CH 100A). Nas argamassas com uma taxa de substituição de 40%, o valor médio registado foi exactamente igual à argamassa de controlo, podendo por isso concluir-se que o comportamento destas argamassas perante fungos será muito semelhante a uma argamassa tradicional de cal hidráulica.

Os resultados médios obtidos para cada argamassa bastarda são apresentados na Figura 5.46.

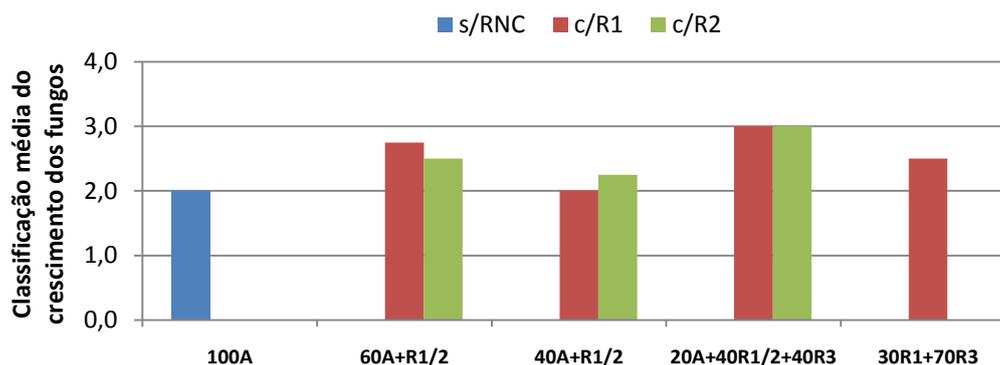


Figura 5.46 - Média da classificação do crescimento dos fungos em cada argamassa bastarda (CH+C)

Com a análise do gráfico anterior, observa-se que nenhuma das argamassas bastardas estudadas apresenta um crescimento intenso. No entanto, em relação à argamassa de controlo existe um pequeno aumento do desenvolvimento dos fungos, no final das 4 semanas, especialmente nas argamassas com uma taxa de substituição de 80%.

Por fim, pode-se afirmar que neste aspecto as argamassas com RNC podem ter um comportamento aproximado ao de uma argamassa tradicional.

5.4.9 Ensaio de condutibilidade térmica

Como foi referido na descrição dos procedimentos do ensaio da condutibilidade térmica das argamassas, antes de realizar a determinação do fluxo de calor que passa entre duas superfícies paralelas dos provetes, faz-se o cálculo da massa volúmica aparente após condicionamento. Isto acontece, porque na generalidade dos casos, conseguindo baixar a massa volúmica aparente de um material, consegue-se que este se converta num isolante térmico mais eficaz.

Deste modo, optou-se por apresentar os dados recolhidos no cálculo da massa volúmica aparente após condicionamento e na determinação da condutibilidade térmica, de modo a verificar se esta “regra” é válida no caso em estudo. Na Figura 5.47 e na Figura 5.48 são apresentados os dados relativos às duas argamassas de cal hidráulica estudadas, enquanto na Figura 5.49 e na Figura 5.50 se mostram os resultados das cinco argamassas bastardas analisadas. A totalidade dos dados fornecidos pelo LNEC/LEPC é apresentada no Anexo I.

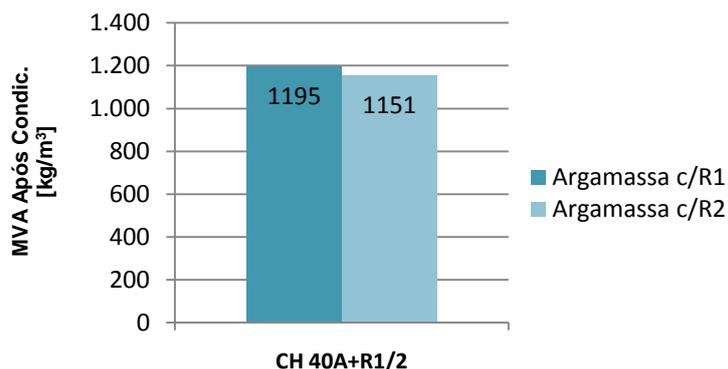


Figura 5.47 - Massa volúmica aparente após condicionamento das argamassas de cal hidráulica

Os valores médios da massa volúmica aparente (MVA) das argamassas de cal hidráulica com utilização de R1 e de R2 são bastante próximos. A diferença entre as MVA é de apenas 3,7%, com o menor valor a ser atingido na argamassa CH 40A+R2.

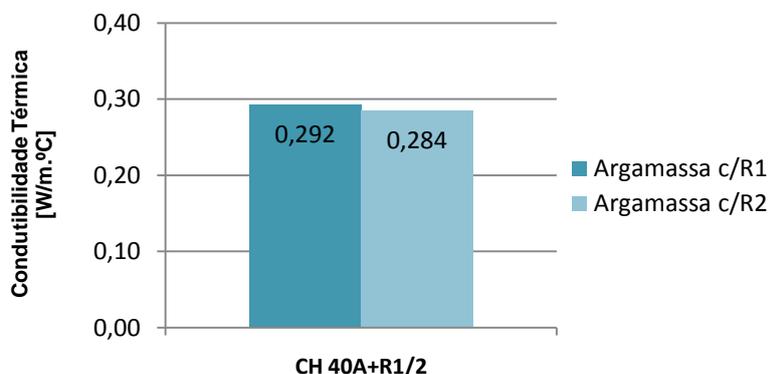


Figura 5.48 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica das argamassas de cal hidráulica

Tal como sucede com os dados da MVA, os valores da condutibilidade térmica também são bastante semelhantes, com a argamassa CH 40A+R2, mais uma vez, a apresentar um valor inferior. A diferença entre os resultados obtidos é de apenas 2,7%, e comprova-se que a argamassa com menor MVA é aquela que possui melhor comportamento térmico, por apresentar mais resistência à passagem do fluxo de calor.

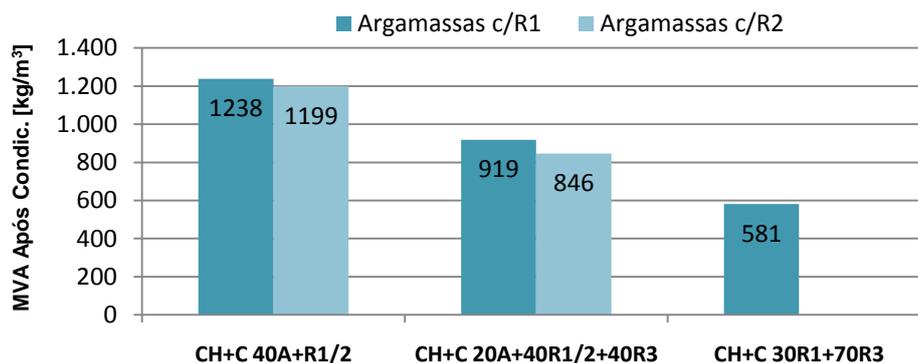


Figura 5.49 - Massa volúmica aparente após condicionamento das argamassas bastardas

Também nas argamassas bastardas a MVA após condicionamento é menor quando se utiliza R2, em oposição ao regranulado R1. Como seria de esperar, quanto maior o teor de regranulado e/ou pó de cortiça utilizado, menor é a MVA da argamassa.

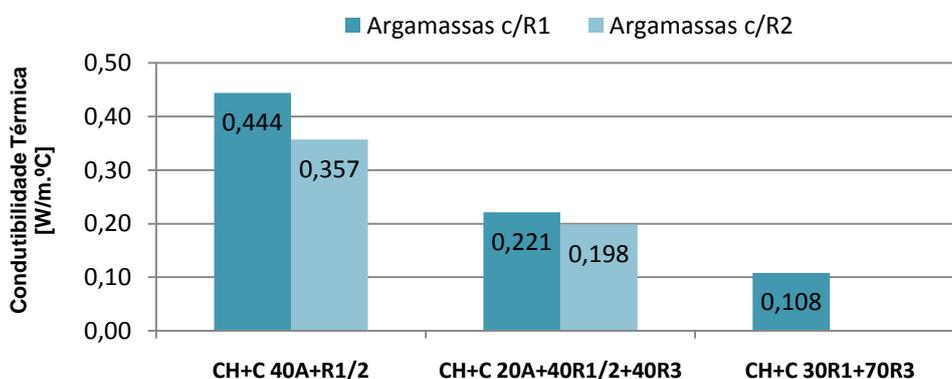


Figura 5.50 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica das argamassas bastardas

No gráfico da Figura 5.50, observa-se que nas duas argamassas bastardas com taxa de substituição de 60%, existem ganhos térmicos bastante mais vantajosos decorrentes da utilização de R2 em vez de R1, com a diferença a situar-se nos 19,6%. Nas argamassas CH+C 20A+40R1/2+40R3, os resultados obtidos não são tão díspares, o que não é surpreendente, pois apenas 40% do volume dos agregados é de granulometrias diferentes.

Nas argamassas bastardas, as grandes taxas de substituição de areia por regranulados e/ou pó de cortiça revelaram resultados a nível térmico bastante favoráveis. Pois note-se que confrontando o resultado obtido pelas argamassas CH+C 40A+R1 e CH+C 30R1+70R3, existe uma redução próxima dos 75% nos valores da condutibilidade térmica, quando se passa da argamassa com areia (CH+C 40A+R1) para a argamassa sem areia (CH+C 30R1+70R3).

Os resultados obtidos, nas argamassas de cal hidráulica e bastardas, quando comparados com os valores de referência fornecidos pelo LNEC (Santos e Matias, 2006) são ainda mais relevantes, senão veja-se a Tabela 5.38:

Tabela 5.38 - Condutibilidade térmica das argamassas estudadas e de outros materiais de construção

Material	MVA [kg/m ³]	Cond. Térm. [W/m.°C]
Arg. de reboco de cal/bastarda e areia (*)	1600	0,800
CH 40A+R1	1195	0,292
CH 40A+R2	1151	0,284
CH+C 40A+R1	1238	0,444
CH+C 40A+R2	1199	0,357
CH+C 20A+40R1+40R3	919	0,221
CH+C 20A+40R2+40R3	846	0,198
CH+C 30R1+70R3	581	0,108
Aglomerado de cortiça expandida (*)	90 - 140	0,045

(*) - valores de referência retirados de (Santos e Matias, 2006)

Na tabela anterior, constata-se que os valores da condutibilidade térmica das argamassas com regranulado e/ou pó de cortiça são intermédios, entre valores de referência das argamassas de reboco comuns e o aglomerado de cortiça expandida, embora mais próximos deste último material. Este facto é bastante evidente na argamassa CH+C 30R1+70R3, ou seja, naquela em que não foi utilizada areia, onde em relação à “argamassa de reboco de cal e areia ou de argamassa bastarda” se reduz a MVA para aproximadamente 1/3, assim como, a condutibilidade térmica baixa para cerca de 1/8. Quando o valor da condutibilidade térmica da argamassa CH+C 30R1+70R3 é comparada com a do aglomerado de cortiça expandida, os resultados são bastante positivos, pois utilizando os dados da tabela anterior para efeitos de cálculo chega-se à conclusão que utilizando uma camada de reboco com espessura inferior a 2,5 cm se consegue o mesmo efeito térmico do que seria atingido com uma placa de 1 cm de aglomerado de cortiça expandida (numa camada de argamassa de reboco comum, teria que se aplicar uma camada de espessura superior a 17 cm!).

Posto isto e aplicando os conhecimentos referidos nos capítulos 3.1 e 3.2, de modo a deixar mais evidentes as vantagens e quantificar o impacto que o uso deste tipo de argamassas pode trazer a nível do desempenho térmico de um paramento já existente, de seguida apresentam-se dois casos fictícios onde estas argamassas poderiam ser utilizadas.

Na “Situação 1”, apresenta-se o estudo de um paramento com deficiente isolamento térmico, constituído por uma camada de reboco interior de 2 cm, um pano de blocos de betão de 20 cm e reboco exterior com 2 cm. Na “Situação 2”, o paramento é constituído por uma camada de reboco interior de 2 cm, uma zona de betão de 20 cm (p.e. um pilar) e reboco exterior de 2 cm.

Em ambas as situações, é estudado o benefício teórico da substituição do reboco interior. Nesta simulação escolheu-se utilizar os valores obtidos no ensaio da argamassa CH+C 30R1+70R3, por ser a argamassa estudada com melhores resultados obtidos no ensaio de condutibilidade térmica.

