



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Comportamento reológico e mecânico de argamassas com agregados leves

Paula Alexandra Gil Barroca

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Luiz Antonio Pereira de Oliveira
Coorientador: Prof. Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno

Covilhã, junho de 2013

Aos meus Pais

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação contou valiosamente com a colaboração direta e indireta de várias pessoas às quais eu pretendo agradecer profundamente.

Em primeiro lugar gostaria de expressar o meu profundo agradecimento ao Prof. Doutor Luiz Oliveira e ao Prof. Doutor Miguel Nepomuceno, orientador e coorientador científico, respetivamente, desta dissertação, pela constante disponibilidade, dedicação e motivação, assim como por todos os conhecimentos transmitidos, essenciais ao desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus pais e irmão, gostaria de agradecer todo o incentivo, confiança, carinho e apoio, sempre demonstrados ao longo da vida.

À Sandrine Pereira, amiga e companheira de laboratório, gostaria de agradecer toda a ajuda, amizade e apoio prestado. Gostaria ainda de agradecer à Ana, Fátima, Rita e Vasco pelo incentivo, companheirismo e amizade sempre demonstrados ao longo desta dissertação, assim como a todos os amigos e colegas que sempre me apoiaram e lutaram comigo pela concretização desta etapa.

Gostaria de expressar o meu agradecimento ao Sr. Eng.º Albino Alves, técnico de laboratório, mas acima de tudo amigo, pela constante disponibilidade, ajuda e amizade. Ao Sr. António Félix agradeço toda a colaboração e disponibilidade na realização dos trabalhos experimentais.

À Universidade da Beira Interior gostaria de agradecer todos os meios, equipamentos e materiais disponibilizados. Gostaria também de agradecer a todos os Professores envolvidos na minha formação académica, pelos conhecimentos transmitidos.

Expresso também o meu agradecimento a todas as empresas que contribuíram gratuitamente com materiais para a concretização deste estudo experimental, nomeadamente à empresa Sika-Portugal, S.A., o fornecimento do superplastificante e à empresa Sofalca, o fornecimento da cortiça expandida.

Por fim, gostaria de fazer um agradecimento especial ao Luís Afonso, uma pessoa muito importante na minha vida, pelo constante amor, compreensão, paciência e ajuda ao longo destes anos.

Resumo

COMPORTAMENTO REOLÓGICO E MECÂNICO DE ARGAMASSAS COM AGREGADOS LEVES

As argamassas de revestimento constituem a parte mais exposta da envolvente exterior dos edifícios, desempenhando um papel importantíssimo na estanquidade à água, durabilidade, salubridade e conforto das habitações. Tais desempenhos são inerentes à composição das argamassas, relativamente ao teor de cada um dos seus componentes, em função da sua aplicação final. Pretende-se com este trabalho compreender a influência de agregados leves de diferentes naturezas, no desempenho de argamassas de revestimento exterior.

Com o objetivo de estudar o comportamento reológico e mecânico das argamassas de revestimento, com incorporação de agregados leves reciclados, foi produzida uma argamassa de referência com a mesma proporção em volume aparente de cimento Portland (CEM I 42,5 R), cal hidratada (CL80) e agregados finos, na proporção 1:1:5. A quantidade de agregados finos foi substituída tendo por base duas variáveis de ensaio: a percentagem de substituição do agregado natural por agregados leves (expressa em massa) e o tipo de agregado. Para a concretização deste estudo foram utilizados agregados artificiais de argila expandida com designação comercial Leca S (LS) e materiais provenientes da reciclagem como sejam a cortiça natural (COR), a cortiça expandida (CEX) e o poliestireno expandido (EPS).

Para melhor entender todos os parâmetros envolvidos no desempenho das argamassas foram analisadas uma série de características no estado fresco e endurecido, tendo-se sempre como referência as normas vigentes para agregados e argamassas de revestimento.

Os resultados obtidos confirmaram na sua generalidade a viabilidade da utilização de agregados leves, como alternativa ou complementaridade aos agregados naturais. De uma forma geral, as argamassas apresentaram bons desempenhos do ponto de vista reológico, físico e mecânico. As argamassas com CEX foram as que apresentaram o pior desempenho quando comparado com os outros agregados leves.

Um dos aspetos que merece especial atenção quando se utiliza agregados leves está associado com a perda de trabalhabilidade durante o tempo, em virtude das propriedades de absorção deste tipo de agregados.

Palavras-chave:

Argamassa de revestimento; Monomassa; Agregados leves; Agregados reciclados; Reologia; Propriedades físicas; Propriedades mecânicas.

Abstract

RHEOLOGICAL AND MECHANICAL BEHAVIOR OF MORTARS WITH LIGHTWEIGHT AGGREGATES

The coating mortars are the most exposed part of the external envelope of buildings, playing an important role in water penetration, durability, salubrity and comfort of the buildings. Such performances are inherent of the composition of the mortars, regarding the content of each individual component based on his final application. This work aims to understand the influence of the lightweight aggregates from different natures in the performance of the external coating mortars.

With the goal of studying the rheological and mechanical behavior of the coating mortars, by incorporating recycled lightweight aggregates, it was produced a reference mortar with the same ratio in terms of apparent volume of Portland cement (CEM I 42,5 R), hydrated lime (CL80) and fine aggregates, with a proportion of 1:1:5. The amount of fine aggregates was replaced on the basis of two variables: the percentage of natural aggregate replacement per lightweight aggregates (in terms of mass) and the aggregate type. For the implementation of this study were considered the use of artificial expanded clay aggregates with a commercial designation of Leca (LS) and recycling material such as natural cork (COR), expanded cork (CEX) and expanded polystyrene (EPS).

To better understand all the parameters involved in the performance of the mortars, a series of characteristics on fresh and hardened state were analyzed, always having as a reference the current standards for aggregates and coating mortars.

In general, the results confirm the feasibility of the use of lightweight aggregates, as an alternative or complement to natural aggregates. In a general way, the mortars have good performance in terms of the physical, mechanical and rheological point of view. The mortars with CEX showed the worst performance when compared with the other lightweight aggregates.

One of the aspects that deserve special attention when using lightweight aggregates is associated with the workability loss during time in consequence of the absorption properties of this type of aggregates.

Keywords

Coating mortar; Single-coat renders; Lightweight aggregates; Recycled aggregates; Rheology; Physical properties; Mechanical properties.

Índice Geral

1. Introdução	
1.1. Enquadramento do tema	1
1.2. Objetivos e justificação do tema	2
1.3. Organização da dissertação	3
2. Argamassas de Revestimento	
2.1. Introdução	5
2.2. Constituintes das argamassas	5
2.2.1. Aglomerantes	6
2.2.1.1. <i>Cimento</i>	7
2.2.1.2. <i>Cal aérea</i>	7
2.2.2. Agregados de densidade normal	7
2.2.2.1. <i>Agregados naturais</i>	8
2.2.3. Agregados leves	8
2.2.3.1. <i>Argila expandida</i>	8
2.2.3.2. <i>Cortiça natural e cortiça expandida</i>	10
2.2.3.3. <i>Poliestireno expandido</i>	13
2.2.4. Adjuvantes	15
2.2.4.1. <i>Agente redutor de água</i>	15
2.2.5. Água de amassadura	17
2.3. Influência dos agregados na microestrutura das argamassas	17
2.4. Exigências funcionais das argamassas de revestimento	20
2.4.1. Trabalhabilidade	20
2.4.2. Resistência à fissuração	20
2.4.3. Capacidade de impermeabilização em zona não-fissurada	21
2.4.4. Permeabilidade ao vapor de água	21
2.4.5. Aderência ao suporte	22
2.4.6. Resistência aos choques	23
2.4.7. Durabilidade	23
2.4.8. Aspeto estético	24
2.5. Acervo normativo para argamassas de revestimento	24
2.5.1. Materiais constituintes	24
2.5.2. Classificação de MERUC	25
2.5.3. Requisitos da Norma EN 998-1	25
3. Reologia das argamassas	
3.1. Introdução	27
3.2. Propriedades das argamassas no estado fresco	28
	xi

3.3. Reologia	28
3.4. Parâmetros e modelos reológicos	30
3.5. Métodos de caracterização reológica	33
3.6. Estudos desenvolvidos no âmbito da reologia	34
4. Procedimento experimental	
4.1. Introdução	37
4.2. Materiais utilizados	37
4.2.1. Cimento	38
4.2.2. Cal hidratada	38
4.2.3. Agregados	38
4.2.3.1. <i>Agregados naturais</i>	39
4.2.3.2. <i>Agregados leves</i>	40
4.2.4. Adjuvantes	41
4.2.5. Água de amassadura	42
4.3. Ensaio de caracterização dos materiais	42
4.3.1. Baridade	42
4.3.2. Análise granulométrica	43
4.3.3. Absorção de água dos agregados	43
4.3.4. Massa volúmica	44
4.4. Estudo da composição das argamassas	45
4.4.1. Cálculo das argamassas	45
4.4.2. Folha de cálculo para argamassas	49
4.5. Misturas estudadas	49
4.6. Procedimento de amassadura	51
4.7. Ensaio no estado fresco	52
4.7.1. Consistência por espalhamento	52
4.7.2. Reologia	52
4.7.3. Massa volúmica aparente	54
4.7.4. Retenção de água	54
4.7.5. Teor de ar contido na argamassa	56
4.7.6. Preparação e condicionamento dos provetes	56
4.8. Ensaio no estado endurecido	57
4.8.1. Resistência mecânica à flexão e compressão	57
4.8.2. Absorção de água por capilaridade	58
4.8.3. Massa volúmica	59
4.8.4. Resistência da aderência por tração	59
4.8.5. Retração	61

5. Apresentação e discussão dos resultados	
5.1. Introdução	63
5.2. Argamassas estudadas	63
5.2.1. Argamassas iniciais	64
5.2.1. Argamassas finais	65
5.3. Caracterização das argamassas no estado fresco	66
5.3.1. Consistência por espalhamento	66
5.3.2. Massa volúmica aparente	68
5.3.3. Estimativa do volume de vazios	69
5.3.4. Retenção de água	70
5.4. Caracterização reológica das argamassas	71
5.4.1. Perfil “Step”	71
5.4.1.1. Argamassa de referência	71
5.4.1.2. Argamassas finais	72
5.4.2. Perfil “Dwelling”	75
5.4.2.1. Argamassa de referência	76
5.4.2.2. Argamassas finais	77
5.5. Caracterização das argamassas no estado endurecido	82
5.5.1. Massa volúmica	82
5.5.2. Resistência à flexão e compressão	83
5.5.3. Resistência de aderência à tração (“Pull-off”)	86
5.5.4. Absorção de água por capilaridade	88
5.5.5. Retração livre	90
6. Conclusões e propostas para trabalhos futuros	
6.1. Conclusões	93
6.2. Propostas para trabalhos futuros	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
ANEXOS	
Anexo A. Estudo das argamassas	103
Anexo A.1. Argamassa de referência	105
Anexo A.2. Argamassas finais	109
Anexo B. Reologia	123
Anexo B.1. Perfil “Step”	125
Anexo B.2. Perfil “Dwelling”	131

Índice de Figuras

2.1. Estrutura celular externa e interna da argila expandida	9
2.2. Montado de sobreiros no mundo, APCOR	10
2.3. Classificação da cortiça	11
2.4. Estrutura celular a) aspeto alveolar e b) grau de finura das paredes, do EPS	14
2.5. Estrutura do polímero PCE	16
2.6. Pasta envolvente em a) agregados leves secos b) agregados leves saturados (24h) c) agregados normais, (após 7 dias de idade)	19
2.7. Esquema do ensaio de resistência de aderência por tração	22
2.8. Rotura pela argamassa de revestimento	23
2.9. Rotura pelo substrato	23
2.10. Rotura na interface do revestimento com a cola	23
2.11. Rotura na interface da cola com o disco	23
3.1. Representação do comportamento tixotrópico	29
3.2. Modelo de destruição estrutural irreversível por ação de corte	30
3.3. Gráfico de tensão - deformação para líquidos Newtonianos	31
3.4. Modelos que relacionam a tensão de corte com o gradiente de velocidade	32
3.5. Reogramas de diversos comportamentos reológicos	33
4.1. Curva granulométrica da cal hidratada	38
4.2. Areias naturais utilizadas	39
4.3. Granulometria das areias naturais	40
4.4. Agregados leves utilizados	40
4.5. Curvas granulométricas dos diversos materiais	41
4.6. Baridade ou massa volúmica aparente	42
4.7. Série de peneiros EN933	43
4.8. Saturação das amostras, ensaio de absorção	44
4.9. Determinação da massa volúmica (densímetro de “ <i>Le Châtelier</i> ”)	45
4.10. Misturadora	51
4.11. Ensaio da mesa de espalhamento “ <i>Flow-Table</i> ”	52
4.12. Reómetro (Viskomat NT)	53
4.13. Perfil “ <i>Step</i> ”	53
4.14. Perfil “ <i>Dwelling</i> ”	54
4.15. Massa volúmica aparente	54
4.16. Ensaio de retenção de água	55
4.17. Ensaio de resistência à flexão e compressão	58
4.18. Ensaio de absorção de água por capilaridade	59
4.19. Determinação do volume do provete para o cálculo da massa volúmica	59

4.20. Preparação dos provetes para o ensaio de resistência da aderência por tração	60
4.21. Ensaio de resistência da aderência por tração	61
4.22. Ensaio de retração	61
5.1. Argamassas iniciais com agregados leves	65
5.2. Argamassa final com EPS	65
5.3. Espalhamento inicial das argamassas	67
5.4. Espalhamento final das argamassas	68
5.5. Massa volúmica das argamassas no estado fresco	68
5.6. Retenção de água da argamassa no estado fresco	70
5.7. Variação do torque em função da velocidade de ensaio, para a argamassa de referência (<i>Perfil “Step”</i>)	71
5.8. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente (Ref.)	72
5.9. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente (LS)	74
5.10. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente (COR)	74
5.11. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente (CEX)	75
5.12. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente (EPS)	75
5.13. Variação do torque em função do tempo de ensaio, para a argamassa de referência (<i>Perfil “Dwelling”, a 160 rpm</i>)	76
5.14. Variação do torque em função da velocidade de corte, para a argamassa de referência (<i>Perfil “Dwelling”, a 160 rpm</i>)	76
5.15. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (LS)	78
5.16. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (COR)	78
5.17. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (CEX)	79
5.18. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (EPS)	79
5.19. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (LS)	80
5.20. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (COR)	80
5.21. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (CEX)	81
5.22. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (EPS)	81
5.23. Variação do torque em função do tempo de ensaio (CEX25)	81
5.24. Variação do torque em função do tempo de ensaio (CEX50)	81
5.25. Massa volúmica seca dos provetes no estado endurecido	82
5.26. Resistência à flexão	83
5.27. Resistência à compressão	84
5.28. Distribuição dos agregados na argamassa (secção transversal de 4 x 4 cm)	85
5.29. Resistência de aderência à tração	86
5.30. Rotura pelo substrato em argamassas com argila expandida	87
5.31. Rotura pela ligação argamassa-substrato em argamassas com CEX	88
5.32. Rotura pela argamassa em argamassas com EPS, COR, CEX	88
5.33. Coeficiente de capilaridade das argamassas	88

5.34. Absorção capilar das argamassas	89
5.35. Retração aos 28 dias de idade	90
5.36. Evolução da retração com o tempo	91
5.37. Perda de massa das argamassas com o tempo	91

Anexos:

B.1.1. Variação do torque em função da velocidade, argamassas iniciais com LS	127
B.1.2. Variação do torque em função da velocidade, argamassas iniciais com COR	127
B.1.3. Variação do torque em função da velocidade, argamassas iniciais com CEX	127
B.1.4. Variação do torque em função da velocidade, argamassas iniciais com EPS	128
B.1.5. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente ($LS_{inicial}$)	128
B.1.6. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente ($COR_{inicial}$)	128
B.1.7. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente ($CEX_{inicial}$)	128
B.1.8. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente ($EPS_{inicial}$)	128
B.1.9. Variação do torque em função da velocidade, argamassas finais com LS	129
B.1.10. Variação do torque em função da velocidade, argamassas finais com COR	129
B.1.11. Variação do torque em função da velocidade, argamassas finais com CEX	129
B.1.12. Variação do torque em função da velocidade, argamassas finais com EPS	129
B.2.1. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas iniciais com LS	133
B.2.2. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas iniciais com COR	133
B.2.3. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas iniciais com CEX	133
B.2.4. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas iniciais com EPS	134
B.2.5. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas finais com LS	134
B.2.6. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas finais com COR	134
B.2.7. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas finais com CEX	135
B.2.8. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas finais com EPS	135
B.2.9. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio ($LS_{inicial}$)	136
B.2.10. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio ($COR_{inicial}$)	136
B.2.11. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio ($CEX_{inicial}$)	136
B.2.12. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio ($EPS_{inicial}$)	136
B.2.13. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio ($LS_{inicial}$)	137
B.2.14. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio ($COR_{inicial}$)	137
B.2.15. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio ($CEX_{inicial}$)	137
B.2.16. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio ($EPS_{inicial}$)	137
B.2.17. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (LS)	137
B.2.18. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (COR)	137
B.2.19. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (CEX)	138
B.2.20. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (EPS)	138
B.2.21. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio ($LS_{inicial}$)	138

B.2.22. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio ($COR_{inicial}$)	138
B.2.23. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio ($CEX_{inicial}$)	139
B.2.24. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio ($EPS_{inicial}$)	139
B.2.25. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (LS)	139
B.2.26. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (COR)	139
B.2.27. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (CEX)	139
B.2.28. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (EPS)	139
B.2.29. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio ($LS_{inicial}$)	140
B.2.30. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio ($COR_{inicial}$)	140
B.2.31. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio ($CEX_{inicial}$)	141
B.2.32. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio ($EPS_{inicial}$)	141

Índice de Tabelas

2.1. Classificação de MERUC	25
2.2. Requisitos para argamassas no estado endurecido	26
2.3. Síntese de alguns requisitos normativos para argamassas de revestimento	26
4.1. Características físicas dos agregados naturais	39
4.2. Granulometria das areias naturais	40
4.3. Características físicas dos agregados leves	40
4.4. Percentagem de material passado nos peneiros	41
4.5. Misturas produzidas para as condições iniciais	50
4.6. Misturas produzidas após o acerto das argamassas	51
5.1. Dosagens das argamassas iniciais	64
5.2. Quantidades finais após o acerto	66
5.3. Valores do espalhamento obtidos na mesa de espalhamento (“Flow-Table”)	67
5.4. Volume de vazios teórico	69
5.5. Equações do modelo reológico de Bingham, perfil “Step”	72
5.6. Equações do modelo reológico de Bingham, após 15 min. de ensaio	77
5.7. Equações do modelo reológico de Bingham, após 60 min. de ensaio	79
5.8. Massa volúmica seca e saturada dos provetes no estado endurecido	82
5.9. Parâmetro R_t/R_c	86
5.10. Ensaio de aderência, resultados e tipos de rotura obtidos	87
<u>Anexos:</u>	
A.1.1. Composição da argamassa de referência	107
A.2.1. Composição da argamassa LS25	111
A.2.2. Composição da argamassa LS50	112
A.2.3. Composição da argamassa LS75	113
A.2.4. Composição da argamassa COR25	114
A.2.5. Composição da argamassa COR50	115
A.2.6. Composição da argamassa COR75	116
A.2.7. Composição da argamassa CEX25	117
A.2.8. Composição da argamassa CEX50	118
A.2.9. Composição da argamassa CEX75	119
A.2.10. Composição da argamassa CEX100	120
A.2.11. Composição da argamassa EPS25	121
A.2.12. Composição da argamassa EPS50	122

B.2.1. Equações do modelo reológico de Bingham, após 15 min. de ensaio	135
B.2.2. Equações do modelo reológico de Bingham, após 30 min. de ensaio	136
B.2.3. Equações do modelo reológico de Bingham, após 45 min. de ensaio	138
B.2.4. Equações do modelo reológico de Bingham, após 60 min. de ensaio	140

Abreviaturas

APCOR	Associação Portuguesa de Cortiça
APFAC	Associação dos Fabricantes de Argamassas de Construção
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DECA	Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
IPQ	Instituto Português da Qualidade.
IPS	Instituto Politécnico de Setúbal
IST	Instituto Superior Técnico.
LEM	Laboratório de ensaios de materiais
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa (Portugal).
RILEM	Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les constructions, Paris.
UA	Universidade de Aveiro
UBI	Universidade da Beira Interior.
UNL	Universidade Nova de Lisboa

Simbologia

Alfabeto Latino

A	Área, m ²
A%	Absorção de água do agregado, em %
AR	Teor de ar contido na argamassa, em %
B _x	Baridade seca não compactada do material X, expressa em kg/m ³
C	Coefficiente de capilaridade, em kg/(m ² min. ^{0.5})
C1	Cimento CEM I 42,5 R
CEX	Cortiça expandida
CEX X	Argamassa com X% de substituição de agregado natural por cortiça expandida, em massa
CL	Cal hidratada
COR	Cortiça natural
COR X	Argamassa com X% de substituição de agregado natural por cortiça natural, em massa
EPS	Poliestireno expandido
EPS X	Argamassa com X% de substituição de agregado natural por poliestireno expandido, em massa
F	Força, em N
f	Resistência à flexão, em N/mm ²
f _u	Resistência à tração, em N/mm ²
f _x	Fração unitária do agregado X relativa ao volume absoluto total de agregados
g	Tensão de cedência relativa
h	Viscosidade plástica relativa
HPC	High performance concrete
ITZ	Zona de transição de interface
K	Índice de consistência
LS	Argila expandida “Leca S”
LS X	Argamassa com X% de substituição de agregado natural por argila expandida, em massa
M _x	Massa do material X
n	Grau de comportamento não Newtoniano
N	Velocidade de rotação, em rpm
PCE	Polímero de éteres policarboxilatos
PS	Poliestireno
Ref.	Argamassa de referência
R _t /R _c	Parâmetro indicador da ductilidade de uma argamassa
R _x	Razão em massa do material X
S2	Areia 0/2
S4	Areia 0/4
Sd	Desvio Padrão de um conjunto de valores
SEM	Microscópio eletrônico de varrimento

SP	Superplastificante
T	Torque, em N.mm
t_x	Traço do material X, expresso em volume não compactado
V_x	Volume absoluto do material X
W	Água de amassadura
W/C	Razão em massa entre as quantidades de água e de cimento da mistura
W/MC	Razão em massa entre as quantidades de água e de materiais cimentícios da mistura
W_1	Quantidade de água da amostra, em g/g
W_2	Quantidade de água contida na argamassa dentro do molde, em g
W_3	Quantidade de água absorvida pelo papel de filtro, em g
W_4	Quantidade de água perdida pela argamassa, em g
WRV	Retenção de água da argamassa, em %

Alfabeto grego

μ	Coefficiente de viscosidade plástico
δ	Massa volúmica dos agregados, em kg/m^3
γ	Taxa de corte, em s^{-1}
τ	Tensão de corte, em Pa
η	Viscosidade, em Pa.s
τ_0	Tensão de cedência ou tensão de Bingham, em Pa
γ_{saturada}	Massa volúmica saturada da argamassa no estado endurecido, em kg/m^3
γ_{seca}	Massa volúmica seca da argamassa no estado endurecido, em kg/m^3
δ_x	Massa volúmica do material X, expressa em kg/m^3
ε	Retração, em mm/mm
ρ_m	Massa volúmica aparente, no estado fresco, em kg/m^3

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

Em Portugal, os revestimentos de paredes mais utilizados são os constituídos por argamassas de aglomerantes minerais, vulgarmente designados de rebocos [66]. Estes revestimentos de paredes possuem uma elevada importância pois condicionam fortemente o aspeto estético dos edifícios habitacionais, comerciais e industriais que fazem parte do nosso dia-a-dia. Contudo, apesar da aparência ser uma das características mais visíveis, a importância das argamassas é bem mais vasta e complexa do que se possa julgar numa primeira abordagem.

Os revestimentos, em especial os rebocos exteriores, possuem um papel importante na estanquidade à água dos edifícios e são os grandes responsáveis pela durabilidade, salubridade e conforto das habitações.

No presente trabalho serão abordadas argamassas para revestimento exterior. Segundo Veiga [66], os revestimentos exteriores de paredes obtidos a partir de argamassas, para desempenharem as funções que lhes são exigidas, devem satisfazer determinadas regras de qualidade, dos quais se destacam os seguintes aspetos: trabalhabilidade, resistência à fissuração, capacidade de impermeabilização em zona não-fissurada, permeabilidade ao vapor de água, aderência ao suporte, resistência aos choques, compatibilidade com o suporte, aspeto estético e durabilidade.

Satisfazer todas estas exigências de desempenho das argamassas depende em grande parte das características dos componentes utilizados na sua formulação, pois só uma correta escolha dos materiais e da sua proporção permitirá alcançar a argamassa pretendida a cada aplicação. A escolha de cada um dos componentes das argamassas deve ser sempre realizada tendo por base a função final que a argamassa irá desempenhar. Para a realização do presente estudo será estudada uma argamassa de revestimento leve, do tipo monomassa (aplicada numa só camada).

Para além de todas as funções inerentes às argamassas, não se pode deixar de salientar a importância que estas possuem conjuntamente com os isolamentos térmicos, na higrometria interior das habitações, importantíssima ao conforto do ser humano.

É também nesta vertente de melhoramento das qualidades dos revestimentos e paramentos, através da utilização de uma argamassa de revestimento com introdução de agregados leves, que assenta a presente dissertação. A introdução de agregados leves reciclados nas argamassas para além dos contributos incontestáveis em termos de sustentabilidade, caso se conste viável, poderá também torna-se numa prática contínua na criação de revestimentos melhorados térmicamente, permitindo assim alcançar um nível de conforto superior, eventualmente, com menores custos.

Apesar de estarem comprovados os benefícios energéticos dos agregados leves, não se sabe ao certo até que ponto é viável em termos de exigências normativas e funcionais a sua aplicação em argamassas de revestimento. Entender as propriedades das argamassas com este tipo de agregados constitui o objetivo desta dissertação.

1.2. Objetivos e justificação do tema

A indústria da construção constitui um dos sectores mais importantes em termos de desenvolvimento económico da Europa. No entanto, é também responsável pela grande maioria dos resíduos produzidos. De acordo com alguns investigadores, a forma mais eficiente de tornar uma atividade sustentável passa pela incorporação de resíduos de outras indústrias nos materiais de construção. A empregabilidade de materiais com elevado nível de reciclagem, mais duráveis e que incorporem menos energia, constitui uma solução inequívoca de contributos para uma construção mais sustentável [65].

É neste contexto que surge o interesse do estudo das argamassas com agregados leves, sobretudo os provenientes da reciclagem de resíduos urbanos e industriais, como material alternativo às atuais argamassas de revestimento. As vantagens associadas a estes materiais, nomeadamente o seu reduzido peso, baixo custo, durabilidade e boas qualidades térmicas, poderá vir a desenvolver o mercado da construção numa vertente mais ecológica e sustentável, assim como as capacidades e qualidades do próprio paramento.

Desta forma, constitui objetivo deste estudo compreender a influência destes agregados leves de diferente natureza no comportamento reológico, físico e mecânico das argamassas, nas suas propriedades no estado fresco e endurecido, assim como na sua trabalhabilidade, fator condicionante para uma correta aplicação. Pretende-se também observar e entender a influência de algumas variáveis nesse comportamento e estabelecer parâmetros de dosagem para estas argamassas de forma a ir ao encontro dos requisitos normativos exigíveis à sua aplicação.

A reologia constitui, no entanto, um dos pontos de interesse desta dissertação. Uma argamassa para atingir determinadas propriedades no estado endurecido necessita antes de mais de um comportamento adequado no seu estado fresco. A trabalhabilidade, consistência e plasticidade são alguns dos fatores de extrema relevância nas propriedades reológicas das argamassas. Estas não só influenciam o seu estado endurecido, como todo o processo de manuseio e aplicação da argamassa sobre um determinado substrato. Para que estas condições se verifiquem de forma adequada, a argamassa deve possuir uma determinada viscosidade e tensão de cedência. Entender de que forma os agregados leves e a sua percentagem de substituição, influenciam estes fatores, constitui assim um dos objetivos principais deste trabalho.

Para a concretização deste estudo foram produzidas argamassas com a mesma proporção em volume aparente de cimento Portland (CEM I 42,5 R), cal hidratada (CL80) e agregados finos, de

1:1:5. Os traços de cimento e de cal hidratada foram mantidos constantes, enquanto o traço dos agregados finos resultaram da combinação de diferentes proporções de agregados naturais e agregados leves. As dosagens de água e de superplastificante foram determinadas em cada caso para se obter as propriedades de escoamento requeridas. Foram consideradas como variáveis de estudo, a percentagem de substituição do agregado natural por agregado leve (expressa em massa) e o tipo de agregado, que inclui a argila expandida com designação comercial Leca S (LS), a cortiça natural (COR), a cortiça expandida (CEX) e o poliestireno expandido (EPS).

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação será dividida em 6 Capítulos distintos, incluindo este. Esses capítulos serão organizados da seguinte forma:

No Capítulo 2 é feita uma análise bibliográfica onde são exploradas as características das argamassas de revestimento, é também realizada uma breve abordagem aos constituintes das argamassas, dando-se especial atenção, aos agregados leves e às suas características, dado que todos os fatores em estudo serão à partida influenciados pelo tipo de material utilizado. Será também explorada, de forma breve, a estrutura porosa das argamassas, em especial das argamassas com agregados leves. O capítulo é finalizado com uma abordagem às exigências funcionais e normativas subjacentes ao desempenho das argamassas de revestimento

No Capítulo 3 ainda continuará a ser apresentada a análise bibliográfica (estado da arte), mas agora mais centrada na reologia, principal ponto de interesse deste trabalho. Neste capítulo serão explicados alguns conceitos importantes da reologia, serão expostos os vários modelos de caracterização dos materiais e será ainda realizada uma abordagem aos vários métodos de ensaio existentes e a alguns desenvolvimentos experimentais neste âmbito.

No Capítulo 4 será descrito o procedimento experimental adotado no presente estudo. Neste capítulo serão apresentadas as propriedades dos diversos materiais envolvidos, será explicado o procedimento de cálculo das argamassas e respetivo procedimento de amassadura, assim como todos os ensaios que foram desenvolvidos para caracterizar a argamassas no seu estado fresco e endurecido.

No Capítulo 5 serão apresentados e discutidos os resultados obtidos em laboratório e que permitiram caracterizar cada uma das argamassas em estudo.

No Capítulo 6 apresentam-se as conclusões do estudo experimental, focando-as na viabilidade da aplicação deste tipo de argamassas em soluções construtivas de alvenaria. O capítulo termina com a apresentação de algumas propostas para trabalhos futuros.

No final do trabalho apresentam-se as referências bibliográficas e os anexos.

2. Argamassas de revestimento

2.1. Introdução

Os revestimentos constituem parte significativa da envolvente exterior de um edifício e desempenham um papel importantíssimo no seu comportamento. O cumprimento de exigências funcionais como estanquidade à água, permeabilidade ao vapor de água, isolamento térmico ou acústico são fundamentais para o seu correto desempenho. Um dos revestimentos tradicionais mais comuns é a argamassa. A argamassa é uma mistura de um ou mais aglomerantes orgânicos ou inorgânicos, agregados, cargas, aditivos e/ou adjuvantes [16].

Nos últimos anos têm-se assistido a uma crescente industrialização das argamassas de revestimento, devido às inúmeras vantagens resultantes do controlo eficaz da sua composição e respetiva produção. O estudo de argamassas de revestimento assume um papel de elevada importância, uma vez que estas compõem a área de maior exposição aos agentes atmosféricos, climáticos e mecânicos, nos edifícios correntes.

No sentido de melhorar as qualidades dos revestimentos, tem havido uma aposta crescente na introdução de novos constituintes capazes não só de melhorar o desempenho das argamassas a níveis físicos e mecânicos, mas também em termos energéticos. Importa salientar a relevância das questões energéticas, em especial daquelas relacionadas com o comportamento térmico dos edifícios, que cada vez mais possuem um papel importante, por via das exigências regulamentares que vão impondo sucessivamente métodos de produção e produtos de desempenho térmico melhorado [28]. A inclusão de materiais que possuam boas características térmicas na formulação de argamassas de revestimento poderá ser benéfico no comportamento térmico das alvenarias, no entanto é importante, antes mais, quantificar a implicação desta alteração nas mais diversas propriedades da argamassa [38].

Pretende-se com este capítulo fazer uma breve abordagem às características de maior relevância para a definição das argamassas que serão estudadas no desenvolvimento experimental deste trabalho. Será por isso explorado no presente capítulo a influência dos diversos materiais, em especial os agregados leves, no desempenho das argamassas, suas propriedades e principais características, assim como os requisitos funcionais e normativos subjacentes às argamassas de revestimento, ferramentas importantes para a obtenção de argamassas com qualidade e comportamento melhorado.

2.2. Constituintes das argamassas

As argamassas são designadas consoante o aglomerante ativo presente, que pode ser o cimento, a cal ou o gesso. Em casos em que intervenham dois aglomerantes, estas passam a designar-se de argamassas mistas ou “bastardas”. A argamassa hidráulica é uma argamassa que contém um

aglomerante mineral hidráulico e que possui a característica de endurecer na presença de água, podendo também ser constituída por um aglomerante aéreo, que reaja com uma pozolana [16,34].

A qualidade de uma argamassa depende em grande parte do traço, mas também das características dos constituintes que entram na sua composição. É necessária uma total compreensão acerca de todos estes fatores para que se possa prever de forma adequada as características específicas de cada uma das argamassas a produzir [34].

Os constituintes fundamentais para a formulação de uma argamassa são caracterizados em vários grupos, sendo eles, os aglomerantes, os agregados e a água. Outros constituintes, tais como adjuvantes e adições, poderão fazer parte das argamassas com o objetivo de alterar as suas propriedades.

2.2.1. Aglomerantes

A designação de aglomerante advém da capacidade que estes materiais possuem de aglomerar uma grande quantidade de materiais inertes, conferindo ao conjunto uma grande coesão e resistência mecânica. Os aglomerantes podem ser classificados como hidráulicos, aéreos, betuminosos ou poliméricos.

Os aglomerantes são corpos sólidos finamente moídos que quando misturados com água formam pastas mais ou menos plásticas que ganham presa e endurecem. A presa constitui o intervalo de tempo que decorre desde a amassadura até ao início do processo de endurecimento e que é consequente das reações químicas que ocorrem entre o aglomerante e a água [62]. O poder de incorporação de agregados numa argamassa é função da superfície específica das partículas dos aglomerantes, quanto maior a superfície por unidade de massa, maior o volume de agregados que poderá ser uniformemente envolvido [32].

O cimento constitui atualmente o aglomerante mais utilizado na produção de argamassa, pois apresenta melhores resistências mecânicas quando comparado com as cals e menor tempo de presa, o que permite otimizar o rendimento em obra [14]. No entanto, este aglomerante pode também dar às argamassas características menos adequadas aos suportes onde 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 de cal aérea. Estes problemas de compatibilidade são evidentemente mais graves quando o suporte é uma parede de construção antiga [1]. É por isso que muitas vezes se recorre à combinação de aglomerantes quando estes são compatíveis entre eles, de forma a otimizar as propriedades da mistura.

2.2.1.1. Cimento

O cimento é inequivocamente um dos aglomerantes mais utilizados na construção, em produção de argamassas, devido às suas propriedades e vantagens económicas. O cimento Portland artificial cinzento resulta da mistura proporcionada de calcário (carbonato de cálcio), argila (silicatos de alumínio e ferro) e eventualmente outros constituintes ricos em sílica (areia), alumina (bauxite) ou ferro (granalha).

Os cimentos correntes e os seus constituintes devem estar em conformidade com o documento normativo NP EN 197-1:2001 [44]. Neste documento são especificadas as percentagens em que os constituintes são combinados para produzir os diferentes produtos, assim como os requisitos a satisfazer para esse mesmo constituinte. Nesta norma são também estabelecidos os critérios de conformidade e os requisitos de durabilidade.

2.2.1.2. Cal aérea

A cal é um aglomerante constituído principalmente por óxido ou hidróxido de cálcio. Endurece lentamente ao ar por reação com o dióxido de carbono atmosférico sendo desse mecanismo de cristalização que advém o seu nome. Não tem propriedades hidráulicas, portanto não faz presa dentro de água [62]. As cals podem ser designadas de cals cálcicas (CL) ou cals dolomíticas (DL) dependendo do teor de óxido de cálcio (CaO) ou de óxido de magnésio (MgO) e ainda de cals vivas (Q) ou hidratadas (S), consoante o processo de fabricação.

As argamassas com introdução de cal possuem inúmeras vantagens. Uma argamassa com cal possui resistência aos deslocamentos da água pelos espaços intergranulares dos revestimentos e das juntas, uma maior trabalhabilidade e perfeição das ligações e uma melhor absorção dos acommodamentos estruturais iniciais. Têm também sido apontadas vantagens tais como a facilidade de aplicação, plasticidade durante o endurecimento e aderência ao substrato em argamassas com cal, no entanto, do ponto de vista estrutural, a trabalhabilidade, constitui a mais importante das qualidades resultantes deste aglomerante [32]. Poderão, contudo, ser apontados alguns inconvenientes tais como, redução dos valores de resistência mecânica, baixa coesão interna e elevada porosidade, vulnerabilidade à cristalização de sais e deterioração devida aos ciclos gelo-degelo.

2.2.2. Agregados de densidade normal

O agregado pode ser classificado segundo a origem (natural, artificial ou reciclado), a densidade (leve, normal ou pesado) e a dimensão das partículas (fino ou grosso).

Os agregados são quase sempre o constituinte presente em maior quantidade nas argamassas e, conseqüentemente são determinantes na maioria das suas propriedades finais. A baixa inércia química, baixo coeficiente de expansão térmica e durabilidade dos agregados são importantes, mas a forma e dimensão das partículas tem uma influência determinante [36].

Os agregados são assim introduzidos com o objetivo de diminuir a retração e a quantidade de aglomerante, aumentar a compacidade e a resistência à compressão, melhorando a permeabilidade ao vapor de água e a resistência a ciclos gelo-degelo [51].

2.2.2.1. Agregados naturais

Os agregados pétreos são materiais granulares, constituídos por misturas de partículas de diversos tamanhos, com uma participação química praticamente nula. Estes agregados constituem o esqueleto da argamassa e possuem um papel fundamental na compacidade e retração das argamassas [1].

No caso das argamassas, a areia por norma é o principal agregado, pelo que a sua qualidade é determinante na argamassa resultante. A escolha do tipo de areia e a sua composição tem uma grande importância no comportamento das argamassas. A adoção de uma determinada proporção de agregados pode levar a soluções economicamente mais vantajosas, devido à empregabilidade de menores quantidades de aglomerante. Nas argamassas correntes a máxima dimensão do agregado está restringido à dimensão de 4 mm.

Em termos de classificação granulométrica, o agregado é normalmente classificado em dois conjuntos distintos: o agregado é denominado de grosso se ficar retido no peneiro com malha superior a 4 mm, sendo godo se for de origem sedimentar, rolado (calhau ou seixo) ou brita se for partido artificialmente, ou por agregado fino se as suas dimensões forem inferiores a 4 mm como é o caso da areia rolada, de origem sedimentar ou da areia britada de origem artificial [50].

2.2.3. Agregados leves

A introdução de agregados leves em argamassas produz modificações em diversas propriedades. Os agregados leves têm sido apontados por diversos autores como responsáveis pelas melhorias térmicas e acústicas dos edifícios. No entanto, não basta que estas melhorias sejam verificadas, é importante antes de mais analisar de que forma a sua inclusão em argamassas influencia o desempenho dos revestimentos em termos de propriedades reológicas, físicas e mecânicas.

De modo a entender melhor todos os resultados obtidos na parte experimental deste estudo é importante antes de mais explorar as propriedades associadas a cada um dos agregados leves utilizados, pois só assim será possível antecipar os resultados que se venham a obter.

2.2.3.1. Argila expandida

A argila expandida tem sido aplicada na construção nos mais diversos tipos de elementos construtivos. Este agregado tem sido especialmente utilizado em camadas de regularização de pavimentos e tem sido amplamente explorada a sua aplicabilidade em betões de média/alta resistência.

A argila expandida é um produto obtido por aquecimento de alguns tipos de argila a temperaturas de aproximadamente 1200 °C. Próximo desta temperatura, uma parte dos constituintes são fundidos gerando uma massa viscosa, enquanto a outra se decompõe quimicamente libertando gases que são incorporados por esta massa sintetizada, expandindo-a até sete vezes o seu volume inicial [40]. Os teores de sílica, alumina e fundentes (cal, magnésia, óxido de ferro e álcalis) não devem ultrapassar determinados limites, sem os quais a argila não fundirá a uma temperatura suficientemente baixa, ou fundiria numa massa suficientemente viscosa. A composição química da argila influi notavelmente na expansão, é a ela que se deve a formação de gases dos quais os principais são: dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de enxofre, enxofre (em vapor), oxigénio, hidrogénio e vapor de água [13].

O agregado de argila expandida pode ser produzido pelo tratamento térmico da matéria-prima, triturada e classificada granulometricamente, ou moída e pelotizada, feito geralmente em fornos rotativos a gás ou a óleo “*diesel*”, similar aos usados na fabricação de cimento Portland. Pode também ser obtido por sintetização contínua e, nesse caso, o material bem humedecido é transportado em esteiras, sob queimadores, de modo a que o calor atinga gradualmente toda a espessura da camada. Os agregados de argila expandida, produzidos pelo processo de sintetização contínua possuem uma massa específica aparente entre 650 kg/m³ e 900 kg/m³, enquanto os produzidos em fornos rotativos possuem uma massa específica entre 300 kg/m³ e 650 kg/m³ [40].

Estrutura:

Para a fabricação de argamassas é importante compreender as reações físico-químicas que ocorrem na interface com a matriz de cimento, e que são de extrema importância para a caracterização da microestrutura da argila expandida. A argila expandida é um agregado composto quimicamente pelos elementos silício, alumínio e ferro e amplamente conhecido pela sua reduzida massa volúmica, constantemente atribuída à elevada porção de semi-poros que caracteriza este material e que chegam a atingir 90% do volume das partículas. Na Figura 2.1 encontra-se ilustrada a estrutura celular interna da argila expandida, onde é perceptível o volume de poros face ao volume da partícula [40].

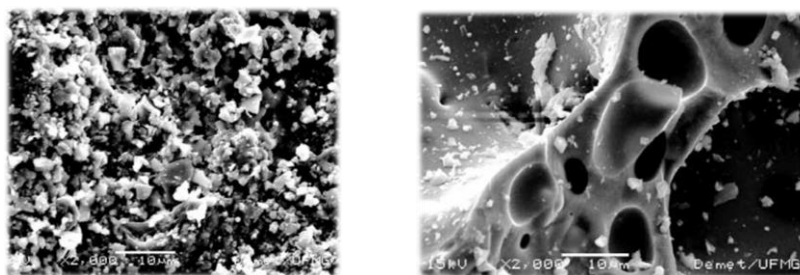


Figura 2.1. Estrutura celular externa e interna da argila expandida [40]

Propriedades do material:

Os agregados de argila expandida são utilizados nas mais diversas indústrias, devido às suas adequadas características físicas e mecânicas e às suas inúmeras vantagens comparativamente com as matérias-primas industriais existentes. Dentro dos agregados leves, este material destaca-se pela sua excecional resistência à compressão, colocando-o numa posição de destaque na indústria da construção [49].

A argila é um produto quimicamente neutro que não liberta gases, pois estes já foram libertados durante o seu fabrico, não é deteriorada por parasitas ou fungos e é altamente resistente às mudanças súbitas de temperatura.

Devido à sua elevada porosidade, uma das características deste material é originar betões com resistências mecânicas menos elevadas que as dos betões correntes, assim como uma elevada absorção de água, devido à estrutura porosa dos seus grãos. Esta elevada absorção de água, quando não prevista, pode ser bastante prejudicial reduzindo a trabalhabilidade das argamassas, salientando-se que além da água em excesso, também a água necessária à hidratação dos compostos poderá ser absorvida, reduzindo a resistência mecânica das argamassas. Apesar das características indicadas, destaca-se o facto deste material possuir uma boa aderência com a pasta de cimento hidratada que o envolve [40].

As principais características das unidades de alvenaria realizadas com este material são a sua baixa densidade, alta resistência aos ciclos gelo-degelo, elevada resistência ao fogo, bom isolamento térmico e acústico e uma boa resistência a ação de agentes químicos [49].

2.2.3.2. Cortiça natural e cortiça expandida

Em Portugal, o sobreiro ocupa mais de 720 mil hectares, Figura 2.2, o que corresponde a 22% da área florestal do país. O montado português é composto por uma estrutura relativamente jovem, dos quais 40% das árvores se encontram na fase “jovem” ou “jovem passando a adulto”[38]. Esta árvore caracterizada por uma grande longevidade possui uma enorme capacidade regenerativa permitindo realizar um elevado número de descortiçamentos. De uma forma genérica poderão ser realizados cerca de 16 descortiçamentos intercalados por períodos de nove anos, durante a vida útil de um sobreiro [61].

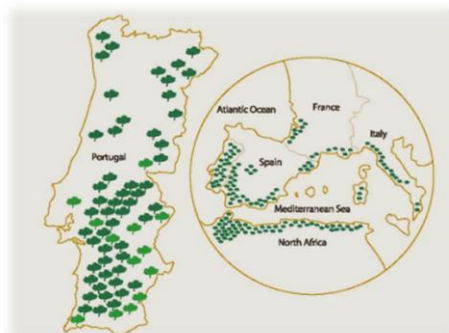


Figura 2.2. Montado de sobreiros no Mundo, APCOR [47]

A cortiça é a parte mais exterior da casca do sobreiro (*Quercus suber L.*), proveniente do revestimento do tronco e dos ramos do sobreiro. Este material, com aplicações conhecidas desde a antiguidade, teve uma grande expansão comercial a partir do início do século XX sendo cada vez mais conhecido e explorado nas mais diversas áreas, nomeadamente na construção civil [30].

A cortiça pode ser classificada consoante a geração em que é extraída, como: (i) cortiça virgem; (ii) cortiça secundeira ou (iii) cortiça amadia, Figura 2.3. A cortiça virgem é oriunda do primeiro descortiçamento (desbóia), realizado ao fim dos primeiros 20 a 30 anos de vida do sobreiro e cuja superfície exterior ainda se encontra muito irregular. A cortiça secundeira ou cortiça de segunda geração, ainda não possui a melhor qualidade, sendo ainda composta por algumas irregularidades. Por sua vez, a cortiça amadia é a cortiça de melhor qualidade e cuja superfície exterior é a mais uniforme, sendo extraída após 40 a 50 anos de idade do sobreiro e posteriormente periodicamente, de 9 em 9 anos, até à morte do sobreiro, que ocorre aproximadamente após cerca de 100 a 150 anos de vida [61,30].



Figura 2.3. Classificação da cortiça

Caso os materiais resultantes da cortiça sofram problemas estruturais (quebra de placas dos aglomerados ou contaminação com outros produtos) estes deixam de possuir grande utilidade. Neste tipo de casos é então promovida a sua trituração obtendo-se um regranulado, que tal como os regranulados limpos se destinam a novas aplicações em isolamento térmico ou a ser utilizado como agregado no fabrico de betões e argamassas [29, 30].

No trabalho experimental que se desenvolveu foram analisados estes dois tipos de cortiça, uma cortiça natural não expandida proveniente de resíduos urbanos e industriais e uma cortiça expandida resultante de cortes de aglomerados de cortiça negra e cuja estrutura já tinha sido alterada por processos de expansão.

Estrutura:

Relativamente à sua estrutura, a cortiça é um material com uma estrutura anisotrópica, cujas três direções principais são a radial (paralela ao raio da árvore), a axial (direção vertical da árvore) e tangencial (perpendicular às outras duas, tangente à circunferência da seção da árvore), sendo as suas propriedades semelhantes nas duas direções não-radiais [30].

A cortiça é constituída por materiais celulares, formados por células ocas, abertas ou fechadas, em que estas células são apresentadas em forma de prismas hexagonais, empilhados em colunas ou fiadas, segundo a direção radial [34]. Microscopicamente, a cortiça é um material com camadas de células justapostas, de aspeto alveolar, com membranas celulares praticamente impermeáveis. Quando este material é sujeito a compressões, as suas paredes encurvam e dobras, não existindo praticamente qualquer expansão lateral. Este fenómeno deve-se, em especial, às propriedades viscoelásticas do material e às suas células constituídas por um gás usualmente semelhante ao ar, que ocupa cerca de 90% do volume da cortiça e que confere ao material uma recuperação quase total, após deformação [30].

