



REOLOGIA DE ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS MODIFICADAS COM POLÍMEROS PARA REPARAÇÃO DE BETÃO

David Miguel Pinto da Costa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Orientadores: Doutora Ana Paula Patrício Teixeira Ferreira Pinto França de Santana

Doutor Augusto Martins Gomes

Júri

Presidente: Doutor João Pedro Ramôa Ribeiro Correia

Orientador: Doutor Augusto Martins Gomes

Vogal: Doutora Maria Sofia Coelho Costa e Sousa Ribeiro

Outubro 2016

REOLOGIA DE ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS MODIFICADAS COM POLÍMERO PARA REPARAÇÃO DE BETÃO

RESUMO

Este trabalho aborda a caracterização de argamassas para reparação de elementos de betão armado.

Na primeira parte desta dissertação são estudadas as características que tornam as argamassas modificadas com polímero (PCM) uma boa opção para a reparação de estruturas de betão. É também realizada uma breve descrição da NP EN 1504 que define metodologias de reparação deste tipo de estruturas. A reologia e a sua importância para o conhecimento do comportamento de argamassas cimentícias (CM), finaliza a primeira parte deste trabalho.

A segunda parte é composta pela campanha experimental, para a caracterização do comportamento mecânico e reológico das argamassas de reparação de betão. Foram estudadas três argamassas modificadas com polímero e duas argamassas cimentícias, de referência.

A caracterização mecânica envolveu a realização de ensaios de retracção restringida, de aderência e de avaliação da resistência à compressão e à flexão. Para a avaliação da retracção restringida foram realizados os ensaios de Anel e de Cantoneira. O ensaio de arrancamento foi o escolhido para a caracterização da aderência das misturas feitas em laboratório.

Foi também avaliada a facilidade de aplicação de todas as argamassas estudadas, de forma qualitativa em lajetas de betão, que foram colocadas em posições representativas de pavimento, parede e tecto.

Os parâmetros reológicos de cada argamassa foram avaliados pelo ensaio de reometria que permite determinar os valores da tensão de cedência e da viscosidade das argamassas cimentícias e modificadas com polímeros e comparados com os resultados de consistência por espalhamento.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassas modificadas com polímeros (PCM), Espalhamento, Argamassas Cimentícias (CM), Aderência, Aplicabilidade, Reologia, Reometria.

RHEOLOGY OF POLYMER CEMENT MORTARS FOR CONCRETE REPAIR

ABSTRACT

In this work a characterization of mortars to repair elements of reinforced concrete was made.

The first part of the dissertation broaches some characteristics which make polymer modified cement mortars (PMC) a good choice to repair concrete structures. A brief description of NP EN 1504 is also made which defines repairing methodologies to this kind of structure. Rheology and its importance for the knowledge of cement mortars (CM) closes the first part of this investigation.

The second part is composed of the experimental campaign to characterize the mechanic and rheological behaviour of the concrete repairing mortars. Three modified (PMC) and two cement mortars of reference were studied.

The mechanic characterization involved experiments of restricted retraction, adhesion (bond strength) and evaluation of compressive and flexural strength. The Ring Test and German Angle Method were made to test restrained shrinkage. The Pull-off Test was chosen to the characterization of the laboratory made mixtures' bond strength.

It was also evaluated the easy enforcement of all mortars studied in reinforced concrete slabs placed in representative positions of floor, wall and ceiling.

The rheological parameters of each mortar was evaluated through the flow table test, qualitatively, and through the rheometer test which enables to determine the rate of yield stress and viscosity of cement mortars and polymer modified mortars.

KEYWORDS: Polymer modified cement mortars (PCM), Cement mortars (CM), Spreading, Adhesion, Applicability, Rheology, Rheometry.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar aos meus orientadores de Dissertação de Mestrado, à Doutora Ana Paula Patrício Teixeira Ferreira Pinto Franca de Santana e o Doutor Augusto Martins Gomes.

Também gostaria de agradecer a todo o pessoal técnico do Laboratório de Construção, especialmente ao senhor Leonel.

À Secil pelo fornecimento gratuito do cimento, especialmente ao senhor José Sousa, que entregou dos sacos no Laboratório de Construção, do Instituto Superior Técnico.

Ao Manuel Carvalho na ajuda da formulação de todas as argamassas e ao Mário Cardoso pela tradução do documento para inglês.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Estrutura do Documento	3
2. ARGAMASSAS DE REPARAÇÃO	4
2.1 Considerações Gerais.....	4
2.2 Norma 1504	4
2.3 Exigências e Constituição das Argamassas de Reparação	5
2.4 Aplicação e Condições de Cura.....	8
2.5 Aderência e Retracção.....	10
2.6 Resultados experimentais de outros autores	11
3. REOLOGIA DE ARGAMASSAS	13
3.1 Considerações Gerais.....	13
3.2 Parâmetros que Influenciam a Reologia em Argamassas	13
3.3 Conceitos da Reologia.....	15
3.3.1 Fluxo	16
3.3.2 Viscosidade	16
3.3.2.1 Viscoelasticidade	18
3.3.3 Modelos Reológicos	18
3.3.4 Trabalhabilidade	20
3.3.5 Tixotropia	20
3.4 Técnicas de avaliação da reologia de argamassas	23
4. APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PLANO DE TRABALHOS.....	24
4.1 Considerações Gerais.....	24
4.2 Plano de Trabalhos	24
4.3 Caracterização dos Materiais	25
4.3.1 Cimento	25
4.3.2 Agregados	26
4.3.3 Água	27
4.3.4 Adjuvantes e Aditivos	28
4.3.4.1 Aditivo Polimérico	28
4.3.4.2 Superplastificante	29
4.4 Argamassas Estudadas	30
4.4.1 Argamassas com Polímeros.....	31
4.4.2 Argamassas de Referência	32

4.5	Betão de Referência	33
4.6	Caracterização das Argamassas no Estado Fresco	35
4.6.1	Consistência por Espalhamento	35
4.6.2	Teor de Ar	36
4.6.3	Tempo de Presa	37
4.6.4	Aplicação em Superfícies Verticais e Horizontais	38
4.6.5	Caracterização Reológica	39
4.7	Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido	41
4.7.1	Avaliação da Retracção Restringida	41
4.7.2	Avaliação da Aderência por Arrancamento	43
4.7.3	Resistência à Flexão e à Compressão	44
5.	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS.....	47
5.1	Considerações Gerais.....	47
5.2	Caracterização no Estado Fresco.....	47
5.2.1	Consistência por Espalhamento.....	47
5.2.2	Relação do Teor de Ar com a Massa Volúmica	51
5.2.3	Avaliação do Tempo de Presa	53
5.2.4	Aplicação em Superfícies Verticais e Horizontais	54
5.2.5	Caracterização Reológica	57
5.3	Caracterização em Estado Endurecido	68
5.3.1	Avaliação da Retracção.....	68
5.3.2	Avaliação da Aderência.....	70
5.3.3	Ensaio de Flexão e de Compressão	71
5.3.3.1	Avaliação das condições de cura	77
6.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	78
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
	ANEXOS	90
	ANEXO A - PESO DOS PROVETES DE ARGAMASSA E TEOR DE RESÍDUO SECO DO POLÍMERO DE ESTIRENO-BUTADIENO	90
	ANEXO B - RESULTADOS AUXILIARES DOS ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO E À COMPRESSÃO	91
	ANEXO C - FIGURAS	93
	ANEXO D - RESULTADOS AUXILIARES DO ENSAIO DE REOMETRIA.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ligação entre as diferentes partes da norma e externas (Sousa, 2011).....	5
Figura 2.2 - Requisitos de desempenho de produtos de reparação estrutural e não estrutural (NP EN 1504-3:2006).	7
Figura 2.3 – Aplicação manual, de material de reparação de betão armado (Appleton, Costa, n.d.)	9
Figura 3.1 - Esquema descritivo da macro e da microestrutura de uma argamassa, Cardoso <i>et al.</i> (2009).	13
Figura 3.2 - Efeito da água de amassadura sobre a viscosidade (ou coeficiente h) e a tensão de cedência (ou coeficiente g), Paiva (2005).	14
Figura 3.3 - Efeito de adjuvantes (plastificante e introdutor de ar) nos parâmetros reológicos de uma argamassa, Paiva (2005).	15
Figura 3.4 - Movimento das partículas, nos escoamentos de corte e nos escoamentos extensionais (Teixeira, 2013).	16
Figura 3.5 - Deformação de um prisma elementar por uma força tagencial.....	17
Figura 3.6 - Modelo do fluxo de um fluido sob acção de corte, Camões (2002).	17
Figura 3.7- Relações gradiente de velocidade-tensão de corte, Camões (2002).....	19
Figura 3.8 - Modelo para a destruição estrutural irreversível induzida por acção de corte; (a) Partículas de cimento secas em contacto; (b) Formação de membrana envolvente quando o cimento contacta com água; (c) As pontes das membranas rompem-se sob a acção de cor; (d) Reconstrução das membranas; (e) Em repouso, as membranas aproximam-se para uma distância correspondente ao mínimo de energia repulsiva. (Banfill, 2003), adaptado por Paiva (2005).	21
Figura 3.9 - Possíveis formas de curvas de histerese: (a) caso normal; (b) caso onde a destruição estrutural, após o arranque inicial, domina a evolução temporal da tensão, resultando num excesso de tensão; (c) deformação com taxas de corte relativamente baixas (Mewis e Wagner, 2009).	22
Figura 3.10 - Exemplo de uma curva de histerese de um fluido Bingham.	22
Figura 4.1 – Distribuição granulométrica da Areia Lavada.	27
Figura 4.2 – Aditivo Polimérico MasterEmaco A 220 – BASF.	28
Figura 4.3 – Superplastificante Master Glenium SKY 548 – BASF	30
Figura 4.4 - Materiais e equipamento para a elaboração de uma argamassa em laboratório.	31
Figura 4.5 – Diferentes fases da produção dos cubos e lajetas de betão	34
Figura 4.6 - Proвете cúbico (a) e lajeta (b) de betão.....	35
Figura 4.7 – Diferentes fases da realização do ensaio de consistência por espalhamento.	36
Figura 4.8 - Equipamento para o ensaio de medição do teor de ar.....	37
Figura 4.9 - Etapas da medição do tempo de início (a) e fim de presa (b, c).	38

Figura 4.10 - Equipamento (a) e rugosidade conferida a uma lajeta (b).	38
Figura 4.11 - Estrutura para aplicação das argamassas em tecto.	39
Figura 4.12 - Equipamento que constitui o reómetro Viskomat NT (a) e pá adequada para argamassas (b).	39
Figura 4.13 - Perfil "escada" escolhido.	40
Figura 4.14 - Figura 4.14 – Perfil da velocidade de rotação ao longo do tempo, no ficheiro inserido no Viskomat.	40
Figura 4.15 - Perfil de velocidade de rotação, ao longo do tempo, tipologia em “escada”.	41
Figura 4.16 - Anel de retracção restringida vazio (a) e com argamassa (b).	42
Figura 4.17 – Cantoneira para avaliação da retracção restringida.	43
Figura 4.18 - Equipamento para o ensaio de "Pull-off".	43
Figura 4.19 - Carotagem dos provetes para o ensaio de "Pull-off".	43
Figura 4.20 – Ensaio de Compressão de um provete.	46
Figura 4.21 – Ensaio de Flexão de um provete de argamassa.	46
Figura 4.22 - Figura 4.23 - Fases da elaboração de provetes prismáticos de argamassa.	46
Figura 4.24 - Equipamento para realização do ensaio de flexão-compressão (a), equipamento para o ensaio de flexão (b), equipamento para o ensaio à compressão (c), leitor de medições (d).	46
Figura 5.1 - Relação W/C das PCM e CM, com diferentes percentagens de látex para espalhamentos de 80%, 100% e 120%, adaptado de Barluenga e Olivares (2004).	49
Figura 5.2 - Tempos de início e fim de presa das PCM e CM, para diferentes percentagens de látex, adaptado por Barulenga e Olivares (2004).	54
Figura 5.3 - Argamassa PCM-SB-1 aplicada em lajetas representativas de pavimento (a), parede (b) e tecto (c).	55
Figura 5.4 - Argamassa PCM-SB-2 aplicada em lajetas representativas de pavimento (a), parede (b) e tecto (c).	55
Figura 5.5 - Argamassa PCM-SB-5 aplicada em lajetas representativas de pavimento (a), parede (b) e tecto (c).	56
Figura 5.6 - Argamassa CM-1.2 aplicada em lajetas representativas de pavimento (a) e parede (b) e argamassa CM-5 aplicada em pavimento (c).	56
Figura 5.7 - Pormenor da retracção da argamassa PCM-SB-5, no estado fresco (a) e no estado endurecido (b).	56
Figura 5.8 - Fissuração do provete da argamassa PCM-SB-1 no ensaio do Anel (a) e pormenor (b).	69
Figura 5.9 - Fissuração do provete da argamassa PCM-SB-1, no ensaio de cantoneira.	69

Figura 5.10 - Lajeta com 5 provetes (a), provete após o ensaio de “Pull-off” (b), lajeta após o ensaio de “Pull-off” (c).....	71
Figura 5.11 – Pormenor da face lateral do provete da argamassa PCM-SB-5, com muita porosidade superficial.....	71
Figura 5.12 – Provetes das argamassas modificadas com polímeros: a) PCM-SB-1, b) PCM-SB-2 e c) PCM-SB-5.....	72
Figura 5.13 - Provetes das argamassas cimentícias: a) CM-1.2 e b) CM-5.	72
Figura 5.14 - Provede de argamassa após o ensaio de flexão (a) e compressão (b).	73
Figura 5.15 - Resistência à compressão e à flexão das PCM e CM, com diferentes percentagens de látex para espalhamentos de 80%, 100% e 120%, adaptado de Barluenga e Olivares (2004).	76
Figura 5.16 - Resistência à compressão e à flexão das PCM e CM, com diferentes percentagens de látex e acrílico, adaptado de Sivakumar (2010).	76
Figura 5.17 - Resistência à compressão e à flexão das PCM e CM, com diferentes percentagens de SBR, adaptado de John e Paul (2015).....	76
Figura C.1 - Aditivos poliméricos modificadores de materiais cimentícios (Ribeiro, 2004)	93
Figura D.1 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, da argamassa PCM-SB-1, para os diferentes tempos de estudo (T=0 min, T=30min, T=60min, T=90min e T=120 min).....	96
Figura D.2 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, da argamassa PCM-SB-2, para os diferentes tempos de estudo (T=0 min, T=30min, T=60min, T=90min e T=120 min).....	97
Figura D.3 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, da argamassa PCM-SB-5, para os diferentes tempos de estudo (T=0 min, T=30min, T=60min, T=90min e T=120 min).....	98
Gráfico D.4 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, da argamassa CM-1.2, para os diferentes tempos de estudo (T=0 min, T=30 min e T=60 min).	99
Gráfico D.5 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, da argamassa CM-5, para os diferentes tempos de estudo (T=0 min e T=30 min).	99

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Curva granulométrica da Areia Fina Lavada.....	27
Gráfico 5.1 - Relação W/C e Consistência por espalhamento das PCM-SB.....	48
Gráfico 5.2 - Relação W/C e Consistência por espalhamento das PCM-As.	48
Gráfico 5.3 - Relação W/C e Consistência por espalhamento das CM.	49
Gráfico 5.4 – Evolução do espalhamento das PCM e CM.....	50
Gráfico 5.5 - Variação da massa volúmica com a percentagem de polímero.	51
Gráfico 5.6 - Teor de ar e Massa Volúmica das PCM-SB.....	52
Gráfico 5.7 - Teor de Ar e Massa Volúmica das PCM-AS.	52
Gráfico 5.8 - Teor de Ar e massa Volúmica das CM.....	53
Gráfico 5.9 - Curva de fluxo da PCM-SB-1, logo após a primeira mistura (T=0 min.).....	57
Gráfico 5.10 - Variação de g e h da argamassa PCM-SB-1, ao longo do tempo.	58
Gráfico 5.11 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, para a argamassa PCM-SB-1, em todos os tempos estudados.....	58
Gráfico 5.12 - Variação de g e h da argamassa PCM-SB-2, ao longo do tempo.	59
Gráfico 5.13 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, para a argamassa PCM-SB-2, em todos os tempos estudados.....	59
Gráfico 5.14 - Variação de g e h da argamassa PCM-SB-5, ao longo do tempo.	60
Gráfico 5.15 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, para a argamassa PCM-SB-5, em todos os minutos estudados.....	60
Gráfico 5.16 - Variação de g e h da argamassa CM-1.2, ao longo do tempo.....	61
Gráfico 5.17 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, para a argamassa CM-1.2, em todos os minutos estudados.....	62
Gráfico 5.18 - Variação de g e h da argamassa CM-5, ao longo do tempo.....	62
Gráfico 5.19 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, para a argamassa CM-5, em todos os minutos estudados.....	63
Gráfico 5.20 - Variação do parâmetro g, ao longo do tempo, para argamassas com relação W/C=0,51 e com o mesmo espalhamento inicial.	63
Gráfico 5.21 - Variação dos parâmetros g e h com a percentagem de polímero, 30 minutos após a primeira mistura, para argamassas com relação W/C=0,51 e com o mesmo espalhamento inicial. ...	64
Gráfico 5.22 - Variação do parâmetro h com a percentagem de polímero, 30 minutos após a primeira mistura, para as argamassas PCM-SB.	64

Gráfico 5.23 - Variação de g, das argamassas PCM-SB, com o mesmo espalhamento inicial, ao longo do tempo.....	65
Gráfico 5.24 - Variação de h, das argamassas PCM-SB, com o mesmo espalhamento inicial, ao longo do tempo.....	65
Gráfico 5.25 – Variação do Torque com o tempo, 30 minutos após a primeira mistura, para as PCM-SB e CM.	66
Gráfico 5.26 - Variação do espalhamento com a viscosidade, para as PCM-SB.....	67
Gráfico 5.27 - Variação do espalhamento com a tensão de cedência, para as PCM-SB.	67
Gráfico 5.28 - Variação do espalhamento com a tensão de cedência, para as CM.	68
Gráfico 5.29 – Variação da Resistência à Tracção por Flexão com a dosagem de polímero.	74
Gráfico 5.30 – Variação da Massa Volúmica com a dosagem de polímero.	74
Gráfico 5.31 – Resistência à compressão e à tracção por flexão das PCM-SB.....	74
Gráfico 5.32 - Resistência à compressão e à tracção por flexão das PCM-AS.....	75
Gráfico 5.33 - Resistência à compressão e à tracção por flexão das CM.	75
Gráfico 5.34 - Variação da Resistência à Compressão com a percentagem de polímero, para diferentes tipos de cura.	77
Gráfico 5.35 - Variação da Resistência à Flexão com a percentagem de polímero, para diferentes tipos de cura.	77
Gráfico D.1 - Variação do Torque com o tempo, logo após a primeira mistura (T=0 min), para as PCM-SB e CM.	100
Gráfico D.2 - Variação do Torque com o tempo, 60 minutos após a primeira mistura, para as PCM-SB e CM-1.2.....	100
Gráfico D.3 - Variação do Torque com o tempo, 90 minutos após a primeira mistura, para as PCM-SB.	101
Gráfico D.4 - Variação do Torque com o tempo, 120 minutos após a primeira mistura, para as PCM-SB.	101

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição e resultados experimentais das PCM-SB (polímero estireno-butadieno), estudadas por outros autores.....	11
Tabela 2.2 - Composição e resultados experimentais das PCM-AS (polímero acrílico), estudadas por outros autores.....	12
Tabela 2.3 - Composição e resultados experimentais das CM, estudadas por outros autores.	12
Tabela 3.1 - Relações entre a tensão de corte e o gradiente de velocidade, Ferraris (1999), adaptado por Camões (2002).....	19
Tabela.4.1 – Campanha experimental - Ensaio realizado por argamassas, no estado fresco.....	24
Tabela.4.2 – Campanha experimental - Ensaio realizado por argamassas, no estado endurecido.	25
Tabela 4.3 - Características Físicas do cimento Portland CEM I 42.5 R.....	25
Tabela 4.4 - Características Químicas do cimento Portland CEM I 42.5 R.	26
Tabela 4.5 - Características Mecânicas do cimento Portland CEM I 42.5 R.	26
Tabela 4.6 - Análise granulométrica e características das areias AB e AFL.....	26
Tabela 4.7 - Características técnicas do polímero (ficha técnica).	29
Tabela 4.8 - Características técnicas do superplastificante (ficha técnica).	30
Tabela 4.9 - Composição das argamassas modificadas com o aditivo polimérico – PCM-SB.	32
Tabela 4.10 - Composição das argamassas de referência - CM.....	33
Tabela 4.11 - Resultados do ensaio de compressão aos cubos de betão.	33
Tabela.4.12 – Composição do betão utilizado na produção das lajetas.....	34
Tabela 5.1 - Consistência e relação W/C, para as PCM-SB e CM.....	47
Tabela 5.2 - Diferença percentual do espalhamento ao longo do tempo, relativamente ao espalhamento inicial.	50
Tabela 5.3 - Teor de Ar e Massa Volúmica, para as PCM-SB e CM.....	51
Tabela 5.4 – Tempos de Início e fim de Presa das PCM-SB e CM.....	54
Tabela 5.5 - Tempos de Início e fim de Presa (Ribeiro, 2004).	54
Tabela 5.6 – Caracterização da aplicação das PCM-SB e CM em pavimento, parede e tecto.	55
Tabela 5.7 - Resultados dos parâmetros reológicos obtidos para as PCM-SB e CM, para todos os tempos estudados.	66
Tabela 5.8 - Resultados obtidos do ensaio de retracção restringida, no anel, para as argamassas cimentícias e modificadas com polímero.	68
Tabela 5.9 - Resultados obtidos do ensaio de retracção restringida, cantoneira, para as argamassas cimentícias e modificadas com polímero.	69

Tabela 5.10 - Resultados experimentais de “Pull-off” das PCM-SB e CM.	70
Tabela 5.11 - Resultados dos ensaios de Resistência à Compressão e Flexão das PCM-SB e CM, com cura húmida-seca para as PCM e cura húmida para as CM e Massa Volúmica das argamassas estudadas.	73
Tabela 5.12 - Resultados dos ensaios de Compressão e Flexão das PCM-SB, com cura húmida-seca e cura húmida.	77
Tabela A.1 – Percentagem de teor de resíduo seco.	90
Tabela A.2 – Peso dos provetes antes de serem colocados na câmara húmida e aos 28 dias (Cura Húmida)	90
Tabela A.3 – Peso dos provetes antes e depois de serem colocados na câmara húmida e aos 28 dias (Cura Húmida-Seca).....	90
Tabela B.1 - Resultados experimentais da Consistência por espalhamento das argamassas com um traço 1:3 em volume.	91
Tabela B.2 - Resultados experimentais do espalhamento ao longo de 3 horas, para as PCM-SB e CM.	91
Tabela B.3 - Diferentes composições das CM e respectivos resultados do ensaio de espalhamento.	91
Tabela B.4 - Diferentes composições da PCM-SB-1 e PCM-SB-2, e respectivos resultados do ensaio de espalhamento.	92
Tabela B.5 - Diferentes composições de PCM-SB-3, PCM-SB-4, PCM-SB-5, e respectivos resultados do ensaio de espalhamento.	92

ABREVIATURAS

Relação A/C – Relação Agregado/Cimento

AS – Acrílico

C:A – Cimento: Agregado

CC - Betão cimentício

CM - Argamassas cimentícias

EVA - Acetato de vinilo-etileno

HR - Humidade Relativa

n.d – Documento não datado

PAE - Éster acrílico

Relação P/C - Relação Polímero/Cimento

Relação P/W - Relação Polímero/Água

PCC - Betão cimentício modificado com polímeros

PCM - Argamassas cimentícias modificadas com polímeros

PVAC - Acetato de vinilo

PVP - Propionato de vinilo

SAE - Éster acrílico-estirenado

SB - Estireno-Butadieno

SBR - Borracha de estireno-butadieno

SP - Superplastificante

VAVeoVa - Acetato de vinilo variável

Relação W/C – Relação Água/Cimento

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A necessidade de reparação de estruturas em betão armado é um fenómeno que não é recente, contudo continua bastante actual, uma vez que o betão é, certamente, o material mais utilizado na construção civil.

Geralmente as argamassas convencionais, de areia e cimento, são muito utilizadas nas reparações destas estruturas, no entanto, apresentam um desempenho insuficiente, devido à baixa capacidade de aderência ao suporte de betão, à elevada retracção e permeabilidade. Por isso foram desenvolvidos uma grande variedade de produtos e metodologias de aplicação. Estes produtos têm uma composição mais complexa e permitem a formulação de argamassas pré-doseadas e modificadas com polímeros, que influenciam a micro-estrutura da matriz de hidratação da argamassa, permitindo reparações mais duráveis. A introdução de polímeros nos materiais cimentícios permite a formação de um filme polimérico, que confere a estas argamassas uma menor penetração de cloretos, melhor trabalhabilidade, menor retracção e permeabilidade (Ohama, 1995; Fowler, 1999).

Contudo, tem havido um descontentamento com a eficácia destes materiais de reparação. Apesar de diversos estudos experimentais ao longo das décadas, houve a necessidade de esclarecer os requisitos de desempenho para materiais de reparação de betão e quais as metodologias adequadas. Para este efeito a NP EN 1504, elaborada pela CEN, reúne metodologias de reparação e especificações mínimas para propriedades de produtos e sistemas de reparação.

A trabalhabilidade é uma propriedade que depende de pelo menos dois parâmetros: fluidez, que está relacionada com a facilidade de aplicação da argamassa; e a coesão, que está associada à resistência de segregação (Reis, 2008). A reologia é uma ciência que permite uma melhor compreensão deste conceito, pois quantifica as variáveis tensão de cedência e viscosidade de cada argamassa, possibilitando uma análise mais detalhada e quantitativa da trabalhabilidade. Actualmente, já foram elaborados diversos estudos sobre a reologia de argamassas cimentícias, no entanto a informação relativamente ao comportamento reológico de argamassas modificadas com polímero, para reparação de betão, é escassa.

Relativamente às publicações internacionais pode referir-se os trabalhos de Ohama et al (1995), na complexa análise a argamassas modificadas com polímeros. Já no âmbito da reologia de betão, argamassas e pastas de cimento, Wallevik (2003), Banfill (2006) e Roussel (2005) fizeram diversas descobertas inovadoras.

A nível nacional podem referir-se os seguintes trabalhos: No Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Ribeiro (2004) estudou argamassas cimentícias modificadas com adjuvantes poliméricos para

reparação de betão, assim como Pina (2009), Dias (2011) e Damião (2012), em suas teses de mestrado, no Instituto Superior Técnico. Também do Instituto Superior Técnico, Resende (2007) caracterizou a aderência e a retracção de argamassas cimentícias e modificadas com polímeros para reparação de betão.

No âmbito da reologia de argamassas, Paiva (2005), na Universidade de Aveiro, e Barroca (2013), na Universidade da Beira Interior, obtiveram bons resultados. Contudo, em nenhum dos casos as misturas realizadas, foram do âmbito de reparação de estruturas de betão armado.

1.2 Objectivos

Os aspectos acima referidos justificam a necessidade de investigação no domínio do comportamento das estruturas reparadas de betão armado. Este trabalho enquadra-se no âmbito da Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, na área de Construção, do Instituto Superior Técnico.

Como são escassos os documentos de investigação de reologia de argamassas de reparação de estruturas de betão armado, procurou dar-se um contributo para o incremento desse conhecimento.

Este estudo foi também concebido para avaliar determinadas propriedades mecânicas de argamassas modificadas com polímeros e compará-las às propriedades das argamassas cimentícias convencionais. Foi utilizado um polímero à base de estireno butadieno, com diferentes dosagens de Polímero/Cimento.

No desenvolvimento deste trabalho pretendeu-se contribuir para o esclarecimento da aplicabilidade das diversas argamassas elaboradas em laboratório, tendo em vista a sua utilização na reparação de elementos de betão armado.

A retracção e a aderência das argamassas de reparação aos elementos de betão armado são características importantes para o sucesso de uma reparação. Pretendeu-se, ainda avaliar o comportamento mecânico destas argamassas.

Apresentam-se, seguidamente, os principais objectivos do trabalho:

- Efectuar um resumo bibliográfico, referenciando as principais contribuições nesta área;
- Caracterizar as propriedades mecânicas de resistência das argamassas convencionais e das argamassas modificadas com polímeros;
- Caracterizar a retracção restringida, no ensaio da cantoneira, no anel de Coutinho, das argamassas aplicadas em elementos de betão armado;
- Caracterizar a aderência ao suporte, das argamassas estudadas, através do ensaio de arrancamento;
- Caracterizar a aplicabilidade das argamassas de reparação de betão;
- Caracterizar o comportamento reológico das argamassas modificadas com polímeros.

1.3 Estrutura do Documento

O capítulo 2 expressa as principais diferenças entre argamassas de reparação CM (Cement Mortar) e PCM (Polymer Cement Mortar), iniciando-se com uma pequena apresentação da norma europeia EN 1504, mostrando os principais requisitos de desempenho exigidos, a ambas as argamassas de reparação.

Em seguida, estão descritas as principais características exigidas às argamassas modificadas com polímeros e a sua diversidade presente no mercado. Posteriormente, apresentam-se as condições de cura ideais para os diversos ensaios de caracterização de argamassas, em estado endurecido, que foram realizados no presente trabalho, assim como uma descrição das formas mais adequadas para a preparação e reparação de superfícies de betão, tendo por base a melhor aderência e a menor retracção possíveis.

Por fim, em forma de quadro, estão resumidos alguns resultados, de diversos autores, de ensaios semelhantes aos realizados neste estudo.

A reologia foi o tema abrangido pelo capítulo 3, e expressa alguns conceitos importantes do tema, expondo os vários modelos de caracterização dos materiais, abordando também os vários métodos de ensaio existentes e alguns desenvolvimentos experimentais neste âmbito.

No capítulo 4 apresentam-se os materiais utilizados no trabalho experimental, como o cimento (CEM I 42.5 R), o aditivo polimérico e o superplastificante. Caracterizam-se as areias utilizadas na formulação das argamassas e estabelecem-se as porções de cada material na constituição das cinco amassaduras (3 PCM e 2 CM). Posteriormente é feita uma descrição de todos os ensaios realizados, no estado fresco e endurecido, que permitem avaliar a influência do polímero, utilizado, em argamassas de reparação. No estado fresco foram realizados os ensaios de espalhamento, teor de ar, tempos de presa, ensaio reométrico e procurou avaliar-se a facilidade de aplicação das diferentes argamassas, em superfícies horizontais e verticais. No estado endurecido avaliou-se a retracção restringida, com o anel de Coutinho e com a cantoneira, a aderência por arrancamento e por fim a resistência à compressão e à flexão, dos provetes de argamassa. A partir deste último ensaio foi possível verificar qual seria a cura ideal para argamassas modificadas com polímeros.

O capítulo 5 é caracterizado por tabelas e gráficos que expressam os resultados obtidos dos ensaios mencionados no parágrafo anterior. Primeiramente foram analisadas as argamassas, PCM e CM, deste trabalho, e só depois comparou-se os resultados obtidos com os de outros autores.

No 6º e último capítulo, fruto da análise feita aos resultados, estão as principais conclusões do trabalho realizado, bem como alguns aspectos que podem ser objecto de futuro desenvolvimento.

2. ARGAMASSAS DE REPARAÇÃO

2.1 Considerações Gerais

Neste capítulo será feita uma breve descrição da NP EN 1504, norma específica para reparações de estruturas de betão armado. Seguidamente irão ser explicitadas as propriedades das argamassas modificadas com polímeros e as suas vantagens relativamente às argamassas cimentícias convencionais. Serão apresentadas, também, as condições de cura possíveis para argamassas modificadas com polímeros. Por fim serão analisadas, com maior pormenor, as temáticas da aplicabilidade, aderência e retração de argamassas.

2.2 Norma 1504

Catarino (1998) revela, no seu documento, que *Technical Committee - TC 104*, é o grupo do CEN responsável pelo material betão, onde está incluído o sub-comité 8. Este sub-comité tem vindo a preparar uma série de normas para reparação e protecção de estruturas de betão, incluindo definições, requisitos dos produtos, referência a métodos de ensaio, controle de qualidade e verificação da conformidade. Desse trabalho resultou a EN 1504, norma europeia para "Produtos e Sistemas para a Protecção e Reparação de Estruturas de Betão", onde estão incluídas as seguintes partes, das quais todas já passaram para norma portuguesa:

- NP EN 1504-1:2006 - Definições;
- NP EN 1504-2:2006 - Sistemas de protecção superficial do betão;
- NP EN 1504-3:2006 - Reparação estrutural e não estrutural;
- NP EN 1504-4:2006 - Colagem estrutural;
- NP EN 1504-5:2006 - Injecção do betão;
- NP EN 1504-6:2008 - Injecção de caldas em ancoragens;
- NP EN 1504-7:2008 - Prevenção da corrosão;
- NP EN 1504-8:2006 - Controlo da qualidade e avaliação da conformidade;
- NP EN 1504-9:2009 - Princípios gerais para o uso de produtos e sistemas;
- NP EN 1504-10:2008 - Aplicação e controle de qualidade.

Esta norma informa como utilizar os produtos e sistemas na reparação e protecção das estruturas de betão armado. A Figura 2.1 permite verificar a interligação de todas as partes que compõem a norma, com especial atenção ao facto que é a NP EN 1504-9:2009 que remete para todas as outras. Esta interligação promove o sucesso da reparação de estruturas de betão armado.

De toda a complexa constituição da norma indicada, para este trabalho, apenas serão necessárias as partes 1, 3, 9 e 10.