Tabela 5.39 - Impacto térmico da aplicação de CH+C 30R1+70R3 para dois casos fictícios

Situação 1:	Situação 2:
<ul style="list-style-type: none"> · Reboco interior: $e=2$ cm; $\lambda=0,80$ W/(m.°C) · Bloco de betão: $e=20$ cm; $R=0,30$ (m².°C)/W · Reboco exterior: $e=2$ cm; $\lambda=0,80$ W/(m.°C) <p>Antes da intervenção $\rightarrow U_{\text{parede}} = 1,92$ W/m² Depois da intervenção $\rightarrow U_{\text{parede}} = 1,59$ W/m²</p> <p>$\Delta U_{\text{parede}} = 0,33$ W/m² \rightarrow -17,2%</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Reboco interior: $e=2$ cm; $\lambda=0,80$ W/(m.°C) · Betão: $e=20$ cm; $\lambda=1,75$ W/(m.°C) · Reboco exterior: $e=2$ cm; $\lambda=0,80$ W/(m.°C) <p>Antes da intervenção $\rightarrow U_{\text{parede}} = 2,99$ W/m² Depois da intervenção $\rightarrow U_{\text{parede}} = 2,26$ W/m²</p> <p>$\Delta U_{\text{parede}} = 0,73$ W/m² \rightarrow -24,5%</p>

Nos exemplos indicados na Tabela 5.39, observa-se que utilizando este material, a nível térmico, conseguem-se ganhos significativos, com a redução do fluxo de calor, especialmente quando aplicado em paredes com mau isolamento térmico. Este maior isolamento térmico ocorre sem que para isso seja necessário modificar as dimensões da parede em questão, pois nos casos estudados, apenas se faz a substituição de um reboco comum por um outro de igual espessura, neste caso a argamassa CH+C 30R1+70R3.

A redução do fluxo de calor que atravessa um paramento acarreta também vantagens ao nível da prevenção das condensações superficiais. De forma simplificada, pode-se explicar este facto devido à maior temperatura que a superfície do paramento atinge, o que, por sua vez, não “obriga” a que a humidade relativa do ar no espaço em contacto com esse paramento seja tão baixo.

De seguida, apresentam-se as implicações ao nível das condensações superficiais para os dois casos apresentados anteriormente.

Tabela 5.40 - Impacto nas condensações superficiais com a aplicação de CH+C 30R1+70R3 para dois casos fictícios

Situação 1:	Situação 2:
<ul style="list-style-type: none"> · Temp. interior: $t_i = 20^\circ\text{C}$ · Temp. exterior: $t_e = 0^\circ\text{C}$ · Antes da intervenção $\rightarrow U_{\text{parede}} = 1,92$ W/m² · Depois da intervenção $\rightarrow U_{\text{parede}} = 1,59$ W/m² <p>$t_{si}^{\text{antes}} = 15,00$ °C $\varphi_i^{\text{antes}} = 73\%$ $t_{si}^{\text{depois}} = 15,86$ °C $\varphi_i^{\text{depois}} = 77\%$</p> <p>$\Delta t_{si} = 0,86$ °C $\Delta \varphi_i = 4\%$</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Temp. interior: $t_i = 20^\circ\text{C}$ · Temp. exterior: $t_e = 0^\circ\text{C}$ · Antes da intervenção $\rightarrow U_{\text{parede}} = 2,99$ W/m² · Depois da intervenção $\rightarrow U_{\text{parede}} = 2,26$ W/m² <p>$t_{si}^{\text{antes}} = 12,22$ °C $\varphi_i^{\text{antes}} = 61\%$ $t_{si}^{\text{depois}} = 14,13$ °C $\varphi_i^{\text{depois}} = 69\%$</p> <p>$\Delta t_{si} = 1,91$ °C $\Delta \varphi_i = 8\%$</p>

Com os dados indicados na Tabela 5.40, é indiscutível que as argamassas com regranulado negro e pó de cortiça podem trazer benefícios para o funcionamento de paramentos. Com a utilização deste tipo de reboco, o ar em contacto com o paramento em questão pode ter uma humidade relativa mais elevada sem que existam condensações na superfície dessa parede.

5.5 Síntese da análise de resultados

A análise dos resultados experimentais permitiu avaliar as características principais das argamassas formuladas. Neste ponto do trabalho, ir-se-á, de forma sucinta, relacionar as várias propriedades das argamassas, retirando assim conclusões sobre o impacto, positivo ou negativo, de algumas das decisões tomadas neste trabalho.

5.5.1 Propriedades dos agregados

No capítulo dos agregados, as diferenças mais evidentes entre a areia fina e o regranulado e/ou pó de cortiça utilizados são a sua massa volúmica, o poder de absorção de água, as granulometrias seleccionadas, assim como, a condutibilidade térmica de cada material. No entanto, não se deve esquecer que estes materiais possuem outras características que os distinguem entre si, até mesmo entre as várias granulometrias do mesmo material, tais como a absorção de água, resistência mecânica, entre outras.

Neste trabalho, foram analisados os vários agregados quanto à sua dimensão, através da realização da análise granulométrica. Como já foi referido, a areia utilizada é de uma granulometria e origem comum. Quanto aos regranulados negros de cortiça, R1 e R2, foram utilizadas duas granulometrias distintas. O R1 possui uma granulometria menos extensa, com a dimensão mínima e máxima bastante próximas, no caso, 1,0 mm e 4,0 mm, respectivamente. Já o R2 tem uma granulometria mais extensa, com a dimensão mínima e máxima menos próximas, neste caso, 0,500 mm e 8,0 mm. Por fim, o pó de cortiça, R3, apresenta quase a totalidade das suas partículas com dimensão abaixo de 0,250 mm. A dimensão dos agregados é, neste caso, mais importante do que em argamassas comuns, pois existem propriedades que são influenciadas por este factor, tal como a absorção de água ou desempenho térmico, entre outras.

5.5.2 Propriedades das argamassas no estado fresco

No início da campanha experimental, definiu-se que todas as argamassas a produzir deveriam possuir o mesmo nível de trabalhabilidade. Este facto levou a que se levasse a diante uma série de ensaios para determinar a quantidade de água a adicionar a cada amassadura. Os resultados obtidos revelaram que, para argamassas de cal hidráulica e bastardas, a relação A/L necessária é menor do que nas respectivas argamassas de controlo, quando se utilizam apenas os regranulados R1 ou R2, em conjunto com a areia. Quando se utiliza o pó de cortiça,

R3, em conjunto com areia, R1 ou R2, acontece o efeito contrário, ou seja, a quantidade de água de amassadura necessária é maior. Estes factos levam a concluir que os regranulados, R1 e R2, têm uma baixa absorção inicial de água, enquanto o pó de cortiça, R3, absorve uma grande quantidade de água na fase de amassadura, quando se comparam estes agregados com a areia.

Quanto à massa volúmica aparente (MVA), existe uma variação linear, com coeficiente de determinação elevado ($R^2 \geq 0,99$), em função da taxa de substituição utilizada. Como seria de esperar, a MVA diminui à medida que se diminui a quantidade areia na argamassa, conseguindo-se uma redução de quase 60% com substituição total da areia por R1 e R3. Também se deve salientar que não se registaram diferenças significativas na MVA, entre argamassas com igual mistura ligante e igual quantidade de areia, ou seja, a granulometria (de R1, R2 e R3) escolhida não influencia esta propriedade, pelo menos de forma importante.

5.5.3 Propriedades das argamassas no estado endurecido

No estado endurecido, a MVA das argamassas mantêm uma variação linear, conseguindo-se uma redução muito significativa para as taxas de substituição utilizadas. Nas argamassas de cal hidráulica, com a substituição de 60% da areia por R1 ou R2, a redução da MVA é superior a um terço em relação à argamassa CH 100A. Nas argamassas bastardas, devido às maiores taxas de substituição utilizadas, conseguem-se reduções da MVA que podem ultrapassar os dois terços em relação à argamassa CH+C 100A.

Durante este trabalho laboratorial foi realizado o estudo de um novo material de construção, através da substituição de um agregado pétreo, com boas propriedades mecânicas (areia), por outro agregado menos rígido (regranulado negro/pó de cortiça), com resistência mecânica bastante inferior. Deste modo, desde o princípio do estudo existiu o cuidado de verificar se as exigências mínimas em termos mecânicos eram satisfeitas. Para isso foram realizados ensaios de resistência à compressão e à flexão, aos 14 dias, para se avaliar qual a dimensão das perdas de resistência expectáveis nas argamassas.

No ensaio de ruptura à compressão, para as argamassas de cal hidráulica, as perdas máximas atingiram os 46% para uma taxa de substituição de 60%. Já nas argamassas bastardas, também devido à maior taxa de substituição realizada, as perdas na resistência à ruptura à compressão pode atingir um valor superior a 90% (no caso da substituição total, ou seja, na argamassa CH+C 30R1+70R3).

Os dados obtidos no ensaio de resistência à flexão permitem afirmar que neste tipo de ruptura as perdas, em percentagem, não são tão elevadas, assim como a variação da mesma não é linear. Pois veja-se o seguinte, nas argamassas de cal hidráulica as perdas máximas de resistência são de cerca de 33% e não ocorrem nas argamassas em que se realizou a maior

substituição de areia por RNC. A argamassa bastarda com substituição total de areia por RNC, CH+C 30R1+70R3, foi aquela que revelou menor resistência à flexão, com perdas na ordem dos 80%, em relação à argamassa de controlo, CH+C 100A. Quanto ao tipo de granulometria utilizada, não é possível retirar conclusões absolutas de qual apresenta melhor desempenho mecânico pois a tendência não é clara, ou seja, teria que se realizar um estudo mais aprofundado das propriedades mecânicas das argamassas.

Como se pôde observar, as perdas de resistência com a introdução de RNC nas argamassas são elevadas, no entanto, estas continuam a possuir uma resistência à compressão que satisfaz o requisito definido como mínimo da tensão igual a 0,4 MPa.

No capítulo da absorção de água, os resultados dos ensaios realizados permitiram retirar conclusões interessantes. No ensaio de absorção a baixa pressão e no ensaio de absorção por capilaridade, foi possível observar que a inclusão de RNC, nas argamassas de cal hidráulica, não produz modificações significativas na quantidade de água absorvida, assim como na velocidade a que esta ocorreu. Nas argamassas bastardas, para taxas de substituição de 40% e 60%, com a utilização de R1 ou R2 a absorção de água (em massa) é menor, tal como a velocidade de absorção também é mais reduzida do que na argamassa CH+C 100A. No entanto, nas argamassas bastardas em que se utiliza R1 ou R2 em conjunto com o R3 (CH+C 20A+40R1+40R3, CH+C 20A+40R2+40R3 e CH+C 30R1+70R3) a tendência é inversa e a absorção de água aumenta consideravelmente, assim como a velocidade a que esta ocorre. Este facto ocorre, muito provavelmente, devido à “mistura de agregados” possuir uma grande percentagem de material fino, ou seja, com agregados com grande superfície específica, o que pode facilitar uma absorção em maior escala. Outro facto relevante, que ajuda a sustentar a explicação proposta, é a maior absorção de água verificada na argamassa CH+C 20A+40R2+40R3, com a mistura de R2 e de R3, por oposição à argamassa CH+C 20A+40R1+40R3. Ou seja, a fracção de material fino do R2, quando em conjunto com o pó de cortiça, faz aumentar a absorção, ampliando o efeito já observado com a utilização de material mais fino.

Os resultados obtidos no ensaio de absorção por imersão revelaram que, mais uma vez, nas argamassas de cal hidráulica não existem diferenças significativas com a introdução de RNC, embora a massa de água absorvida diminua ligeiramente. Nas argamassas bastardas, apenas existem variações expressivas para as maiores taxas de substituição, o que nos indica que para além dessas argamassas apresentarem maior poder de absorção, a sua estrutura interna torna-as mais porosas.

No ensaio de secagem, observou-se que nas argamassas de cal hidráulica com regranulado de cortiça o processo de secagem decorreu de forma ligeiramente mais lenta, tal como nas argamassas bastardas com igual volume de areia substituída, em relação às respectivas argamassas de controlo. Com a substituição de 80% e 100% da areia, o comportamento das

argamassas modifica-se de forma substancial, pois devido à grande quantidade de água absorvida durante a fase de imersão, os provetes estudados apresentam um elevado ritmo de secagem durante um maior número de dias. Este facto permite que as argamassas CH+C 20A+40R1+40R3 e CH+C 20A+40R2+40R3 no final dos 70 dias de ensaio apresentem uma massa de água relativamente próxima das restantes argamassas, em que a taxa de substituição foi menor. Por fim, o declive da curva de secagem dos provetes de CH+C 30R1+70R3 é muito similar ao longo de todo o ensaio, o que indica que o ritmo de secagem ainda não tinha abrandado. Deste modo, é possível pensar que teria sido útil prolongar o ensaio para que fosse possível conhecer-se ao fim de quanto tempo a secagem da água nos provetes se tornaria residual.