Na sua constituição química a cortiça engloba vários tipos de compostos, que tradicionalmente são divididos em 5 grupos [30, 29]:

- i. Suberina (45% - responsável pela sua compressibilidade e elasticidade)
- ii. Lenhina (27% - responsáveis pela estrutura das paredes celulares)
- iii. Polissacáridos (12% - também ligados à estrutura da cortiça)
- iv. Ceróides (6% - responsáveis por repelir água e pela impermeabilidade)
- v. Taninos (6% - responsáveis pela cor e proteção/conservação do material)
- vi. Cinzas (4%)

Numa escala macroscópica, existem aspetos exteriores que podem servir como indicadores da qualidade da cortiça. Uma cortiça de boa qualidade deve apresentar a cor clara da cortiça virgem, e a lisura, macieza e pequena espessura da crosta da cortiça amadia, sendo em última análise determinada a qualidade da cortiça através da homogeneidade da sua “massa”. O tipo de poros, a sua dimensão, qualidade e distribuição são também fatores, determinantes na qualidade da cortiça. Poderão ainda ser visíveis defeitos estruturais e outros, como é o caso das manchas amarelas, verdes, insetos, etc., aspetos de interesse quando nos referimos à indústria rolheira, mas não no contexto da construção civil [30,29].

Propriedades do material:

A cortiça surge na indústria como um material versátil capaz de se adaptar a diversos tipos de aplicações. Este é um material de baixa densidade, com elevada deformabilidade e de baixa resistência à deformação, grande capacidade de absorção de energia (impacto), grande

capacidade de dissipar energia (para solicitações cíclicas), elevado coeficiente de atrito, baixa condutibilidade térmica e boa resistência ao fogo [61].

Macroscopicamente este é considerado um material leve, elástico e praticamente impermeável a líquidos e gases, isolante térmico e elétrico e absorvedor acústico e vibratório, sendo também apresentado como um material inócuo e praticamente imputrescível, com reduzida expansão lateral, quando comprimido [30, 29].

As excepcionais características que determinam este material em termos de isolamento térmico estão diretamente interligadas com os seus minúsculos compartimentos (células) cheios de ar. Enquanto no caso da transferência de calor por condução, esta depende da quantidade de material sólido da estrutura das células, que é menor para a cortiça expandida termicamente, no caso da convecção depende do tamanho das células, o que no caso da cortiça não possui grande significado [30, 29].

2.2.3.3. Poliestireno expandido

As propriedades do poliestireno expandido (EPS) na construção civil são extraordinariamente variadas, sendo de salientar que para além de ser um excelente material de isolamento térmico pode também ser um sistema construtivo.

O EPS não é mais do que um material sintético, derivado da natureza, tal como o vidro, a cerâmica e os metais e cuja sua origem provém do petróleo. A matéria-prima que caracteriza este material é um polímero de estireno, o poliestireno (PS) expansível, que contém um agente expensor obtido por diversas transformações químicas, a partir do petróleo [55].

Durante o processo de fabrico a matéria-prima é sujeita a um processo de transformação física, sem qualquer implicação nas suas propriedades químicas. Este processo é realizado em três etapas distintas. Numa fase inicial o poliestireno é expandido por um pré-compressor através de aquecimento por contacto com o vapor de água, este agente expensor incha o PS, cerca de 50 vezes acima do seu volume inicial, originando um granulado de partículas de EPS constituídas por pequenas células fechadas, que são armazenadas para estabilização. Nesta fase de estabilização o granulado de EPS arrefece, criando depressões no seu interior. No decorrer deste processo o espaço dentro das células é preenchido pelo ar circundante. Finalizada esta etapa o granulado estabilizado é inserido em moldes, nos quais os grânulos são expostos novamente a vapor de água, provocando a soldadura dos mesmos. Deste modo obtém-se um material expandido que é rijo, contendo uma grande quantidade de ar. Após expandido o material pode apresentar em seu volume 98% de ar e apenas 2% de poliestireno [8].

Estrutura:

A estrutura celular do EPS é obtida por expansão do polímero de PS. A produção do EPS é assim realizada pela incorporação de um agente expensor de pentano ao polímero durante a fase de

polimerização ou impregnado após a polimerização. O produto final resultante consiste assim num material composto por esferas celulares com paredes com um elevado grau de finura. Na Figura 2.4, encontra-se representado o aspeto alveolar, bem como uma imagem representativa do grau de finura, das paredes obtidas [52].

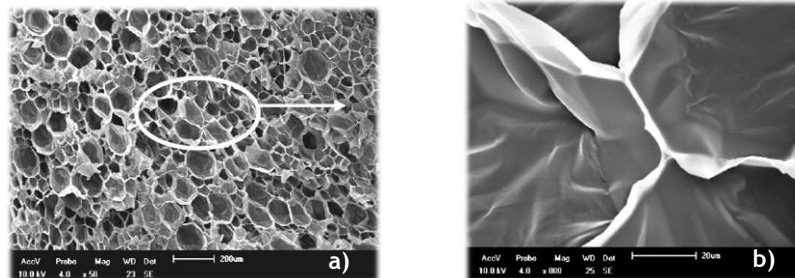


Figura 2.4. Estrutura celular a) aspeto alveolar e b) grau de finura das paredes, do EPS [52]

Propriedades do material:

O poliestireno expandido é um material celular e rígido, que se pode apresentar numa multiplicidade de formas e aplicações. A principal vantagem deste material é a baixa condutibilidade térmica que o caracteriza, correntemente associada às suas paredes de elevada finura, com um 1 mm de espessura e à sua estrutura celular composta por milhões de células fechadas, constituídas por 98% de ar e apenas 2% de espuma, mantendo o ar quase imóvel dentro das suas células [34]. Para além desta característica o EPS apresenta ainda uma baixa densidade que varia entre os 10-30 kg/m³, permitindo uma redução substancial do peso das construções, sendo que apesar de muito leve, o EPS tem uma resistência mecânica relativamente elevada [55].

O EPS é assim considerado detentor de inúmeras características vantajosas em termos construtivos, nomeadamente, a sua baixa absorção de água, insensibilidade à humidade, o facto de ser quimicamente compatível com a maioria dos materiais, ser imputrescível, inodoro, insolúvel em água e outras características como as já referidas [34]. É resistente ao envelhecimento, no entanto é preciso ter alguns cuidados com a radiação solar direta, bem como outros tipos de radiações ricas em energia, responsáveis por possíveis alterações na sua estrutura química. Não existem registos de deterioração deste material quanto à radiação solar difusa, no entanto salienta-se que a estrutura celular do EPS poderá ainda ser danificada por contacto com solventes ou vapores destes, sendo este processo acelerado para temperaturas elevadas [55].

Este material não constitui alimento para o desenvolvimento de animais ou microrganismos. Todas as propriedades deste material são mantidas inalteradas ao longo da sua vida útil, no entanto, caso se registre uma elevada acumulação de sujidade sobre uma placa, poderão surgir bolores, que apesar da sua presença não constituem qualquer risco para a deterioração química e física do material [55].

2.2.4. Adjuvantes

Adjuvante é a substância utilizada no fabrico de argamassas numa percentagem inferior a 5% da massa do aglomerante, adicionado durante a amassadura com o intuito de alterar propriedades no estado fresco, no estado endurecido ou na passagem de um estado para o outro [34].

A tendência evolutiva no mercado da construção e os desenvolvimentos tecnológicos na formulação de argamassas estão atualmente interligados com a utilização de adjuvantes e aditivos, a fim de alterar determinadas propriedades das argamassas de forma a obter uma prestação específica. Tendo como referência a variedade de adjuvantes existentes no mercado, é possível atualmente obter um adjuvante para cada um dos fins pretendidos, permitindo melhorar a trabalhabilidade, acelerar ou retardar a presa, acelerar o endurecimento nas primeiras idades, aumentar resistência aos ciclos gelo-degelo, diminuir a permeabilidade aos líquidos, impedir segregação e sedimentação dos seus constituintes, criar uma ligeira expansão nas argamassas, produzir argamassas coloridas, entre outro grande número de efeitos de menor relevância, salientando-se ainda a capacidade de produzir argamassas leves [62].

A trabalhabilidade é um elemento chave na caracterização de qualquer argamassa, sendo especialmente relevante em argamassa de revestimento devido ao rigor associado a cada aplicação. Este rigor tem sido cada vez mais exigido pelo mercado de trabalho na produtividade e qualidade dos acabamentos em revestimentos de paredes, o que torna o estudo da reologia cada vez mais um parâmetro importante a caracterizar.

Dos adjuvantes existentes, aqueles que possuem maior impacto em termos reológicos e que têm sido aplicados mais frequentemente em argamassas são os agentes redutores de água, os agentes introdutores de ar e os agentes retentores de água. Estes adjuvantes exercem sempre um elevado impacto sobre a trabalhabilidade dos materiais de origem cimentícia no estado fresco, devido à sua ação sobre a velocidade de hidratação inicial e à sua regulação das propriedades reológicas dos materiais [50].

2.2.4.1. *Agente redutor de água*

O superplastificante possui uma ação dispersiva das partículas do aglomerante facilitando a sua hidratação. Este efeito envolve a diminuição da razão W/C, garantindo a mesma trabalhabilidade e a diminuição da permeabilidade. Em dosagens elevadas surgem no entanto efeitos secundários como o retardamento da presa e uma redução das resistências iniciais, apesar dessas resistências poderem aumentar consideravelmente a longo prazo.

O adjuvante escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi um superplastificante à base de policarboxilatos modificados, também denominado de superplastificante de terceira geração.

A principal característica dos superplastificantes à base éteres policarboxilatos é a forma como o seu polímero foi desenhado para a obtenção de determinadas propriedades. Com a utilização da tecnologia dos éteres policarboxilatos (PCE) várias propriedades podem ser otimizadas, nomeadamente, a sua velocidade de adsorção, a redução da quantidade de água mantendo a plasticidade/trabalhabilidade inicial elevada, a manutenção da consistência sem retardamento e subsequente desenvolvimento rápido da resistência, o desenvolvimento de resistências iniciais com a obtenção da trabalhabilidade ideal, o aspeto e uma melhor estabilidade/viscosidade [59].

Este polímero é assim constituído por uma cadeia principal com grupos carboxilatos e cadeias laterais, como se pode ver na Figura 2.5. Enquanto o primeiro componente (cadeia principal com grupo carboxilatos) é responsável pela redução de água inicial e tempo de mistura alcançável, o segundo componente (cadeias laterais) determina a capacidade de manutenção da consistência do superplastificante, através do aumento do número de cadeias laterais. O fator crucial é o espaço limitado para os grupos carboxilatos e cadeias laterais ao longo da estrutura. Numa determinada posição apenas se pode fixar um grupo de carboxilatos ou uma cadeia lateral. Esta limitação tecnológica conduz a três tipos diferentes de polímeros, os polímeros para conseguir reduzir água, para controlar e para manter a consistência. Com esta tecnologia é possível combinar os diversos polímeros e explorar o potencial de cada um, de forma a desenvolver e adaptar soluções personalizadas ao desempenho de cada mistura [59].



Figura 2.5. Estrutura do polímero PCE [59]

Em consequência deste mecanismo, a água que separa os grãos de cimento, quando não havia dispersante, fica agora livre entre as partículas dispersas. O nome de agente redutor de água advém deste fenómeno de diminuição do atrito, devido à camada de moléculas de água orientadas à roda das partículas, sem que para isso seja necessária a existência de camadas muito espessas de água [13].

A empregabilidade deste adjuvante em argamassas tem sido alvo de vários estudos, nomeadamente na avaliação da influência do superplastificante, correntemente aplicado em betões, no comportamento reológico das argamassas. Estes estudos pretendem estabelecer as dosagens viáveis à sua aplicação em argamassas, assim como analisar os fatores que influenciam a empregabilidade do superplastificante, designadamente a razão W/C, o tipo de cimento, as propriedades físicas e químicas do cimento e a temperatura.

Mattana [39] constatou, ao estudar a influência de um superplastificante à base de policarboxilatos no comportamento reológico de argamassas de cimento, que a sua empregabilidade auxilia o comportamento reológico destas, sendo a sua aplicação mais ou menos benéfica consoante a percentagem de aplicação. Neste estudo foi concluído que para teores de superplastificante superiores a 0,8% do peso do cimento ocorriam problemas em termos de aplicação, nomeadamente devido à excessiva fluidez e influência na durabilidade e resistência das argamassas devido ao excesso de incorporação de ar. No entanto, a sua aplicabilidade era válida em argamassas de revestimento de paredes para um valor de superplastificante em torno de 0,4% do peso de cimento.

2.2.5. Água de amassadura

A água de amassadura é indispensável para que as reações de hidratação ocorram e para promover a ligação entre as partículas de cimento e os agregados, tendo uma elevada importância no desempenho das argamassas de revestimento.

A quantidade de água empregue deve ser cuidadosamente definida consoante a composição das argamassas em questão. A trabalhabilidade de uma argamassa está fortemente associada à quantidade de água, mas esta também influencia fortemente o rendimento da mão-de-obra, assim como o seu comportamento no estado endurecido. Um excesso de água na argamassa será responsável por fenómenos de retração associados à fase de secagem, assim como a uma porosidade final mais elevada. Por sua vez o uso de razões W/C menores, dentro de limites razoáveis, resulta numa maior resistência mecânica das argamassas, obtendo-se uma argamassa mais compacta e menos suscetível à fissuração.

A água a utilizar deve ser por isso criteriosamente calculada, tendo-se sempre o cuidado de utilizar água limpa e isenta de impurezas, especialmente sais, para não comprometer as argamassas a uma degradação acelerada.

2.3. Influência dos agregados na microestrutura das argamassas

Os materiais aligeirados são aqueles que têm origem em densidades normais e mediante algum procedimento faz-se diminuir a sua densidade. No caso das argamassas leves, este procedimento consiste em ocupar parte do seu volume com algum material de menor densidade, os agregados leves [62].

A granulometria e o volume de vazios dos agregados desempenham um papel preponderante nas propriedades da microestrutura morfológica das argamassas, nomeadamente na dimensão, quantidades e forma dos seus poros, fazendo com que em argamassas leves o papel da estrutura porosa seja bem mais fundamental que em argamassas normais. No entanto, também o aglomerante e o tempo de cura possuem uma elevada influência nesta estrutura. Destacam-se

entre as características influenciadas pela porosidade o comportamento mecânico, a absorção de água por capilaridade, a difusão do vapor de água e a ação dos sais solúveis [62].

A formação de poros é especialmente influenciada pelo excesso de água em relação ao necessário para o processo de endurecimento. Esta quantidade de água ao evaporar-se faz surgir os espaços por ela ocupada. Se estes poros se formarem na zona de ligação entre a pasta do aglomerante e as partículas de agregado denomina-se de porosidade de interface. Por outro lado, se estes poros forem de menores dimensões e resultantes do endurecimento do aglomerante, esta é denominada de porosidade da matriz [62].

Várias investigações sobre o assunto sugerem que o agregado leve, dada a sua porosidade, absorve água da matriz do aglomerante circundante, levando a uma redução da porosidade na zona de transição de interface (ITZ) [15].

Zhang and Giorv [72] examinaram a microestrutura da ITZ em volta das partículas leves de argila expandida. Através da utilização de agregados leves com e sem camada exterior densa, verificou-se que os agregados com uma camada exterior densa apresentavam uma microestrutura porosa da ITZ semelhante à observada em agregados de densidade corrente, no entanto os agregados leves com camada exterior porosa apresentavam uma zona de ITZ mais densa e homogénea.

Lo *et al.* [35] também estudaram a microestrutura da ITZ entre agregados leves e a pasta de cimento. Os resultados deste estudo confirmaram a presença de uma microestrutura densa na ITZ, o que sugere que a melhoria desta zona foi provavelmente devido a absorção de água da pasta pelos agregados leves.

Parece assim que o agregado leve possui um impacto positivo na microestrutura da ITZ, melhorando as propriedades de transporte e durabilidade de argamassas e betões [15].

Punkki e Gjorv [53] e Punkki *et al.* [54] realizaram também um estudo com base neste tema sobre o efeito da humidade e da absorção de água de agregados leves na microestrutura da ITZ em betões. Estes betões foram fabricados com uma razão W/C de 0,35 e 7% de sílica de fumo e com uma razão W/C de 0,42, sem sílica de fumo e com agregados secos ou saturados em água durante 24h. Os resultados dos testes de absorção indicaram que os agregados leves saturados, em betão, possuíam um ligeiro aumento da sucção por capilaridade ou absorção. Este aumento de absorção foi atribuído à microestrutura porosa da ITZ que envolve os agregados leves saturados, quando comparada com a zona de transição dos agregados leves secos.

Mais recentemente, Elsharief *et al.* [15], estudaram esta influência dos agregados leves na microestrutura e durabilidade de argamassas. Neste estudo foi avaliado o efeito da introdução de agregados leves secos e saturados (24h) na microestrutura da ITZ, com recurso a um microscópio eletrónico de varrimento (SEM). Neste estudo foi avaliada a porosidade, comparando as ITZ entre

agregados leves e normais, a ascensão capilar, a condutibilidade elétrica das argamassas, assim como a sua resistência aos sulfatos. Para o estudo foram preparadas argamassas leves com argila expandida e cimento Portland e argamassas normais com agregado silicioso.

Numa análise visual, Figura 2.6, a espessura da ITZ aparenta ser cerca de 10 a 15 μm para agregados leves secos ou saturados, respetivamente, enquanto em agregados normais esta zona ultrapassa ligeiramente os 35 μm . Também é perceptível que a pasta que envolve os agregados leves se apresenta mais espessa entre 10 e 50 μm do que a se encontra a mais de 50 μm [15].

O processo de absorção de água de amassadura faz-se ao nível da superfície do agregado. No caso dos agregados leves, como estes são mais porosos conseguem reter mais água nos seus poros. Quando a película de água à volta do agregado é reduzida, a água proveniente do cimento é atraída para os poros dos agregados leves, até que este fique saturado, aparentemente este fenómeno não ocorre em zonas mais distantes (a partir de 50 μm) [15].

Os resultados também demonstram que parece não haver variações significativas na ITZ em argamassas com agregado leves saturados, comparativamente com agregados leves secos e agregados normais, esta observação pode ser resultado da remoção de água dos poros pelas forças exercidas durante o processo de mistura da argamassa. Os agregados saturados aparentam assim absorver água e modificar as propriedades da microestrutura da pasta que os envolve de um modo semelhante ao que ocorre em argamassa com agregados secos [15].

A porosidade, por sua vez, foi verificada mais elevada em argamassas com agregados leves do que em argamassas com agregados normais, eventualmente devido à presença de grandes poros nos agregados leves. Contrariamente, a absorção por capilaridade verificou-se mais elevada em argamassas com agregados normais do que com agregados leves. Os valores reduzidos de transporte podem ser atribuídos à densidade da pasta existente na superfície dos agregados leves entre 10 a 50 μm , fazendo com que a elevada porosidade do agregado leve não possua influência nesta questão uma vez que este se encontra selado por uma zona de transição bastante densa. Relativamente aos ataques por sulfatos, foi verificado que o agregado normal desenvolve expansão aos 140 dias, enquanto o agregado leve só desenvolve expansão aos 300 dias. A difusão de iões é acelerada em argamassas normais devido à estrutura porosa na ITZ o que não se verifica em argamassas com agregados leves [15].

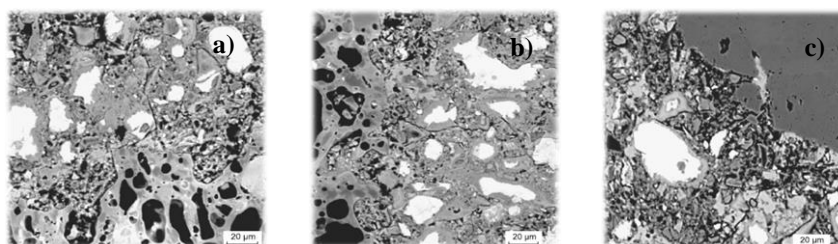


Figura 2.6. Pasta envolvente em a) agregados leves secos b) agregados leves saturados (24h) c) agregados normais, (após 7 dias de idade) [15]

2.4. Exigências funcionais das argamassas de revestimento

Os revestimentos exteriores de paredes obtidos a partir de argamassas, para desempenharem adequadamente as funções que lhe são exigidas, devem satisfazer determinadas regras de qualidade, de que se destacam as relacionadas com os seguintes aspetos: trabalhabilidade, resistência à fissuração, capacidade de impermeabilização em zona não-fissurada, permeabilidade ao vapor de água, aderência ao suporte, resistência aos choques, aspeto estético e durabilidade.

2.4.1. Trabalhabilidade

O comportamento do reboco passa em grande parte por uma boa trabalhabilidade das argamassas. Uma argamassa com boa trabalhabilidade possibilita uma fácil aplicação em alvenarias, proporcionando boa aderência ao suporte, compacidade e um elevado rendimento. Se por um lado esta característica auxilia fortemente a sua aplicação e aspeto estético, por outro, condiciona fortemente o desempenho da argamassa no estado endurecido [37].

A trabalhabilidade pode ser então traduzida pela combinação das características das argamassas relacionadas com a coesão, consistência, plasticidade, viscosidade, adesividade e massa específica [57]. A plasticidade e trabalhabilidade são duas propriedades conjugadas e concordantes. Em argamassas, a plasticidade é definida como a característica que as torna deslizantes e de fácil espalhamento, sem separação da água ou segregação do material sólido da mistura, permitindo assim obter uma argamassa com adequados desempenhos [32].

O aumento do teor de finos, do aglomerante ou da quantidade de água de amassadura são fatores cruciais para melhorar a trabalhabilidade, mas o seu efeito poderá ser extremamente gravoso nas propriedades da argamassa no estado endurecido, nomeadamente nos fenómenos de retração. A obtenção desta propriedade poderá no entanto ser conseguida através da mistura de cal ou da incorporação de adjuvantes adequados [66, 37].

2.4.2. Resistência à fissuração

Segundo Veiga [66], a resistência de um reboco à fissuração é função da capacidade da argamassa para resistir às tensões de tração nela induzidas pelo efeito de restrição da retração, conferida principalmente, pela aderência a um suporte relativamente rígido, e pela intensidade dessas tensões.

Os revestimentos de argamassas devem ser capazes de absorver as deformações intrínsecas (retrações e expansões térmicas higroscópicas) e as deformações da base de pequena amplitude, sem apresentar fissuração visível e sem desagregar [57]. Os principais fatores que influenciam a resistência à fissuração são: a retração, o módulo de elasticidade, a aderência e a retenção de água.

A fissuração afeta de forma clara a capacidade de impermeabilização e a aparência de um edifício. Ao facilitar a infiltração de água e a fixação de micro-organismos, compromete gravemente a durabilidade do revestimento e da própria parede, assim como o comportamento das argamassas [67]. Outros fatores para além daqueles estritamente ligados às argamassas, tais como o modo e as condições de aplicação, as características do suporte, a cor e o grau de exposição aos agentes atmosféricos, poderão também ser responsáveis pela ocorrência ou não de fissuração em rebocos [66].

O comportamento do reboco é assim função das tensões induzidas pela retração e da capacidade de deformação do material para dissipar as forças de tração geradas. A situação ideal para o controlo da fissuração em rebocos tradicionais seria assim composta por uma retração reduzida, baixo módulo de elasticidade e uma boa aderência, para além de um elevado poder de retenção de água [66].

2.4.3. Capacidade de impermeabilização em zona não-fissurada

As argamassas são de um modo geral, materiais com porosidade aberta, onde a água pode entrar por permeabilidade ou capilaridade, dependendo da pressão da água e da dimensão dos poros e capilares. A capacidade de impermeabilização de uma argamassa encontra-se assim associada à capacidade de resistir à penetração até ao suporte de água proveniente do exterior e à capacidade de eliminar de forma rápida a água em excesso por secagem. Aparentemente, uma boa permeabilidade à água, um baixo coeficiente de capilaridade e uma elevada permeabilidade ao vapor de água, seriam à partida condições favoráveis para que existisse uma eficaz capacidade de impermeabilização em zona não-fissurada [66].

2.4.4. Permeabilidade ao vapor de água

A água infiltrada através das mais diversas saliências e fissuras das argamassas ou dos mais diversos pormenores construtivos, assim como a água em excesso que não é necessária ao processo de hidratação, logo que possível, deve ser capaz de se evaporar de forma a não prejudicar o desempenho da argamassa [66]. Uma elevada permeabilidade ao vapor de água é assim de elevada importância para que não haja condensações no interior das alvenarias, sendo tanto mais importante quanto mais permeável à água for o revestimento [37].

Uma boa permeabilidade ao vapor de água pode ser conseguida através do isolamento térmico dos edifícios, da correção das pontes térmicas, do aquecimento interior nos meses frios e de uma adequada ventilação, dos locais mais propícios a humidades e condensações. Uma habitação, com uma envolvente exterior permeável ao vapor de água, constitui inequivocamente um fator significativo para o conforto higrométrico [66].

2.4.5. Aderência ao suporte

Para um adequado desempenho dos revestimentos de argamassas é também fundamental uma boa aderência ao suporte. Define-se aderência como a propriedade que possibilita à camada de revestimento resistir às tensões normais e tangenciais atuantes na interface base-revestimento [57]. Uma boa aderência, para além de influenciar de forma significativa a resistência à fissuração, na medida em condiciona fortemente a distribuição de tensões geradas, é ainda fundamental para o cumprimento das funções de impermeabilização e durabilidade do revestimento [66].

Segundo Martins [37], para se obter uma boa aderência dos revestimentos é necessário que a superfície do suporte apresente rugosidade (textura) e uma absorção adequada. Os suportes com coeficiente de absorção baixos ou muito elevados são indesejáveis sob o ponto de vista da aderência dos revestimentos. Segundo este autor, no primeiro caso, a aderência do revestimento é prejudicada pelo facto do suporte não ter capacidade de absorver a água e os finos que esta arrasta consigo, originando uma estrutura porosa na interface. Relativamente aos suportes que absorvem demais, estes prejudicam a aderência dos revestimentos pelo facto de originarem uma zona de reboco adjacente ao suporte, friável e sem coesão, resultante da dessecação da película da argamassa de revestimento.

No caso dos revestimentos não tradicionais é ainda possível agir sobre a aderência sem prejudicar as restantes características, através da introdução de adjuvantes capazes de melhorar as condições de retenção de água, plasticidade e adesividade das argamassas [66].

O ensaio de aderência é realizado através do ensaio de arrancamento, “*pull-off*”, Figura 2.7, em argamassas. Neste ensaio podem ocorrer diferentes tipos de rotura, pelo que se enumera em seguida os tipos de rotura passíveis de serem obtidos, Figuras 2.8, 2.9, 2.10 e 2.11:

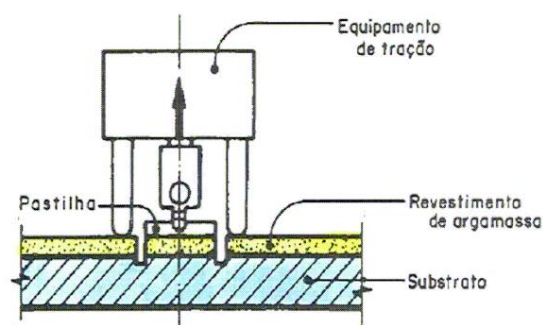


Figura 2.7. Esquema do ensaio de resistência de aderência por tração [58]

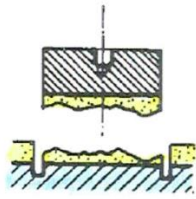


Figura 2.8. Ruptura pela argamassa de revestimento [58]

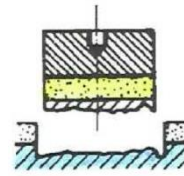


Figura 2.9. Ruptura pelo substrato [58]

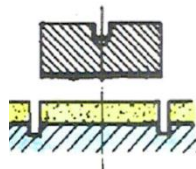


Figura 2.10. Ruptura na interface do revestimento com a cola [58]

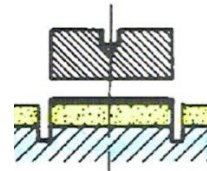


Figura 2.11. Ruptura na interface da cola com o disco [58]

2.4.6. Resistência aos choques

Espera-se que os revestimentos à base de aglomerantes minerais assegurem as resistências necessárias, especialmente se forem aplicadas em suportes tradicionais. No entanto, caso se pretenda conferir aos revestimentos resistências ao choque superiores às comuns, poder-se-á recorrer a técnicas alternativas, como é o caso de reforços com redes metálicas, fibras de vidro, materiais sintéticos, entre outros [66].

2.4.7. Durabilidade

A durabilidade é uma condição que se refere à manutenção de uma estrutura com a sua aparência original, resistência e solidez [32]. Esta propriedade reflete-se com base no período de uso do revestimento no estado endurecido e no desempenho face aos agentes externos a que está sujeito, assim como a sua capacidade para manter inalteradas as suas propriedades físicas e mecânicas com o passar do tempo.

A conjugação dos vários efeitos patológicos a que os rebocos estão sujeitos determina, por vezes, uma resposta deficiente dos revestimentos em termos de durabilidade. Assim como a fissuração, outras anomalias como o ataque de sais ou o desenvolvimento de micro-organismos ou manchas, constituem fatores prejudiciais para as argamassas em termos de durabilidade [37].

A manutenção das estruturas deve ser por isso tida em conta. Muitas vezes estas anomalias poderão ser corrigidas facilmente, sem grandes encargos e possibilitando uma durabilidade e um aspeto estético mais sóbrio e isento de imperfeições para os edifícios.

A aplicabilidade de argamassas com cal, na fase de construção, poderá ser uma solução a ter em conta para que exista uma menor penetração de água e conseqüente melhoria da durabilidade, nas estruturas de alvenaria [32].

2.4.8. Aspeto estético

A aparência global de um edifício está fortemente interligada com o seu aspeto estético. Cada vez mais é aceite o papel da estética na qualidade de vida das populações, além de construções eficientes e com bons desempenhos, deseja-se que estas possuam um aspeto agradável, limpo e isento de imperfeições. Aliás, segundo alguns autores, a degradação do património construído faz hoje parte do conceito de poluição urbana, devido ao seu profundo impacto no ambiente urbano [66].

A argamassa de revestimento deverá assim conferir um aspeto estético, com uma adequada textura, cor, regularidade, tipo de acabamento e desempenho, sem o qual a envolvente e o próprio edifício poderão entrar em desvalorização. O aspeto estético constitui uma propriedade que apesar de não ser objetivamente quantificável, transparece a qualidade de um reboco e reflete de forma global a aparência de um edifício. Deseja-se que a aparência visual seja considerada um fenómeno de “saúde” e bem-estar para os edifícios, valorizando-os no mercado construtivo [37]. No entanto, como já é sabido, todos os fatores que afetam a durabilidade do revestimento vão refletir-se no seu aspeto estético a curto/médio prazo, contribuindo para a degradação progressiva do reboco, pelo que uma estrutura com uma elevada durabilidade será à partida uma solução vantajosa nas mais diversas propriedades da argamassa [66].

2.5. Acervo normativo para argamassas de revestimento

As referências normativas existentes para o controlo e produção de argamassas serão divididas em dois tipos de documentos normativos distintos. Inicialmente será abordada a classificação de MERUC, documento normativo Francês e em seguida as especificações da norma europeia, fazendo-se antes disso uma pequena abordagem aos materiais constituintes das argamassas.

2.5.1. Materiais constituintes

Relativamente aos agregados a utilizar em argamassas, sabe-se que a máxima dimensão do agregado não deve exceder os 4 mm. Segundo a norma EN 998-1:2003 [18] a empresa fornecedora do material deverá manter sempre o registo da adequação dos materiais a utilizar.

As matérias-primas a utilizar devem possuir assim características capazes de dotar o produto final (argamassa) da conformidade com os requisitos da referida norma. Caso não se disponha das informações do produtor, estas características deverão ser averiguadas em laboratório, segundo as normas vigentes.

2.5.2. Classificação de MERUC

A escolha pelas recomendações do “*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*” (CSTB) [10] deveu-se ao amplo conhecimento que os franceses possuem sobre o estudo de argamassas industrializadas, do qual resultou a classificação de MERUC, cujo nome é composto pelas iniciais das propriedades que descreve:

M - Densidade da massa no estado endurecido [kg/m^3]

E - Módulo de elasticidade dinâmico [MPa]

R - Resistência à flexão por tração [MPa]

U - Retenção de água, no estado fresco [%]

C - Coeficiente de Capilaridade [$\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$]

O intervalo de valores a respeitar pelas argamassas, consoante as várias classes, encontra-se indicado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Classificação de MERUC [10]

Classe	M [kg/m^3]	E [MPa]	R [MPa]	U [%]	C [$\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$]
1	< 1200	< 5000	< 1,5	< 78	< 1,5
2	1000 a 1400	3500 a 7000	1,0 a 2,0	72 a 85	1,0 a 2,5
3	1200 a 1600	5000 a 10000	1,5 a 2,7	80 a 90	2 a 4
4	1400 a 1800	7500 a 14000	2,0 a 3,5	86 a 94	3 a 7
5	1600 a 2000	12000 a 20000	2,7 a 4,5	91 a 97	5 a 12
6	> 1800	> 16000	> 3,5	95 a 100	> 10

2.5.3. Requisitos da norma EN 998-1

Mais recentemente, em 2003 foi editada a Norma EN 998-1:2003 [18] a nível europeu, onde são abordadas as especificações para argamassas de revestimento.

Na referida norma, é indicado o intervalo de valores, que as suas características devem respeitar, nomeadamente no que concerne às suas propriedades no estado endurecido, como indicado na Tabela 2.2.

Neste documento são ainda indicadas as categorias que caracterizam cada um dos diferentes tipos de argamassa de revestimento existentes, nomeadamente, se estas são argamassas de uso geral, leves, coloridas, monomassas, de renovação ou de isolamento térmico.

Tabela 2.2. Requisitos para argamassas no estado endurecido [18]

	Categorias	Valores
Intervalo de resistência à compressão a 28 dias	CS I	0,4 a 2,5 N/mm ²
	CS II	1,5 a 5 N/mm ²
	CS III	3,5 a 7,5 N/mm ²
	CS IV	≥ 6 N/mm ²
Absorção de água por capilaridade	W 0	Não especificado
	W 1	$c \leq 0,4 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
	W 2	$c \leq 0,2 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
Condutibilidade Térmica	T 1	≤ 0,1 W/m ² K
	T 2	≤ 0,2 W/m ² K

Apresenta-se em seguida, uma tabela síntese, Tabela 2.3, com os requisitos normativos que devem ser cumpridos. Nesta tabela apenas estão expressos os parâmetros avaliados ao longo do desenvolvimento deste trabalho, no entanto muitos outros parâmetros poderão ser quantificados recorrendo aos devidos ensaios.

Tabela 2.3. Síntese de alguns requisitos normativos para argamassas de revestimento [18]

Parâmetros	Norma	Uso Geral	Leves	Coloridas	Monomassa	Renovação	I. Térmico
Massa Volúmica [kg/m ³]	EN 1015-10	Intervalo de valores declarado	Intervalo de valores declarado < 1300	Intervalo de valores declarado	Intervalo de valores declarado	Intervalo de valores declarado	Intervalo de valores declarado
Resistência compressão	EN 1015-11	CS I a CS IV	Cs I a CS III	CS I a CS IV	CS I a CS IV	CS II	CS I a CS II
Aderência (N/mm ²) e tipo de fratura (A, B ou C)	EN 1015-12	≥ Valor declarado e tipo de rotura	≥ Valor declarado e tipo de rotura	≥ Valor declarado e tipo de rotura	-----	≥ Valor declarado e tipo de rotura	≥ Valor declarado e tipo de rotura
Absorção de água por Capilaridade	EN 1015-18	W 0 a W 2	W 0 a W 2	W0 a W2	W1 a W2	≥ 0,3 kg/m ² após 24 h.	w 1

3. Reologia das argamassas

3.1. Introdução

Em argamassas de revestimento é fundamental o seu estado fresco. As argamassas são manuseadas e aplicadas neste estado, pelo que é importante compreender todos os fatores inerentes à sua aplicabilidade. Como se sabe as argamassas são materiais formados na sua composição por proporções adequadas de agregados, cimento e água. Pode-se assumir assim que estes agregados são suspensões concentradas de partículas sólidas em um líquido viscoso (pasta de cimento) [63]. Em suspensões concentradas de partículas em um líquido, como no caso dos sistemas cimentícios, a proximidade entre as partículas dá origem a fortes interações, que dependem fortemente da forma e concentração das partículas, distribuição granulométrica, propriedades da superfície do agregado e composição do líquido, fatores de elevada importância na reologia [4].

No caso específico das argamassas de revestimento, a reologia possui uma elevada importância. Esta propriedade possui um elevado contributo na relação entre a morfologia dos sistemas multifásicos e o potencial desempenho dos produtos. Para que uma argamassa de revestimento possua um comportamento adequado no estado endurecido, vários fatores têm de ser analisados e formulados corretamente no estado fresco [60].

Os fatores reológicos associados a cada argamassa variam consoante a técnica de mistura utilizada (manual ou mecânica), devido à diferença de magnitude da taxa de corte entre as partículas internas e o tempo despendido por cada uma das técnicas utilizadas. Também as características de aplicação da argamassa sobre uma superfície constituem um fator dependente da reologia. Para satisfazer este requisito, a argamassa aplicada deverá favorecer uma área de contacto elevada e contínua, sem defeitos entre a interface da camada de argamassa e o substrato, deverá resistir à gravidade, evitar o escorregamento e possuir uma coesão suficiente. No momento do espalhamento, associado ao aperto da argamassa contra o substrato, a argamassa deve permitir que esta seja submetida a forças de corte, para que o espalhamento e contacto com o substrato onde é aplicada sejam facilitados. Para finalizar a aplicação da argamassa, deverá ser realizado um adequado sarrafeamento, em que o comportamento reológico deve permitir o corte da argamassa, sem movimentações da camada, de forma a não prejudicar a adesão já estabelecida [60].

Como o presente trabalho pretende constituir um contributo para o estudo da influência dos agregados leves na trabalhabilidade de argamassas de revestimento, através da análise do seu comportamento reológico no estado fresco, pretende-se, então, com este capítulo fazer uma introdução aos vários fatores e aos métodos existentes para a avaliação do comportamento reológico, para uma melhor compreensão dos resultados obtidos no Capítulo 5.

3.2. Propriedades das argamassas no estado fresco

Segundo Cincotto, Silva e Carasek [11], a trabalhabilidade é uma propriedade que depende e resulta de várias outras, tais como: consistência, plasticidade, coesão, tixotropia e retenção de água, além de exsudação, tempo de presa e adesão inicial, e é diretamente relacionada com o julgamento subjetivo por parte do operador.

Bauer [7] define trabalhabilidade como a habilidade de fluir ou espalhar-se sob a superfície do substrato, por suas saliências, protuberâncias e fissuras, definindo o contato entre a argamassa e o substrato, relacionando-se assim com a aderência e sua extensão.

Por último a RILEM [56] define trabalhabilidade como a facilidade do operador trabalhar com a argamassa, que pode ser entendida como um conjunto de fatores interrelacionados que conferem uma boa qualidade e produtividade durante a sua aplicação. Considera ainda que a consistência e a plasticidade são as propriedades reológicas básicas, que caracterizam a trabalhabilidade. Sendo a consistência a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações impostas (o inverso de fluidez) e a plasticidade a propriedade que permite à argamassa deformar sem rotura, mantendo a forma adquirida após a redução do esforço de deformação.

Ainda sobre este assunto, Bauer [7] salienta que a avaliação desta propriedade é muito vaga, fazendo uso de procedimentos empíricos que permitem uma avaliação baseada em aspetos de natureza tátil-visual, que dependem do conhecimento e experiência dos profissionais envolvidos.

Aspira-se, no entanto, que uma argamassa dita, trabalhável, apresente uma viscosidade suficiente que permita o seu manuseio e aplicação pelo operador e que ao mesmo tempo, apresente uma tensão limite de escoamento tal, que permita que após a aplicação esta permaneça em contato com o substrato sem deslocamentos ou escorregamentos [63].

3.3. Reologia

O termo reologia surgiu em 1929 através de Eugene Bingham, sendo a etimologia da palavra “reologia” origem no vocábulo grego “*rheos*” (fluir) e “*logos*” (ciência ou estudo). Portanto reologia pode ser definida como a ciência do fluxo e da deformação dos materiais, estudando as relações entre a tensão, deformação, taxa de deformação e tempo [6].

No caso de materiais à base de cimento o comportamento no estado fresco é extremamente importante, podendo ser medido com recurso a uma variedade de reómetros rotacionais e tubulares [4].

No entanto, é evidente que o comportamento sólido também possui uma larga importância. Materiais à base de cimento poderão não fluir sob a sua própria gravidade e desenvolverem resistências e rigidez. Uma das análises simples que contempla o comportamento sólido é o modelo de Bingham, dado pela Equação 3.1:

$$\tau = \tau_0 + \mu\dot{\gamma} \quad (3.1)$$

Neste modelo, o material é um sólido elástico quando a tensão de corte é menor que a tensão de cedência, $\tau < \tau_0$, mas apresenta um comportamento viscoso para tensões de corte superiores. Na expressão μ , representa o coeficiente de viscosidade plástico e $\dot{\gamma}$ a taxa de corte. A tensão de cedência é uma consequência das forças interpartículas, sendo estas ligações muitas vezes quebradas irreversivelmente por corte. A tensão de corte depende do tempo e das solicitações anteriores, resultantes do processo de mistura da argamassa, assim como da taxa de corte. Importa ainda salientar que a viscosidade apenas pode ser medida se a tensão de cedência for excedida [4, 50].

Em alguns materiais a viscosidade possui uma dependência com o tempo, ou seja, as suas características de fluidez são influenciadas pelo histórico de esforços a que o material esteve sujeito. Estes materiais poderão ser definidos como tixotrópicos. Pode-se considerar que um líquido é tixotrópico quando existe um decréscimo de viscosidade ao longo do tempo sob determinada velocidade de corte. Por exemplo, imaginemos que colocamos as partículas de uma determinada dispersão sujeita a uma determinada agitação, neste processo os flocos são separados nas suas matérias-primas, acompanhando-se de uma redução da resistência ao fluxo, após retirada a agitação, verifica-se uma refloculação e um aumento da resistência ao fluxo. Se esta recuperação for totalmente reversível estamos perante a tixotropia. A ação de corte causa assim uma destruição, seguida de uma gradual reconstrução. No caso das argamassas em particular, é preferível a adoção destes termos, uma vez que a estrutura destruída não é totalmente recuperada, estando perante uma destruição estrutural irreversível. Caso a curva descendente se situe acima da ascendente, então o fenómeno passa a designar-se de anti-tixotropia. Os diferentes tipos de comportamento tixotrópico podem ser observados na Figura 3.1, onde se apresenta em a) Reograma obtido para tensão imposta, b) Reograma para velocidade imposta e c) Desestruturação do material sob velocidade de corte constante [70, 50].

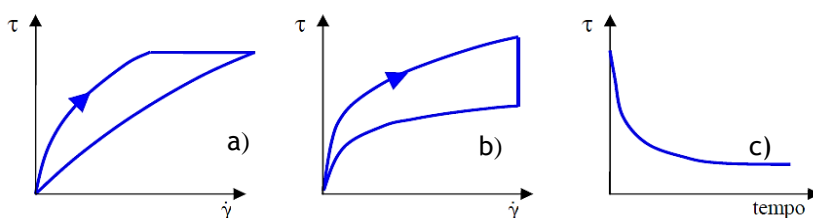


Figura 3.1. Representação do comportamento tixotrópico [70]

Qualquer modelo estrutural proposto é capaz de explicar a rotura irreversível que ocorre em sistemas de corte à base de cimento, e que é diferente do comportamento tixotrópico. O modelo ilustrado na Figura 3.2, mostra como a tensão de cedência pode ser explicada pela habitual atração de Van der Waals e pelos efeitos de repulsão da dupla camada elétrica. Na Figura 3.2, a imagem a) representa as partículas de cimento seco em contacto, b) a formação da membrana, quando o cimento sofre hidratação, c) a desagregação das partículas, após ação de corte e d) e e) a reconstrução e aproximação das partículas para uma distância correspondente ao mínimo de energia repulsiva [50,4].

Banfill [4] e Paiva [50] ao citarem os trabalhos de Banfill [3] e Tattersal [64], referem que quando o cimento seco entra em contacto com a água, forma-se uma membrana de produtos hidratados em volta das partículas. Quando uma tensão de corte é exercida, esta membrana é rompida levando à desagregação das partículas, as partículas desagregadas passam a estar expostas na zona ligação de umas com as outras, pelo que se gera um processo de hidratação nestas interrupções da membrana. Como resultado desta hidratação das zonas de ligação entre as partículas, quando a tensão é retirada, deixa de ser possível estabelecer as ligações, tal como estavam inicialmente, ocorrendo uma destruição irreversível das ligações, fenómeno correntemente conhecido na literatura internacional como “Breakdown”.

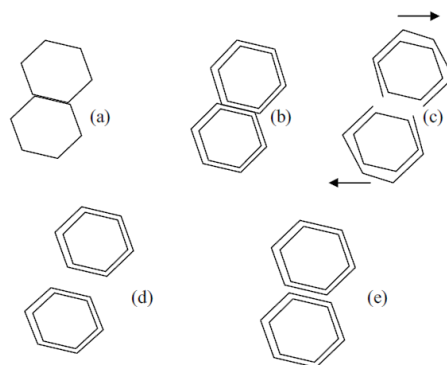


Figura 3.2. Modelo de destruição estrutural irreversível por ação de corte [50,4]

3.4. Parâmetros e modelos reológicos

Segundo, Paiva [50] o fluxo está relacionado com os movimentos de camadas adjacentes dos fluidos, ou seja, quando uma força de corte é aplicada a um fluido, um gradiente de velocidade é induzido sobre ele. O fator de proporcionalidade entre a força e o gradiente de velocidade é igual à taxa de deformação. Um fluido que obedeça a esta relação é denominado de fluido Newtoniano e comporta-se de acordo com a Equação 3.2, onde F representa a força [N], A a área (m^2), τ a tensão de corte (Pa), η a viscosidade (Pa.s) e γ a taxa de corte (s^{-1}).

$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \times \gamma \quad [\text{Pa}] \quad (3.2)$$

Segundo Oliveira [48] e de acordo com a Equação 3.2, quanto menor a viscosidade de um fluido, menor a tensão necessária para submetê-la a uma determinada taxa de deformação constante. Do ponto de vista físico, a viscosidade é de modo geral, um indicador de coesão entre as moléculas que constituem as lâminas adjacentes de um fluido.

Nos fluidos Newtonianos, Figura 3.3, devido à relação entre a tensão de corte e a taxa de deformação dar origem a uma reta que passa pela origem do gráfico e ao facto da viscosidade ser constante, a medição da deformação para uma única velocidade de corte é suficiente para o caracterizar. Neste caso é possível avaliar as propriedades reológicas do fluido, apenas a partir da viscosidade [50].

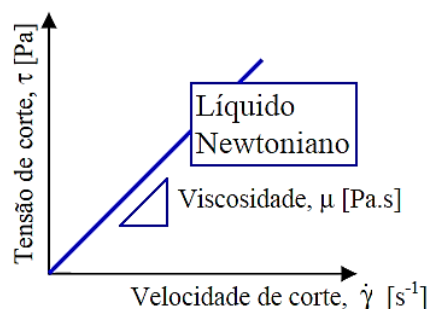


Figura 3.3. Gráfico de tensão - deformação para líquidos Newtonianos [70]

Apesar de este modelo constituir o modelo mais simples de caracterização reológica, outros modelos mais complexos, denominados de não Newtonianos, poderão caracterizar os fluidos, Figura 3.4.

Os fluidos Binghamianos são caracterizados por uma relação como a expressa na Equação. 3.3.

$$\tau = \tau_0 + \mu\gamma \quad (3.3)$$

Este tipo de fluido apresenta uma relação linear entre a tensão e a deformação a partir de um determinado valor da tensão de corte (tensão de Bingham ou tensão de cedência, τ_0). Isto é, são materiais que resistem sem fluir a tensões de corte inferiores à tensão de cedência, mas que acima desta apresentam um comportamento linear entre a tensão de corte e a taxa de deformação, sendo caracterizados por uma viscosidade plástica (μ) [50].

Na realidade, o comportamento típico das argamassas é normalmente descrito pelo modelo Binghamiano. Neste modelo, o material é um sólido elástico para tensões de corte (τ) inferiores à tensão de cedência (τ_0), mas apresenta um comportamento viscoso para tensões de corte superiores, sendo μ , a viscosidade plástica e γ , a taxa de corte. Salienta-se ainda que a viscosidade apenas poderá ser medida se a tensão de cedência for excedida, sendo a tensão de cedência o valor do ponto de interceção da reta com o eixo da tensão e a viscosidade plástica o valor do declive da mesma reta [50, 4].