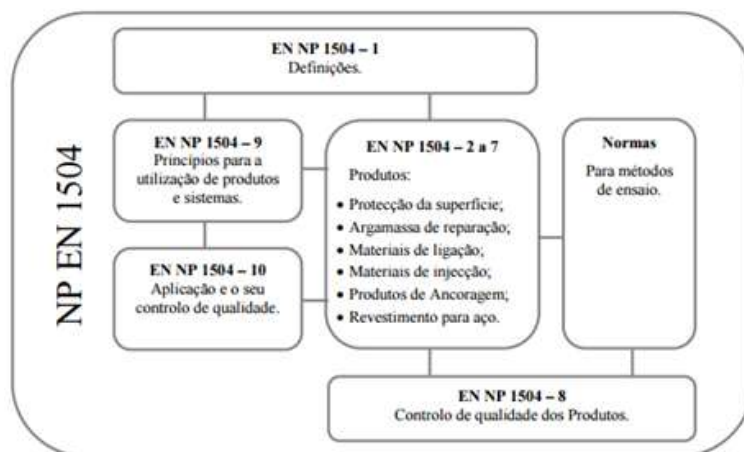


Figura 2.1 - Ligação entre as diferentes partes da norma e externas (Sousa, 2011).

2.3 Exigências e Constituição das Argamassas de Reparação

As argamassas de reparação têm um papel relevante na reparação de estruturas de betão, como também, na reparação e reforço de estruturas, em geral. Estas argamassas são compostas por diversos componentes a misturar em obra, podendo ser comercializadas na forma de pré-doseados, ou então, poderão ser modificadas com polímeros.

A NP EN 1504-1 divide as argamassas de reparação em três tipos: argamassas poliméricas (PC); argamassas cimentícias (CM); argamassas cimentícias modificadas por polímeros (PCM). Este trabalho apenas abordará estas duas últimas.

No § 3.3.10, da NP EN 1504-1, refere que “argamassas ou betões com cimento hidráulico e polímeros (PCM/PCC)” são “betões ou argamassas hidráulicos modificados com aditivos poliméricos, adicionados em quantidades suficientes de forma a produzir propriedades específicas”. Já o § 3.3.7 explica que “argamassas hidráulicas e betões hidráulicos (CM/CC)” são “argamassas e betões com base num ligante hidráulico misturado com agregados e eventualmente com adjuvantes e adições, que, quando amassados com água, fazem presa devido a uma reacção de hidratação”.

Estes polímeros, ou aditivos poliméricos, segundo § 3.3.2, da NP EN 1504-1, representados esquematicamente no Anexo C, Figura C.1, são classificados por Ribeiro (2004) em quatro grupos: dispersão polimérica, polímeros redispersivos em pó, polímeros solúveis em água e resinas poliméricas. A dispersão polimérica e os polímeros redispersivos em pó têm sido os mais utilizados na formulação das argamassas para reparação de betão.

As dispersões poliméricas podem ser, elastómericas como o estireno butadieno (SB), a borracha de estireno butadieno modificado (SBR) e os acrílicos (AS), ou termoplásticas, de que são exemplo: o éster acrílico (PAE), o acetato de vinilo-etileno (EVA), o éster acrílico-estirenado (SAE), o propionato de vinilo (PVP), o propileno (PP) e o acetato vinilo (PVAC).

Os polímeros redispersivos em pó mais utilizados para os materiais cimentícios são: o acetato de vinilo-etileno (EVA); o acetato de vinilo variável (VAVeoVa); o éster acrílico-estirnado (SAE) e o éster acrílico (PAE).

Ramli e Tabassi (2012) no estudo das propriedades das PCM, utilizando diferentes regimes de cura e diferentes tipos de polímero, concluíram que o SBR apresentou os melhores resultados.

Fowler (1999) e Ohama (1995) referem que os aditivos poliméricos melhoram substancialmente as argamassas cimentícias, para baixas relações de água/cimento (W/C), e relações de polímero/cimento (P/C) entre 10% a 20%, também comprovado por Wang *et al.* (2011).

A adição destes produtos nos materiais cimentícios provoca o aparecimento de um filme polimérico contínuo ou não, que reveste os componentes hidratados do cimento, os agregados, os poros e a interface pasta agregado (Dias, 2011), permitindo que a argamassa produzida obtenha uma maior resistência à penetração dos agentes agressivos (Afridi, et al. 2003).

Comparativamente às argamassas cimentícias, as argamassas modificadas com polímero possuem as seguintes vantagens: maior aderência ao material de suporte (Afridi et al, 1995); menor permeabilidade à água (Zhong e Chen, Z., 2002); redução da penetração da carbonatação (Ohama, 1998); maior resistência a ambientes ácidos e maior resistência à tracção e flexão, (Ribeiro, Vieira, Silva, 2007) e uma maior fluidez (Wu *et al.*, 2002). Contudo, também apresentam desvantagens, como o custo mais elevado, maior sensibilidade à temperatura e a fenómenos de fluência, pior reacção ao fogo, o odor e sua toxicidade, para quem o manuseia (Ribeiro, 2006).

Para Chastre (2014) estas argamassas devem possuir retracção controlada, nos primeiros dias de idade, antes de adquirirem a resistência à tracção necessária para resistir às tensões resultantes da retracção diferencial, existente entre a base e a argamassa. Por esta razão na reparação de danos localizados, de uma estrutura de betão armado, recorre-se, normalmente, à utilização de argamassas de reparação de baixa retracção. Nesta técnica é fundamental uma boa execução para que seja assegurada uma aderência eficiente entre o betão existente e as argamassas.

Lúcio e Chastre (2006) referem que as argamassas de reparação, por norma, resistem a agentes químicos e que a sua resistência à compressão pode ultrapassar os 50MPa, aos 28 dias, assim como a sua resistência à tracção por flexão, pode atingir os 8MPa. Mencionam também, que estas podem chegar aos 3 MPa, de tensão de aderência, e que têm um tempo de início de presa entre 1 e 2 horas. Estas propriedades são exigidas, igualmente, nas fichas técnicas das argamassas de reparação da Sika, Weber e BASF e vão de encontro ao referido no Quadro 3 da norma NP EN 1504-3, rerepresentado pela Figura 2.2.

N.º	Características de desempenho	Substrato de referência (EN 1766)	Método de ensaio	Requisito			
				Estrutural		Não estrutural	
				Classe R4	Classe R3	Classe R2	Classe R1
1	Resistência à compressão	—	EN 12190	≥ 45 MPa	≥ 25 MPa	≥ 15 MPa	≥ 10 MPa
2	Teor de cloretos	—	EN 1015-17	≤ 0,05 %		≤ 0,05 %	
3	Aderência	MC (0,40)	EN 1542	≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa ^a	
4	Retração/expansão impedidas ^{b,c}	MC (0,40)	EN 12617-4	Resistência de colagem após ensaio ^{d,e}			Sem requisito
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa ^a	
5	Resistência à carbonatação ^f	—	EN 13295	d _k ≤ betão de controlo (MC(0,45))		Sem requisito ^g	
6	Módulo de elasticidade	—	EN 13412	≥ 20 GPa	≥ 15 GPa	Sem requisito	
7	Compatibilidade térmica ^h Parte 1, gelo-degelo	MC (0,40)	EN 13687-1	Resistência de colagem após 50 ciclos ^{d,e}			Inspeção visual após 50 ciclos ^e
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa ^a	
8	Compatibilidade térmica ^h Parte 2, ciclos térmicos com chuva	MC (0,40)	EN 13687-2	Resistência de colagem após 30 ciclos ^{d,e}			Inspeção visual após 30 ciclos ^e
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa ^a	
9	Compatibilidade térmica ^h Parte 4, ciclos térmicos a seco	MC (0,40)	EN 13687-4	Resistência de colagem após 30 ciclos ^{d,e}			Inspeção visual após 30 ciclos ^e
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa ^a	
10	Resistência ao deslizamento	—	EN 13036-4	Classe I: > 40 unidades ensaiadas molhadas Classe II: > 40 unidades ensaiadas secas Classe III: > 55 unidades ensaiadas molhadas	Classe I: > 40 unidades ensaiadas molhadas Classe II: > 40 unidades ensaiadas secas Classe III: > 55 unidades ensaiadas molhadas		
11	Coefficiente de dilatação térmica ^e	—	EN 1770	Não requerido se forem realizados os ensaios 7, 8 e 9; senão, valor declarado	Não requerido se forem realizados os ensaios 7, 8 e 9; senão, valor declarado		
12	Aborção capilar	—	EN 13057	≤ 0,5 kg.m ⁻² .h ^{0,5}			Sem requisito
Requisitos para os Princípios de reparação 3, 4 e 7: Método 3.1: Reconstituição do betão aplicando argamassa à mão Método 4.4: Reforço estrutural com argamassa ou betão Método 3.2: Reconstituição do betão com betão novo Método 7.1: Aumento do recobrimento com argamassa ou betão Método 3.3: Reconstituição do betão com betão ou argamassa projectados Método 7.2: Substituindo betão carbonatado ou contaminado							
^a Não se requiere o valor de 0,8 MPa quando ocorre rotura coesiva no material de reparação. Se esta ocorre, requiere-se uma resistência à tracção mínima de 0,5 MPa. ^b Não aplicável no método 3.3. ^c Não aplicável no caso de ciclos térmicos. ^d Valor médio com nenhum valor individual inferior a 75 % do requisito mínimo. ^e A largura média máxima permitida é ≤ 0,05 mm, com nenhuma fissura ≥ 0,1 mm e ausência de delaminação. ^f Para a durabilidade. ^g Não apropriado para a protecção contra a carbonatação, a menos que o sistema de reparação inclua um sistema de protecção superficial contra a carbonatação (ver EN 1504-2). ^h A escolha do método depende das condições de exposição. Quando um produto satisfaz a Parte 1, é suposto satisfazer as Partes 2 e a 4.							

* Ver Anexo Nacional NA (informativo).

Figura 2.2 - Requisitos de desempenho de produtos de reparação estrutural e não estrutural (NP EN 1504-3:2006).

No presente trabalho, optou-se por estudar argamassas modificadas, com uma determinada natureza de polímero, tendo sido formuladas um número distinto de misturas, através da variação do polímero e do traço da argamassa.

Nas argamassas cimentícias, é muito frequente a utilização de superplastificantes. Loureiro (2013) explica que as vantagens do seu uso, no estado fresco, são a redução da relação água/cimento, que promove o aumento da massa volúmica e da coesão da mistura. Contudo, se a relação água/cimento se mantiver haverá um aumento da fluidez da argamassa e diminuição da segregação. No estado endurecido, a diminuição da relação água/cimento permite um aumento significativo da resistência mecânica, redução da permeabilidade da argamassa e menor retracção.

2.4 Aplicação e Condições de Cura

Em geral, há um consenso no que toca aos princípios de actuação do betão e aplicação do material que o irá reparar, pois, tanto as fichas de produtos de reparação, dos materiais usados, como manuais de reparação de betão, estão em sintonia. Correia (2015) sugere que para a “preparação das superfícies, a reparar, devem ser seguidos estritamente os procedimentos referidos nas fichas técnicas dos produtos.”

Apresentam-se, resumidamente, as diferentes fases de preparação do sistema para aplicação de produtos de reparação, estabelecidas na NP EN 1504-10, que sucedem aos processos apresentados NP EN 1504-9, representados no Anexo C, na Figura C.2:

- Remoção do betão deteriorado ou desintegrado, até se atingir o betão são. As armaduras deverão, ainda, ser expostas, caso estas se encontrem corroídas ou sem aderência ao betão;
- Promoção, se necessário, de aumento de rugosidade da superfície;
- Remoção de gorduras e de ferrugem do aço;
- Remoção da sujidade da superfície de betão, com jacto de água sobre pressão. A pressão da água para limpeza deverá ter até 18 MPa de pressão;
- Saturação da superfície com água antes da aplicação do material de reparação. No caso não ser utilizado um produto de ligação/agente de aderência, de acordo com as especificações do fabricante.

Resende (2007) constata que a aplicação manual, tanto em tectos, como na horizontal, exige uma maior habilidade executiva, do que a aplicação por projecção. O guia de reparação de estruturas de betão armado (Sika, n.d.), apresenta o modo de execução dos dois métodos de reparação, que se resumem na aplicação de uma camada de argamassa, com espessura inferior a 25 mm, com o objectivo de restabelecer a secção inicial do elemento danificado. O guia refere ainda, que a espessura de reparação, não deve ultrapassar os 50 mm, valor que pode variar consoante a constituição da argamassa. Na Figura 2.3 ilustra-se a técnica de aplicação manual, em tecto.

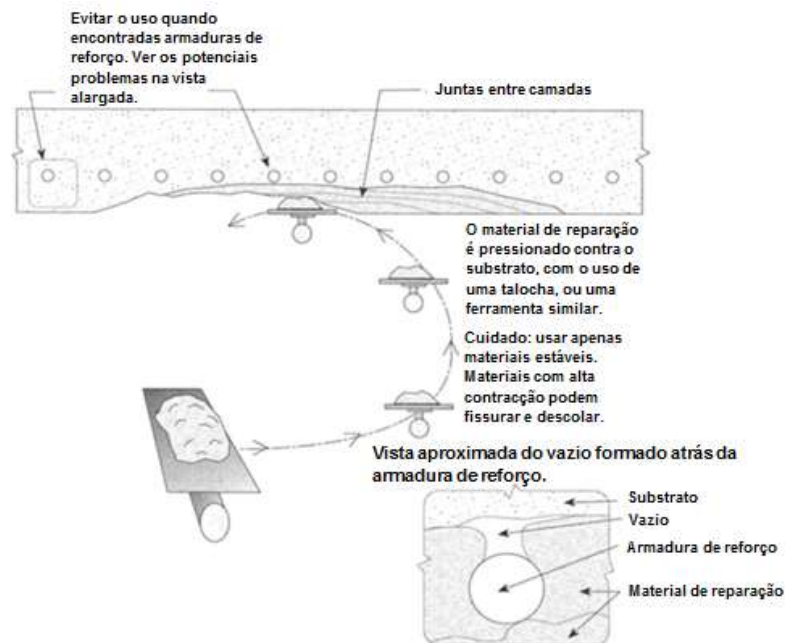


Figura 2.3 – Aplicação manual, de material de reparação de betão armado (Appleton, Costa, n.d.)

O Grupo Español del Hormigón (GEHO) 1989, referido por Júnior e Selmo (2007), refere que as propriedades a ter em conta para a escolha dos materiais de reparação são: o grau de deterioração da estrutura, as suas causas e evolução; a espessura a ser executada; o local a ser reparado; as condições de temperatura e humidade do ambiente; as solicitações físico-químicas às quais a estrutura está exposta; e por fim, o tempo disponível para a execução de reparação.

Também Brito e Flores (2005) mencionam que a escolha dos materiais e das técnicas de reparação dependem do diagnóstico da anomalia, das características, da região a ser reabilitada e das exigências de serviço do elemento de betão. Consta-se então que é necessário o conhecimento das propriedades dos materiais de reparação, no sentido de se maximizar a durabilidade e desempenho da estrutura reparada.

Relativamente à cura de argamassas modificadas com polímero, Rogina e Ukrainczyk (2010) referem que a cura ideal é a cura seca. Por outro lado Parghi e Alam (2016) concluíram que a cura deve contemplar uma fase húmida, onde será hidratado o cimento, e uma fase seca, que irá permitir a formação do filme polimérico, permitindo a uma maximização dos resultados obtidos pela incorporação de polímeros. Segundo Wang et al (2006) o filme polimérico retém água suficiente para a hidratação do cimento.

Hassan *et al.* (2001) verificaram que a resistência à compressão das PMC foi superior, em condições de cura seca, e Jenni *et al.* (2006), que a resistência mecânica foi menor na cura húmida, enquanto a combinação de cura húmida e seca permitiu um aumento da mesma.

Na tese de doutoramento de Resende (2007) foram analisadas argamassas de estireno-butadieno e no seu estudo para a determinação da tensão de aderência das argamassas de reparação, analisou

as condições de exposição e a influência da cura, das mesmas. Após os resultados verificou, que a melhor cura, para as argamassas produzidas em laboratório, seria de 48 horas de cura húmida, a uma temperatura $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e 100% de humidade relativa, sendo os provetes conservados, seguidamente num ambiente de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, com $60\pm 5\%$ de humidade relativa. Contudo os resultados de Maranhão (2015) indicam que a cura seca é preferível à cura húmida-seca.

Relativamente à caracterização das condições de aplicabilidade, não se encontrou nenhuma informação, nos trabalhos analisados.

2.5 Aderência e Retracção

As propriedades mecânicas e de durabilidade das argamassas de reparação são fulcrais no seu desempenho. Actualmente são diversos os estudos sobre quais os novos materiais e produtos mais adequados para argamassas de reparação de betão, e quais as dosagens ideais de cada constituinte. Estes estudos têm o objectivo de permitir uma melhor aderência entre o material de reparação e o betão, passando principalmente pela diminuição da retracção destes materiais.

Numa reparação, a retracção da estrutura a reparar está praticamente finalizada, enquanto a retracção do material de reparação, vai ocorrer após a sua aplicação, promovendo o aparecimento de movimentos diferenciais na interface, que contribuirão para a separação de ambos (Peña, 2004).

A restrição à retracção do material de reparação, confinada pelo suporte, origina tensões de tracção e de corte no plano de aderência, que respectivamente, irão originar fissuração e perdas de aderência, durante o processo de endurecimento da argamassa, tendo como consequências uma maior permeabilidade da estrutura, prejudicando a protecção das armaduras a agentes nocivos e aderência destas com o betão (Gomes e Pinto, 2011).

Outra propriedade importante do material de reparação é a sua capacidade de deformação, que deve ser compatível com a deformação do suporte de aplicação, ao longo do tempo. Desta forma, a durabilidade da argamassa de reparação depende do equilíbrio entre a aderência e a sua capacidade de deformação, tendo em conta a retracção, Pinho *et al.* (2005).

Para Fowler (1999), as PCM apresentam este equilíbrio e Maranhão (2011) refere que aumento da relação polímero/cimento, nas PCM, melhora estas três propriedades, devido à formação de película.

Contudo as PCM possuem grandes teores de ar, e Carasek (1997) verificou que a presença de bolhas de ar microscópicas na zona de contacto entre betão e material de reparação, é prejudicial para a aderência entre materiais.

Quanto ao desenvolvimento da aderência no estado endurecido, é um fenómeno essencialmente mecânico. Contudo, neste processo, há uma parcela, desprezável, que provém de ligações polares covalentes entre os átomos do cimento e a superfície de betão (Gandur, 2001).

Neste âmbito, o tipo de superfície, a rugosidade superficial, a porosidade, o teor de humidade e a forma de aplicação da argamassa são factores que influenciam, significativamente, a aderência entre os dois materiais (Saraiva, 2007). Os estudos desenvolvidos por Silfwerbrand (2003) e Courard *et al.* (2006) concluem que os métodos de preparação da superfície de betão, mais adequados para a obtenção de rugosidade, na superfície a reparar, são o jacto de areia e o jacto de água.

Também o documento do “Comité Euro-International du béton” (1998), do grupo de trabalho G21, citado por Resende (2007), apela, que não só a adesão, mas também o atrito, com menor influência, são fulcrais para a resistência de aderência, sendo estes influenciados pela rugosidade e “uso de produtos de ligação; resistência à compressão do betão de suporte, tensão de compressão aplicada externamente à ligação e pela existência ou não de cargas cíclicas”. Mansur (2007) acrescenta que a morfologia, textura e granulometria, das areias, exercem grande influência na trabalhabilidade e aderência das argamassas, e que com o aumento do traço ponderal esta diminui.

2.6 Resultados experimentais de outros autores

Neste sub-capítulo, nas Tabelas 2.1 a 2.3, apresentam-se os contributos experimentais, de Ribeiro (2004), Resende (2007), Ribeiro *et al.* (2008), Pina (2009), Dias (2011) e Damião (2012). Estes autores estudaram as mesmas propriedades, das PCM e CM, analisadas neste trabalho. No capítulo 5, serão feitas comparações entre os resultados obtidos neste trabalho, com os destes autores.

Tabela 2.1 - Composição e resultados experimentais das PCM-SB (polímero estireno-butadieno), estudadas por outros autores.

Propriedades	Autor						
	Ribeiro (2004)			Dias (2011)	Damião (2012)	Resende (2007)	
	SB3-1	SB3-2	SB3-3	PCM-SB	PCM-SB-3	AMP1	AMP2
Cimento (kg/m ³)	485,8	485,3	479,7	430,5	500	454,6	434,4
Areia (kg/m ³)	1456,3	1455	1438,2	1291,6	1275	1383,8	1303,1
Água (kg/m ³)	165,2	150,4	134,3	172,2	27	50,2	78,2
Polímero (kg/m ³)	97,6	145,6	192,6	64,6	227,3	177,1	168,8
Traço C:A (peso)	1:3	1:3	1:3	1:3	1:2,5	1:3	1:3
Relação: W/C	0,34	0,31	0,28	0,4	0,35	0,35	0,42
Relação: P/C (%) (peso)	10	15	20	15	15	15	15
Massa Volúmica (kg/m ³)	2153	2164	2155	1959	-	1922	2010
Espalhamento (%)	118	112	116	121	106	83	90
Teor de ar (%)	7,2	6,4	6,5	11,5	-	10,5	11,5
Resistência à Compressão (MPa)	58,5	56,2	53,2	29,2	-	54,6	58,9
Resistência à Flexão (MPa)	9,7	10,2	11	12,2	-	12,3	12,2

De notar que no Gráfico 2.1 os valores da quantidade de água das argamassas SB3 e PCM-SB correspondem à quantidade total de água da mistura, ou seja, o somatório da água adicional com a percentagem aquosa do polímero.

Tabela 2.2 - Composição e resultados experimentais das PCM-AS (polímero acrílico), estudadas por outros autores.

Propriedades	Autor					
	Ribeiro (2004)	Dias (2011)	Pina (2009)			Damião (2012)
	As	PCM-AS	A1	A2	A3	PCM-AS-3
Cimento (kg/m ³)	446,6	377,1	416,9	418,6	411,4	520
Areia (kg/m ³)	1339,7	1131,4	1250,6	1255,7	1234,1	1273
Água (kg/m ³)	234,5	150,9	152,7	130,2	123,4	174
Polímero (kg/m ³)	106,3	56,6	41,7	62,8	82,3	77,5
Traço C:A (peso)	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3
Relação: W/C	0,53	0,4	0,37	0,31	0,3	0,32
Relação: P/C (%)	23,8	15	10	15	20	15
Massa Volúmica (kg/m ³)	1943	1716	1720	1850	1890	-
Espalhamento (%)	108	136,5	106	97	100	92
Teor de ar (%)	10,8	25	16	14,5	13	-
Resistência à Compressão (MPa)	46,6	29,3	33,7	37,1	34,3	-
Resistência à Flexão (MPa)	9,1	14,6	8,5	10	10,8	-

Tabela 2.3 - Composição e resultados experimentais das CM, estudadas por outros autores.

Propriedades	Autor									
	Ribeiro <i>et al.</i> (2008)	Resende (2007)				Pina (2009)		Damião (2012)	Dias (2011)	
	Pa2	AN1	AN2	AME1	AME2	A0	C2	CM-3	CM-1	CM-2
Cimento (kg/m ³)	505,2	481,7	480,7	451,9	430,8	449,8	492,3	375	505	308,4
Areia (kg/m ³)	1515,8	1445	1442	1355,7	1292,5	1349,4	1406,6	1350	1514,9	925,2
Água (kg/m ³)	169,6	240,8	240,3	203,4	215,4	164,9	206,8	220	202	123,4
Expansivo (g)	-	-	-	42,5	43,1	-	32,1	-	-	-
Superplastificante (kg/m ³)	3,7	-	-	5,4	5,2	2,3	9,9	-	10,1	-
Introdutor de ar (kg/m ³)	0,1	-	-	-	-	0,04	-	-	-	1,1
Traço C:A (peso)	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3,7	1:3	1:3
Relação: W/C	0,34	0,5	0,5	0,45	0,5	0,37	0,42	0,57	0,4	0,4
Massa Volúmica (kg/m ³)	-	2382	-	2383	2370	1970	2180	-	2232	1358
Espalhamento (%)	77	91	96	99	122	87	102	100	81	101
Teor de ar (%)	8	4,8	5	11	12	16,5	-	-	6	35
Resistência à Compressão (MPa)	55,4	52	54,7	55,9	49,9	45,2	63,3	-	66	8,6
Resistência à Flexão (MPa)	8,4	7,8	8,3	8,7	7,4	6,7	7,3	-	13,8	3,3

3. REOLOGIA DE ARGAMASSAS

3.1 Considerações Gerais

Este capítulo apresenta várias conclusões e descobertas, apresentadas por diversos autores, sobre as propriedades reológicas de argamassas cimentícias, e a influência que os materiais, que compõem a mistura, têm na variação dos parâmetros reológicos.

Foram apresentados conceitos teóricos, no âmbito da reologia, assim como os diversos modelos reológicos existentes, para a caracterização de fluídos. No fim do capítulo referem-se as diversas técnicas, existentes, para a obtenção dos parâmetros reológicos de argamassas.

Não se encontraram artigos ou trabalhos de reologia e reometria de argamassas modificadas com polímero.

3.2 Parâmetros que Influenciam a Reologia em Argamassas

O estudo da reologia de argamassas tem permitido o desenvolvimento de novos produtos e uma melhor compreensão do seu comportamento. A caracterização de argamassas no estado fresco é fortemente relacionada com a sua própria reologia, e o seu estudo é fundamental para o conhecimento dos fenómenos relacionados com a sua aplicabilidade, uma vez que elas são aplicadas no estado fluido, para que depois possuam um comportamento desejado no estado endurecido.

A reologia é a ciência que estuda o fluxo e a deformação dos materiais, quando submetidos a uma tensão ou deformação externa, permitindo a caracterização das variações de comportamento das argamassas com o tempo e com diferentes taxas de deformação (Castro, 2007).

Uma argamassa é composta pela pasta reactiva (cimento, água, adições e adjuvantes) e por areia, e estes últimos, podem ser considerados suspensões concentradas de sólidos num líquido (Hendrickx, 2009), como mostra a Figura 3.1.

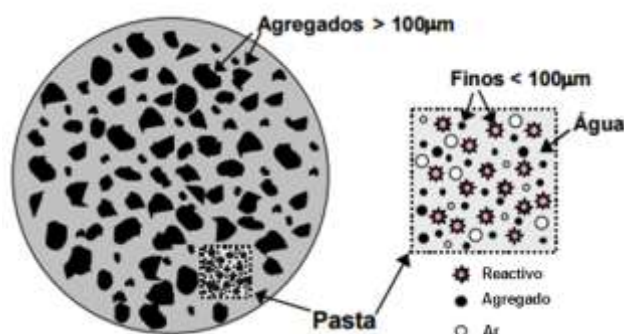


Figura 3.1 - Esquema descritivo da macro e da microestrutura de uma argamassa, Cardoso *et al.* (2009).

Para Costa (2006), a proximidade das partículas constituintes da argamassa, dá origem a fortes interações, dependentes da sua forma, tamanho, distribuição e concentração. Todos estes factores afectam a reologia de argamassas.

Gomes (2013) refere que este parâmetro, a reologia, também é condicionado pela temperatura e humidade, através das alterações que estas provocam na viscosidade e tensão de escoamento dos materiais. Costa *et al.* (2010) menciona que o aumento da água de amassadura e a presença de adjuvantes, provocam um desequilíbrio das forças intrínsecas, de uma argamassa, afectando o seu comportamento reológico.

Paiva (2005) apresenta de forma resumida um estudo realizado por Banfill (1994) sobre a influência destes factores na reologia de argamassas, tendo como resultados:

- O aumento da água de amassadura provoca uma diminuição acentuada da viscosidade e de tensão de cedência (Figura 3.2);
- Nos agregados, o aumento da fracção granulométrica mais fina promove um aumento da tensão de cedência e da viscosidade, com um teor de água igual;

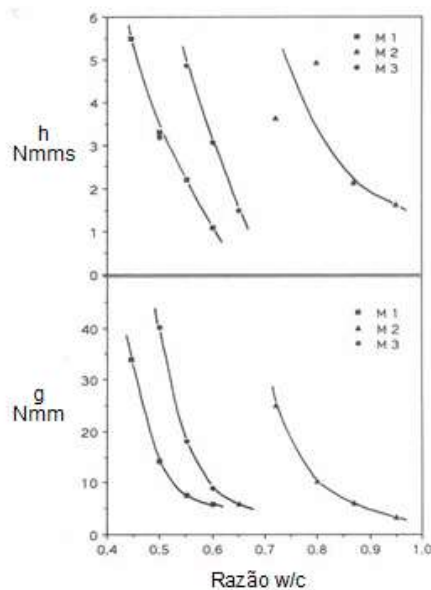


Figura 3.2 - Efeito da água de amassadura sobre a viscosidade (ou coeficiente h) e a tensão de cedência (ou coeficiente g), Paiva (2005).

Quanto aos adjuvantes, os mais estudados em termos reológicos, têm sido os agentes plastificantes e os agentes retentores de água:

- Para pequenas quantidades de retentor de água, ocorre um aumento de viscosidade e diminuição da tensão de cedência. Em relação aos agentes introdutores de ar, o aumento do teor de ar introduzido, promove uma diminuição da viscosidade e a tensão de cedência não apresenta uma variação significativa (Figura 3.3). O aumento do teor de adjuvantes

plastificantes, assim como o atraso no tempo da adição do adjuvante, provocam uma diminuição dos dois parâmetros reológicos, e também estimulam um atraso do tempo de presa.

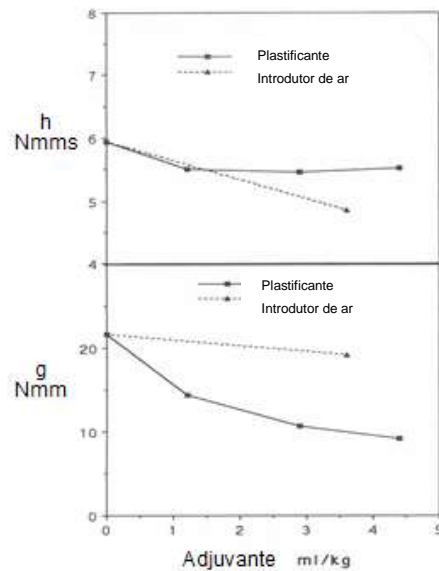


Figura 3.3 - Efeito de adjuvantes (plastificante e introdutor de ar) nos parâmetros reológicos de uma argamassa, Paiva (2005).

De acordo com Reis (2008), para Barnes *et al.* (1989), a reologia foca-se principalmente na análise da deformação e fluxo da matéria, os quais envolvem fenômenos de elasticidade, plasticidade e viscosidade.

3.3 Conceitos da Reologia

A reologia tem contribuído, na investigação da deformação e do fluxo de materiais submetidos a uma determinada tensão, no estado fresco e no estado endurecido, compreendendo uma componente de mecânica dos sólidos (Filho *et al.*, 2007).

O estudo da deformação de materiais permite diferenciar um sólido de um líquido. O sólido, em resposta à aplicação de uma força, deforma-se finitamente, e o líquido, nas mesmas circunstâncias, é caracterizado por uma deformação constante (Teixeira, 2013). Também o nível da tensão de corte permite distinguir um sólido ou de um fluido.

O fluxo, por sua vez, está relacionado com os movimentos das camadas adjacentes dos elementos de um fluido (Paiva, 2005). Quando uma força de corte é aplicada a um fluido, um gradiente de velocidade é induzido sobre ele (Sousa e Bauer, 2002). O gradiente de velocidade também é denominado de taxa de deformação de corte, taxa de corte ou taxa de deformação.

3.3.1 Fluxo

Teixeira (2013) refere que há dois tipos de escoamento, relacionados com o movimento de partículas adjacentes a um líquido. Estes escoamentos podem ser de corte (tangenciais) ou extensionais (normais). Nos escoamentos de corte, as camadas que constituem o fluido, deslizam entre si, como é observável na Figura 3.4. No escoamento extensional, as partículas adjacentes apresentam movimentos de contracção e retracção.

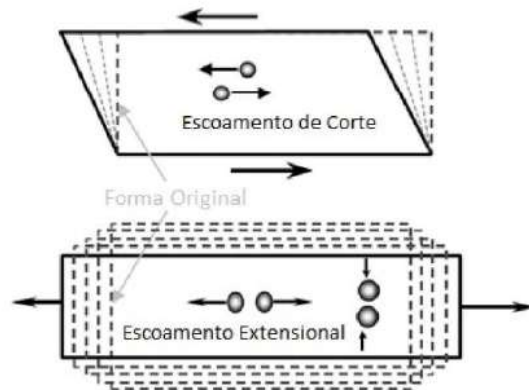


Figura 3.4 - Movimento das partículas, nos escoamentos de corte e nos escoamentos extensionais (Teixeira, 2013).

Gołaszewski (2008) revela a importância da interface sólido/água nas propriedades de fluxo, e que, a interface cimento/água possui uma grande influência sobre a área superficial de contacto, porém com o aumento do teor de agregados este factor torna-se menos essencial.

O estudo de Banfill (2003) comprova que também a dimensão dos agregados é um factor a ter em conta no fluxo. Quanto maior a dimensão dos agregados, maior será a tensão de cedência e a viscosidade plástica. Este aumento provoca uma desconstrução estrutural expressiva e irreversível nas pastas de cimento e nas argamassas, todavia o mesmo já não ocorre no betão.