Desde o início do planeamento deste trabalho que as características das argamassas relacionadas com a absorção e secagem de água foram consideradas um possível foco de problemas. Ou seja, devido ao comportamento que estas argamassas apresentassem poderiam existir, ou não, condições para o desenvolvimento de fungos afectando assim a durabilidade das argamassas produzidas. Deste modo, foi realizado um ensaio que pusesse à prova as argamassas perante a situação de colonização de modo a conhecer-se melhor o comportamento das argamassas numa situação real.

Nos resultados obtidos com as argamassas de cal hidráulica, observou-se que para uma taxa de substituição da areia de 40% parece não existir modificações a este nível, pois a percentagem afectada pela colonização foi semelhante à da argamassa de controlo, CH 100A. Pelo contrário, quando se fez uma substituição de areia de 60%, os resultados mais observados foram o crescimento intenso. Deve-se ainda referir que os resultados obtidos a partir de argamassas em que se utilizou R1 foram mais uniformes entre si, ao contrário das argamassas onde foi usado o regranulado R2, ou seja, o comportamento das argamassas com R2 é um pouco mais incerto perante uma situação de colonização por fungos.

Nas argamassas bastardas, os resultados médios obtidos na análise das diversas composições situa-se entre o crescimento ligeiro e o crescimento moderado. Apenas nas argamassas com 80% de substituição de areia por RNC e pó de cortiça é que os resultados são um pouco mais gravosos, verificando-se nestas composições um crescimento médio moderado. Com a argamassa CH+C 30R1+70R3 volta a observar-se um crescimento ligeiro/moderado dos fungos, o que indica que esta composição perante uma situação de colonização se comporta de forma intermédia à argamassa de referência e às argamassas com 80% de substituição. Ao contrário do que sucede quando o ligante é apenas cal hidráulica, nas argamassas bastardas não é possível, com os dados obtidos, identificar-se alguma grande divergência no comportamento com o uso do regranulado R1 e R2.

Deste modo, é possível afirmar que o simples facto de introduzir regranulado negro e pó de cortiça não representa necessariamente uma ameaça à durabilidade das argamassas de reboco estudadas, devido ao ataque por colonização biológica. No entanto, é imprescindível actuar de forma prudente e estudar o comportamento que determinada argamassa terá em caso real de utilização antes de proceder à sua aplicação, procedimento que, de resto, deve ser adoptado para qualquer novo material de construção.

Os resultados obtidos no ensaio de arrancamento nos provetes de argamassa pintada revelaram que nas argamassas de cal hidráulica, ao se introduzir RNC na composição das mesmas, existem algumas perdas ao nível da tensão de ruptura. Estes resultados, no entanto, não indicam, necessariamente, que a menor resistência se deva a problemas na ligação entre a argamassa e a camada de tinta aplicada. Deve-se ter em conta que na argamassa de referência a ruptura acontece maioritariamente na ligação argamassa-tinta, enquanto em alguns dos provetes estudados a ruptura ocorre na argamassa, o que pode significar que a tensão de ruptura é mais baixa devido à baixa resistência à tracção dessas argamassas. Pelo contrário, nas argamassas bastardas com RNC observou-se um aumento, em alguns dos provetes, das tensões de ruptura neste ensaio. Ao analisar o local da ruptura também se verifica que alguns provetes deixaram de romper na ligação argamassa-tinta, o que indica que essa ligação pode ganhar resistência com a introdução de RNC nas argamassas.

Quanto ao ensaio de condutibilidade térmica, os resultados obtidos são, sem dúvida, muito promissores. No entanto, deve-se referir que, como já era esperado, a utilização do regranulado de maior dimensão máxima, D_{max} , (neste caso R2 por oposição ao R1) traduz-se em maiores reduções da condutibilidade térmica, para argamassas de resto semelhantes.

Os valores alcançados no ensaio de condutibilidade térmica, para além das óbvias vantagens que podem acarretar a nível térmico, são também muito auspiciosos para a melhoria do comportamento perante vários problemas relacionados com humidades superficiais. Este facto poderá, em determinadas situações, significar um incremento da longevidade dos paramentos em questão.

6 Conclusões e desenvolvimentos futuros

6.1 Conclusões gerais

Com o ritmo de vida existente nas populações modernas, especialmente nas áreas urbanas, surge a urgência de adaptar as construções às novas necessidades existentes, sob pena de se penalizar a durabilidade e bom desempenho das mesmas. Deste modo, perante problemas concretos como são o mau isolamento térmico de alguns edifícios e a ocorrência de condensações superficiais em paredes, é necessário agir de modo a corrigir estas situações anómalas.

Foi perante este contexto que a utilização de regranulado negro e pó de cortiça na produção de argamassas de reboco surgiu como uma hipótese a estudar, devido às reconhecidas qualidades como isolante térmico. Para isso, foram criadas diversas formulações de argamassas com RNC, utilizando várias granulometrias e diferentes quantidades de cada regranulado. Na Tabela 6.1, apresentam-se as diversas percentagens de cada agregado no volume total dos agregados utilizados em cada argamassa.

Tabela 6.1 - Volume de cada agregado na composição das diversas argamassas

Argamassa	% de cada agregado no volume total da mistura de agregados			
	Areia	R1	R2	R3
Argamassas de cal hidráulica				
CH 100A	100%	-	-	-
CH 60A+R1	60%	40%	-	-
CH 60A+R2	60%	-	40%	-
CH 40A+R1	40%	60%	-	-
CH 40A+R2	40%	-	60%	-
Argamassas bastardas				
CH+C 100A	100%	-	-	-
CH+C 60A+R1	60%	40%	-	-
CH+C 60A+R2	60%	-	40%	-
CH+C 40A+R1	40%	60%	-	-
CH+C 40A+R2	40%	-	60%	-
CH+C 20A+40R1+40R3	20%	40%	-	40%
CH+C 20A+40R2+40R3	20%	-	40%	40%
CH+C 30R1+70R3	-	30%	-	70%

No entanto, como a introdução deste material na composição de argamassas não modifica apenas as características térmicas das mesmas, empreendeu-se um estudo que procurou analisar a alteração do comportamento a vários níveis, tendo como objectivo uma futura utilização de argamassas de reboco com RNC, quer em edifícios novos ou já construídos.

Os ensaios realizados, para determinação da relação A/L a utilizar para cada composição, mostraram que a água necessária para a amassadura diminui, em relação à respectiva

argamassa de controlo, quando se trabalha com os regranulados R1 e R2. Pelo contrário, com a introdução de R3 nas misturas, a relação A/L, para que se obtenha uma trabalhabilidade semelhante, é maior do que nas argamassas de controlo. Ou seja, a utilização de RNC com uma granulometria muito fina, tal como o R3, provoca uma maior necessidade de água na fase de amassadura.

Relativamente aos ensaios às argamassas no estado endurecido, a Tabela 6.2 e a Tabela 6.3 sintetizam os resultados obtidos.

Tabela 6.2 - Resumo das propriedades, no estado endurecido, das argamassas de cal hidráulica

Argamassa	Características das argamassas no estado endurecido								
	Δ MVA	Resistência à compressão [MPa]	Resistência à flexão [MPa]	Δ da Abs. p/ capilaridade	Absorção por imersão [cm ³]	Secagem (massa ao fim de 70 dias) [g]	Arrancamento de tintas (tinta vinílica) [MPa]	Colonização (média da classif. p/ ASTM D 5590-00)	Condutibilidade térmica [W/m.°C]
CH 100A	-	3,33	0,76	-	56,7	2,71	0,191	2,3	-
CH 60A+R1	-19,9%	2,62	0,74	-0,77%	57,6	3,86	0,161	2,3	-
CH 60A+R2	-21,9%	2,27	0,51	2,18%	56,8	3,71	0,122	2,3	-
CH 40A+R1	-36,1%	1,98	0,64	-1,47%	60,9	4,31	0,157	4,0	0,292
CH 40A+R2	-34,4%	1,79	0,62	5,82%	57,5	4,74	0,137	3,3	0,284

Tabela 6.3 - Resumo das propriedades, no estado endurecido, das argamassas bastardas

Argamassa	Características das argamassas no estado endurecido								
	Δ MVA	Resistência à compressão [MPa]	Resistência à flexão [MPa]	Δ da Abs. p/ capilaridade	Absorção por imersão [cm ³]	Secagem (massa ao fim de 70 dias) [g]	Arrancamento de tintas (tinta vinílica) [MPa]	Colonização (média da classif. p/ ASTM D 5590-00)	Condutibilidade térmica [W/m.°C]
CH+C 100A	-	11,90	2,27	-	52,1	6,96	0,189	2,0	-
CH+C 60A+R1	-19,1%	7,83	1,71	-35,54%	52,9	8,62	0,364	2,8	-
CH+C 60A+R2	-20,2%	7,35	2,02	-32,99%	48,2	8,10	0,334	2,5	-
CH+C 40A+R1	-31,9%	5,96	1,61	-41,01%	52,1	9,44	0,387	2,0	0,444
CH+C 40A+R2	-32,7%	5,92	1,62	-36,10%	47,6	8,21	0,357	2,3	0,357
CH+C 20A+40R1+40R3	-50,1%	2,35	1,13	24,22%	71,0	10,90	0,318	3,0	0,221
CH+C 20A+40R2+40R3	-52,9%	2,45	0,80	65,73%	75,2	11,15	0,244	3,0	0,198
CH+C 30R1+70R3	-68,9%	1,01	0,47	111,15%	94,6	20,05	0,177	2,5	0,108

Como era expectável, as MVA das argamassas com RNC baixam significativamente, de forma aproximadamente linear, não existindo diferenças expressivas entre os resultados obtidos com os diversos RNC.

A substituição de areia por RNC nas argamassas provoca uma redução bastante importante no desempenho mecânico (à flexão e à compressão) das argamassas, especialmente quando existe substituição total (ou próxima da totalidade). No entanto, o desempenho mecânico aparentemente não é afectado pela granulometria escolhida de RNC.

Apesar das referidas perdas na resistência mecânica, as argamassas com RNC continuam a constituir um bom suporte, especialmente as argamassas bastardas, para receber um acabamento de tinta, como revelaram os ensaios realizados.

Nos vários ensaios de absorção de água realizados, foi possível observar que nas argamassas de cal hidráulica não existem variações muito expressivas nos volumes de água absorvidos, assim como a velocidade de absorção também não foi muito afectada. Nas argamassas bastardas, mais uma vez, constatou-se que o comportamento das argamassas com (apenas) R1 e R2 é idêntico, ou seja, utilizando estes RNC o volume de água absorvido durante os ensaios diminuiu, assim como a velocidade a que esta ocorre. Nas argamassas bastardas em que foi utilizada a granulometria R3 (em conjunto com R1 ou R2), verificou-se o comportamento oposto.

Quanto ao comportamento no ensaio de secagem, nas argamassas de cal hidráulica observa-se que apesar da dinâmica de secagem não ser muito diferentes nas argamassas com RNC, denota-se uma tendência para no final do ensaio estas argamassas reterem uma maior quantidade de água, do que a argamassa de controlo. A massa de água que as argamassas bastardas, só com as granulometrias R1 e R2, retêm ao longo do ensaio é bastante similar à argamassa de controlo. No entanto, quando estas granulometrias são utilizadas em conjunto com o pó de cortiça (R3), o tempo necessário para que a secagem ocorra é francamente maior. Este facto deve-se ao maior volume de água que estas argamassas absorvem antes da fase de secagem. Contudo, as argamassas com R3 no final do ensaio aparentam convergir para um maior volume de água no seu interior, em comparação com as restantes argamassas.

Ao contrário do que poderia ser expectável (devido ao mau comportamento do RNC perante uma situação de colonização por fungos), as argamassas com RNC não se comportam necessariamente pior que as argamassas comuns perante uma situação de possível colonização por fungos. Em algumas situações, como referido na análise de resultados, até podem surgir vantagens, ao nível da redução da variabilidade entre resultados, pela inclusão de RNC na composição das argamassas. Nas argamassas bastardas, as composições mais desfavoráveis foram as duas composições com uma taxa de substituição de 80%, embora mesmo nesses casos o resultado tenha sido um crescimento moderado dos fungos, durante as 4 semanas. No entanto, conclui-se que é possível produzir-se argamassas com alto teor de RNC, sem que a durabilidade, por ataque biológico, seja necessariamente muito penalizada.

Conclui-se também que a utilização deste tipo de argamassas pode trazer grandes benefícios a nível térmico. Pois utilizando um simples reboco de espessura comum é possível reduzir-se significativamente o fluxo de calor que atravessa uma parede. Nos ensaios realizados, observou-se ainda que, para o mesmo volume, de R2 tem maior impacto a nível do melhoramento térmico das argamassas, do que o regranulado R1.