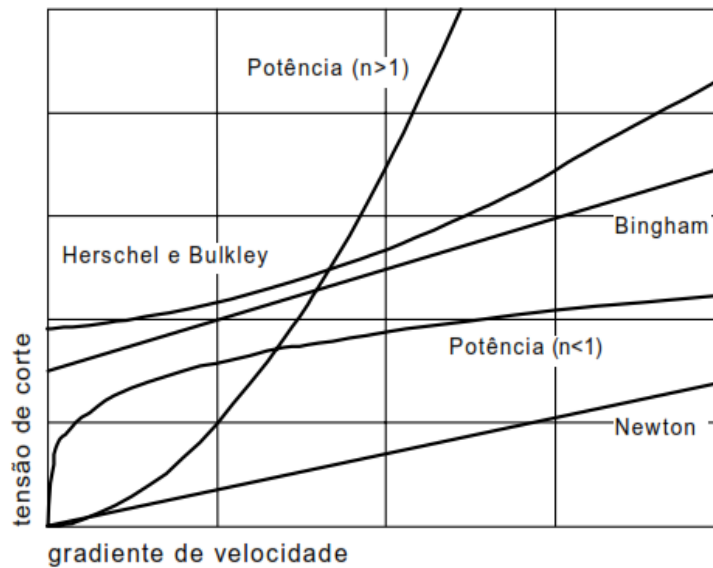


Figura 3.4. Modelos que relacionam a tensão de corte com o gradiente de velocidade [2]

Enquanto em fluido Newtoniano é necessária apenas medições a uma velocidade de corte, nos líquidos não Newtonianos são necessárias mais do que uma velocidade. Em teoria duas velocidades seriam suficientes, mas é preferível utilizar uma sequência de velocidades para garantir um mínimo de erros experimentais [50].

No meio científico ainda não existe um consenso total acerca do modelo mais satisfatório para descrever o comportamento reológico de pastas de cimento, no entanto devido à sua simplicidade de aplicação, aqueles a que os investigadores mais recorrem são aos modelos de Bingham e de Herschel e Bulkley [69].

Devido à importância destes modelos reológicos importa ainda referir o modelo de Herschel e Bulkley, traduzido pela Equação 3.4. Este modelo é considerado um dos mais completos, pelo facto de englobar três parâmetros, sendo usado para descrever materiais viscoplásticos que exibem uma tensão de cedência com uma resposta reofluidificante ou reoespessante durante o escoamento para velocidades de corte crescentes [69].

$$\tau = \tau_0 + K \times \dot{\gamma}^n \quad (3.4)$$

Neste modelo (Equação 3.4), τ corresponde à tensão de corte (Pa), τ_0 à tensão de cedência (Pa), K ao índice de consistência, $\dot{\gamma}$ à taxa de corte (s^{-1}) e n a uma constante do modelo que indica o grau de comportamento não Newtoniano. Neste tipo de modelo quando $n < 1$ o fluido comporta-se como reofluidificante sob ação de corte, por outro lado, quando $n > 1$ o comportamento do fluido é do tipo dilatante ou espessante, perante a ação de corte. Em ambos os casos, o comportamento é não-linear, não sendo a viscosidade uma constante. No entanto este modelo poderá ser facilmente reduzido à lei de Newton quando $\tau_0 = 0$ e $n = 1$, e ao modelo de Bingham quando $n = 1$ [50, 69].

Na Figura 3.5, apresenta-se de forma esquemática a relação entre a tensão de corte em função da velocidade de corte, para os diversos comportamentos reológicos dos fluidos. Na Figura 3.5, a imagem a) refere-se a um líquido reofluidificante ou pseudoplástico; b) a um líquido reoespessante ou dilatante e c) a um líquido com tensão de cedência.

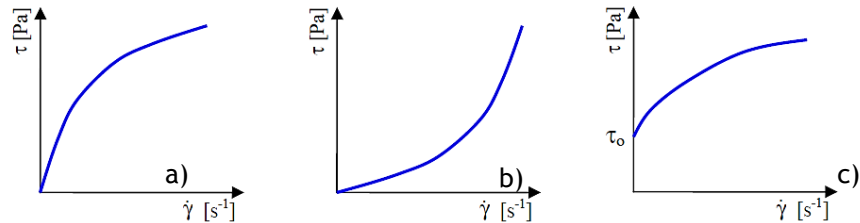


Figura 3.5. Reogramas de diversos comportamentos reológicos [69]

3.5. Métodos de caracterização reológica

Tradicionalmente, muitos dos ensaios realizados para caracterização reológica demonstravam-se insatisfatórios, não permitindo um tratamento analítico do comportamento reológico, devido às limitações dos ensaios existentes capazes de medir apenas um parâmetro: a viscosidade plástica ou a tensão de corte [63,50].

O método do espalhamento, indicado na EN 1015-3 [24], constitui uma das medidas tradicionalmente utilizadas. Esta técnica permite determinar a consistência de uma argamassa, e caracterizar a argamassas em termos de trabalhabilidade através de um processo simples, rápido e de fácil instalação. Neste ensaio é avaliado o espalhamento da argamassa a partir da aplicação de golpes (segundo a configuração da mesa de espalhamento), sendo a consistência estabelecida em função do espalhamento da argamassa obtido no final do ensaio. Se existir escoamento significa que a tensão aplicada excedeu a tensão de cedência [63,50].

Para caracterizar as argamassas em termos de viscosidade plástica e tensão de cedência, à partida o ideal seria a utilização de um reómetro de cilindros coaxiais, para definir as curvas de fluxo com precisão, tal como Banfill [5] demonstrou. No entanto estes aparelhos possuem regras bem estabelecidas para as suas dimensões e para as dimensões da amostra, para que sejam asseguradas medições reológicas fiáveis. Nessas regras encontra-se estabelecido, que o espaço entre o cilindro interior e exterior deve ser pelo menos equivalente a 10 vezes o tamanho da maior partícula, de forma a minimizar os efeitos de falta de homogeneidade no empacotamento das partículas junto às paredes do cilindro, também a relação entre o raio do externo e interno do cilindro deve ser inferior a 1,2, para que a velocidade de corte do material entre cilindros seja o menor possível. Devido a todas as exigências expostas para a aplicação deste tipo de reómetro e tendo como referência que a máxima dimensão do agregado é de 4 mm, constata-se que os aparelhos apresentariam dimensões tão elevadas que inviabilizariam a sua aplicação [50,4].

Um reômetro de cilindros coaxiais, embora exequível, provou ser inconveniente. Banfill mostrou no entanto que era possível testar as misturas frescas de betões em misturadoras e obter a informação necessária para criar curvas de velocidade, sendo para isso necessário que a misturadora possua duas velocidades distintas. Este método, designado método dos dois pontos, é passível de ser realizado com o reômetro Viskomat e com o seu antecessor, Viscocoder [50].

O Viskomat, amplamente utilizado neste estudo, consiste num contentor cilíndrico, onde é introduzida a argamassa. Este contentor é posteriormente inserido numa base rotacional, que permite submeter a argamassa a diferentes variações de velocidades. Uma pá concêntrica é inserida na parte superior do reômetro, descendo-a posteriormente até ficar totalmente submersa pela argamassa, o torque medido é assim resultado da resistência viscosa da argamassa ao fluxo da lâmina da pá [50].

Durante os ensaios a amostra é sujeita a determinados programas de velocidade, monitorizando-se o torque eletronicamente de forma contínua. A curva de fluxo resultante é construída através do torque (T) em função da velocidade de rotação (N), que no caso específico das argamassas, descreve um comportamento do tipo $T = g + h \times N$, correspondendo g e h a características constantes do material, diretamente proporcionais à tensão de cedência e à viscosidade plástica, respetivamente [50].

3.6. Estudos desenvolvidos no âmbito da reologia

A reologia é um assunto que se encontra em expansão, no que se refere à sua influência nas propriedades de betões e argamassas. Na última década têm havido avanços no sentido de compreender a influência dos diversos fatores reológicos nas diversas propriedades dos materiais cimentícios. Em seguida, apresentam-se algumas informações sobre este assunto através de alguns estudos desenvolvidos neste âmbito.

Para garantir uma elevada trabalhabilidade em betões de alta resistência (HPC), vários superplastificantes são utilizados. Somente recorrendo a superplastificantes, é possível adequar as propriedades reológicas da mistura. Desta forma, o elemento chave para uma modelação da trabalhabilidade eficiente é o complexo conhecimento de como o superplastificante influencia as propriedades reológicas do betão fresco. Apesar do comportamento da fase argamassa do betão ser extremamente diferente do das argamassas de revestimento, a forma como esta influencia os betões poderá ser extrapolado para alguns comportamentos em argamassas de revestimento. Golaszewski [31] estudou esta influência do superplastificante no comportamento de argamassas no estado fresco, em termos de reologia. Este estudo consistiu numa investigação sobre a influência química de diferentes superplastificantes nas propriedades reológicas de uma argamassa padrão. Todos os parâmetros reológicos, tensão de cedência e viscosidade plástica, foram determinados através do reômetro rotativo, Viskomat PC. A influência do superplastificante foi investigada tendo em conta os seguintes fatores: Origem química (SNF -

ácido naftaleno-sulfônico, AP - Policarboxilatos ou PC - ésteres policarboxilatos), a dosagem de SP, a W/C, tipo de cimento (CEM I, CEM II ou CEM III), propriedades do cimento e temperaturas físicas e químicas. Com este estudo foi possível concluir que o superplastificante mais eficaz é do tipo AP ou PC, utilizados na mesma dosagem permitem obter argamassas com reduzidos valores de g e uma baixa perda de trabalhabilidade. Uma das características destas argamassas é o seu elevado valor de h, que é vantajoso do ponto de vista da segregação, mas que causa problemas práticos (podendo ocorrer deslizamentos). No entanto, os resultados obtidos apenas se verificaram para baixas razões W/C, caso os valores da razão W/C sejam elevados, a eficácia deste é semelhante à do superplastificante do tipo SNF, pelo que a sua aplicação deixa de ser economicamente viável.

Os agregados possuem também uma elevada importância em todas as propriedades das argamassas, e não é diferente na reologia. Os agregados desempenham um papel importantíssimo em termos de trabalhabilidade, mobilidade e capacidade de escoamento, oferecendo ainda uma excelente resistência à segregação. No entanto, estudos recentes, tal como o realizado por Harini et al [33] concluem que a máxima compacidade do betão resulta em betões menos trabalháveis e com possibilidade de um elevado grau de segregação, devido à redução do espaçamento entre as partículas e do elevado atrito entre os agregados. Neste estudo realizado por Harini *et al* [33] pretendia-se entender de que forma a distribuição granulométrica, o tamanho e o tipo de agregado influenciavam o escoamento das argamassas. Para a realização deste estudo foram utilizados dois tipos de agregados, uma areia de origem fluvial e um pó moído, com diferentes tamanhos. No total foram realizadas 103 séries de argamassas, com diferentes razões de agregado/cimento (S/C) e água/cimento (W/C). Foi concluído através desta investigação, que um maior conteúdo de vazios não compactados fornece à argamassa uma menor fluidez. A proporção W/C, o teor de vazios não compactados, o tamanho, forma e conteúdo de agregados possuem um papel predominante na fluidez da argamassa. A fluidez da argamassa diminui com o aumento do teor de agregados e com a diminuição da razão W/C para um determinado tamanho do agregado. Constatando-se ainda que argamassas fabricadas com areia de origem fluvial apresentam uma maior fluidez devido ao seu alto grau de irregularidades.

Outro estudo menos recente também já tinha sido desenvolvido para avaliar a influência do agregado fino britado nas propriedades reológicas da fase argamassa de betões. Nesse estudo realizado por Westerholm [71] foi avaliada a influência dos agregados na tensão de cedência e viscosidade plástica das argamassas. A grande quantidade de finos, muitas vezes resultantes do agregado fino britado, têm principalmente influência na tensão de escoamento da argamassa, esta quantidade de finos contribui também para a viscosidade plástica devido ao aumento do atrito interpartículas. Nesse estudo verificaram que a forma das partículas do agregado fino contribui fortemente para a viscosidade plástica e que a elevada tensão de corte e viscosidade

plástica, resultantes da elevada quantidade de finos, poderá ser efetivamente reduzida através da utilização de um superplastificante adequado.

Através dos estudos apresentados é possível antecipar alguns comportamentos das argamassas em estudo. Verifica-se que a presença do superplastificante contribui de forma significativa para os parâmetros reológicos, devido ao seu impacto nos valores de tensão de corte e viscosidade plástica relativa, que se tornam mais reduzidos na presença deste. A forma e o tipo de agregado são também fatores condicionantes da fluidez e trabalhabilidade das argamassas.

4. Procedimento experimental

4.1. Introdução

No sentido de analisar o desempenho de argamassas de revestimento com agregados leves, foi realizado um estudo experimental nos Laboratórios de Construção do Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade da Beira Interior. Pretende-se com este trabalho experimental compreender a influência que os agregados leves têm quando empregues em argamassas de revestimento, nomeadamente no que concerne às suas propriedades reológicas, físicas e mecânicas.

Para melhor compreender a influência dos agregados leves nas propriedades das argamassas de revestimentos, foram analisados uma série de parâmetros capazes de definir a trabalhabilidade das argamassas no estado fresco. Houve uma especial preocupação pelo comportamento reológico das argamassas nomeadamente pela forma como estas se comportam em termos de torque quando submetidas a determinadas velocidades, durante um determinado período de tempo. O objetivo é avaliar a influência dos agregados leves e da sua percentagem de substituição na tensão de cedência e viscosidade plástica relativa das diversas argamassas.

Para além do comportamento reológico, foram avaliados vários parâmetros físicos e mecânicos capazes de caracterizar a viabilidade e aplicabilidade destas argamassas na construção. Todos os ensaios, sempre que possível, foram ao encontro da especificação vigente para as argamassas de revestimento (EN 1015).

4.2. Materiais utilizados

A sustentabilidade e a reabilitação são um assunto cada vez mais atual, sendo por isso importante adaptar a construção a estes novos conceitos. Atualmente existe uma preocupação acrescida pelo conforto térmico, conjuntamente com a ideia de um maior aproveitamento energético recorrendo a soluções mais económicas ou que se tornem económicas a pequeno/médio prazo. Apesar de este não constituir o tema do trabalho desenvolvido, os agregados leves têm sido apontados como benéficos neste aspeto, sendo por isso de elevada importância estudar a forma como estes se comportam em termos de desempenho quando aplicados em argamassas.

É neste âmbito, que surge a ideia de melhorar as condições dos revestimentos existentes, recorrendo a materiais mais sustentáveis e resultantes de produtos com capacidade para serem reutilizados, como é o caso do poliestireno expandido, da cortiça natural e da cortiça expandida, utilizados neste trabalho. Foi também utilizado um material produzido de forma industrial, a argila expandida, material leve, cujas suas características têm sido apontadas como responsáveis por bons desempenhos no desenvolvimento de betões e argamassas.

A descrição dos materiais utilizados é a seguir apresentada pela seguinte ordem: cimento, cal hidratada, agregados, adjuvante e água de amassadura.

4.2.1. Cimento

O tipo de aglomerante utilizado no desenvolvimento deste trabalho experimental foi o cimento Portland CEM I 42,5R, classificado de acordo com a norma portuguesa NP EN 197-1:2001 [44]. Os resultados da análise química, dos ensaios mecânicos e dos ensaios físicos que caracterizam este aglomerante foram cedidos pela empresa fornecedora do material. Contudo, foi realizado o ensaio de determinação da massa volúmica e da baridade não compactada, em conformidade com o procedimento estabelecido na Especificação LNEC E64 - 1979 [17] e NP EN 1097-3:2002 [42], obtendo-se uma massa volúmica de 3100 kg/m^3 e uma baridade não compactada de 1073 kg/m^3 .

4.2.2. Cal hidratada

A escolha do tipo de cal recaiu na utilização de uma cal hidratada, CL 80, já existente no laboratório. Esta cal possui uma baridade não compactada de 380 kg/m^3 e uma massa volúmica determinada com recurso ao densímetro de “*Le Châtelier*” de 2310 kg/m^3 . Ambos os ensaios foram realizados através dos procedimentos estabelecidos para o cimento. A distribuição granulométrica já se encontrava analisada, possuindo uma curva granulométrica como a referenciada na Figura 4.1.

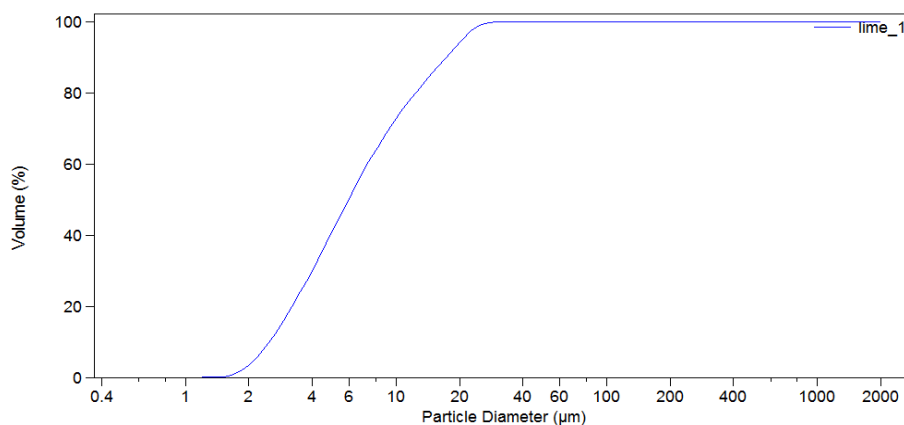


Figura 4.1. Curva granulométrica da cal hidratada

4.2.3. Agregados

Tendo em conta as exigências funcionais das argamassas de revestimento, a máxima dimensão do agregado não deve exceder os 4 mm. No entanto, tendo em conta a utilização do viscosímetro no desenvolvimento experimental deste trabalho, esta máxima dimensão do agregado tornou-se ainda mais restrita, tendo sido adotada uma máxima dimensão ligeiramente mais reduzida para quase todos os agregados. Para que este requisito fosse cumprido houve a necessidade de crivar

a Leca e a Areia 0/4 no crivo de 4 mm e 2 mm, respetivamente, de forma a reduzir a sua máxima dimensão.

Para cada tipo de agregado foram realizados os seguintes ensaios de caracterização dos materiais:

- i. Determinação da massa volúmica dos agregados, de acordo com a NP EN 1097-6:2003 [43];
- ii. Determinação da Baridade seca não compactada, de acordo com NP EN 1097-3:2002 [42];
- iii. Determinação da absorção de água de acordo com a NP EN 1097-6:2003 [43];
- iv. Análise granulométrica de todos os agregados, de acordo com EN 933-1:2000 [45].

4.2.3.1. Agregados naturais

Quanto aos agregados naturais, decidiu-se optar por uma combinação de uma areia natural amarela, correntemente designada de Areia 0/2 com uma areia natural rolada calibrada, designada de Areia 0/4, ambas de origem fluvial e provenientes do tejo, Figura 4.2. Esta opção foi tomada tendo por base a sua granulometria, pretendendo-se com esta combinação de agregados obter a maior compacidade possível entre os diversos materiais. A combinação destes dois materiais resultou de uma combinação, também apontada por Feret como a mistura correspondente à máxima compacidade, constituída por 2/3 de agregados grossos (Areia 0/4) e 1/3 de agregados finos (Areia 0/2). No Tabela 4.1, Tabela 4.2 e na Figura 4.3 são apresentadas as principais características determinadas em laboratório para os agregados naturais utilizados no presente estudo.

Tabela 4.1. Características físicas dos agregados naturais

Características físicas dos agregados naturais				
	B [kg/m ³]	δ [kg/m ³]	A (%)	Módulo Finura
Areia 0/2	1293,2	2559	0,78	2,202
Areia 0/4	1425,0	2586	0,68	2,853

B - Baridade; δ - Massa volúmica; A - Absorção dos agregados

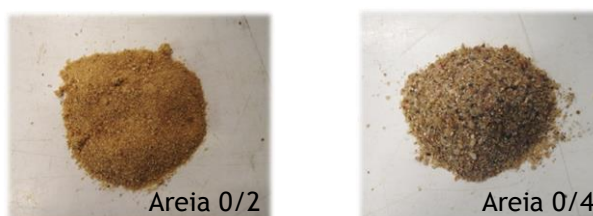


Figura 4.2. Areias naturais utilizadas

Abertura da malha [mm]	Porcentagem de Passados	
	Areia 0/2	Areia 0/4
8,000	99,99	100,00
4,000	99,90	100,00
2,000	99,31	100,00
1,000	96,04	76,70
0,500	60,67	31,57
0,250	18,79	5,52
0,125	5,13	0,87
0,063	0,68	0,17
Resíduo	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853

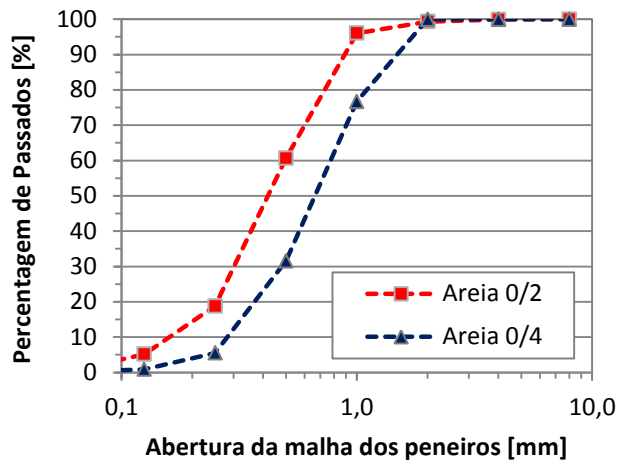


Tabela 4.2. Granulometria das areias naturais

Figura 4.3. Granulometria das areias naturais

4.2.3.2. Agregados leves

A escolha dos agregados leves incidiu principalmente no pressuposto destes serem materiais resultantes da reciclagem. No entanto, além dos materiais provenientes da reciclagem de resíduos urbanos e industriais (cortiça natural, cortiça expandida e EPS), foi também utilizado um material produzido de forma industrial, a argila expandida (Leca), Figura 4.4. Apresenta-se na Tabela 4.3 uma síntese das características físicas de cada um dos agregados leves envolvidos neste estudo experimental.

Tabela 4.3. Características físicas dos agregados leves

Características físicas dos agregados leves				
	B [kg/m ³]	δ [kg/m ³]	A (%)	Módulo Finura
Leca	420,0	929,6	26,2	4,922
COR	95,7	511,4	244,3	4,606
CEX	86,7	560,1	123,4	2,366
EPS	12,2	114,6	193,0	4,678

B - Baridade; δ - Massa volúmica; A - Absorção dos agregados



Figura 4.4. Agregados leves utilizados

Em seguida são apresentadas as percentagens de material passado nos peneiros (Tabela 4.4) e as curvas granulométricas (Figura 4.5) dos materiais leves utilizados no desenvolvimento deste trabalho experimental. Para efeitos de comparação, a Figura 4.5 inclui também as curvas granulométricas dos agregados naturais, apresentadas a traço interrompido.

Tabela 4.4. Percentagem de material passado nos peneiros

Abertura da malha [mm]	Percentagem de material passado			
	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS
8,000	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	100,00	98,78	100,00	97,70
2,000	4,20	32,52	100,00	27,59
1,000	1,13	6,48	82,86	4,02
0,500	0,95	1,01	48,59	1,15
0,250	0,81	0,51	22,27	1,15
0,125	0,71	0,10	9,69	0,57
0,063	0,56	0,00	3,48	0,57
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	4,922	4,606	2,366	4,678

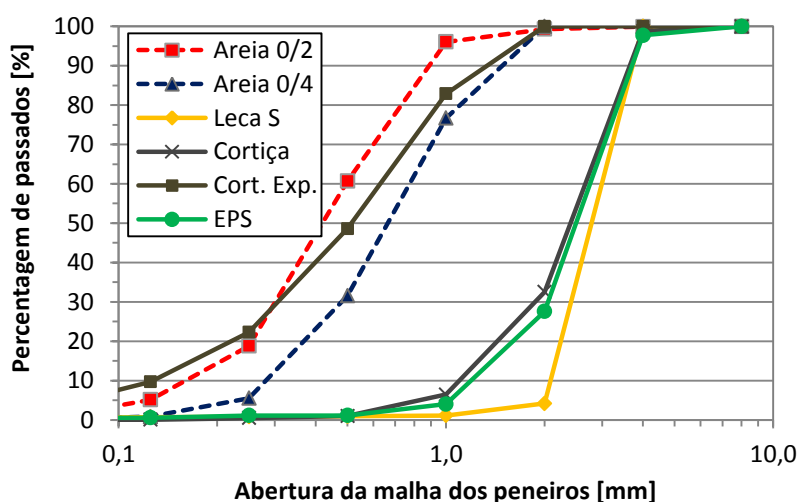


Figura 4.5. Curvas granulométricas dos diversos materiais

4.2.4. Adjuvante

A variedade de adjuvantes atualmente existentes no mercado é extremamente vasta. No presente estudo pretendia-se controlar as propriedades da argamassa em termos de reologia e trabalhabilidade, pelo que se achou conveniente a introdução de um agente redutor de água, o superplastificante, conhecido por dotar a argamassa de uma certa plasticidade e trabalhabilidade.

Do variado leque de produtos existentes, optou-se pela utilização do superplastificante da SIKA, sob a designação comercial Sika ViscoCrete-3005 e cuja conformidade está de acordo com a NP EN 934-2:2009 [46]. Este superplastificante de terceira geração é específico para betões e argamassas, possui uma cor levemente amarelada, tem uma densidade de aproximadamente $1,05 \text{ kg/m}^3$ e é constituído na sua base química por uma combinação de policarboxilatos modificados, em solução aquosa.

4.2.5. Água de amassadura

Não existiu nenhuma preocupação especial quanto às características da água de amassadura. No entanto foi sempre utilizada água potável da rede pública de abastecimento, em conformidade com norma NP EN 1008:2003 [41].

4.3. Ensaio de caracterização dos materiais

4.3.1. Baridade

A baridade de todos os materiais foi determinada com base na norma NP EN 1097-3:2002 [42]. Segundo esta especificação, a baridade é o quociente da massa do inerte pelo volume por este ocupado em dadas condições de compactação. Neste documento são especificados os procedimentos a efetuar para o cálculo de dois tipos de baridade distintos, a baridade seca compactada e a baridade seca não compactada. No presente estudo apenas foi realizado o procedimento da baridade seca não compactada.

Para efetuar o referido procedimento, as amostras foram condicionadas numa estufa a uma temperatura que variou consoante o tipo de agregado até massa constante ou até que os valores correspondentes a duas pesagens consecutivas não diferissem mais do que $\pm 0.1\%$. Após o condicionamento, verteu-se o agregado num recipiente, com volume (V) e massa (m_1) conhecidos, por meio de uma espátula deixando-o cair de uma altura não superior a 5 cm acima do bordo do recipiente. Após preenchido o recipiente, este foi nivelado e pesado (m_2), Figura 4.6.

Os resultados obtidos, da Baridade (B), foram calculados de acordo com a Equação (4.1):

$$B = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000 \quad [\text{kg/m}^3] \quad (4.1)$$

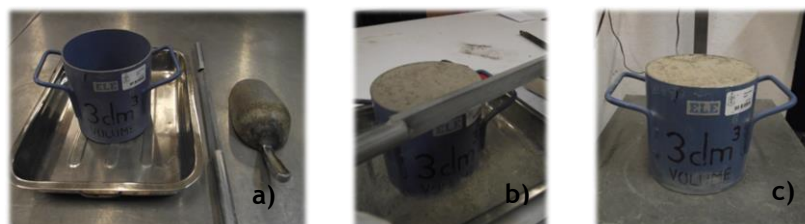


Figura 4.6. Baridade ou massa volúmica aparente

4.3.2. Análise granulométrica

A granulometria, segundo diversos autores é a característica que mais influencia as argamassas, sendo uma das mais importantes variáveis na definição do traço volumétrico. Se a granulometria for contínua e se as partículas tiverem uma forma adequada, obtêm-se uma argamassa muito compacta, reduzindo paralelamente o risco de segregação [9].

A metodologia adotada para o ensaio da análise granulométrica cumpre genericamente as indicações da norma Portuguesa NP EN 933-1:2000 [45]. Este procedimento de ensaio apresenta uma série de peneiros, com a seguinte malha: 0,063 mm; 0,125 mm; 0,500 mm; 1 mm; 2 mm; 4 mm e 8 mm. Para a realização do ensaio, os agregados foram condicionados numa estufa ventilada a uma temperatura que variou consoante o material utilizado, 100 °C para agregados naturais e Leca e 60 °C para agregados reciclados, até massa constante. Posteriormente, a amostra foi peneirada nos vários peneiros, por decréscimo de abertura da malha, Figura 4.7. Este processo foi realizado mecanicamente, submetendo os peneiros a movimentos oscilatórios de translação e rotação acompanhados de vibrações. Finalizado o processo de peneiração foi determinada a massa de amostra retida em cada peneiro e a sua conseqüente curva granulométrica, máxima e mínima dimensão do agregado e módulo de finura de cada material.



Figura 4.7. Série de Peneiros EN 933

4.3.3. Absorção de água dos agregados

Uma das características que distingue o agregado reciclado do agregado normal é a quantidade de água que este absorve. A avaliação da taxa de absorção é de extrema importância, uma vez que a absorção possui grande influência na durabilidade e trabalhabilidade das argamassas.

O ensaio de absorção foi realizado em conformidade com a norma Portuguesa NP EN 1097-6:2003 [43]. Neste ensaio a amostra é imersa em água durante 24 horas, Figura 4.8. Decorrido este tempo, a amostra é seca com recurso a um pano, até ficar saturada com superfície seca, sendo depois pesada (m_1). Em seguida, condiciona-se a amostra numa estufa ventilada, à temperatura recomendada para cada material, até massa constante. O processo é finalizado pela pesagem do provete seco (m_2).

O cálculo da absorção de água de cada um dos agregados (A%) é conseguido através da aplicação da Equação (4.2):

$$A (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (4.2)$$

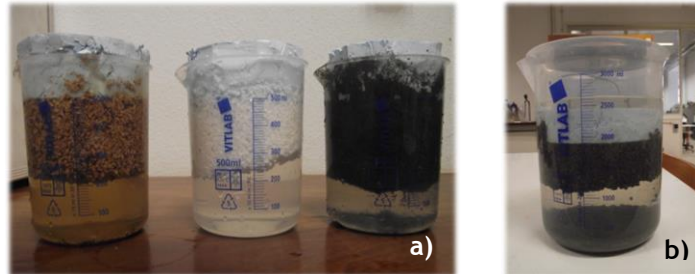


Figura 4.8. Saturação das amostras, ensaio de absorção

4.3.4. Massa Volúmica

Para a determinação da massa volúmica foram realizados dois procedimentos de ensaio, um deles para determinar a massa volúmica dos aglomerantes e um outro para os restantes materiais.

Para determinar a massa volúmica dos aglomerantes recorreu-se ao densímetro “*Le Châtelier*” de forma a verificar os valores fornecidos pelo fabricante. Este procedimento, com recurso ao densímetro de “*Le Châtelier*”, Figura 4.9, foi realizado em conformidade com a Especificação LNEC E 64-1968 [17]. Neste ensaio o componente líquido não pode ser a água devido às reações de hidratação que ocorrem entre esta e o aglomerante, pelo que se recorreu a gasolina. No densímetro é inserida a gasolina, com temperatura estabilizada, até um nível compreendido entre zero e uma escala nele referenciado. Seguidamente pesa-se a quantidade de aglomerante necessário à obtenção de uma leitura na graduação do densímetro e introduz-se este material com recurso a um funil, tendo atenção para que não adira às paredes. Depois da temperatura estabilizar é possível obter o volume no densímetro através da sua graduação. A massa volúmica é assim traduzida pela razão entre a massa de aglomerante inserida no densímetro e o volume medido.

Para o cálculo da massa volúmica dos agregados naturais, foi seguida como referências a norma portuguesas NP EN 1097-6:2003 [43]. Como o procedimento é realizado com recurso a um balão volumétrico, este deve se encontrar limpo e seco aquando da sua utilização. Segundo estas normas o material deve ser saturado, até massa constante. Decorrido o processo de saturação, pesa-se o provete saturado com superfície seca (m_1). Em seguida, o provete é vertido dentro do balão volumétrico e preenchido com água até ao traço de referência (m_2). O procedimento é finalizado quando o densímetro é limpo, seco e cheio novamente com água até ao traço de referência (m_3).

O cálculo da massa volúmica (δ) efetua-se de acordo com a Equação (4.3):

$$\delta = \frac{m_1}{m_1 + m_3 + m_2} \times 1000 \quad [\text{kg/m}^3] \quad (4.3)$$

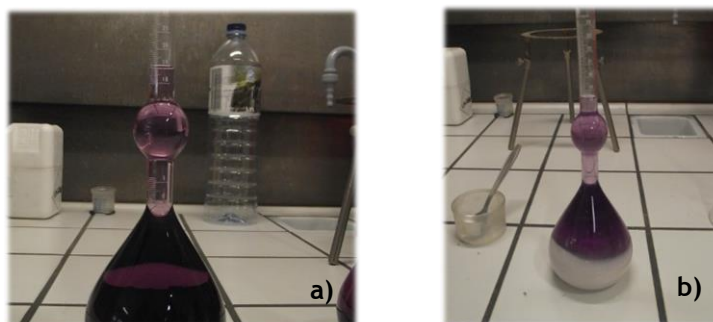


Figura 4.9. Determinação da massa volúmica (densímetro de “Le Châtelier”)

4.4. Estudo da composição das argamassas

Nos itens seguintes (4.4.1 e 4.4.2) descreve-se o procedimento adotado no estudo da composição das argamassas produzidas no âmbito do presente trabalho e ainda uma breve descrição da folha de cálculo “excel” desenvolvida para formular a composição das misturas em laboratório de forma mais automatizada.

4.4.1. Cálculo das argamassas

A formulação das argamassas que a seguir se apresenta inclui todos os materiais selecionados no âmbito do presente estudo, mas poderá ser facilmente ajustada a qualquer situação que contemple novos materiais.

O presente estudo contempla a utilização dos seguintes materiais, os quais são identificados pela respetiva sigla de modo a facilitar a descrição do procedimento de cálculo:

- C1- Cimento CEM I 42,5R
- CH- Cal hidratada
- S2- Areia 0/2
- S4- Areia 0/4
- LS- Agregado leve de argila expandida “Leca S”
- COR- Cortiça natural
- CEX- Cortiça expandida
- EPS- Poliestireno expandido
- W- Água de amassadura
- SP- Superplastificante

As propriedades dos materiais, necessárias para a formulação das argamassas, incluem a baridade seca não compactada, a massa volúmica de todos os componentes e ainda as curvas granulométricas dos agregados. Para a designação da baridade seca não compactada e da massa volúmica será usada a simbologia que a seguir se apresenta:

B_X - Baridade seca não compactada do material X, expressa em kg/m^3 ;

$\bar{\delta}_X$ - Massa volúmica do material X, expressa em kg/m^3 .

As composições serão estabelecidas em traço dos diferentes componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento, expressos em volume aparente seco não compactado. Assim, o traço de cada material será adiante designado do seguinte modo:

t_X - Traço do material X, expresso em volume aparente não compactado.

Nestes traços o cimento será sempre usado como referência, assumindo um valor unitário, como se exemplifica a seguir:

$t_{C1} = 1$

t_{CH} = Traço da cal hidratada

t_{S2} = Traço da Areia 0/2

t_{S4} = Traço da Areia 0/4

t_{LS} = Traço do Agregado leve de argila expandida “Leca S”

t_{COR} = Traço da Cortiça Natural

t_{CEX} = Traço da Cortiça expandida

t_{EPS} = Traço do Poliestireno expandido reciclado

A partir das proporções em traço poderão ser calculadas as proporções em massa recorrendo aos valores da baridade seca não compactada avaliada experimentalmente para cada um dos materiais sólidos. As proporções em massa serão estabelecidas em razão dos diferentes componentes sólidos da argamassa referidos à massa unitária de cimento, da seguinte forma:

R_X - Razão em massa do material X.

A conversão dos traços em razões de massa pode ser efetuada pelas seguintes expressões, sendo que o cimento será usado como referência e assume um valor unitário:

$$R_{C1} = 1 \quad (4.4)$$

$$R_{CH} = t_{CH} \times B_{CH} / B_{C1} \quad (4.5)$$

$$R_{S2} = t_{S2} \times B_{S2} / B_{C1} \quad (4.6)$$

$$R_{S4} = t_{S4} \times B_{S4} / B_{C1} \quad (4.7)$$

$$R_{LS} = t_{LS} \times B_{LS} / B_{C1} \quad (4.8)$$

$$R_{COR} = t_{COR} \times B_{COR} / B_{C1} \quad (4.9)$$

$$R_{CEX} = t_{CEX} \times B_{CEX} / B_{C1} \quad (4.10)$$

$$R_{EPS} = t_{EPS} \times B_{EPS} / B_{C1} \quad (4.11)$$

Os valores da composição da argamassa poderão ainda ser expressos em volume absoluto dos componentes sólidos. A sigla a utilizar na designação do volume absoluto será:

V_X - Volume absoluto do material X.

A conversão das razões em massa para as razões em volume absoluto será efetuada pelas seguintes expressões, usando como referência o cimento.

$$V_{C1} = 1 \quad (4.12)$$

$$V_{CH} = R_{CH} \times \delta_{C1} / \delta_{CH} \quad (4.13)$$

$$V_{S2} = R_{S2} \times \delta_{C1} / \delta_{S2} \quad (4.14)$$

$$V_{S4} = R_{S4} \times \delta_{C1} / \delta_{S4} \quad (4.15)$$

$$V_{LS} = R_{LS} \times \delta_{C1} / \delta_{LS} \quad (4.16)$$

$$V_{COR} = R_{COR} \times \delta_{C1} / \delta_{COR} \quad (4.17)$$

$$V_{CEX} = R_{CEX} \times \delta_{C1} / \delta_{CEX} \quad (4.18)$$

$$V_{EPS} = R_{EPS} \times \delta_{C1} / \delta_{EPS} \quad (4.19)$$

Por último poderá ainda quantificar-se as frações unitárias dos agregados na argamassa em termos de volume absoluto dos agregados, que serão designados da seguinte forma:

f_X - Fração unitária do agregado X relativa ao volume absoluto total de agregados

As frações unitárias dos agregados serão calculadas pelas seguintes expressões:

$$f_{S2} = V_{S2} / (V_{S2} + V_{S4} + V_{LS} + V_{COR} + V_{CEX} + V_{EPS}) \quad (4.20)$$

$$f_{S4} = V_{S4} / (V_{S2} + V_{S4} + V_{LS} + V_{COR} + V_{CEX} + V_{EPS}) \quad (4.21)$$

$$f_{LS} = V_{LS} / (V_{S2} + V_{S4} + V_{LS} + V_{COR} + V_{CEX} + V_{EPS}) \quad (4.22)$$

$$f_{COR} = V_{COR} / (V_{S2} + V_{S4} + V_{LS} + V_{COR} + V_{CEX} + V_{EPS}) \quad (4.23)$$

$$f_{CEX} = V_{CEX} / (V_{S2} + V_{S4} + V_{LS} + V_{COR} + V_{CEX} + V_{EPS}) \quad (4.24)$$

$$f_{EPS} = V_{EPS} / (V_{S2} + V_{S4} + V_{LS} + V_{COR} + V_{CEX} + V_{EPS}) \quad (4.25)$$

A partir das frações granulométricas relativas dos agregados e das curvas granulométricas obtidas experimentalmente, é possível conhecer a curva real da distribuição granulométrica resultante do traço atribuído inicialmente. O ajuste da curva real à curva de referência será efetuado por um processo iterativo através da alteração sucessiva dos traços dos agregados atribuídos inicialmente, mantendo fixos os traços das percentagens de substituição quando esse seja o objetivo. Assim, é possível uniformizar as diferentes granulometrias dos agregados.

Estabeleceu-se como premissa que o estudo da composição deveria ser expresso em dosagens em massa por metro cúbico de argamassa, de modo a possibilitar que os componentes fossem medidos em massa aquando da realização das amassaduras experimentais. Adicionalmente assumiu-se que o volume de água de amassadura seria expresso em litros por metro cúbico de argamassa, enquanto o superplastificante seria expresso em ml por kg de cimento da mistura no

metro cúbico de argamassa. No caso do superplastificante, a conversão de ml/kg de cimento para a razão em massa de kg/kg de cimento é efetuada pela seguinte expressão:

$$R_{SP} = (\text{dosagem de SP em ml/kg de cimento}) \times \delta_{SP} \times 10^{-6} \quad (4.26)$$

No caso da água de amassadura, a percentagem será representada pela sigla W%, o traço da água será dado pela expressão (4.28), enquanto a razão em massa da água relativa ao cimento será dada pela Equação (4.29).

$$R_W = t_W \times B_W / B_{C1} \quad (4.27)$$

$$t_W = W (\%) \times (t_{C1} + t_{CH} + t_{S2} + t_{S4} + t_{LS} + t_{COR} + t_{CEX} + t_{EPS}) \quad (4.28)$$

Assumindo como unidade de volume o metro cúbico, a fórmula fundamental do cálculo das argamassas assume a seguinte expressão, onde V_v representa o volume de vazios e V_w representa o volume de água, ambos em metro cúbico por metro cúbico de argamassa. As restantes variáveis assumem o significado já apresentado.

$$V_{C1} + V_{CH} + V_{S2} + V_{S4} + V_{LS} + V_{COR} + V_{CEX} + V_{EPS} + V_w + V_{SP} + V_v = 1 \quad (4.29)$$

O volume específico pode ser calculado pela razão entre a massa e a massa volúmica, pelo que a Equação (4.30) assume a seguinte forma:

$$\frac{M_{C1}}{\delta_{C1}} + \frac{M_{CH}}{\delta_{CH}} + \frac{M_{S2}}{\delta_{S2}} + \frac{M_{S4}}{\delta_{S4}} + \frac{M_{LS}}{\delta_{LS}} + \frac{M_{COR}}{\delta_{COR}} + \frac{M_{CEX}}{\delta_{CEX}} + \frac{M_{EPS}}{\delta_{EPS}} + \frac{M_{SP}}{\delta_{SP}} = 1 - V_v - V_w \quad (4.30)$$

Onde:

M_{C1} - Massa do cimento CEM I 42,5R

M_{CH} - Massa da cal hidratada

M_{S2} - Massa da Areia 0/2

M_{S4} - Massa da Areia 0/4

M_{LS} - Massa do agregado leve de argila expandida “Leca S”

M_{COR} - Massa da cortiça reciclada

M_{CEX} - Massa da cortiça expandida

M_{EPS} - Massa do poliestireno expandido reciclado

M_{SP} - Massa do superplastificante

Evidenciando a Equação (4.31) em ordem a M_{C1} , obtém-se:

$$M_{C1} \left(\frac{1}{\delta_{C1}} + \frac{R_{CH}}{\delta_{CH}} + \frac{R_{S2}}{\delta_{S2}} + \frac{R_{S4}}{\delta_{S4}} + \frac{R_{LS}}{\delta_{LS}} + \frac{R_{COR}}{\delta_{COR}} + \frac{R_{CEX}}{\delta_{CEX}} + \frac{R_{EPS}}{\delta_{EPS}} + \frac{R_{SP}}{\delta_{SP}} + \frac{R_w}{\delta_w} \right) = 1 - V_v \quad (4.31)$$

Ou seja:

$$M_{C1} = \frac{(1 - V_v)}{\left(\frac{1}{\delta_{C1}} + \frac{R_{CH}}{\delta_{CH}} + \frac{R_{S2}}{\delta_{S2}} + \frac{R_{S4}}{\delta_{S4}} + \frac{R_{LS}}{\delta_{LS}} + \frac{R_{COR}}{\delta_{COR}} + \frac{R_{CEX}}{\delta_{CEX}} + \frac{R_{EPS}}{\delta_{EPS}} + \frac{R_{SP}}{\delta_{SP}} + \frac{R_w}{\delta_w}\right)} \quad (4.32)$$

De seguida obtêm-se as massas dos restantes materiais pelas seguintes expressões:

$$M_{CH} = R_{CH} \times M_{C1} \quad (4.33)$$

$$M_{S2} = R_{S2} \times M_{C1} \quad (4.34)$$

$$M_{S4} = R_{S4} \times M_{C1} \quad (4.35)$$

$$M_{LS} = R_{LS} \times M_{C1} \quad (4.36)$$

$$M_{COR} = R_{COR} \times M_{C1} \quad (4.37)$$

$$M_{CEX} = R_{CEX} \times M_{C1} \quad (4.38)$$

$$M_{EPS} = R_{EPS} \times M_{C1} \quad (4.39)$$

$$M_{SP} = R_{SP} \times M_{C1} \quad (4.40)$$

$$M_w = R_w \times M_{C1} \quad (4.41)$$

Os resultados assim obtidos referem-se a dosagens por metro cúbico de argamassa.

4.4.2. Folha de cálculo para argamassas

A previsão de um elevado número de argamassas a produzir em laboratório no decurso deste trabalho e a necessidade destas serem rapidamente calculadas entre cada ensaio laboratorial, conduziu ao desenvolvimento de uma folha de cálculo (Excel) para o estudo da composição de argamassas que utiliza a rotina descrita no item anterior (4.4.1). Exemplos da folha de cálculo são ilustrados no Anexo A. Neste anexo os valores apresentados a azul representam os dados de entrada.

Em laboratório foi determinada a massa volúmica dos materiais saturados com superfície seca, parâmetro que foi utilizado para efeitos do cálculo teórico das misturas, conforme descrito no subcapítulo anterior. No entanto, aquando da realização das amassaduras, os agregados leves encontravam-se secos, enquanto os agregados naturais apresentavam em muitos casos algum teor em água superficial. Nesse sentido, houve necessidade de se ajustar a rotina da folha de cálculo (Excel) ao modo de utilização dos materiais, permitindo a introdução, quer dos valores da absorção da água em massa, quer do teor em água superficial, conforme os casos, e a correção automática das dosagens efetivas em consequência disso.

4.5. Misturas estudadas

Para o desenvolvimento experimental foi produzida uma argamassa típica de revestimento, de controlo ou de referência, a um traço em volume aparente de 1:1:5, cuja constituição engloba cimento Portland (CEM I 42,5R), cal hidratada (CL80), Areia 0/2, Areia 0/4, superplastificante e água. Com recurso a esta argamassa foi possível compreender de que forma os agregados e as

suas diferentes percentagens de substituição influenciavam o desempenho e comportamento das argamassas. Para além da argamassa de referência com agregado natural, foram ainda produzidas outras 4 séries de argamassas, cada uma delas distinguida pela percentagem de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado. Cada série, excluindo a de referência, é constituída por argamassas com diferentes tipos de agregados leves (Leca S, Cortiça natural, Cortiça expandida e EPS). Todas as argamassas foram fabricadas com a mesma proporção em volume aparente seco 1:1:5., sendo que a percentagem de agregados pétreos foi sempre mantida na mesma proporção, 2/3 de Areia 0/4 e 1/3 de Areia 0/2, independentemente da percentagem de substituição por agregados leves.

Para a realização do presente trabalho pretendeu-se que as únicas variáveis de ensaio fossem a percentagem de substituição e a natureza do agregado substituto. No entanto outras variáveis tiveram de ser tidas em conta para que as argamassas em estudo tivessem todas a mesma trabalhabilidade. Esta trabalhabilidade foi mantida constante estabelecendo um intervalo de valores para o ensaio da mesa de espalhamento, o qual permitia que todas as argamassas partissem das mesmas consistências. No entanto o facto de estas terem de se ajustar a este intervalo, alterou a razão W/C entre as várias misturas, tendo-se obtido valores distintos para as diversas argamassas.

Numa fase inicial foi determinada a quantidade de água necessária para a argamassa de referência. Após definida a percentagem de água necessária, foi realizado o ensaio de reologia para todas as outras argamassas com as quantidades de água e de superplastificante da argamassa de referência, como referenciado na Tabela 4.5. Nesta fase, através do ensaio da “Mesa de espalhamento”, verificou-se visivelmente que estas quantidades não permitiam obter a mesma trabalhabilidade da argamassa de referência, uma vez que para além do espalhamento apresentar valores bastante distintos, também as argamassas apresentavam problemas de segregação e exsudação, em alguns casos. Seguiu-se então uma segunda fase que compreendeu a procura da percentagem de água e de superplastificante adequados ao ajuste das argamassas. Tentou-se na maioria dos casos que o superplastificante, não constituísse uma variável de ensaio. No entanto, nem sempre foi possível verificar este critério como se observa na Tabela 4.6.