3.3.2 Viscosidade

Moreira (2003), na sua tese de doutoramento, mostra que a lei de Hooke (Equação 3.1) pode ser representada através de um prisma rectangular, constituído por um material elástico ideal, de área A , no qual é aplicado um par de forças (F), tangencialmente, nas duas faces opostas, provocando uma deformação, representada pelo ângulo de distorção (γ) O módulo de distorção (G) é a constante de proporcionalidade.

$$\tau = F/A = G \times \gamma \quad (3.1)$$

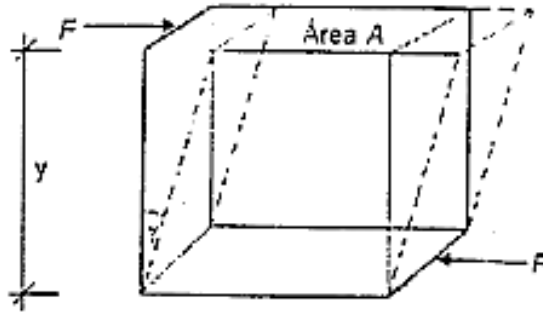


Figura 3.5 - Deformação de um prisma elementar por uma força tangencial.

Não obstante, se estas forças forem aplicadas a uma massa fluida em movimento, considerando que é constituída por diversas camadas adjacentes (Figura 3.6), confinadas entre dois planos paralelos, é possível apurar que a constante de viscosidade (η) é o factor de proporcionalidade entre a força (τ) e o gradiente de velocidade ($\dot{\gamma}$), através da lei de Newton (Equação 3.2). Esta equação mostra que a “viscosidade é um indicador de coesão entre as moléculas que constituem as lâminas adjacentes de um fluido”, (Barroca, 2013).

$$\tau = \eta \times \dot{\gamma} \quad (3.2)$$

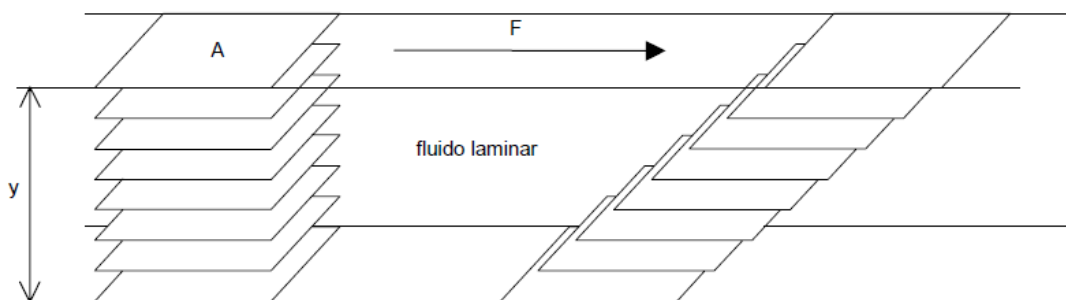


Figura 3.6 - Modelo do fluxo de um fluido sob acção de corte, Camões (2002).

Hackley e Ferraris (2001), de acordo com a Equação 3.2, referem que o aumento da viscosidade de um fluido tem como consequência, o aumento da força necessária para a ocorrência de uma determinada taxa de deformação constante. Este facto comprova a oposição que a viscosidade apresenta sobre o escoamento (Barnes, 2000).

A viscosidade dos materiais sofre alterações com a variação da temperatura. De uma forma geral, o aumento da temperatura irá promover um incremento na movimentação molecular, provocando uma diminuição da viscosidade do material (Barra, n.d.).

3.3.2.1 Viscoelasticidade

O conceito de viscoelasticidade linear está amplamente relacionado com o comportamento reológico e mecânico de determinados materiais fluidos, como betões e argamassas, que apresentam tensão de escoamento.

A teoria da viscoelasticidade, constitui uma generalização da mecânica do corpo perfeitamente elástico e do fluido puramente viscoso e está presente em materiais que exibam a natureza de ambos. Este conceito emprega-se então na caracterização de materiais que podem apresentar comportamentos extremos: a resposta de um elemento elástico ideal de Hooke e o comportamento viscoso Newtoniano. Quando estes materiais são submetidos a uma tensão de corte, ocorre uma deformação instantânea, característica de um sólido elástico de Hooke, seguida de uma deformação contínua, Guerra *et al.* (2004).

Afonso *et al.* (2011) abordam a importância do nº de Deborah (De), representado na Equação 3.3, uma vez que este permite distinguir os diferentes comportamentos dos materiais.

$$De = t_r / t_0 \quad (3.3)$$

- Um material é viscoelástico quando o tempo de relaxamento (t_r) e o tempo de observação (t_0), têm a mesma ordem de grandeza;
- Um material é sólido se apresentar um número de *Déborah* elevado;
- Um material é líquido se apresentar um número de *Déborah* baixo.

O tempo de relaxamento (t_r) é o tempo necessário para que o material realize movimentos moleculares mais lentos e o tempo de observação (t_0) é o tempo de aplicação da perturbação mecânica (Silva, 2006).

Banfill (2003) refere que os materiais são viscoelásticos quando as forças interpartículas, resultantes das cargas superficiais e da dupla camada eléctrica, derem origem a valores de t_r e t_0 da ordem dos 10^{-4} a 10^4 segundos.

3.3.3 Modelos Reológicos

Como se verificou em § 3.3.2 (Viscosidade), um fluido que obedece à Equação 3.2 é caracterizado por um comportamento de um fluido Newtoniano, onde a relação entre a tensão de corte e a taxa de deformação corresponde a uma equação linear que passa na origem do gráfico, sendo a viscosidade constante.

Para a representação deste tipo de fluidos, basta a medição de, apenas, uma velocidade de corte, e a sua análise reológica baseia-se unicamente na viscosidade.

Porém, nem todos os fluidos apresentam um comportamento tão simples. Os fluidos Não-Newtonianos são exemplo desse facto e estão representados graficamente, na Figura 3.7 e analiticamente, na Tabela 3.1.

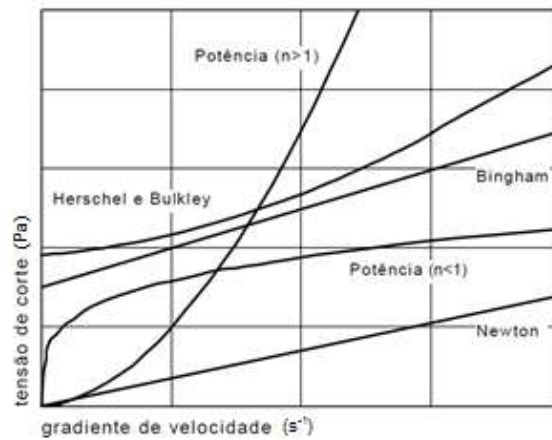


Figura 3.7- Relações gradiente de velocidade-tensão de corte, Camões (2002).

Tabela 3.1 - Relações entre a tensão de corte e o gradiente de velocidade, Ferraris (1999), adaptado por Camões (2002).

Autores	Expressão
Newton	$\tau = \eta \dot{\gamma}$
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma}$
Herschel e Bulkley	$\tau = \tau_0 + k \dot{\gamma}^n$
Lei de potência	$\tau = A \dot{\gamma}^n$ $n = 1$, para fluido Newtoniano; $n > 1$, para fluido Dilatante; $n < 1$, para fluido Pseudoplástico.
Von Berg e Oswald-de-Waele	$\tau = \tau_0 + B \sinh^{-1}(\dot{\gamma}/C)$
Eyring	$\tau = a \dot{\gamma} + B \sinh^{-1}(\dot{\gamma}/C)$
Robertson-Stiff	$\tau = a(\dot{\gamma} + C)^b$
Atzeni, Massida e Sanna	$\dot{\gamma} = \alpha \tau^2 + \beta \tau + \delta$

Obs.: τ =tensão de corte, τ_0 =tensão de cedência, $\dot{\gamma}$ =gradiente de velocidade, η = viscosidade e $A, a, B, b, C, k, \alpha, \beta$ e δ são constantes.

Verifica-se que para os fluidos Não-Newtonianos são necessárias mais do que uma velocidade de corte, para o seu estudo. Na análise destes fluidos, Banfill (2006) sugere o uso de uma sequência de velocidades, em vez de somente duas velocidades (que são suficientes), de forma a diminuir o erro experimental. Este procedimento permite obter uma curva de fluxo, ou seja, uma tensão de corte em função da deformação.

É de salientar que o comportamento reológico das argamassas é descrito, normalmente, pelo modelo Bingham, representado pela Equação 3.4 (Jin, 2002). Todavia, determinadas adições tornam o comportamento das argamassas, mais próximo do modelo de Herschel-Bulkley (Palacios *et al.*, 2008), representado na Tabela 3.1.

$$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma} \quad (3.4)$$

Analisando a equação anterior, verifica-se que a tensão de cedência (τ_0) é determinada a partir da ordenada na origem, e obtém-se o valor da viscosidade (η) do material, pelo declive da recta.

Segundo Barnes *et al.* (1989), os fluidos Bingham não fluem até à tensão de cedência ser excedida. Contudo, para valores superiores à tensão de cedência, os fluidos Bingham apresentam um comportamento linear entre a tensão de corte e a taxa de deformação. Por outras palavras, estes fluidos comportam-se como sólidos, para valores abaixo da tensão de cedência (τ_0), mas apresentam um comportamento de fluido viscoso para tensões de corte superiores (Wésterholm, 2006).

3.3.4 Trabalhabilidade

Hendrickx (2009), com base no RILEM (1978), define trabalhabilidade como um conjunto de factores inter-relacionados, que conferem uma boa qualidade e produtividade, de uma argamassa, durante a sua aplicação.

Do ponto de vista científico, a trabalhabilidade pode ser definida em termos de homogeneidade e fluidez de um material, devido ao seu comportamento reológico. Este comportamento é caracterizado pelo crescimento da tensão de cedência em função do gradiente de velocidades, na curva de viscosidade. Um material “trabalhável” deve exibir um comportamento reológico adequado para as tensões e pressões envolvidas nos processos a que este está sujeito, mantendo a sua homogeneidade até à fase de consolidação (Cardoso *et al.*, 2014).

Wallevik (2003, 2005) menciona que a trabalhabilidade de uma argamassa depende da consistência, plasticidade, coesão, tixotropia e retenção de água, e ainda da exsudação, tempo de presa e adesão inicial. Cardoso *et al.* (2005) considera que o conceito de trabalhabilidade é de certa forma relativo, pois depende não somente das propriedades do material, mas também da forma de aplicação e do método de avaliação.

O conceito de trabalhabilidade em argamassas é caracterizado no estado fresco, mas como as argamassas são fluidos não-Newtonianos, a trabalhabilidade tem de ser convertida em grandezas reológicas mensuráveis, para que seja possível a formulação destas, com base em conceitos micro—estruturais ou reológicos, (Pileggi *et al.*, 2006), referido por Reis (2008).

3.3.5 Tixotropia

De acordo com Wallevik (2009), que cita Barnes *et al.* (1989), tixotropia é a diminuição gradual da viscosidade sob uma tensão de corte, seguida de uma recuperação gradual da estrutura, quando a tensão é removida. Hu e Larrard (1996), referido por Castro *et al.* (2011), mencionam que este

fenómeno ocorre por consequência da estrutura instável do material, que pode ser rompida com uma determinada energia. Moulin *et al.* (2001) explicam que esta rotura interna, raramente é reversível para fluidos cimentícios, já que as reacções químicas contínuas modificam as propriedades destes materiais, de maneira irreversível, com o tempo.

Jarny *et al.* (2005) referem que para curtos prazos, os processos de floculação e desfloculação dominam, levando a efeitos tixotrópicos rápidos (reversíveis), enquanto que em escalas de tempo maiores, o domínio prevalece para os processos de hidratação, conduzindo a evoluções irreversíveis do comportamento do fluido.

Roussel (2006) acrescenta que estes dois efeitos podem, de facto, actuar em qualquer momento, todavia com tempos característicos distintos. Como consequência, é razoável considerar que existe um período intermédio, para que os efeitos irreversíveis ainda não sejam significativos. Este período corresponde ao que se define como o "estado estacionário" do regime de fluxo do material.

Banfill (2003) refere que em argamassas, os termos destruição e reconstrução estrutural são mais apropriados, dado que existe uma destruição estrutural irreversível, esquematizada na Figura 3.8. A sua existência significa que a reologia de sistemas de cimento é melhor estudada em experiências, em que a taxa de deformação é mantida constante até que o equilíbrio seja atingido. Desta forma estes fenómenos afastam-se do conceito "tixotropia", que é um termo geralmente utilizado para descrever a repartição reversível de estruturas (Mujumdar *et al.* 2002).

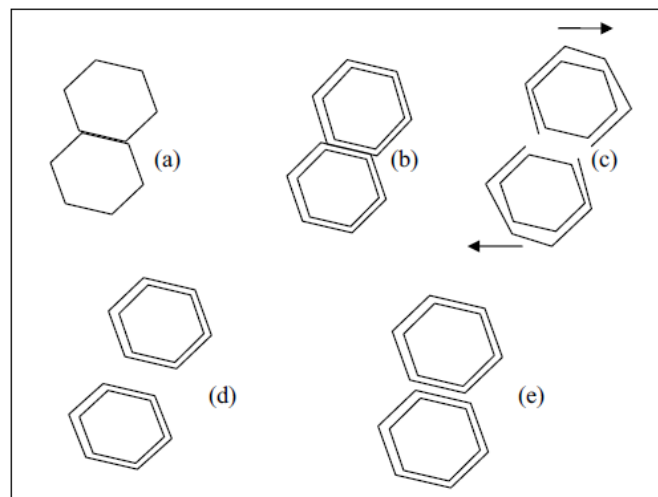


Figura 3.8 - Modelo para a destruição estrutural irreversível induzida por acção de corte; (a) Partículas de cimento secas em contacto; (b) Formação de membrana envolvente quando o cimento contacta com água; (c) As pontes das membranas rompem-se sob a acção de corte; (d) Reconstrução das membranas; (e) Em repouso, as membranas aproximam-se para uma distância correspondente ao mínimo de energia repulsiva. (Banfill, 2003), adaptado por Paiva (2005).

A técnica de histerese permite um melhor esclarecimento acerca deste conceito. Mewis e Wagner (2009) relevam que a técnica foi introduzida por Green e Weltmann (1943) e que consiste no aumento da velocidade de corte, entre zero e um valor máximo, seguida do processo inverso.

Roussel (2005) explica que a área e a forma do ciclo de histerese podem variar fortemente de acordo com o material, e duração do ensaio, como está apresentado na Figura 3.9. Roussel (2006), através dos estudos de Banfill (1981), refere que este já tinha advertido, que este método era muito dependente dos aparelhos e dos procedimentos de teste, ou seja, para um dado material, a área fechada vai depender das condições de teste, tais como a história de corte antes do início da experiência, a taxa máxima de deformação e a taxa de aceleração. Logo este método de medição não permite obter um valor intrínseco de qualquer parâmetro reológico físico. Na Figura 3.9 estão representadas curvas de histerese, para situações distintas.

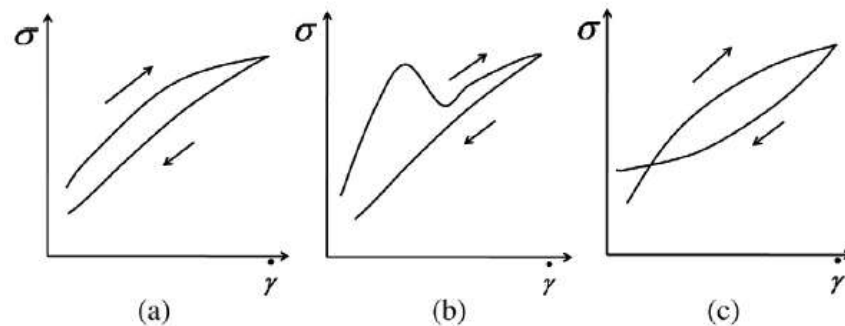


Figura 3.9 - Possíveis formas de curvas de histerese: (a) caso normal; (b) caso onde a destruição estrutural, após o arranque inicial, domina a evolução temporal da tensão, resultando num excesso de tensão; (c) deformação com taxas de corte relativamente baixas (Mewis e Wagner, 2009).

A área confinada entre os tramos ascendente e descendente, da curva de histerese, representada na Figura 3.10, está relacionada com a quantidade de pasta desfloculada durante o processo de mistura. Quanto maior for o valor da área, maior terá de ser a energia a gastar na mistura, para quebrar um maior número de ligações, entre as partículas de ligante (Camões, 2005). Quando a área de colapso é pequena, a destruição estrutural é pouco significativa (Cardoso *et al.* 2014).

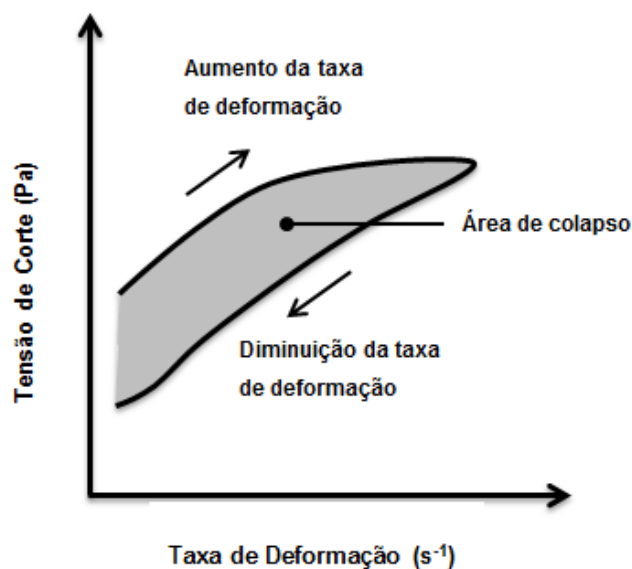


Figura 3.10 - Exemplo de uma curva de histerese de um fluido Bingham.

Na Figura 3.10, verifica-se que na curva crescente há um aumento da taxa de deformação com a tensão de corte, provocando uma rotura nas atracções e aglomerações de partículas. Após a destruição estrutural do fluido, o comportamento deste aproxima-se do modelo Bingham, como mostra a curva descendente (Ekolo *et al.*, 2014).

3.4 Técnicas de avaliação da reologia de argamassas

Através dos estudos realizados por Hoppe *et al.* (n.d.), Rosiany *et al.* (2005) e Barbosa *et al.* (2011) é possível observar diferentes técnicas para caracterização da reologia de argamassas. Estes ensaios são: Mesa de Espalhamento, Dropping Ball, Cone de Penetração, Gtec Test, Flow Cone Test, Vane Test, Squeeze Flow e Reometria. No presente trabalho, para caracterização reológica de argamassas, apenas serão realizados os ensaios com mesa de espalhamento e reómetro.

O ensaio de consistência, por espalhamento, é uma ferramenta de caracterização reológica, em que o espalhamento obtido está relacionado com a tensão de corte e viscosidade do fluido (Roussel *et al.*, 2005). Contudo, o ensaio de consistência não permite avaliar estes parâmetros reológicos, de forma quantitativa, pois argamassas com parâmetros reológicos diferentes, podem apresentar a mesma fluidez (Hoppe *et al.*, n.d.).

O ensaio de reometria permite quantificar a tensão de cedência e a viscosidade, através da Equação 3.5, que representa a curva de fluxo, analiticamente. A curva de fluxo é caracterizada pela variação do torque (T) com a velocidade de rotação (N).

$$T = g + Nh \quad (3.5)$$

Na equação 3.5, o parâmetro g é uma constante proporcional à tensão de cedência e h , uma constante proporcional à viscosidade, segundo Paiva *et al.* (2006).

Segundo Tattersall e Banfill (1983), referidos por Flatt *et al.* (2006), é possível correlacionar os parâmetros da Equação 3.5, com os parâmetros do modelo Bingham, através da calibração do reómetro e das Equações 3.6 e 3.7, em que K e G são constantes inversamente proporcionais.

$$\tau = \frac{K}{G} T \quad (3.6) \quad \eta = h/G \quad (3.7)$$

Em argamassas, os valores habituais de tensão de cedência (τ_0) são de 80 a 400 N/m², e os valores da viscosidade (η) variam de 1 a 3 Ns/m² (Banfill, 2003).

Flatt *et al.* (2006) concluíram que é possível correlacionar os resultados do ensaio de consistência com os de reometria, contudo essa relação de resultados é bastante complexa, analiticamente.

4. APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PLANO DE TRABALHOS

4.1 Considerações Gerais

No presente capítulo apresenta-se o plano de ensaios recomendados para a caracterização de argamassas de reparação de betão, estudadas neste trabalho.

Apresentam-se também os critérios de selecção dos diferentes materiais utilizados na composição das argamassas, assim como a sua caracterização.

Ao longo do trabalho, para facilitar a leitura, do mesmo, utilizaram-se as seguintes abreviaturas, para os materiais: “P” para polímero, “SP” para superplastificante, “W” para água, “C” para cimento e, finalmente, “A” para agregado, neste caso específico a areia.

4.2 Plano de Trabalhos

O principal objectivo do presente trabalho foi a avaliação do comportamento reológico de argamassas de reparação de betão. Este estudo foi complementado com outros ensaio de caracterização de argamassas, no estado fresco e endurecido.

O estudo reológico das argamassas influenciou a escolha dos ensaios para a caracterização no estado fresco. Já o estado endurecido foi inteiramente influenciado pelo método utilizado para reparação de estruturas de betão. Este método corresponde ao Método 3.1 (Reconstituição de betão aplicando manualmente argamassa), do Princípio 3 (Reparação de betão) da NP EN 1504-3.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam os ensaios efectuados, no estado fresco e endurecido, respectivamente, bem como as normas, especificações ou recomendações seguidas.

Tabela.4.1 – Campanha experimental - Ensaios realizados por argamassas, no estado fresco.

Propriedades	Forma de Provetes	Norma	Idade
Consistência por Espalhamento	Tronco-cone (Ø 100mm)	ASTM C 1437	0-3 horas
Massa Volúmica	Cilindro (1 dm ³)	NP EN 12350-6	0 horas
Teor de Ar	Cilindro (1 dm ³)	EN 1015-7 (Método A)	0 horas
Tempo de Presa	Tronco-cone	NP EN 196-3	0 horas
Reologia	-	-	0-3 horas

Tabela.4.2 – Campanha experimental - Ensaio realizados por argamassas, no estado endurecido.

Propriedade	Forma de Provetes	Norma	Nº de Provetes	Idade
Aderência	Cilindro (Ø 50 mm)	EN 1542	5	28* dias
Retracção	Cantoneira	-	2	90 dias
	Anel	-	1	40 dias
Compressão	Meios-Prisma (40x40x160 mm ³)	NP EN 196-1	12	28 dias
Flexão	Prismas (40x40x160 mm ³)	NP EN 196-1	6	28 dias

* Não foi possível realizar todos os ensaios com a mesma idade.

Foram também efectuados ensaios para avaliar as condições de cura ideais e a facilidade da aplicação das argamassas de reparação de betão, estudadas. Na avaliação da aplicabilidade das argamassas foram usadas lajetas em betão com dimensões 30x30x10cm.

De frisar que todos os materiais foram armazenados em sacos de plástico, dentro de barricas singulares, de forma a serem protegidos de qualquer contaminação e foram conservados em ambiente seco, para evitar o seu envelhecimento e degradação.

4.3 Caracterização dos Materiais

Na presente secção apresentam-se os materiais utilizados na produção das argamassas cimentícias e modificadas com polímeros, em laboratório.

4.3.1 Cimento

O cimento utilizado, na produção das argamassas estudadas, foi o cimento Portland do tipo CEM I 42.5 R, fornecido pela SECIL, com um teor de clínquer 95-100%. O cimento foi fornecido a granel utilizando sacos estanques com 40kg.

Este foi escolhido por ser muito utilizado em obras de engenharia civil e muito corrente em trabalhos similares, sobre o estudo de reologia em materiais cimentícios.

O cimento utilizado apresentou uma baridade de 1150 kg/m³. As restantes propriedades do cimento, indicadas na ficha técnica do produto, estão expressas nas Tabelas 4.3 a 4.5, referentes às características físicas, químicas e mecânicas, respectivamente.

Tabela 4.3 - Características Físicas do cimento Portland CEM I 42.5 R.

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado
Princípio de Presa	NP EN 196-3	≥ 60 min
Expansibilidade	NP EN 196-3	≤ 10 mm

Tabela 4.4 - Características Químicas do cimento Portland CEM I 42.5 R.

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado ⁽¹⁾
Perda ao Fogo	NP EN 196-2	≤ 5,0%
Resíduo Insolúvel	NP EN 196-2	≤ 5,0%
Teor de Sulfatos (em SO ₃)	NP EN 196-2	≤ 4,0%
Teor de Cloretos	NP EN 196-21	≤ 0,10%

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

Tabela 4.5 - Características Mecânicas do cimento Portland CEM I 42.5 R.

Resistência à Compressão (Mpa)				
Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência		NP EN 196-1
2 dias	7 dias	28 dias		
≥ 20	-	≥ 42,5 e ≤ 62,5		

4.3.2 Agregados

A areia utilizada para a produção das argamassas estudadas foi uma Areia Fina Lavada (AFL), fornecida pelo Grupo SOAVARMIL, cuja análise granulométrica está apresentada na Tabela 4.6 e Gráfico 4.1, de acordo com a NP EN 933-2, utilizando a série base + “conjunto 2”. A distribuição granulométrica, também pode ser observada através da Figura 4.1.

Tabela 4.6 - Análise granulométrica e características das areia AFL.

Data de ensaio	Material: <u>Areia Fina Lavada</u>			
16 / 02 / 2016	Massa da amostra : <u>1196,2 [g]</u>			
Malha	Resíduo		Resíduo acumulado	
	Passado	Retido	Passado	Retido
[mm]	[g]	[%]	[%]	[%]
6,3	0	0	100	0
4	0,3	0,03	99,97	0,03
3,15	0,2	0,02	99,96	0,04
2	1,2	0,10	99,86	0,14
1	10,5	0,88	98,98	1,02
0,5	546,1	45,70	53,28	46,72
0,25	511,8	42,83	10,44	89,56
0,125	119,1	9,97	0,48	99,52
0,063	2,6	0,22	0,26	99,74
Refugo	3,1	0,26	0,00	100,00
Totais	1194,9	100,00		237,03
Módulo de finura				2,37
Máxima dimensão (mm)				1

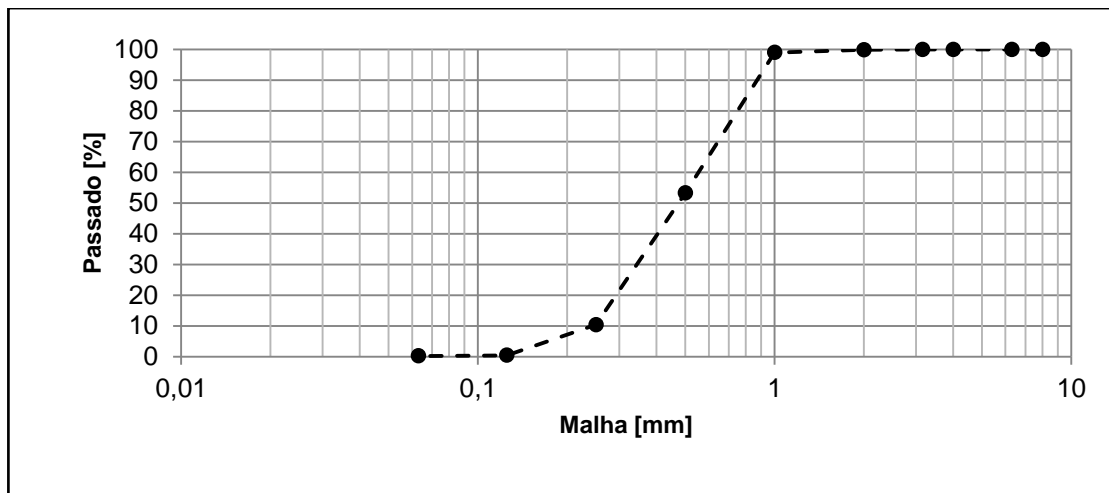


Gráfico 4.1 - Curva granulométrica da Areia Fina Lavada.



Figura 4.1 – Distribuição granulométrica da Areia Lavada.

Determinou-se a sua baridade, de acordo com a NP EN 1097-3 tendo-se obtido os resultados de 1693 kg/m^3 , para a medição compactada, e de 1575 kg/m^3 , para a medição não compactada. Optou-se por tomar o valor de 1610 kg/m^3 , na formulação das argamassas.

A areia foi previamente peneirada, através do peneiro 2mm, por ser o limite máximo do diâmetro do agregado recomendado para o aparelho de medição de remoetria, Viskomat. A areia foi, ainda, seca em estufa, a 100°C , durante 24 horas, de modo a garantir que a quantidade de água total usada para a elaboração das argamassas, não fosse afectada pela variação do teor de água da areia.

4.3.3 Água

A NP EN 1008 e a especificação LNEC E 372 consideram que todas as águas potáveis são válidas para produção de argamassas laboratoriais, cumprindo os requisitos especificados de ambas, não sendo necessárias quaisquer análises químicas à água utilizada.

4.3.4 Adjuvantes e Aditivos

Segundo a NP EN 1504-1, § 3.3.4, adjuvantes são “materiais adicionados durante a amassadura do betão em quantidade igual ou inferior a 5 % da massa de cimento para modificar as propriedades do betão fresco ou do betão endurecido”.

Estes produtos vieram alterar profundamente a tecnologia do fabrico de betões e argamassas, permitindo, nos dias de hoje, fabricar betões e argamassas de elevado desempenho. A NP EN 934-3 e especificação LNEC E 374 expõem as diversas modificações possíveis provocadas pelos adjuvantes, destacando-se o melhoramento da trabalhabilidade pretendida, a aceleração do tempo de início de presa, o aumento da resistência aos ciclos gelo/degelo, a diminuição da permeabilidade e a inibição da corrosão das armaduras.

Nos sub-capítulos seguintes, apresentam-se os adjuvantes utilizados nos dois tipos de argamassa produzidas em laboratório: aditivos poliméricos para as PCM e superplastificante para as CM. A maioria da informação que se segue, foi obtida pelas fichas técnicas dos produtos.

4.3.4.1 Aditivo Polimérico

Designou-se pela nomenclatura de aditivo polimérico, referente ao polímero modificador, devido à NP EN 1504-1 considerar que um adjuvante tem um limite máximo de 5% da massa de cimento, para modificar as propriedades das argamassas, e este polímero é usado normalmente com teores superiores.

Através de informações fornecidas pelos técnicos da BASF, o polímero usado, MasterEmaco A 220, fornecido num bidão de 25 kg, apresentado na Figura 4.2, é equivalente ao produto Sikalatex e segundo a ficha técnica deste, a sua base química é de estireno-butadieno (SB). Na ficha técnica do produto utilizado, no trabalho laboratorial, não é feita qualquer referência em relação à sua composição química.



Figura 4.2 – Aditivo Polimérico MasterEmaco A 220 – BASF.

A ficha técnica do produto MasterEmaco A 220, refere que este se trata de um adjuvante líquido, pois nesta o teor máximo é de 5% de polímero. Possui uma base de resinas especiais para a melhoria de argamassas, em obra, permitindo a produção de argamassas para a reparação de betão. O aditivo possui as seguintes propriedades e características técnicas (Tabela 4.7):

- Resistente à saponificação,
- Elastifica ligeiramente as argamassas adjuvadas;
- Melhora a aderência, especialmente sobre suportes absorventes.
- Plastifica a massa e permite reduzir a água da amassadura;
- Aumenta as resistências mecânicas das argamassas tanto na compressão como flexo–tração;
- Facilita o endurecimento das argamassas sem fendilhação;
- Aumenta a resistência à abrasão das argamassas;
- Aumenta a compactidade e a impermeabilidade das argamassas.

Tabela 4.7 - Características técnicas do polímero (ficha técnica).

Dados técnicos		
Características	Unidades	Descrição
Aspecto físico:	-	Líquido branco
Peso Volúmico (20°C):	$\frac{g}{cm^3}$	Aprox. 1,1
pH (20°C):	-	$8,5 \pm 1$
Ponto de inflamação:	°C	> 100
Solubilidade em água	-	Totalmente solúvel em água

A ficha técnica do produto recomenda vários teores de polímero a utilizar em argamassas. Para argamassas a aplicar em espessuras menores que 10 mm, são referidos os traços, em volume, Cimento:Agregado=1:2 a 1:3, com uma relação Polímero/ Água=1:2, em volume. Para espessuras superiores a 10 mm são indicados os traços C:A=1:2 a 1:3, com uma relação P/W=1:3.

Tratando-se de uma dispersão aquosa foi determinado o teor de resíduo seco segundo a NP EN 480-8, tendo-se obtido o valor de 25%, valor que foi confirmado com a BASF. Na Tabela A.1 do Anexo A apresentam-se os resultados da determinação deste valor.

4.3.4.2 Superplastificante

De acordo com o fabricante, o superplastificante Master Glenium SKY 548 – BASF, apresentado na Figura 4.3, é quimicamente constituído por éter policarboxílico. Este adjuvante é adequado à produção de betões de elevado desempenho e funciona como redutor de água e acelerador de endurecimento sendo a dosagem recomendada de 0,7 a 2 % do peso do cimento. As características técnicas do produto apresentam-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Características técnicas do superplastificante (ficha técnica).

Dados técnicos		
Características	Unidades	Descrição
Aspecto físico:	-	Líquido turvo, ligeiramente
Peso Volúmico (20°C):	g/cm ³	1,04
pH (20°C):	-	6,1
Viscosidade Brookfield (20°C)::	cps	70
Teor em iões cloreto:	%	0,1



Figura 4.3 – Superplastificante Master Glenium SKY 548 – BASF

4.4 Argamassas Estudadas

Inicialmente estudaram-se seis argamassas: duas de cimento, tomadas como referência, (CM) e quatro modificadas com polímeros (PCM), com diferentes composições. Para as tornar compatíveis, optou-se por obter o mesmo espalhamento nas argamassas. Decidiu-se tornar como espalhamento objectivo 200 ± 10 mm, valor que tem sido adoptado por outros investigadores, Ribeiro *et al.* (2008), Pina (2009), Dias (2011) e Damião (2012).