A redução do fluxo de calor através de uma parede trás vantagens, não só a nível energético e do conforto sentido no interior dos edifícios, mas também, na luta contra a ocorrência de condensações superficiais. Ou seja, as boas características térmicas das argamassas com RNC ajudam, mais uma vez, a que a durabilidade dos rebocos seja melhorada.

Depois de analisadas todas as referidas características, e avaliando o impacto que a inclusão de RNC teve no desempenho das argamassas, pode-se afirmar que as argamassas bastardas apresentam maior potencial. Entre estas argamassas, aquela que possui maior capacidade para uso como isolante térmico será, sem dúvida, a CH+C 30R1+70R3. No entanto, na análise de outras propriedades verifica-se que esta argamassa tem um comportamento bastante diferente da respectiva argamassa de controlo. Deste modo, a argamassa CH+C 20A+40R1+40R3 pode constituir uma alternativa, pois apresenta também um bom desempenho térmico, aliando ainda resultados intermédios noutras propriedades estudadas, o que pode ser relevante, especialmente no caso da absorção de água e da dinâmica de secagem, sem esquecer a resistência mecânica.

Por fim, com este trabalho, conclui-se que é perfeitamente viável a utilização de argamassas com RNC, em rebocos interiores, quer em edifícios novos ou antigos. Estas argamassas podem também ser uma solução interessante para zonas da parede onde existam pontes térmicas, tais como, áreas próximas de pilares inseridos nos paramentos, onde é bastante comum aparecerem manchas de humidade. Apesar de, com a introdução de RNC, se obterem argamassas menos resistentes, consegue-se uma melhoria a nível térmico, sem penalizar outras propriedades importantes da argamassa. Note-se ainda que a resistência mecânica numa argamassa de reboco interior não é a sua característica mais importante, visto que, por norma, não sofre grandes solicitações a esse nível. No entanto, no momento em que se realiza a formulação de uma argamassa deste tipo, deve-se ter em atenção as implicações que determinadas decisões podem ter no desempenho da argamassa. Ou seja, decisões importantes tais como, a escolha do(s) ligante(s), assim como das granulometrias a utilizar e o volume de areia a manter incorporado na mistura, entre outras, devem ser cuidadosamente ponderadas.

6.2 Propostas de desenvolvimento futuro

Com esta dissertação, desenvolveram-se conhecimentos que permitiram avaliar algumas das potencialidades das argamassas com RNC, assim como identificar limitações que este material possui. No entanto, após a realização deste trabalho, é possível reconhecer a existência de novas situações que poderiam ser alvo de estudo.

Neste sentido, considera-se importante que no futuro se realize o desenvolvimento dos seguintes temas:

- Avaliação do comportamento das argamassas com RNC numa situação real, ou seja, actuando em rebocos onde se verifique a existência de humidades de condensação e outros problemas relacionados com deficiente comportamento térmico;
- Estudo de argamassas de cimento com RNC, de modo a tentar compreender se é possível obter um melhor desempenho mecânico de argamassas de reboco com RNC;
- Estudo de soluções que permitam a utilização de argamassas com RNC em rebocos exteriores;
- Avaliação do impacto acústico da utilização de argamassas com RNC em rebocos interiores;
- Análise do comportamento das argamassas com RNC como argamassas para assentamento.

Bibliografia

Agostinho, C. (2008) – *Estudo da Evolução do Desempenho no Tempo de Argamassas de Cal Aérea*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, pp. 5-23.

Alvarez, J. (2007) – *Alvenarias e Argamassas Anteriores ao Império Romano*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 22 e 23 de Novembro de 2007, em Lisboa, pp. 2-9.

ASTM (2000) – *ASTM 5590-00 – Determining the Resistance of Paint Films and Related Coatings to Fungal Defacement by Accelerated Four-Week Agar Plate Assay*. ASTM International, Pennsylvania, USA.

ASTM (1990) – *ASTM G21-90 – Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi*. ASTM International, Pennsylvania, USA.

Brito, J. (2004) – *Diagnóstico, Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Paredes*. Apointamentos da Cadeira de Patologia e Reabilitação da Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

CM Mealhada (2010) – Câmara Municipal da Mealhada, Convento de Santa Cruz do Bussaco. [online] Disponível na Internet em <http://www.cm-mealhada.pt/index.php?id=70&parcat=63&par=0&acao=mostra.php>. Consulta realizada em 20 de Fevereiro de 2010.

CM Sintra (2010) – Câmara Municipal de Sintra, Álbum Fotográfico. [online] Disponível na Internet em <http://www.cm-sintra.pt/SintraImagens.aspx>. Consulta realizada em 20 de Fevereiro de 2010.

Cavaco, L. (2005) – *Técnicas de Aplicação de Argamassas de Revestimento em Edifícios Antigos. Influência no Desempenho*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico.

Coutinho, A. (1988) – *Fabrico e Propriedades do Betão*. LNEC, Lisboa.

Cruz, N. (2008) – *Estudo da Influência da Granulometria das Areias no Desempenho de Rebocos de Ligante Hidráulico*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, pp. 3-25.

Cunha, A. (2009) – *Tintas para Rebocos de Cimento Fissurados em Fachadas Exteriores*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, pp. 13-14.

EMO (2001) – *EMOdicó* – *Dicionário Técnico*. 3ª Edição. European Mortar Industry Organization.

Gil, L. (2006) – *A Cortiça como Material de Construção – Manual Técnico*. APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça.

Gomes, A., Pinto, A. e Pinto, J. (2006) – *Sebenta da Cadeira de Materiais de Construção I – Ligantes*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Gomes, A., Pinto, A. e Pinto, J. (2006) – *Sebenta da Cadeira de Materiais de Construção I – Argamassas*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Hernández-Olivares, F., Bollati, M. R., Rio, M. e Parga-Landa, B. (1999) – *Development of cork gypsum composites for building applications*. *Construction and Building Materials*, 13 (1999), pp. 179-186.

IPQ (2003) – *EN 998-1:2003 – Especificação para argamassas para alvenaria. Parte 1: Argamassas de rebocos exteriores e interiores*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (1999) – *EN 1015-3:1999 – Methods of test for mortar for masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (1998) – *EN 1015-6:1998 – Methods of test for mortar for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (1999) – *EN 1015-11:1999 – Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2001) – *EN 12664:2001 – Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Dry and moist products of medium and low thermal resistance*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2001) – *NP EN 197-1:2001 – Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (1999) – *NP EN 933-2:1999 – Ensaios para determinação das características geométricas dos agregados. Parte 2: Determinação da distribuição granulométrica. Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas*. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2002) – *NP EN 1097-3:2002 – Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios.* Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2003) – *NP EN 1097-6:2003 – Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da massa volúmica e da absorção de água.* Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (1998) – *NP EN 1602:1998 – Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios. Determinação da massa volúmica aparente.* Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2004) – *NP EN 12620:2004 – Agregados para betão.* Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

ISO (2002) – *ISO 4624:2002 – Paints and varnishes – Pull-off test for adhesion.* ISO – International Organization for Standardization, Geneva.

Kaefer, L. (2010) – *Concreto.* [online] Disponível na Internet em <http://www.cimento.org/concreto.htm>. Consulta realizada em 20 de Fevereiro de 2010.

LNEC (2000) – *Curso de especialização sobre revestimentos de paredes – 1º Módulo. 4ª Edição.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

LNEC (1993) – *LNEC E 393:1993 – Determinação da absorção de água por capilaridade.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

LNEC (1993) – *LNEC E 394:1993 – Determinação da absorção de água por imersão. Ensaio à pressão atmosférica.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Marques, J. (2008) – *Caracterização de Betões Leves de Regranulado de Cortiça.* Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, pp. 5-63.

Martins, A. (2008) – *Estudo da Influência da Dosagem de Cimento no Desempenho de Argamassas de Reboco.* Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, pp. 4-31.

Mendonça, B. (2007) – *Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas – Influência do Ligante.* Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, pp. 6-9.

Miranda, V. (2004) – *Análise da Aderência de Soluções de Reboco Tradicional sobre Suportes de Betão.* Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico.

Nero, J. (2006) – *Ligantes Hidráulicos e Pozolanas – Documentos de Apoio à Cadeira de Materiais de Construção I, Ano Lectivo 2006/2007*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Nsambu, R. e Gomes, A. (2007) – *Avaliação da Retracção de Argamassas de Reparação para Betão Armado*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 22 e 23 de Novembro de 2007, em Lisboa, pp. 1-2.

Penas, F. (2008) – *Argamassas de Cal Hidráulica para Revestimentos de Paredes*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, pp. 20-29.

Pereira, H., Fortes, M. e Rosa, M. (2004) – *a Cortiça*. IST Press, Lisboa. pp. 12-52; 152-245.

Pereira, J., Caldeira, M. e Bugalho, M. (2009) – *Do Sobreiro à Cortiça – Um Sistema Sustentável*. Corticeira Amorim. [on-line] Disponível na Internet em <http://www.amorim.com/>. Consulta realizada em 24 de Fevereiro de 2010.

Piedade, A. C. (2006) – *Térmica de Edifícios – Folhas de Apoio à Cadeira de Edificações I, Ano Lectivo 2006/2007*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Rato, V. (2006) – *Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, na especialidade de Reabilitação do Património Edificado, pela Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. pp. 61-62.

Ribeiro, L., e Lopes, R. (2007) – *As Argamassas na Antiguidade Greco-Romana: Usos, Definições e Traduções*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 22 e 23 de Novembro de 2007, em Lisboa.

RILEM (1980) – *Water Absorption Under Low Pressure. Pipe Method. Test N° 4 II.4., Recommendations Provisoires*. Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, Paris.

Rodrigues, A. M. e Piedade, A. C. (2006) – *Humidades em Edifícios – Folhas de Apoio à Cadeira de Edificações I, Ano Lectivo 2006/2007*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Rodrigues, M. (2004) – *Argamassas de Revestimento para Alvenarias Antigas, Contribuição para o Estudo da Influência dos Ligantes*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, na especialidade de Reabilitação do Património Edificado, pela Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. pp. 68-70.

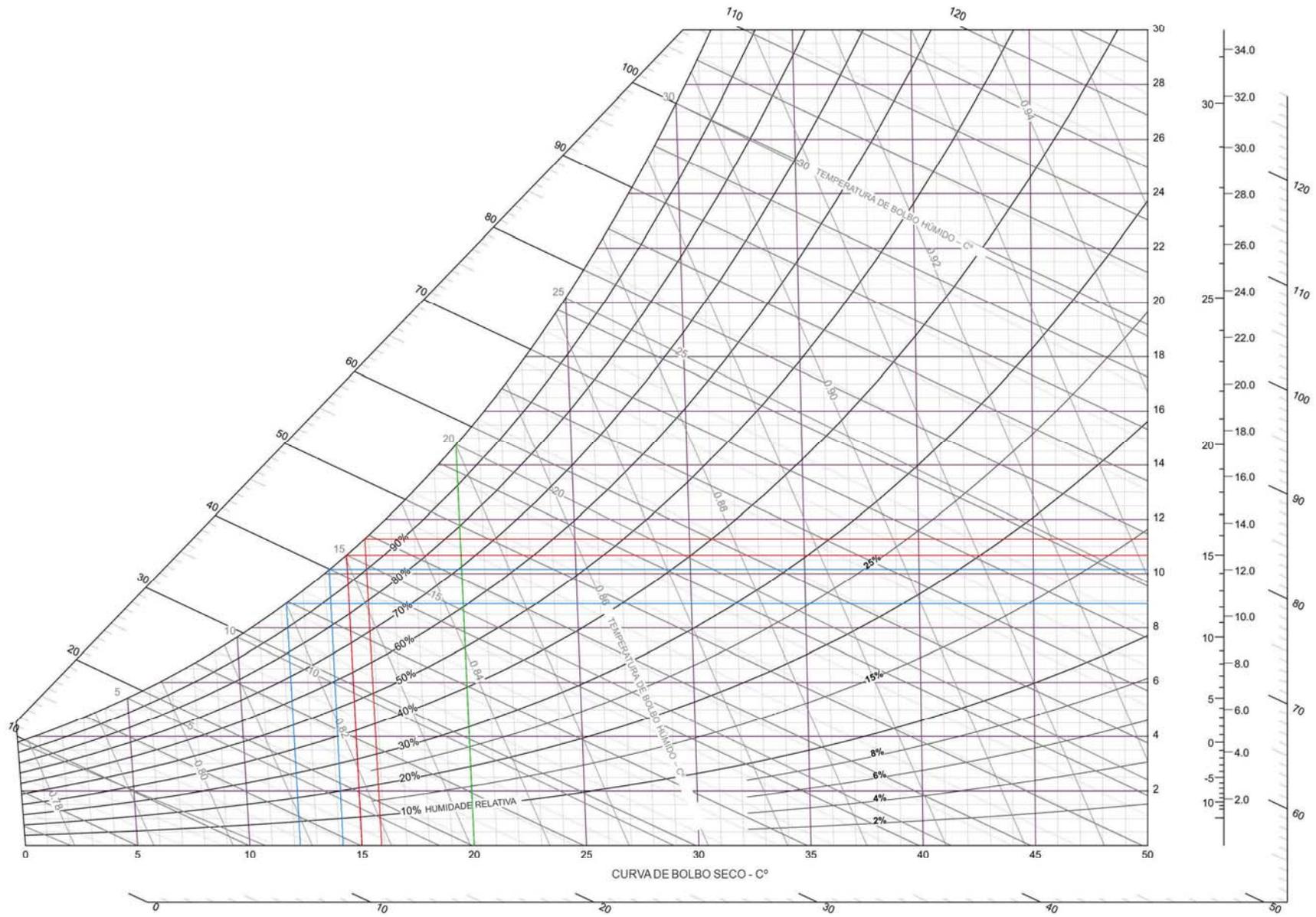
Santos, A. (1998) – *Resistência das Alvenarias à Compressão*. Relatório de Estágio da Licenciatura em Engenharia Civil, na Universidade do Minho – Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.