Tabela 4.5. Misturas produzidas para as condições iniciais

		ARGAMASSAS																
		0%	(25% Substituição)				(50% Substituição)				(75% Substituição)				(100% Substituição)			
		Ref.	LS25	COR25	CEX25	LS25	LS50	COR50	CEX50	EPS50	LS75	COR75	CEX75	EPS75	LS100	COR100	CEX100	EPS100
Aglom.	CEM I 42,5 R	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Cal Hidratada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Agreg. Naturais	Areia 0/2	1,67	1,25	1,25	1,25	1,25	0,83	0,83	0,83	0,83	0,42	0,42	0,42	0,42	-	-	-	-
	Areia 0/4	3,33	2,50	2,50	2,50	2,50	1,67	1,67	1,67	1,67	0,83	0,83	0,83	0,83	-	-	-	-
Agregados Leves	Leca (LS)	-	1,25	-	-	-	2,50	-	-	-	3,75	-	-	-	5,00	-	-	-
	Cortiça (COR)	-	-	1,25	-	-	-	2,50	-	-	-	3,75	-	-	-	5,00	-	-
	Cortiça Exp. (CEX)	-	-	-	1,25	-	-	-	2,50	-	-	-	3,75	-	-	-	5,00	-
	EPS	-	-	-	-	1,25	-	-	-	2,50	-	-	-	3,75	-	-	-	5,00
Água (w)		16,80%																
Superplastificante (SP)		8 ml por kg de Cimento																

Tabela 4.6. Misturas produzidas após o acerto das argamassas

		ARGAMASSAS																			
		0%				(25% Substituição)				(50% Substituição)				(75% Substituição)				(100% Substituição)			
		Ref.	LS25	COR25	CEX25	LS25	LS50	COR50	CEX50	EPS50	LS75	COR75	CEX75	EPS75	LS100	COR100	CEX100	EPS100			
Aglom.	CEM I 42,5 R	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	CEX75	1,00	*	*	*	1,00	*				
	Cal Hidratada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	*	*	*	1,00	*				
Agreg. Naturais	Areia 0/2	1,67	1,25	1,25	1,25	1,25	0,83	0,83	0,83	0,83	0,42	0,42	0,42	*	*	*	-	*			
	Areia 0/4	3,33	2,50	2,50	2,50	2,50	1,67	1,67	1,67	1,67	0,83	0,83	0,83	*	*	*	-	*			
Agregados Leves	Leca (LS)	-	1,25	-	-	-	2,50	-	-	-	3,75	-	-	*	*	*	-	*			
	Cortiça (COR)	-	-	1,25	-	-	-	2,50	-	-	-	3,75	-	*	*	*	-	*			
	Cortiça Exp. (CEX)	-	-	-	1,25	-	-	-	2,50	-	-	-	3,75	*	*	*	5,00	*			
	EPS	-	-	-	-	1,25	-	-	-	2,50	-	-	-	*	*	*	-	*			
Água [%]		16,8	14,0	14,2	18,3	14,9	11,8	13,9	23,2	14,0	10,4	17,2	26,3	*	*	*	28,8	*			
SP [ml/kg _{cimento}]		8	8	8	8	8	8	8	0	8	8	8	0	*	*	*	0	*			

* (Argamassas inviáveis)

4.6. Procedimento de amassadura

Inicialmente introduziram-se todos os componentes sólidos no tambor da misturadora, Figura 4.10. Todos os componentes da mistura foram medidos em massa numa balança com precisão não inferior a 0,1 gramas.

Em seguida colocou-se o tambor na misturadora e amassaram-se os materiais secos durante 30 segundos à velocidade normal. Após o término deste tempo parou-se a misturadora e introduziu-se cerca de 80% da dosagem de água prevista, iniciando-se a contagem do tempo de amassadura, que se prolongou por seis minutos à velocidade normal, sem interrupção. Decorrido 1 minuto da amassadura, procedeu-se à introdução do superplastificante diluído nos restantes 20% da dosagem de água, sem paragem da misturadora.

Aos seis minutos de amassadura efetuou-se uma paragem da misturadora durante 2 minutos, prosseguindo depois com mais um minuto de amassadura a velocidade normal.

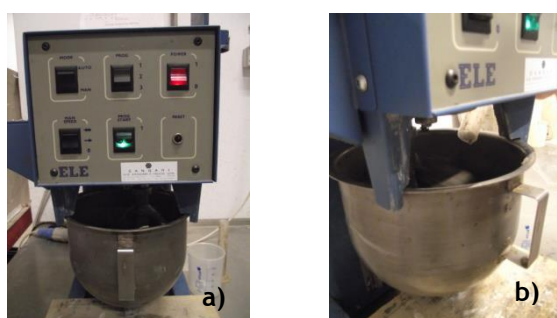


Figura 4.10. Misturadora

4.7. Ensaios no estado fresco

Neste subcapítulo descrevem-se os ensaios realizados à argamassa no estado fresco, que incluíram a medição da consistência por espalhamento (*“flow-table”*), a avaliação dos parâmetros reológicos com recurso ao Reómetro Viskomat NT, a determinação da massa volúmica aparente, o ensaio de retenção de água e o teor de ar contido nas argamassas. Esses ensaios são descritos nos subcapítulos 4.7.1 a 4.7.5. No subcapítulo 4.7.6 descreve-se o procedimento de preparação e condicionamento dos provetes para os ensaios no estado endurecido.

4.7.1. Consistência por espalhamento

A consistência das argamassas foi determinada através do ensaio de espalhamento *“Flow-Table”*, segundo os princípios estabelecidos na norma EN 1015-3:1999 [24]. Segundo esta norma o ensaio deve ser realizado sempre que possível logo após a produção das argamassas, para isso, enche-se um molde tronco cónico, colocado no centro da mesa de espalhamento em duas camadas, cada uma delas compactada no mínimo com 10 golpes. Rasa-se a argamassa pelo nível do molde, para eliminar o excedente e retira-se o molde de forma cuidadosa. O processo é finalizado submetendo a amostra à ação de 15 pancadas, aplicadas com frequência constante de uma por segundo, através de impactos na mesa de espalhamento, Figura 4.11. O diâmetro de espalhamento é obtido com recurso a uma régua, medindo o diâmetro sempre em duas direções perpendiculares.

Para uma uniformização da trabalhabilidade entre as diversas argamassas, admitiu-se que todas elas deveriam possuir um diâmetro de espalhamento compreendido entre 160 e 180 mm. Este intervalo permitia que apesar das diferentes razões W/C, ambas tivessem as mesmas condições reológicas criando-se assim uma interligação entre as diversas argamassas.

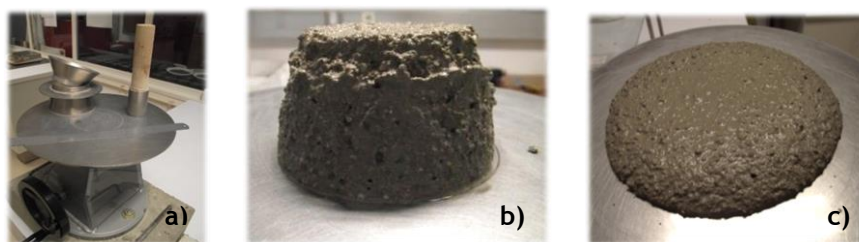


Figura 4.11. Ensaio da mesa de espalhamento *“Flow-Table”*

4.7.2. Reologia

Os ensaios de reologia foram realizados com recurso ao Reómetro Viskomat NT, especificamente desenhado para medir o comportamento reológico das argamassas, Figura 4.12. Para o funcionamento do reómetro, a argamassa tem de ser inserida num recipiente existente na sua base. Seleciona-se o perfil pretendido no *“software”* instalado no computador e envia-se o

ficheiro para o reómetro, que após receber a informação faz descer uma pá concêntrica de geometria adequada até ao recipiente, devendo ficar totalmente submersa pela argamassa para que as leituras se processem de forma correta. Nesta fase, a base do reómetro entra em rotação a uma velocidade variável com o tempo, executando o perfil estabelecido. A viscosidade relativa que a argamassa oferece ao fluxo através das lâminas da pá origina um torque que é continuamente registado eletronicamente ao longo de toda a duração do ensaio

Para o presente estudo foram realizados dois perfis do reómetro, um perfil em “STEP” e um perfil designado de “Dwelling”, com estes perfis é possível chegar a valores de equilíbrio do torque para determinada velocidade, construindo assim curvas de escoamento que permitam determinar os coeficientes relativos de viscosidade plástica e tensão de cedência.



Figura 4.12. Reómetro (Viskomat NT)

Em seguida apresentam-se os dois perfis utilizados neste estudo. O primeiro perfil em “escada” correntemente designado de perfil “STEP”, realiza um perfil cuja velocidade de rotação varia de 20 em 20 rpm, passando de um intervalo de 0 a 160 rpm e invertendo em seguida o percurso. Neste perfil cada degrau permanece a velocidade constante de 20 em 20 rpm, cerca de um minuto. O perfil termina decorridos 15 minutos, como representado na Figura 4.13. Este perfil em “STEP” permite identificar a magnitude tixotrópica das argamassas através das áreas de histerese, formadas pelas curvas ascendentes e descendentes, assim como conhecer os valores da tensão de cedência e viscosidade plástica relativas, com recurso à curva descendente.

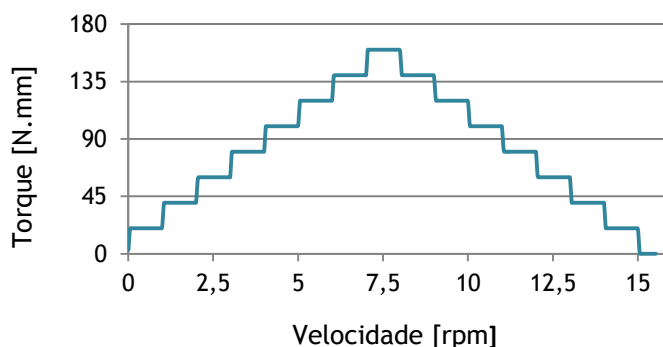


Figura 4.13. Perfil “Step”

O segundo perfil é mais extenso, demorando cerca de 60 minutos a ser realizado. Este perfil em “rampa”, também designado de perfil “Dwelling”, como observado na Figura 4.14 é um perfil onde a velocidade permanece constante, a 160 rpm, embora com descidas periódicas, de 15 em

15 minutos, em que a velocidade decresce até 0 em 30 segundos e logo a seguir aumenta no mesmo período até às 160 rpm iniciais. É na descida das 160 rpm até zero, que as curvas de fluxo pretendidas são construídas. Este perfil permite conhecer a influência do tempo de trabalho de mistura, na tensão de cedência e viscosidade plástica relativas.

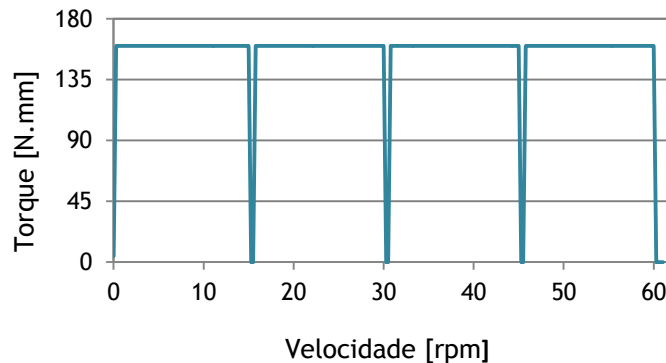


Figura 4.14. Perfil "Dwelling"

4.7.3. Massa volúmica aparente

No presente trabalho, a determinação da massa volúmica aparente segue o estabelecido na norma EN 1015-6:1999 [25]. De acordo com esta norma, depois de preparar a argamassa, esta deve ser inserida num recipiente cilíndrico, com capacidade conhecida. Para a realização do ensaio o recipiente deve ser cheio até meia altura com argamassa e compactado com 10 pancadas resultantes da oscilação do molde, em lados alternados, sobre uma superfície rígida. Seguidamente enche-se o restante recipiente e repete-se o procedimento de compactação, após o qual se deve retirar a argamassa excedente da aresta superior com recurso a uma espátula, Figura 4.15. O recipiente é pesado, sendo a massa volúmica traduzida pelo quociente da massa de argamassa contida no recipiente pelo respetivo volume.

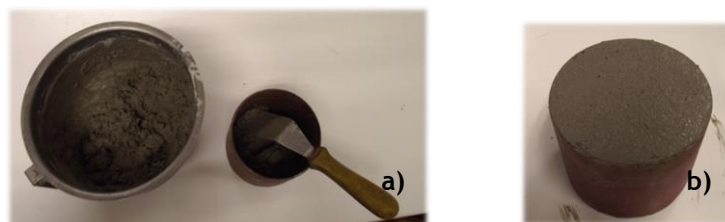


Figura 4.15. Massa volúmica aparente

4.7.4. Retenção de água

O ensaio de retenção de água foi realizado segundo a norma EN 1015-8:1999 [27]. Segundo esta norma, num molde previamente pesado (m_1) é introduzida a argamassa com recurso a uma espátula em 10 incrementos, o mais rápido e uniformemente possível. Quando a argamassa estiver ligeiramente acima do bordo corta-se o plano de superfície da argamassa, nivelando-o com o auxílio de uma espátula, obtendo-se o conjunto molde mais argamassa (m_3). Em seguida coloca-se uma gaze por cima da argamassa e um papel de filtro previamente pesado (m_2),

inverte-se o conjunto sobre uma superfície não absorvente e coloca-se um peso com massa superior a 2 kg, em cima do conjunto. Após 5 min, o peso é retirado, o conjunto invertido e o papel de filtro retirado e pesado (m_4). O procedimento pode ser observado na Figura 4.16.

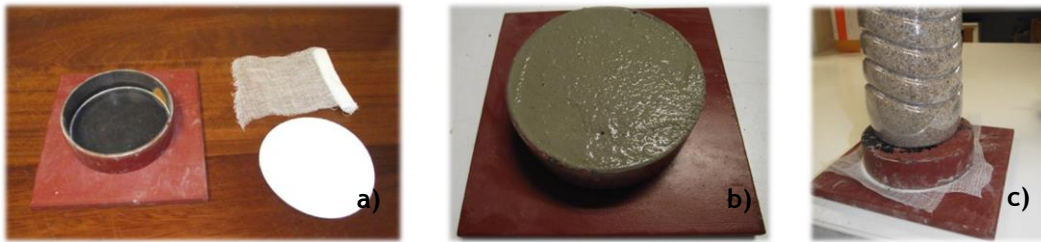


Figura 4.16. Ensaio de retenção de água

A quantidade de água da amostra (W_1) é dada pela seguinte fórmula:

$$W_1 = \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{argamassa}}} \left[\frac{g}{g} \right] \quad (4.42)$$

Onde,

$m_{\text{água}}$ - massa de água adicionada na argamassa [g]

$m_{\text{argamassa}}$ - massa total da argamassa [g]

A quantidade de água contida na argamassa dentro do molde (W_2) é determinada com base na seguinte expressão:

$$W_2 = m_5 \times W_1 \quad [g] \quad (4.43)$$

Onde,

m_5 - quantidade de argamassa dentro do molde ($m_5 = m_3 - m_1$) [g]

A quantidade de água absorvida resulta da água absorvida pelo papel de filtro (W_3), segundo a expressão:

$$W_3 = m_4 - m_2 \quad [g] \quad (4.44)$$

A quantidade de água perdida pela argamassa (W_4) é assim dada pela seguinte equação:

$$W_4 = \frac{W_3}{W_2} \times 100 \quad [\%] \quad (4.45)$$

Passando assim ser possível calcular a retenção de água, através da expressão:

$$WRV = 100 - W_4 \quad [\%] \quad (4.46)$$

4.7.5. Teor de ar contido na argamassa

O teor de ar contido nas argamassas foi calculado apenas teoricamente com base numa expressão indicada por Cincotto [12]. Esta expressão permite calcular de forma expedita o teor de ar contido nas argamassas no estado fresco, sabendo a massa volúmica teórica sem vazios e a massa volúmica aparente obtida em laboratório, Equação (4.47).

$$AR = 100 \times \left(1 - \frac{\delta_{m,ensaio}}{\delta_{m,teórico\ sem\ ar}} \right) \quad [\%] \quad (4.47)$$

Onde,

$\delta_{m,ensaio}$ - Massa volúmica aparente, obtida em laboratório

$\delta_{m,teórica}$ - Massa volúmica teórica, calculada sem volume de vazios

4.7.6. Preparação e condicionamento dos provetes

Após finalizados os ensaios no estado fresco foi necessário moldar os provetes para os ensaios no estado endurecido. Tendo por base os ensaios a realizar no estado endurecido, foram moldados para cada argamassa 9 provetes prismáticos. Estes provetes serviram para determinar a resistência à flexão e compressão, retração, massa volúmica e capilaridade das argamassas de revestimento. Para além destes, foram ainda preparados os provetes para os ensaios de resistência à tração, através da aplicação de uma camada de argamassa com 1,5 cm de espessura na superfície de blocos de betão.

Os moldes prismáticos com dimensões entre 40 x 40 x 160 mm³ e 40 x 40 x 180 mm³ apresentam-se em conjuntos de três moldes, que antes de utilizados foram convenientemente limpos e oleados com recurso a um óleo mineral. Estes moldes foram preenchidos com o auxílio de uma espátula e posteriormente a argamassa foi compactada com recurso a um processo mecânico que induz 60 pancadas, uma por cada segundo. Em seguida, a superfície foi alisada e os moldes colocados dentro de sacos numa câmara de cura a uma temperatura de 18° ± 2°C e uma humidade relativa de 90% ± 5 %. Durante o processo de cura, os provetes foram mantidos dentro de moldes e sacos, durante 48 h, decorrido este tempo os provetes foram desmoldados e novamente inseridos nos sacos e na câmara de cura durante mais 5 dias. Finalizado este período, os provetes foram retirados dos sacos e da câmara de cura e inseridos numa sala a uma temperatura de 20° ± 2 ° C e humidade relativa de 65% ± 5%, até completar os 28 dias. Os únicos provetes cujo procedimento não pode ser realizado segundo as referidas condições, foram os provetes da retração, que tinham de ser desmoldados às 24h, para a realização do ensaio e que após o ensaio passavam diretamente à sala de cura.

Os ensaios no estado endurecido foram realizados sempre que possível aos 28 dias. Quando não era possível realizar o ensaio aos 28 dias, era realizado na data mais próxima possível, após decorrido o tempo de cura.

4.8. Ensaios no estado endurecido

Neste subcapítulo descrevem-se os ensaios realizados à argamassa no estado endurecido, que incluíram a medição da resistência mecânica à flexão e compressão, a absorção de água por capilaridade, a determinação da massa volúmica, o ensaio de retração e a determinação da aderência ao substrato. Esses ensaios são descritos nos subcapítulos 4.8.1 a 4.8.5.

4.8.1. Resistência mecânica à flexão e compressão

Ambos os ensaios foram realizados de acordo com a norma EN 1015-11:1999 [20]. Os ensaios foram realizados numa prensa de compressão eletrónica, com controlo semiautomático da taxa de compressão, calibrada e aferida para o ensaio em provetes de betão e cuja máxima capacidade é de 3000 kN, Figura 4.17.

O ensaio de flexão consiste em assentar o provete sobre dois apoios cilíndricos e posteriormente aplicar-lhe forças a uma taxa constante, a meio vão, até que ocorra a rotura. Com o valor da força máxima aplicada é possível calcular a tensão de rotura do provete.

O ensaio de compressão por sua vez é determinado com base nas duas metades resultantes do ensaio de flexão. Neste ensaio aplica-se numa dada área uma carga de compressão, até rotura do material.

Segundo a norma utilizada, a taxa de carga varia consoante o ensaio que se pretende realizar. No caso do ensaio de flexão a taxa de carga aplicada foi de 0,05 kN/s, mas como a calibração da prensa se adequa mais a betões, houve necessidade de em alguns casos recorrer a uma técnica alternativa para obter os valores de resistência à flexão. Essa alternativa passou pela utilização de um “*datalogger*” com uma célula de carga com capacidade até 5 kN. Esta alternativa permitiu obter leituras mais baixas, como no caso da cortiça expandida com 100% de substituição, cuja resistência à flexão era bastante reduzida.

No ensaio à compressão a taxa de carga considerada varia da utilizada na flexão, passando esta a ser de 0,25 kN/s. Neste ensaio cada metade do provete resultante do ensaio de flexão foi ensaiado individualmente à compressão, sendo comprimido numa área de 40 x 40 mm². A resistência à flexão é determinada tendo por base a Equação (4.48):

$$f = 1,5 \frac{F \times l}{b \times d^2} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad (4.48)$$

Onde,

f - Resistência à flexão [N/mm²]

F - Força máxima aplicada [N]

l - Distância entre os apoios inferiores [100 mm]

b e d - Área comprimida [40 mm]

Os valores da resistência à flexão e compressão resultam da média dos valores individuais, ensaiados aos 28 dias.



Figura 4.17. Ensaio de resistência à flexão e compressão

4.8.2. Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado em conformidade com a norma EN 1015-18:2002 [22]. Para a realização deste ensaio aos 28 dias os provetes foram divididos em duas metades com recurso a uma serra mecânica e inseridos numa estufa ventilada à temperatura recomendada para cada material durante 24 horas. Após 24 horas, os semi-prismas são pesados e introduzidos num tabuleiro, suportados por barras metálicas. No tabuleiro é inserida água potável até uma altura acima da base do provete entre 5 e 10 mm. Após um intervalo de tempo pré-definido, retiram-se os provetes do tabuleiro, limpa-se a superfície com o auxílio de um papel absorvente, pesam-se e voltam-se a colocar no mesmo tabuleiro, Figura 4.18. A medição é realizada aos 10 e 90 minutos para o cálculo do coeficiente de capilaridade. No entanto, após este período foram realizadas algumas medições até perfazer as 24 horas.

A absorção por capilaridade pode ser traduzida pela curva de absorção capilar, representada graficamente, que exprime a quantidade de água absorvida por unidade de área da base do provete, em função da raiz quadrado do tempo decorrido. O valor do coeficiente de absorção de água por capilaridade é determinado para cada provete, sendo o valor final a média dos 6 semi-provetes de cada argamassa.

O coeficiente de capilaridade é dado pela expressão:

$$C = 0,1 (M_2 - M_1) \left[\frac{kg}{m^2 min^{0,5}} \right] \quad (4.49)$$

Onde,

M_1 - massa do provete após 10 minutos de imersão

M_2 - massa do provete após 90 minutos de imersão

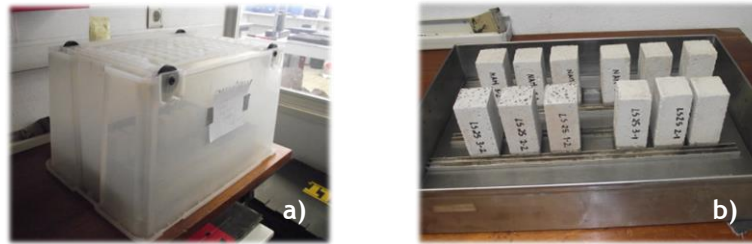


Figura 4.18. Ensaio de absorção de água por capilaridade

4.8.3. Massa volúmica

Este ensaio foi realizado segundo a norma EN 1015-10:1999 [19]. Após decorrido o tempo de cura os provetes são saturados até massa constante ou até que entre duas pesagens consecutivas espaçadas de 15 minutos, as pesagens não difiram mais do que 0,2% da massa do provete. Depois dos provetes estarem saturados remove-se o excesso de água à superfície, com ajuda de um pano, ficando os provetes saturados com superfície seca ($m_{s,sat.}$). O volume do provete poderá agora ser determinado, Figura 4.19, através de um sistema hidrostático, no qual o provete é imerso em água e a sua massa registada ($m_{s,i.}$).

O volume do provete é então calculado com recurso à seguinte expressão:

$$V_s = \frac{m_{s,sat.} - m_{s,i.}}{\rho_w} \quad [m^3] \quad (4.50)$$

Após determinado o volume dos provetes, estes são colocados a secar até massa constante, à temperatura recomendada para cada material, obtendo-se a massa do provete seco ($m_{s,dry}$).

A massa volúmica é então dada pela razão entre a massa do provete seco e o volume calculado.



Figura 4.19. Determinação do volume do provete para o cálculo da massa volúmica

4.8.4. Resistência da aderência por tração

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma EN 1015-12:2000 [21]. Para a realização do ensaio adotou-se a utilização de blocos de betão existentes no Laboratório e recorreu-se a alguns dos mecanismos do sistema “Bond-test” comercializados pela “Germann Instruments A/S”.

A superfície onde se irá realizar o ensaio deve apresentar-se lisa e limpa. Para que esta situação seja assegurada deve proceder-se à retificação da superfície com recurso a um disco de desbaste

até se obter uma superfície completamente lisa e com os agregados expostos. Como neste caso em específico não era possível utilizar o prato de sucção, o desbaste foi efetuado segurando firmemente o mecanismo e exercendo uma pressão suficiente para que este permanecesse fixo na superfície. Seguidamente limpou-se a superfície com auxílio de ar comprimido e efetuou-se a carotagem. A carotagem foi realizada através da circulação de água e a sua progressão feita pela rotação da manivela no sentido anti-horário. Quando atingida a profundidade desejada, a broca deve ser retirada com o berbequim ainda em funcionamento, Figura 4.20.

Estes processos só foram realizados quando as argamassas já possuíam resistência suficiente para a realização dos devidos procedimentos. Posteriormente foi aplicada a cola e os discos necessários à execução do ensaio, após a secagem dos provetes.

A cola utilizada neste ensaio, foi uma cola da Sika cuja designação comercial é Icosit® K 101 N, constituída por um ligante à base de resinas de epóxi especiais, isento de solventes, com boa resistência química e mecânica e fisiologicamente inofensivo após o endurecimento, fornecido em dois componentes. Esta é uma cola de elevada resistência, adequada para betões e argamassas com elevada resistência à tração.

Quanto ao ensaio de tração, deve referir-se que a máquina de tração disponível, com capacidade para 60 kN e menor divisão de escala de 5 kN, é normalmente aplicada para forças de tração maiores do que aquelas registadas no presente estudo, revelando-se com pouca sensibilidade para este ensaio. Por esse motivo foi necessário encontrar uma alternativa, idealizando um mecanismo capaz de registar valores de carga entre o 1 kN e 5 kN.

O ensaio foi então realizado recorrendo a um mecanismo alternativo de carregamento, com recurso aos discos e ao parafuso de alta resistência do ensaio “*Bond-Test*”, criando-se uma estrutura cujo ponto de equilíbrio assentasse unicamente sobre este parafuso. Após criada esta estrutura, procedeu-se à aplicação da carga utilizando-se objetos de massas conhecidas até que esta atingisse a sua máxima resistência à tração e entrasse em rotura, Figura 2.21. O ensaio é finalizado contabilizando-se os pesos e registando-se o tipo de rotura. Para cada argamassa foram realizados 3 ensaios, sendo o valor da resistência à tração dado pela média destes 3 valores.

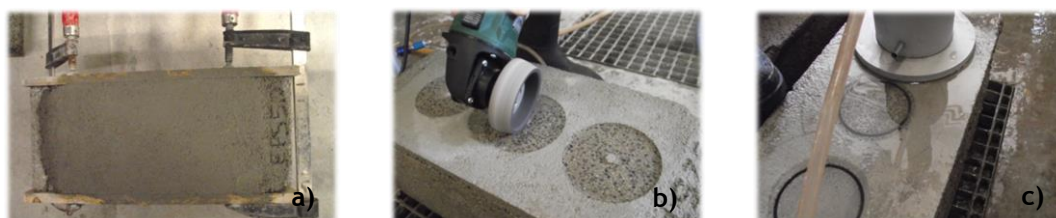


Figura 4.20. Preparação dos provetes para o ensaio de resistência da aderência por tração

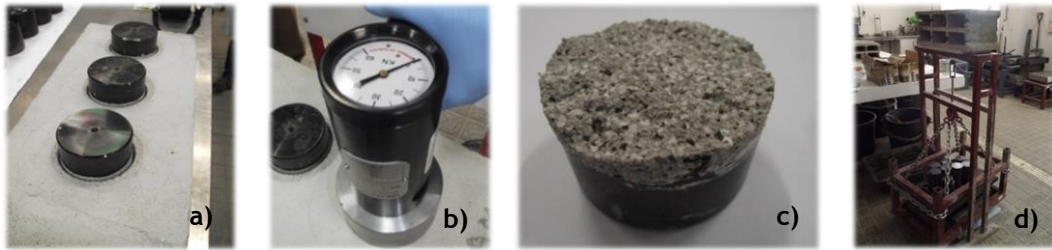


Figura 4.21. Ensaio de resistência da aderência por tração

4.8.5. Retração

O ensaio de retração foi realizado de acordo com o projeto de norma prEN 1015-13:1995 [26]. Este ensaio foi realizado sempre que possível 24h após a moldagem dos moldes prismáticos, no entanto em alguns casos não foi possível fazer esta desmoldagem, pois os provetes ainda se encontravam bastante frágeis devido às elevadas percentagens de agregados leves.

Estes provetes possuem a particularidade de serem constituídos por dois pernos, um em cada uma das extremidades, inseridos durante a sua moldagem e cuja distância interior entre as suas extremidades (L) é previamente medida com recurso a um paquímetro.

Na data da desmoldagem os provetes foram convenientemente pesados e catalogados. O ensaio da retração realizou-se com recurso a um transdutor de deslocamentos digital, inicialmente colocado a zero com recurso a uma haste padrão feita de invar, material muito estável e que praticamente não varia de dimensão com a humidade e temperatura.

Nesta fase foram anotadas as leituras dos vários provetes. Para uma maior precisão foram realizadas sempre três leituras para cada provete, submetendo os provetes a uma rotação de 360° entre cada leitura, Figura 4.23. A redução da dimensão do provete em relação à barra de invar será a mesma que ele reduz face à dimensão de referência entre os pernos. O cálculo da retração é dado segundo a expressão:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right] \quad (4.51)$$

Onde,

ΔL - Variação entre o comprimento final e inicial do provete [mm]

L - Comprimento inicial entre os pernos do provete [mm]

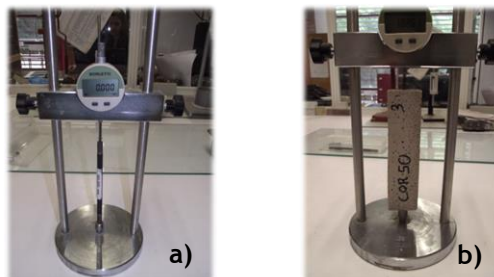


Figura 4.22. Ensaio de retração

5. Apresentação e discussão dos resultados

5.1. Introdução

Ao longo deste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios realizados durante a campanha experimental. Caso se demonstre conveniente, recorrer-se-á à exposição de imagens para demonstrar ou justificar alguma situação em particular.

Ao longo deste trabalho serão abordadas as diversas características que permitem caracterizar a argamassa no seu estado fresco e endurecido. Dando-se especial ênfase ao seu estado fresco, nomeadamente, ao comportamento reológico das diversas misturas, principal objetivo desta dissertação.

5.2. Argamassas estudadas

As argamassas estudadas, como salientado no capítulo anterior, correspondem a argamassas a um traço em volume aparente não compactado de 1:1:5, constituídas por cimento Portland (CEM I 42,5 R), cal hidratada (CL80), agregados finos e superplastificante (ViscoCrete 3005). Na mistura de referência os agregados finos são constituídos por Areia 0/2 e Areia 0/4 (utilizadas sempre na mesma proporção em massa de 1/3 e 2/3, respetivamente), enquanto nas restantes esse agregado fino natural é substituído por diferentes percentagens e tipos de agregados leves.

Quase todos os materiais leves que foram utilizados neste trabalho são provenientes da reciclagem (EPS, cortiça natural e cortiça expandida), excetuando-se o caso da argila expandida, que é de origem industrial.

O estudo realizado contemplou várias fases distintas entre si. Numa fase inicial foi estabelecida a quantidade de água necessária para a argamassa de referência tendo como objetivo atingir uma consistência plástica ou seja um intervalo de espalhamento de $170 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ no ensaio de consistência pelo método da mesa de espalhamento. Após estabelecida esta quantidade de água, fabricaram-se as argamassas com agregados leves, para esta composição, alterando apenas o tipo e a percentagem de substituição do agregado. Pretendia-se desta forma avaliar a influência desses parâmetros, na consistência e trabalhabilidade de argamassas com quantidades de água igual à da argamassa de referência. Estas consistências, no entanto, não apresentaram valores dentro do intervalo definido para a obtenção de argamassas plásticas, pelo que foi necessário ajustar a quantidade de água de amassadura (mantendo sempre que possível o SP constante), para a consistência pretendida. As argamassas finais partiram assim de um mesmo espalhamento e consistência, permitindo comparar com maior grau de confiança, os valores resultantes do ensaio de reologia.

Importa referir que ao longo do capítulo a cortiça expandida surge nas tabelas com diferentes designações. Para as percentagens de 25 e 50%, a cortiça expandida surgirá com a designação de CEX, no entanto para as percentagens de 75 e 100%, passará a designar-se de CEX_{nova}. Esta designação ligeiramente diferente surge porque apesar de o material ser o mesmo e fornecido pela mesma empresa, foi fornecido em espaços temporais diferentes, apresentando baridades distintas, que alteraram os valores de base de cálculo.

Salienta-se ainda que todos os materiais leves utilizados neste estudo foram utilizados sob as condições ambientais em que estavam armazenados, tendo sido apenas feita a correção da humidade para as areias, uma vez que estas se encontravam armazenadas em barricas, possuindo um elevado teor em água superficial.

5.2.1. Argamassas iniciais

Neste subcapítulo correspondente à primeira fase do trabalho desenvolvido, apresentam-se expostas na Tabela 5.1, as quantidades que caracterizaram cada uma das argamassas desenvolvidas, com base nas dosagens da argamassa de referência. Todas estas argamassas foram submetidas ao ensaio de espalhamento e ao ensaio de reologia, no entanto não foram realizados outros ensaios, dado que se verificou, para todas elas, que não era possível estabelecer a consistência desejada. No entanto aspirava-se entender os fatores que distinguem a argamassa de referência, das argamassas com agregados leves, e as diferenças entre estas argamassas com as dosagens de referência e as argamassas acertadas para os níveis de consistência desejados.

Tabela 5.1. Dosagens das argamassas iniciais

Argamassas	W	SP	W/MC	W/C
Todas as Argamassas	16,80%	8 (ml/kg _{cimento})	0,809	1,096

W - Água; SP-Superplastificante; W/MC - Razão água/materiais cimentícios; W/C - Razão água/cimento

Verificou-se, que era impraticável aplicar argamassas com estas dosagens. Em alguns casos o material possuía uma percentagem de finos tão elevada, que o elevado aumento da superfície específica e da área de molhagem, dotava a argamassa de um aspeto seco e pouco coeso. Por outro lado, outros materiais não conseguiam reter a água no seu interior e a quantidade de água era de tal forma excessiva, que a argamassa além de apresentar-se demasiado fluida, também não tinha qualquer tipo de coesão. Estas situações são apresentadas na Figura 5.1.

Como se pode observar, os casos expostos não constituem o pretendido para argamassas de revestimento. Deseja-se que a argamassa fabricada apresente uma viscosidade e plasticidade que permita que esta seja trabalhada e aplicada convenientemente.



Figura 5.1. Argamassas iniciais com agregados leves

5.2.2. Argamassas finais

A correção das misturas, para a consistência e trabalhabilidade pretendidas, constituiu a segunda fase deste desenvolvimento experimental, Figura 5.2. Depois de fabricadas as argamassas para as quantidades iniciais era perceptível o estado em que estas se encontravam em termos de consistência, pelo que se conseguia aferir o necessário para adequar as suas dosagens.



Figura 5.2. Argamassa final com EPS

Houve assim a necessidade de adequar a quantidade de água, para a obtenção do espalhamento pretendido. Para a realização desta fase, tentou-se sempre que possível ajustar apenas a percentagem de água a utilizar para as argamassas, no entanto nem sempre foi possível cumprir este requisito. Apresenta-se na tabela 5.2, as quantidades obtidas após o acerto das diversas argamassas em estudo.

Como se pode observar, o valor do SP só foi alterado no caso da CEX. Ocorreu que a cortiça expandida possuía uma granulometria demasiado fina, passando a totalidade do material do peneiro de 2 mm. Quando se realizaram as argamassas percebeu-se que havia uma quantidade de finos que a argamassa não conseguia reter e que este fator se agravava na presença do superplastificante. A água de amassadura era assim exsudada da argamassa onde surgia uma elevada concentração de finos. Após retirado o SP verificou-se que a argamassa tinha um poder de retenção de finos mais elevado, tendo-se optado por reduzir a totalidade do SP em todas as argamassas em que verificou esta situação. Esta decisão permitiu o acerto das argamassas até 100% de substituição para este tipo de material, mas teve uma enorme repercussão negativa no desempenho destas argamassas no estado endurecido, devido à elevada quantidade de água utilizada para acertar as argamassas.

Tabela 5.2. Quantidades finais após o acerto

Argamassas		W (%)	SP (ml/kg cimento)	CEM I (kg)	CL80 (kg)	W (l)	W/MC	W/C	
% de Substituição	0	Ref.	16,8	8	238,0	84,3	260,8	0,809	1,096
	25	LS25	14,0	8	246,6	87,3	225,2	0,674	0,913
		COR25	14,2	8	240,5	85,2	222,8	0,684	0,926
		CEX25	18,3	8	245,4	86,9	292,9	0,881	1,194
		EPS25	14,9	8	262,8	93,0	255,4	0,718	0,972
	50	LS50	11,8	8	253,3	89,7	195,0	0,568	0,770
		COR50	13,9	8	234,3	83,0	212,4	0,670	0,907
		CEX50	23,2	0	240,0	85,0	363,1	1,117	1,513
		EPS50	14,0	8	287,7	101,9	262,5	0,674	0,913
	75	LS75	10,4	8	256,8	90,9	174,2	0,501	0,678
		COR75	17,2	8	216,5	76,6	242,8	0,828	1,122
		CEX75 _{nova}	26,3	0	225,5	79,8	386,8	1,267	1,715
	100	CEX100 _{nova}	28,8	0	223,7	79,2	420,2	1,387	1,878

5.3. Caracterização das argamassas no estado fresco

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos para as argamassas no estado fresco. A descrição dos procedimentos que servirão de base aos resultados obtidos apresentam-se discriminadas no Capítulo 4, mais especificamente no subcapítulo 4.7. Para a caracterização das argamassas neste estado, foi realizada uma amassadura para cada um dos ensaios, sendo estes realizados logo após cada amassadura.

5.3.1. Consistência por espalhamento

Para definir a consistência recorreu-se ao ensaio da mesa de espalhamento, estabelecendo um intervalo de valores para todas as argamassas compreendido entre 160 e 180 mm, Figura 5.4. Este intervalo foi definido após a criação da argamassa de referência e de se averiguar a forma como esta se comportava neste intervalo. Dentro deste espalhamento a argamassa apresentava boas características de manuseamento, pelo que se considerou válida a opção adotada. Salienta-se ainda que este intervalo vai ao encontro do definido na norma EN 1015-2 [23] para os valores de espalhamento. Nesta norma são estabelecidos alguns intervalos de espalhamento, com base na massa volúmica das argamassas produzidas. No presente estudo o intervalo de valores adotado encontra-se em concordância com as massas volúmicas obtidas, cumprindo genericamente este requisito.

Numa fase inicial foram verificados os espalhamentos, correspondentes às quantidades de água e de SP da argamassa de referência e só depois se passou ao acerto das respetivas argamassas, como já foi indicado.

Constatou-se ao longo deste estudo uma grande influência do tipo e percentagem de agregado no comportamento das argamassas, como se pode observar na Tabela 5.3.

Tabela 5.3. Valores do espalhamento obtidos na mesa de espalhamento (“Flow-Table”)

Argamassas		Espalhamento inicial [mm]	Espalhamento [mm]	Sd [mm]	
% de Substituição	0	Ref.	175	175	4,3
	25	LS25	215	162	1,1
		COR25	218	175	0,0
		CEX25	151,5	164	0,3
		EPS25	202	168	2,8
	50	LS50	---- (*)	174	3,5
		COR50	206	174	0,8
		CEX50	113,5	169	5,8
		EPS50	237	171	0,5
	75	LS75	---- (*)	161	0,8
		COR75	150	163	2,5
		CEX75 _{nova}	---- (* ¹)	173	2,0
		CEX100 _{nova}	---- (* ¹)	166	2,3

(*) Valor do espalhamento superior à mesa do "Flow Table"

(*¹) Quantidade de água inicial muito inferior à necessária

Avaliando os resultados obtidos para as argamassas iniciais, através do Figura 5.3, verifica-se que as argamassas com Leca e EPS apresentam uma dosagem de água excessiva. Esta dosagem foi de tal forma excessiva, que em alguns casos, nem foi possível quantificar o espalhamento, por insuficiência de diâmetro na mesa de espalhamento. Por sua vez, as argamassas com COR apresentaram um comportamento inesperado, estas argamassas apresentavam-se fluidas para baixas percentagens de substituição e com alguma consistência, para elevadas percentagens deste material. Já as argamassas com CEX tiveram um comportamento totalmente oposto aos dois primeiros, devido à quantidade de finos que o caracteriza. Neste caso a quantidade de água para as maiores percentagens de substituição foi de tal forma reduzida, que o material desagregava-se, por falta de coesão, não sendo possível realizar o ensaio da mesa de espalhamento.

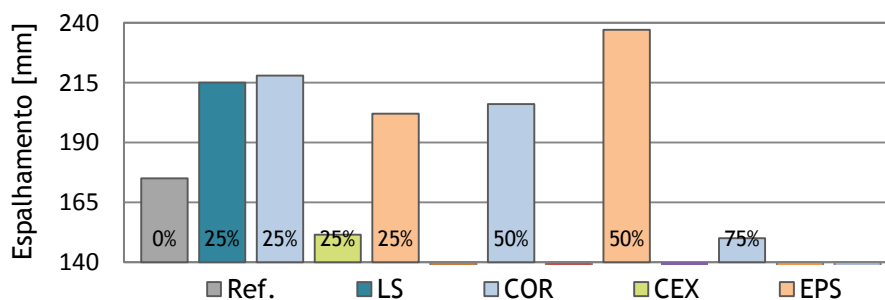


Figura 5.3. Espalhamento inicial das argamassas

A partir destes resultados é possível já retirar algumas conclusões, embora não muito aprofundadas. Antes de mais verifica-se que o tipo de agregado, influencia de forma bastante distinta as propriedades das argamassas, sendo estas ligeiramente agravadas com o aumento da percentagem de substituição. É também perceptível que enquanto em argamassas com Leca e EPS, é necessário uma menor quantidade de água para a obtenção da mesma consistência e plasticidade, o inverso acontece para o caso das cortiças. Verificou-se ainda que todas as argamassas após corrigidas se apresentavam homogêneas, coesas e trabalháveis, não se verificando um comportamento muito distinto entre elas. Destaca-se no entanto, a menor densidade que caracteriza estas argamassas, em especial, as com maior percentagem de substituição.

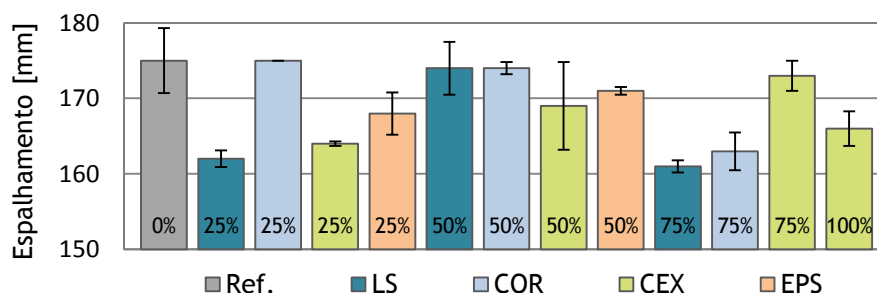


Figura 5.4. Espalhamento final das argamassas

5.3.2. Massa volúmica aparente no estado fresco

Em seguida serão apresentadas as diversas massas volúmicas, no estado fresco, de cada uma das argamassas integrantes neste estudo, Figura 5.5.

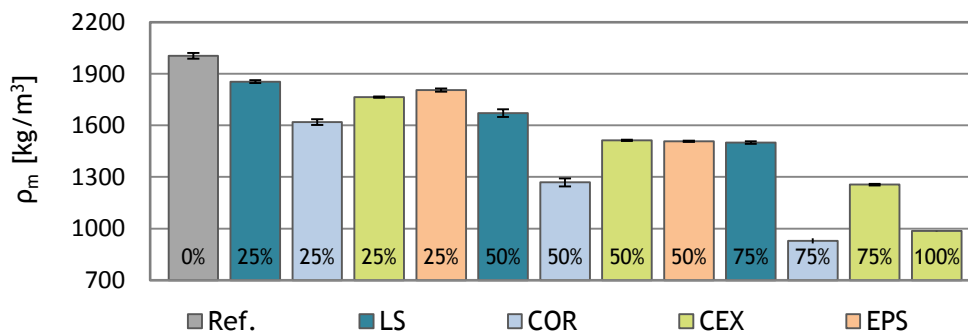


Figura 5.5. Massa volúmica das argamassas no estado fresco

Verifica-se, que a argamassa com maior massa volúmica é a de referência, seguida da argamassa com Leca. Estes materiais são os mais densos, pelo que esta situação já tinha sido anteriormente prevista. É também observável um decréscimo da massa volúmica com o aumento da percentagem de substituição de Leca, EPS, CEX e COR. A argamassa com COR75 foi a que apresentou uma massa volúmica inferior, inclusive em comparação com a argamassa CEX100.

5.3.3. Estimativa do volume de vazios

Para o cálculo do volume de vazios, não existiam os mecanismos necessários para realização do ensaio em laboratório. No entanto este cálculo pode ser obtido com recurso a expressões teóricas, pelo que se achou conveniente recorrer a estas para a realização do referido cálculo. Os resultados apresentados foram assim obtidos com base numa expressão proposta por Cincotto [11].

Na Tabela 5.4, expõem-se os diversos valores obtidos para o cálculo do volume de vazios teórico com base nesta expressão, e uma ligeira correção que se efetuou de forma a ultrapassar as divergência dos valores obtidos.

Tabela 5.4. Volume de vazios teórico

	Argamassas	AR [%]	Sd [mm]	AR _{corrigido} [%]	
% de Substituição	0	Ref.	5,3	0,8	-----
	25	LS25	3,9	0,4	-----
		COR25	9,0	4,1	-----
		CEX25	6,8	0,2	-----
		EPS25	7,1	0,5	-----
	50	LS50*	-1,1	1,4	2,79
		COR50	8,0	1,7	-----
		CEX50*	2,7	0,2	-----
		EPS50	7,9	0,2	-----
	75	LS75*	-10,8	0,5	-3,00
		COR75	6,1	1,5	-----
		CEX75nova*	-6,9	0,4	1,98
	100	CEX100nova*	-14,6	0,1	1,63

* Resultados inviáveis

Os valores negativos assinalados na Tabela 5.4. expressam provavelmente a influência do teor de água absorvido pelo agregado leve e sobretudo a velocidade dessa absorção. Este facto é mais evidente de forma significativa para o caso da argila e cortiça expandida, devido aos seus poros mais abertos. Parece assim que o volume real ocupado pela água na argamassa é menor, fazendo com que a razão massa/volume obtido na prática seja maior, resultando em valores negativos.

Para se tentar compreender melhor esta influência é apresentada uma correção com base na percentagem de água absorvida, em massa, pelo agregado. Para a realização desta correção foi adicionada à massa volúmica teórica, a massa correspondente à absorção de água, do material. Após a correção os resultados apresentam-se mais coerentes, apesar de ainda se registar uma situação particular.

Verifica-se assim, que os valores obtidos correspondem a valores reduzidos de índice de vazios, dado que estes nunca excedem os 10% e são constituídos por agregados leves, fator que à partida, poderia ser responsável pelo aumento da porosidade.

Apesar de esta expressão ser amplamente utilizada, como se pode verificar esta não se demonstrou muito válida, para o caso específico dos agregados leves, devido aos valores negativos obtidos. Poderão ser, no entanto, realizados ajustes de forma a obter uma melhor aproximação do valor real. Salienta-se no entanto, que para uma maior certeza dos valores obtidos, talvez fosse conveniente recorrer a um método experimental.