Refere-se que a NP EN 1504 e a ASTM C 1437 não apresentam nenhum requisito para o espalhamento de argamassas de reparação de betão.

Foram estudadas duas argamassas modificadas com polímero, com um traço C:A=1:2, e duas argamassas modificadas com polímero, com o traço C:A=1:3, ambos os traços em volume. A diferença das argamassas de traços iguais reflecte-se nas dosagens do aditivo, ou seja, uma argamassa tem uma relação P/W=1:2 e a outra uma relação P/W =1:3, em volume.

Para as argamassas de referência utilizaram-se os mesmos traços volumétricos e a mesma relação W/C das argamassas modificadas. Apenas se variou a dosagem de superplastificante, com o intuito de obter o mesmo espalhamento de 200 ± 10 mm.

Contudo, a argamassa de referência com um traço C:A=1:3 não respeitou o espalhamento mínimo

desejado, ou seja, igual ou superior a 180mm, recomendados por Dias (2011). As argamassas com um traço C:A=1:3 foram, portanto, substituídas por uma argamassa com 15% de polímero, e por outra cimentícia, de referência à anterior. Esta substituição permitiu comparar os resultados experimentais obtidos, no presente trabalho, com os de outros autores.

Ao longo do trabalho, foram usadas siglas para as argamassas, de forma a facilitar a escrita do presente documento.

Todas as massas volúmicas foram obtidas com base na metodologia apresentada por Pinto e Gomes (2009).

Na Figura 4.4 estão apresentados os materiais da dosagem de uma argamassa modificada com polímeros, e o equipamento utilizado para a mistura.



Figura 4.4 - Materiais e equipamento para a elaboração de uma argamassa em laboratório.

4.4.1 Argamassas com Polímeros

A formulação das PCM foi influenciada pelas dosagens recomendadas na ficha técnica do aditivo polimérico. A quantidade de água, para cada argamassa, foi determinada experimentalmente, de forma a se obter o espalhamento pretendido.

Como referido anteriormente, numa primeira fase, foram testadas quatro argamassas modificadas com polímeros, recorrendo às diferentes combinações possíveis, entre traço C:A e relação P/W, indicadas pela ficha técnica do polímero.

Como base na proposta apresentada por Ribeiro *et al.* (2008), Ribeiro (2012), e outros autores internacionais, foi estudada uma argamassa com 15% de polímero. Esta quantidade de aditivo corresponde ao valor mais usado no meio científico.

Os traços das argamassas, que foram estabelecidos em volume, foram convertidos em traços ponderais, utilizando os valores determinados para a baridade, conforme se exemplifica na Equação 4.1:

$$1:2 \text{ (volume)} \Leftrightarrow \frac{1 \times 1150:2 \times 1610}{1150} = 1:2,8 \text{ (massa)} \quad (4.1)$$

Para as argamassas cimentícias, modificadas com o polímero estireno-butadieno, utilizou-se a sigla “PCM-SB”. Estão apresentadas, na Tabela 4.9, as cinco composições das PCM estudadas, assim como as quantidades utilizadas dos diversos materiais, para as suas produções. São referidas também algumas relações de dosagens.

Tabela 4.9 - Composição das argamassas modificadas com o aditivo polimérico – PCM-SB.

Materiais (g)	Argamassas				
	PCM-SB-1	PCM-SB-2	PCM-SB-3	PCM-SB-4	PCM-SB-5
Cimento	500	500	300	300	500
Areia	1400	1400	1260	1260	1400
Água adicional	185	200	150	162	3
Polímero total	101,8	73,3	82,5	59,4	300,0
Teor de resíduo seco (polímero)	25,4	18,3	20,6	14,9	75,0
Dispersão Aquosa (polímero)	76,3	55,0	61,9	44,6	225,0
Água Total	261,3	255,0	211,9	206,6	228,0
Traço C:A (volume)	1:2	1:2	1:3	1:3	1:2
Traço C:A (peso)	1:2,8	1:2,8	1:4,2	1:4,2	1:2,8
Relação: W/C	0,52	0,51	0,71	0,69	0,46
Relação: P/W (volume)	1:2	1:3	1:2	1:3	-
Relação: P/W (peso)	0,55	0,37	0,55	0,37	-
Relação: P/C (%)	5	4	7	5	15

O valor da relação P/C tem apenas em consideração o teor de resíduo seco do polímero, e a relação W/C é calculada com a água total. A parcela água total é constituída pela água adicional (água de amassadura) e por 75% do polímero total (Dispersão Aquosa). Os resultados para as restantes conversões do traço volumétrico para o traço em massa estão expressos na Tabela 4.9.

4.4.2 Argamassas de Referência

Foi produzida uma argamassa de referência correspondente a cada relação W/C, pretendendo-se que cada uma destas tivesse a mesma relação C:A, da PCM correspondente. No entanto como PCM—SB-1 e PCM-SB-2, apresentam o mesmo traço ponderal e uma relação W/C muito similares, usou-se a mesma argamassa de referência, para as duas PCM. O mesmo acontece com PCM-SB-3 e PCM-SB-4. Para as argamassas de referência utilizou-se a sigla “CM”.

Nas argamassas de referência, CM, não se usaram mais adjuvantes, para além do superplastificante, como é exemplo o introdutor de ar e o adjuvante expansivo, que foram utilizados em outros trabalhos

publicados. Foi tomada esta decisão por não se querer alterar as argamassas de referência, em demasia.

Na Tabela 4.10 apresenta-se a composição das argamassas de referência CM, assim como relações de dosagens.

Tabela 4.10 - Composição das argamassas de referência - CM.

Materiais (g)	Argamassas		
	CM-1.2	CM-3.4	CM-5
Cimento	500	300	500
Areia	1400	1260	1400
Água	255	207	228
Superplastificante	2,5	5,4	5,5
Traço C:A (volume)	1:2	1:3	1:2
Traço C:A (peso)	1:2,8	1:4,2	1:2,8
Relação: W/C	0,51	0,69	0,46
Relação (%): SP/C	0,5	1,8	1,1

A argamassa CM-3.4, mesmo após várias tentativas de dosagem de superplastificante, obteve um espalhamento máximo de 150mm. A dosagem máxima de superplastificante, recomendada, provocou exsudação. Na composição da argamassa CM-5 não se usou, também, o valor máximo de superplastificante recomendado pela ficha técnica (2%), porque ocorria exsudação a partir do valor expresso na tabela.

4.5 Betão de Referência

Para a produção da mistura das lajetas de betão, necessárias para a análise da aplicação de argamassas em pavimentos, tectos e paredes, assim como o para teste de aderência por arrancamento, não se seguiu a norma estipulada para este tipo de ensaios, EN 1766: 2000, dado que os betões nela sugeridos possuem uma grande resistência, não se adequando ao efeito pretendido no momento do ensaio. Contudo a preparação, a cura, o armazenamento e preparação de superfície do betão, obedeceram a todos os procedimentos da norma anterior. Através dos valores de compressão, presentes na Tabela 4.11, comprova-se que o betão utilizado corresponde à classe C30/35. O ensaio de abaixamento foi realizado de acordo com a NP EN 12350-2, e a NP EN 12390-3 foi a norma utilizada para o ensaio de compressão do betão.

Tabela 4.11 - Resultados do ensaio de compressão aos cubos de betão.

Ensaio	A	B	C	Média	f _{ck}
Resistência à Compressão (MPa) - 42 dias	39,7	34,3	36,7	36,9	31,4

Tabela.4.12 – Composição do betão utilizado na produção das lajetas.

Materiais (kg) – 50 litros	BET
Cimento	19,00
Areia	35,80
Bago de arroz	11,00
Brita 1	38,40
Água	9,50
Relação: W/C	0,5
Superplastificante (g)	45
Abaixamento (mm)	60

A amassadura do betão, representada na Tabela 4.12, foi realizada nas condições especificadas na norma. Foram moldados cubos e lajetas, em várias camadas, vibradas constantemente para uma melhor compactação. Nas primeiras 24 horas, os cubos e as lajetas foram expostos à temperatura e humidade ambiente do laboratório ($T=20\pm 3^{\circ}\text{C}$, $\text{HR}=58\pm 4\%$).

Após a desmoldagem, os cubos e as lajetas foram colocados na câmara húmida à temperatura $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, durante 28 dias. Acabada a cura húmida, as lajetas voltaram a ficar expostas ao ambiente de laboratório, até servirem de suporte ao ensaio de aplicação de argamassa. Nas Figura 4.5 apresentam-se as diversas fases da produção dos cubos e das lajetas.



Figura 4.5 – Diferentes fases da produção dos cubos e lajetas de betão

Moldaram-se 6 provetes cúbicos (Figura 4.6-a) para serem ensaiados à compressão, 3 aos 28 dias, e outros 3, para serem ensaiados nos dias de realização do método “Pull-off”, sobre as argamassas aplicadas nas lajetas. Estes últimos não foram ensaiados devido ao seu desaparecimento.

De forma a avaliar a aplicabilidade das argamassas e a aderência destas, foram moldadas 15 lajetas (3 para cada argamassa), Figura 4.6-b.

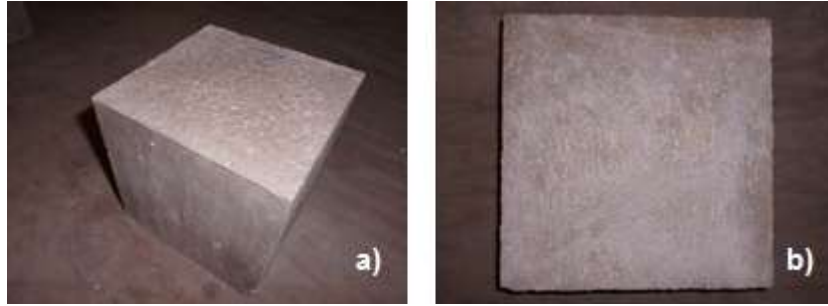


Figura 4.6 - Provete cúbico (a) e lajeta (b) de betão.

4.6 Caracterização das Argamassas no Estado Fresco

Nesta secção apresentam-se os ensaios de caracterização no estado fresco, das argamassas estudadas.

4.6.1 Consistência por Espalhamento

Como já referido, estabeleceu-se como objectivo um espalhamento 200 ± 10 mm. Foram efectuados diversos ensaios experimentais para se definir a quantidade necessária de adjuvante e de aditivo polimérico, para as CM e PCM, respectivamente. Os resultados das diversas tentativas deste ensaio, das argamassas estudadas, estão nas Tabelas B.2 a B.5, do Anexo B.

O ensaio de espalhamento foi realizado de acordo com a ASTM C 1437, de forma a permitir a comparação de resultados com estudos desenvolvidos por outros autores. A mesa de espalhamento utilizada estava em conformidade com a ASTM C 230.

Relativamente ao procedimento experimental, começa-se por efectuar uma limpeza cuidada do prato, da mesa de espalhamento e coloca-se o molde de espalhamento no centro. Seguidamente, preenche-se o molde com duas camadas de argamassa de 25 mm de espessura, aproximadamente, e compacta-se com 20 golpes, cada uma delas, com um varão (a pressão de compactação deverá ser apenas suficiente para assegurar o enchimento uniforme do molde). Nivelá-se com uma colher de pedreiro, a parte superior do molde, e retira-se toda a argamassa excedente. Volta-se a limpar o prato da mesa, com um pano limpo e seco, tendo especial cuidado na remoção de qualquer água existente no bordo do molde de espalhamento. Levanta-se o molde e deixa-se cair a mesa 25 vezes em 15 s. Por fim medem-se 4 diâmetros de espalhamento.

O resultado do ensaio de espalhamento obtém-se através da Equação 4.2, tomando D_f como cada uma das quatro medições, em milímetros, após o ensaio, e D_i o diâmetro da base do molde:

$$\text{Consistência por espalhamento (\%)} = \frac{[(\sum_{f=1}^4 D_f)/4] - D_i}{D_i} \times 100 \quad (4.2)$$

Na Figura 4.7 estão apresentadas diferentes fases da realização do ensaio de consistência por espalhamento, para argamassas.



Figura 4.7 – Diferentes fases da realização do ensaio de consistência por espalhamento.

Numa 2ª fase deste ensaio, foi avaliada a evolução do espalhamento até às 3 horas, tendo sido efectuados ensaios de 15 em 15 minutos. Ao longo desse tempo as argamassas permaneceram em repouso, no interior do recipiente da misturadora, coberto com um pano húmido, para minimizar a evaporação de água.

4.6.2 Teor de Ar

Este ensaio foi realizado com o objectivo de verificar se teor de ar nas argamassas de referência era próximo do valor das modificadas, uma vez este influencia o ensaio de espalhamento e a reologia.

O princípio de funcionamento deste ensaio consiste em igualar um volume conhecido de ar, a um volume desconhecido de ar no recipiente da amostra de argamassa, a uma pressão conhecida, numa câmara-de-ar vedada, sendo as duas câmaras ligadas através de uma válvula de ar. A pressão do ar reduzido na câmara-de-ar reflecte o conteúdo de ar da amostra de argamassa e é lido a partir da ligação do indicador de pressão, que é calibrado em termos de percentagem de ar para a pressão observada.

O ensaio foi realizado de acordo com o procedimento estabelecido na EN 1015-7 (Método A). Começa-se pela calibração do aparelho medidor do teor de ar (Figura 4.8), com água, com o objectivo de viabilizar os ensaios a executar. Após a calibração, enche-se o recipiente com argamassa, em quatro camadas iguais, compactando cada uma destas com 10 pancadas, de forma a distribuir a argamassa, uniformemente. Com o auxílio de uma colher de pedreiro, remove-se o excesso de argamassa, nivelando-a com a margem superior do recipiente. Limpa-se o rebordo do recipiente e aperta-se a tampa do dispositivo, firmemente.



Figura 4.8 - Equipamento para o ensaio de medição do teor de ar.

Fecha-se a válvula pneumática principal entre a câmara-de-ar e o recipiente da amostra e enche-se com água o espaço entre a tampa e a argamassa, através da válvula A. A válvula B fica aberta para que todo o ar acima da superfície da argamassa seja expulso.

O ar é bombeado para dentro da câmara-de-ar, fechada, até se atingir uma pressão estável e igual à determinada no teste de calibragem. Fecham-se as duas válvulas A e B e abre-se a válvula entre a câmara-de-ar e o recipiente da amostra.

Após ser atingido o equilíbrio, o teor de ar no manómetro, deve ser lido com uma aproximação de 0,1%. O valor do teor de ar das argamassas correspondente à média de dois ensaios. O resultado é registado com uma aproximação de 0,5%.

4.6.3 Tempo de Presa

Para a determinação dos tempos de início e fim de presa das diferentes argamassas foi seguida a norma NP EN 196-3. O ensaio foi realizado com o aparelho de Vicat (previamente regulado) sobre uma pasta de consistência normal, observando-se a penetração de uma agulha até um valor determinado.

O tempo de início de presa é atingido quando a agulha fica a uma distância de 4 ± 1 mm, da base inferior do provete. Para a medição do tempo fim de presa, volta-se o molde, ficando a parte inferior virada para cima e substitui-se a agulha por uma sonda munida de um anel, que facilita a observação de penetrações. O tempo de fim de presa é registado quando não se observa a marca do anel, representando uma penetração da sonda inferior a 0,5mm.

Na Figura 4.9 está representada a técnica de medição do tempo de início e fim de presa, através do equipamento Vicat.

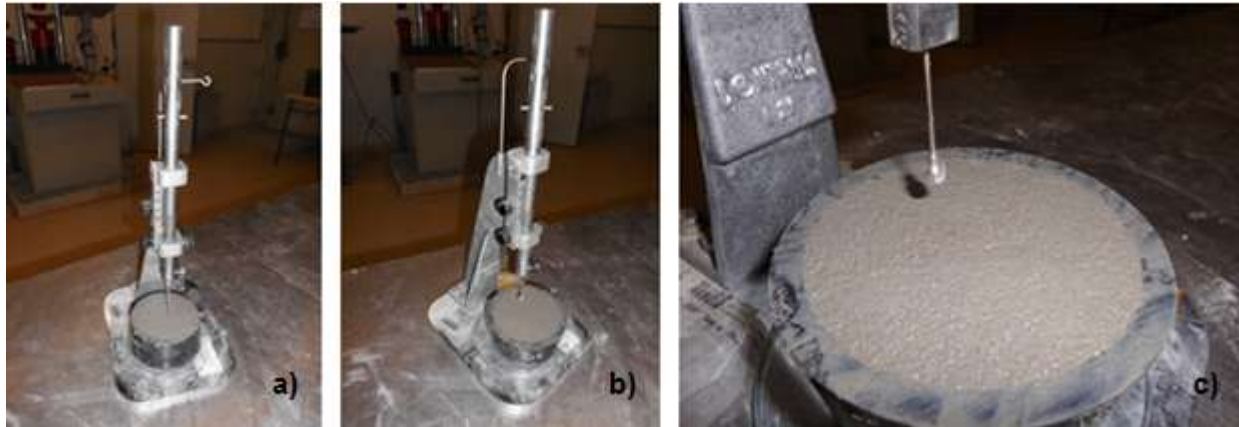


Figura 4.9 - Etapas da medição do tempo de início (a) e fim de presa (b, c).

4.6.4 Aplicação em Superfícies Verticais e Horizontais

Neste trabalho procurou-se também avaliar as condições de aplicabilidade das argamassas estudadas, em pavimentos, tectos e paredes. Para esse efeito foram usadas lajetas de betão, de 30 x 30 x 10 cm.

Todo o processo foi realizado de acordo com a norma NP EN 1504-10, apoiado por diversos guias de preparação, aplicação e reparação de betão, que esclareceram que a aplicação da argamassa teria de ser em camadas finas. A rugosidade da superfície de betão (Figura 4.10-b) foi realizada manualmente, com martelo, ponteiro e escova de arame (Figura 4.10-a), de forma a retirar a “leitada” do betão e antes de qualquer aplicação de argamassa, o suporte foi bem humedecido, retirando posteriormente os excessos de água.

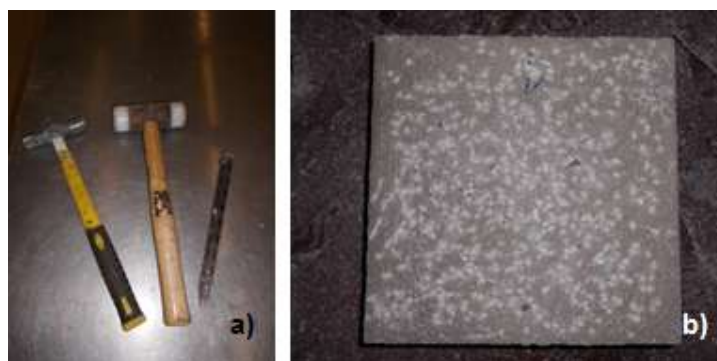


Figura 4.10 - Equipamento (a) e rugosidade conferida a uma lajeta (b).

Como referido em § 4.5, foram usados 3 lajetas (2 horizontais e uma vertical) para cada argamassa, com o intuito de analisar se o espalhamento usado é o ideal para reparações, ficando o material de reparação com 2 cm de espessura, em excepção a PCM-SB-1, que ficou com 1 cm, por recomendação da ficha técnica. As aplicações em tecto foram conseguidas com a montagem de uma estrutura, improvisada em laboratório, representada na Figura 4.11.



Figura 4.11 - Estrutura para aplicação das argamassas em tecto.

Depois da aplicação da argamassa, todos os provetes ficaram no ambiente do laboratório ($T=22\pm 4^{\circ}\text{C}$, $\text{HR}=40\pm 15\%$), durante 28 dias.

4.6.5 Caracterização Reológica

Os ensaios de reologia foram realizados com recurso ao Reómetro Viskomat NT, especificamente desenhado para medir o comportamento reológico de argamassas, Figura 4.12-a, em condições de temperatura e humidade ambiente do laboratório ($T=21\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\text{HR}=41\pm 3\%$).

Para o funcionamento do reómetro, a argamassa é inserida no recipiente do reómetro e posteriormente selecciona-se o perfil pretendido no “software” instalado no computador (Figura 4.14). O ficheiro é enviado para o reómetro, que após receber a informação faz descer uma pá concêntrica (Figura 4.12-b), de geometria adequada ao fluido utilizado, até ao recipiente, ficando totalmente submersa pela argamassa, para que as leituras se processem de forma correta.

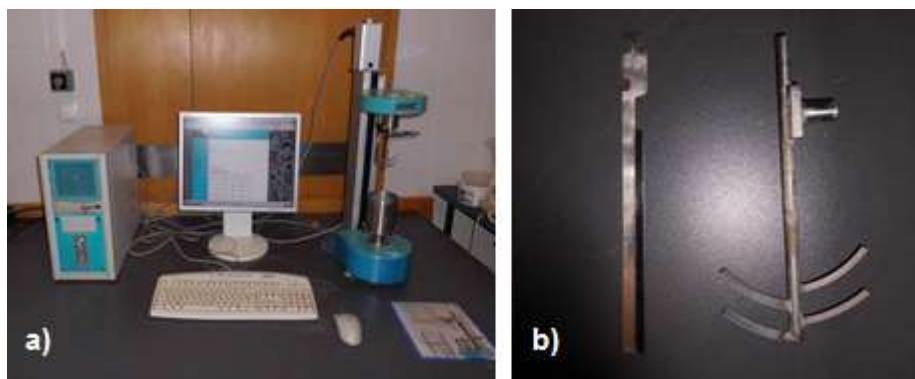


Figura 4.12 - Equipamento que constitui o reómetro Viskomat NT (a) e pá adequada para argamassas (b).

Nesta fase, a base do reómetro entra em rotação a uma velocidade variável com o tempo, executando o perfil estabelecido. A resistência viscosa que a argamassa oferece ao fluxo através das lâminas da pá, origina um torque que é continuamente registado, electronicamente, ao longo de toda a duração do ensaio. Este reómetro é adequado para medir argamassas contendo partículas com dimensão até 2mm.



Figura 4.13 - Perfil "escada" escolhido.

minute	second	Value	Control target	Angle
1	0	200	rpm	
1	3	200	rpm	
1	6	200	rpm	
1	9	180	rpm	
1	12	180	rpm	
1	15	160	rpm	
1	18	160	rpm	
1	21	140	rpm	
1	24	140	rpm	
1	27	120	rpm	
1	30	120	rpm	
1	33	100	rpm	
1	36	100	rpm	
1	39	80	rpm	
1	42	80	rpm	
1	45	60	rpm	
1	48	60	rpm	
1	51	40	rpm	
1	54	40	rpm	
1	57	20	rpm	
1	60	20	rpm	

Figura 4.14 - Perfil da velocidade de rotação ao longo do tempo, no ficheiro inserido no Viskomat.

O perfil escolhido foi o denominado de “escada”, representado na Figura 4.13, que consiste num ensaio em que a velocidade vai variando ao longo do tempo. Neste trabalho, o ensaio reométrico foi realizado, apenas, em sentido descendente, uma vez que é consensual no meio científico, que as curvas obtidas em regime de velocidade decrescente, são mais adequadas, para a determinação dos parâmetros reológicos. Estes parâmetros são a tensão de cedência (g) e a viscosidade (h).

Segundo Seabra *et al.* (2007), que citam Tattersal e Banfill (1983), o perfil “escada” garante uma melhor avaliação dos parâmetros reológicos, uma vez que esta metodologia assegura a obtenção de valores em equilíbrio, permitindo obter regressões lineares com menor erro, de aproximação. Este perfil permite também uma maior proximidade ao ensaio de espalhamento contínuo, devido ao procedimento experimental realizado, em que foram analisadas todas as argamassas, em intervalos de 30 minutos, até às 2 horas.

Para cada instante de análise, o material foi sujeito, inicialmente, a uma agitação de 200 rpm, de velocidade de rotação, durante 3 minutos, tempo suficiente para se obter a destruição estrutural completa do material. Depois, a velocidade decresceu de 20 em 20 rpm, até zero, mantendo-se apenas um minuto em cada patamar, para que o valor do torque atingisse o valor de equilíbrio, em cada velocidade, com repouso da mistura, como é possível observar nas Figuras 4.14 e 4.15

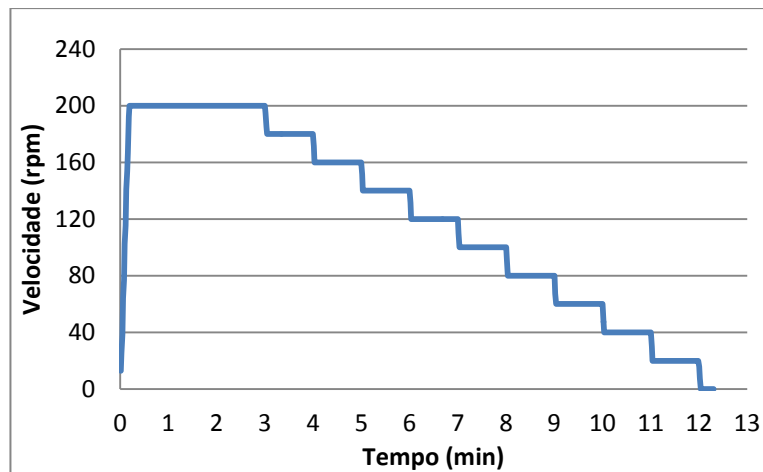


Figura 4.15 - Perfil de velocidade de rotação, ao longo do tempo, tipologia em “escada”.

Neste tipo de ensaio não é possível obter automaticamente a curva de fluxo. Esta é construída manualmente, ou seja, para cada velocidade de rotação (N) determina-se o valor de equilíbrio do torque (T), através da mediana dos valores, nos últimos 30 segundos de cada patamar, segundo Metrogos (2016). A partir destes valores desenha-se a curva de fluxo (torque versus velocidade de rotação), através de uma regressão linear, e obtêm-se os valores tensão de cedência (g) e da viscosidade (h), da Equação 3.5:

$$T = g + Nh \quad (3.5)$$

4.7 Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido

Nesta secção apresentam-se os ensaios de caracterização no estado endurecido, das argamassas estudadas.

4.7.1 Avaliação da Retracção Restringida

Dos tipos de ensaios de retracção restringida existentes, foram utilizados neste trabalho o Ensaio de Anel e o de Cantoneira, com o objectivo de observar visualmente a tendência para a fendilhação das argamassas estudadas.

O primeiro consiste em colocar o material cimentício no interior de um molde de forma a que este fique com a configuração de um anel. No presente trabalho utilizaram-se dois anéis com 127 mm de diâmetro exterior, 90 mm de diâmetro interior e 25 mm de altura (Figura 4.16). Após a colocação e compactação das argamassas, estas foram expostas num período de 40 dias às condições de temperatura e humidade ambientes do laboratório, porém sempre dentro do anel. No final do ensaio foram analisadas as fendas com um fissurómetro. O valor da retracção restringida pode-se obter através da Equação 4.3 (Resende, 2007):

$$\varepsilon_{sh,r} = \frac{W_{cr,anel}}{\pi \times \varnothing_{med}} \quad (4.3)$$

,sendo:

$W_{cr,anel}$ – Soma da abertura de fendas, aos 40 dias, de idade (mm);

$\varepsilon_{sh,r}$ – Valor da retracção restringida;

\varnothing_{med} – Média do diâmetro interior e exterior do anel (mm).

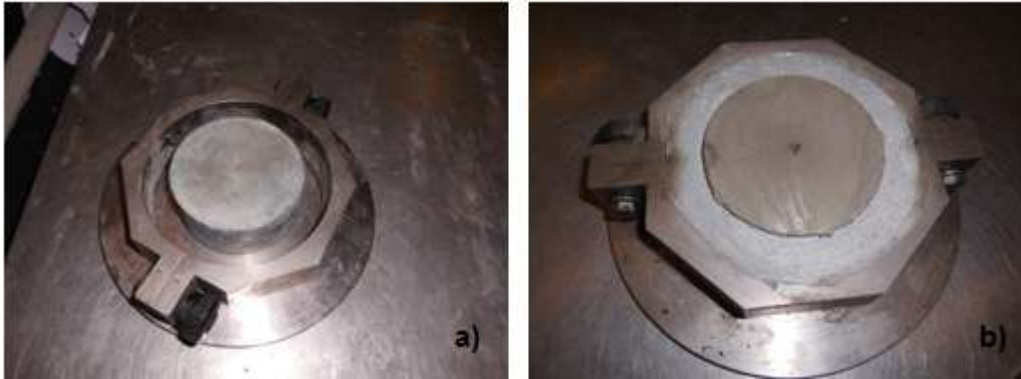


Figura 4.16 - Anel de retracção restringida vazio (a) e com argamassa (b).

O Ensaio de Cantoneira tem como objectivo avaliar a tendência para a fendilhação de materiais cimentícios, através da sua aplicação no interior de um perfil metálico de secção em cantoneira, com 30x30x4 mm, com um metro de comprimento (Figura 4.17). Posteriormente à colocação das argamassas no interior da cantoneira procedeu-se à compactação manual desta, com uma colher de pedreiro. Os provetes foram conservados por um período de 90 dias em condições de temperatura e humidade ambientes do laboratório. No final do ensaio foram analisadas as fendas com um fissurómetro, obtendo o valor da retracção restringida através da Equação 4.4 (Resende, 2007):

$$\varepsilon_{sh,r} = \frac{W_{cr,total}}{l} \quad (4.4)$$

,sendo:

$W_{cr,total}$ – Média da soma da abertura das fendas, de cada conjunto de cantoneiras, correspondentes à mesma argamassa, aos 90 dias, de idade (mm);

$\varepsilon_{sh,r}$ – Valor da retracção restringida;

l – Comprimento da cantoneira (1000 mm).

De acordo com Emmons e Vaysburd (1995) os materiais testados por este método, com fendas de abertura superior a 0,1 mm não são aceitáveis. Porém esta indicação é dada para cantoneiras de 70x70x7 que provocam uma secagem mais lenta.



Figura 4.17 – Cantoneira para avaliação da retracção restringida.

4.7.2 Avaliação da Aderência por Arrancamento

A avaliação da aderência de argamassas ao suporte foi efectuada através do ensaio de “Pull-off”, EN 1542, que consiste no arranque de uma pastilha de aço de 50 mm de diâmetro, previamente colada à superfície do material de reparação com uma cola epóxidica. Este ensaio consiste na aplicação de uma força de tracção perpendicular à pastilha, através do equipamento representado na Figura 4.18.



Figura 4.18 - Equipamento para o ensaio de "Pull-off".



Figura 4.19 - Carotagem dos provetes para o ensaio de "Pull-off".

Para a obtenção dos provetes de avaliação da resistência de aderência, entre o material de reparação (argamassa) e o suporte de betão, foi realizada uma carotagem que ultrapassou em 15mm o plano de interface entre os dois materiais (Figura 4.19). Depois da carotagem, lavou-se a lajeta e passadas 24 horas procedeu-se à colagem de 5 pastilhas, em cada lajeta, após a sua limpeza. A aderência foi testada no dia seguinte com o intuito de uma secagem completa da cola.

4.7.3 Resistência à Flexão e à Compressão

Nos ensaios para a determinação dos valores da resistência à compressão e à flexão foi seguida a norma NP EN 196-1. O ensaio de flexão foi realizado em provetes prismáticos de 40 x 40 x 160 mm³ e o ensaio de compressão nos meios provetes resultantes do ensaio de flexão. A amassadura de cada argamassa foi feita nas condições especificadas na norma. Os moldes foram preenchidos em duas camadas, compactando cada uma da forma indicada na norma, sendo depois cobertos e protegidos. Posteriormente à identificação dos provetes, estes foram conservados à temperatura e humidade ambiente do laboratório (T=19±2°C, HR=50±5%), nas primeiras 24 horas.

Prepararam-se 12 provetes prismáticos das PCM e 6 das CM, para ensaiar aos 28 dias de idade e foram analisadas duas condições de cura distintas para as argamassas modificadas com polímeros:

- a) Cura Húmida: 28 dias de cura húmida (câmara condicionada) – T=23±2°C, HR=100%;
- b) Cura Húmida-Seca: 4 dias de cura húmida (câmara condicionada) – T=23±2°C, HR=100% + 24 dias de cura seca (câmara condicionada) – T=21±2°C °C, HR=70±3%.

As argamassas cimentícias foram apenas estudadas nas condições de cura húmida.

Em primeiro lugar foram efectuados os ensaios para a determinação da resistência à flexão (Figura 4.20) obtendo-se o valor da carga de rotura à flexão. A resistência à flexão pode ser obtida pela Equação 4.5. Os meios prismas resultantes do ensaio à flexão foram posteriormente ensaiados à compressão (Figura 4.21). Para cada um dos doze meios prismas determinou-se a resistência à compressão através da Equação 4.6.

$$f_t = \frac{1,5 \times Ff \times l}{b \times h^2} \quad (4.5)$$

$$f_c = \frac{Fc}{b \times h} \quad (4.6)$$

,sendo:

- f_t - Resistência à tracção por flexão (MPa);
- Ff - Força de rotura à flexão (N);
- b - Largura da secção do prisma (mm);
- h - Altura da secção do prisma (mm);
- l - Distância entre apoios (100 mm).

,sendo:

- f_c - Resistência à compressão (MPa);
- Fc - Força de rotura à compressão (N);
- b - Largura da secção do prisma (mm);
- h - Altura da secção do prisma (mm);



Figura 4.21 – Ensaio de Flexão de um provete de argamassa.



Figura 4.20 – Ensaio de Compressão de um provete

Os valores do peso dos provetes após a desmoldagem, e passados 28 dias, estão nas Tabelas A.2 e A.3, do Anexo A. A Figura 4.22, apresenta algumas fases da elaboração dos provetes e a Figura 23 mostra o equipamento utilizado para o ensaio de medição da resistência à compressão e à flexão.



Figura 4.22 - Figura 4.23 - Fases da elaboração de provetes prismáticos de argamassa.



Figura 4.24 - Equipamento para realização do ensaio de flexão-compressão (a), equipamento para o ensaio de flexão (b), equipamento para o ensaio à compressão (c), leitor de medições (d).

5. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS

5.1 Considerações Gerais

Neste capítulo, estão expostos os resultados obtidos nos ensaios descritos em § 4.6 e § 4.7, comparando-os com os resultados obtidos por outros autores.

Tanto as argamassas estudadas neste trabalho, como as analisadas pelos outros autores, possuem traços ponderais próximos de 1:3, sendo a relação W/C variável, uma vez que foi estabelecido como objectivo, o espalhamento de 200 ± 10 mm, ou seja, aproximadamente 100%. Nas argamassas cimentícias modificadas com polímeros (PCMs) para além das que possuem como aditivo polimérico o estireno-butadieno, foram adicionados resultados de argamassas com o polímero acrílico, efectuadas por outros autores, para permitir a comparação dos dois tipos de polímero. A composição e resultados das argamassas estudadas por outros autores estão em § 2.6.

5.2 Caracterização no Estado Fresco

Nesta secção apresentam-se os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas estudadas, no estado fresco.

5.2.1 Consistência por Espalhamento

Como já se referiu em § 4.4, na argamassa CM-5, não foi possível obter os 200 ± 10 mm de espalhamento e os resultados de espalhamento das argamassas PCM-SB-3, PCM-SB-4 e CM-3.4, estão no Anexo B, Tabela B.1.

Tabela 5.1 - Consistência e relação W/C, para as PCM-SB e CM.

Ensaio	Argamassas				
	PCM-SB-1 (P/C=5%)	PCM-SB-2 (P/C=4%)	CM-1.2	PCM-SB-5 (P/C=15%)	CM-5
Espalhamento (%)	102	103	100	104	82
Relação: W/C	0,52	0,51	0,51	0,46	0,46
Água de amassadura (g)	185	200	255	3	228

Os resultados da Tabela 5.1 mostram que a inclusão do polímero nas argamassas cimentícias, permitiu reduzir a quantidade de água a adicionar para a mesma consistência, uma vez que estes actuam como plastificantes/redutores de água e também, porque possuem uma parte aquosa, maioritária da sua constituição. Ainda, para a mesma consistência, a relação W/C decresce com o aumento da dosagem de polímero, ou seja, com a relação P/C. Como PCM-SB-1 e PCM-SB-2, possuem uma composição semelhante, é de esperar que o valor W/C não difere muito, para espalhamentos semelhantes. É de referir que CM-5 apresentou alguma exsudação.

Os Gráficos 5.1 e 5.2 permitem comparar os resultados obtidos neste trabalho com os de outros autores, para as argamassas modificadas com polímeros.

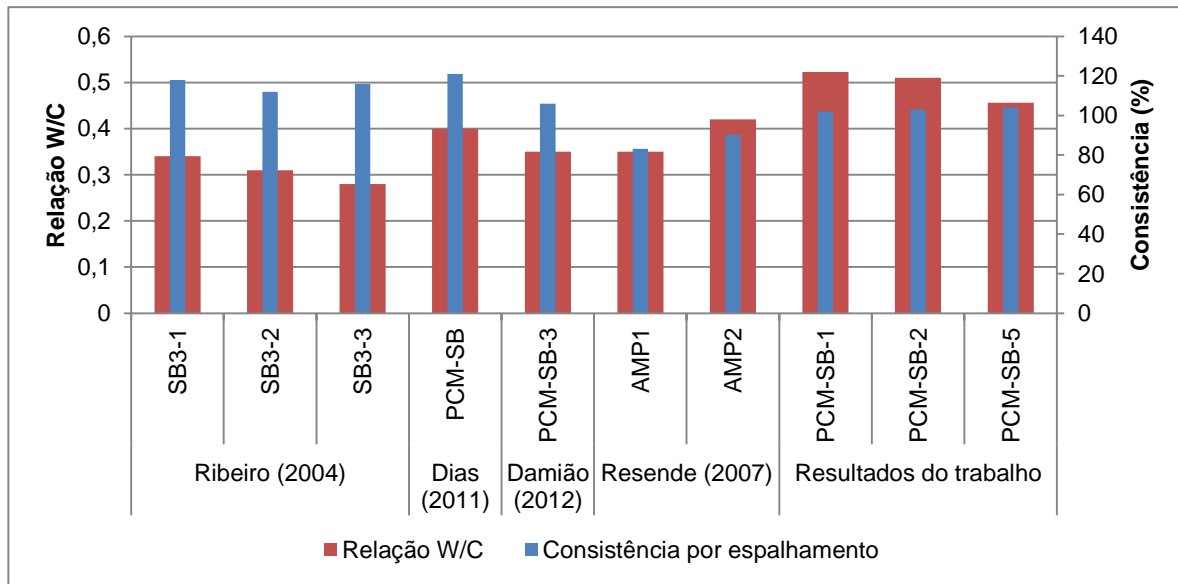


Gráfico 5.1 - Relação W/C e Consistência por espalhamento das PCM-SB.

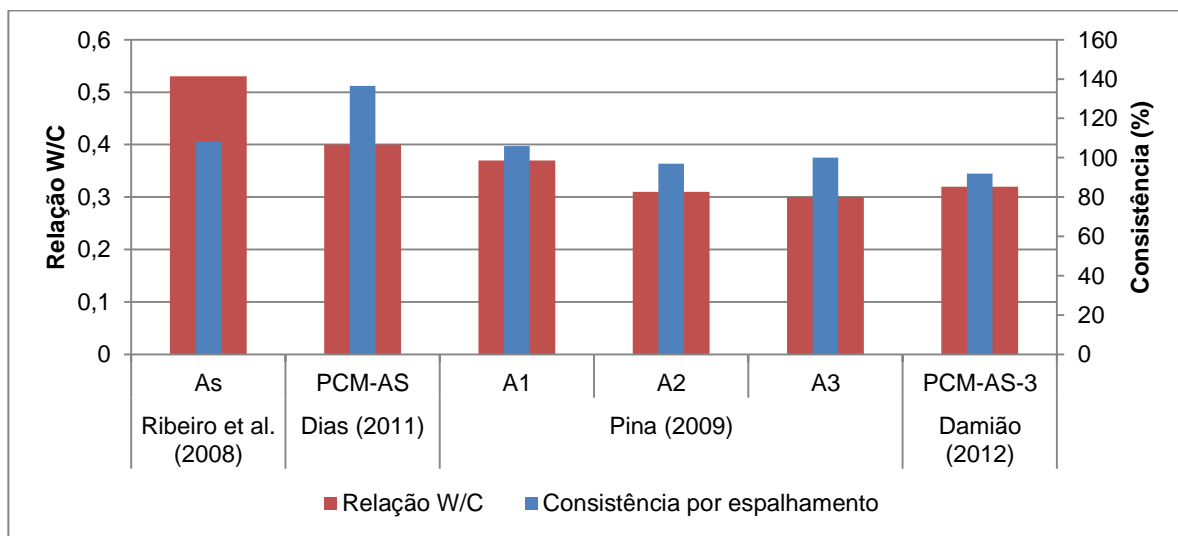


Gráfico 5.2 - Relação W/C e Consistência por espalhamento das PCM-As.

É notória a diferença de relação W/C, com o mesmo espalhamento, dos outros autores, com a obtida neste trabalho. Esta diferença deve-se principalmente ao teor de resíduo seco de cada polímero utilizado, uma vez que quanto maior for este índice, maior será a acção de superplastificante do polímero. Este parâmetro é igual a 100% em As, PCM-AS, A1, A2, A3, PCM-AS-3, 50% em SB3-1, SB3-2 e SB3-3, 38,5% nas argamassas AMP1 e AMP2 e 33,7% para PCM-SB e PCM-SB-3. Como já referido em § 4.3.4.1, o polímero usado tem 25% de teor de sólidos.

Nas argmassas AMP1, AMP2, PCM-SB-5 verifica-se um crescimento quase linear do espalhamento com a relação W/C. Os valores da Figura 5.1, obtidos por Barluenga e Olivares (2004) são muito semelhantes aos do presente trabalho.

De uma forma geral, as argmassas, com o polímero de estireno-butadieno (PCM-SB), apresentaram um maior espalhamento para a mesma relação Água/Cimento (W/C), que as argmassas modificadas com o polímero de acrílico (PCM-As),

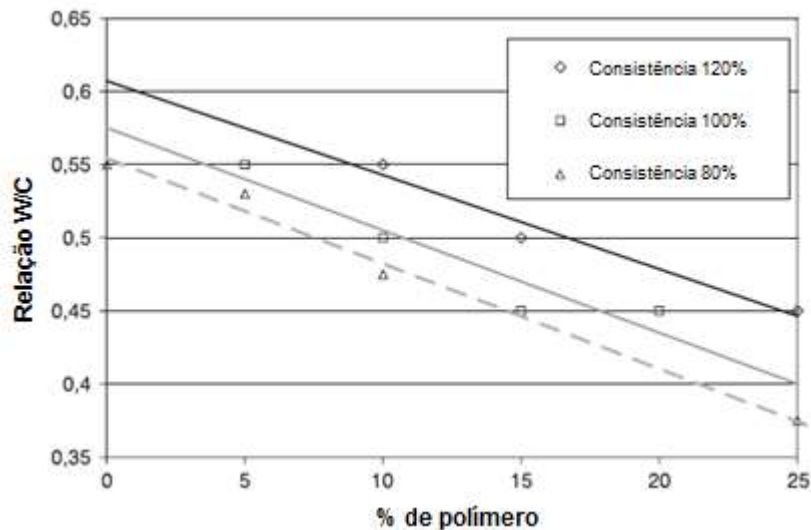


Figura 5.1 - Relação W/C das PCM e CM, com diferentes percentagens de látex para espalhamentos de 80%, 100% e 120%, adaptado de Barluenga e Olivares (2004).

No Gráfico 5.3, onde estão representadas as CM, o factor mais condicionante, para os resultados expressos, é o tipo adjuvante utilizado, onde se comprova que o introdutor de ar é mais eficaz que o superplastificante, que através de uma dosagem mínima permite bons resultados em termos de espalhamento.

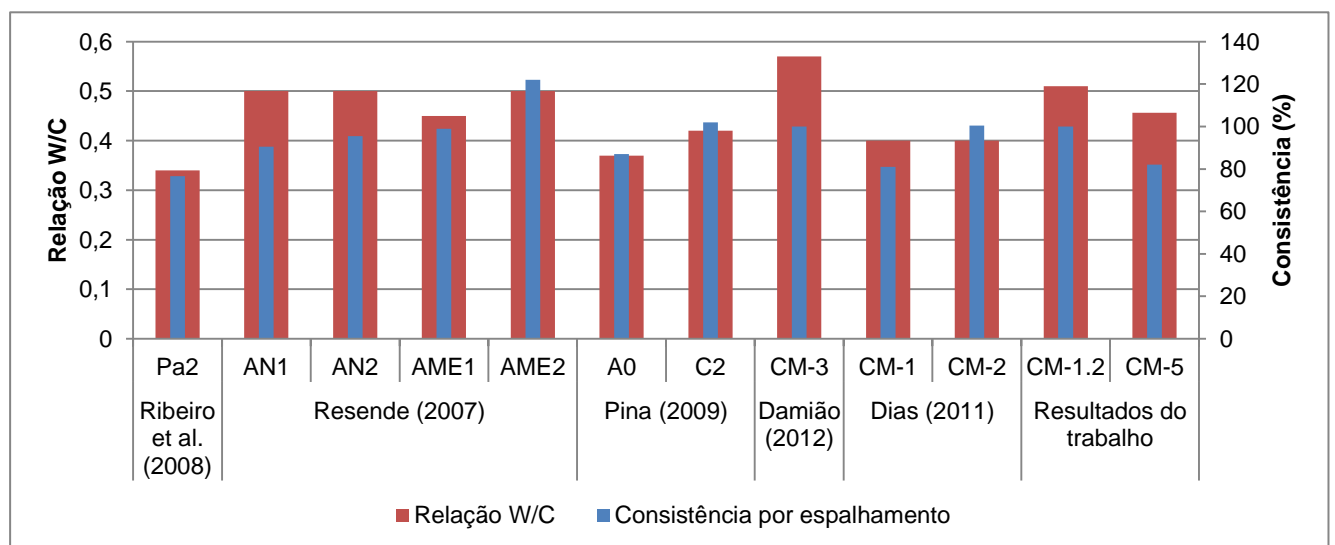


Gráfico 5.3 - Relação W/C e Consistência por espalhamento das CM.

Todas as argamassas com uma relação $W/C < 0,5$, dos outros autores, necessitaram de mais um adjuvante para além do superplastificante para conseguirem obter um espalhamento de 200 ± 10 mm.

Na 2ª fase deste ensaio experimental, avaliou-se a estabilidade de cada argamassa. Como está representado no Gráfico 5.4 e na Tabela B.2, do Anexo B, apesar da disparidade da composição das argamassas, o espalhamento ao fim das 3 horas apresentou-se muito semelhante.

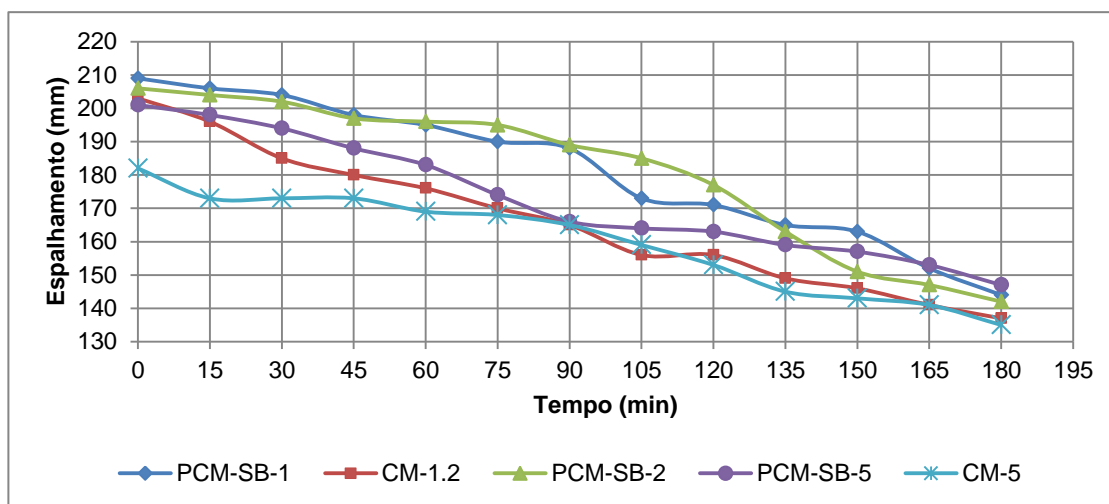


Gráfico 5.4 – Evolução do espalhamento das PCM e CM.

Contra as expectativas a PCM-SB-5, apesar de possuir uma maior percentagem de polímero, manifestou um aumento de consistência muito abrupto nos primeiros 90 minutos, possuindo uma diferença de 23 mm de espalhamento em relação a PCM-SB-1 e PCM-SB-2 e apresentando valores muito próximos das duas CM. Este desnível é proporcionado pela grande viscosidade desta argamassa.

Tabela 5.2 - Diferença percentual do espalhamento ao longo do tempo, relativamente ao espalhamento inicial.

Tempo (minutos)	Diferença de espalhamento				
	Argamassas				
	PCM-SB-1	PCM-SB-2	CM-1.2	PCM-SB-5	CM-5
0	0%	0%	0%	0%	0%
15	1%	1%	3%	1%	5%
30	2%	2%	9%	3%	5%
45	5%	4%	11%	6%	5%
60	7%	5%	13%	9%	7%
75	9%	5%	16%	13%	8%
90	10%	8%	19%	17%	9%
105	17%	10%	23%	18%	13%
120	18%	14%	23%	19%	16%
135	21%	21%	27%	21%	20%
150	22%	27%	28%	22%	21%
165	27%	29%	31%	24%	23%
180	31%	31%	33%	27%	26%

Na Tabela 5.2 é visível o efeito do polímero até aos 90 minutos, comparando as argamassas PCM-SB-1 e PCM-SB-2, com a CM-1, em que as primeiras exibem um declínio menos acentuado da perda de espalhamento. Porém aos 135 minutos, todas as argamassas apresentam uma diferença de espalhamento muito semelhante, em relação ao espalhamento inicial.

5.2.2 Relação do Teor de Ar com a Massa Volúmica

Segundo Ribeiro (2004) o valor do teor de ar em argamassas cimentícias varia entre os 3% e os 5%. Porém, Ohama (1998) refere que com a presença do polímero, o teor de ar das argamassas pode variar entre 5% a 20%. Este autor verificou, ainda, que o teor de ar diminuiu com o aumento da percentagem de polímero (Ohama, 1995).

Especificamente nas PCM-SB, Fu e Chung (1996), concluíram que a massa volúmica das PCM diminui com o aumento da relação P/C, embora o teor de ar também tenha diminuído.

Tabela 5.3 - Teor de Ar e Massa Volúmica, para as PCM-SB e CM.

Ensaio	Argamassas				
	PCM-SB-1 (P/C=5%)	PCM-SB-2 (P/C=4%)	CM-1.2	PCM-SB-5 (P/C=15%)	CM-5
Teor de ar (%)	12	12	12	9	9
Massa Volúmica (kg/m ³)	1788	1748	2110	1899	2137

Era de esperar que as CM apresentassem um menor valor de teor de ar, devido à ausência de polímero, contudo como mostra a Tabela 5.3, o superplastificante introduzido teve o mesmo efeito que o polímero nas PCM, chegando mesmo os dois tipos de argamassas a terem o mesmo valor de teor de ar. O decréscimo deste parâmetro nas argamassas PCM-SB-5 e CM-5 advém da diminuição da relação W/C.

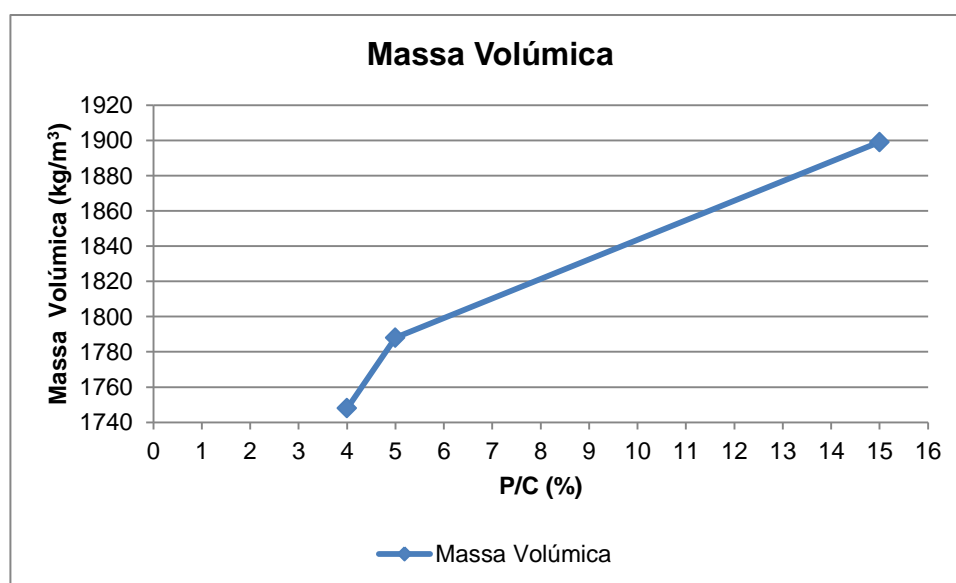


Gráfico 5.5 - Variação da massa volúmica com a percentagem de polímero.

Os valores da massa volúmica não vão de encontro às conclusões de Fu e Chung (1996), uma vez que aumentaram com o crescimento da relação P/C (Gráfico 5.5), contudo PCM-SB-5 tem uma menor relação W/C, o que permite um aumento da massa volúmica. Mesmo obtendo o mesmo valor de teor de ar, as PCM possuem um menor valor de massa volúmica que as CM. Este fenómeno pode ser explicado pelo aumento de poros fechados, com a adição de polímero nas argamassas (Barluenga e Olivares, 2004).

Os Gráficos 5.6 e 5.7 permitem comparar os resultados obtidos neste trabalho com os de outros autores, para as argamassas modificadas com polímeros.

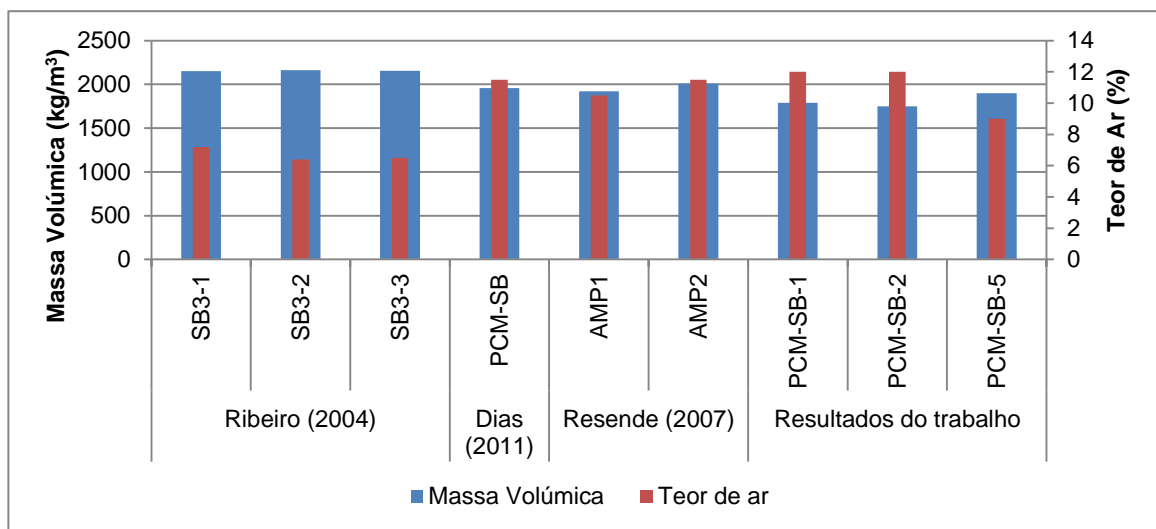


Gráfico 5.6 - Teor de ar e Massa Volúmica das PCM-SB.

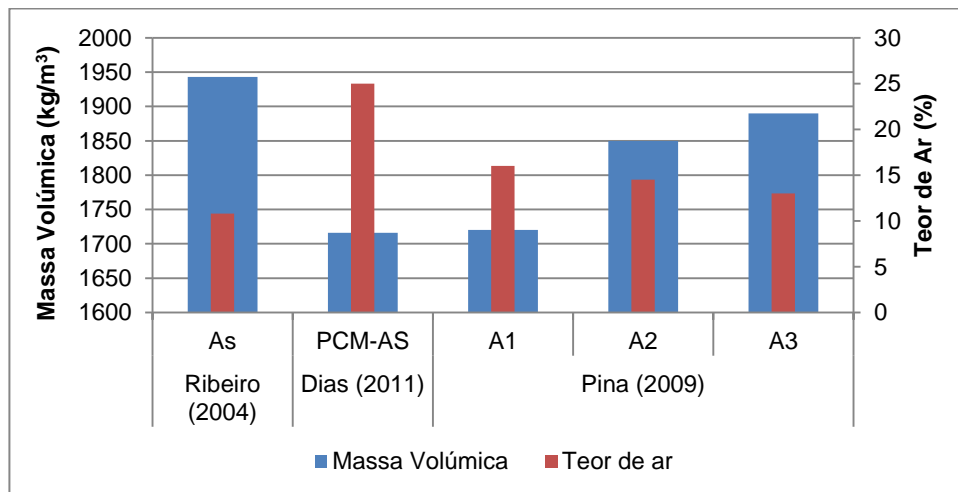


Gráfico 5.7 - Teor de Ar e Massa Volúmica das PCM-AS.

Em relação ao teor de ar, comparando as PCM-SB, conclui-se, que de uma forma geral, são todos bastante semelhantes, dispersando apenas as SB3, por terem relações W/C muito baixas. Numa análise mais detalhada às três SB3, verificam-se as conclusões de Ohama (1995) e Fu e Chung (1996), em que o aumento da relação P/C não provocou um aumento do teor de ar. Apesar de todas

as argamassas dos restantes autores, possuírem uma relação W/C inferior, em comparação com as do presente trabalho, a igualdade de valores do teor de ar, pode advir da superioridade do teor de resíduo seco dos polímeros, utilizados pelos restantes autores, que causa um incremento do teor de ar introduzido.

Em Resende (2007) e Pina (2009), como constata os Gráficos 5.6 a 5.8, ocorreu o mesmo que no presente trabalho, em que as PCM apresentaram o mesmo teor de ar das CM e menor massa volúmica. As argamassas PCM-As apresentam uma massa volúmica semelhante às PCM-SB e um teor de ar superior.

No Gráfico 5.8 estão presentes os valores do teor de ar e da massa volúmica das CM, que possuem aditivos poliméricos distintos, razão que provoca uma dispersão de valores acentuada no teor de ar. O valor, deste último parâmetro, na argamassa CM-2, é muito díspar dos restantes, por possuir na sua composição 1,1g de adjuvante “Introdutor de Ar”. Por sua vez, AN1 e AN2 têm baixos teores de ar devido à ausência de qualquer adjuvante. Assim como CM-5, CM-1 apresenta um valor inferior às argamassas estudadas devido à menor relação W/C, presente na sua constituição. Quanto à massa volúmica, de uma forma geral, decresce com o aumento de teor de ar.

O Gráfico 5.8, não apresenta o valor da massa volúmica das argamassas Pa2 e AN2, por este não constar nas referências consultadas. O mesmo ocorre com o teor de ar de C2.

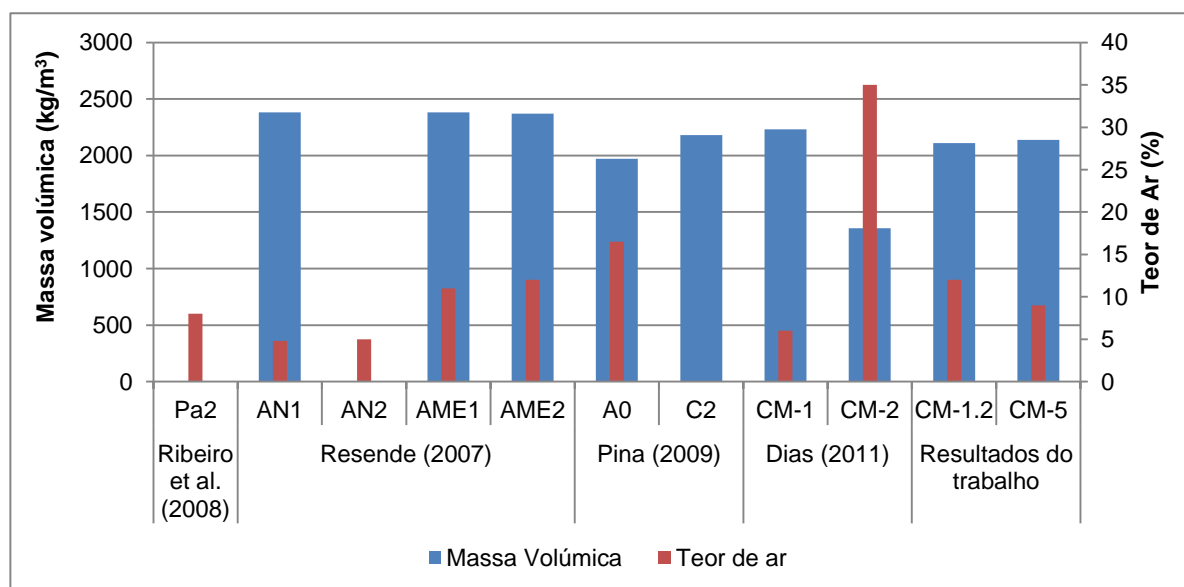


Gráfico 5.8 - Teor de Ar e massa Volúmica das CM.

5.2.3 Avaliação do Tempo de Presa

Segundo Resende (2007) os fenómenos de presa e de endurecimento, são manifestações físicas das reacções de hidratação do ligante e por isso dependem do tipo de cimento utilizado e da sua finura, temperatura ambiente, quantidade de água presente na mistura e humidade relativa do ar.

As Tabelas 5.4 e 5.5 mostram os resultados obtidos neste trabalho e os resultados obtidos por Ribeiro (2004), respectivamente.

Tabela 5.4 – Tempos de Início e fim de Presa das PCM-SB e CM.

Tempo de Presa - Vicat	Argamassas				
	PCM-SB-1	PCM-SB-2	CM-1.2	PCM-SB-5	CM-5
Início de presa	2h 30min	2h 45min	3h 30min	3h 35min	3h 30min
Fim de presa	5h 05min	5h 10min	5h 30min	5h 15min	5h 25min

Tabela 5.5 - Tempos de Início e fim de Presa (Ribeiro, 2004).

Tempo de Presa - Vicat	Argamassas			
	SB3-2	SB3-3	As	Pa2
Início de presa	9h 10 min	9h 10 min	3h 45min	3h 15min
Fim de presa	11h 25min	11h 25min	5h 00min	4h 30min

Contrariamente aos resultados apresentados na Tabela 5.5, os obtidos nas argamassas estudadas são todos muito similares, devido ao baixo teor de resíduo seco do polímero usado. Os tempos de início presa de PCM-SB-1 e PCM-SB-2 são inferiores aos verificados nas CM, este comportamento ocorre devido ao efeito acelerador de presa, do polímero de estireno-butadieno, segundo Ali *et al.* (2006). Contudo, as argamassas As e Pa e os valores da Figura 5.2, apresentam resultados aproximados aos obtidos neste trabalho.

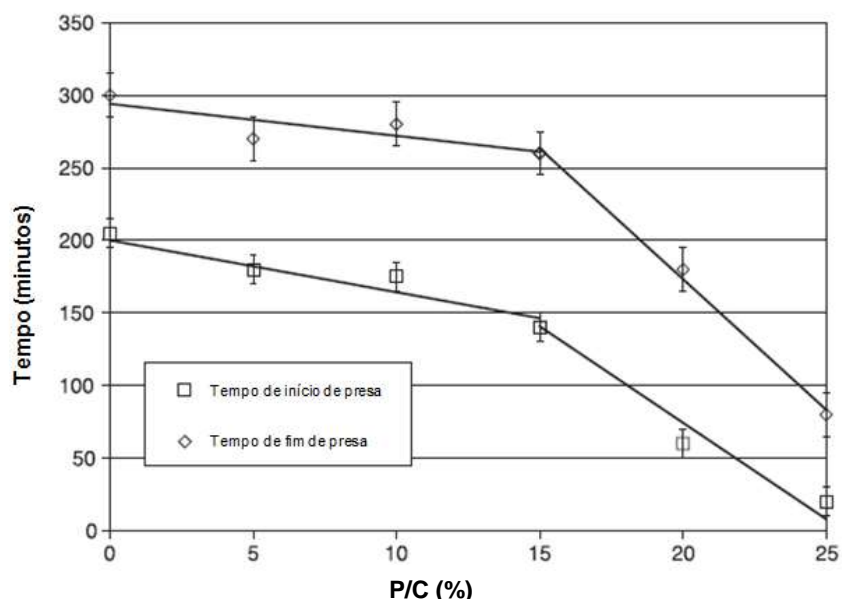


Figura 5.2 - Tempos de início e fim de presa das PCM e CM, para diferentes percentagens de látex, adaptado por Barulenga e Olivares (2004).

5.2.4 Aplicação em Superfícies Verticais e Horizontais

Em primeiro lugar, destacar a dificuldade inicial na aplicação de argamassas em tecto, devido à minha inexperiência e falta de técnica, tornando-se mais evidente, na fase de acabamento, não só

das superfícies anteriores, como também nas lajetas verticais. O facto da estrutura montada ter uma altura menor do a que a altura de uma pessoa, dificultou o processo. Contudo as dificuldades foram ultrapassadas com o auxílio de colegas, dos técnicos do laboratório e dos orientadores.

A Tabela 5.6, descreve resumidamente o comportamento de cada argamassa, nas diferentes superfícies aplicadas, em que “+” simboliza uma fácil aplicação, “+/-” representa uma difícil aplicação e “-” significa que a argamassa não aderiu.

Tabela 5.6 – Caracterização da aplicação das PCM-SB e CM em pavimento, parede e tecto.

Designação da Argamassa	Tipo de superfície		
	Pavimento	Parede	Tecto
PCM-SB-1	+	+	+/-
PCM-SB-2	+	+	+/-
CM-1.2	+	+	-
PCM-SB-5	+	+/-	+/-
CM-5	+	-	-

As Figuras 5.3 a 5.6 apresentam o resultado da aplicação das argamassas estudadas em lajetas, representativas de pavimento, parede e tecto.