Santos, C. e Matias, L. (2006) – *ITE 50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, Versão Actualizada 2006*. LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Santos, S. (2009) – *Argamassas Pré-Doseadas para Edifícios Recentes*. Tese de Mestrado em Engenharia Militar, Instituto Superior Técnico, pp. 5-8.

ANEXO A

Diagrama Psicométrico



ANEXO B

Ficha Técnica da Cal Hidráulica NHL5

Cal Hidráulica

Cal Hidráulica NHL5



Local de Produção

Fábrica Secil Martingança
Apartado 2
2406-909 MACEIRA LRA

Embalagem

Granel
Sacos de 40kg

Certificação

Cal Hidráulica certificada segundo a NP EN 459-1:2003
Certificado de Conformidade 0856-CPD-0202, relativo à marcação CE deste produto.

Descrição

A Cal Hidráulica Martingança é um ligante hidráulico constituído maioritariamente por silicatos e aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio. Obtém-se por cozedura de calcário argiloso (marga), seguida de moagem e adição de sulfato de cálcio para regularização da presa. As suas características físicas e químicas colocam a Cal Hidráulica Martingança na classe de resistência superior (NHL5) segundo a NP EN 459-1:2003 do CEN.

Principais Aplicações

- Na fabricação de argamassas, como único ligante ou em mistura com outros ligantes hidráulicos ou aéreos, conferindo-lhes trabalhabilidade e flexibilidade, reduzindo significativamente a retracção das argamassas hidráulicas.
- Na fabricação de argamassas de reabilitação, como único ligante, em execução de rebocos exteriores sobre suportes antigos (contactar os nossos Serviços Técnicos para avaliação da sua aplicabilidade a cada caso).
- No fabrico de blocos e outros artefactos de construção.
- No tratamento de solos, para melhoria das características mecânicas e trabalhabilidade.
- Como substituto do filler nos pavimentos betuminosos.

Fabricação de argamassas

A dosagem de Cal Hidráulica Martingança numa argamassa deve adequar-se ao fim a que se destina. Nas argamassas de reboco e de assentamento, a Cal Hidráulica Martingança substitui com vantagem a utilização de saibros (normalmente com teores de argila muito elevados e, por isso, nocivos, pois provocam fissuração e diminuem a resistência à compressão).

Misturar previamente a Cal Hidráulica Martingança com o agregado e posteriormente adicionar água na quantidade necessária para obtenção de uma boa trabalhabilidade.

Como valor orientativo, usar uma relação água/ligante de 1:2 (expressa em volume).

Para efeitos orientativos, relativamente ao traço a utilizar, aconselhamos a consulta das Tabelas Técnicas, de Brazão Farinha e Correia dos Reis.

Condicionantes

Não aplicar argamassas a temperaturas inferiores a 5°C e superiores a 30°C, evitando a aplicação em situações de elevada exposição solar e/ou sob ventos fortes.

Não utilizar argamassas amolentadas ou que tenham iniciado a sua presa.

Evitar a secagem rápida das argamassas, regando o suporte 1 a 2 horas antes da aplicação e voltando a regar logo que a argamassa se apresente suficientemente resistente. Repetir a rega 1, 2 e 7 dias depois.

Conselhos complementares

O excesso de água da amassadura é prejudicial às características físicas do reboco. Deve ser sempre utilizada a quantidade mínima de água que permita boa trabalhabilidade.

A água de amassadura deve estar isenta de quaisquer impurezas (argilas, matéria orgânica), devendo - de preferência - ser utilizada água potável.

Uma vez determinado o traço a utilizar para uma argamassa, manter as dosagens constantes e o tempo de amassadura.

Tratamento de Solos

A adição de Cal Hidráulica Martingança a certos solos argilosos e húmidos permite a sua estabilização, melhorando a sua resistência às intempéries, pela diminuição do índice de plasticidade e de uma maior compactação, a qual permite um aumento do CBR (California Bearing Ratio, índice de compacidade de suporte).

A adição de Cal Hidráulica Martingança, devido ao seu teor de cal livre, reduz à humidade do solo (poder excicante), com ele reagindo, aglutinando as suas partículas e constituindo um aglomerado muito mais compacto.

Processo de aplicação

A quantidade de Cal Hidráulica Martingança a utilizar deve ser de 0,5 a 5% (sendo 3% o valor típico) da massa de solo a tratar, de onde devem ser retiradas as pedras de grandes dimensões.

De seguida, espalhar a Cal Hidráulica Martingança, misturando-a e homogeneizando-a com o solo em tratamento. Depois, compactar o solo tratado, que ficará muito mais resistente à penetração das águas pluviais e mais apto a funcionar como base de fundações.

A Cal Hidráulica como substituto do filler

A adição de Cal Hidráulica Martingança aos betuminosos provoca uma generalizada melhoria da qualidade nas características da camada de desgaste, que se traduzem por:

- maior consistência do betuminoso, devido à maior aderência entre este e os agregados;
- maior resistência à penetração das águas, com o conseqüente abrandamento do fenómeno de envelhecimento acelerado;
- maior resistência à fissuração.

Higiene e Segurança

Trata-se de um produto não nocivo e não inflamável, embora irrite os olhos e a pele. Não deve ser ingerido.

Utilizar luvas e máscara no seu manuseamento, lavando bem as mãos no final. No caso de contacto com os olhos, lavá-los abundantemente com água limpa.

Consultar a ficha de segurança do produto em www.secilmartinganca.pt.

Transporte e validade

A Cal Hidráulica Martingança deve ser transportada, manuseada e armazenada dentro da embalagem original (a qual só deve ser aberta para utilização), ao abrigo de humidades e exposição ao calor. Nestas condições, a Cal Hidráulica Martingança poderá ser armazenada pelo período máximo de 6 (seis) meses.

Propriedades do produto

(Método de ensaio segundo NP EN 459-1:2003)

Propriedades		Valor Médio (ano 2005)
Água livre		0,8%
Presa	Início	1 hora
	Fim	6 horas
Sulfatos		2,3%
Cal livre		3,9%
Finura	90 m	11,0%
	200 m	1,5%
Resistência à Compressão	7 dias	5 MPa
	28 dias	8 MPa

NOTA:

A informação e os dados técnicos constantes da presente Ficha Técnica exprimem o nosso conhecimento actual, podendo ser alterados sem prévio aviso. A nossa responsabilidade limita-se à garantia de qualidade do produto fornecido, rejeitando quaisquer anomalias resultantes da sua aplicação indevida.

Em situação de dúvida suscitada pelo presente documento, e particularmente em presença de aspectos singulares da construção, solicitamos o contacto com os nossos Serviços Técnicos.



Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

comercial@secil.pt
www.secil.pt

Vendas Norte Tel. 226 078 410 . Fax. 226 078 411
Vendas Centro Tel. 244 779 500 . Fax. 244 777 455
Vendas Sul Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229
Vendas Técnicas Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229
Técnico-Comercial Tel. 217 927 100 . Fax. 217 936 199

ANEXO C

Ficha Técnica do Cimento CEM II/B-L 32,5 N

CEM II/B-L 32,5N

Cimento Portland de Calcário



Locais de Produção

Fábrica Secil-Outão
Fábrica Cibra-Pataias
Fábrica Maceira-Liz

Principais Aplicações

Principais Características

Advertências Específicas

Informação de Segurança

Última actualização

Embalagem

Granel
Sacos de 40kg
Sacos de 25kg

Certificação

Cimento certificado segundo a NP EN 197-1.
Certificados de Conformidade 0856-CPD-0130, 0856-CPD-0131 e 0856-CPD-0132.

Composição do Produto (Núcleo Cimento)

65% a 79% Clínquer Portland
21% a 35% Calcário
0% a 5% Outros Constituintes

O Cimento Portland de Calcário CEM II/B-L 32,5N é o cimento mais utilizado nas obras de construção civil. A sua excelente trabalhabilidade e baixo calor de hidratação tornam-no especialmente adaptado a todos os trabalhos correntes da construção.

O cimento CEM II/B-L 32,5N é principalmente utilizado em:

- argamassas e betão não armado para enchimentos e regularização;
- betão estrutural, pronto ou fabricado em obra de média resistência;
- argamassas de assentamento, reboco e reparação;
- fundações directas e indirectas em ambientes moderadamente agressivos;
- estabilização de solos e solo-cimento;
- prefabricação de blocos, tubos, manilhas e outros artefactos à base de cimento;
- prefabricação ligeira em regime de baixa rotatividade de moldes.

Cimento de cor cinzenta, com menor calor de hidratação e melhor trabalhabilidade que um cimento CEM I da mesma classe de resistência.

Desenvolvimento mais lento de resistências (menor resistência inicial).

Resistências finais dentro dos valores da classe indicada (resistências aos 28 dias).

Este cimento melhora a trabalhabilidade de betões e argamassas e permite uma redução da dosagem de água de amassadura. Porém, o correcto desenvolvimento de resistências é sensível ao processo de cura pelo qual deverão ser tomadas precauções para evitar a dissecação de peças betonadas muito expostas ao sol e ao vento (possível fendilhação).

Não se recomenda a utilização deste cimento em tempo muito frio, sem que se tomem medidas adequadas.

O manuseamento do cimento em pó pode causar irritação dos olhos e vias respiratórias. Quando misturado com água pode ainda causar sensibilização da pele. Aconselha-se o uso de máscara anti-poeiras para protecção respiratória, luvas de protecção das mãos, óculos de protecção dos olhos e fato de trabalho para protecção da pele.

Para informação detalhada consulte a Ficha de Dados de Segurança deste produto.

Setembro 2004 - Versão 3

pag. 1 | 2

Características Químicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado (1)
Teor de Sulfatos (em SO ₃)	NP EN 196-2	≤ 3,5%
Teor de Cloretos	NP EN 196-21	≤ 0,10%

(1) As percentagens são referidas à massa de cimento.

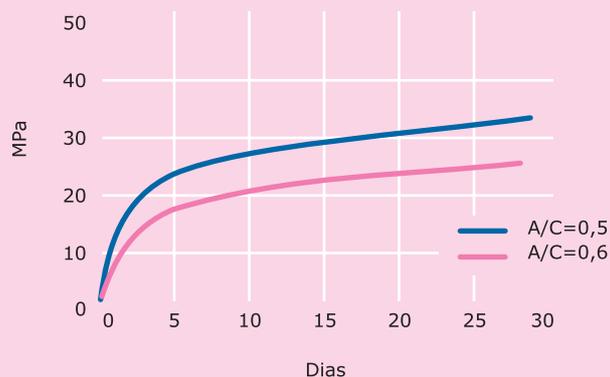
Características Mecânicas

Resistência à Compressão (MPa)		
Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência NP EN 196-1
2 dias	7 dias	
-	≥ 16	
28 dias		≥ 32,5 e ≤ 52,5

Características Físicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado
Princípio de Presa	NP EN 196-3	≥ 75 min
Expansibilidade	NP EN 196-3	≤ 10 mm

Valores médios indicativos da resistência à compressão de betão fabricado com 350 Kg/m³ de cimento CEM II/B-L 32,5N



Habitação a custos controlados.
Quinta da Cabrinha, Lisboa.



Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

Direcção Comercial
Av. das Forças Armadas, 125 6º
1600-079 LISBOA
Tel. 217 927 100 . Fax. 217 936 200

Vendas Norte
Tel. 226 078 410 . Fax. 226 078 411

Vendas Centro
Tel. 244 779 500 . Fax. 244 777 455

Vendas Sul
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229

Cimento Branco
Tel. 244 587 700 . Fax. 244 589 652

Departamento Técnico-Comercial
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229

E-mail - comercial@secil.pt
Site - www.secil.pt

ANEXO D

Ficha Técnica da Tinta Stucomat

Tinta Aquosa Ultra Mate para Interior e Exterior. FÓRMULA MELHORADA

STUCOMAT

052-

DESCRIÇÃO	Tinta aquosa ultra mate, baseada numa dispersão estireno-acrílica, destinada à pintura de paredes interiores e exteriores. Proporciona acabamentos decorativos de boa qualidade.
UTILIZAÇÃO	Sobre paredes interiores e exteriores, em pinturas novas e repinturas.
PROPRIEDADES	<p>FÓRMULA MELHORADA:</p> <ul style="list-style-type: none">* Aceita retoques* Sem marcação de rolo* Ultra mate* Mais amigo do ambiente (níveis de Compostos Orgânicos Voláteis até um máximo de 15g/l) <p>A tinta Stucomat apresenta propriedades equilibradas, identificativas de uma tinta de boa qualidade associada a um preço muito vantajoso para o consumidor. Destacam-se as seguintes propriedades:</p> <ul style="list-style-type: none">- muito fácil de aplicar- boa cobertura- muito bom acabamento- boa lavabilidade- grande resistência à marcação por retoques/reparados- grande resistência à marcação do rolo durante a aplicação
COR(ES)	Branco + milhares de cores claras e médias, disponíveis através do Sistema de Tintagem Super Colorizer (bases 1000, 3000 e 4000).
CARACTERÍSTICA(S) FÍSICA(S)	<p>Brilho: Ultra mate Densidade: 1.46 +/- 0.03 Viscosidade de aprovação: 82 - 87 KU/25°C De notar que este valor aumenta com o tempo de armazenagem da tinta. Ponto de inflamação: Não inflamável Teor de sólidos: 55 +/- 1% COV's: Valor limite da UE para este produto (Cat. A/a): 30 g/l (2010). Este produto contém no máx. 15 g/l COV</p>
PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO	<p>Pintura de Raíz</p> <p>A superfície a pintar deve estar perfeitamente limpa, livre de poeiras, gorduras, restos de argamassa e outros contaminantes.</p> <p>Isolamento: Recomenda-se em interiores e exteriores, a aplicação do Primário Plastron Aquoso Anti-Fungos e Algas e Anti-Alcalino, ref. 020-0200.</p> <p>Selagem: Sempre que o substrato a pintar não apresente cor uniforme, aconselha-se a aplicação do Primário Promotor de Opacidade Selastuc, ref. 020-0260.</p> <p>Para casos particulares, por exemplo, paredes com esfarelamento, com salitre, etc., é favor consultar-nos.</p>

Repinturas

Deve assegurar-se que a tinta velha oferece uma chave conveniente, para o que será necessário remover toda a tinta em desagregação. No caso de uma caiação, a cal deverá ser totalmente eliminada. Uma lixagem prévia com a Lixa Garnet Fina é recomendável, para disfarçar pequenas irregularidades.

Na reparação de fendas, usar o betume em pó **Aguaplast Standard** para interiores e o **Aguaplast Exterior** para exteriores. Caso se trate de fendas rebeldes, no interior ou exterior, utilizar o betume **Aguaplast Fibra**. Para reparados, recomenda-se o uso do betume em pasta **Aguaplast Cima**.

A operação de limpeza e desengorduramento das paredes deve ser feita com **Robbilava**, ref. 013-0055, diluído à razão de uma colher de sopa para 1 litro de água.

No isolamento, selagem e casos particulares, proceder como no caso de uma pintura de raiz.

APLICAÇÃO

Ferramentas: Rolo, trincha ou pistola airless.

Diluição e n.º de demãos: O Stucomat é fornecido pronto a usar. A 1ª demão pode, no entanto, ser diluída até 5% de água, conforme a natureza da parede; a 2ª demão deve ser aplicada ser qualquer diluição.

Na aplicação à pistola airless (por ex. da marca Graco, modelo Ultramax 695), utilizar o bico de 19 milésimos de polegada e a pressão de atomização igual a 170 bar, sem qualquer diluição ou diluído até 5% com água.

Tempo de secagem: 1 a 2 horas, em zonas bem ventiladas e a temperaturas da ordem dos 20°C. Para demãos seguintes: 2 a 3 horas.

Lavagem da ferramenta: Com água.

RENDIMENTO

Em paredes lisas - 10 a 15 m²/litro/demão

Em paredes ásperas - 7 a 8 m²/litro/demão

FORMATO(S)

1, 5 e 20 litros (branco)

3/4, 4 e 15 litros (restantes cores)

PERÍODO ACONSELHADO DE ARMAZENAGEM

Aproximadamente 18 meses, em embalagens fechadas, protegidas do frio e do calor.

OUTRAS INFORMAÇÕES

- As cores afinadas a partir da base 4000 não devem ser aplicadas no exterior.

- Não se deverá efectuar a aplicação do Stucomat quando a temperatura ambiente for inferior a 5°C ou superior a 35°C, quando estiver a chover ou se preveja que venha a chover nos dias imediatos à aplicação da tinta, quando estiver vento forte (especialmente se for quente e seco) ou quando as paredes estiverem geladas ou expostas à acção directa e intensa dos raios solares.

- Em aplicações com pistola airless obtêm-se rendimentos inferiores aos acima indicados, ou seja, filmes com maior espessura, daí resultando um aumento no tempo de secagem.

- O valor indicado de COV's refere-se ao produto "pronto a usar", incluindo tintagem, diluição, etc, com produtos da nossa Empresa. Declinamos qualquer responsabilidade por operações de mistura realizadas com outros produtos comerciais, dos quais desconhecemos o conteúdo exacto de COV's.

ESQUEMA(S) DE PINTURA

REPARAÇÃO DE FENDAS	LIXAGEM	REPARADOS	LAVAGEM DAS PAREDES	ISOLAMENTO E SELAGEM	ACABAMENTO
Aguaplast Standard (Interior) Aguaplast Exterior (Exterior)	Lixa Garnet Fina	Aguaplast Cima	Robbilava 013-0055	Plastron Aquoso 020-0200 Selastuc 020-0260	Stucomat 052-

Aguaplast Fibra (Int. e Ext.)					
---	--	--	--	--	--

NOTA

As informações fornecidas são correctas de acordo com os nossos ensaios, mas são dadas sem garantia, uma vez que as condições de aplicação estão fora do nosso controlo.

Informação Técnico - Comercial : CC 004 09.1
30-03-2009 - ESTA ITC SUBSTITUI TODAS AS VERSÕES ANTERIORES

ANEXO E

Ficha Técnica da Tinta REP

Tinta Plástica para Interior e Exterior

REP

064- Semi-Acetinado 063- Mate

DESCRIÇÃO	Tinta de acabamento, baseada numa dispersão aquosa especial, copolímera vinil veova, pigmentada com dióxido de titânio rutilo, pigmentos resistentes aos álcalis e cargas inertes.
UTILIZAÇÃO	Sobre paredes interiores e exteriores, em pinturas novas e repinturas.
PROPRIEDADES	Interiores - Facilidade de aplicação, elevada resistência à humidade, excelente lavabilidade, facilidade de retoques, elevada resistência à abrasão, uniformidade de brilho e óptimo aspecto decorativo do filme de tinta. Exteriores - Todas as de interiores e ainda: boa retenção da cor, muito boa durabilidade, boa secagem e apresentando grande resistência aos efeitos atmosféricos.
COR(ES)	Branco, algumas cores prontas e milhares de cores claras, médias e fortes disponíveis através do Sistema de Tintagem Super Colorizer (bases 1000, 3000, 4000 e apenas no 064-: 5000 e 6000). Entre os diversos catálogos disponíveis recomendamos a consulta do "Catálogo Geral de Cores para Interior" e do "Catálogo Geral de Cores para Exterior".
CARACTERÍSTICA(S) FÍSICA(S)	Brilho: Semi-Acetinado (064-) e Mate (063-) Densidade: Semi-Acetinado = 1.36 ± 0.03 (a); Mate = 1.46 ± 0.03 (a) Viscosidade de aprovação: Semi-Acetinado = 100 - 102 KU/25°C; Mate = 100 - 106 KU/25°C De notar que este valor aumenta com o tempo de armazenagem da tinta. Ponto de inflamação: Não inflamável Teor de sólidos: Semi-Acetinado = $57 \pm 1\%$ (a); Mate = $56 \pm 2\%$ (a) COV's: Valor limite da UE para este produto (subcat. A/a): 30 g/l (2010). Este produto contém no máx. 30 g/l COV
PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO	Pintura de Raiz A superfície a pintar deve estar seca e perfeitamente limpa, livre de poeiras, gorduras, restos de argamassa, etc. Isolamento: Recomenda-se a utilização do Primário Plastron Aquoso Anti-Fungos e Algas e Anti Alcalino , 020-0200, diluído a 100% com água. Selagem: Aconselha-se a aplicação do Selastuc - Primário Promotor de Opacidade , 020-0260, sempre que a cor do substrato não seja uniforme ou na repintura de cores médias/fortes. Para casos particulares (p.e. paredes com esfarelamento, com salitre, etc.) consultar o Guia de Primários para Paredes. Repinturas Deve assegurar-se que a tinta velha oferece uma chave conveniente, para o que será necessário remover toda a tinta em desagregação. No caso de uma caiação, a cal deverá ser totalmente eliminada. Uma lixagem prévia com Lixa Garnet fina é recomendável para disfarçar pequenas irregularidades. Na reparação de fendas, utilizar o betume em pó Aguaplast Standard para interiores, e o Aguaplast Exterior para exteriores. Caso se trate de fendas rebeldes, no interior ou no exterior, utilizar o betume Aguaplast Fibra . Para os reparados recomenda-se o uso de betume em pasta Aguaplast Cima . A operação de limpeza e desengorduramento das paredes deve se feita com Robbilava , 013-0055, diluído à razão de uma colher de sopa para 1 litro de água. No isolamento ou selagem, proceder como no caso de uma pintura de raiz.

APLICAÇÃO	<p>Ferramentas: Rolo, trincha ou pistola airless.</p> <p>Diluição e nº de demãos: Para a 1ª e 2ª demãos recomenda-se uma diluição com no máximo 5 % de água, conforme a natureza da parede.</p> <p>Na aplicação à pistola airless (por exº da marca Graco, Ultramax 695), utilizar o bico de 19 milésimos de polegada e a pressão de atomização igual a 170 bar, sem qualquer diluição ou diluído até 5% com água.</p> <p>Tempo de secagem: 1 a 2 horas, em zonas bem ventiladas e a temperaturas da ordem dos 20°C.</p> <p>Para demãos seguintes: 2 a 3 horas, nas mesmas condições.</p> <p>Lavagem da ferramenta: Com água.</p>
RENDIMENTO	<p>Em paredes lisas - 10 a 15 m²/litros/demão</p> <p>Em paredes ásperas - 7 a 8 m²/litro/demão</p>
FORMATO(S)	1, 5 e 20 Litros (Branco) e 750ml, 4 e 15 litros (Cores).
PERÍODO ACONSELHADO DE ARMAZENAGEM	18 meses
OUTRAS INFORMAÇÕES	<p>- Se existir acumulação de fungos ou algas na superfície a pintar ou a repintar, deve proceder-se a uma raspagem, seguida de uma limpeza com água e lúxiva (e nos casos mais graves, com jacto de água a alta pressão), lavagem novamente com água, e por fim a aplicação do Desinfectante Aquoso, 013-0160.</p> <p>- Em situações de elevada humidade ambiental é aconselhável adicionar à tinta o Aditivo Anti-Fungos e Anti-Algas, 013-0140, com o fim de aumentar a sua resistência ao desenvolvimento de fungos e algas.</p> <p>- O REP obteve a classificação M0 - Materiais Não Combustíveis - quando aplicado no Exterior, e a classificação M1 - Materiais Não Inflamáveis - quando aplicado no Interior, em ensaios de reacção ao fogo realizados no LNEC.</p> <p>- Não se deverá efectuar a aplicação do Rep Semi-acetinado quando a temperatura ambiente for inferior a 5°C ou superior a 35°C, quando estiver a chover ou se preveja que venha a chover nos dias imediatos à aplicação da tinta, quando estiver vento forte (especialmente se for quente e seco), ou quando as paredes estiverem geladas ou expostas à acção directa e intensa dos raios solares.</p> <p>- Em aplicações com pistola airless, obtêm-se rendimentos inferiores ao acima indicado, ou seja, filmes com maior espessura, daí resultando um aumento no tempo de secagem.</p> <p>- O valor indicado de COV's refere-se ao produto "pronto a usar", incluindo tintagem, diluição, etc., com produtos da nossa empresa. Declinamos qualquer responsabilidade por operações de mistura realizadas com outros produtos comerciais, dos quais desconhecemos o conteúdo exacto de COV's.</p> <p>(a) Os valores indicados são os da cor Branca.</p>

ESQUEMA(S) DE PINTURA

REPARAÇÃO DE FENDAS	LIXAGEM	REPARADOS	LAVAGEM DAS PAREDES	ISOLAMENTO/ SELAGEM	ACABAMENTO
Aguaplast Standard (int.) Aguaplast Exterior (ext.) Aguaplast Fibra (int. e ext.)	Lixa Garnet Fina	Aguaplast Cima	Robbilava 013-0055	Plastron Aquoso 020-0200 Selastuc 020-0260	Rep Série 064- Série 063-

NOTA As informações fornecidas são correctas de acordo com os nossos ensaios, mas são dadas sem garantia, uma vez que as condições de aplicação estão fora do nosso controlo.