5.3.4. Retenção de água

Uma elevada retenção de água é um indicador de um bom comportamento das argamassas, especialmente se estas forem aplicadas sob condições atmosféricas quentes ou se o suporte onde forem aplicadas for muito absorvente. A água em demasia constitui um problema para a argamassa, no entanto quando utilizada na medida adequada constitui um fator importante para a hidratação dos seus compostos, é por isso de elevada importância que a argamassa retenha uma determinada quantidade de água na sua estrutura.

Na Figura 5.6, são apresentados os diversos valores de retenção obtidos. De uma forma geral verifica-se um adequado comportamento, em termos de retenção de água para todas as argamassas estudadas.

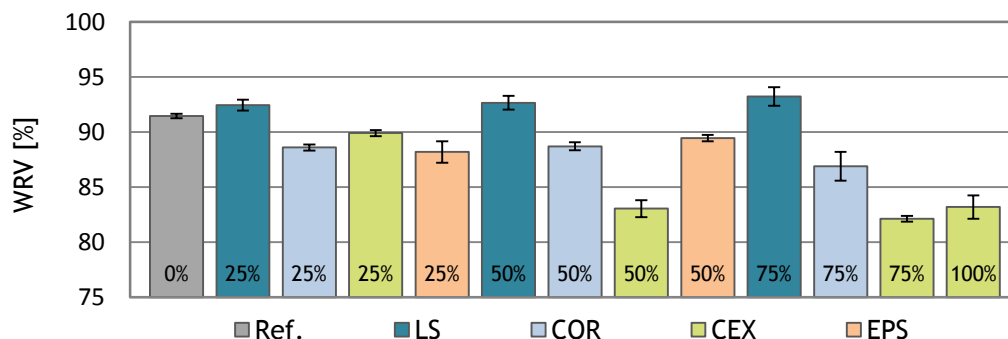


Figura 5.6. Retenção de água da argamassa no estado fresco

As argamassas apresentaram uma elevada capacidade de retenção de água, encontrando-se inseridas nas classes 3 e 4 da classificação de MERUC [10].

Segundo Martins [37] para o mesmo traço volumétrico, constata-se que a redução da razão W/C melhora as características de retenção de água. O comportamento das argamassas em estudo cumpriu genericamente a tendência citada anteriormente. No caso das argamassas com Leca e EPS, a razão W/C diminuiu com o acréscimo da percentagem de substituição, o que se refletiu num aumento da retenção de água. Por sua vez, para as argamassas com cortiça verificou-se o inverso, criando uma ligeira diminuição nos valores obtidos para a retenção de água das argamassas.

5.4. Caracterização reológica das argamassas

5.4.1. Perfil “Step”

5.4.1.1. Argamassa de referência

Tal como foi indicado, em argamassas no estado fresco é preferível falar em destruição e reconstrução da sua estrutura, uma vez que após a sua destruição esta não é totalmente recuperada, havendo assim uma destruição estrutural irreversível. A primeira argamassa a ser avaliada neste estudo experimental foi a argamassa de referência, pois pretendia-se aferir as diferenças de comportamento em argamassas leves, por comparação com uma argamassa típica de revestimento. Como se pode verificar na Figura 5.7, o primeiro impulso necessário para colocar a argamassa em movimento necessita de um elevado torque. Este constitui o momento em que as partículas são desagregadas umas das outras pela primeira vez, apresentando o valor de torque mais elevado. Após a desfloculação das partículas, estas tendem a estabelecer ligações menos coesas e como a velocidade imposta é cada vez mais elevada, o torque tende a diminuir até um determinado valor. Em seguida, com a diminuição da velocidade, o perfil inverte-se. Consta-se neste momento um valor mais ou menos constante de torque durante um determinado período de tempo, até que para baixas velocidades este tende a aumentar, devido em parte à agregação das partículas, mas também à velocidade imposta que se torna cada vez mais reduzida.

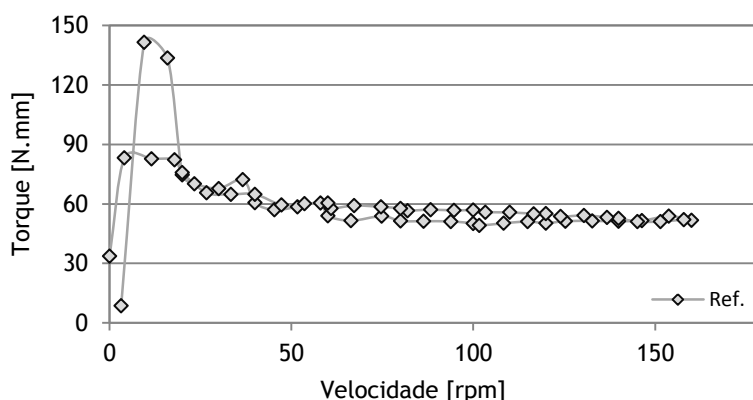


Figura 5.7. Variação do torque em função da velocidade de ensaio, para a argamassa de referência (Perfil “Step”)

É consensual no meio científico, que as curvas obtidas em regime de velocidade descendente, são mais adequadas, para a determinação dos parâmetros reológicos tensão de cedência (g) e viscosidade plástica (h) relativa, dado que é neste instante que ocorre o fenómeno de reconstrução estrutural da argamassa.

O gráfico correspondente ao regime de velocidade decrescente apresenta-se na Figura 5.8. Como se pode observar, existe um aumento do torque com a diminuição da taxa de deformação, acontecimento dependente dos fenómenos de hidratação e agregação das partículas, mas

também da diminuição da taxa de deformação imposta. A argamassa de referência apresenta assim um comportamento fluidificante.

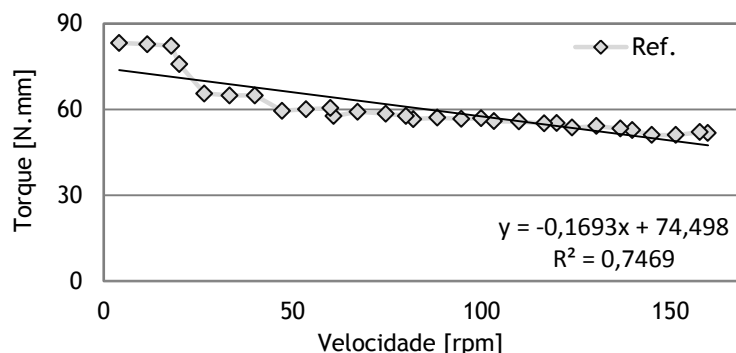


Figura 5.8. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente (Ref.)

5.4.1.2. Argamassas finais

Na Tabela 5.5, apresentam-se as equações que representam o modelo reológico de Bingham, obtidas através da regressão linear dos resultados que compõem as várias curvas descendentes de escoamento, medidas em laboratório. Para melhor perceber todas as variáveis influentes nas argamassas, apresentam-se as equações correspondentes às argamassas finais e às argamassas iniciais realizadas com as dosagens da argamassa de referência.

Tabela 5.5. Equações do modelo reológico de Bingham, perfil “Step”

Argamassas	Argamassas iniciais				Argamassas finais	
	Modelo de Bingham		R^2	Modelo de Bingham		R^2
	$T = g + hN$			$T = g + hN$		
0	Ref.	$T = 74,498 - 0,169N$	0,747	$T = 74,498 - 0,169N$	0,747	
	LS25	$T = 19,492 + 0,070N$	0,967	$T = 68,705 - 0,126N$	0,499	
25	COR25	$T = 17,148 + 0,014N$	0,709	$T = 51,844 - 0,108N$	0,871	
	CEX25	$T = 54,969 - 0,131N$	0,645	$T = 47,808 - 0,078N$	0,648	
	EPS25	$T = 24,873 + 0,002N$	0,002	$T = 47,121 - 0,056N$	0,452	
	LS50	$T = 7,741 + 0,106N$	0,971	$T = 32,091 + 0,067N$	0,761	
50	COR50	$T = 14,112 + 0,008N$	0,323	$T = 48,774 - 0,095N$	0,732	
	CEX50	$T = 60,457 - 0,176N$	0,534	$T = 69,296 + 0,044N$	0,257	
	EPS50	$T = 10,247 + 0,052N$	0,864	$T = 25,220 + 0,050N$	0,928	
	LS75	$T = 16,257 - 0,006N$	0,020	$T = 16,824 + 0,129N$	0,933	
75	COR75	$T = 10,716 + 0,022N$	0,667	$T = 10,962 + 0,009N$	0,239	
	CEX75 _{nova}	$T = 33,764 + 0,046N$	0,264	$T = 39,496 - 0,055N$	0,540	
	EPS75	$T = 18,120 - 0,013N$	0,100	-----	-----	
100	LS100	$T = 16,278 - 0,003N$	0,005	-----	-----	
	COR100	$T = 13,337 + 0,028N$	0,512	-----	-----	
	CEX100 _{nova}	$T = 39,045 - 0,008N$	0,019	$T = 33,892 - 0,026N$	0,227	
	EPS100	$T = 15,976 + 0,027N$	0,255	-----	-----	

Nota: Os valores assinalados a traço interrompido, correspondem às argamassas inviáveis.

A compreensão do comportamento reológico é essencial para a caracterização da trabalhabilidade das argamassas de revestimento. Em seguida será feita uma análise dos vários resultados obtidos para cada um das argamassas em estudo, apresentando-se no final uma síntese dos vários parâmetros comuns aos diversos materiais, para cada uma das percentagens de substituição.

As argamassas com argila expandida apresentaram um comportamento bastante coerente com o ensaio de espalhamento. Esta era uma argamassa que para as condições iniciais já se apresentava fluida, mas que foi ficando ainda mais fluida com o aumento da percentagem de substituição. Esta situação foi verificada também em termos reológicos, dado que as argamassas apresentavam um comportamento espessante, para as primeiras percentagens de substituição e um comportamento fluido para as restantes percentagens. Foi também verificado visivelmente uma diminuição, quase sempre, da área de histerese. Esta área correspondente à área delimitada pelo regime ascendente e descendente das curvas de fluxo indica a energia necessária para a destruição da estrutura. Verifica-se assim, que quanto maior a fluidez da argamassa, menor a energia necessária para separar as partículas da mistura, Anexo B.1. Por sua vez, no caso das argamassas finais fabricadas com este material, Figura 5.9, a percentagem de água utilizada diminui com o aumento da percentagem de substituição, pelo que esta se apresenta fluida para a primeira percentagem, e espessante para as restantes. Neste caso, verificou-se um aumento da área de histerese, havendo curiosamente uma diminuição do torque com o aumento da percentagem de substituição, tendo estes valores sido sempre superiores ou iguais, àqueles obtidos para as argamassas iniciais.

No caso da COR, o comportamento foi também ao encontro do esperado, tendo por base o espalhamento obtido. Para as argamassas iniciais, o espalhamento diminui com o aumento da percentagem de substituição; no reómetro esta situação foi verificada com a obtenção de um comportamento espessante. No entanto foi verificada uma situação particular, a diminuição do espalhamento para as argamassas iniciais pode ser interpretada como um fenómeno de coesão, mas não foi o que se verificou para esta argamassa. Na realidade apesar da diminuição da quantidade de água, com o aumento da percentagem de substituição, a argamassa apresentava uma baixa coesão, devido à diminuição da quantidade de agregados finos naturais com consequente aumento da percentagem de cortiça, material com reduzido teor de finos. Quando inserida no reómetro, a argamassa tende a absorver a água de amassadura, pelo que o comportamento espessante pode estar relacionado em parte, com a diminuição da quantidade de água devido ao aumento da percentagem de substituição e com a absorção de água que caracteriza a cortiça. Por sua vez este é um material viscoelástico, capaz de se deformar sem expansão lateral. Quando retiramos parte dos agregados naturais e aumentamos a percentagem de cortiça, a força necessária a aplicar, será certamente menor, devido às propriedades deste material, pelo que a diminuição do torque verificado neste estudo pode estar assim relacionado com o aumento da percentagem de substituição. Por sua vez, para acertar a consistência das

argamassas no ensaio da mesa de espalhamento foi necessário diminuir a quantidade de água, para as percentagens de 25 e 50%, o que levou a um comportamento fluidificante no reómetro, Figura 5.10. No caso da COR75, onde se aumentou a quantidade de água, esta apresentou um comportamento espessante, situação considerada um pouco contraditória. Verificou-se no entanto também para esta argamassa, uma diminuição da tensão de corte com o aumento da percentagem de substituição, situação já justificada anteriormente.

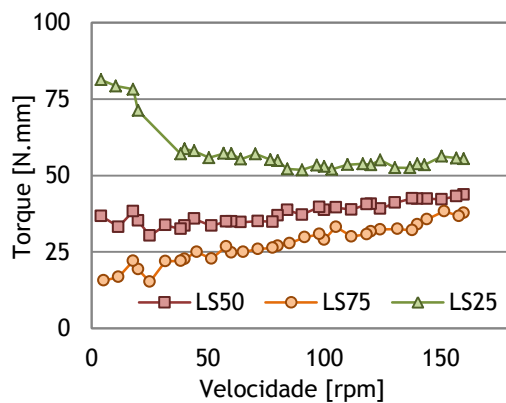


Figura 5.9. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente (LS)

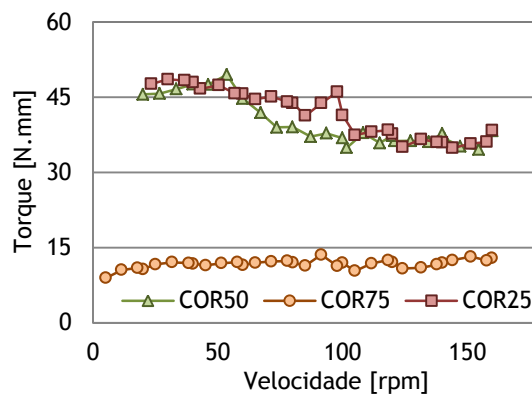


Figura 5.10. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente (COR)

A cortiça expandida foi tendo um comportamento variável com o aumento da percentagem de substituição. Para as argamassas iniciais o espalhamento diminuiu com o aumento da quantidade de agregado, à partida reologicamente o material deveria apresentar inicialmente um comportamento fluido, o que foi verificado, e no final um comportamento espessante, no entanto a CEX100, apresentou um comportamento fluidificante. Este comportamento fluidificante verificado no reómetro pode ter refletido o facto da quantidade de água absorvida pelo agregado ter sido expelida para a mistura durante o ensaio. Por sua vez para se proceder ao ajuste das argamassas finais, foi necessário introduzir grandes quantidades de água, pelo que este material apresentou quase sempre um comportamento fluidificante, Figura 5.11. Verifica-se, no entanto, uma incoerência com a COR50, que aparentemente pode ser explicada pela retirada da totalidade do superplastificante. Verificou-se durante a manipulação da argamassa uma maior plasticidade para a argamassa COR25 com superplastificante comparativamente à argamassa COR50 sem plastificante, podendo ser este o motivo do comportamento revelado por esta argamassa. Posteriormente a quantidade de água necessária para acertar as restantes argamassas foi de tal forma elevada, que o comportamento fluidificante desta argamassa foi de novo estabelecido. Foi ainda verificada uma diminuição do torque, eventualmente devido às propriedades elásticas oferecidas por este material.

Para o EPS, verificou-se para as argamassas iniciais uma diminuição do torque. Esta diminuição do torque deve-se em parte às características do material, assim como ao aumento do espalhamento com o aumento da percentagem de substituição. Para se proceder ao acerto das argamassas houve a necessidade de diminuir a quantidade de água, com o aumento da

percentagem de substituição, pelo que a passagem de um comportamento fluido para um comportamento espessante, no ensaio da reologia, pode estar em parte relacionada com esta situação, Figura 5.12.

Em síntese, verificou-se que todas as argamassas com 25% de substituição apresentam um comportamento fluidificante, assim como valores de torque mais elevados. Observa-se ainda, que para esta percentagem de substituição, as argamassas apresentam um comportamento semelhante àquele observado para a argamassa de referência.

Contatou-se também, que a argamassa que apresentou maior torque foi a de LS e o menor a de EPS. Apesar da resistência às solicitações no estado fresco, para o poliestireno expandido, ser reduzida devido às propriedades de elasticidade e de deformabilidade das suas células, este material vai desenvolver bons comportamentos no estado endurecido.

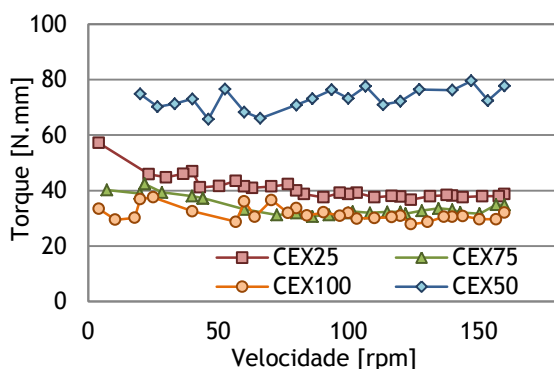


Figura 5.11. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente (CEX)

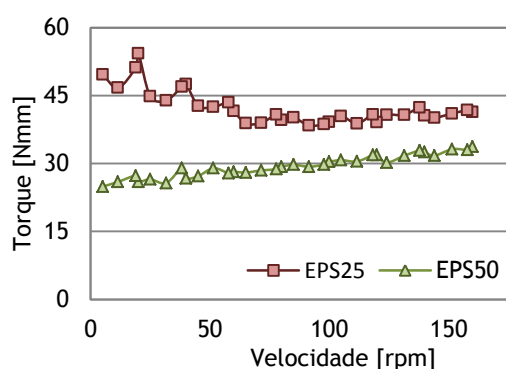


Figura 5.12. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente (EPS)

5.4.2. Perfil “Dwelling”

Este tipo de perfil permite avaliar o comportamento reológico da argamassa desde o fim da mistura até ao início da presa. Pode-se considerar que durante o tempo em que decorre o ensaio o material se encontra num período de encubação ou de dormência, durante o qual ocorre hidratação, mas a uma velocidade muito mais reduzida, uma vez que a mistura se encontra constantemente sujeita a movimentações rotacionais [50,13].

Este perfil foi especialmente concebido para definir a trabalhabilidade durante um determinado período de tempo. Em obra, muitas vezes, a argamassa não pode ser aplicada na hora, pelo que esta deve ter a capacidade de manter a sua trabalhabilidade durante um determinado período de tempo. A compreensão das propriedades reológicas, das argamassas com agregados leves, ao longo do tempo constitui assim, um parâmetro importante a avaliar.

5.4.2.1. Argamassa de referência

Como se pode observar através da Figura 5.13, existe um aumento do torque com o decorrer do tempo de ensaio. Este torque que apresenta um valor crescente com o tempo pode dever-se em parte ao facto de os compostos estarem a começar a realizar os seus processos de hidratação de forma mais efetiva, levando a que a força necessária para destruir as ligações seja cada vez maior.

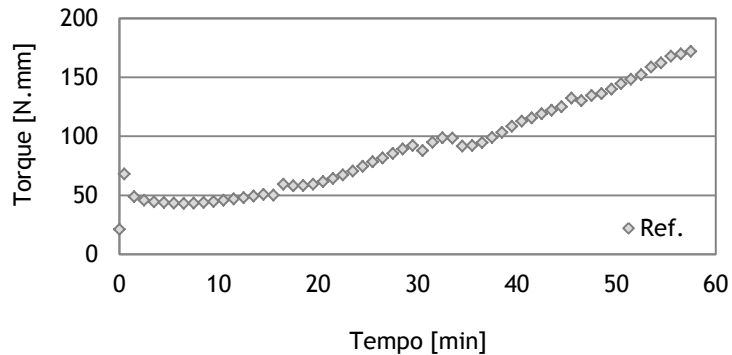


Figura 5.13. Variação do torque em função do tempo de ensaio, para a argamassa de referência (Perfil “Dwelling”, a 160rpm)

Este perfil tem a particularidade de efetuar um decréscimo de torque aos 15, 30, 45 e 60 minutos até zero, seguido do seu acréscimo até às 160 rpm. É nesta redução da velocidade de corte até zero, que se torna possível obter as curvas de fluxo e, assim, proceder à determinação dos diversos parâmetros reológicos das argamassas em estudo, tal como representado na Figura 5.14.

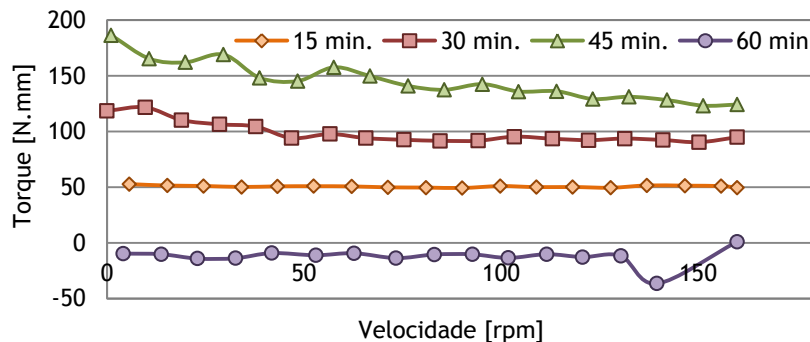


Figura 5.14. Variação do torque em função da velocidade de corte, para a argamassa de referência (Perfil “Dwelling”, a 160rpm)

As curvas de fluxo anteriormente apresentadas mostram um aumento do torque com o decorrer do tempo, verificando-se uma anomalia no ensaio para os resultados obtidos para o tempo de 60 minutos. Conclui-se que o Viskomat NT, após um determinado período de tempo ultrapassou o seu limite máximo de torque, tendo passado a registar valores incoerentes. Verifica-se no entanto, um comportamento fluidificante, devido ao aumento da tensão de corte com a

diminuição da velocidade de corte, devido aos fenômenos de hidratação que se tornam cada vez mais efetivos e à absorção e perda de água da mistura.

5.4.2.2. Argamassas finais

Em seguida serão retratados os principais tempos de ensaio capazes de caracterizar a argamassa ao longo do tempo, mais precisamente os decréscimos de velocidade que ocorrem aos 15 e 60 minutos. Apesar de apenas aqui serem expostos estes dados, os restantes regimes descendentes da velocidade poderão ser consultados, para esclarecimentos adicionais, no Anexo B.2.

Como se pode observar através da Tabela 5.6, as argamassas após submetidas a uma velocidade constante de 160 rpm, durante 15 minutos, apresentam quase sempre um comportamento espessante, tanto para as argamassas iniciais como para as argamassas finais, comportamento distinto daquele observado para a argamassa de referência, cujo comportamento era fluidificante.

Tabela 5.6. Equações do modelo reológico de Bingham, após 15min. de ensaio

Argamassas	Argamassas iniciais			Argamassas finais		
	Modelo de Bingham		R ²	Modelo de Bingham		R ²
	T = g + hN			T = g + hN		
0	Ref.	T = 51,244 - 0,007N	0,135	T = 51,244 - 0,007N	0,135	
25	LS25	T = 26,535 + 0,026N	0,899	T = 30,448 + 0,072N	0,739	
	COR25	T = 14,177 + 0,055N	0,817	T = 28,299 + 0,078N	0,963	
	CEX25	T = 48,872 + 0,013N	0,389	T = 14,177 + 0,055N	0,817	
	EPS25	T = 35,974 + 0,007N	0,174	T = 50,200 + 0,016N	0,513	
50	LS50	T = 9,863 + 0,108N	0,984	T = 91,623 - 0,144N	0,184	
	COR50	T = 12,340 + 0,060N	0,849	T = 22,610 + 0,067N	0,936	
	CEX50	T = 33,116 + 0,009N	0,091	T = 12,340 + 0,060N	0,849	
	EPS50	T = 9,782 + 0,060N	0,963	T = 25,021 + 0,040N	0,924	
75	LS75	T = 2,937 + 0,070N	0,940	T = 32,500 + 0,116N	0,934	
	COR75	T = 17,142 + 0,070N	0,780	T = 15,013 + 0,048N	0,830	
	CEX75 _{nova}	T = 35,234 + 0,061N	0,153	T = 17,142 + 0,070N	0,780	
	EPS75	T = 5,649 + 0,070N	0,950	-----	-----	
100	LS100	T = 6,606 + 0,058N	0,568	-----	-----	
	COR100	T = 18,076 + 0,063N	0,780	-----	-----	
	CEX100 _{nova}	T = 36,081 + 0,007N	0,013	T = 18,076 + 0,063N	0,780	
	EPS100	T = 15,858 + 0,013N	0,120	-----	-----	

Este comportamento espessante verificado para todas as argamassas iniciais é bastante curioso, pois estas possuíam trabalhabilidades bastantes distintas entre si nesta fase. Parece aqui ser bastante perceptível a influência dos agregados leves, na reologia das argamassas.

A argamassa de referência apresentava um comportamento fluidificante. Quando um gradiente de velocidade era imposto, as suas partículas desagregam-se criando uma menor resistência às solicitações aplicadas. O inverso acontece para as argamassas com agregados leves, não devido a

uma melhor ligação entre as partículas dos agregados, mas principalmente devido à absorção de água da argamassa que é mais significativa para estes agregados, fazendo com que a pasta de cimento se torne mais densa, criando assim um comportamento espessante para todas as argamassas.

Também as argamassas finais cumpriram genericamente este comportamento após o seu acerto, uma vez que praticamente todas apresentaram um comportamento espessante. Verifica-se no entanto uma situação particular para a argamassa LS50, cujo comportamento foi fluidificante, indo ao encontro daquele obtido para a argamassa de referência.

Verifica-se também uma diminuição do torque com o aumento da percentagem de substituição para as argamassas com cortiça e EPS, Figura 5.16 e Figura 5.18, ao contrário do que se verifica com as argamassas com argila e cortiça expandida, cujo torque parece ter-se mantido relativamente constante com o aumento da percentagem de substituição, Figura 5.15 e 5.17. Este comportamento distinto entre os diversos materiais pode ser explicado, pelo facto da cortiça natural e o EPS, terem uma estrutura alveolar formada por células com características de deformabilidade, permitindo que exista expansão lateral das células com recuperação quase total após a solitação. Verifica-se ainda que entre cada um dos materiais a viscosidade aparente permanece praticamente constante, apesar das diferentes percentagens de substituição.

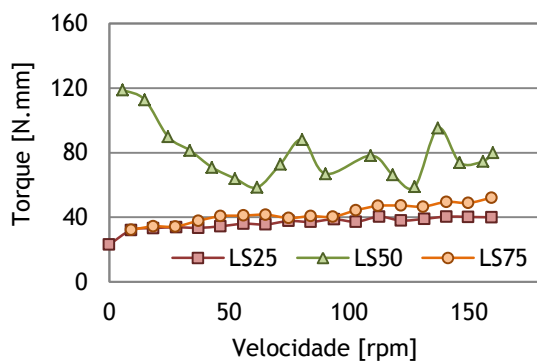


Figura 5.15. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (LS)

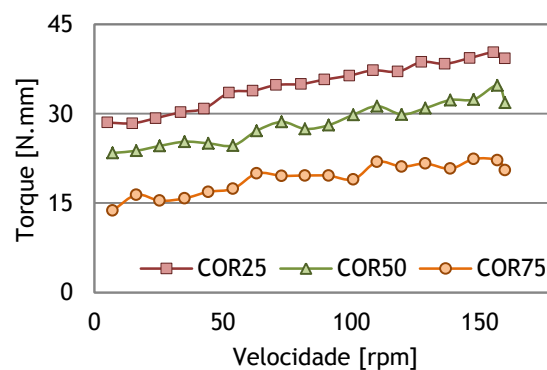


Figura 5.16. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (COR)

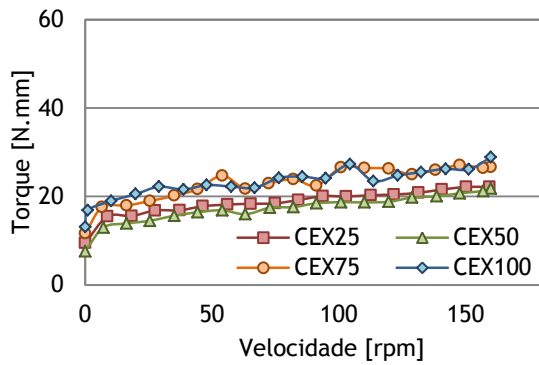


Figura 5.17. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (CEX)

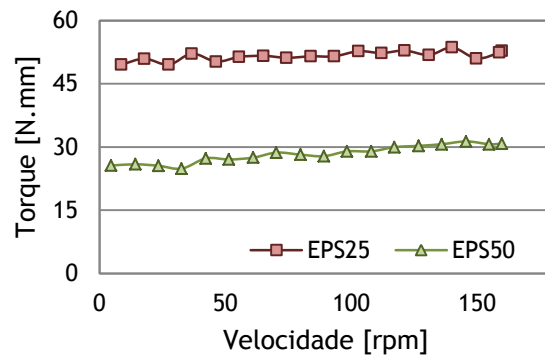


Figura 5.18. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (EPS).

Constatou-se ainda, que os valores de torque aumentaram com a redução da quantidade de água de amassadura necessária ao acerto das argamassas, e que ocorreu o inverso sempre houve a necessidade de acrescentar água. Conclui-se assim, que a quantidade de água de amassadura possui também um papel preponderante nas características reológicas das argamassas, podendo influir notavelmente no seu comportamento e torque.

Importa agora analisar o comportamento das argamassas após os 60 minutos, do ensaio de reologia, Tabela 5.7. Nesta tabela, encontra-se assinalado a verde, o comportamento reológico da argamassa de referência, devido à incoerência anteriormente referida para este tempo de ensaio.

Tabela 5.7. Equações do modelo reológico de Bingham, após 60 min. de ensaio

Argamassas	Argamassas iniciais				Argamassas finais			
	Modelo de Bingham		R ²	Modelo de Bingham		R ²		
	T = g + hN			T = g + hN				
0	Ref.	T = - 10,626 - 0,019N	0,015	T = - 10,626 - 0,019N	0,015			
25	LS25	T = 91,171 - 0,134N	0,836	T = 83,252 + 0,078N	0,040			
	COR25	T = 23,455 + 0,045N	0,736	T = 69,421 + 0,111N	0,331			
	CEX25	T = 98,468 - 0,089N	0,334	T = 75,942 - 0,094N	0,553			
	EPS25	T = 101,111 - 0,120N	0,639	T = 81,554 + 0,047N	0,102			
50	LS50	T = 28,811 + 0,052N	0,906	T = 84,297 + 0,026N	0,049			
	COR50	T = 41,210 + 0,033N	0,522	T = 40,909 + 0,028N	0,253			
	CEX50	T = 38,750 + 0,001N	0,001	T = 19,857 + 0,025N	0,903			
	EPS50	T = 18,188 + 0,025N	0,852	T = 56,996 - 0,054N	0,438			
75	LS75	T = 7,564 + 0,053N	0,771	T = 79,740 + 0,095N	0,117			
	COR75	T = 29,451 + 0,050N	0,495	T = 21,790 + 0,043N	0,749			
	CEX75 _{nova}	T = 38,158 + 0,053N	0,117	T = 20,526 + 0,015N	0,557			
	EPS75	T = 7,231 + 0,033N	0,958	-----	-----			
100	LS100	T = 6,938 + 0,051N	0,594	-----	-----			
	COR100	T = 18,126 + 0,053N	0,752	-----	-----			
	CEX100 _{nova}	T = 35,958 - 0,023N	0,063	T = 18,398 + 0,015N	0,703			
	EPS100	T = 12,678 + 0,008N	0,141	-----	-----			

Após submetidas a uma velocidade de 160 rpm durante 1h, as argamassas continuaram a apresentar um comportamento bastante semelhante àquele verificado para o tempo de ensaio de 15 minutos. Todas as argamassas apresentam um aumento do torque com o passar do tempo, no entanto, as argamassas iniciais com baixa percentagem de substituição e a COR100, após sujeitas a estas forças durante este elevado período tempo, passaram a desenvolver um comportamento fluidificante, tal como aquele apresentado pela argamassa de referência, possivelmente devido à reduzida percentagem de substituição, que as torna mais semelhantes à argamassa de referência. Por sua vez, a COR100 apresenta este comportamento peculiar, possivelmente devido à elevada percentagem de substituição que o caracteriza e ao aspeto pouco coeso verificado no ensaio de espalhamento, que se refletiu de forma mais efetiva com o decorrer do tempo de ensaio.

Também as argamassas finais, apresentaram um comportamento semelhante àquele já verificado para o patamar de 15 minutos. Existem, no entanto alguns comportamentos particulares na tabela, que poderão ser resultado da baixa percentagem de substituição ou das propriedades do material, que se fez sentir de forma mais significativa com o decorrer do ensaio. Verifica-se mais uma vez que o torque das argamassas com COR e EPS, Figura 5.20 e 5.22, oscila consoante a percentagem de substituição, enquanto nas argamassas com LS e CEX, Figura 5.19 e 5.21, este parece apresentar-se praticamente constante, em quase todos os casos. A viscosidade também aqui parece apresentar-se como uma constante para cada um dos materiais, independentemente da percentagem de substituição. Esta viscosidade poderá ser resultado, dos níveis de consistência que foram estabelecidos inicialmente, através do ensaio da mesa de espalhamento.

Observa-se mais uma vez, um aumento significativo do torque com o passar do tempo, para todas as argamassas. Este aumento poderá estar diretamente relacionado com a perda de água intergranular por absorção de água do agregado, evaporação de água da mistura, perda do efeito do superplastificante (fator com grande influência na plasticidade das argamassas) e início da hidratação do cimento, que apesar de ainda numa fase inicial, pode contribuir de forma significativa para este aumento.

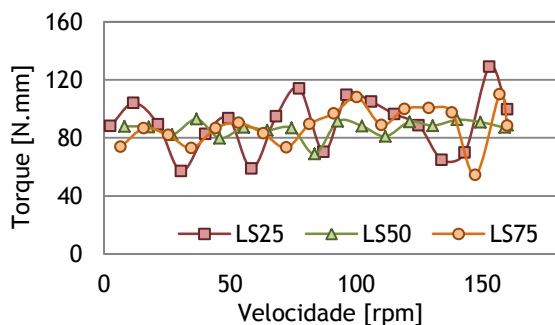


Figura 5.19. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (LS)

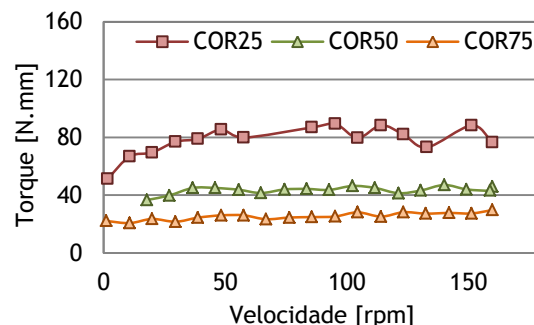


Figura 5.20. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (COR)

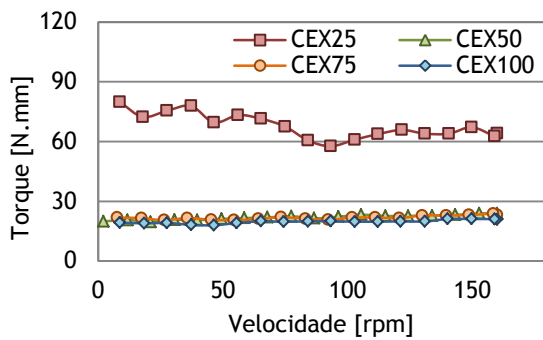


Figura 5.21. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (CEX)

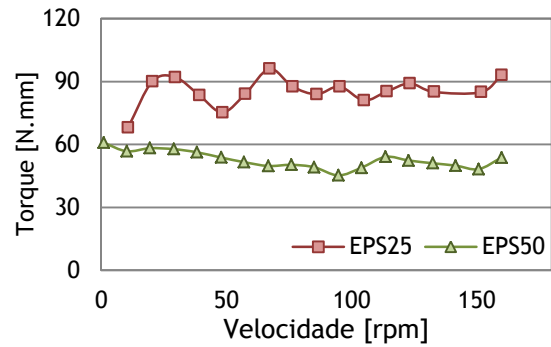


Figura 5.22. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (EPS)

Importa ainda referir que todas as argamassas apresentaram um aumento do torque com o passar do tempo, Anexo B.2, exceto as argamassas com CEX, a partir dos 50% de substituição. Esta argamassa teve eventualmente este comportamento singular devido à elevada quantidades de água que serviu de dosagem à sua formulação. Esta quantidade de água apesar de não se ter refletido no comportamento da argamassa reduziu de forma significativa o torque, com o tempo, especialmente a partir dos 50% de substituição.

Estas variações podem também ser observadas na Figura 5.21, cujo comportamento diferiu substancialmente entre a argamassa CEX25 e as restantes. Importa referir, que a CEX25, era a única argamassa com este material que continha SP e que a longo prazo o SP começa a perder o efeito. Como esta argamassa é caracterizada por uma baixa percentagem de substituição, esta começa a desenvolver um comportamento similar aquele observado para a argamassa de referência, com o decorrer do tempo, enquanto as restantes argamassas, desenvolveram um comportamento espessante, em parte devido às características de absorção que caracterizam este material.

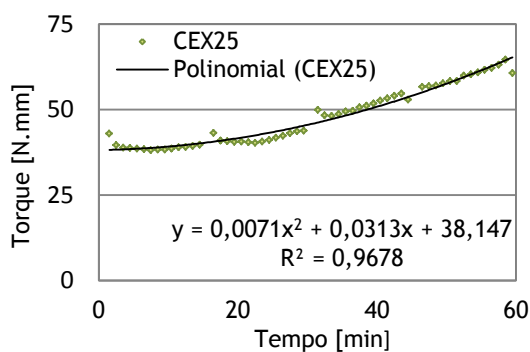


Figura 5.23. Variação do torque em função do tempo de ensaio (CEX25)

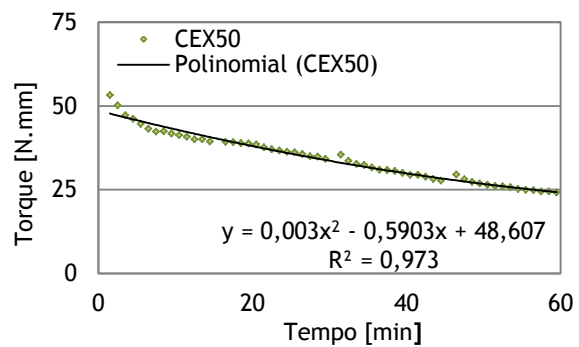


Figura 5.24. Variação do torque em função do tempo de ensaio (CEX50)

5.5. Caracterização das argamassas no estado endurecido

Em seguida serão apresentados e discutidos os resultados das propriedades das argamassas no estado endurecido.

5.5.1. Massa Volúmica

Em seguida apresenta-se os valores resultantes da determinação da massa volúmica seca e saturados dos diversos provetes, Tabela 5.8 e Figura 5.25.

Tabela 5.8. Massa Volúmica seca e saturada dos provetes no estado endurecido

Argamassas		γ_{seca} [kg/m ³]	Sd [kg/m ³]	$\gamma_{saturada}$ [kg/m ³]	Sd [kg/m ³]
0	Ref.	1843,9	5,0	2042,1	4,8
	LS25	1716,9	9,0	1899,0	8,7
25	COR25	1565,2	8,8	1722,4	8,1
	CEX25	1621,7	5,6	1858,6	3,5
	EPS25	1653,1	18,9	1848,9	19,4
	LS50	1541,8	44,9	1701,6	12,4
50	COR50	1259,4	30,4	1403,4	28,4
	CEX50	1315,8	43,1	1635,5	5,0
	EPS50	1408,6	26,7	1605,2	27,8
	LS75	1304,2	34,5	1472,0	36,1
75	COR75	753,7	23,0	960,2	36,9
	CEX75 _{nova}	999,6	10,5	1365,1	11,2
100	CEX100 _{nova}	660,1	3,4	1098,7	3,2

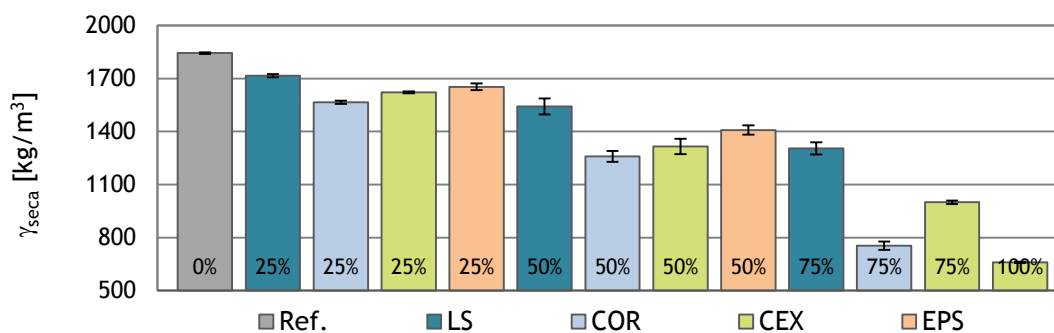


Figura 5.25. Massa volúmica seca dos provetes no estado endurecido

Como se pode observar através da Figura 5.25, a massa volúmica dos provetes secos é sempre inferior, em aproximadamente 15%, relativamente à massa volúmica dos provetes saturados. A diferença entre estas duas massas volúmicas pode ser um indicador da quantidade de água absorvida pelos agregados, dando uma indicação acerca do volume de vazios existente na argamassa.

Verifica-se também, uma diminuição da massa volúmica com o aumento da percentagem de substituição e do tipo de agregado. Salientando-se que as argamassas apresentaram valores crescentes de massa volúmica, para todas as percentagens de substituição, pela seguinte ordem de agregados leves: COR, CEX, EPS e Leca, constituindo a argamassa de referência a mais densa de todas as argamassas.

Segundo a classificação de MERUC, as argamassas produzidas encontram-se divididas entre as classes 1, 2 e 4, com base na massa volúmica. Verifica-se também que a designação até aqui adotada para as argamassas poderá não ser mais adequada, de acordo com a norma EN 998-1 [18]. Segundo esta norma só são consideradas argamassas leves, aquelas cuja massa volúmica apresenta valores inferiores a 1300 kg/m^3 , requisito este não verificado por muitas das argamassas em estudo. Sendo assim, todas as argamassas que não cumprirem este requisito, passaram a ser integradas no âmbito das monomassas e não das argamassas leves.

5.5.2. Resistência à flexão e compressão

Os ensaios de flexão e compressão foram realizados sempre aos 28 dias. Os provetes fabricados foram inicialmente submetidos ao ensaio de flexão, usando-se posteriormente as metades resultantes deste ensaio, para a realização do ensaio à compressão. Os resultados obtidos apresentam-se expostos nos Figuras 5.26 e 5.27.

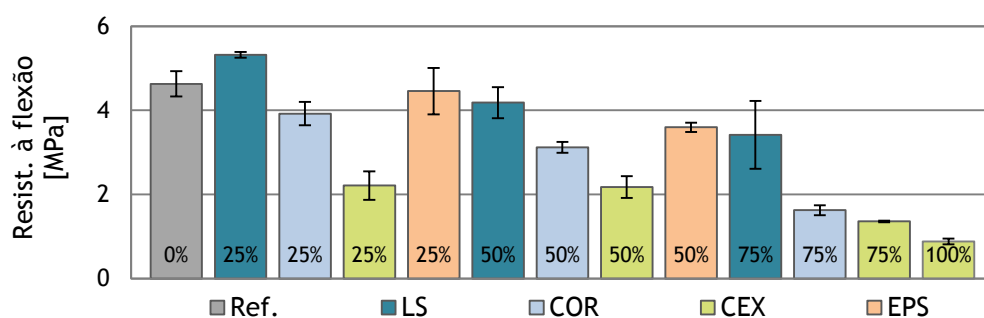


Figura 5.26. Resistência à flexão

Verifica-se que as argamassas com percentagem de substituição de EPS e Leca baixas (até 50%) não apresentam grande diferença nos resultados do ensaio à flexão, comparativamente com a argamassa de referência. Também se denota uma crescente diminuição desta resistência, com o aumento da percentagem de substituição.

Através da classificação de MERUC, observa-se ainda que as argamassas se encontram distribuídas entre todas as classes desta norma, consoante a resistência à flexão que caracteriza cada uma.

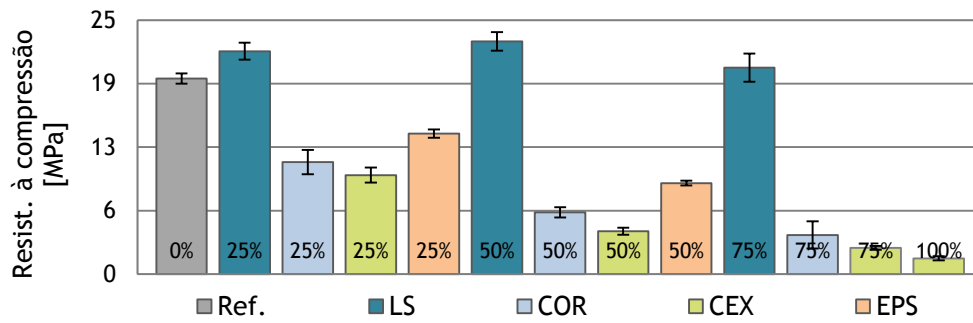


Figura 5.27. Resistência à compressão

Os valores da resistência à compressão também se demonstraram bastante curiosos, em especial, para as argamassas com Leca. Independentemente da percentagem de substituição deste agregado, a argamassa apresentou sempre resistências iguais ou superiores à de referência. Evidencia-se aqui o efeito de menores W/C e ainda da redução da água intergranular devido à absorção da água pelo agregado reduzindo a relação W/C efetiva na argamassa.

Evidenciaram-se também bons comportamentos mecânicos para as restantes argamassas com agregados leves. Concluindo-se que a utilização destes agregados em argamassas poderá ser viável do ponto de vista da resistência à compressão e flexão.

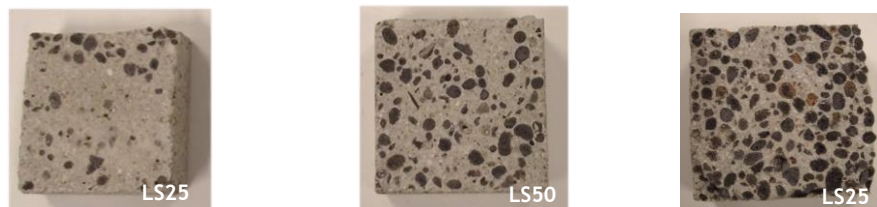
Através dos valores obtidos constata-se para cada tipo de agregado uma diminuição das resistências das argamassas, com a percentagem de substituição. Uma argamassa para fins de revestimento não necessita de valores extraordinários de resistência à compressão. Na realidade, a norma referencia um valor mínimo, bem mais baixo do que aqueles obtidos para algumas das argamassas em estudo. Contudo este facto também não constitui nenhum problema, pelo contrário, conjuntamente com outras propriedades poderá tornar-se numa alternativa válida para as argamassas de revestimentos em estudo.

Como foi indicado no Capítulo 2, existe uma série de requisitos normativos a satisfazer pelas argamassas, consoante a tipologia ou o fim a que se destinam. No presente estudo, pretendia-se obter monomassas, com agregados leves. Estas argamassas, não são mais do que argamassas leves, de revestimento, aplicadas numa só camada, ao invés do tradicional (chapisco, emboço e reboco). No entanto a norma, estabelece critérios distintos para monomassas e argamassas com agregados leves, pelo que se tentará sempre que possível ir ao encontro dos dois requisitos, para as argamassas que sejam abrangidas pelas duas classificações.

Na norma EN 998-1 [18], é especificado que as argamassas leves devem ter uma resistência à compressão compreendida entre as classes CS I e CS III, correspondendo a uma resistência que varia entre 0,4 MPa e 7,5 MPa, e que as resistências das monomassas deverão estar compreendidas no mesmo intervalo, abrangendo ainda a classe CS IV o que permite obter resistências à compressão superiores a 6 MPa.

Um dos parâmetros que se pode avaliar é a distribuição dos agregados nas argamassas pela observação da secção transversal dos prismas resultantes do ensaio de flexão e compressão. Na Figura 5.28, são apresentadas imagens representativas desta secção. Como se pode observar, os agregados apresentaram uma distribuição uniforme em quase todos os casos, excetuando-se o caso da CEX75, cuja pasta sofreu segregação.