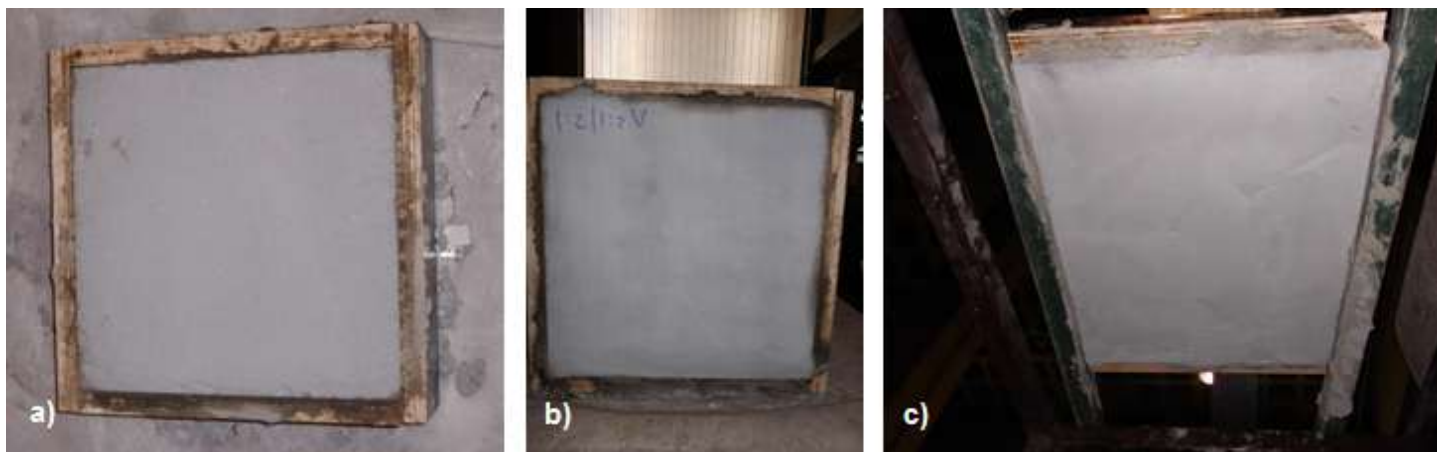


Figura 5.3 - Argamassa PCM-SB-1 aplicada em lajetas representativas de pavimento (a), parede (b) e tecto (c).

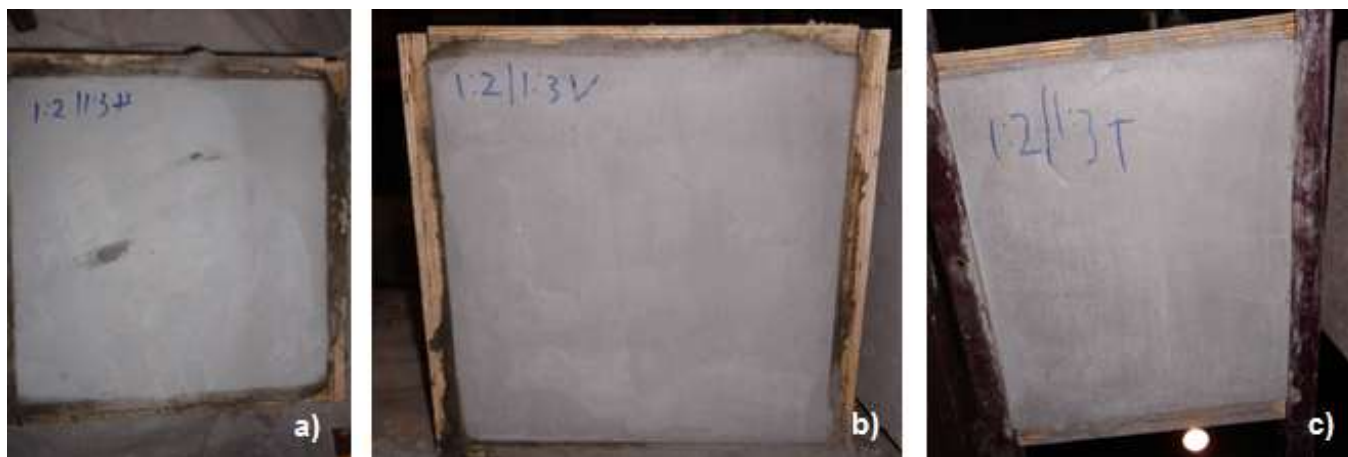


Figura 5.4 - Argamassa PCM-SB-2 aplicada em lajetas representativas de pavimento (a), parede (b) e tecto (c).



Figura 5.5 - Argamassa PCM-SB-5 aplicada em lajetas representativas de pavimento (a), parede (b) e tecto (c).



Figura 5.6 - Argamassa CM-1.2 aplicada em lajetas representativas de pavimento (a) e parede (b) e argamassa CM-5 aplicada em pavimento (c).

Na superfície mais adversa, o tecto, a presença do polímero mostrou fazer a diferença na aderência ao suporte, uma vez que nenhuma das CM aderiu em tecto. Contudo, o espalhamento de 200 ± 10 mm mostrou ser excessivo para a aplicação em tectos, pelo menos, da forma ensaiada, onde a alta fluidez promoveu uma força de aderência menor que a da gravidade.



Figura 5.7 - Pormenor da retracção da argamassa PCM-SB-5, no estado fresco (a) e no estado endurecido (b).

De todas as argamassas, a mais difícil de trabalhar foi a PCM-SB-5, devido à sua textura “pegajosa”, consequência da ausência de água e excesso de polímero, promovendo dificuldades em se libertar do material de aplicação (talocha e colher de pedreiro), onde foi notória a sua retracção, logo após sua aplicação (Figura 5.7). Apesar da CM-5 não ter aderido nem em parede, nem em tecto, na superfície de pavimento foi a que mostrou melhor acabamento, ficando, após 24 horas da sua aplicação, com um aspecto brilhante.

5.2.5 Caracterização Reológica

O estudo reológico, através do reómetro, permitiu complementar a análise dos espalhamentos obtidos, no ensaio de consistência, e a trabalhabilidade de cada argamassa, que foi avaliada qualitativamente com a aplicação em lajetas.

Como exemplo representativo da regressão linear feita para a obtenção dos valores da tensão de cedência (g) e da viscosidade (h), o Gráfico 5.9 mostra a curva de fluxo da argamassa PCM-SB-1, logo após a primeira mistura. A regressão linear expressa a variação do torque (T) com a velocidade de rotação (N), tal como mostra a Equação 3.5. É de referir que na equação da regressão linear as unidades da viscosidade (h) são apresentadas em N.mm.min e da tensão de cedência (g) em N.mm, contudo os valores de h serão apresentados em N.mm.s, estando de acordo com diversos autores. O parâmetro “ R^2 ” simboliza o ajustamento da regressão linear, relativamente à distribuição dos pontos no gráfico. As restantes curvas de fluxo, para os tempos estudados, das argamassas PCM e CM, estão no Anexo D, nas Figuras D.1 a D.5.

$$T = g + Nh \quad (3.5)$$

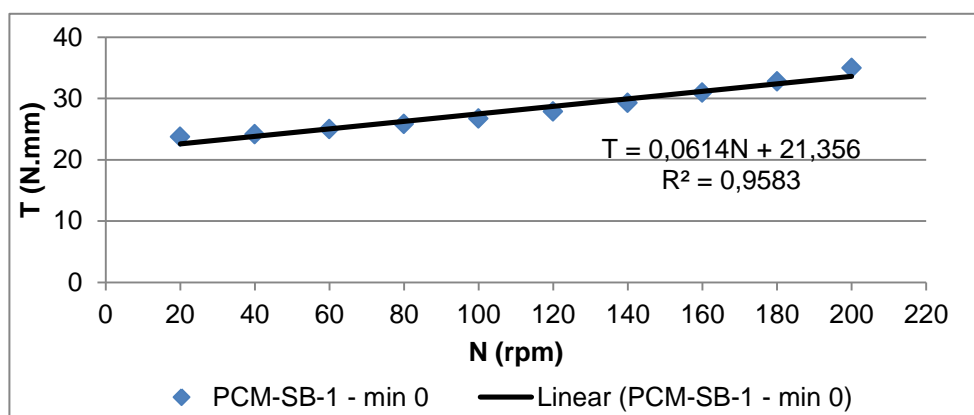


Gráfico 5.9 - Curva de fluxo da PCM-SB-1, logo após a primeira mistura (T=0 min.).

Neste capítulo, inicialmente será feita uma análise de cada argamassa, começando com as argamassas modificadas com polímero e depois com as argamassas cimentícias, partindo seguidamente para conclusões de resultados conjuntos. É de realçar que os valores da viscosidade (h) e tensão de cedência (g) estão apresentados na Tabela 5.7.

Começando com a argamassa PCM-SB-1, como era de esperar, segundo Banfill (2003), referido por Paiva (2005), a tensão de corte (g) aumentou, ao longo do tempo, de forma semelhante à diminuição do espalhamento da argamassa. É possível, também, constatar um decréscimo da viscosidade (h) com o tempo, com tendência para estabilizar. Aos 120 minutos há um crescimento da viscosidade, resultante da proximidade do tempo de início de presa (Gráfico 5.10).

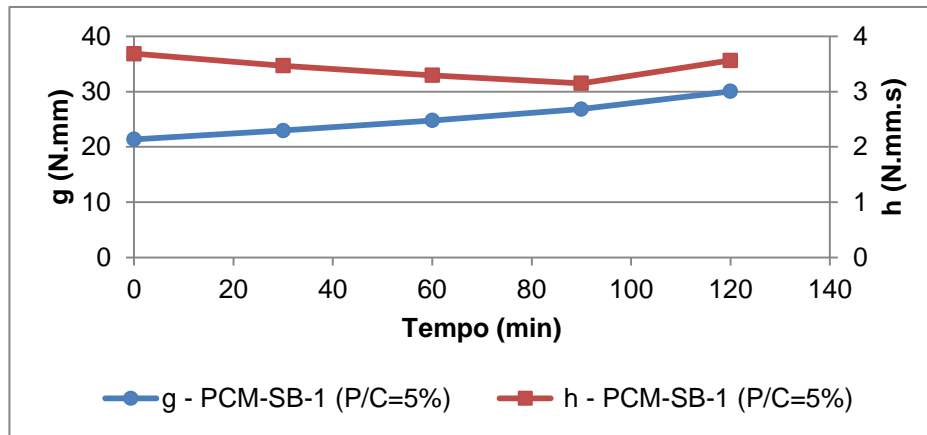


Gráfico 5.10 - Variação de g e h da argamassa PCM-SB-1, ao longo do tempo.

O Gráfico 5.11 mostra que o comportamento da PCM-SB-1, não se alterou significativamente, ao longo do tempo e que o seu comportamento se assemelha ao de um fluido Bingham. Nas curvas de fluxo, o torque aumenta com a velocidade de rotação, comprovando um comportamento fluido, com era esperado.

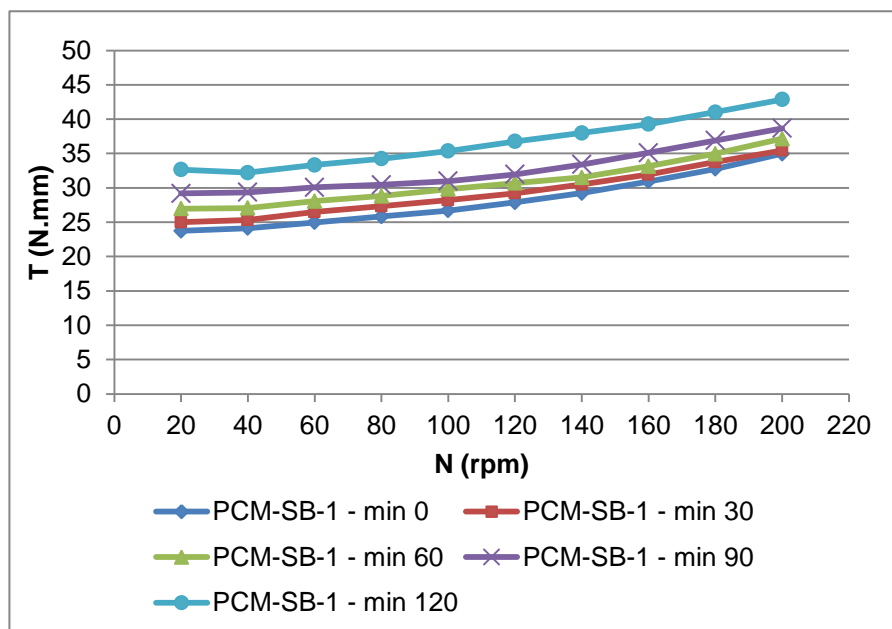


Gráfico 5.11 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, para a argamassa PCM-SB-1, em todos os tempos estudados.

Na argamassa PCM-SB-2, a tensão de cedência (g) aumentou ao longo do tempo de forma constante (Gráfico 5.12). Contrariamente com o que ocorreu em Sneff *et al.* (2009) e Paiva (2005), o parâmetro h aumentou ao longo do tempo.

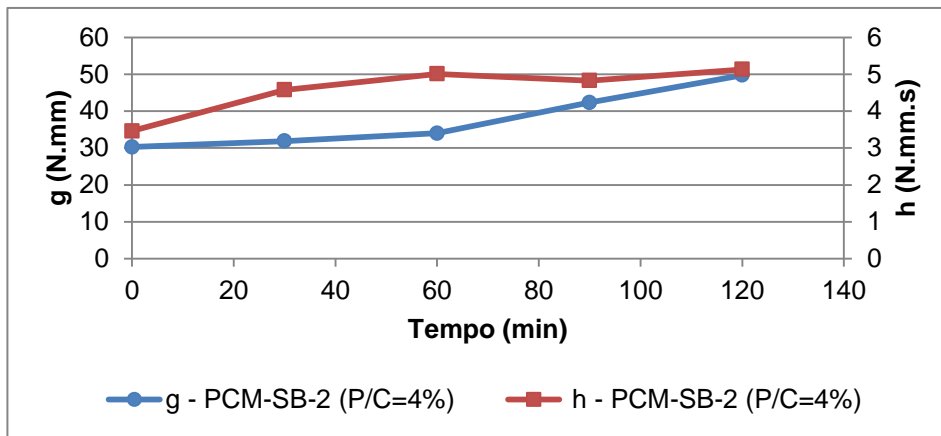


Gráfico 5.12 - Variação de g e h da argamassa PCM-SB-2, ao longo do tempo.

Na análise das curvas de fluxo ao longo do tempo, o Gráfico 5.13 revela que o comportamento da PCM-SB-2 não se alterou significativamente, até aos 60 minutos. Contudo para os períodos de tempo mais longos, manifestaram-se alterações tanto na irregularidade do crescimento do torque, com a velocidade de rotação, como nos valores obtidos para este parâmetro, em relação aos primeiros tempos de análise. No entanto o seu comportamento continua a aproximar-se ao de um fluido Bingham.

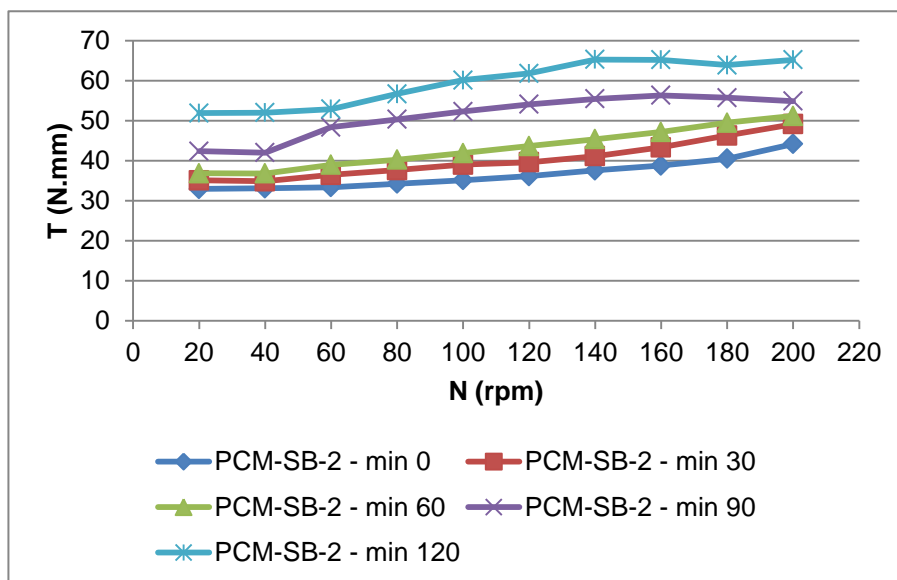


Gráfico 5.13 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, para a argamassa PCM-SB-2, em todos os tempos estudados.

A tensão de cedência da PCM-SB-5 diminuiu no intervalo de tempo, entre o minuto 30 e o minuto 60 (Gráfico 5.14). Contudo apresentou-se estável com uma tendência para aumentar para os tempos

mais longos. Já a viscosidade (h), até aos 60 minutos, tomou um crescimento inesperado, que pode ser explicado pelo rápido aumento da consistência, característica desta argamassa. Este parâmetro apenas retomou o comportamento normal, após a consistência se manter praticamente constante, sendo notório o grande decréscimo da viscosidade. Este comportamento pode ter sido provocado pela percentagem de polímero de 15%, nesta argamassa.

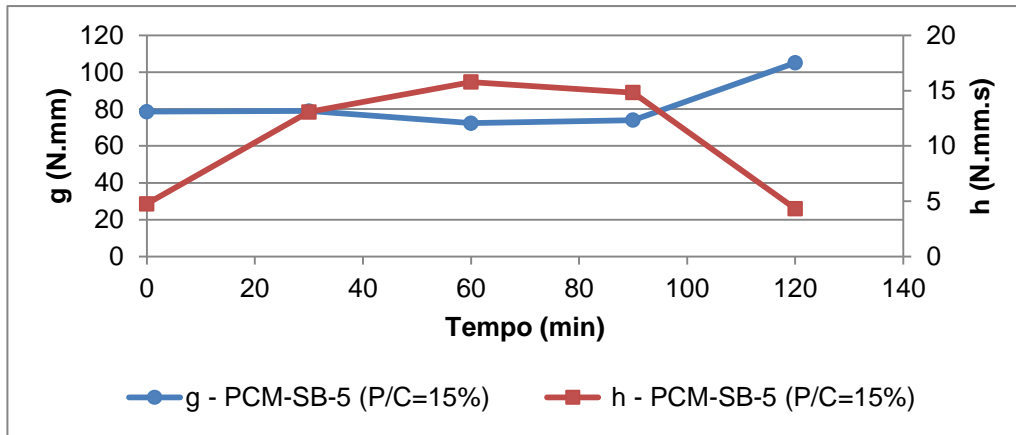


Gráfico 5.14 - Variação de g e h da argamassa PCM-SB-5, ao longo do tempo.

Embora a diferença, expressa no Gráfico 5.15, de aproximadamente de 30 N.mm, de torque, entre as curvas de fluxo, aos zero e 120 minutos, a PCM-SB-5, foi a argamassa que apresentou um comportamento mais uniforme, ao longo de uma hora, pois as curvas de fluxo foram praticamente coincidentes, dos 30 aos 90 minutos. Mais uma vez, o comportamento da argamassa com polímero, se assemelha ao de um fluido Bingham, apenas tendo um ajuste deficiente aos 120 minutos, devido à baixa consistência.

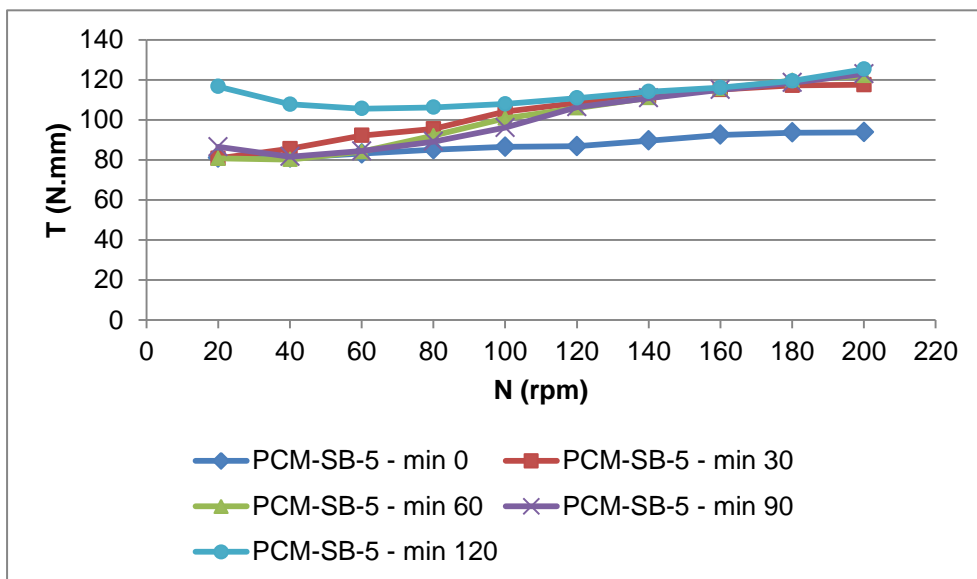


Gráfico 5.15 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, para a argamassa PCM-SB-5, em todos os minutos estudados.

Nos Gráficos 5.10, 5.12 e 5.14, que representam a evolução dos parâmetros g e h , ao longo do tempo, é possível observar, para as argamassas modificadas com polímero, quase uma linha imaginária de assimetria em relação a ambos os parâmetros, pois com o crescimento de um, ocorre a diminuição do outro. Na PCM-SB-2 (Gráfico 5.12), essa linha tem uma maior inclinação que nas argamassas PCM-SB-1 (Gráfico 5.10) e PCM-SB-5 (Gráfico 5.14)

No caso das argamassas cimentícias, este estudo, através do reômetro, foi muito mais complicado, e só foi possível realizar o ensaio de reometria até aos 60 minutos após a mistura, para a CM-1.2, porque a elevada consistência desta argamassa impediu o reômetro de continuar a análise da amostra.

Devido às grandes variações do torque, logo após a mistura efectuada, a inclinação da recta da curva de fluxo, ao minuto zero, chegou mesmo a ser negativa, resultando directamente um resultado negativo da viscosidade. Por outro lado, a tensão de corte apresentou uma variação esperada, ou seja, uma evolução crescente, representada no Gráfico 5.17.

Independentemente da consistência obtida aos 90 minutos da CM-1.2, se assemelhar à da PCM-SB-5, no mesmo instante, e mesmo aos 120 minutos, o reômetro permitiu a continuação da análise, da PCM-SB-5, consequência da presença do polímero, que confere uma consistência mais deformável às argamassas, não se apresentando tão seca como a CM-1.2.

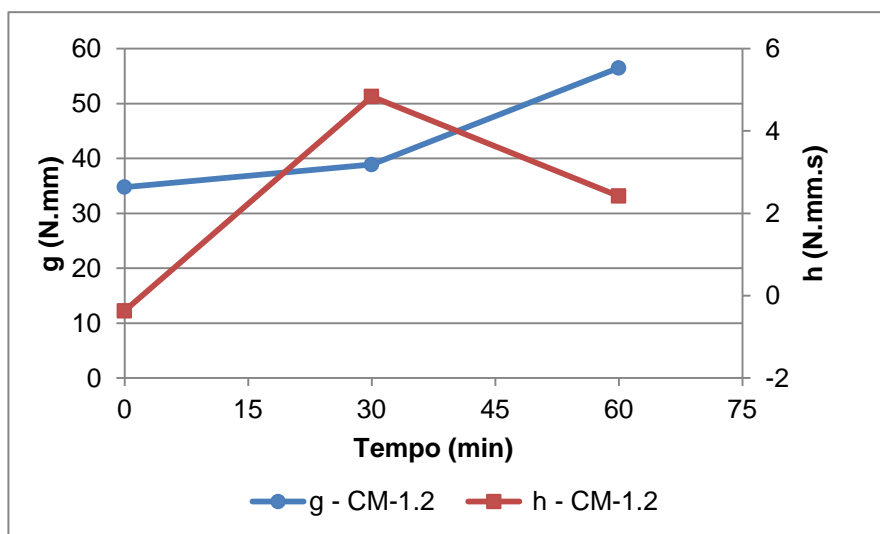


Gráfico 5.16 - Variação de g e h da argamassa CM-1.2, ao longo do tempo.

O Gráfico 5.17 permite verificar o comportamento inconstante do torque, para a argamassa CM-1.2, nos três tempos estudados ($T=0\text{min}$, $T=30\text{min}$, $T=60\text{min}$).

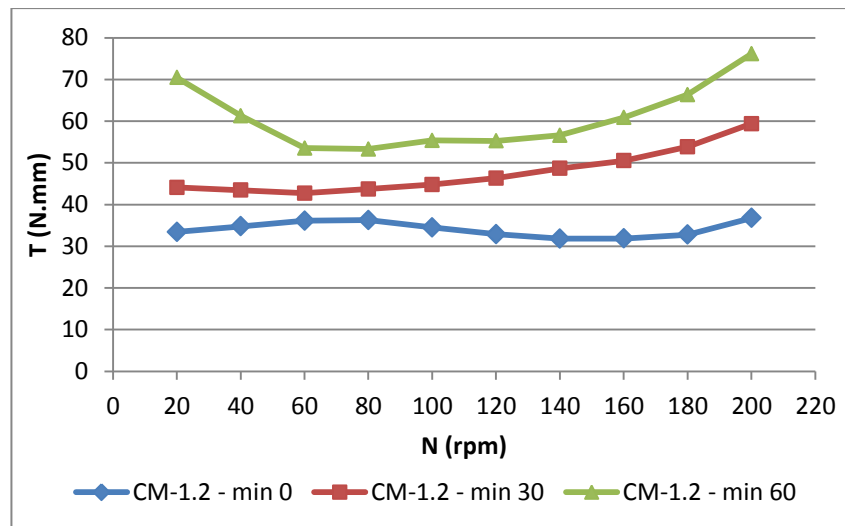


Gráfico 5.17 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, para a argamassa CM-1.2, em todos os minutos estudados.

Para a mistura CM-5, só foi possível realizar o ensaio de reometria até aos 30 minutos após a mistura, devido ao baixo espalhamento inicial e trabalhabilidade da argamassa produzida. Nesta argamassa todos os valores de viscosidade foram negativos, conforme se apresenta no Gráfico 5.18, uma vez que o torque aumentou, com o decrescimento da velocidade de rotação (Gráfico 5.19), provocado pelo baixo espalhamento, e composição seca da argamassa.

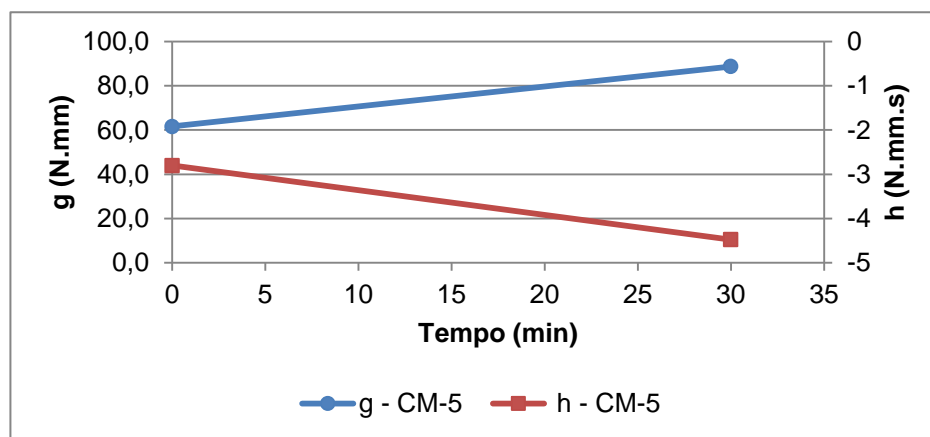


Gráfico 5.18 - Variação de g e h da argamassa CM-5, ao longo do tempo.

Através do Gráfico 5.19 é possível observar que a inclinação das regressões lineares se vai acentuando com um valor negativo, ao longo do tempo, representativo do aumento de consistência.

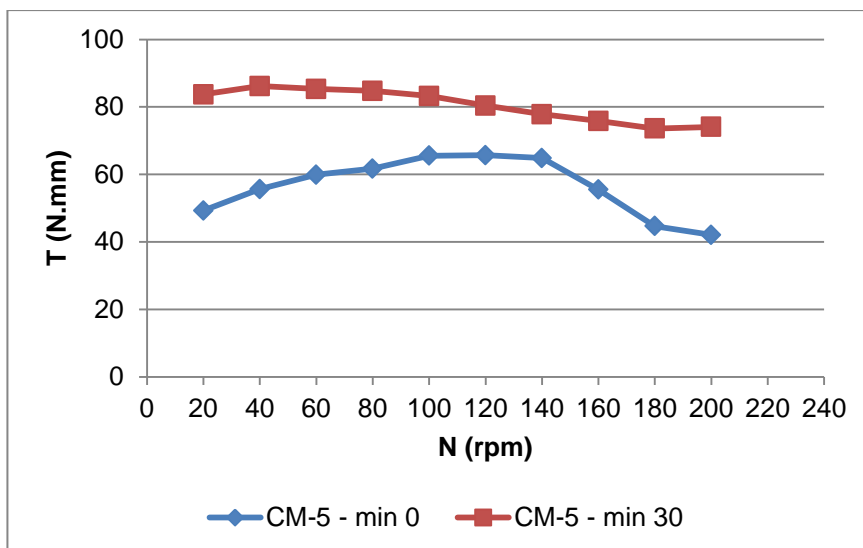


Gráfico 5.19 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, para a argamassa CM-5, em todos os minutos estudados.

Na análise conjunta, e começando com as consequências provocadas pela variação da dosagem do aditivo polimérico, na modificação das argamassas, os Gráficos 20 e 21 permitem concluir que o aumento da relação P/C, para pequenas dosagens de polímero, provoca uma diminuição da tensão de cedência.

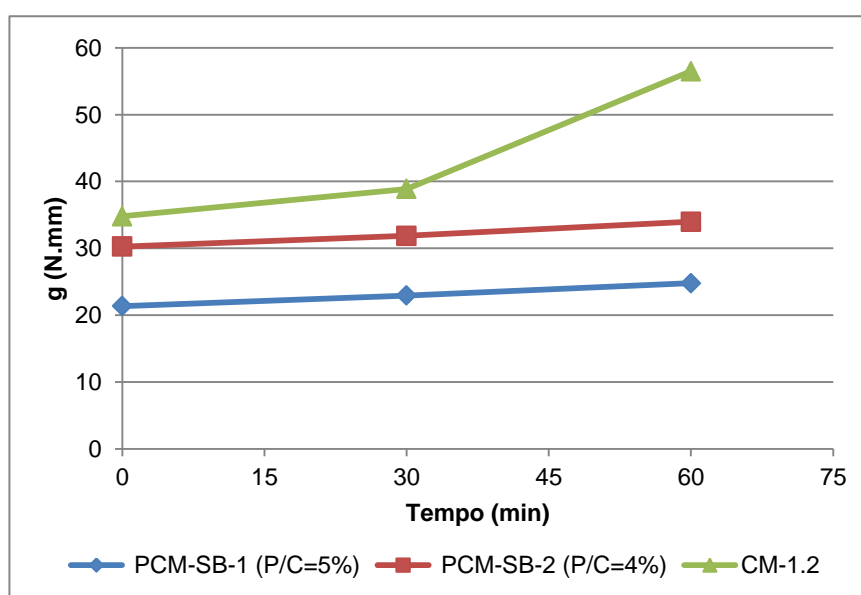


Gráfico 5.20 - Variação do parâmetro g , ao longo do tempo, para argamassas com relação $W/C=0,51$ e com o mesmo espalhamento inicial.

As argamassas com uma relação Água/Cimento próxima de $W/C=0,51$ (PCM-SB-1, PCM-SB-2, CM-1.2), foram comparadas ao minuto 30, porque foi o único instante em que a CM-1.2 não apresentou um h negativo. O Gráfico 5.21 permite concluir que o aumento de dosagem de polímero causa uma diminuição dos parâmetros g e h .

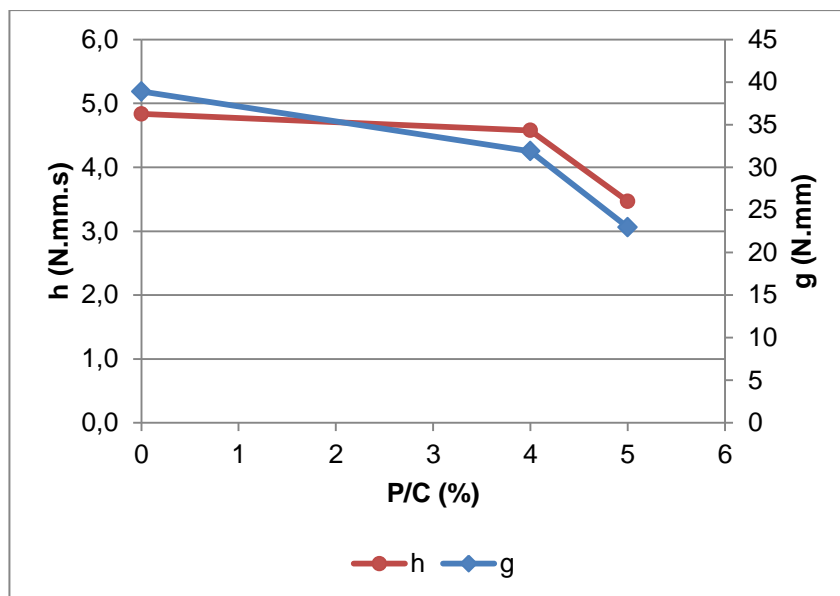


Gráfico 5.21 - Variação dos parâmetros g e h com a percentagem de polímero, 30 minutos após a primeira mistura, para argamassas com relação W/C=0,51 e com o mesmo espalhamento inicial.

Os resultados obtidos, na análise da tensão de cedência da PCM-SB-5, nos Gráficos 5.22 e 5.23, parecem ir contra às conclusões anteriores, contudo são justificados pela menor relação W/C, e pelo facto de esta relação ser quase na totalidade, garantida pelo polímero, que quando não misturado com uma certa quantidade de água confere uma maior viscosidade à argamassa (Gráfico 5.24), e uma consequente uma quebra repentina da fluidez, garantindo uma trabalhabilidade defeituosa.