ANEXO F

Resultados do Ensaio de Absorção de Água
por Capilaridade

Tempo Decorrido	CH					CH+C							
	100A	60A+R1	40A+R1	60A+R2	40A+R2	100A	60A+R1	40A+R1	20A+40R1+40R3	60A+R2	40A+R2	20A+40R2+40R3	30R1+70R3
	m _i [g]												
5 min	1,5	1,8	1,8	2,5	2,6	2,2	0,2	0,4	1,9	0,8	0,9	2,7	3,5
10 min	3,6	3,2	2,9	3,5	3,3	2,6	0,6	0,8	2,5	1,1	1,1	3,7	6,1
15 min	4,4	3,9	3,5	4,4	4,3	3,7	0,9	1,1	3,2	1,4	1,6	5,2	8,0
30 min	6,1	5,1	4,7	5,7	5,4	4,7	1,3	1,5	4,0	1,9	2,1	6,7	10,1
60 min	8,3	6,6	6,0	7,4	6,9	5,3	1,9	2,3	5,5	2,7	2,8	9,1	14,1
180 min	13,6	10,1	9,0	11,3	10,2	7,8	3,7	3,9	9,1	4,8	4,6	15,2	24,7
6 h	19,7	14,3	12,7	15,9	14,3	10,7	5,4	5,5	12,5	5,8	5,8	19,3	32,0
12 h	29,1	21,0	18,4	22,7	21,0	14,8	8,0	7,5	16,4	7,9	7,8	26,2	44,0
24 h	36,4	28,0	25,4	31,7	29,5	19,1	10,4	9,7	21,1	10,6	10,4	34,3	55,2
48h	36,7	35,5	33,7	36,6	37,4	23,2	13,4	12,3	26,6	13,6	13,1	41,6	58,4
72h	36,7	36,5	36,2	37,5	38,9	26,0	14,9	13,4	29,3	16,0	15,3	45,7	60,2
96h	-	-	-	-	-	28,5	16,2	14,4	30,9	17,4	16,4	46,9	61,1
144h	-	-	-	-	-	29,1	17,5	15,7	34,2	19,8	18,4	48,6	62,2
192h	-	-	-	-	-	29,9	19,3	17,7	37,2	20,1	19,1	49,6	63,2

Tempo Decorrido	CH					CH+C							
	100A	60A+R1	40A+R1	60A+R2	40A+R2	100A	60A+R1	40A+R1	20A+40R1+40R3	60A+R2	40A+R2	20A+40R2+40R3	30R1+70R3
	h [mm]												
5 min	6,6	6,7	5,5	7,8	7,6	8,4	3,4	5,6	4,6	5,4	6,3	4,9	9,8
10 min	13,4	11,8	11,2	12,9	12,0	13,8	6,3	8,1	7,8	6,7	8,3	8,7	16,4
15 min	18,1	16,0	15,1	17,6	17,0	17,7	9,1	10,0	10,4	8,5	10,7	16,3	22,5
30 min	24,1	20,8	19,7	23,2	21,0	23,5	10,7	12,0	14,3	11,2	13,3	22,1	30,9
60 min	35,0	28,6	26,4	32,3	29,4	27,3	13,0	13,9	20,3	14,9	16,3	31,6	42,9
180 min	62,3	48,3	44,9	53,3	47,8	42,3	18,6	21,0	34,8	25,4	24,5	55,9	78,7
6 h	86,1	66,8	60,6	73,3	65,9	58,3	26,3	28,8	50,5	31,6	30,2	70,9	103,5
12 h	133,8	98,9	88,8	107,3	98,5	80,4	39,4	39,3	67,0	43,4	44,3	97,2	143,0
24 h	155,0	134,9	124,8	144,7	135,7	105,1	51,1	49,1	86,2	59,7	54,6	134,4	155,0
48h	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	135,0	63,0	59,1	112,6	76,7	68,5	155,0	155,0
72h	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	155,0	73,7	65,0	125,5	95,1	85,9	155,0	155,0
96h	-	-	-	-	-	155,0	82,8	69,3	132,3	104,5	93,8	155,0	155,0
144h	-	-	-	-	-	155,0	89,8	79,3	143,4	115,2	101,6	155,0	155,0
192h	-	-	-	-	-	155,0	105,2	99,7	155,0	120,7	106,4	155,0	155,0

ANEXO G

Resultados do Ensaio de Secagem Após
Imersão (em Massa)

Tempo [dias]	CH 100A	CH 60A+R1	CH 40A+R1	CH 60A+R2	CH 40A+R2	CH+C 100A	CH+C 60A+R1	CH+C 40A+R1	CH+C 20A+40R1+40R3	CH+C 60A+R2	CH+C 40A+R2	CH+C 20A+40R2+40R3	CH+C 30R1+70R3
	m _i [g]												
0	28,44	29,60	29,58	29,36	30,46	23,80	24,50	24,50	34,03	23,62	24,82	36,61	45,41
1	25,45	26,76	27,34	27,39	28,93	22,30	22,60	22,59	31,99	21,59	22,57	34,59	43,66
2	22,84	24,08	25,38	25,67	27,46	20,96	20,56	20,81	30,12	19,64	20,57	32,90	42,33
3	20,72	22,29	23,86	24,32	26,35	19,91	19,17	19,60	28,72	18,11	19,06	31,78	41,46
6	15,78	17,86	20,26	21,27	23,63	17,49	16,34	17,29	25,69	15,27	15,75	29,33	39,65
7	13,73	16,06	18,69	19,88	22,54	16,54	15,65	16,61	24,56	14,54	14,90	28,52	39,10
8	9,86	13,11	15,85	17,19	20,37	15,01	14,86	15,78	22,68	13,77	14,07	27,23	38,23
9	7,39	11,52	13,85	15,21	18,62	14,18	14,34	15,24	21,47	13,30	13,58	26,28	37,57
10	5,99	10,50	12,21	13,37	16,90	13,58	13,91	14,79	20,50	12,92	13,18	25,44	37,01
13	4,16	8,74	9,65	9,66	12,84	12,24	12,92	13,78	18,41	12,05	12,28	23,08	35,43
14	3,83	8,35	9,19	9,01	11,75	11,90	12,66	13,52	17,94	11,84	12,03	22,38	34,96
15	3,60	8,06	8,86	8,54	11,00	11,60	12,42	13,29	17,52	11,63	11,81	21,70	34,50
16	3,48	7,88	8,64	8,27	10,59	11,42	12,30	13,15	17,28	11,52	11,70	21,23	34,20
17	3,20	7,53	8,26	7,79	9,94	11,08	12,02	12,89	16,85	11,28	11,46	20,44	33,67
18	3,05	7,30	8,01	7,49	9,55	10,84	11,84	12,71	16,56	11,12	11,29	19,86	33,26
20	2,72	6,85	7,52	6,91	8,83	10,33	11,44	12,31	15,94	10,76	10,91	18,83	32,47
22	2,60	6,59	7,27	6,59	8,46	10,04	11,18	12,07	15,54	10,54	10,69	18,10	31,78
23	2,46	6,35	7,02	6,32	8,15	9,78	10,99	11,87	15,25	10,35	10,49	17,62	31,34
24	2,33	6,14	6,79	6,07	7,88	9,57	10,81	11,70	14,98	10,18	10,31	17,19	30,91
25	2,28	5,98	6,66	5,90	7,68	9,41	10,67	11,58	14,77	10,07	10,19	16,85	30,50
26	2,28	5,91	6,58	5,82	7,59	9,34	10,62	11,51	14,66	10,02	10,15	16,65	30,25
27	2,29	5,83	6,51	5,75	7,50	9,27	10,58	11,46	14,55	9,95	10,09	16,47	30,00
29	2,25	5,60	6,27	5,50	7,21	9,05	10,38	11,27	14,23	9,79	9,91	15,93	29,35
30	2,25	5,50	6,17	5,40	7,10	8,96	10,33	11,22	14,11	9,73	9,87	15,71	29,03
31	2,19	5,35	6,02	5,24	6,92	8,80	10,20	11,09	13,91	9,62	9,73	15,42	28,68
32	2,14	5,21	5,87	5,08	6,75	8,65	10,07	10,96	13,72	9,50	9,60	15,14	28,32
33	2,08	5,06	5,72	4,93	6,58	8,50	9,94	10,83	13,52	9,38	9,46	14,86	27,97
34	2,02	4,91	5,57	4,78	6,40	8,35	9,80	10,71	13,33	9,26	9,32	14,58	27,61
35	2,05	4,86	5,51	4,71	6,32	8,27	9,74	10,64	13,22	9,20	9,26	14,44	27,38
37	2,12	4,74	5,38	4,58	6,17	8,11	9,61	10,51	13,01	9,08	9,15	14,15	26,90
38	2,15	4,68	5,32	4,52	6,09	8,04	9,54	10,45	12,90	9,02	9,10	14,01	26,66
39	2,15	4,59	5,22	4,42	5,98	7,94	9,46	10,37	12,77	8,94	9,00	13,82	26,37
40	2,16	4,47	5,10	4,30	5,83	7,80	9,34	10,26	12,59	8,84	8,88	13,56	25,99
41	2,16	4,42	5,04	4,24	5,76	7,74	9,29	10,21	12,50	8,79	8,82	13,44	25,80
42	2,20	4,40	5,02	4,22	5,73	7,72	9,29	10,21	12,47	8,79	8,85	13,38	25,64
44	2,25	4,33	4,95	4,16	5,64	7,66	9,25	10,15	12,35	8,73	8,82	13,20	25,23
45	2,25	4,27	4,88	4,10	5,56	7,60	9,18	10,07	12,23	8,67	8,73	13,05	24,93
46	2,26	4,24	4,84	4,07	5,52	7,58	9,15	10,04	12,17	8,63	8,69	12,98	24,78
47	2,30	4,23	4,83	4,06	5,49	7,55	9,13	10,03	12,12	8,63	8,69	12,89	24,56
48	2,34	4,22	4,82	4,05	5,45	7,52	9,11	10,02	12,08	8,62	8,70	12,80	24,35
51	2,47	4,23	4,80	4,06	5,42	7,52	9,11	9,98	11,96	8,59	8,69	12,63	23,80
52	2,47	4,20	4,77	4,03	5,37	7,49	9,08	9,95	11,90	8,56	8,66	12,54	23,57
53	2,48	4,17	4,73	4,00	5,33	7,46	9,04	9,92	11,83	8,53	8,63	12,44	23,35
54	2,48	4,14	4,70	3,97	5,28	7,43	9,01	9,88	11,77	8,50	8,60	12,35	23,12
55	2,49	4,11	4,67	3,94	5,24	7,40	8,97	9,85	11,71	8,48	8,57	12,26	22,90
56	2,44	4,04	4,57	3,86	5,14	7,31	8,91	9,78	11,60	8,40	8,50	12,12	22,61
58	2,37	3,90	4,41	3,72	4,96	7,16	8,75	9,62	11,36	8,25	8,34	11,82	22,06
59	2,36	3,83	4,33	3,65	4,88	7,09	8,66	9,54	11,25	8,17	8,25	11,66	21,80
60	2,41	3,84	4,33	3,66	4,87	7,05	8,66	9,53	11,21	8,17	8,25	11,60	21,63
61	2,47	3,84	4,33	3,67	4,86	7,03	8,65	9,52	11,17	8,17	8,24	11,54	21,47
62	2,53	3,84	4,34	3,68	4,84	7,02	8,65	9,51	11,13	8,16	8,24	11,48	21,31
63	2,59	3,85	4,34	3,69	4,83	7,01	8,64	9,50	11,10	8,16	8,24	11,43	21,15
66	2,66	3,85	4,33	3,70	4,79	6,99	8,63	9,48	11,00	8,13	8,23	11,30	20,67
67	2,67	3,85	4,32	3,71	4,78	6,98	8,62	9,47	10,98	8,13	8,23	11,26	20,52
68	2,68	3,85	4,32	3,71	4,77	6,97	8,62	9,46	10,95	8,12	8,22	11,22	20,36
69	2,69	3,86	4,32	3,71	4,75	6,97	8,62	9,45	10,92	8,11	8,22	11,18	20,20
70	2,71	3,86	4,31	3,71	4,74	6,96	8,62	9,44	10,90	8,10	8,21	11,15	20,05