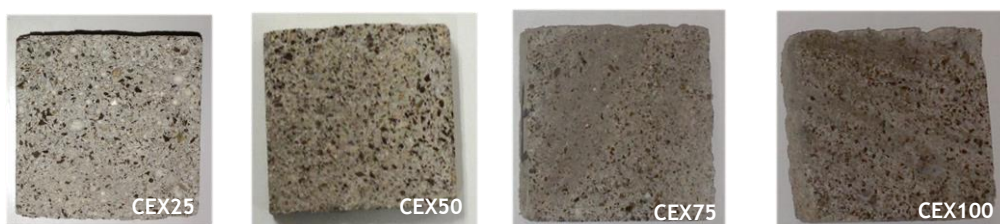
Argamassas com argila expandida:



Argamassas com cortiça natural:



Argamassas com cortiça expandida:



Argamassas com poliestireno expandido:



Figura 5.28. Distribuição dos agregados nas argamassas (secção transversal de 4 x 4 cm)

Também se pode ainda avaliar outro parâmetro com base nos resultados obtidos, a razão R_t/R_c , coeficiente que pode ser interpretado como um indicador da ductilidade das argamassas, Tabela 5.9. Segundo Veiga, *et al* [68], quando mais elevado for este parâmetro, mais dúctil será a argamassa. Um comportamento mais dúctil permite otimizar o comportamento das argamassa perante as tensões a que esta sujeito, diminuindo os esforços transmitidos ao suporte.

Tabela 5.9. Parâmetro R_t/R_c

Argamassas		R_t/R_c
0	Ref.	0,24
	LS25	0,24
25	COR25	0,36
	CEX25	0,23
	EPS25	0,32
	LS50	0,18
50	COR50	0,51
	CEX50	0,51
	EPS50	0,40
	LS75	0,17
75	COR75	0,42
	CEX75 _{nova}	0,52
100	CEX100 _{nova}	0,56

Através dos dados obtidos verifica-se que as argamassas que apresentam maior ductilidade são aquelas compostas por cortiça, sendo as que apresentam menor ductilidade, as argamassas com Leca. Parece aqui ser bastante significativa a influência da deformabilidade dos materiais, na ductilidade das argamassas.

5.5.3. Resistência de aderência à tração (“Pull-off”)

O ensaio de resistência de aderência à tração foi realizado com o intuito de perceber a aderência das diversas argamassas ao substrato onde estavam aplicadas. Para a realização do ensaio recorreu-se a blocos de betão, existentes no laboratório. Em cada bloco foram realizados três provetes para cada uma das argamassas. Apresenta-se na Figura 5.29 e na Tabela 5.10, os resultados obtidos, assim como o tipo de rotura predominante para as argamassas.

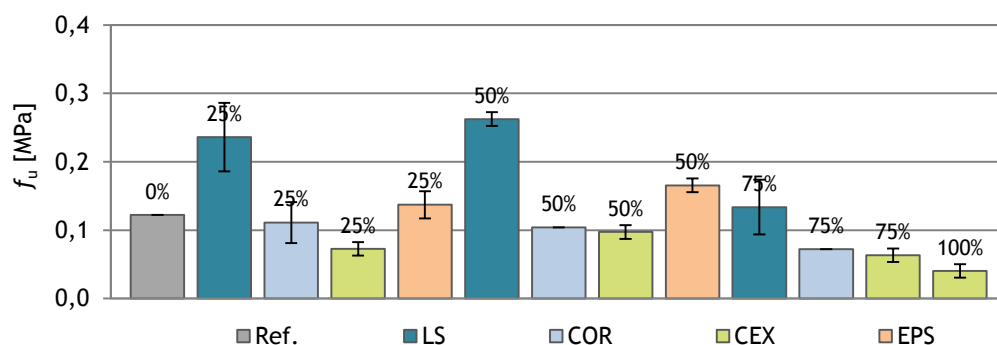


Figura 5.29 Resistência de aderência à tração

Tabela 5.10. Ensaio de aderência, resultados e tipos de rotura obtidos

Argamassas		Resistência à tração, f_u [MPa]	Sd [MPa]	Tipo de rotura	
% de Substituição	0	Ref.	0,12	0,00	Rotura ligação argamassa-substrato
		LS25	0,24	0,05	Rotura pelo substrato
	25	COR25	0,11	0,03	Rotura pela argamassa
		CEX25	0,07	0,01	Rotura ligação argamassa-substrato
	50	EPS25	0,14	0,02	Rotura ligação argamassa-substrato
		LS50	0,26	0,01	Rotura pelo substrato
		COR50	0,10	0,00	Rotura pela argamassa
		CEX50	0,10	0,01	Rotura pela argamassa
	75	EPS50	0,17	0,01	Rotura pela argamassa
		LS75	0,13	0,04	Rotura ligação argamassa-substrato
		COR75	0,07	0,00	Rotura pela argamassa
		CEX75 _{nova}	0,06	0,01	Rotura pela argamassa
	100	CEX100 _{nova}	0,04	0,01	Rotura pela argamassa

Conforme se verifica, a argamassa com Leca registou o valor mais elevado de resistência de aderência. Esta situação poderia ter sido prevista pelos excelentes resultados que se verificaram no seu comportamento à flexão e compressão, no entanto não era previsível que a sua aderência fosse de tal forma elevada, que ocorresse uma rotura pelo substrato.

O substrato utilizado para a realização deste ensaio, constitui um meio poroso. Quando a argamassa LS50, foi aplicada, gerou-se uma zona de “ancoragem” coesa entre os dois materiais, devido à entrada da pasta de cimento, nos poros do bloco de betão, desenvolvendo uma excelente resistência na interface argamassa-bloco. Esta ligação perfeita da argamassa com o substrato pode ser observada na Figura 5.30. Importa referir que a resistência de aderência foi de pelo menos 0,26 MPa, uma vez que a rotura ocorreu pelo substrato.



Figura 5.30. Rotura pelo substrato em argamassas com argila expandida

A rotura pela ligação argamassa-substrato, Figura 5.31, deu-se em especial para as argamassas com menor percentagem de substituição, de referência e para a argamassa LS75, cujo comportamento mecânico já tinha apresentado bons resultados à compressão e flexão. Nestas argamassas verificou-se uma rotura perfeita e lisa na ligação, tendo a argamassa se desprendido dos poros do substrato uniformemente.



Figura 5.31. Rotura pela ligação argamassa-substrato em argamassas com CEX

Por sua vez, a rotura pela argamassa, Figura 5.32, deu-se em especial para as argamassas com CEX e para argamassas com percentagem de substituição superior ou igual a 50%. Para este tipo de rotura destaca-se a elevada resistência à tração da argamassa com EPS50. Este material, surpreendentemente, tem apresentado dos melhores comportamentos mecânicos. Apesar de não ter sido possível criar argamassas para além dos 50% de substituição de EPS, este tem sido um material muito interessante, pelos seus excelentes desempenhos.



Figura 5.32. Rotura pela argamassa em argamassas com EPS, COR, CEX

Importa ainda referir, uma situação menos favorável que ocorreu para as argamassas CEX75 e CEX100. Depois de aplicar a argamassa sobre os provetes, estes eram colocados dentro de uma câmara de cura ($HR \geq 90\%$ e $22^\circ C$) durante 7 dias. No entanto, passadas 24h, constatou-se o desenvolvimento de pequenas fissuras, resultantes de uma rápida perda de água da argamassa. Estas pequenas fissuras e elevada quantidade de água são alguns dos fatores responsáveis pelos reduzidos valores de resistência à tração verificados.

Foram também observadas algumas correlações entre a razão W/C e a resistência de aderência, constatando-se que quanto menor esta razão, maiores as resistências obtidas.

5.5.4. Absorção de água por capilaridade

Os valores dos coeficientes de capilaridade apresentam-se na Figura 5.33.

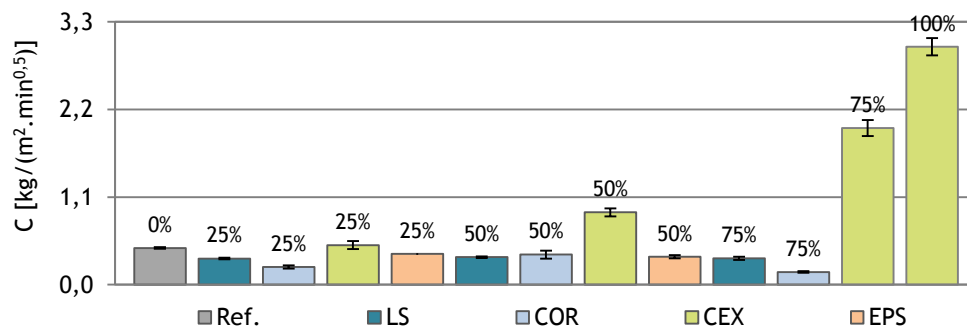


Figura 5.33. Coeficiente de capilaridade das argamassas

Verifica-se através dos valores obtidos, que os resultados do coeficiente de capilaridade em argamassas com agregados leves são ainda mais reduzidos, que aqueles verificados para a argamassa de referência. Observa-se também uma redução deste coeficiente, com o aumento da percentagem de substituição.

Este fenómeno pode ser explicado, através dos estudos realizados sobre a estrutura porosa das argamassas, nomeadamente da zona de ITZ, apresentada no Capítulo 2. Segundo diversos autores [15, 53, 54], existem vantagens em utilizar agregados leves secos, ao invés de saturados. Quando estes agregados são utilizados secos, estes têm tendência a absorver uma determinada quantidade de pasta, para o interior dos seus poros. Durante o processo de hidratação, gera-se uma zona mais densa, na zona de interface entre a argamassa e o agregado, criando-se uma impermeabilização destes poros. Sendo assim, a água que à partida poderia entrar dentro dos poros, já não o poderá fazer, pois estes já se encontram preenchidos com argamassa, verificando-se uma redução da capilaridade, em argamassas com agregados leves. Este fenómeno foi também verificado no presente estudo.

Salienta-se no entanto, uma incoerência com a CEX, devido à elevada quantidade de água que incorporava esta argamassa. Quando ocorreu o processo de hidratação, a água que não era necessária a este processo, permaneceu nos poros da argamassa até que as condições de cura permitissem que esta evaporasse, criando-se uma porosidade de matriz. O elevado coeficiente de capilaridade, observado para este material, encontra-se assim interligado, com estes poros resultantes da evaporação da água, que são extremamente prejudiciais à capilaridade da argamassa.

Este comportamento foi ainda verificado, ao longo do tempo, no gráfico de absorção capilar, tal como se pode observar na Figura 5.34.

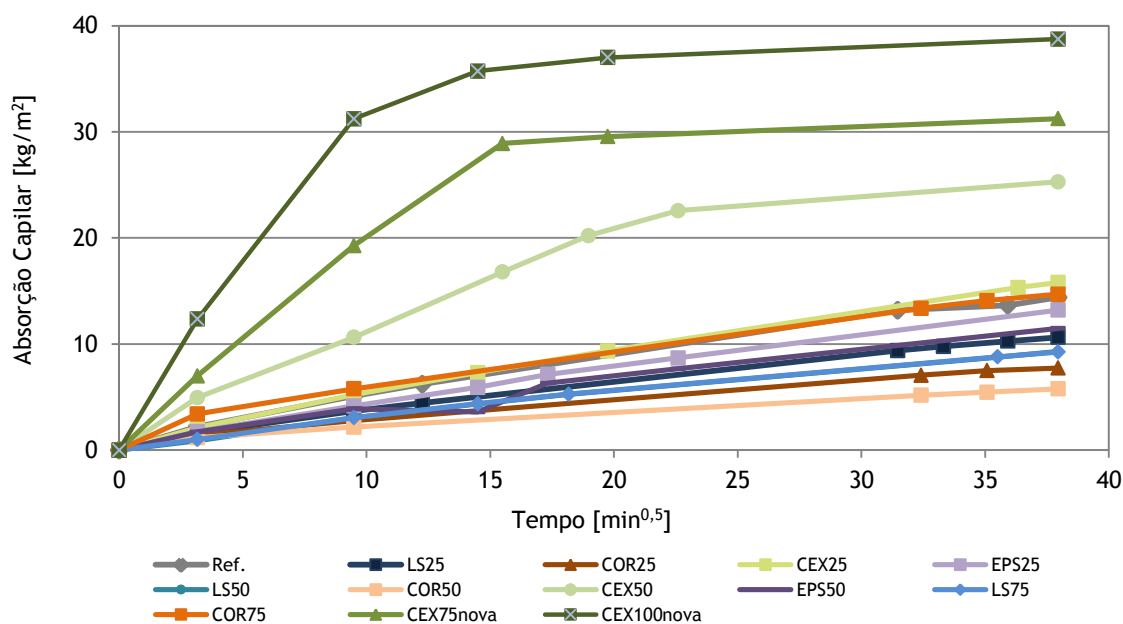


Figura 5.34. Absorção capilar das argamassas

As argamassas em estudo encontram-se inseridas nas classes 1, 2 e 3 da classificação de MERUC, dependendo do tipo de argamassa.

Também a norma europeia EN 998-1 [18], especifica valores para o coeficiente de capilaridade. Segundo esta norma, se as argamassas forem do tipo monomassas, devem apresentar um coeficiente de capilaridade inferior a $0,4 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{min}^{0.5})$, situação verificada. Caso se enquadrem nas argamassas leves, o comportamento não é especificado, pelo que não interfere com os resultados obtidos.

5.5.5. Retração livre

Em seguida, apresenta-se na Figura 5.35 os valores resultantes do ensaio de retração aos 28 dias. Como se pode observar no caso das argamassas com Leca e EPS a retração manteve-se aproximadamente constante para as diversas percentagens de substituição, indo os valores ao encontro daqueles observados para a argamassa de referência. A cortiça, por sua vez, volta a demonstrar um comportamento inadequado, atingindo valores demasiado elevados de retração.

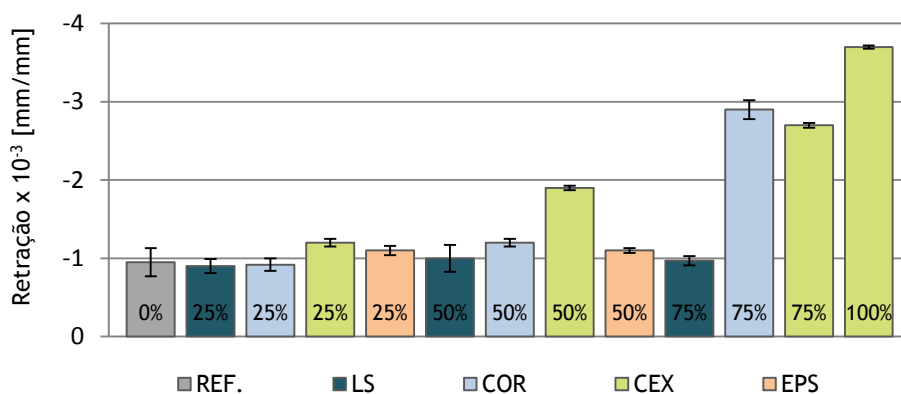


Figura 5.35 Retração aos 28 dias de idade

Como se pode verificar através da evolução da retração com o tempo, Figura 5.36, as cortiças continuam a ter um comportamento anómalo, em especial a CEX. Observa-se visivelmente que a retração desta cortiça, aparenta ainda não ter estabilizado, pelo que além dos valores excessivos que a caracterizam, poderá ainda vir a desenvolver retrações mais elevadas.

A elevada quantidade de água que serviu de dosagem a estas argamassas, constitui uma das principais razões dos valores obtidos. Consta-se assim que esta argamassa poderá vir a desenvolver características pouco propícias para argamassas de revestimentos. Eventualmente poder-se-ia recorrer a outro tipo de formulação para melhorar as características da argamassa.

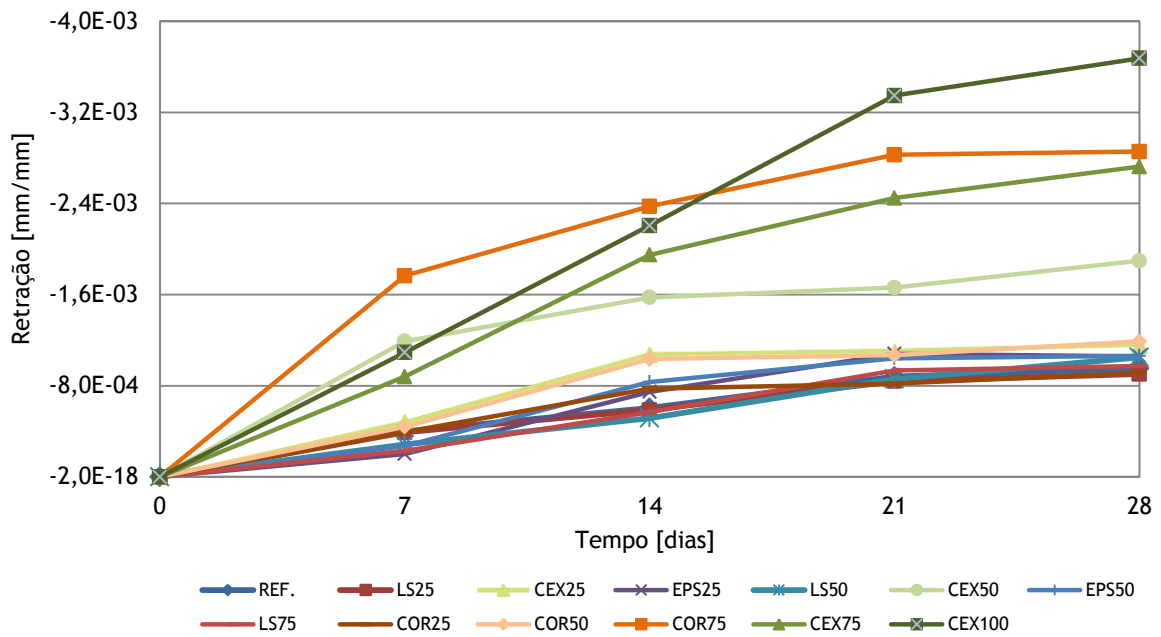


Gráfico 5.36. Evolução da retração com o tempo

Verifica-se ainda um comportamento similar entre quase todas as argamassas em termos de perda de massa com o tempo (Figura 5.37), excetuando-se o caso das argamassas com cortiça, para as percentagens de 75 e 100%.

Observa-se no entanto, a partir dos 7 dias, uma perda de massa pouco significativa, para todas as argamassas, pelo que os materiais possuem uma perda de massa linear até aos 7 dias, seguida de uma estabilização a partir desta idade.

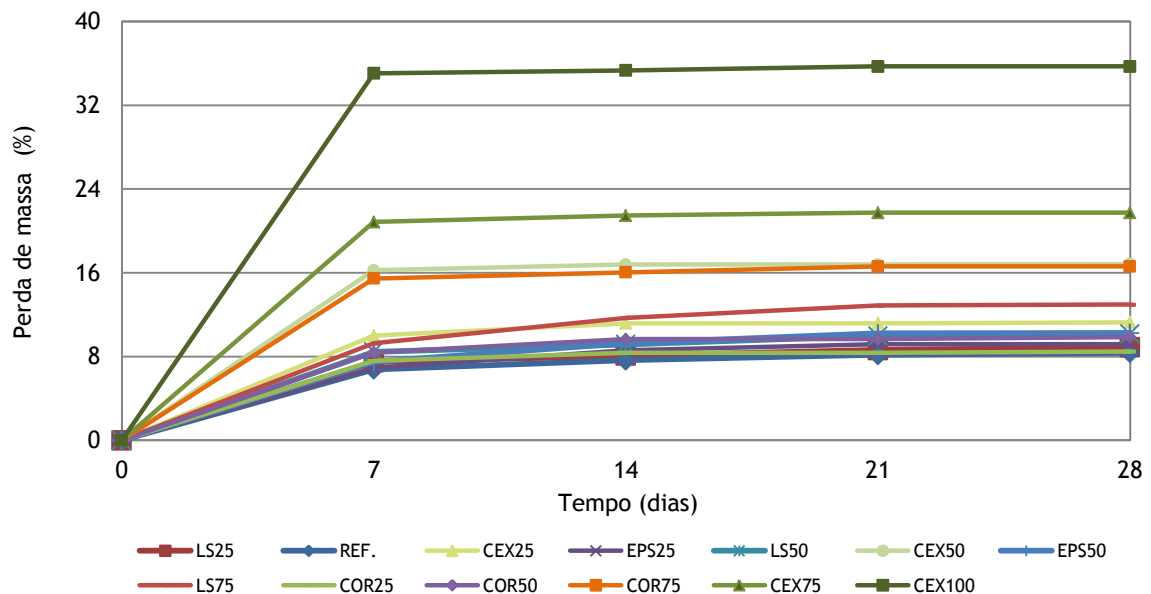


Figura 5.37. Perda de massa das argamassas com o tempo

6. Conclusões e propostas para trabalhos futuros

6.1. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo o estudo do comportamento de argamassas de revestimento com agregados leves no seu estado fresco e endurecido, procurando-se antes de mais, definir uma formulação viável para as argamassas em estudo.

De uma forma geral, pode-se indicar que a maioria das argamassas teve um comportamento adequado, indo ao encontro das normas vigentes e apresentando boa trabalhabilidade no seu estado fresco. Verificou-se de forma bastante significativa a influência dos agregados leves nas mais diversas propriedades das argamassas, tendo cada uma delas um comportamento distinto consoante o tipo de agregado e percentagem de substituição. Constatou-se ainda a influência das dosagens de água e de superplastificante nas argamassas, sendo que estas se apresentavam com melhor consistência e plasticidade para baixas razões W/C e na presença de superplastificante.

Para além das características referidas, constatou-se ainda que as dosagens de água e de superplastificante para as argamassas com agregados leves diferiram sempre daquelas adotadas na argamassa de referência. Para essas dosagens as argamassas com agregados leves não conseguiam alcançar a trabalhabilidade pretendida.

As argamassas finais, após correção das dosagens de água e de superplastificante, por sua vez, apresentavam-se coesas, consistentes, plásticas e com uma trabalhabilidade adequada. No estado fresco estas argamassas apresentaram um teor de ar baixo e uma retenção de água elevada, propriedades bastantes favoráveis, nomeadamente quando se trata de agregados leves, materiais com elevada absorção de água.

Com este estudo verificaram-se alguns resultados que se julgam de extrema importância em termos reológicos para as argamassas de revestimento. No entanto, as argamassas tiveram comportamentos bastante distintos entre si, devido ao tipo e percentagem de substituição de agregados que caracteriza cada uma das argamassas em estudo.

Do ponto de vista do comportamento reológico, constatou-se que a argamassa de referência, independentemente da taxa de corte a que é submetida, apresenta sempre um comportamento fluidificante. As suas partículas após desagregadas (desligadas) e quando sujeitas a uma velocidade crescente, apresentam uma diminuição do torque, tendo a capacidade de recuperar parte da coesão, quando submetidas a uma menor taxa de deformação, devido a uma nova ligação das suas partículas. Importa lembrar que em argamassas, utilizam-se os termos destruição e reconstrução da estrutura, sendo que as argamassas apresentam uma destruição estrutural irreversível, após submetidas a uma determinada taxa de corte. Esta destruição estrutural irreversível pôde ser observada em todas as argamassas em estudo.

Para as argamassas com agregados leves, os comportamentos foram bastante distintos, pelo que se fará uma síntese apenas dos fatores que se julgam mais importantes. Como já foi verificado, constatou-se uma destruição estrutural irreversível para todas as argamassas em estudo. Foi também verificado que as dosagens de água utilizadas possuem um papel fundamental no desenvolvimento de comportamentos do tipo espessantes ou fluidificantes, tendo estes comportamentos quase sempre oscilado, com a forma como se ajustou as dosagens da argamassa, para a consistência pretendida. Também se observou a influência do tipo, natureza e forma do agregado no comportamento reológico das argamassas. Constatou-se que, com o aumento da percentagem de substituição, o torque tende a diminuir na maioria dos casos, devido às propriedades viscoelásticas que caracterizam estes materiais e que permitem que estes se deformem sem expansão lateral. Analogamente, também o comportamento espessante de algumas argamassas se encontra associado às propriedades que caracterizam estes materiais, nomeadamente ao seu elevado poder de absorção. Observou-se ainda que todas as argamassas com baixa percentagem de substituição, nomeadamente aquelas com 25%, apresentam um comportamento fluidificante devido à baixa percentagem de substituição que caracteriza estas argamassas, tendo-se verificado um maior torque para as argamassas com argila expandida e o menor para as argamassas com EPS.

Quando se faz uma análise destas argamassas a longo prazo, o comportamento difere da análise realizada a curto prazo. No perfil que permitiu analisar as argamassas com o decorrer do tempo de ensaio observou-se quase sempre um comportamento espessante, comportamento diferente daquele obtido para a argamassa de referência, cujo comportamento continuou a ser do tipo fluidificante. Foi ainda possível verificar que nas argamassas com COR e EPS ocorre uma diminuição do torque com o aumento da percentagem de substituição, enquanto as argamassas com LS e CEX apresentavam um torque relativamente constante entre todas as percentagens de substituição. Também em termos de viscosidade se verificou um valor quase constante entre os diversos tipos de materiais utilizados em argamassas.

Pode-se concluir assim, em termos reológicos, que o tipo e percentagens de substituição influenciam de forma completamente diferenciada as mais diversas argamassas. Verifica-se que, para todas as argamassas, existe um significativo aumento do torque com o passar do tempo. Este aumento dever-se-á possivelmente à perda de água intergranular por absorção de água do agregado, evaporação de água da mistura, perda do efeito do superplastificante (fator com grande influência na plasticidade das argamassas) e o início da hidratação do cimento, que apesar de inicial, contribui também para os valores obtidos. Caso se pretenda industrializar estas argamassas deverá ser definido um tempo de trabalhabilidade, que não comprometa as suas características, sendo que a absorção de água realizada pelo agregado será uma dificuldade que precisará de ser averiguada de forma a ser ultrapassada.

Neste estudo realizou-se a análise de algumas propriedades no estado endurecido. Neste estado verificaram-se comportamentos favoráveis para estas argamassas. A maioria destas argamassas

conseguiu alcançar valores de resistência à compressão, flexão e de aderência por tração, bastante elevados e combinados com baixos valores de capilaridade e retração.

Uma elevada aderência, conjuntamente com uma baixa retração e um elevado poder de retenção de água, são algumas das características expectáveis de se obter em argamassas de revestimento, para que a argamassa possua uma baixa fissuração e elevada durabilidade, pelo que os valores obtidos parecem assim ser extremamente válidos para um adequado desempenho das argamassas de revestimento.

Importa referir os reduzidos valores de capilaridade, que à partida devido às propriedades dos materiais se esperavam relativamente elevados, mas que contrariamente ao que seria de esperar se demonstraram ainda mais reduzidos do que aqueles obtidos para a argamassa de referência. Parece assim haver um contributo destes agregados para a melhoria desta propriedade.

Dos materiais analisados no presente trabalho salienta-se, pela negativa, a cortiça expandida (CEX), cujo comportamento não se demonstrou adequado em muitas propriedades. Este material possui uma granulometria demasiado fina, traduzindo-se numa elevada superfície específica, o que gerou um aumento bastante notável da quantidade de água a utilizar. Como se sabe a água necessária à obtenção de uma argamassa, deve ser criteriosamente calculada, para que seja suficiente para os processos de hidratação. No entanto, quando utilizada em excesso esta tende a evaporar, criando poros no interior da matriz da argamassa, gerando elevadas capilaridades e retração, e reduzidas resistências mecânicas. Todas estas características menos propícias foram verificadas. Não significa, no entanto, que este material não possa vir a ser bastante vantajoso quando empregue numa diferente granulometria, ou sob diferentes condições.

Salienta-se ainda, que a maioria das argamassas em estudo se encontram em conformidade com as normas vigentes, tendo cumprindo genericamente os resultados especificados para as argamassas de revestimento.

6.2. Propostas para trabalhos futuros

Este trabalho mostrou a viabilidade da produção de argamassas com agregados leves (reciclados ou de origem industrial). Com este estudo foi possível obter comportamentos coerentes com a normalização vigente, quer no estado fresco, quer no estado endurecido. Seria agora interessante aprofundar as restantes propriedades que não foram analisadas nesta dissertação, indo também ao encontro das exigências normativas.

Seria interessante uma análise do comportamento térmico de cada uma destas argamassas, de forma a avaliar os melhoramentos em termos de higrometria interior.

Também poderia ser relevante a análise destas argamassas para diferentes formulações. Assim como a análise da cortiça expandida (CEX), usando uma distribuição granulométrica diferente,

dado que apesar dos valores alcançados, esta poderá tornar-se eficaz quando aplicada numa granulometria, por exemplo, semelhante àquela adotada para a cortiça (COR), material não muito distinto em termos de propriedades e cujo comportamento foi bem mais favorável.

Poderia também ser interessante uma análise do ponto de vista da durabilidade, sob condições normais de exposição.

Referências bibliográficas

- [1] **Agostinho C.** - Estudo da Evolução do Desempenho no Tempo de Argamassas de Cal Aérea, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, IST, Lisboa, 2008.
- [2] **Azevedo A. C.** - Betões de elevado desempenho com incorporação de cinzas volantes, PhD, Universidade do Minho, Minho, 2002.
- [3] **Banfill P. G.** - Structural Breakdown and rheology of cement mortar, 11th International congress on Rheology, 1992, pp. 790-792.
- [4] **Banfill P.F.G.** - Rheology of fresh cement and concrete: A review, 11th International Cement Chemistry Congress, Durban, May, 2003.
- [5] **Banfill P.G.** - Feasibility study of a coaxial cylinders viscometer for mortar, *Cement and Concrete Research* 17, 1987, pp. 329-339.
- [6] **Barnes H. A., Hutton J. F., Walters K.** - An introduction to Rheology, Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics, University of Wales, Elsevier, 2000.
- [7] **Bauer E.** - Dosagem de argamassas: Relatório técnico, Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM), Universidade de Brasília, Brasil, Brasília, Junho 1998.
- [8] **Berlofa A.** - A viabilidade do uso de poliestireno expandido na indústria da construção civil, Centro Paula Souza: Centro Tecnológico da zona leste, Brasil, São Paulo, 2009.
- [9] **Botas S.** - Avaliação do comportamento de argamassas em climas frios, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, UNL, Lisboa, 2009.
- [10] **Centre Scientifique et Technique du Batiment** - Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation : Classification MERUC, Livraison 341, cahier 2669-3, Paris, juillet-août 1993.
- [11] **Cincotto M. A., Silva M. A. C., Carasek H.** - Argamassas de revestimento: Propriedades, características e métodos de ensaio, IPT, Brasil, São Paulo, 1995.
- [12] **Cincotto, M. A.** - Argamassas de revestimento: Características, Propriedades e Métodos de ensaio, IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Boletim 68, São Paulo, 1995.
- [13] **Coutinho A.S** - Fabrico e propriedades do betão, Volume 1, 2^a Edição, LNEC, Portugal, Lisboa, 1988.
- [14] **Cruz N.** - Estuda da Influência da Granulometria das Areias no Desempenho de Rebocos de Ligantes Hidráulicos, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, IST, Lisboa, 2008.
- [15] **Elsharief A., Cohen M.D., Olek J.** - Influence of lightweight aggregate on the microstructure and durability of mortar, *Cement and Concrete Research* 35, Elsevier Ltd, 2005, pp. 1368-1376.
- [16] **EMO** - EMOdico: Dicionário Técnico, 3^a Edição, European Mortar Industry Organization, 2001.
- [17] **Especificação LNEC E 64** - Cimentos. Determinação da massa volúmica, 1979.
- [18] **European Committee for Standardization EN 998-1**- Specification for mortar for masonry. Part 1: Rendering and plastering mortar, Bruxelas, 2003.
- [19] **European Committee of Standardization EN 1015-10** - Methods of test for mortar for masonry. Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar, Bruxelas, Agosto, 1999.
- [20] **European Committee of Standardization EN 1015-11** - Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, Bruxelas, Agosto, 1999.

- [21] **European Committee of Standardization EN 1015-12** - Methods of test for mortar for masonry. Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates, Bruxelas, Fevereiro, 2000.
- [22] **European Committee of Standardization EN 1015-18** - Methods of test for mortar for masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar, Bruxelas, Dezembro, 2002.
- [23] **European Committee of Standardization EN 1015-2** - Methods of test for mortar for masonry. Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars, Bruxelas, Outubro, 1998.
- [24] **European Committee of Standardization EN 1015-3** - Methods of test for mortar for masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table), Bruxelas, Fevereiro, 1999.
- [25] **European Committee of Standardization EN 1015-6** - Methods of test for mortar for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar, Bruxelas, Outubro, 1999.
- [26] **European Committee of Standardization prEN 1015-13** - Methods of test for mortar for masonry. Part 13: Determination of dimensional stability of hardened mortars, Bruxelas, Setembro, 1995.
- [27] **European Committee of Standardization prEN 1015-8** - Methods of test for mortar for masonry. Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar, Bruxelas, Setembro, 1999.
- [28] **Frade D., Tadeu A., Torres I., Mendes P., Simões N., Matias G., Neves A.** - Argamassas industriais com incorporação de granulado de cortiça, 4º Congresso Português de argamassas, APFAC, Coimbra, 2012.
- [29] **Gil L.** - Cortiça: Produção, Tecnologia e Aplicação, Ed. INETI, Lisboa, 1998.
- [30] **Gil L.** - Manual Técnico: A cortiça como material de construção, APCOR, Portugal.
- [31] **Golaszewski J., Szwabowski J.** - Influence of superplasticizers on rheological behavior of fresh cement mortars, *Cement and Concrete Research* 34, 2004, pp. 235-248.
- [32] **Guimarães J.** - A Cal: Fundamentos e aplicações na Engenharia Civil, PINI, Brasil, São Paulo, 1998.
- [33] **Harini M., Shaalini G., Dhinak G.** - Effect of Size and Type of Fine Aggregates on Flowability of Mortar, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2012, pp. 163-168.
- [34] **Leal M.** - Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado, Dissertação de mestrado, IPS, Setúbal, 2012.
- [35] **Lo L., Gao X.F., Jeary A.P.** - Microstructure of pre-wetted aggregate on lightweight concrete, *Build Environment* 34, 1999, pp. 759-764.
- [36] **Marques S.** - Estudo de argamassas de Reabilitação de Edifícios Antigos. Dissertação de mestrado em Engenharia dos Materiais, UA, Aveiro, 2005.
- [37] **Martins A.** - Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, IST, Lisboa, Novembro, 2008.
- [38] **Martins M.** - Comportamento físico de argamassas de reboco com regranulado negro de cortiça, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, IST, Outubro, 2010.
- [39] **Mattana A., Costa M.** - Estudo da influência de aditivo dispersante no comportamento reológico de argamassas de revestimento, 3º Congresso português de argamassas de construção, APFAC, Lisboa, 2010.
- [40] **Moravia W., Oliveira C. A. S., Gumieri A. G., Vasconcelos W. L.** - Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Brasil, Belo Horizonte, *Cerâmica* 52, 2006, pp. 193-199.

- [41] **Norma Portuguesa NP EN 1008** - Água de amassadura para betões. Especificações para a amostragem, ensaio e avaliação da aptidão da água, incluindo água recuperada nos processos da indústria de betão, para o fabrico de betão, IPQ, Lisboa, 2003.
- [42] **Norma portuguesa NP EN 1097-3** - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte3: Determinação da Baridade e do volume de vazios, IPQ, Lisboa 2002.
- [43] **Norma Portuguesa NP EN 1097-6** - Ensaio das Propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água, IPQ, Lisboa, 2003.
- [44] **Norma Portuguesa NP EN 197-1** - Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes, IPQ, Lisboa, 2001.
- [45] **Norma Portuguesa NP EN 933-1** - Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte1: Análise Granulométrica. Método de Peneiração, IPQ, Lisboa, 2000.
- [46] **Norma Portuguesa NP EN 934-2** - Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte 2: Adjuvantes para betão. Definições, requisitos, conformidade, marcação e etiquetagem, IPQ, Lisboa, 2009.
- [47] O montado, acessado em 07 de maio 2013, em <http://apcor.pt/artigo/montado.htm>.
- [48] **Oliveira I. R., Studart A. R., Pillegi R. G., Pandolfelli V. C.** - Dispersão e empacotamento de partículas: Princípios e aplicação em processamento cerâmico. 18ª Ed., Fazenda Arte Editora, 2000.
- [49] **Ozguven A., Gunduz L.** - Examination of effective parameters for the production of expanded clay aggregate, *Cement & Concrete Composites* 34, 2012, pp. 781-787.
- [50] **Paiva H. M.** - Caracterização Reológica de Argamassas, Dissertação de mestrado em Ciência e Engenharia dos materiais, UA, Aveiro, 2005.
- [51] **Penas F.** - Argamassas de cal hidráulica para revestimentos de paredes, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, IST, Lisboa, 2008.
- [52] **Poletto M.** - Obtenção e caracterização de compósitos preparados com poliestireno expandido reciclado e pó de madeiras, Dissertação de mestrado em Ciência e Engenharia de materiais, Universidade de Caxias do Sul, Brasil, 2009.
- [53] **Punkki J., Gjorv O. E.** - Effect of water absorption by aggregate properties of high-strength lightweight concrete, *International Symposium on structure lightweight aggregate concrete*, Norwegian Concrete Association, Holand, 1995, pp. 604-616.
- [54] **Punkki J., Gjorv O. E., Monteiro P. J.** - Microstructure of high-strength lightweight aggregate concrete, 4th Int. Symposium on utilization of high-strength/high-performance Concrete, Paris, France, 1996, pp. 604-616
- [55] Quercus, Associação nacional de conservação da natureza, acessado em maio de 2013, em http://ecocasa.pt/userfiles/file/POLIESTIRENO_EXPANDIDO.pdf.
- [56] **RILEM, MR-3**, The Complex Workability: Consistence, Plasticity, France 1982.
- [57] **Sabbatini F.** - Tecnologia de execução de argamassas de revestimento de argamassas, 13º Simpósio de aplicação da tecnologia do betão, Serrana, Brasil.
- [58] **Santos H.** - Monografia: Ensaio de aderência das argamassas de revestimento, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, Dezembro, 2008
- [59] **Sika** - Tecnologia Sika Viscocrete, Sika Portugal SA, Junho, 2010.
- [60] **Silva R.** - Argamassas com adição de fibras: Estudo do comportamento reológico e mecânico, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, São Paulo, 2006.
- [61] **Silva R.** - Melhoría Sísmica de edifícios com recurso a paredes de CorBe, Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica, UA, Aveiro, 2008.

- [62] **Sousa A.** - Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento de alvenarias, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, FEUP, Porto, 2010.
- [63] **Sousa J. G., Bauer E.** - Estudo da Reologia das argamassas de revestimento no estado fresco, Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Brasil, Natal, 2002.
- [64] **Tattersal G. H.** - The rheology of fresh concrete. Ed. Pitman, London, 1983.
- [65] **Torgal F.P., Jalali S.** - Construção Sustentável: O Caso dos Materiais de Construção, 3º Congresso nacional de Construção, Coimbra, 2007.
- [66] **Veiga M.** - Comportamento de argamassas de revestimentos de paredes: Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação, PhD, LNEC, Lisboa, 1998.
- [67] **Veiga M.** - Comportamento de revestimentos de fachadas com base em ligante mineral: Exigências funcionais e avaliação do desempenho, 1º Congresso Nacional de argamassas de construção, Lisboa, Novembro, 2005.
- [68] **Veiga M. R. et al** - Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos, Coleção Edifícios, LNEC, Lisboa, Julho, 2004.
- [69] **Vieira J.** - Interação cimento - superplastificante : Avaliação da estabilidade do comportamento, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, IST, Lisboa, Outubro, 2010.
- [70] **Vieira M. R.** - Betão auto-compactável: Reologia do betão no estado fresco, PhD, IST, 2008.
- [71] **Westerholm M., Lagerblad B., Silfwerbrand J., Forssberg E.** - Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars, Cement & Concrete Composites 30, 2008, pp. 274-282.
- [72] **Zhang M., Giorv O. E.** - Microstructure of the interfacial zone between lightweight aggregates and cement past, Cement and Concrete Research 20, 1990, pp. 610-618.

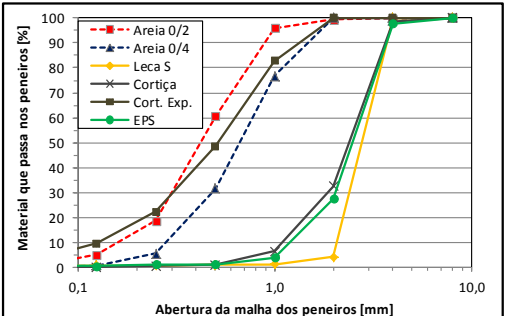
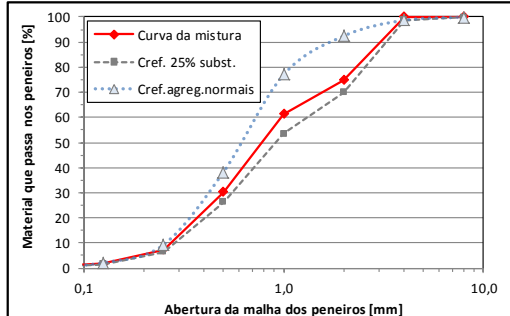
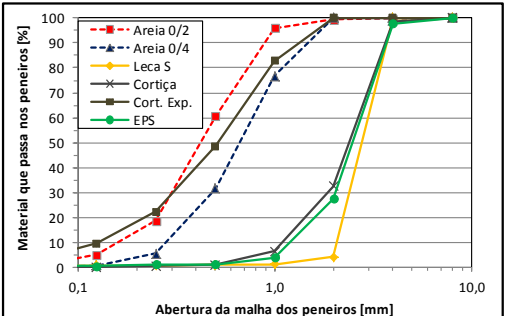
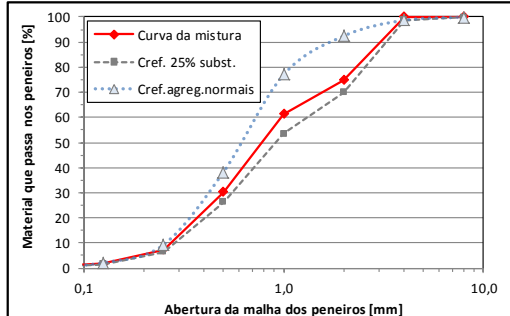
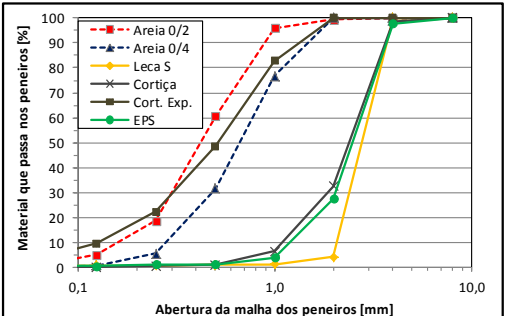
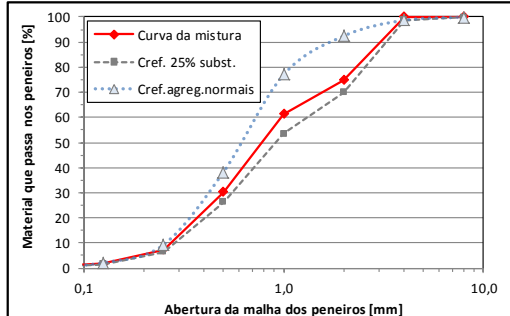
Anexos

Anexo A
ESTUDO DAS ARGAMASSAS

Anexo A.1
ARGAMASSA DE REFERÊNCIA

Anexo A.2
ARGAMASSAS FINAIS

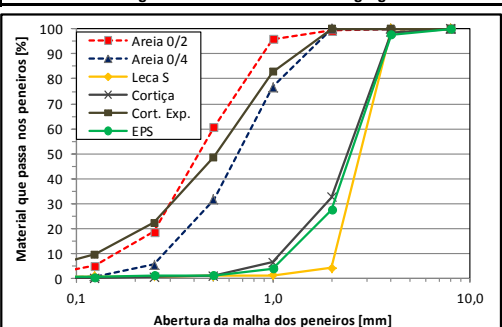
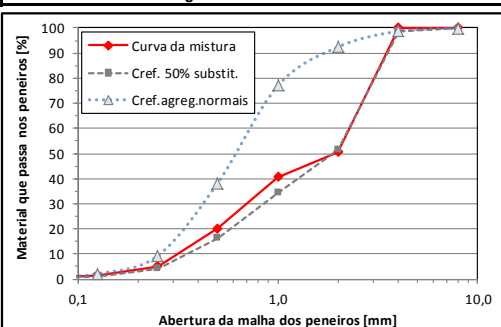
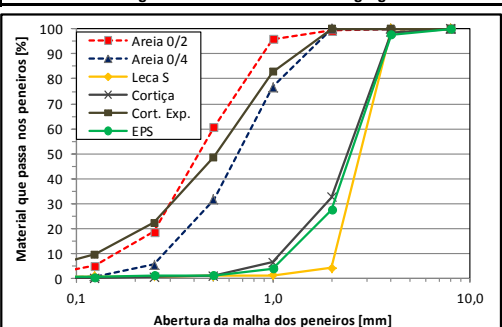
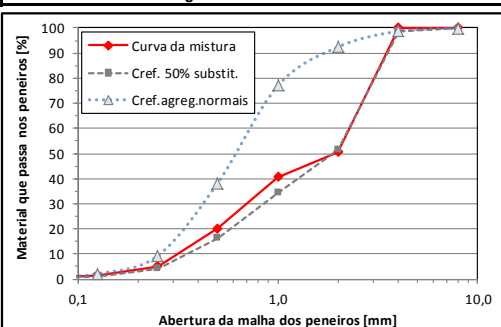
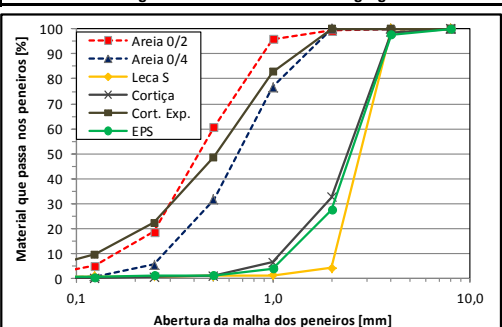
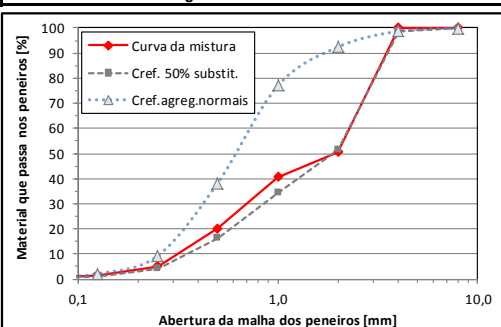
Tabela A.2.1. Composição da argamassa LS25