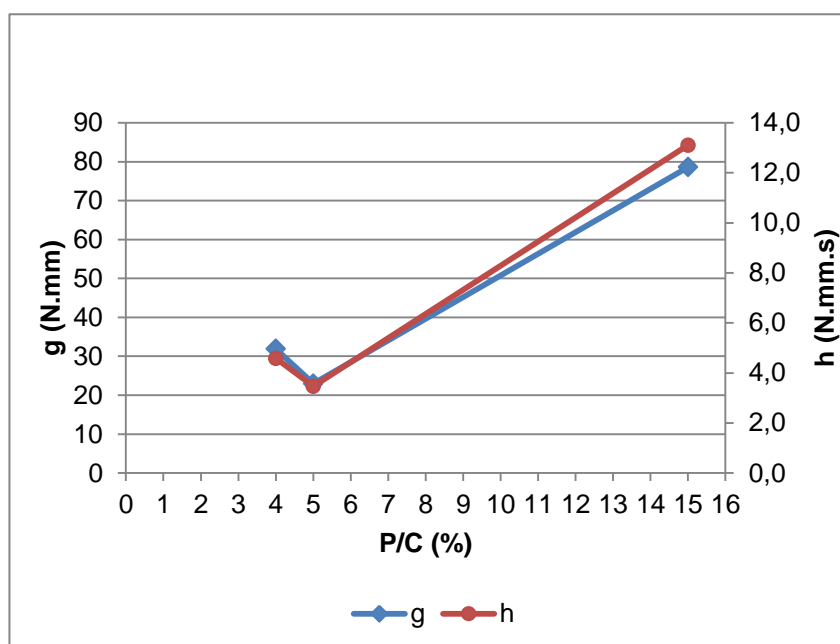


Gráfico 5.22 - Variação do parâmetro h com a percentagem de polímero, 30 minutos após a primeira mistura, para as argamassas PCM-SB.

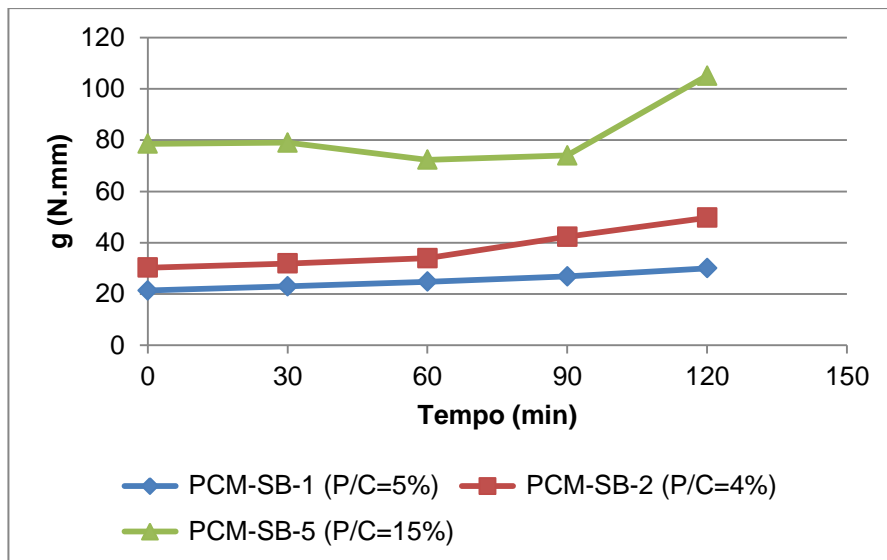


Gráfico 5.23 - Variação de g, das argamassas PCM-SB, com o mesmo espalhamento inicial, ao longo do tempo.

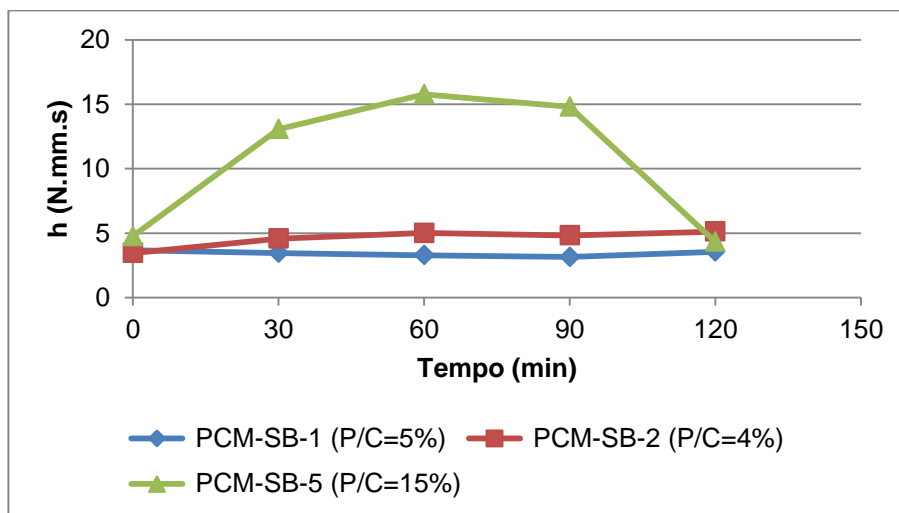


Gráfico 5.24 - Variação de h, das argamassas PCM-SB, com o mesmo espalhamento inicial, ao longo do tempo.

Para as argamassas cimentícias, alteradas com superplastificante, Gołaszewski e Szwabowski (2004) e Seabra *et al.* (2007) mencionam, nas suas investigações, que com o aumento do teor deste adjuvante ou do teor de água, a tensão de cedência diminui e a viscosidade não apresenta variações significativas.

Senff *et al.* (2009) referem que a variação do teor de água tem mais influência no espalhamento e nos parâmetros reológicos, que a variação do teor de superplastificante.

Para as argamassas cimentícias, os resultados obtidos neste trabalho são inconclusivos, dado à baixa precisão das regressões lineares de ambas, presente na Tabela 5.7, no minuto zero. Todavia, de uma forma qualitativa, é possível verificar que o aumento de W/C teve mais influência que o aumento do teor de superplastificante, visto que CM-1.2 apresentou menor Torque e maior espalhamento que CM-5 (Gráfico 5.26).

Tabela 5.7 - Resultados dos parâmetros reológicos obtidos para as PCM-SB e CM, para todos os tempos estudados.

Tempo	Parâmetro	Argamassa				
		PCM-SB-1	PCM-SB-2	PCM-SB-5	CM-1.2	CM-5
0 min	g (N.mm)	21	30	79	35	62
	h (N.mm.s)	3,7	3,5	4,8	-0,37	-2,8
	R ²	0,96	0,90	0,97	0,04	0,11
30 min	g (N.mm)	23	32	79	39	89
	h (N.mm.s)	3,5	4,6	13,1	4,8	-4,5
	R ²	0,97	0,94	0,96	0,81	0,88
60 min	g (N.mm)	25	34	72	56	-
	h (N.mm.s)	3,3	5,0	15,8	2,4	-
	R ²	0,95	0,99	0,98	0,10	-
90 min	g (N.mm)	27	42	74	-	-
	h (N.mm.s)	3,2	4,8	14,8	-	-
	R ²	0,92	0,82	0,94	-	-
120 min	g (N.mm)	30	50	105	-	-
	h (N.mm.s)	3,6	5,1	4,3	-	-
	R ²	0,97	0,89	0,46	-	-

Portanto, o aumento da percentagem de polímero, em pequenas dosagens, provocou uma diminuição tanto da tensão de cedência, como da viscosidade. Este facto foi notório durante a aplicação das argamassas PCM-SB-1, PCM-SB-2 e CM-1.2, em lajetas, uma vez que CM-1.2 só conseguiu ser analisada até aos 60 minutos no reómetro e não conseguiu ser aplicada em tecto. Contudo para teores elevados de polímero, os parâmetros *g* e *h* aumentaram, justificados pela textura “pegajosa” da argamassa, que causou dificuldades durante a sua aplicação, de tal forma que PCM-SB-5 apresentou um Torque superior ao da CM-5 (Gráfico 5.25). Os valores de Torque para os restantes tempos estudados, para as PCM e para as CM, estão no Anexo D, representados nos Gráficos D.1 a D.4.

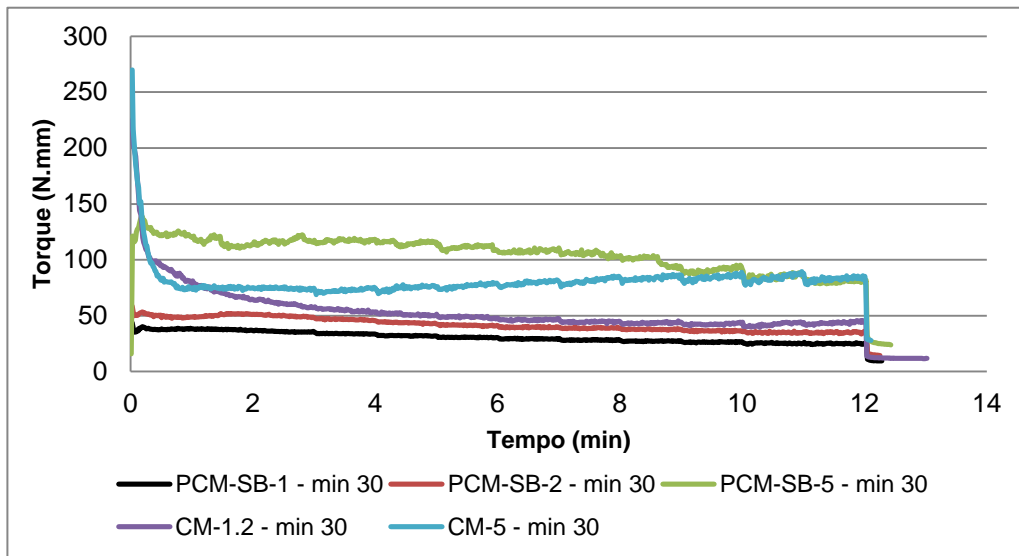


Gráfico 5.25 – Variação do Torque com o tempo, 30 minutos após a primeira mistura, para as PCM-SB e CM.

O aumento do teor de água permitiu uma diminuição significativa do torque, nas argamassas de referência.

Os Gráficos 5.26 a 5.28, permitem verificar a conclusão de Senff *et al.* (2009), ou seja, que o ensaio de consistência está mais relacionado com a tensão de cedência, do que com a viscosidade. Nas argamassas PCM-SB-1 e PCM-SB-2, a diminuição do parâmetro g com o espalhamento é quase linear. É também perceptível que o ajuste da regressão linear da CM-1.2, é inferior ao ajuste das PCM-SB-1 e PCM-SB-2. O mesmo ocorre com PCM-SB-5, devido ao comportamento irregular apresentado, provocado pela relação Polímero/Cimento=15%.

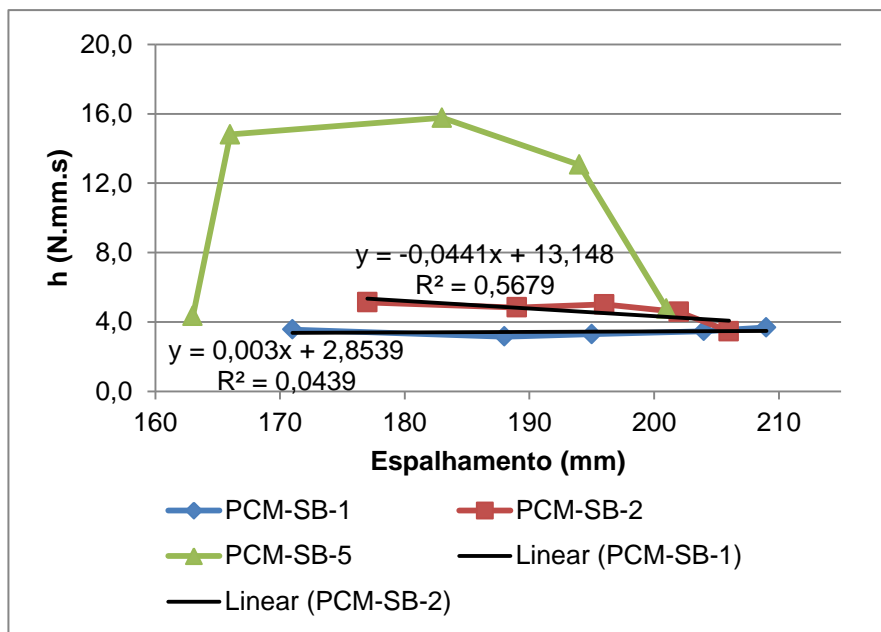


Gráfico 5.26 - Variação do espalhamento com a viscosidade, para as PCM-SB.

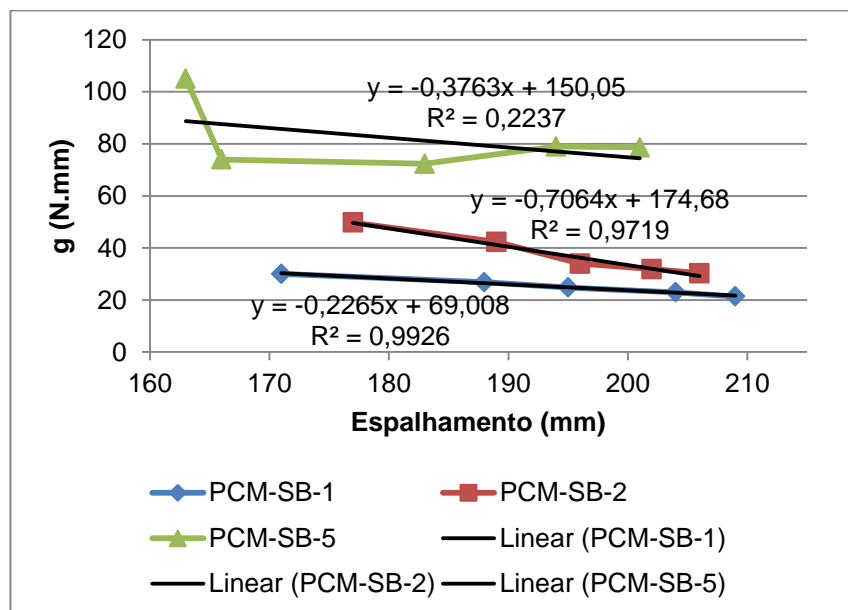


Gráfico 5.27 - Variação do espalhamento com a tensão de cedência, para as PCM-SB.

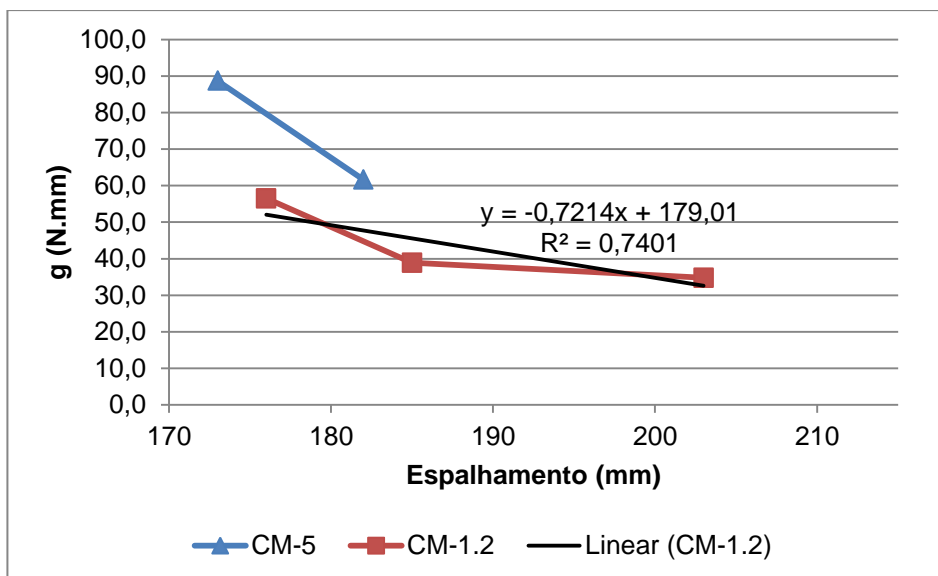


Gráfico 5.28 - Variação do espalhamento com a tensão de cedência, para as CM.

5.3 Caracterização em Estado Endurecido

Nesta secção apresentam-se os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas estudadas, no estado endurecido.

5.3.1 Avaliação da Retracção

As Tabelas 5.8 e 5.9 revelam os resultados da retracção restringida das argamassas estudadas, para o ensaio de anel e de cantoneira, respectivamente. Ambas as tabelas apresentam a idade de formação das primeiras fendas, a abertura e o número total de fendas em cada provete.

Tabela 5.8 - Resultados obtidos do ensaio de retracção restringida, no anel, para as argamassas cimentícias e modificadas com polímero.

Argamassas	Idade de formação da fenda (dias)	Nº de fendas	$W_{cr, anel}$ (mm)	$\epsilon_{sh, r}$ ($\times 10^{-3}$)
PCM-SB-1	30	1	0,13	0,38
PCM-SB-2	0	0	0	0,00
CM-1.2	30	1	0,09	0,26
PCM-SB-5	0	0	0	0,00
CM-5	0	0	0	0,00

Contrariamente ao esperado, as argamassas PCM-SB-1 e PCM-SB-2 apresentaram valores de retracção superiores a CM-1.2, no ensaio de cantoneira, verificando uma ineficiência do polímero utilizado, de estireno-butadieno, na formulação das misturas, que segundo Resende (2007) até é apropriado para anular a fendilhação proporcionada pela retracção. Porém no caso de PCM-SB-5, ocorre o resultado contrário, possuindo quase um terço da retracção de CM-5.

Tabela 5.9 - Resultados obtidos do ensaio de retração restringida, cantoneira, para as argamassas cimentícias e modificadas com polímero.

Argamassas	Provete	Idade de formação da 1ª fenda (dias)	Nº de fendas	$W_{cr, calha}$ (mm)	$W_{cr, total}$ (mm)	$\epsilon_{sh, r}$ ($\times 10^{-3}$)
PCM-SB-1	A	7	1	0,5	0,5	0,5
	B	7	1	0,5		
PCM-SB-2	C	6	1	0,8	0,4	0,4
	D	0	0	0		
CM-1.2	E	9	1	0,4	0,33	0,33
	F	31	3	0,26		
PCM-SB-5	G	14	1	0,1	0,25	0,25
	H	14	1	0,4		
CM-5	I	6	1	0,6	0,65	0,65
	J	6	1	0,7		

É de salientar que os resultados do ensaio de cantoneira das argamassas PCM-SB-2, PCM-SB-5 e CM-5, foram abruptamente adulterados, devido à modificação do local de repouso dos provetes, após estes estarem fissurados, provocando o destacamento, em todos os que possuíam fissuras.

Não é possível fazer um paralelismo entre os resultados dos dois ensaios, pelo referido no parágrafo anterior. As Figuras 5.8 e 5.9 mostram a fissuração dos provetes da argamassa PCM-SB-1, no ensaio de Anel e Cantoneira, respectivamente.

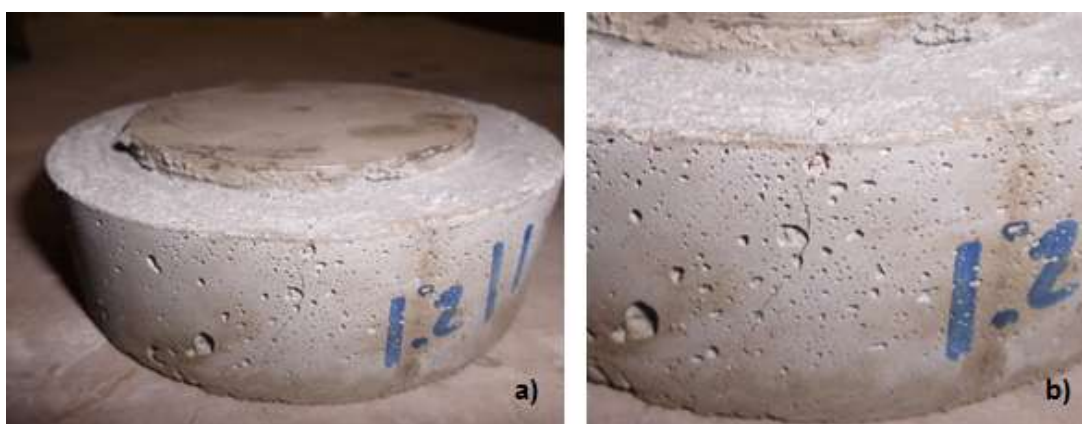


Figura 5.8 - Fissuração do provete da argamassa PCM-SB-1 no ensaio do Anel (a) e pormenor (b).



Figura 5.9 - Fissuração do provete da argamassa PCM-SB-1, no ensaio de cantoneira.

5.3.2 Avaliação da Aderência

É de referir que por motivos logísticos, a argamassa PCM-SB-5, aplicada em tecto, teve uma cura de 68 dias e a CM-5, aplicada em pavimento, uma cura de 60 dias.

Na Tabela 5.10 estão apresentados os resultados de Pull-off de todas as argamassas nas distintas superfícies, CM-1.2 (Tecto) e CM-5 (Parede e Tecto) não apresentam qualquer valor devido à falta de aderência aos suportes, indicado em § 5.2.5.

Tabela 5.10 - Resultados experimentais de "Pull-off" das PCM-SB e CM.

Argamassas	Tensão de Aderência (MPa)							
	Superfície	a	b	c	d	e	MÉDIA	σ
PCM-SB-1	Pavimento	0,58	0,18	0,57	0,39	0,97	0,54	0,26
	Parede	0,25	-*	0,36	0,30	0,14	0,26	0,08
	Tecto	0,32	0,63	0,33	0,32	0,77	0,48	0,19
PCM-SB-2	Pavimento	0,45	0,56	0,56	0,49	0,70	0,55	0,09
	Parede	1,10	0,57	0,14	-*	-*	0,61	0,42
	Tecto	0,15	0,12	-*	-*	0,13	0,13	0,01
CM-1.2	Pavimento	1,33	1,53	1,31	0,90	0,64	1,14	0,32
	Parede	0,34	0,26	0,11	0,19	0,33	0,24	0,09
	Tecto	-**	-**	-**	-**	-**	-	-
PCM-SB-5	Pavimento	1,44	1,81	1,06	1,38	0,33	1,20	0,5
	Parede	0,86	1,20	1,14	-*	1,57	1,19	0,25
	Tecto	0,75	1,20	1,19	0,94	0,74	0,96	0,2
CM-5	Pavimento	0,51	0,56	0,63	0,98	0,45	0,63	0,19
	Parede	-**	-**	-**	-**	-**	-	-
	Tecto	-**	-**	-**	-**	-**	-	-

*Destacamento do provete durante o corte com a caroteadora, ** Não foi possível aplicar a argamassa por falta de aderência.

É de referir que a acção da caroteadora pode ter adulterado os resultados, por danificar a ligação da argamassa com o betão, tendo como consequência uma maior dispersão dos resultados. Na argamassa PCM-SB-2 destacaram-se dois provetes em parede e em tecto, durante a acção da caroteadora. O mesmo ocorreu num provete da argamassa PCM-SB-5 em parede.

Tanto as argamassa PCM-SB-1, como as PCM-SB-2, tiveram valores fora do esperado, onde no primeiro caso a aderência em tecto foi superior à de parede, e no outro caso a aderência em pavimento foi inferior à de parede.

Na comparação das PCM-SB, verifica-se, o já concluído por Ukrainczyk e Rogina (2013), que a resistência ao arrancamento aumenta com o teor de polímero.

Em conclusão, nenhum dos valores médios da tensão de aderência respeita o especificado na NP EN 1504-3, para argamassas estruturais de classe R3, aos 28 dias de idade ($\geq 1,5\text{MPa}$), muito em culpa da técnica de preparação da superfície utilizada (martelo e ponteiro), pois todos os ensaios tiveram uma rotura mista (interface argamassa-betão).

A Figura 5.10-a apresenta uma lajeta e os 5 provetes do ensaio de “Pull-off”. Na Figura 5.10-b está representado um provete após o ensaio de “Pull-off” e a Figura 5.10-c exibe a lajeta depois do ensaio de “Pull-off” ter sido realizado.

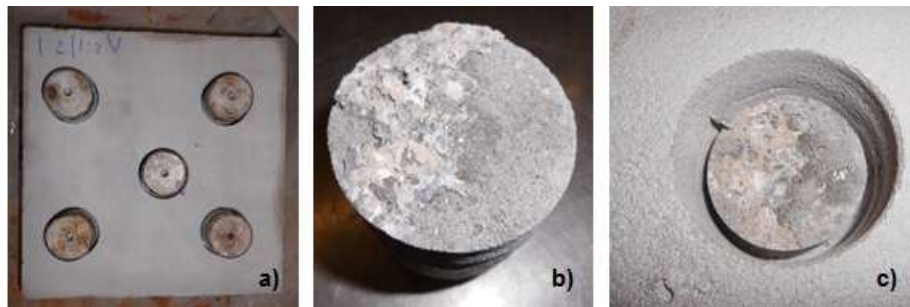


Figura 5.10 - Lajeta com 5 provetes (a), provete após o ensaio de “Pull-off” (b), lajeta após o ensaio de “Pull-off” (c).

5.3.3 Ensaio de Flexão e de Compressão

Neste capítulo foram utilizados os resultados de cura húmida-seca para as PCM e cura húmida para as CM, com o intuito de permitir a comparação de resultados com outros autores, que utilizaram as mesmas condições de cura, para os dois tipos de argamassa. Após a desmoldagem, foi feita uma análise descritiva dos provetes das argamassas PCM-SB e CM.

Os provetes da PCM-SB-1 apresentaram alguns poros de grandes dimensões e profundos (Figura 5.11-a), uma cor menos escura que os provetes da PCM-SB-5, mas mais que os da argamassa PCM-SB-2, apresentando uma textura rugosa e picada. Os provetes da PCM-SB-2, visualmente, foram muito semelhantes aos anteriores, contudo continham menos poros e de menores dimensões (Figura 5.11-b). No caso da PCM-SB-5 (Figura 5.11-c), a cor presente era mais escura que em todas as outras argamassas e detinha mais poros que PCM-SB-1 e PCM-SB-2. Todavia como aderiu muito ao molde, devido à grande percentagem de polímero, apesar do molde ter muito óleo descofrante, manifestou por vezes imperfeições superficiais nos provetes (Figura 5.12).



Figura 5.11 – Pormenor da face lateral do provete da argamassa PCM-SB-5, com muita porosidade superficial.



Figura 5.12 – Provetes das argamassas modificadas com polímeros: a) PCM-SB-1, b) PCM-SB-2 e c) PCM-SB-5.

As argamassas de referência foram muito semelhantes, com muito poucos poros visíveis, cor esbranquiçada na face que não ficou coberta pelo molde, textura ondulada e brilhante, mas CM-1.2 apresentou mais poros (Figura 5.13-a) e CM-5 uma cor mais clara (Figura 5.13-b).



Figura 5.13 - Provetes das argamassas cimentícias: a) CM-1.2 e b) CM-5.

As Figuras 5.14-a e 5.14-b representam um provete após o ensaio de flexão e de compressão, respectivamente.

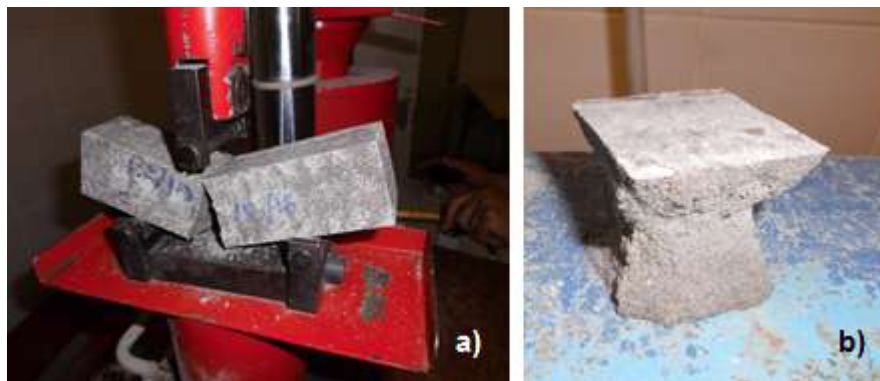


Figura 5.14 - Provete de argamassa após o ensaio de flexão (a) e compressão (b).

Para Wang *et al.* (2005) a resistência à compressão nas argamassas modificadas com polímeros, geralmente é inferior à das não modificadas. Segundo Knapen e Gemert (2015) este facto deve-se ao arrastamento de ar ser superior, que se opõe ao possível reforço da matriz de cimento hidratada. Este arrastamento de ar reduz a densidade da argamassa e consequentemente a resistência à compressão. A comparação dos valores da resistência à compressão, entre as PCM e CM, deve ser feita com argamassas que tenham densidades semelhantes (Bureau *et al.*, 2001; Schulze e Killermann, 2001). Schulze (1999) refere que o aumento da relação W/C provoca uma diminuição da resistência à compressão e à flexão, para argamassas modificadas com polímeros.

Aggarwal *et al.* (2007), Gemert *et al.* (2004) e Fowler (2004), concluíram que a resistência à flexão aos 28 dias, é superior nas PCM, e que aumenta com o crescimento da relação P/C, segundo uma função linear. Rixom e Mailvaganam (1999) explicam que é devido ao aumento da resistência da ligação entre os componentes hidratados do cimento e os agregados, e pela existência de filme polimérico disseminado na matriz cimentícia.

Tabela 5.11 - Resultados dos ensaios de Resistência à Compressão e Flexão das PCM-SB e CM, com cura húmida-seca para as PCM e cura húmida para as CM e Massa Volúmica das argamassas estudadas.

Ensaio	Argamassas				
	PCM-SB-1 (P/C=5%)	PCM-SB-2 (P/C=4%)	CM-1.2	PCM-SB-5 (P/C=15%)	CM-5
Resistência à Compressão (MPa)	29,2	23,5	46,5	33,5	54,5
Resistência à Flexão (MPa)	6,0	5,4	7,50	8,5	7,20
Massa Volúmica (kg/m ³)	1788	1748	2110	1899	2137

Na Tabela 5.11 verifica-se que o aumento da relação P/C promoveu um crescimento da resistência à compressão das PCM-SB, e que a resistência à tracção por flexão aumentou de forma linear com o teor de polímero (Gráfico 5.29). As CM apresentaram melhor comportamento à flexão que a PCM-SB-1 e PCM-SB-2, e uma maior resistência à compressão que todas as PCM-SB. Ainda na resistência à compressão, analisando a NP EN 1504-3, conclui-se que todas, excepto a PCM-SB-2,

satisfizeram a condição especificada para a classe estrutural R3 (resistência à compressão $\geq 25\text{MPa}$), chegando as CM a integrar-se na classe estrutural R4 (resistência à compressão $\geq 45\text{MPa}$). O Gráfico 5.30 mostra um crescimento linear da resistência à compressão com a massa volúmica das argamassas.

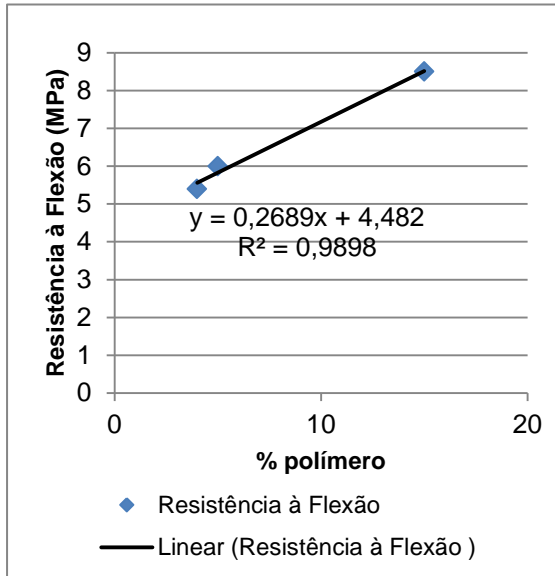


Gráfico 5.29 – Variação da Resistência à Tracção por Flexão com a dosagem de polímero.

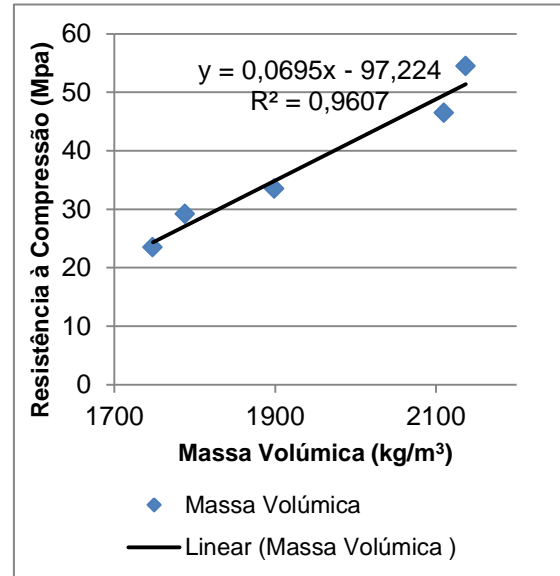


Gráfico 5.30 – Variação da Massa Volúmica com a dosagem de polímero.

No entanto os valores obtidos pelas PCM-SB são inferiores aos da resistência à compressão do betão (Tabela 4.11), o que é negativo, uma vez que o material de reparação deveria possuir um valor da mesma ordem de grandeza, para haver uma compatibilidade mecânica dos dois materiais, ou ligeiramente superior, para não haver rotura deste.