ANEXO H

Resultados do Ensaio de Secagem Após
Imersão (em Teor de Água)

Tempo [dias]	CH 100A	CH 60A+R1	CH 40A+R1	CH 60A+R2	CH 40A+R2	CH+C 100A	CH+C 60A+R1	CH+C 40A+R1	CH+C 20A+40R1+40R3	CH+C 60A+R2	CH+C 40A+R2	CH+C 20A+40R2+40R3	CH+C 30R1+70R3
	w _i [g]												
0	12,08%	15,58%	19,56%	15,87%	19,49%	9,74%	12,58%	14,94%	28,31%	12,13%	15,28%	32,37%	60,50%
1	10,81%	14,08%	18,07%	14,81%	18,51%	9,13%	11,60%	13,78%	26,62%	11,08%	13,90%	30,59%	58,17%
2	9,71%	12,67%	16,78%	13,88%	17,57%	8,58%	10,56%	12,70%	25,07%	10,09%	12,66%	29,10%	56,39%
3	8,80%	11,73%	15,77%	13,15%	16,87%	8,15%	9,84%	11,96%	23,90%	9,30%	11,73%	28,10%	55,23%
6	6,70%	9,39%	13,39%	11,50%	15,12%	7,16%	8,39%	10,55%	21,39%	7,84%	9,69%	25,93%	52,82%
7	5,83%	8,45%	12,35%	10,75%	14,42%	6,77%	8,03%	10,13%	20,44%	7,46%	9,17%	25,22%	52,09%
8	4,19%	6,90%	10,47%	9,30%	13,04%	6,14%	7,63%	9,63%	18,88%	7,07%	8,66%	24,08%	50,92%
9	3,14%	6,06%	9,15%	8,22%	11,92%	5,80%	7,36%	9,29%	17,87%	6,83%	8,36%	23,25%	50,04%
10	2,54%	5,52%	8,07%	7,23%	10,82%	5,56%	7,14%	9,02%	17,06%	6,63%	8,11%	22,50%	49,29%
13	1,76%	4,60%	6,38%	5,22%	8,21%	5,01%	6,63%	8,40%	15,32%	6,19%	7,56%	20,42%	47,19%
14	1,63%	4,40%	6,07%	4,87%	7,52%	4,87%	6,50%	8,25%	14,93%	6,08%	7,41%	19,80%	46,57%
15	1,53%	4,24%	5,85%	4,62%	7,04%	4,75%	6,38%	8,10%	14,59%	5,97%	7,27%	19,19%	45,95%
16	1,48%	4,15%	5,71%	4,47%	6,78%	4,67%	6,31%	8,02%	14,39%	5,91%	7,20%	18,79%	45,55%
17	1,36%	3,96%	5,46%	4,21%	6,36%	4,53%	6,17%	7,86%	14,02%	5,79%	7,05%	18,09%	44,85%
18	1,29%	3,84%	5,30%	4,05%	6,11%	4,44%	6,08%	7,75%	13,78%	5,71%	6,95%	17,57%	44,30%
20	1,15%	3,60%	4,97%	3,74%	5,65%	4,23%	5,87%	7,51%	13,27%	5,52%	6,72%	16,66%	43,25%
22	1,10%	3,47%	4,80%	3,56%	5,41%	4,11%	5,74%	7,36%	12,94%	5,41%	6,58%	16,01%	42,32%
23	1,04%	3,34%	4,64%	3,42%	5,22%	4,00%	5,64%	7,24%	12,70%	5,32%	6,45%	15,59%	41,74%
24	0,99%	3,23%	4,49%	3,28%	5,04%	3,91%	5,55%	7,14%	12,47%	5,23%	6,34%	15,21%	41,16%
25	0,97%	3,15%	4,40%	3,19%	4,92%	3,85%	5,48%	7,06%	12,29%	5,17%	6,27%	14,91%	40,61%
26	0,97%	3,11%	4,35%	3,14%	4,86%	3,82%	5,45%	7,02%	12,20%	5,14%	6,25%	14,73%	40,29%
27	0,97%	3,07%	4,30%	3,11%	4,80%	3,79%	5,43%	6,99%	12,11%	5,11%	6,21%	14,57%	39,95%
29	0,96%	2,95%	4,14%	2,97%	4,61%	3,70%	5,33%	6,88%	11,84%	5,03%	6,10%	14,09%	39,08%
30	0,96%	2,89%	4,08%	2,92%	4,54%	3,66%	5,30%	6,84%	11,74%	5,00%	6,08%	13,89%	38,66%
31	0,93%	2,82%	3,98%	2,83%	4,43%	3,60%	5,24%	6,77%	11,58%	4,94%	5,99%	13,64%	38,19%
32	0,91%	2,74%	3,88%	2,75%	4,32%	3,54%	5,17%	6,69%	11,42%	4,88%	5,91%	13,39%	37,72%
33	0,88%	2,66%	3,78%	2,67%	4,21%	3,48%	5,10%	6,61%	11,26%	4,81%	5,82%	13,15%	37,25%
34	0,86%	2,59%	3,68%	2,58%	4,10%	3,41%	5,03%	6,53%	11,10%	4,75%	5,74%	12,90%	36,77%
35	0,87%	2,55%	3,64%	2,55%	4,05%	3,38%	5,00%	6,49%	11,01%	4,72%	5,70%	12,77%	36,46%
37	0,90%	2,49%	3,56%	2,48%	3,95%	3,32%	4,93%	6,41%	10,83%	4,66%	5,63%	12,52%	35,83%
38	0,91%	2,46%	3,52%	2,44%	3,90%	3,29%	4,90%	6,37%	10,74%	4,63%	5,60%	12,40%	35,51%
39	0,91%	2,41%	3,45%	2,39%	3,83%	3,25%	4,86%	6,32%	10,63%	4,59%	5,54%	12,22%	35,12%
40	0,92%	2,35%	3,37%	2,33%	3,73%	3,19%	4,80%	6,26%	10,48%	4,54%	5,47%	12,00%	34,61%
41	0,92%	2,32%	3,33%	2,29%	3,69%	3,17%	4,77%	6,22%	10,41%	4,51%	5,43%	11,89%	34,36%
42	0,94%	2,31%	3,32%	2,28%	3,67%	3,16%	4,77%	6,22%	10,38%	4,51%	5,45%	11,84%	34,14%
44	0,96%	2,28%	3,27%	2,25%	3,61%	3,13%	4,75%	6,19%	10,28%	4,48%	5,43%	11,68%	33,61%
45	0,96%	2,24%	3,22%	2,22%	3,56%	3,11%	4,72%	6,14%	10,18%	4,45%	5,37%	11,55%	33,20%
46	0,96%	2,23%	3,20%	2,20%	3,54%	3,10%	4,70%	6,12%	10,13%	4,43%	5,35%	11,48%	33,00%
47	0,98%	2,23%	3,19%	2,19%	3,51%	3,09%	4,69%	6,12%	10,09%	4,43%	5,35%	11,40%	32,71%
48	0,99%	2,22%	3,18%	2,19%	3,49%	3,08%	4,68%	6,11%	10,06%	4,43%	5,35%	11,33%	32,43%
51	1,05%	2,23%	3,17%	2,20%	3,47%	3,08%	4,68%	6,09%	9,96%	4,41%	5,35%	11,17%	31,70%
52	1,05%	2,21%	3,15%	2,18%	3,44%	3,06%	4,66%	6,07%	9,91%	4,40%	5,33%	11,09%	31,39%
53	1,05%	2,19%	3,13%	2,16%	3,41%	3,05%	4,64%	6,05%	9,85%	4,38%	5,31%	11,01%	31,09%
54	1,05%	2,18%	3,11%	2,15%	3,38%	3,04%	4,63%	6,03%	9,80%	4,37%	5,29%	10,93%	30,79%
55	1,06%	2,16%	3,08%	2,13%	3,35%	3,03%	4,61%	6,01%	9,75%	4,35%	5,28%	10,85%	30,49%
56	1,04%	2,12%	3,02%	2,09%	3,29%	2,99%	4,57%	5,96%	9,65%	4,31%	5,23%	10,72%	30,11%
58	1,01%	2,05%	2,91%	2,01%	3,18%	2,93%	4,50%	5,87%	9,46%	4,24%	5,13%	10,46%	29,38%
59	1,00%	2,02%	2,86%	1,98%	3,13%	2,90%	4,45%	5,82%	9,36%	4,20%	5,08%	10,31%	29,03%
60	1,03%	2,02%	2,86%	1,98%	3,12%	2,69%	4,45%	5,81%	9,33%	4,20%	5,08%	10,26%	28,81%
61	1,05%	2,02%	2,86%	1,98%	3,11%	2,48%	4,44%	5,81%	9,30%	4,19%	5,08%	10,21%	28,60%
62	1,07%	2,02%	2,87%	1,99%	3,10%	2,28%	4,44%	5,80%	9,27%	4,19%	5,07%	10,16%	28,38%
63	1,10%	2,02%	2,87%	1,99%	3,09%	2,07%	4,44%	5,80%	9,24%	4,19%	5,07%	10,11%	28,17%
66	1,13%	2,03%	2,86%	2,00%	3,07%	1,86%	4,43%	5,78%	9,16%	4,18%	5,07%	9,99%	27,53%
67	1,14%	2,03%	2,86%	2,00%	3,06%	1,85%	4,43%	5,77%	9,14%	4,17%	5,06%	9,96%	27,33%
68	1,14%	2,03%	2,85%	2,00%	3,05%	1,85%	4,43%	5,77%	9,12%	4,17%	5,06%	9,93%	27,12%
69	1,14%	2,03%	2,85%	2,01%	3,04%	1,85%	4,43%	5,76%	9,09%	4,16%	5,06%	9,89%	26,91%
70	1,15%	2,03%	2,85%	2,01%	3,03%	1,85%	4,42%	5,76%	9,07%	4,16%	5,06%	9,86%	26,70%

ANEXO I

Resultados do Ensaio de Condutibilidade
Térmica

Argamassa / Provete		Características do provete			Condições de ensaio					Resultados do ensaio
		Espessura de ensaio	Massa volúmica aparente após condic.	Variação relativa de massa durante a secagem	Direcção e sentido do fluxo	Temp ^a média	Queda de temp ^a	Densidade de fluxo de calor	Variação relativa de massa durante o ensaio	Condutibilidade térmica
						(°C)	(°C)	(W/m ²)	(kg/kg)	(W/m. °C)
		(mm)	(kg/m ³)	(kg/kg)						
CH 40A+R1	Provete 1	55,7	1205	0,021	Vertical, ascendente	10,2	14,4	76,8	0	0,298
	Provete 2	55,8	1185	0,022		10,1	14,7	75,4	0,002	0,285
	Média	---	1195	---	---	10,2	---	---	---	0,292
CH 40A+R2	Provete 1	58,1	1153	0,019	Vertical, ascendente	10,0	14,9	71,7	0	0,28
	Provete 2	58	1149	0,019		9,9	14,9	73,8	0,001	0,288
	Média	---	1151	---	---	10,0	---	---	---	0,284
CH+C 40A+R1	Provete 1	56,9	1204	0,035	Vertical, ascendente	10,2	13,4	101,8	0,002	0,434
	Provete 2	57,8	1272	0,033		10,2	13,8	108,3	0,002	0,454
	Média	---	1238	---	---	10,2	---	---	---	0,444
CH+C 40A+R2	Provete 1	58,5	1206	0,026	Vertical, ascendente	9,9	14,3	87	0	0,355
	Provete 2	57,8	1192	0,03		10,1	14,3	88,5	0,001	0,359
	Média	---	1199	---	---	10,0	---	---	---	0,357
CH+C 20A+40R1+40R3	Provete 1	55,8	927	0,053	Vertical, ascendente	10,1	14,9	60,3	0,002	0,226
	Provete 2	56	910	0,048		10,1	15,5	59,8	0,001	0,216
	Média	---	919	---	---	10,1	---	---	---	0,221
CH+C 20A+40R2+40R3	Provete 1	58,2	839	0,043	Vertical, ascendente	9,8	16	54	0,001	0,197
	Provete 2	56,7	853	0,042		9,9	15,7	55	0,002	0,199
	Média	---	846	---	---	9,9	---	---	---	0,198
CH+C 30R1+70R3	Provete 1	54,7	581	0,081	Vertical, ascendente	10,0	16	31,7	0,002	0,108
	Provete 2	55,4	580	0,074		10,0	16,5	32,1	0,001	0,108
	Média	---	581	---	---	10,0	---	---	---	0,108