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																													
Identificação da argamassa			Operador			Data																																																																																																																							
LS25			Paula Barroca			16-01-2013																																																																																																																							
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas			Fracções granulométricas																																																																																																																							
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾	Nota: as frações granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise da distribuição granulométrica dos agregados.																																																																																																																							
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000																																																																																																																								
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475																																																																																																																								
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico	Agregados	Volume específico	Fração unitária																																																																																																																					
Areia 0/2	1293,3	2559,0	1,250	1,506	1,825	Areia 0/2	1,825	0,232																																																																																																																					
Areia 0/4	1425,0	2586,0	2,500	3,319	3,979	Areia 0/4	3,979	0,506																																																																																																																					
Leca S	420,0	736,9	1,250	0,489	2,058	Leca S	2,058	0,262																																																																																																																					
Cortiça	95,7	148,5	0,000	0,000	0,000	Cortiça	0,000	0,000																																																																																																																					
Cort. Exp.	86,7	250,7	0,000	0,000	0,000	Cort. Exp.	0,000	0,000																																																																																																																					
EPS	12,2	39,1	0,000	0,000	0,000	EPS	0,000	0,000																																																																																																																					
Adjuvante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000 Soma de controlo			Total: 7,861 1,000																																																																																																																							
Visco 3005	---	1050	Percent. de substituição			25,0																																																																																																																							
Água	---	1000	Visco 3005 (ml/kg cimento)			8,0																																																																																																																							
			Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾			14,0%																																																																																																																							
						Vol. de vazios (litros/m ³) 30																																																																																																																							
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th colspan="6">Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado</th> </tr> <tr> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Leca S</th> <th>Cortiça</th> <th>Cort. Exp.</th> <th>EPS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>8,000</td><td>99,99</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>4,000</td><td>99,90</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>98,78</td><td>100,00</td><td>97,70</td></tr> <tr><td>2,000</td><td>99,31</td><td>100,00</td><td>4,20</td><td>32,52</td><td>100,00</td><td>27,59</td></tr> <tr><td>1,000</td><td>96,04</td><td>76,70</td><td>1,13</td><td>6,48</td><td>82,86</td><td>4,02</td></tr> <tr><td>0,500</td><td>60,67</td><td>31,57</td><td>0,95</td><td>1,01</td><td>48,59</td><td>1,15</td></tr> <tr><td>0,250</td><td>18,79</td><td>5,52</td><td>0,81</td><td>0,51</td><td>22,27</td><td>1,15</td></tr> <tr><td>0,125</td><td>5,13</td><td>0,87</td><td>0,71</td><td>0,10</td><td>9,69</td><td>0,57</td></tr> <tr><td>0,063</td><td>0,68</td><td>0,17</td><td>0,56</td><td>0,00</td><td>3,48</td><td>0,57</td></tr> <tr><td>Resíduo</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>Mód. Finura</td><td>2,202</td><td>2,853</td><td>4,922</td><td>4,606</td><td>2,366</td><td>4,678</td></tr> </tbody> </table>							Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado						Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS	8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70	2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59	1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02	0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15	0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15	0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57	0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Curva da mistura</th> <th>Cref. agreg. normais</th> <th>Erro médio percentual</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100,00</td><td>99,92</td><td>0,08</td></tr> <tr><td>99,98</td><td>98,68</td><td>1,29</td></tr> <tr><td>74,76</td><td>92,44</td><td>17,67</td></tr> <tr><td>61,41</td><td>77,02</td><td>15,62</td></tr> <tr><td>30,31</td><td>38,22</td><td>7,91</td></tr> <tr><td>7,37</td><td>9,21</td><td>1,84</td></tr> <tr><td>1,82</td><td>2,12</td><td>0,30</td></tr> <tr><td>0,39</td><td>0,32</td><td>0,08</td></tr> <tr><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>3,244</td><td>2,824</td><td>4,976</td></tr> </tbody> </table>			Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual	100,00	99,92	0,08	99,98	98,68	1,29	74,76	92,44	17,67	61,41	77,02	15,62	30,31	38,22	7,91	7,37	9,21	1,84	1,82	2,12	0,30	0,39	0,32	0,08	0,00	0,00	0,00	3,244	2,824	4,976
Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado																																																																																																																												
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS																																																																																																																							
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																							
4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70																																																																																																																							
2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59																																																																																																																							
1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02																																																																																																																							
0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15																																																																																																																							
0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15																																																																																																																							
0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57																																																																																																																							
0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57																																																																																																																							
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																							
Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678																																																																																																																							
Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual																																																																																																																											
100,00	99,92	0,08																																																																																																																											
99,98	98,68	1,29																																																																																																																											
74,76	92,44	17,67																																																																																																																											
61,41	77,02	15,62																																																																																																																											
30,31	38,22	7,91																																																																																																																											
7,37	9,21	1,84																																																																																																																											
1,82	2,12	0,30																																																																																																																											
0,39	0,32	0,08																																																																																																																											
0,00	0,00	0,00																																																																																																																											
3,244	2,824	4,976																																																																																																																											
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="7">Curvas granulométricas de todos os agregados</th> <th colspan="3">Curva granulométrica da mistura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="7">  </td> <td colspan="3">  </td> </tr> </tbody> </table>							Curvas granulométricas de todos os agregados							Curva granulométrica da mistura																																																																																																															
Curvas granulométricas de todos os agregados							Curva granulométrica da mistura																																																																																																																						
																																																																																																																													
Dosagens da argamassa para o volume indicado:						Parâmetros da argamassa																																																																																																																							
Volume: 1000 litros <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>CEM I 42,5R</td><td>246,6</td><td>kg</td></tr> <tr><td>Cal Hidratada</td><td>87,3</td><td>kg</td></tr> <tr><td>Areia 0/2</td><td>371,5</td><td>kg</td></tr> <tr><td>Areia 0/4</td><td>818,7</td><td>kg</td></tr> <tr><td>Leca S</td><td>120,6</td><td>kg</td></tr> <tr><td>Cortiça</td><td>0,0</td><td>kg</td></tr> <tr><td>Cort. Exp.</td><td>0,0</td><td>kg</td></tr> <tr><td>EPS</td><td>0,0</td><td>kg</td></tr> <tr><td>Visco 3005</td><td>1,97</td><td>litros</td></tr> <tr><td>Água</td><td>225,2</td><td>litros</td></tr> <tr><td>Massa total</td><td>1871,9</td><td>kg</td></tr> </table>			CEM I 42,5R	246,6	kg	Cal Hidratada	87,3	kg	Areia 0/2	371,5	kg	Areia 0/4	818,7	kg	Leca S	120,6	kg	Cortiça	0,0	kg	Cort. Exp.	0,0	kg	EPS	0,0	kg	Visco 3005	1,97	litros	Água	225,2	litros	Massa total	1871,9	kg	Volume: 1,50 litros <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>CEM I 42,5R</td><td>369,96</td><td>g</td></tr> <tr><td>Cal Hidratada</td><td>130,99</td><td>g</td></tr> <tr><td>Areia 0/2</td><td>557,25</td><td>g</td></tr> <tr><td>Areia 0/4</td><td>1227,98</td><td>g</td></tr> <tr><td>Leca S</td><td>180,97</td><td>g</td></tr> <tr><td>Cortiça</td><td>0,00</td><td>g</td></tr> <tr><td>Cort. Exp.</td><td>0,00</td><td>g</td></tr> <tr><td>EPS</td><td>0,00</td><td>g</td></tr> <tr><td>Visco 3005</td><td>3,11</td><td>g</td></tr> <tr><td>Água</td><td>337,80</td><td>g</td></tr> <tr><td>Massa total</td><td>2808,06</td><td>g</td></tr> </table>			CEM I 42,5R	369,96	g	Cal Hidratada	130,99	g	Areia 0/2	557,25	g	Areia 0/4	1227,98	g	Leca S	180,97	g	Cortiça	0,00	g	Cort. Exp.	0,00	g	EPS	0,00	g	Visco 3005	3,11	g	Água	337,80	g	Massa total	2808,06	g	Razão água/(mat. cimentíceos) 0,674 Razão água/cimento 0,913																																																					
CEM I 42,5R	246,6	kg																																																																																																																											
Cal Hidratada	87,3	kg																																																																																																																											
Areia 0/2	371,5	kg																																																																																																																											
Areia 0/4	818,7	kg																																																																																																																											
Leca S	120,6	kg																																																																																																																											
Cortiça	0,0	kg																																																																																																																											
Cort. Exp.	0,0	kg																																																																																																																											
EPS	0,0	kg																																																																																																																											
Visco 3005	1,97	litros																																																																																																																											
Água	225,2	litros																																																																																																																											
Massa total	1871,9	kg																																																																																																																											
CEM I 42,5R	369,96	g																																																																																																																											
Cal Hidratada	130,99	g																																																																																																																											
Areia 0/2	557,25	g																																																																																																																											
Areia 0/4	1227,98	g																																																																																																																											
Leca S	180,97	g																																																																																																																											
Cortiça	0,00	g																																																																																																																											
Cort. Exp.	0,00	g																																																																																																																											
EPS	0,00	g																																																																																																																											
Visco 3005	3,11	g																																																																																																																											
Água	337,80	g																																																																																																																											
Massa total	2808,06	g																																																																																																																											

Notas:

- (1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados
- (2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento
- (3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento
- (4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total

Tabela A.2.2. Composição da argamassa LS50

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																													
Identificação da argamassa			Operador			Data																																																																																																																							
LS50			Paula Barroca			16-01-2013																																																																																																																							
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas			Fracções granulométricas																																																																																																																							
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾	Nota: as fracções granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise da distribuição granulométrica dos agregados.																																																																																																																							
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000																																																																																																																								
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Agregados</th> <th>Volume específico</th> <th>Fração unitária</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Areia 0/2</td><td>1,216</td><td>0,152</td></tr> <tr><td>Areia 0/4</td><td>2,653</td><td>0,332</td></tr> <tr><td>Leca S</td><td>4,115</td><td>0,515</td></tr> <tr><td>Cortiça</td><td>0,000</td><td>0,000</td></tr> <tr><td>Cortiça Exp.</td><td>0,000</td><td>0,000</td></tr> <tr><td>EPS</td><td>0,000</td><td>0,000</td></tr> <tr><td>Total:</td><td>7,984</td><td>1,000</td></tr> </tbody> </table>			Agregados	Volume específico	Fração unitária	Areia 0/2	1,216	0,152	Areia 0/4	2,653	0,332	Leca S	4,115	0,515	Cortiça	0,000	0,000	Cortiça Exp.	0,000	0,000	EPS	0,000	0,000	Total:	7,984	1,000																																																																																													
Agregados	Volume específico	Fração unitária																																																																																																																											
Areia 0/2	1,216	0,152																																																																																																																											
Areia 0/4	2,653	0,332																																																																																																																											
Leca S	4,115	0,515																																																																																																																											
Cortiça	0,000	0,000																																																																																																																											
Cortiça Exp.	0,000	0,000																																																																																																																											
EPS	0,000	0,000																																																																																																																											
Total:	7,984	1,000																																																																																																																											
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Agregados</th> <th>Volume</th> <th>Vol. de vazios (litros/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Areia 0/2</td><td>1293,3</td><td>3000,0</td></tr> <tr><td>Areia 0/4</td><td>1425,0</td><td>2586,0</td></tr> <tr><td>Leca S</td><td>420,0</td><td>736,9</td></tr> <tr><td>Cortiça</td><td>95,7</td><td>148,5</td></tr> <tr><td>Cort. Exp.</td><td>86,7</td><td>250,7</td></tr> <tr><td>EPS</td><td>12,2</td><td>39,1</td></tr> </tbody> </table>			Agregados	Volume	Vol. de vazios (litros/m ³)	Areia 0/2	1293,3	3000,0	Areia 0/4	1425,0	2586,0	Leca S	420,0	736,9	Cortiça	95,7	148,5	Cort. Exp.	86,7	250,7	EPS	12,2	39,1																																																																																																
Agregados	Volume	Vol. de vazios (litros/m ³)																																																																																																																											
Areia 0/2	1293,3	3000,0																																																																																																																											
Areia 0/4	1425,0	2586,0																																																																																																																											
Leca S	420,0	736,9																																																																																																																											
Cortiça	95,7	148,5																																																																																																																											
Cort. Exp.	86,7	250,7																																																																																																																											
EPS	12,2	39,1																																																																																																																											
Ajувante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000 Soma de controlo			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Percent. de substituição</th> <th>Vol. de vazios (litros/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Percent. de substituição</td><td>50,0</td></tr> <tr><td>Visco 3005 (ml/kg cimento)</td><td>8,0</td></tr> <tr><td>Água (% do vol. sólido total)⁽⁴⁾</td><td>11,8%</td></tr> </tbody> </table>			Percent. de substituição	Vol. de vazios (litros/m ³)	Percent. de substituição	50,0	Visco 3005 (ml/kg cimento)	8,0	Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾	11,8%																																																																																																													
Percent. de substituição	Vol. de vazios (litros/m ³)																																																																																																																												
Percent. de substituição	50,0																																																																																																																												
Visco 3005 (ml/kg cimento)	8,0																																																																																																																												
Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾	11,8%																																																																																																																												
Visco 3005	---	1050	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>5,000</th> <th>Soma de controlo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Percent. de substituição</td><td>50,0</td></tr> <tr><td>Visco 3005 (ml/kg cimento)</td><td>8,0</td></tr> <tr><td>Água (% do vol. sólido total)⁽⁴⁾</td><td>11,8%</td></tr> </tbody> </table>			5,000	Soma de controlo	Percent. de substituição	50,0	Visco 3005 (ml/kg cimento)	8,0	Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾	11,8%	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Vol. de vazios (litros/m³)</th> <th>30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Vol. de vazios (litros/m³)</td><td>30</td></tr> </tbody> </table>			Vol. de vazios (litros/m ³)	30	Vol. de vazios (litros/m ³)	30																																																																																																									
5,000	Soma de controlo																																																																																																																												
Percent. de substituição	50,0																																																																																																																												
Visco 3005 (ml/kg cimento)	8,0																																																																																																																												
Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾	11,8%																																																																																																																												
Vol. de vazios (litros/m ³)	30																																																																																																																												
Vol. de vazios (litros/m ³)	30																																																																																																																												
Água	---	1000																																																																																																																											
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th colspan="6">Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado</th> </tr> <tr> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Leca S</th> <th>Cortiça</th> <th>Cort. Exp.</th> <th>EPS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>8,000</td><td>99,99</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>4,000</td><td>99,90</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>98,78</td><td>100,00</td><td>97,70</td></tr> <tr><td>2,000</td><td>99,31</td><td>100,00</td><td>4,20</td><td>32,52</td><td>100,00</td><td>27,59</td></tr> <tr><td>1,000</td><td>96,04</td><td>76,70</td><td>1,13</td><td>6,48</td><td>82,86</td><td>4,02</td></tr> <tr><td>0,500</td><td>60,67</td><td>31,57</td><td>0,95</td><td>1,01</td><td>48,59</td><td>1,15</td></tr> <tr><td>0,250</td><td>18,79</td><td>5,52</td><td>0,81</td><td>0,51</td><td>22,27</td><td>1,15</td></tr> <tr><td>0,125</td><td>5,13</td><td>0,87</td><td>0,71</td><td>0,10</td><td>9,69</td><td>0,57</td></tr> <tr><td>0,063</td><td>0,68</td><td>0,17</td><td>0,56</td><td>0,00</td><td>3,48</td><td>0,57</td></tr> <tr><td>Resíduo</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>Mód. Finura</td><td>2,202</td><td>2,853</td><td>4,922</td><td>4,606</td><td>2,366</td><td>4,678</td></tr> </tbody> </table>							Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado						Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS	8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70	2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59	1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02	0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15	0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15	0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57	0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Curva da mistura</th> <th>Cref. agreg. normais</th> <th>Erro médio percentual</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100,00</td><td>99,92</td><td>0,08</td></tr> <tr><td>99,98</td><td>98,68</td><td>1,30</td></tr> <tr><td>50,52</td><td>92,44</td><td>41,92</td></tr> <tr><td>40,69</td><td>77,02</td><td>36,33</td></tr> <tr><td>20,22</td><td>38,22</td><td>18,00</td></tr> <tr><td>5,12</td><td>9,21</td><td>4,09</td></tr> <tr><td>1,43</td><td>2,12</td><td>0,69</td></tr> <tr><td>0,45</td><td>0,32</td><td>0,14</td></tr> <tr><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>3,820</td><td>2,824</td><td>11,394</td></tr> </tbody> </table>			Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual	100,00	99,92	0,08	99,98	98,68	1,30	50,52	92,44	41,92	40,69	77,02	36,33	20,22	38,22	18,00	5,12	9,21	4,09	1,43	2,12	0,69	0,45	0,32	0,14	0,00	0,00	0,00	3,820	2,824	11,394
Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado																																																																																																																												
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS																																																																																																																							
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																							
4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70																																																																																																																							
2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59																																																																																																																							
1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02																																																																																																																							
0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15																																																																																																																							
0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15																																																																																																																							
0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57																																																																																																																							
0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57																																																																																																																							
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																							
Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678																																																																																																																							
Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual																																																																																																																											
100,00	99,92	0,08																																																																																																																											
99,98	98,68	1,30																																																																																																																											
50,52	92,44	41,92																																																																																																																											
40,69	77,02	36,33																																																																																																																											
20,22	38,22	18,00																																																																																																																											
5,12	9,21	4,09																																																																																																																											
1,43	2,12	0,69																																																																																																																											
0,45	0,32	0,14																																																																																																																											
0,00	0,00	0,00																																																																																																																											
3,820	2,824	11,394																																																																																																																											
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="7">Curvas granulométricas de todos os agregados</th> <th colspan="3">Curva granulométrica da mistura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="7">  </td> <td colspan="3">  </td> </tr> </tbody> </table>							Curvas granulométricas de todos os agregados							Curva granulométrica da mistura																																																																																																															
Curvas granulométricas de todos os agregados							Curva granulométrica da mistura																																																																																																																						
																																																																																																																													
Dosagens da argamassa para o volume indicado:							Parâmetros da argamassa																																																																																																																						
Volume: 1000 litros				Volume: 1,50 litros			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td style="text-align: center;">0,568</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Razão água/cimento</td> <td style="text-align: center;">0,770</td> </tr> </tbody> </table>			Razão água/(mat. cimentícios)	0,568	Razão água/cimento	0,770																																																																																																																
Razão água/(mat. cimentícios)	0,568																																																																																																																												
Razão água/cimento	0,770																																																																																																																												
CEM I 42,5R	253,3	kg	CEM I 42,5R	379,99	g																																																																																																																								
Cal Hidratada	89,7	kg	Cal Hidratada	134,53	g																																																																																																																								
Areia 0/2	254,3	kg	Areia 0/2	381,41	g																																																																																																																								
Areia 0/4	560,7	kg	Areia 0/4	841,00	g																																																																																																																								
Leca S	247,8	kg	Leca S	371,74	g																																																																																																																								
Cortiça	0,0	kg	Cortiça	0,00	g																																																																																																																								
Cort. Exp.	0,0	kg	Cort. Exp.	0,00	g																																																																																																																								
EPS	0,0	kg	EPS	0,00	g																																																																																																																								
Visco 3005	2,03	litros	Visco 3005	3,19	g																																																																																																																								
Água	195,0	litros	Água	292,43	g																																																																																																																								
Massa total	1602,8	kg	Massa total	2404,30	g																																																																																																																								

Notas:

- (1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados
- (2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento
- (3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento
- (4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total

Tabela A.2.3. Composição da argamassa LS75

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS									
Identificação da argamassa			Operador			Data			
LS75			Paula Barroca			16-01-2013			
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas			Fracções granulométricas			
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾	Nota: as fracções granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise da distribuição granulométrica dos agregados.			
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000				
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475				
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico	Agregados	Volume específico	Fração unitária	
Areia 0/2	1293,3	2559,0	0,417	0,502	0,609	Areia 0/2	0,609	0,075	
Areia 0/4	1425,0	2586,0	0,833	1,106	1,326	Areia 0/4	1,326	0,164	
Leca S	420,0	736,9	3,750	1,467	6,173	Leca S	6,173	0,761	
Cortiça	95,7	148,5	0,000	0,000	0,000	Cortiça	0,000	0,000	
Cort. Exp.	86,7	250,7	0,000	0,000	0,000	Cortiça Exp.	0,000	0,000	
EPS	12,2	39,1	0,000	0,000	0,000	EPS	0,000	0,000	
Adjuvante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000 Soma de controlo			Total: 8,108 1,000			
Visco 3005	---	1050	Percent. de substituição 75,0			Vol. de vazios (litros/m ³) 30			
Água	---	1000	Visco 3005 (ml/kg cimento) 8,0						
			Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾ 10,4%						
Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado						Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS			
8,000	0,075	0,164	0,761	0,000	0,000	0,000	100,00	99,92	0,08
4,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	98,68	1,31
2,000	99,91	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59	27,01	92,44	65,43
1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02	20,61	77,02	56,41
0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15	10,44	38,22	27,78
0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15	2,93	9,21	6,28
0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57	1,07	2,12	1,06
0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57	0,51	0,32	0,19
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678	4,379	2,824	17,615
Curvas granulométricas de todos os agregados									
Curva granulométrica da mistura									
Dosagens da argamassa para o volume indicado:						Parâmetros da argamassa			
Volume: 1000 litros			Volume: 1,60 litros			Razão água/(mat. cimentíceos) 0,501 Razão água/cimento 0,678			
CEM I 42,5R	256,8 kg		CEM I 42,5R	410,86 g					
Cal Hidratada	90,9 kg		Cal Hidratada	145,46 g					
Areia 0/2	129,0 kg		Areia 0/2	206,44 g					
Areia 0/4	284,0 kg		Areia 0/4	454,39 g					
Leca S	376,8 kg		Leca S	602,91 g					
Cortiça	0,0 kg		Cortiça	0,00 g					
Cort. Exp.	0,0 kg		Cort. Exp.	0,00 g					
EPS	0,0 kg		EPS	0,00 g					
Visco 3005	2,05 litros		Visco 3005	3,45 g					
Água	174,2 litros		Água	278,68 g					
Massa total	1313,8 kg		Massa total	2102,19 g					
Notas: (1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados (2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento (3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento (4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total									

Tabela A.2.4. Composição da Argamassa COR25

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação da argamassa			Operador			Data								
COR25			Paula Barroca			09-01-2013								
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas			Fracções granulométricas								
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾	Nota: as frações granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise da distribuição granulométrica dos agregados.								
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000									
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475									
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico	Agregados	Volume específico	Fração unitária						
Areia 0/2	1293,3	2559,0	1,250	1,506	1,825	Areia 0/2	1,825	0,224						
Areia 0/4	1425,0	2586,0	2,500	3,319	3,979	Areia 0/4	3,979	0,489						
Leca S	420,0	736,9	0,000	0,000	0,000	Leca S	0,000	0,000						
Cortiça	95,7	148,5	1,250	0,111	2,326	Cortiça	2,326	0,286						
Cort. Exp.	86,7	250,7	0,000	0,000	0,000	Cortiça Exp.	0,000	0,000						
EPS	12,2	39,1	0,000	0,000	0,000	EPS	0,000	0,000						
Adjuvante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000		Soma de controlo	Total:								
Visco 3005	---	1050	Percent. de substituição		25,0	8,130			1,000					
Água	---	1000	Visco 3005 (ml/kg cimento)		8,0	Vol. de vazios (litros/m ³)			30					
			Água (% do vol. sólido total)*		14,2%									
Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado						Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual					
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS	100,00	99,92	0,08					
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,63	98,68	0,95					
4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70	80,54	92,44	11,90					
2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59	60,95	77,02	16,08					
1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02	29,36	38,22	8,86					
0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15	7,07	9,21	2,14					
0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15	1,61	2,12	0,51					
0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57	0,24	0,32	0,08					
0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57	0,00	0,00	0,00					
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,209	2,824	4,511					
Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678								
Curvas granulométricas de todos os agregados														
Curva granulométrica da mistura														
Dosagens da argamassa para o volume indicado:					Parâmetros da argamassa									
Volume: 1000 litros CEM I 42,5R: 240,5 kg Cal Hidratada: 85,2 kg Areia 0/2: 362,3 kg Areia 0/4: 798,4 kg Leca S: 0,0 kg Cortiça: 26,8 kg Cort. Exp.: 0,0 kg EPS: 0,0 kg Visco 3005: 1,92 litros Água: 222,8 litros Massa total: 1737,9 kg					Volume: 1,60 litros CEM I 42,5R: 384,87 g Cal Hidratada: 136,26 g Areia 0/2: 579,70 g Areia 0/4: 1277,46 g Leca S: 0,00 g Cortiça: 42,90 g Cort. Exp.: 0,00 g EPS: 0,00 g Visco 3005: 3,23 g Água: 356,43 g Massa total: 2780,85 g					Razão água/(mat. cimentícios) 0,684 Razão água/cimento 0,926				
Notas: (1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados (2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento (3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento (4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total														

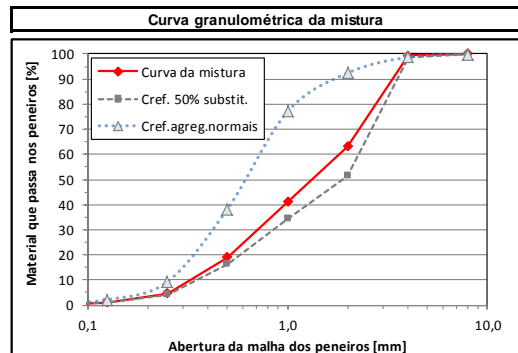
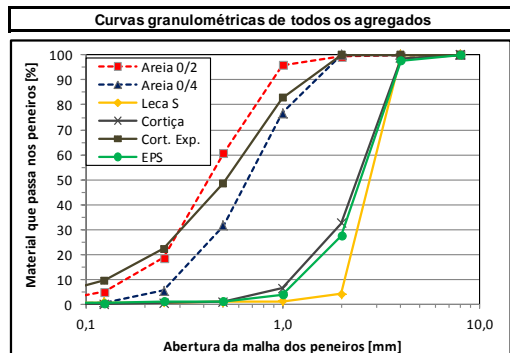
Tabela A.2.5. Composição da argamassa COR50

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS					
Identificação da argamassa		Operador		Data	
COR50		Paula Barroca		09-01-2013	
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas		
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico
Areia 0/2	1293,3	2559,0	0,833	1,004	1,216
Areia 0/4	1425,0	2586,0	1,667	2,213	2,653
Leca S	420,0	736,9	0,000	0,000	0,000
Cortiça	95,7	148,5	2,500	0,223	4,653
Cort. Exp.	86,7	250,7	0,000	0,000	0,000
EPS	12,2	39,1	0,000	0,000	0,000
Adjuvante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000 Soma de controlo		
Visco 3005	---	1050	Percent. de substituição 50,0		
Água	---	1000	Visco 3005 (ml/kg cimento) 8,0		
			Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾ 13,9%		
			Total:		
			8,522		1,000
			Vol. de vazios (litros/m ³)		30

Nota: as frações granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise da distribuição granulométrica dos agregados.

Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado					
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70
2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59
1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02
0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15
0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15
0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57
0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678

Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual
100,00	99,92	0,08
99,32	98,68	0,64
63,06	92,44	29,38
41,12	77,02	35,90
19,04	38,22	19,18
4,68	9,21	4,53
1,06	2,12	1,06
0,15	0,32	0,17
0,00	0,00	0,00
3,717	2,824	10,104



Dosagens da argamassa para o volume indicado:				Parâmetros da argamassa	
Volume:	1000	litros	Volume:	1,60	litros
CEM I 42,5R	234,3	kg	CEM I 42,5R	374,93	g
Cal Hidratada	83,0	kg	Cal Hidratada	132,74	g
Areia 0/2	235,2	kg	Areia 0/2	376,34	g
Areia 0/4	518,6	kg	Areia 0/4	829,82	g
Leca S	0,0	kg	Leca S	0,00	g
Cortiça	52,2	kg	Cortiça	83,58	g
Cort. Exp.	0,0	kg	Cort. Exp.	0,00	g
EPS	0,0	kg	EPS	0,00	g
Visco 3005	1,87	litros	Visco 3005	3,15	g
Água	212,4	litros	Água	339,90	g
Massa total	1337,7	kg	Massa total	2140,46	g
			Razão água/(mat. cimentíceos)		0,670
			Razão água/cimento		0,907

Notas:
 (1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados
 (2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento
 (3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento
 (4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total

Tabela A.2.6. Composição da argamassa COR75

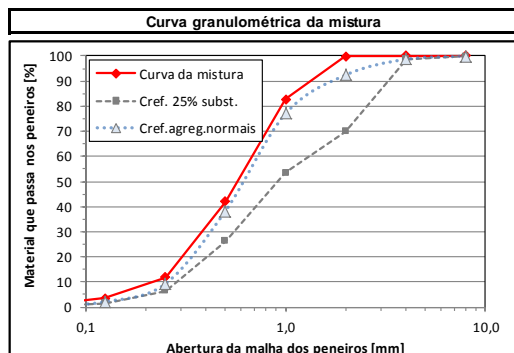
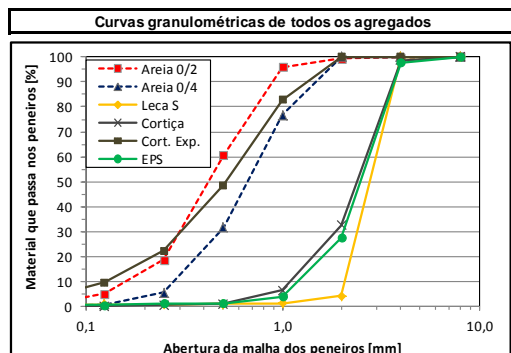
ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS											
Identificação da argamassa			Operador			Data					
COR75			Paula Barroca			23-01-2013					
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas			Fracções granulométricas					
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾	<small>Nota: as frações granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise da distribuição granulométrica dos agregados.</small>					
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000						
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475						
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico	Agregados	Volume específico	Fração unitária			
Areia 0/2	1293,3	2559,0	0,417	0,502	0,609	Areia 0/2	0,609	0,068			
Areia 0/4	1425,0	2586,0	0,833	1,106	1,326	Areia 0/4	1,326	0,149			
Leca S	420,0	736,9	0,000	0,000	0,000	Leca S	0,000	0,000			
Cortiça	95,7	148,5	3,750	0,334	6,979	Cortiça	6,979	0,783			
Cort. Exp.	86,7	250,7	0,000	0,000	0,000	Cortiça Exp.	0,000	0,000			
EPS	12,2	39,1	0,000	0,000	0,000	EPS	0,000	0,000			
Adjuvante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000		Soma de controlo		Total:		8,914	1,000	
Visco 3005	---	1050	Percent. de substituição		75,0		Vol. de vazios (litros/m ³)		30		
Água	---	1000	Visco 3005 (ml/kg cimento)		8,0						
			Água (% do vol. sólido total)*		17,2%						
Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado						Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual		
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS					
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,92	0,08		
4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70	99,04	98,68	0,36		
2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59	47,12	92,44	45,32		
1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02	23,04	77,02	53,98		
0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15	9,63	38,22	28,59		
0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15	2,50	9,21	6,71		
0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57	0,56	2,12	1,56		
0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57	0,07	0,32	0,24		
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678	4,181	2,824	15,204		
Curvas granulométricas de todos os agregados											
Curva granulométrica da mistura											
Dosagens da argamassa para o volume indicado:					Parâmetros da argamassa						
Volume: 1000 litros		Volume: 1,60 litros		Razão água/(mat. cimentícios) 0,828 Razão água/cimento 1,122							
CEM I 42,5R	216,5 kg	CEM I 42,5R	346,35 g								
Cal Hidratada	76,6 kg	Cal Hidratada	122,63 g								
Areia 0/2	108,8 kg	Areia 0/2	174,03 g								
Areia 0/4	239,4 kg	Areia 0/4	383,05 g								
Leca S	0,0 kg	Leca S	0,00 g								
Cortiça	72,4 kg	Cortiça	115,81 g								
Cort. Exp.	0,0 kg	Cort. Exp.	0,00 g								
EPS	0,0 kg	EPS	0,00 g								
Visco 3005	1,73 litros	Visco 3005	2,91 g								
Água	242,8 litros	Água	388,53 g								
Massa total	958,2 kg	Massa total	1533,31 g								
Notas: (1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados (2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento (3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento (4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total											

Tabela A.2.7. Composição da argamassa CEX25

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS									
Identificação da argamassa			Operador			Data			
CEX25			Paula Barroca			28-01-2013			
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas			Fracções granulométricas			
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾	Nota: as frações granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise da distribuição granulométrica dos agregados.			
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000				
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475				
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico				
Areia 0/2	1293,3	2559,0	1,250	1,506	1,825				
Areia 0/4	1425,0	2586,0	2,500	3,319	3,979				
Leca S	420,0	736,9	0,000	0,000	0,000				
Cortiça	95,7	148,5	0,000	0,000	0,000				
Cort. Exp.	86,7	250,7	1,250	0,101	1,248				
EPS	12,2	39,1	0,000	0,000	0,000				
Adjuvante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000 Soma de controlo						
Visco 3005	---	1050	Percent. de substituição			25,0			
Água	---	1000	Visco 3005 (ml/kg cimento)			8,0			
			Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾			18,3%			
						Total:		7,052	1,000
						Vol. de vazios (litros/m ³)		30	

Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado					
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS
8,000	0,259	0,564	0,000	0,000	0,177	0,000
4,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70
1,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59
0,500	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02
0,250	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15
0,125	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15
0,063	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57
Resíduo	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57
Mód. Finura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678

Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual
100,00	99,92	0,08
99,97	98,68	1,29
99,82	92,44	7,38
82,79	77,02	5,77
42,12	38,22	3,89
11,92	9,21	2,71
3,53	2,12	1,41
0,89	0,32	0,57
0,00	0,00	0,00
2,598	2,824	2,568



Dosagens da argamassa para o volume indicado:				Parâmetros da argamassa	
Volume:	1000	litros	Volume:	1,60	litros
CEM I 42,5R	245,4	kg	CEM I 42,5R	392,70	g
Cal Hidratada	86,9	kg	Cal Hidratada	139,04	g
Areia 0/2	369,7	kg	Areia 0/2	591,49	g
Areia 0/4	814,7	kg	Areia 0/4	1303,45	g
Leca S	0,0	kg	Leca S	0,00	g
Cortiça	0,0	kg	Cortiça	0,00	g
Cort. Exp.	24,8	kg	Cort. Exp.	39,64	g
EPS	0,0	kg	EPS	0,00	g
Visco 3005	1,96	litros	Visco 3005	3,30	g
Água	292,9	litros	Água	468,69	g
Massa total	1836,3	kg	Massa total	2938,31	g
			Razão água/(mat. cimentíciosos)		0,881
			Razão água/cimento		1,194

Notas:

(1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados

(2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento

(3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento

(4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total

Tabela A.2.8. Composição da argamassa CEX50

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS										
Identificação da argamassa			Operador			Data				
CEX50			Paula Barroca			25-01-2013				
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas			Fracções granulométricas				
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾	<small>Nota: as frações granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise da distribuição granulométrica dos agregados.</small>				
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000					
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475					
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico	Agregados	Volume específico	Fração unitária		
Areia 0/2	1293,3	2559,0	0,833	1,004	1,216	Areia 0/2	1,216	0,191		
Areia 0/4	1425,0	2586,0	1,667	2,213	2,653	Areia 0/4	2,653	0,417		
Leca S	420,0	736,9	0,000	0,000	0,000	Leca S	0,000	0,000		
Cortiça	95,7	148,5	0,000	0,000	0,000	Cortiça	0,000	0,000		
Cort. Exp.	86,7	250,7	2,500	0,202	2,496	Cortiça Exp.	2,496	0,392		
EPS	12,2	39,1	0,000	0,000	0,000	EPS	0,000	0,000		
Adjuvante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000		Soma de controlo		Total:			
Visco 3005	---	1050			Percent. de substituição		6,365		1,000	
Água	---	1000			Visco 3005 (ml/kg cimento)					
					Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾					
					23,2%					
							Vol. de vazios (litros/m ³)		30	
Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado						Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual	
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS				
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,92	0,08	
4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70	99,98	98,68	1,30	
2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59	99,87	92,44	7,43	
1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02	82,81	77,02	5,79	
0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15	43,81	38,22	5,58	
0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15	14,62	9,21	5,42	
0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57	5,14	2,12	3,02	
0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57	1,56	0,32	1,25	
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678	2,538	2,824	3,318	
Curvas granulométricas de todos os agregados										
Curva granulométrica da mistura										
Dosagens da argamassa para o volume indicado:					Parâmetros da argamassa					
Volume: 1000 litros		Volume: 1,60 litros		Razão água/(mat. cimentícios) 1,117 Razão água/cimento 1,513						
CEM I 42,5R	240,0 kg	CEM I 42,5R	383,94 g							
Cal Hidratada	85,0 kg	Cal Hidratada	135,93 g							
Areia 0/2	240,9 kg	Areia 0/2	385,38 g							
Areia 0/4	531,1 kg	Areia 0/4	849,75 g							
Leca S	0,0 kg	Leca S	0,00 g							
Cortiça	0,0 kg	Cortiça	0,00 g							
Cort. Exp.	48,4 kg	Cort. Exp.	77,51 g							
EPS	0,0 kg	EPS	0,00 g							
Visco 3005	0,00 litros	Visco 3005	0,00 g							
Água	363,1 litros	Água	580,94 g							
Massa total	1508,4 kg	Massa total	2413,45 g							
Notas: (1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados (2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento (3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento (4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total										

Tabela A.2.9. Composição da argamassa CEX75

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS									
Identificação da argamassa			Operador			Data			
CEX75			Paula Barroca			28-01-2013			
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas			Fracções granulométricas			
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾	Nota: as frações granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise de distribuição granulométrica dos agregados.			
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000				
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475				
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico	Agregados	Volume específico	Fração unitária	
Areia 0/2	1293,3	2559,0	0,417	0,502	0,609	Areia 0/2	0,609	0,093	
Areia 0/4	1425,0	2586,0	0,833	1,106	1,326	Areia 0/4	1,326	0,203	
Leca S	420,0	736,9	0,000	0,000	0,000	Leca S	0,000	0,000	
Cortiça	95,7	148,5	0,000	0,000	0,000	Cortiça	0,000	0,000	
Cort. Exp.	106,7	250,7	3,750	0,373	4,609	Cortiça Exp.	4,609	0,704	
EPS	12,2	39,1	0,000	0,000	0,000	EPS	0,000	0,000	
Adjuvante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000 Soma de controlo			Total: 6,543 1,000			
Visco 3005	---	1050	Percent. de substituição 75,0			Vol. de vazios (litros/m ³) 30			
Água	---	1000	Visco 3005 (ml/kg cimento) 0,0						
			Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾ 26,3%						
Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado						Cunha da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS			
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,92	0,08
4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70	99,99	98,68	1,31
2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59	99,94	92,44	7,50
1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02	82,84	77,02	5,82
0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15	46,27	38,22	8,05
0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15	18,55	9,21	9,34
0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57	7,48	2,12	5,36
0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57	2,55	0,32	2,23
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678	2,449	2,824	4,409
Curvas granulométricas de todos os agregados							Curva granulométrica da mistura		
Dosagens da argamassa para o volume indicado:				Parâmetros da argamassa					
Volume: 1000 litros		Volume: 1,60 litros		Razão água/(mat. cimentícios) 1,267 Razão água/cimento 1,715					
CEM I 42,5R	225,5 kg	CEM I 42,5R	360,78 g						
Cal Hidratada	79,8 kg	Cal Hidratada	127,73 g						
Areia 0/2	113,3 kg	Areia 0/2	181,28 g						
Areia 0/4	249,4 kg	Areia 0/4	399,01 g						
Leca S	0,0 kg	Leca S	0,00 g						
Cortiça	0,0 kg	Cortiça	0,00 g						
Cort. Exp.	84,0 kg	Cort. Exp.	134,46 g						
EPS	0,0 kg	EPS	0,00 g						
Visco 3005	0,00 litros	Visco 3005	0,00 g						
Água	386,8 litros	Água	618,84 g						
Massa total	1138,8 kg	Massa total	1822,11 g						
Notas: (1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados (2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento (3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento (4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total									

Tabela A.2.10. Composição da argamassa CEX100

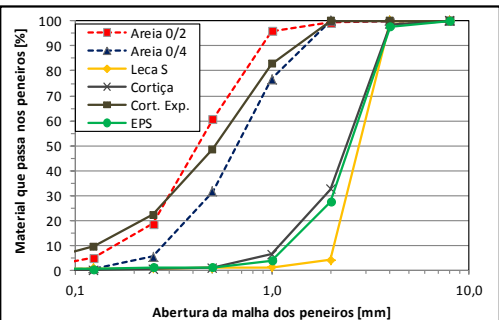
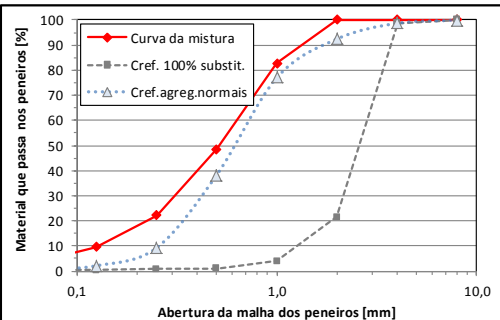
ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS									
Identificação da argamassa		Operador			Data				
CEX100		Paula Barroca			23-01-2013				
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas			Fracções granulométricas			
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾	Nota: as frações granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise da distribuição granulométrica dos agregados.			
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000				
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475				
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico	Agregados	Volume específico	Fração unitária	
Areia 0/2	1293,3	2559,0	0,000	0,000	0,000	Areia 0/2	0,000	0,000	
Areia 0/4	1425,0	2586,0	0,000	0,000	0,000	Areia 0/4	0,000	0,000	
Leca S	420,0	736,9	0,000	0,000	0,000	Leca S	0,000	0,000	
Cortiça	95,7	148,5	0,000	0,000	0,000	Cortiça	0,000	0,000	
Cort. Exp.	106,7	250,7	5,000	0,497	6,145	Cortiça Exp.	6,145	1,000	
EPS	12,2	39,1	0,000	0,000	0,000	EPS	0,000	0,000	
Adjuvante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000 Soma de controlo			Total:			
Visco 3005	---	1050	Percent. de substituição			6,145			
Água	---	1000	Visco 3005 (ml/kg cimento)			1,000			
			Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾			30			
						Vol. de vazios (litros/m ³)			
						30			
Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado						Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS			
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,08	
4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70	100,00	1,32	
2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59	100,00	7,56	
1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02	82,86	5,84	
0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15	48,59	10,37	
0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15	22,27	13,06	
0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57	9,69	7,56	
0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57	3,48	3,16	
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678	2,366	5,439	
Curvas granulométricas de todos os agregados							Curva granulométrica da mistura		
									
Dosagens da argamassa para o volume indicado:						Parâmetros da argamassa			
Volume: 1000 litros			Volume: 1,60 litros			Razão água/(mat. cimentícios) 1,387 Razão água/cimento 1,878			
CEM I 42,5R	223,7	kg	CEM I 42,5R	357,91	g				
Cal Hidratada	79,2	kg	Cal Hidratada	126,72	g				
Areia 0/2	0,0	kg	Areia 0/2	0,00	g				
Areia 0/4	0,0	kg	Areia 0/4	0,00	g				
Leca S	0,0	kg	Leca S	0,00	g				
Cortiça	0,0	kg	Cortiça	0,00	g				
Cort. Exp.	111,2	kg	Cort. Exp.	177,85	g				
EPS	0,0	kg	EPS	0,00	g				
Visco 3005	0,00	litros	Visco 3005	0,00	g				
Água	420,2	litros	Água	672,26	g				
Massa total	834,2	kg	Massa total	1334,74	g				
Notas: (1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados (2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento (3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento (4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total									

Tabela A.2.11. Composição da argamassa EPS25

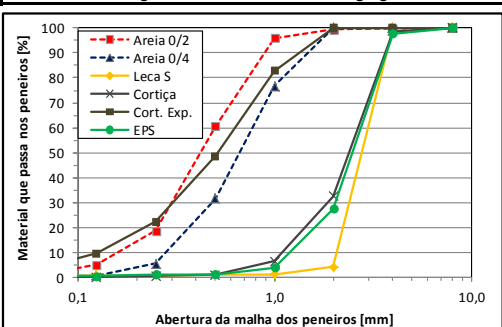
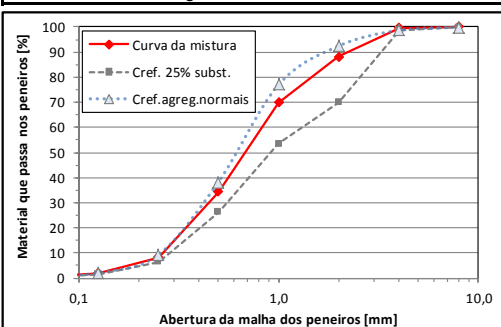
ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS									
Identificação da argamassa			Operador			Data			
EPS25			Paula Barroca			22-01-2013			
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas			Fracções granulométricas			
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾	Nota: as fracções granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise da distribuição granulométrica dos agregados.			
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000				
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475				
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico	Agregados	Volume específico	Fração unitária	
Areia 0/2	1293,3	2559,0	1,250	1,506	1,825	Areia 0/2	1,825	0,263	
Areia 0/4	1425,0	2586,0	2,500	3,319	3,979	Areia 0/4	3,979	0,574	
Leca S	420,0	736,9	0,000	0,000	0,000	Leca S	0,000	0,000	
Cortiça	95,7	148,5	0,000	0,000	0,000	Cortiça	0,000	0,000	
Cort. Exp.	86,7	250,7	0,000	0,000	0,000	Cortiça Exp.	0,000	0,000	
EPS	12,2	39,1	1,250	0,014	1,126	EPS	1,126	0,162	
Adjuvante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000 Soma de controlo			Total:			
Visco 3005	---	1050	Percent. de substituição			6,929			
Água	---	1000	Visco 3005 (ml/kg cimento)			1,000			
			Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾			Vol. de vazios (litros/m ³)			
			8,0			30			
			14,9%						
Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado						Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS			
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,08	
4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70	99,60	0,92	
2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59	88,05	4,39	
1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02	69,98	7,04	
0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15	34,29	3,93	
0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15	8,31	0,90	
0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57	1,95	0,18	
0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57	0,37	0,06	
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678	2,978	1,942	
Curvas granulométricas de todos os agregados							Curva granulométrica da mistura		
									
Dosagens da argamassa para o volume indicado:						Parâmetros da argamassa			
Volume:	1000	litros	Volume:	1,60	litros	Razão água/(mat. cimentíciosos)			
CEM I 42,5R	262,8	kg	CEM I 42,5R	420,49	g	0,718			
Cal Hidratada	93,0	kg	Cal Hidratada	148,87	g	Razão água/cimento			
Areia 0/2	395,8	kg	Areia 0/2	633,35	g	0,972			
Areia 0/4	872,3	kg	Areia 0/4	1395,69	g				
Leca S	0,0	kg	Leca S	0,00	g				
Cortiça	0,0	kg	Cortiça	0,00	g				
Cort. Exp.	0,0	kg	Cort. Exp.	0,00	g				
EPS	3,7	kg	EPS	5,97	g				
Visco 3005	2,10	litros	Visco 3005	3,53	g				
Água	255,4	litros	Água	408,62	g				
Massa total	1885,2	kg	Massa total	3016,53	g				
Notas:									
(1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados									
(2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento									
(3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento									
(4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total									

Tabela A.2.12. Composição da argamassa EPS50

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS									
Identificação da argamassa			Operador			Data			
EPS50			Paula Barroca			23-01-2013			
Caracterização dos materiais			Traços das argamassas			Fracções granulométricas			
Ligantes e adições	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente ⁽²⁾	Em massa	Em volume específico ⁽³⁾	<small>Nota: as fracções granulométricas dos agregados foram calculadas a partir da razão entre o volume específico de cada agregado e o volume específico do total de agregados, tendo em vista a análise da distribuição granulométrica dos agregados.</small>			
CEM I 42,5R	1073,3	3100,0	1,000	1,000	1,000				
Cal Hidratada	380,0	2310,0	1,000	0,354	0,475				
Agregados	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	Em volume aparente	Em massa	Em volume específico	Agregados	Volume específico	Fração unitária	
Areia 0/2	1293,3	2559,0	0,833	1,004	1,216	Areia 0/2	1,216	0,199	
Areia 0/4	1425,0	2586,0	1,667	2,213	2,653	Areia 0/4	2,653	0,433	
Leca S	420,0	736,9	0,000	0,000	0,000	Leca S	0,000	0,000	
Cortiça	95,7	148,5	0,000	0,000	0,000	Cortiça	0,000	0,000	
Cort. Exp.	86,7	250,7	0,000	0,000	0,000	Cortiça Exp.	0,000	0,000	
EPS	12,2	39,1	2,500	0,028	2,252	EPS	2,252	0,368	
Ajувante e água	Baridade ⁽¹⁾ [kg/m ³]	Massa vol. [kg/m ³]	5,000 Soma de controlo			Total: 6,121 1,000			
Visco 3005	---	1050	Percent. de substituição 50,0			Vol. de vazios (litros/m ³) 30			
Água	---	1000	Visco 3005 (ml/kg cimento) 8,0						
			Água (% do vol. sólido total) ⁽⁴⁾ 14,0%						
Abertura da malha (mm)	Curvas granulométricas dos agregados em percentagem de material passado						Curva da mistura	Cref. agreg. normais	Erro médio percentual
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Cortiça	Cort. Exp.	EPS			
8,000	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,08	
4,000	99,90	100,00	100,00	98,78	100,00	97,70	99,13	0,45	
2,000	99,31	100,00	4,20	32,52	100,00	27,59	73,22	19,22	
1,000	96,04	76,70	1,13	6,48	82,86	4,02	53,80	23,22	
0,500	60,67	31,57	0,95	1,01	48,59	1,15	26,16	12,06	
0,250	18,79	5,52	0,81	0,51	22,27	1,15	6,55	2,66	
0,125	5,13	0,87	0,71	0,10	9,69	0,57	1,61	0,51	
0,063	0,68	0,17	0,56	0,00	3,48	0,57	0,42	0,11	
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mód. Finura	2,202	2,853	4,922	4,606	2,366	4,678	3,395	6,477	

Curvas granulométricas de todos os agregados

Curva granulométrica da mistura

Dosagens da argamassa para o volume indicado:				Parâmetros da argamassa	
Volume:	1000	litros	Volume:	1,60	litros
CEM I 42,5R	287,7	kg	CEM I 42,5R	460,34	g
Cal Hidratada	101,9	kg	Cal Hidratada	162,98	g
Areia 0/2	288,8	kg	Areia 0/2	462,07	g
Areia 0/4	636,8	kg	Areia 0/4	1018,85	g
Leca S	0,0	kg	Leca S	0,00	g
Cortiça	0,0	kg	Cortiça	0,00	g
Cort. Exp.	0,0	kg	Cort. Exp.	0,00	g
EPS	8,2	kg	EPS	13,08	g
Visco 3005	2,30	litros	Visco 3005	3,87	g
Água	262,7	litros	Água	420,33	g
Massa total	1588,3	kg	Massa total	2541,52	g
			Razão água/(mat. cimentícios) 0,674 Razão água/cimento 0,913		

Notas:

- (1) - A baridade aqui referida corresponde à baridade dos agregados secos não compactados
- (2) - Corresponde ao traço em volume aparente dos agregados secos não compactados referidos ao volume aparente unitário de cimento
- (3) - Corresponde à razão em volume absoluto dos componentes sólidos da argamassa referidos ao volume unitário de cimento
- (4) - Corresponde ao somatório dos traços de todos os componentes sólidos, ou seja, ao volume aparente total

Anexo B
REOLOGIA

Anexo B.1
PERFIL “STEP”

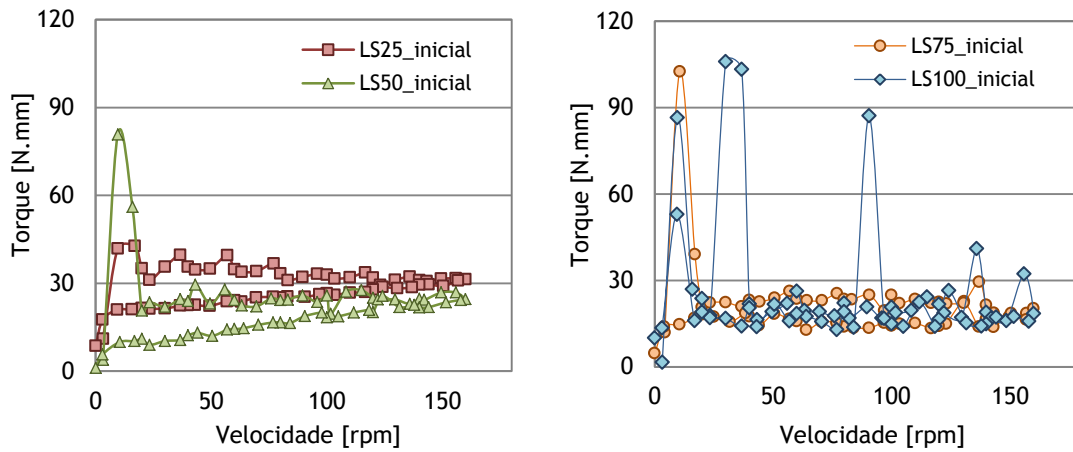


Figura B.1.1. Variação do torque em função da velocidade, argamassas iniciais com LS

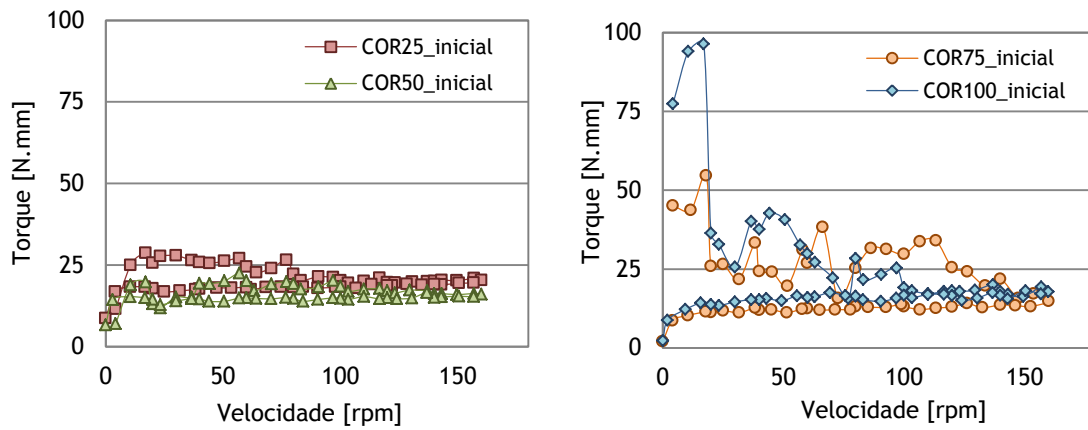


Figura B.1.2. Variação do torque em função da velocidade, argamassas iniciais com COR

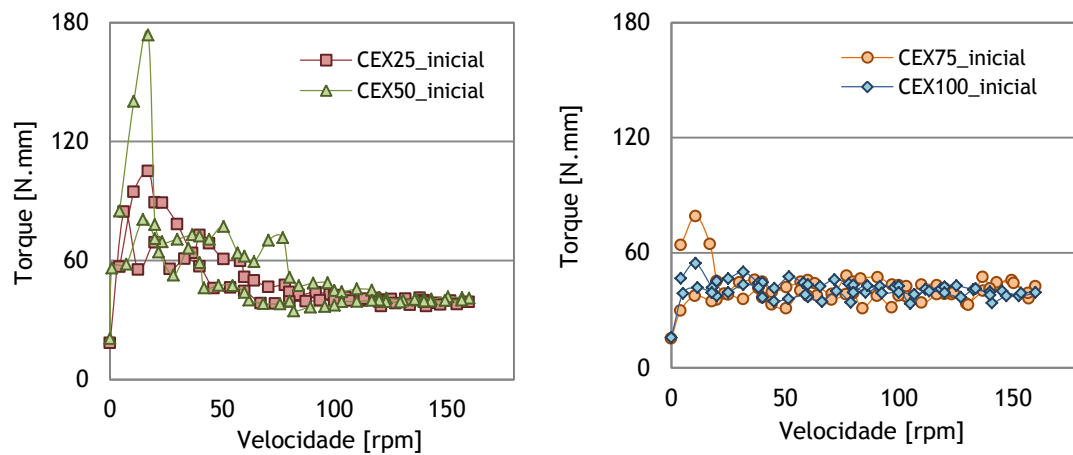


Figura B.1.3. Variação do torque em função da velocidade, argamassas iniciais com CEX

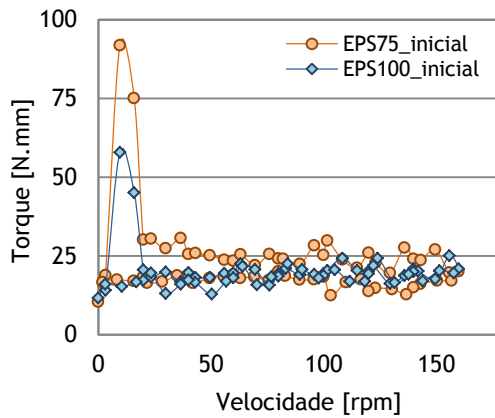
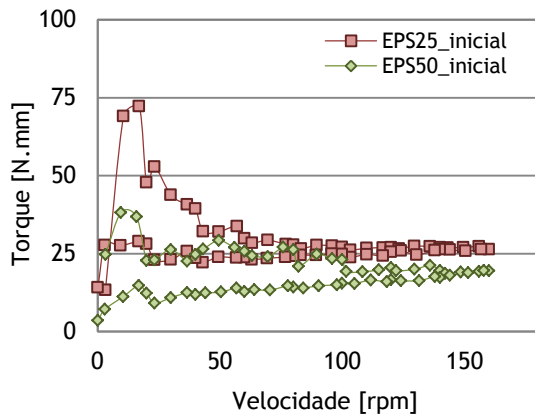


Figura B.1.4. Variação do torque em função da velocidade, argamassas iniciais com EPS

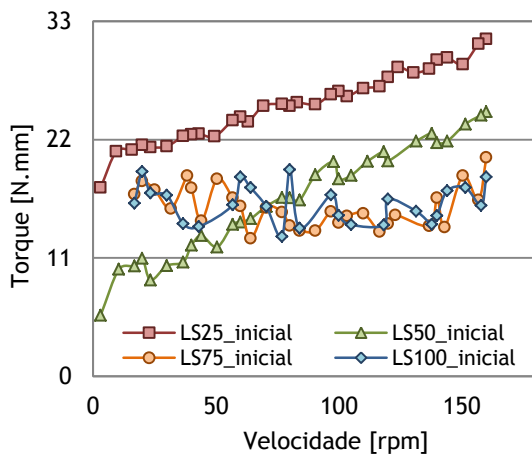


Figura B.1.5. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente ($LS_{inicial}$)

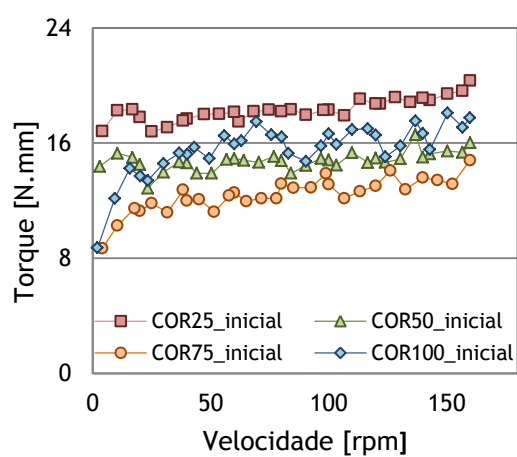


Figura B.1.6. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente ($COR_{inicial}$)

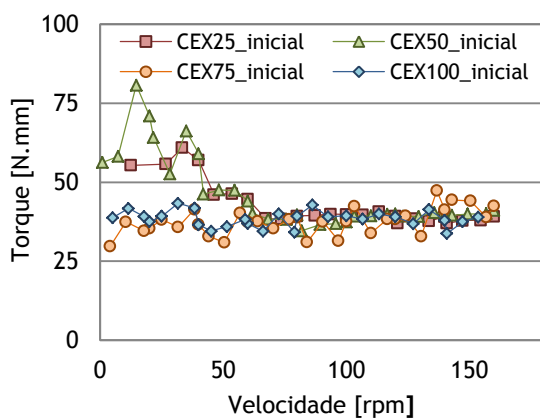


Figura B.1.7. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente ($CEX_{inicial}$)

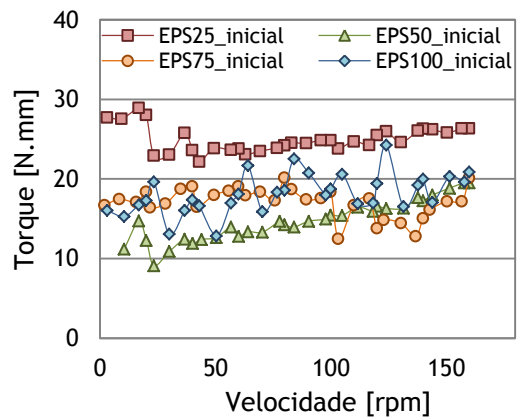


Figura B.1.8. Variação do torque em função da velocidade, regime descendente ($EPS_{inicial}$)

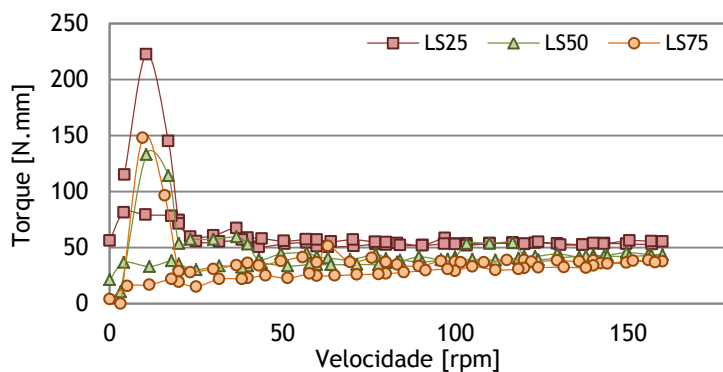


Figura B.1.9. Variação do torque em função da velocidade, argamassas finais com LS

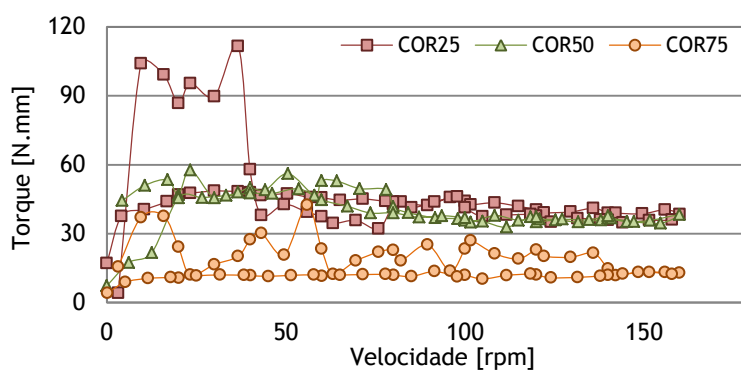


Figura B.1.10. Variação do torque em função da velocidade, argamassas finais com COR

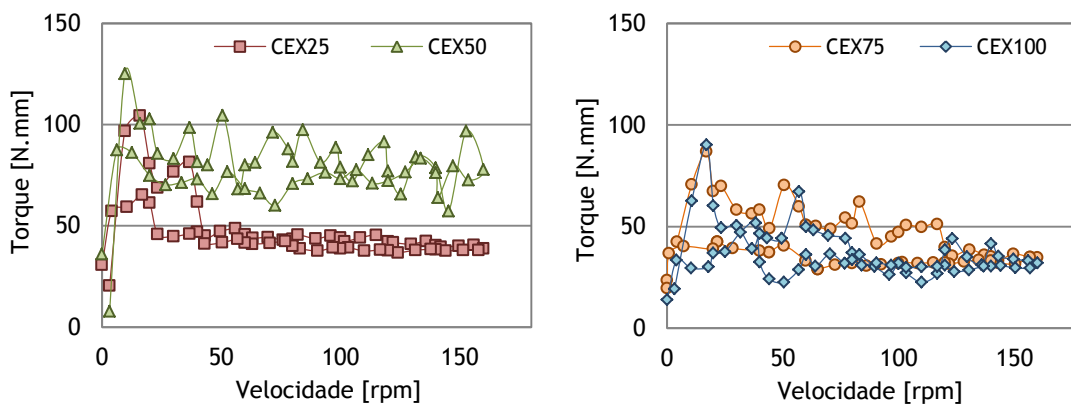


Figura B.1.11. Variação do torque em função da velocidade, argamassas finais com CEX

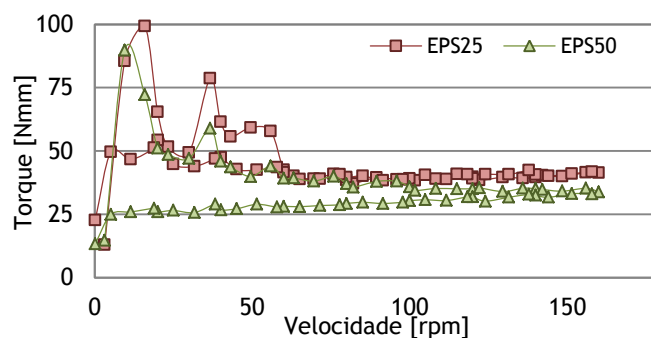


Figura B.1.12. Variação do torque em função da velocidade, argamassas finais com EPS

Anexo B.2
PERFIL “DWELLING”

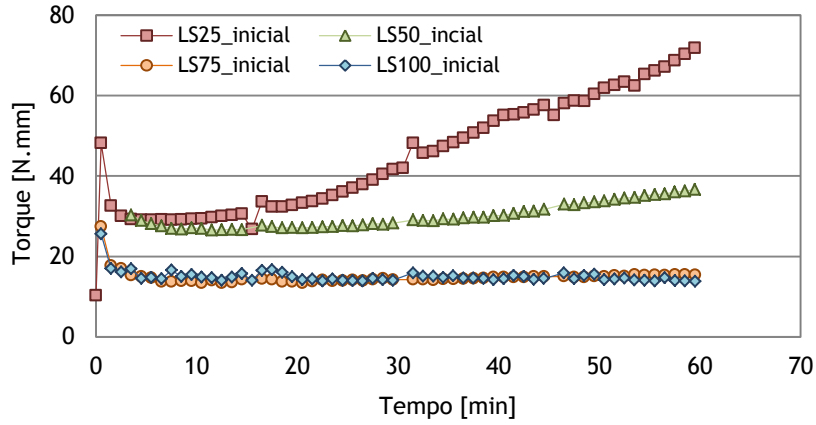


Figura B.2.1. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas iniciais com LS

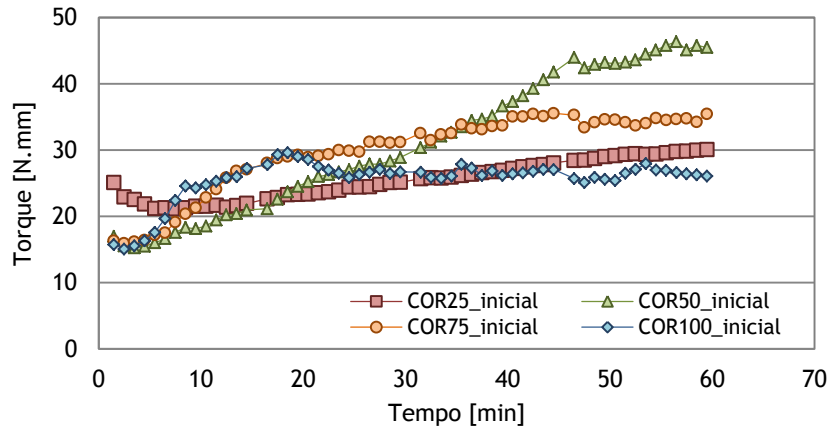


Figura B.2.2. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas iniciais com COR

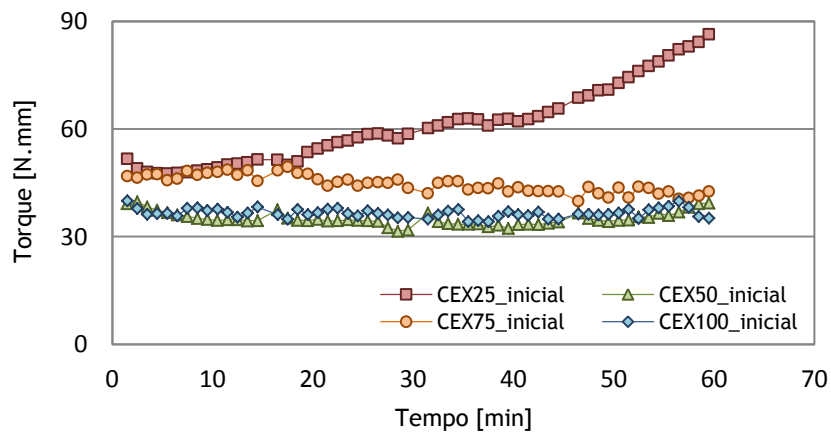


Figura B.2.3. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas iniciais com CEX

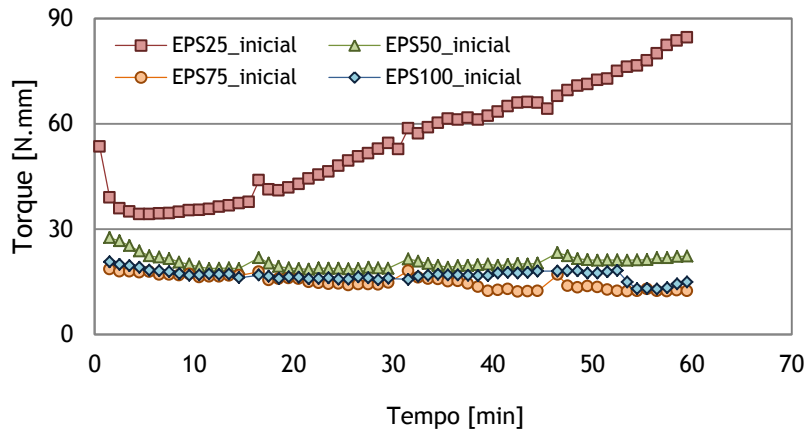


Figura B.2.4. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas iniciais com EPS

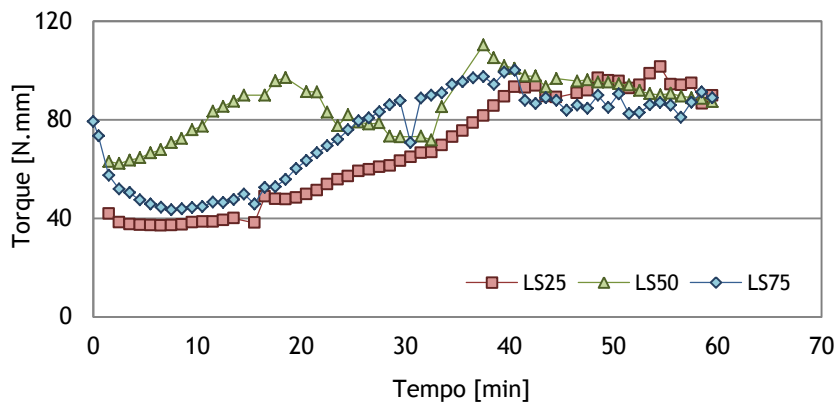


Figura B.2.5. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas finais com LS

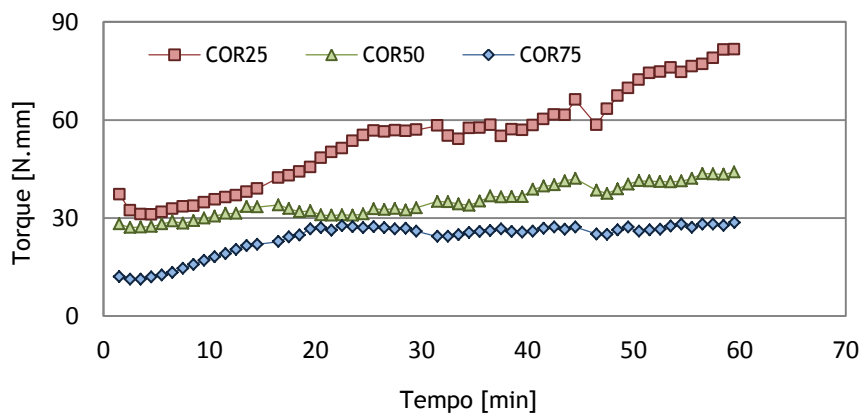


Figura B.2.6. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas finais com COR

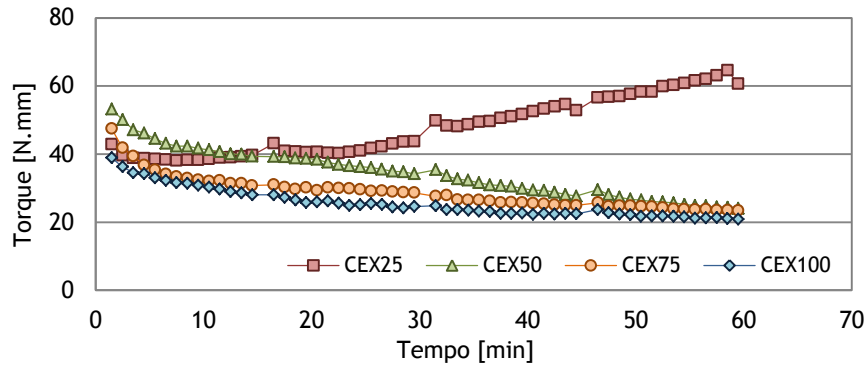


Figura B.2.7. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas finais com CEX

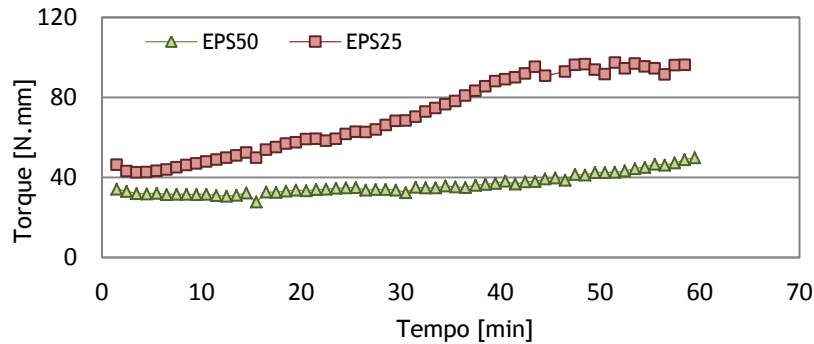


Figura B.2.8. Variação do torque em função do tempo de ensaio, argamassas finais com EPS

Tabela B.2.1. Equações do modelo reológico de Bingham, após 15 min. de ensaio

Argamassas	Argamassas iniciais			Argamassas finais		
	Modelo de Bingham		R ²	Modelo de Bingham		R ²
	T = g + hN			T = g + hN		
0	Ref.	T = 51,244 - 0,007N	0,135	T = 51,244 - 0,007N	0,135	
25	LS25	T = 26,535 + 0,026N	0,899	T = 30,448 + 0,072N	0,739	
	COR25	T = 14,177 + 0,055N	0,817	T = 28,299 + 0,078N	0,963	
	CEX25	T = 48,872 + 0,013N	0,389	T = 14,177 + 0,055N	0,817	
	EPS25	T = 35,974 + 0,007N	0,174	T = 50,200 + 0,016N	0,513	
50	LS50	T = 9,863 + 0,108N	0,984	T = 91,623 - 0,144N	0,184	
	COR50	T = 12,340 + 0,060N	0,849	T = 22,610 + 0,067N	0,936	
	CEX50	T = 33,116 + 0,009N	0,091	T = 12,340 + 0,060N	0,849	
	EPS50	T = 9,782 + 0,060N	0,963	T = 25,021 + 0,040N	0,924	
75	LS75	T = 2,937 + 0,070N	0,940	T = 32,500 + 0,116N	0,934	
	COR75	T = 17,142 + 0,070N	0,780	T = 15,013 + 0,048N	0,830	
	CEX75 _{nova}	T = 35,234 + 0,061N	0,153	T = 17,142 + 0,070N	0,780	
	EPS75	T = 5,649 + 0,070N	0,950	-----	-----	
100	LS100	T = 6,606 + 0,058N	0,568	-----	-----	
	COR100	T = 18,076 + 0,063N	0,780	-----	-----	
	CEX100 _{nova}	T = 36,081 + 0,007N	0,013	T = 18,076 + 0,063N	0,780	
	EPS100	T = 15,858 + 0,013N	0,120	-----	-----	

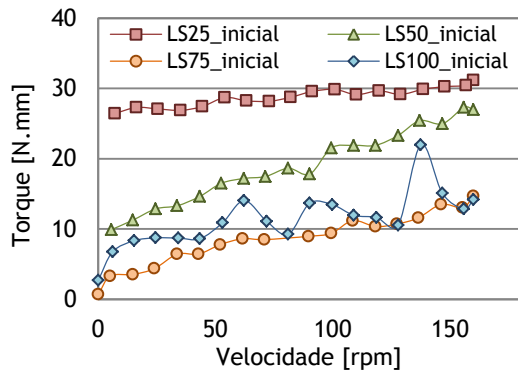


Figura B.2.9. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (LS_{inicial})

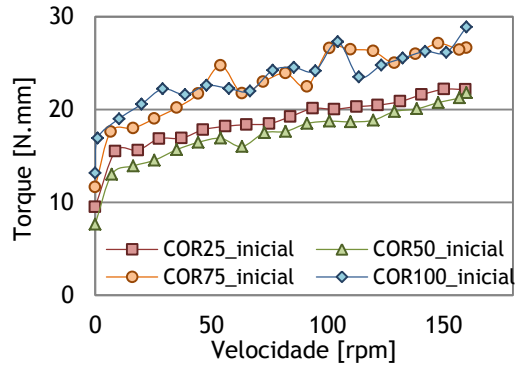


Figura B.2.10. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (COR_{inicial})

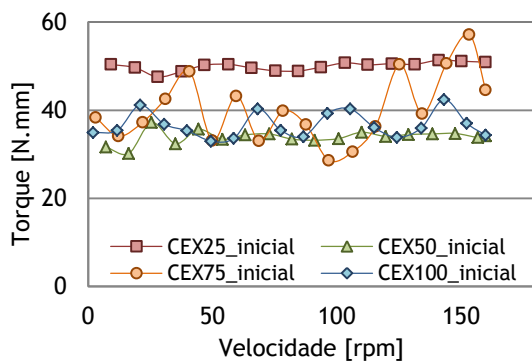


Figura B.2.11. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (CEX_{inicial})

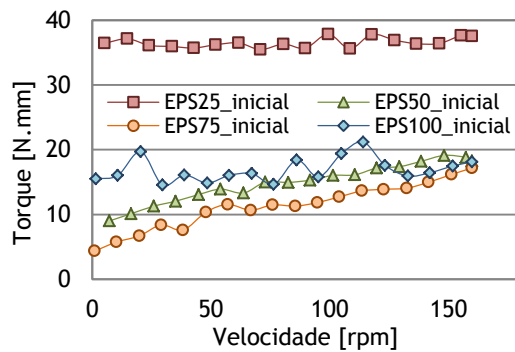


Figura B.2.12. Variação do torque em função da velocidade, após 15 min. de ensaio (EPS_{inicial})

Tabela B.2.2. Equações do modelo reológico de Bingham, após 30 min. de ensaio

Argamassas	Argamassas iniciais			Argamassas finais		
	Modelo de Bingham			Modelo de Bingham		
	T = g + hN		R ²	T = g + hN		R ²
0	Ref.	T = 110,83 - 0,152N	0,629	T = 110,83 - 0,152N	0,629	
	LS25	T = 40,782 + 0,003N	0,038	T = 64,844 - 0,033N	0,158	
	COR25	T = 16,921 + 0,060N	0,683	T = 47,140 + 0,066N	0,756	
	CEX25	T = 67,741 - 0,081N	0,465	T = 42,987 + 0,001N	0,002	
25	EPS25	T = 51,317 + 0,029N	0,476	T = 84,804 - 0,125N	0,731	
	LS50	T = 15,759 + 0,079N	0,981	T = 61,159 + 0,078N	0,105	
	COR50	T = 18,704 + 0,073N	0,841	T = 26,242 + 0,049N	0,879	
	CEX50	T = 31,222 + 0,008N	0,216	T = 29,572 + 0,028N	0,842	
50	EPS50	T = 11,941 + 0,047N	0,963	T = 27,998 + 0,044N	0,712	
	LS75	T = 4,948 + 0,060N	0,888	T = 71,315 + 0,105N	0,429	
	COR75	T = 20,812 + 0,070N	0,719	T = 20,994 + 0,035N	0,727	
	CEX75 _{nova}	T = 32,146 + 0,086N	0,332	T = 24,576 + 0,023N	0,760	
75	EPS75	T = 7,091 + 0,047N	0,900	-----	-----	
	LS100	T = 7,761 + 0,043N	0,604	-----	-----	
	COR100	T = 18,684 + 0,058N	0,617	-----	-----	
	CEX100 _{nova}	T = 33,160 - 0,003N	0,001	T = 22,416 + 0,013N	0,410	
100	EPS100	T = 17,555 - 0,017N	0,146	-----	-----	

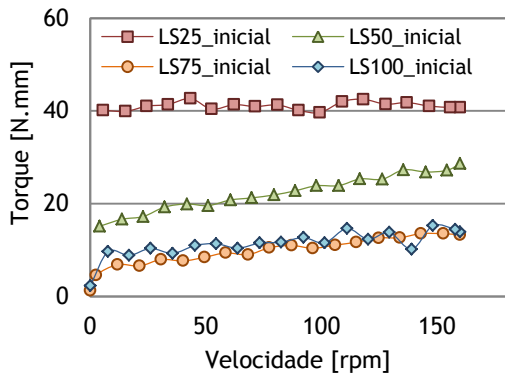


Figura B.2.13. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (LS_{inicial})

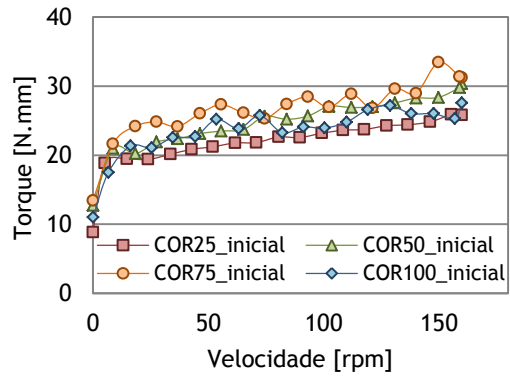


Figura B.2.14. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (COR_{inicial})

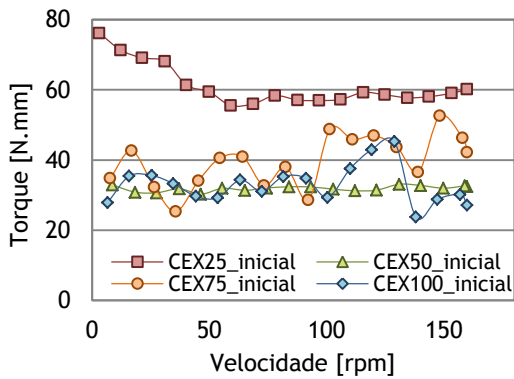


Figura B.2.15. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (CEX_{inicial})

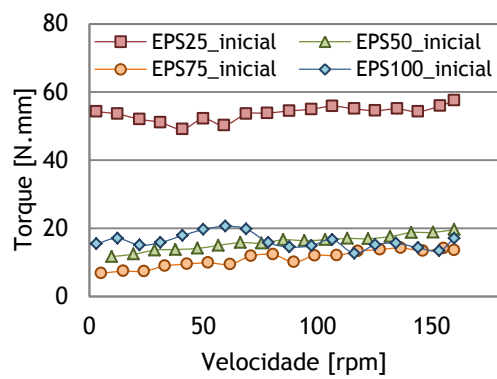


Figura B.2.16. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (EPS_{inicial})

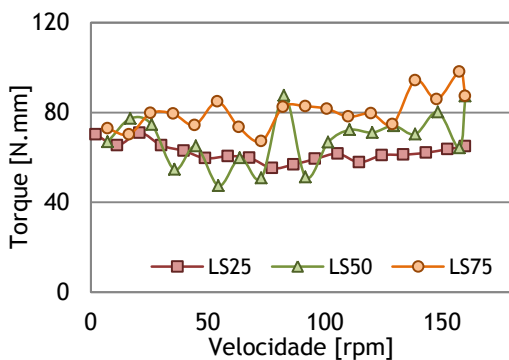


Figura B.2.17. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (LS)

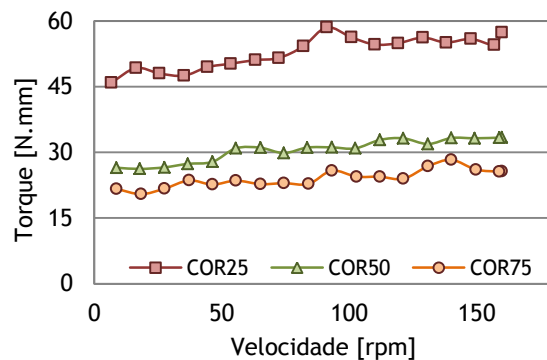


Figura B.2.18. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (COR)

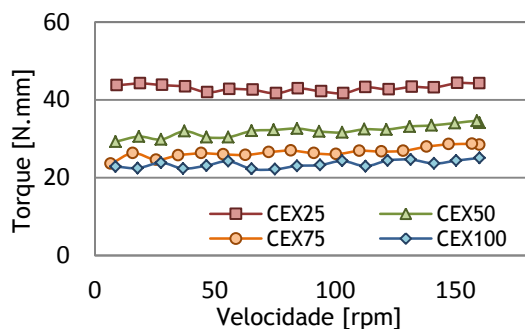


Figura B.2.19. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (CEX)

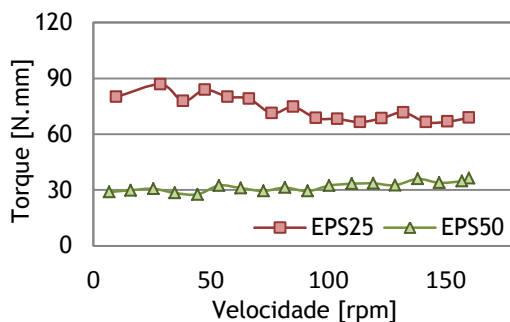


Figura B.2.20. Variação do torque em função da velocidade, após 30 min. de ensaio (EPS)

Tabela B.2.3. Equações do modelo reológico de Bingham, após 45 min. de ensaio

Argamassas	Ref.	Argamassas iniciais		Argamassas finais	
		Modelo de Bingham		Modelo de Bingham	
		$T = g + hN$	R^2	$T = g + hN$	R^2
0	Ref.	$T = 171,24 - 0,321N$	0,867	$T = 171,24 - 0,321N$	0,867
	LS25	$T = 54,444 + 0,013N$	0,039	$T = 96,086 - 0,132N$	0,113
25	COR25	$T = 20,602 + 0,503N$	0,708	$T = 52,949 + 0,102N$	0,891
	CEX25	$T = 96,765 - 0,2102N$	0,937	$T = 58,060 - 0,036N$	0,186
	EPS25	$T = 82,968 - 0,144N$	0,815	$T = 90,874$	0,000
	LS50	$T = 21,325 + 0,067N$	0,972	$T = 92,812 + 0,013N$	0,036
50	COR50	$T = 31,442 + 0,060N$	0,849	$T = 39,035 + 0,008N$	0,039
	CEX50	$T = 33,363 + 0,005N$	0,029	$T = 23,194 + 0,026N$	0,897
	EPS50	$T = 14,636 + 0,036N$	0,924	$T = 36,065 + 0,004N$	0,011
	LS75	$T = 6,436 + 0,056N$	0,818	$T = 95,266 - 0,013N$	0,001
75	COR75	$T = 30,910 + 0,031N$	0,555	$T = 20,994 + 0,035N$	0,727
	CEX75 _{nova}	$T = 33,717 + 0,059N$	0,260	$T = 20,551 + 0,025N$	0,912
	EPS75	$T = 6,638 + 0,034N$	0,957	-----	-----
	LS100	$T = 9,274 + 0,026N$	0,540	-----	-----
100	COR100	$T = 19,149 + 0,056N$	0,651	-----	-----
	CEX100 _{nova}	$T = 36,493 + 0,037N$	0,036	$T = 19,313 + 0,020N$	0,731
	EPS100	$T = 14,256 + 0,020N$	0,265	-----	-----

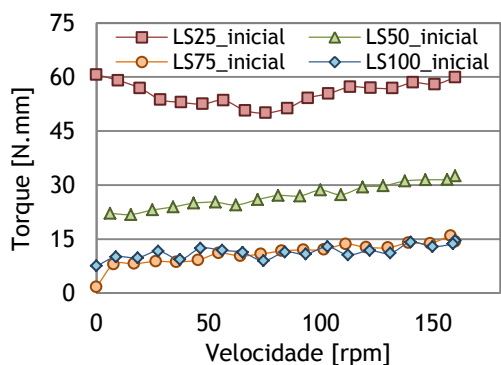


Figura B.2.21. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (LS_{inicial})

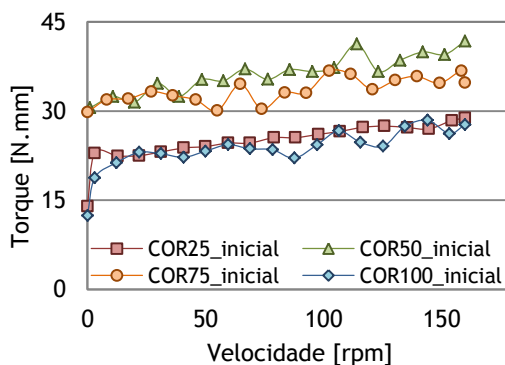


Figura B.2.22. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (COR_{inicial})

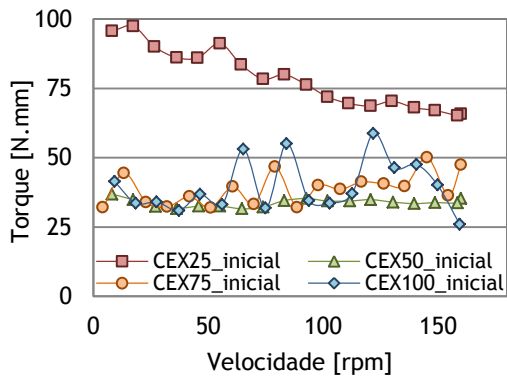


Figura B.2.23. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (CEX_{inicial})

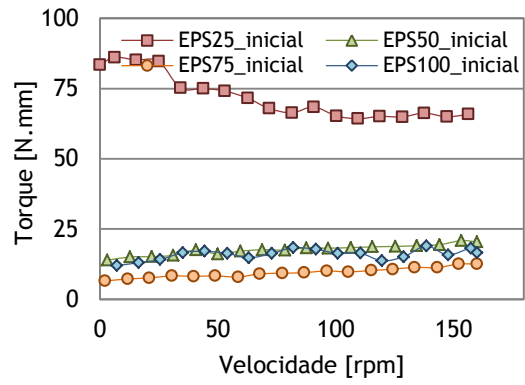


Figura B.2.24. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (EPS_{inicial})

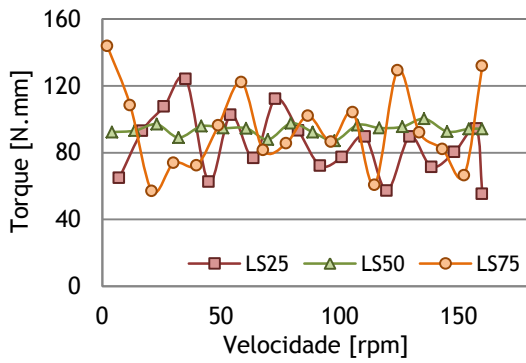


Figura B.2.25. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (LS)

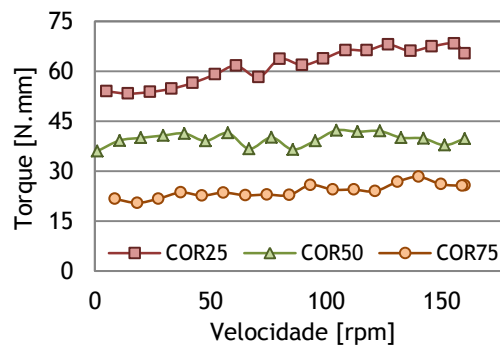


Figura B.2.26. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (COR)

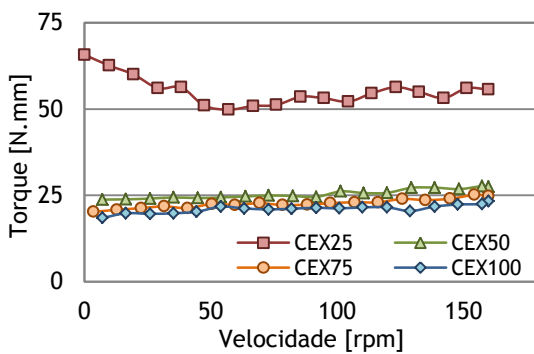


Figura B.2.27. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (CEX)

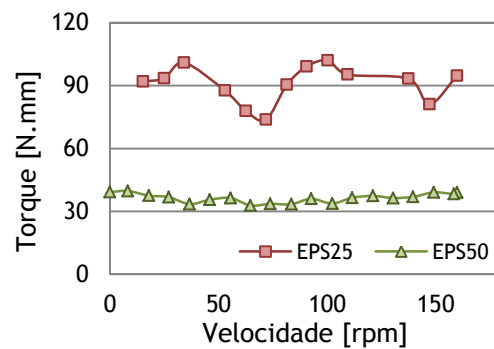


Figura B.2.28. Variação do torque em função da velocidade, após 45 min. de ensaio (EPS)

Tabela B.2.4. Equações do modelo reológico de Bingham, após 60 min. de ensaio

Argamassas	Argamassas iniciais				Argamassas finais			
	Modelo de Bingham		R ²	Modelo de Bingham		R ²		
	T = g + hN			T = g + hN				
0	Ref.	T = - 10,626 - 0,019N	0,015	T = - 10,626 - 0,019N	0,015			
25	LS25	T = 91,171 - 0,134N	0,836	T = 83,252 + 0,078N	0,040			
	COR25	T = 23,455 + 0,045N	0,736	T = 69,421 + 0,111N	0,331			
		CEX25	T = 98,468 - 0,089N	0,334	T = 75,942 - 0,094N	0,553		
		EPS25	T = 101,111 - 0,120N	0,639	T = 81,554 + 0,047N	0,102		
50	LS50	T = 28,811 + 0,052N	0,906	T = 84,297 + 0,026N	0,049			
	COR50	T = 41,210 + 0,033N	0,522	T = 40,909 + 0,028N	0,253			
		CEX50	T = 38,750 + 0,001N	0,001	T = 19,857 + 0,025N	0,903		
		EPS50	T = 18,188 + 0,025N	0,852	T = 56,996 - 0,054N	0,438		
75	LS75	T = 7,564 + 0,053N	0,771	T = 79,740 + 0,095N	0,117			
	COR75	T = 29,451 + 0,050N	0,495	T = 21,790 + 0,043N	0,749			
		CEX75 _{nova}	T = 38,158 + 0,053N	0,117	T = 20,526 + 0,015N	0,557		
		EPS75	T = 7,231 + 0,033N	0,958	-----	-----		
100	LS100	T = 6,938 + 0,051N	0,594	-----	-----			
	COR100	T = 18,126 + 0,053N	0,752	-----	-----			
		CEX100 _{nova}	T = 35,958 - 0,023N	0,063	T = 18,398 + 0,015N	0,703		
		EPS100	T = 12,678 + 0,008N	0,141	-----	-----		

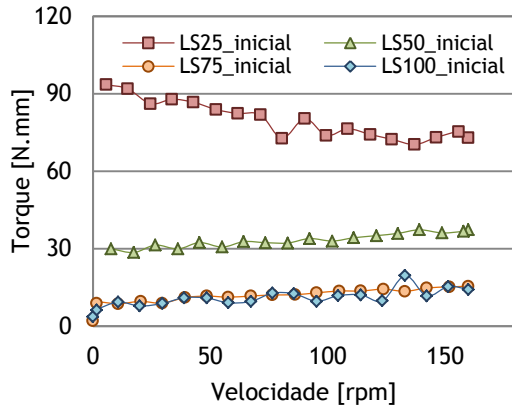


Figura B.2.29. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (LS_{inicial})

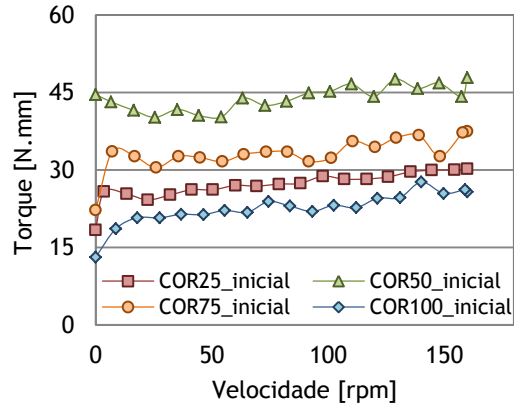


Figura B.2.30. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (COR_{inicial})

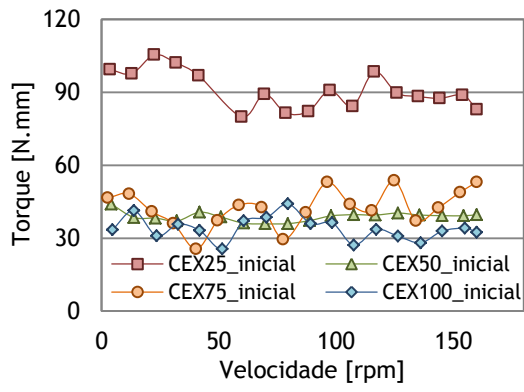


Figura B.2.31. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (CEX_{inicial})

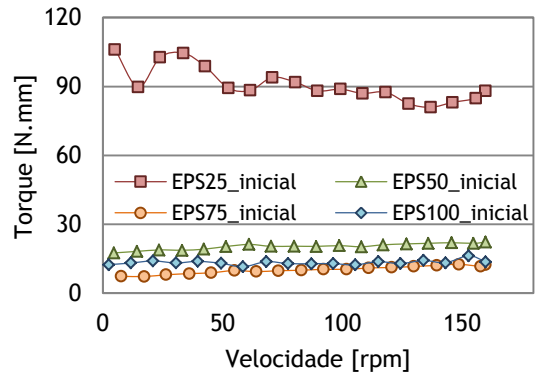


Figura B.2.32. Variação do torque em função da velocidade, após 60 min. de ensaio (EPS_{inicial})