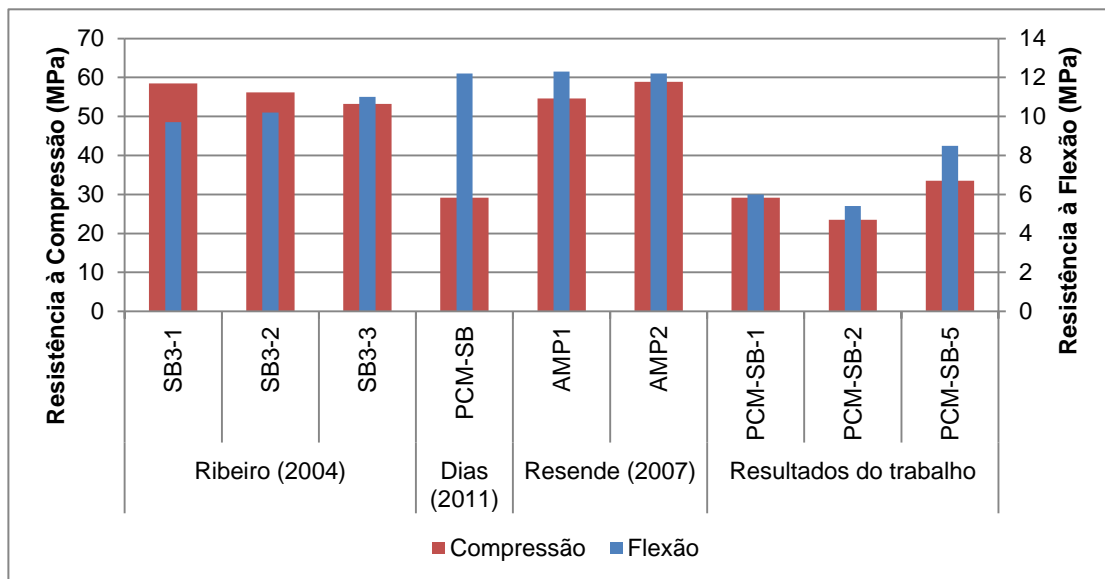


Gráfico 5.31 – Resistência à compressão e à tracção por flexão das PCM-SB.

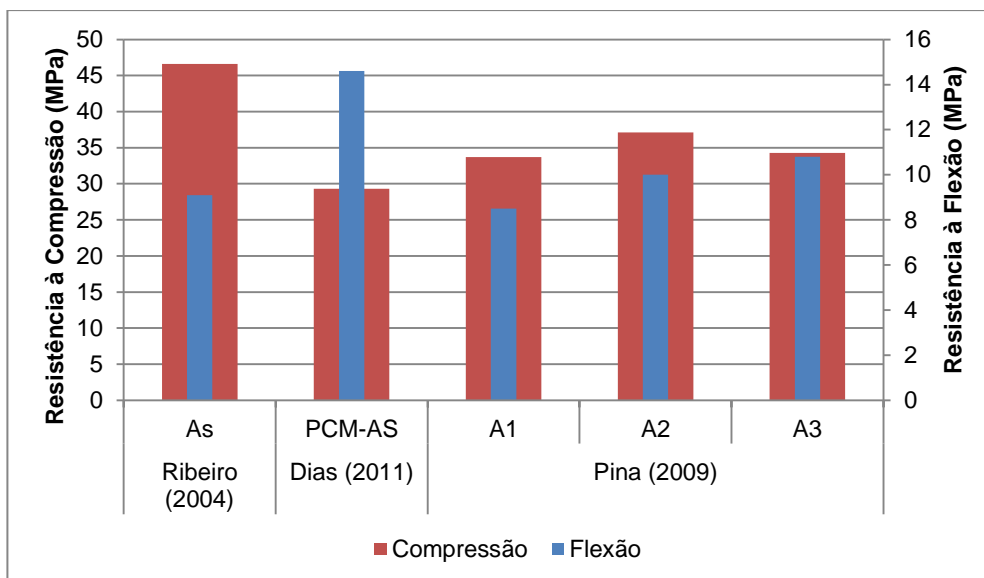


Gráfico 5.32 - Resistência à compressão e à tracção por flexão das PCM-AS.

Como é possível verificar nos Gráficos 5.31 e 5.32, todos os outros autores obtiveram melhores resultados que os conseguidos neste trabalho, devido às baixas relações W/C utilizadas, tanto no ensaio de compressão, como no de flexão, chegando neste último a obterem valores com o dobro da resistência. As PCM-SB, exceptuando as argamassas obtidas neste trabalho, mostraram ter uma resistência à compressão muito superior às argamassas PCM-As. Contudo as duas argamassas possuem resistências à flexão muito semelhantes

Para as CM, como apresenta o Gráfico 5.33, houve uma grande homogeneidade de valores, tanto no ensaio de compressão, como no de flexão, em que no primeiro, de uma forma geral, os resultados sofreram um crescendo com a descida da relação W/C.

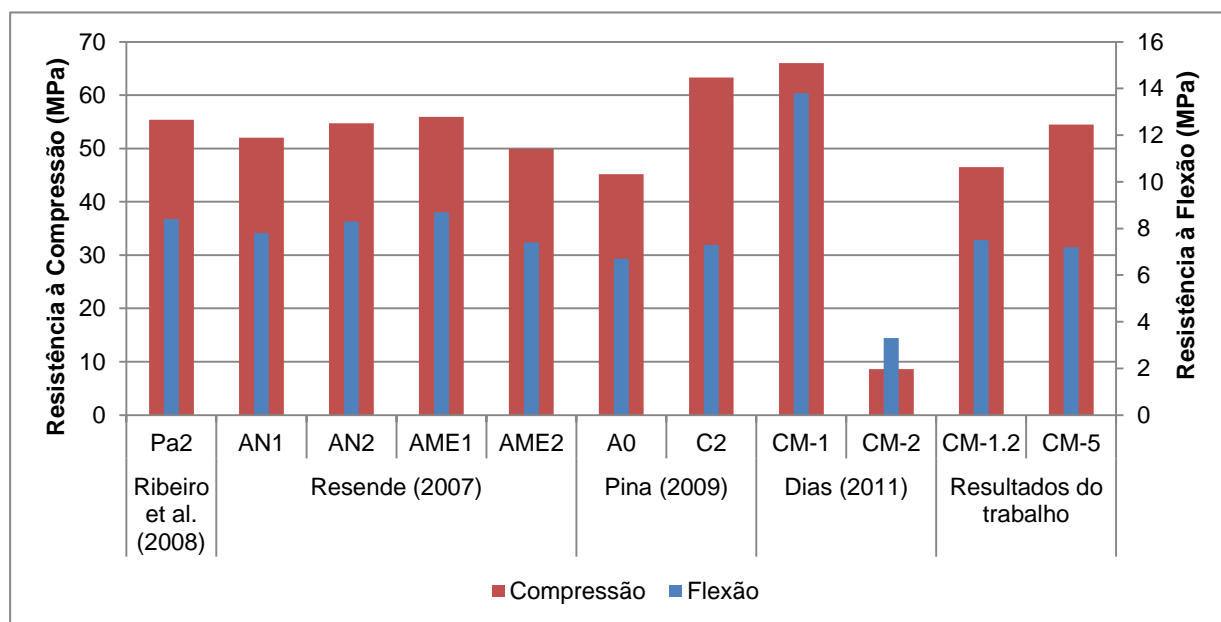


Gráfico 5.33 - Resistência à compressão e à tracção por flexão das CM.

Na Figura 5.15 a 5.17 estão representados mais resultados de ensaios de compressão e flexão, onde mais uma vez, os valores de Barulenga e Olivares (2004) são muito próximos dos valores do presente trabalho, no que diz respeito à resistência à tracção por flexão e à resistência à compressão das PCM-SB, assim como Sivakumar (2011) e John e Paul (2015). Contrariamente aos resultados obtidos, as CM dos autores anteriores obtiveram resultados inferiores às PCM, na resistência à compressão.

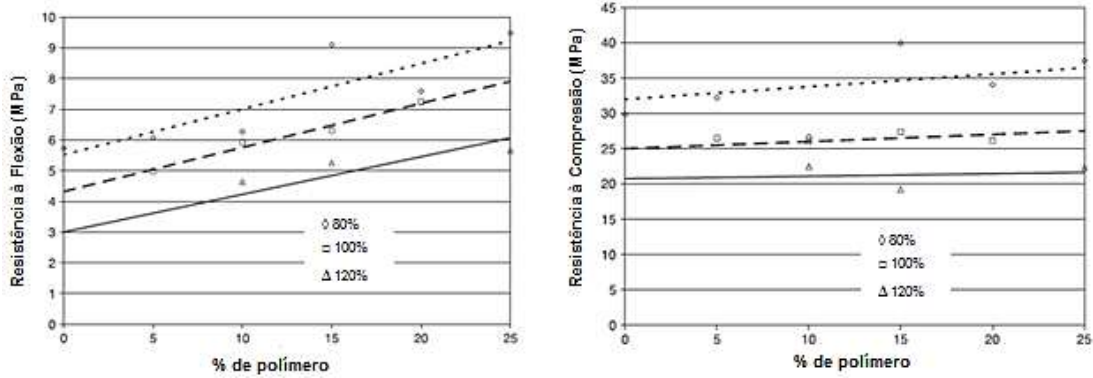


Figura 5.15 - Resistência à compressão e à flexão das PCM e CM, com diferentes percentagens de látex para espalhamentos de 80%, 100% e 120%, adaptado de Barluenga e Olivares (2004).

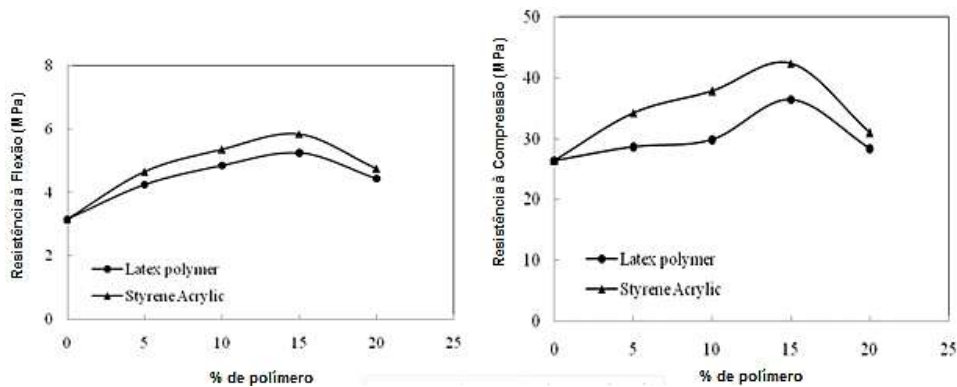


Figura 5.16 - Resistência à compressão e à flexão das PCM e CM, com diferentes percentagens de látex e acrílico, adaptado de Sivakumar (2010).

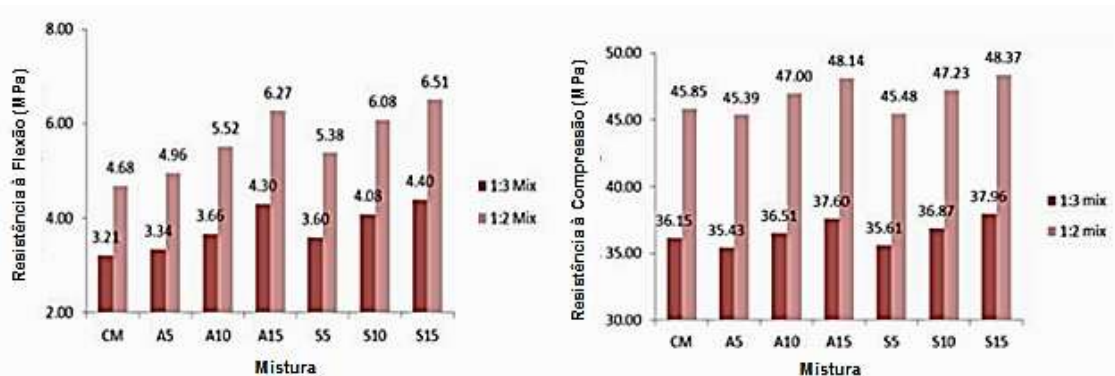


Figura 5.17 - Resistência à compressão e à flexão das PCM e CM, com diferentes percentagens de SBR, adaptado de John e Paul (2015).

5.3.3.1 Avaliação das condições de cura

Através dos ensaios de compressão e flexão foi possível analisar qual a condição de cura ideal para argamassas modificadas com polímero. Foram estudadas duas opções de cura distintas:

- a) Cura Húmida - 28 dias de cura húmida;
- b) Cura Húmida-Seca - 4 dias de cura húmida + 24 dias de cura seca.

Tabela 5.12 - Resultados dos ensaios de Compressão e Flexão das PCM-SB, com cura húmida-seca e cura húmida.

Argamassas	Ensaio			
	Resistência à Compressão (MPa)		Resistência à Flexão (MPa)	
	Cura Húmida-Seca	Cura Húmida	Cura Húmida-Seca	Cura Húmida
PCM-SB-1 (P/C=5%)	29,2	30,5	6,0	5,3
PCM-SB-2 (P/C=4%)	23,5	22,8	5,4	4,6
PCM-SB-5 (P/C=15%)	33,5	26,5	8,5	7,2

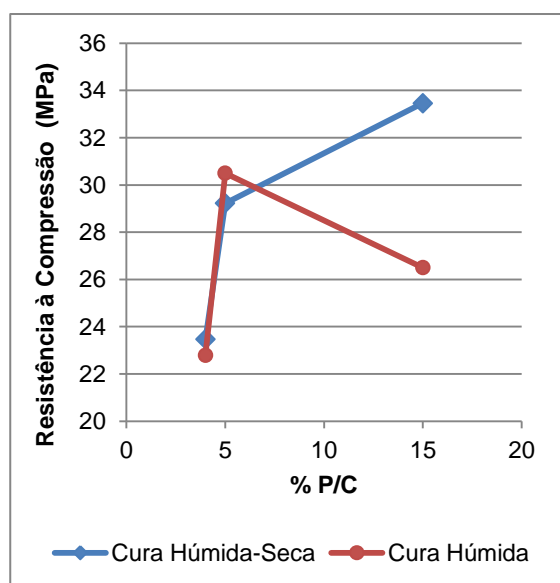


Gráfico 5.34 - Variação da Resistência à Compressão com a percentagem de polímero, para diferentes tipos de cura.

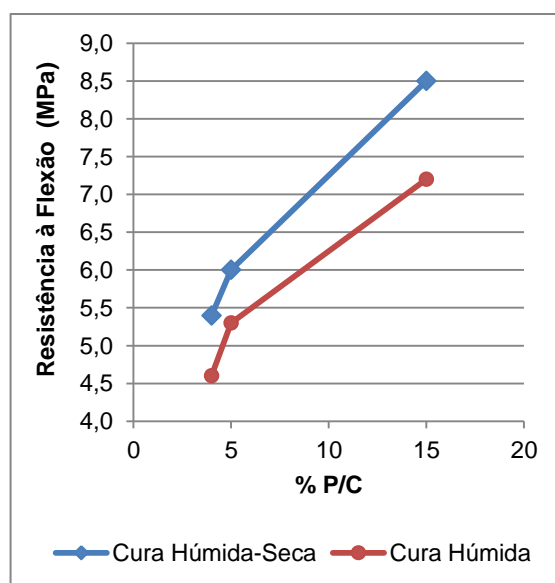


Gráfico 5.35 - Variação da Resistência à Flexão com a percentagem de polímero, para diferentes tipos de cura.

Os resultados da Tabela 5.12 e dos Gráficos 5.34 e 5.35, vão de encontro às conclusões dos autores referidos em § 2.4 - "Aplicação e Condições de Cura". Todas as argamassas apresentaram uma maior resistência à compressão e à flexão em cura húmida-seca, excepto a PCM-SB-1, na resistência à compressão, aos 28 dias. Também na cura húmida a resistência à flexão aumentou com o crescimento do teor de polímero nas argamassas.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Em termos de conclusão é de salientar que os objectivos pré-estabelecidos para o desenvolvimento desta campanha experimental foram todos realizados.

No ensaio de consistência por espalhamento, o superplastificante mostrou-se ineficaz para a argamassa de referência CM-5, que tem uma relação Água/Cimento=0,46, uma vez que esta não atingiu o espalhamento de 200 ± 10 mm. Contudo, para a CM-1.2, que tem uma relação de Água/Cimento=0,51, uma dosagem muito pequena de superplastificante (0,5%), permitiu atingir o mesmo espalhamento que PCM-SB-1 e PCM-SB-2, que tinham na sua composição 5% e 4% de polímero, respectivamente.

O polímero de estireno-butadieno teve um efeito acelerador de presa, nas argamassas em que foi utilizado.

Durante a aplicação das argamassas, verificou-se que o espalhamento de 200 ± 10 mm era inadequado para a aplicação de argamassas em tecto e que para o polímero utilizado, teria sido mais adequado a formulação de uma argamassa com 10% de polímero em vez de 15%, devido ao seu reduzido teor de sólidos, garantindo uma aplicação mais fácil aos suportes.

O ensaio com o reómetro permitiu verificar que todas as argamassas estudadas tiveram um comportamento de um fluido Bingham. Também possibilitou uma melhor compreensão dos fenómenos ocorridos, no ensaio de consistência por espalhamento e da aplicabilidade de cada argamassa, nas lajetas de betão. Através da comparação dos resultados de espalhamento, ao longo do tempo, com o ensaio de reometria verificou-se que o espalhamento obtido pelas argamassas está directamente relacionado com a tensão de cedência, de cada uma. É também de salientar que a tensão de cedência (g) e a viscosidade (h) diminuíram com o aumento da relação Polímero/Cimento, e que o aumento do teor de água provocou uma diminuição do torque, nas argamassas.

A argamassa PCM-SB-5 obteve neste ensaio, valores de tensão de cedência e viscosidade superiores a PCM-SB-1 e PCM-SB-2, avaliando de forma quantitativa o já observado depois de ter sido aplicada manualmente. A menor trabalhabilidade das CM, em parede e tecto, foi justificada através dos elevados valores de tensão de cedência e viscosidade, que apresentaram, não sendo possível avaliar todos os tempos estudados para as PCM-SB.

No ensaio de retração restringida e de aderência, o polímero utilizado, mostrou apenas ser eficaz para a relação Polímero/Cimento=15%

Na caracterização da resistência à compressão, as CM apresentaram melhores resultados, contudo nas PCM-SB, o aumento da relação Polímero/Cimento permitiu uma maior resistência à compressão. O comportamento das argamassas PCM foi bonificado com o aumento de dosagem de polímero na avaliação da resistência à flexão.

A combinação de 4 dias de cura húmida com 24 dias de cura seca, permitiu obter os melhores resultados dos ensaios de avaliação da resistência à compressão e à flexão.

Ao longo do trabalho experimental foram diversas as dificuldades para a execução de alguns ensaios, nomeadamente no ensaio de reometria e no ensaio de avaliação da aplicabilidade das argamassas de reparação de betão. O facto de o polímero possuir um baixo teor de resíduo seco, fez com que os resultados obtidos fossem inferiores aos exigidos pela NP EN 1504-3. Também o tratamento conferido às lajetas de betão, através do martelo e ponteiro de aço, provocou uma aderência deficiente entre a argamassa e o betão. Neste sentido, as dúvidas levantadas ao longo do processo experimental permitem definir as seguintes linhas de investigação:

- 1) Estudo do espalhamento ideal de argamassas de reparação para a aplicações em tecto;
- 2) Avaliação da aderência de argamassas modificadas com polímero, em pavimento, parede e tecto, para dosagens de polímero, diferentes das estudadas;
- 3) Caracterização dos parâmetros reológicos de argamassas cimentícias com 200 ± 10 mm, através do reómetro Viskomat NT, ao longo do tempo;
- 4) Avaliação dos parâmetros reológicos de PCM, com diferentes tipos de polímeros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, A.M. et al (2011) Dynamics of high-Deborah-number entry flows: a numerical study, *J. Fluid Mech*, Cambridge University Press vol. 677, pp. 272–304.
- AFRIDI, M. et al. (1995) - Water Retention and Adhesion of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars, *Cement & Concrete Composites*, vol. 17, pp. 113-118.
- AFRIDI, M. et al. (2003) - Development of polymer films by the coalescence of polymer particles in powdered and aqueous polymer-modified mortars, *Cement and Concrete Research* vol. 33, pp.1715 – 1721.
- AGGARWAL, L., THAPLIYAL, P., KARADE S. (2007) – Properties of polymer-modified mortars using epoxy and acrylic emulsions. *Construction and Building Materials*, nº21, pp. 379-383.
- ALI, A. et al. (2012) - Improvement the Properties of Cement Mortar by Using Styrene Butadiene Rubber Polymer, *Journal of Engineering and Development*, vol. 16, pp. 1813- 7822.
- APPLETON, J., COSTA, A. (n.d.) - *Reparação de Estruturas de Betão Armado*, Slides da Cadeira Reabilitação e Reforço de Estruturas, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- BANFILL, P.G. (1994) - Rheological methods for assessing the flow properties of mortar and related materials, *Construction and Building Materials*, vol. 8, pp. 43-50.
- BANFILL, P.G. (2003) - The rheology of fresh cement and concrete – a review, *Paper accepted for publication in Proc 11th International Cement Chemistry Congress*, Durban.
- BANFILL, P.G. (2006) - *The rheology of fresh cement and concrete*, School of the Built Environment, Heriot-Watt University Edinburgh, UK, pp. 61-130.
- BARBOSA, et al. (2011) - Determinação de parâmetros reológicos de argamassas e concreto através de técnicas alternativas, *Ibacron Structures And Materials Journal*, vol. 4, pp. 440-480.
- BARRA, G. – Apostila de Processos 4 - Parte 1: Fundamentos de Reologia de Materiais Poliméricos, Universidade de Pernambuco, Santo Amaro (n.d.).
- BARLUENGA, G., HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. (2004) - SBR latex modified mortar rheology and mechanical behavior, *Cement and Concrete Research*, vol. 34, pp. 527–535.
- BARNES et al. (1989) - *An Introduction to Rheology*, Holanda, Elsevier, cap.2, pp.16.
- BARNES H. (2000) - *A Handbook of Elementary Rheology*, University of Wales, Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Aberystwyth.

BARROCA, P. (2013) - *Comportamento reológico e mecânico de argamassas com agregados leves*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã.

BASF - Norma Europeia EN 1504 - Um guia ilustrado, simplificado para todos os intervenientes na reparação de betão (n.d.).

BRITO, J., FLORES, I. (2005) – *Diagnóstico, patologia e reabilitação de construções em betão armado*, Apontamentos da cadeira de Patologia e Reabilitação da Construção, Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

BUREAU, L. (2001) - Mechanical characterization of a styrene– butadiene modified, *Materials Science and Engineering*, vol. 308, pp. 233-240.

CAMÕES, A. (2002) - *Betões de Elevado Desempenho com Incorporação de Cinzas Volantes*, Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Guimarães.

CAMÕES, A. (2005) - Influência do superplastificante nos parâmetros reológicos do betão fresco, Universidade do Minho, Guimarães.

CARASEK, H. (1997) - Fatores que Exercem Influência na Resistência de Aderência de Argamassas, *II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Salvador – BA.

CARDOSO, F. *et al.* (2005) - *Caracterização Reológica de Argamassas pelo Método de Squeeze-Flow*, VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, I International Symposium on Mortars Technology.

CARDOSO, F.A. *et al.* (2014) - Characterisation of rendering mortars by squeeze-flow and rotational rheometry, *Cement and Concrete Research*, vol. 57, pp. 79–87.

CASTRO, A. L. (2007) – *Aplicação de Conceitos Reológicos na Tecnologia de Concretos de Alto Desempenho*, Tese de Doutoramento em Ciências e Engenharia dos Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CASTRO, A. L. (2011) – *Reologia de Concretos de Alto Desempenho Aplicados na Construção Civil – Revisão*, *Cerâmica*, vol. 57, pp. 63-75.

CATARINO, J. (1998) - *Normalização Europeia no Âmbito da Reparação*, Seminário sobre Inspeção e Reparação de Estruturas de Betão Armado com Corrosão”, Julho de 1998, LNEC.

CHASTRE, C. (2014) - *Materiais e Tecnologias de Reforço de Estruturas de Betão - Potencialidade E Limitações*, REHABEND 2014, Santander.

CORREIA, J. (2015) - *Protecção, Reparação e Reforço de Estruturas de Betão Armado*, Slides da cadeira de Patologia e Reabilitação da Construção, Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

COSTA, C. *et al* (2010) - Avaliação do Efeito da Reologia e da Energia de Impacto na Resistência de Aderência de Revestimentos de Argamassa, 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2010.

COSTA, M. (2006) - *Análise Comparativa de Argamassas Colantes de Mercado através de Parâmetros Reológicos*, Tese de Doutoramento em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, São Paulo.

COURARD, L. (2006) - *Effect of Concrete Substrate Texture on the Adhesion Properties of PCC Repair Mortar*, International Symposium on Polymers in Concrete, Universidade do Minho, Guimarães.

DIAS, T. (2011) - Acção do polímero na velocidade de corrosão do aço induzida por carbonatação em argamassas cimentícia, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

DAMIÃO, T. (2012) - *Prescrição de sistemas de reparação de estruturas de betão - Composição de argamassas de reparação*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

EMMONS, P., VAYSBURD, M. – *Performance Criteria for Concrete Repair Materials, Phase I*, Technical Report REMR-CS-47, U. S. Army Engineer.

EKOLO *et al.* (2014) - Construction Materials and Structures - Proceedings of the First International Conference on Construction Materials and Structures, Holanda, IOS Press BV, pp. 342.

FERRARIS, C.F. (1999) - Measurement of rheological properties of cement past: a new approach, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, vol. 104, pp. 461-478.

FERREIRA, H. (2006) - *Escoamento de fluidos newtonianos e viscoelásticos em torno de um cilindro: Estudo numérico de efeitos tridimensionais*, Dissertação de Mestrado em Fundamentos e Aplicações em Mecânica dos Fluidos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

FILHO, J. (2007) - *Reologia*, Disciplina de Materiais de Construção, Departamento de Construção Civil, Universidade Federal Do Paraná, Curitiba.

FLATT, R. *et al.* (2006) - Linking yield stress measurements: Spread test versus Viskomat, *Cement and Concrete Research*, vol. 36, pp. 99–109.

FOWLER, D. W. (1999) - Polymers in concrete: a vision for the 21st century, *Cement & Concrete Composites*, vol. 21, pp. 449-452

FOWLER, D. W. (2004) – State of the art in concrete-polymer materials in the U.S.11th, International congress on polymers in concrete, Berlin, pp. 597.

FU, X., CHUNG, D. (1996) – Degree of dispersion of latex particles in cement paste, as assessed by electrical resistivity measurement, *Cement and Concrete Research*, vol. 26, pp. 985-991.

GANDUR, M. (2001) - *Comportamento Dinâmico Complexo em Despelamento de Fitas Adesivas*, Tese de Doutorado, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GEMERT, D. *et al.* (2004) – Cement concrete and concrete-polymer composites: two merging worlds, *Report from 11th ICPIG Congress*, Berlin.

GOŁASZEWSKI, J. (2008) - *Influence of Cement Properties on Rheology of Fresh Cement Mortars without and with Superplasticizer*, Architecture Civil Engineering Environment, The Silesian University of Technology, Poland.

GOŁASZEWSKI, J., SZWABOWSKI, J. (2004) - Influence of superplasticizers on rheological behavior of fresh cement mortars, *Cement and Concrete Research*, vol. 34, pp. 235–248

GOMES, A., PINTO, A.P. (2011) – *Módulo – Durabilidade do Betão Armado; Materiais de Reparação*, Apontamentos das Aulas Teóricas de Materiais de Protecção, Reparação e Reforço, Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

GOMES, V. (2013) - *Efeito Da Adição De Diatomita no Comportamento Reológico E Mecânico e Argamassas Colantes*, Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

GUERRA, B. *et al.* (2004) - Avaliação reológica de elastómeros e suas composições, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 14, nº 4, pp. 289-294.

Guia prático de Preparação e Aplicação dos Sistemas de Reparação de Betão - Sika® (n.d.).

HACKLEY, V., FERRARIS, C. (2001) - Guide to rheological nomenclature: measurements in ceramic particulate systems – *NIST Special Publication 946*, National Institute of Standards and Technology.

HASSAN, K. *et al.* (2001) - Compatibility of repair mortars with concrete in a hot-dry environment, *Cement and Concrete Research*, vol. 23, pp.93–101.

HENDRICKX, R. (2009) - *The adequate measurement of the workability of masonry mortar*, Dissertation presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Engineering Sciences, Katholieke Universiteit Leuven – Faculty of Engineering, Lovaina.

HOPPE, F. *et al.* - Técnicas de caracterização reológica de argamassas, *e-Mat - Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil* (n.d.).

JARNY, S. *et al.* (2005) - Rheological behavior of cement pastes from MRI velocimetry, *Cement and Concrete Research*, vol.35, pp. 1873–1881.

JENNI, A. *et al.* (2006) - Changes in microstructures and physical properties of polymer-modified mortars during wet storage, *Cement and Concrete Research*, vol. 36, pp. 79–90.

JOHN, J., PAUL, S. (2015) - Study on Properties of Polymer Modified Mortars used as Repair Materials, *International Journal of Science Technology & Engineering*, vol. 2, Issue 05, pp. 52-57.

JUNIOR, R., SELMO, S (2007) - *Aderência de argamassas de reparo de estruturas de concreto*, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Carlos.

WU, K. *et al.* (2002) - Properties of polymer-modified cement mortar using preenclosing method. *Cement and Concrete Research*, vol. 32, pp. 425-429.

KNAPEN, E., VAN GEMERT, D. (2015) - Polymer film formation in cement mortars modified with water-soluble Polymers, *Cement & Concrete Composites*, vol. 58, pp. 23–28.

LOUREIRO, P. (2013) - *Optimização da Quantidade de Cinzas Volantes em Betões – Benefício Económico*, Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis, Universidade do Minho, Guimarães.

LÚCIO, V., CHASTRE, C. (2006) - *Reforço e Reparação de Estruturas*, Sebenta da disciplina de *Reparação e Reforço de Estruturas*, 2006, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Publicação UNIC DTC6, Monte de Caparica.

MARANHÃO, F. *et al.* (2011) - The influence of moisture content on the transversal deformation of polymer modified mortar, *Construction and Building Materials*, vol. 25, pp.2948-2954.

MARANHÃO, F. (2015) - The Bond Strength Behavior of Polymer-modified Mortars During a Wetting and Drying Process, *Materials Research*, vol. 18, pp.1354-1361.

METROGOS, S. (2016) – *Caldas de Injecção para Alvenarias Antigas – Protocolo de Ensaio para o Estudo da Reologia*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

MEWIS, J., WAGNER, N. (2009) – Thixotropy, *Advances in colloid and interface science*, vol. 147-148, pp.214–227.

MOREIRA, A. (2003) – *Estudos sobre Caldas de Injecção das Bainhas de Pré-Esforço*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

MOULIN, E. *et al.* (2001) - Influence of key cement chemical parameters on the properties of metakaolin blended cements, *Cement and Concrete Composites*, vol. 23, pp. 463–469.

MUJUMDAR, A. *et al.* (2002) - Transient phenomena in thixotropic systems, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, vol. 102, pp. 157-178.

OHAMA, Y. (1995) – Handbook of polymer-modified concrete - Properties and Process Technology, Noyes Publications, USA.

OHAMA, Y. (1998) – Polymer-based Admixtures, *Cement and Concrete Composites*, vol. 20 pp.189-212.

PAIVA, H. (2005) - *Caracterização reológica de argamassas*, Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de Aveiro, Aveiro.

PAIVA, H. *et al.* (2006) - Rheology and hardened properties of single-coat render mortars with different types of water retaining agents, *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 1141-1146

PALACIOS (2008) - Rheology and Setting of Alkali-Activated Slag Pastes and Mortars: Effect of Organic Admixture, *Materials Journal*, vol. 105, pp. 140-148.

PARGHI, A., ALAM. M. (2016) - Effects of curing regimes on the mechanical properties and durability of polymer-modified mortars – an experimental investigation, *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, vol. 5, pp. 324-347.

PENAS, F. (2008) - *Argamassas de Cal Hidráulica para Revestimentos de Paredes*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

PINA, F. (2009) – Resistência à carbonatação de argamassas de reparação para estruturas em betão armado: Estudo das argamassas cimentícias modificadas com polímeros, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

PINHO *et al.* (2005) - Estudo de Pontes de Aderência para Reparos em Superfícies Úmidas de Estruturas de Concreto de Usinas Hidrelétricas, Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2005, IBRACON, Belém P-A.

PINTO, A.P., GOMES, A. (2009) – *Aulas de Laboratório MCII-09/10 – Módulo 2*, Apontamentos da cadeira de Materiais de Construção II, Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

REIS, J. (2008) - *Determinação de Parâmetros Reológicos de Concretos Através do Ensaio de Abatimento de Tronco de Cone Modificado: Estudo de Caso*, Dissertação de Mestrado de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

RESENDE, R. (2007) - *Avaliação do desempenho de argamassas de reparação para betão armado*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

RIBEIRO, C. (2006) - *Betões e Argamassas com Polímeros*, Slides da disciplina de Construção com novos materiais, Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Porto.

RIBEIRO, M.S. (2004) – *Argamassas cimentícias modificadas com adjuvantes poliméricos: composição e características*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

RIBEIRO, M. S. (2012) – *Argamassas cimentícias modificadas com polímeros como material de reparação*. Investigação e inovação, 2ª jornada – Cidades e desenvolvimento, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 18-20 Junho, Lisboa.

RIBEIRO, M.S. *et al.* (2008) – *Styrene-Butadiene Polymer Action on Compressive and Tensile Strengths of Cement Mortars*, *Materials and Structures*, vol. 41, nº7, pp.1263-1273.

RIBEIRO, R., VIEIRA, N., SILVA, L. (2007) - *Influência da Adição de Polímeros nas Propriedades de uma Argamassa de Reabilitação*, 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa. 2007.

RIXOM, R., MAILVAGANAM, N. (1999) – *Chemical admixtures for concrete*, 3th Ed. E & FN Spon, London.

ROGINA, A., UKRAINCZYK, N. (2010) - *Mechanical Properties of SBR Latex Modified Mortar*, *MATRIB*, Croácia.

ROSIANY, S *et al.* (2005) - *Avaliação do Comportamento da Argamassa no Estado Fresco através dos Métodos de Mesa de Consistência, Dropping Ball e Squeeze Flow*, *VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, I International Symposium on Mortars Technology*.

ROUSSEL, N. (2005) - *Steady and transient flow behavior of fresh cement pastes*, *Cement and Concrete Research*, vol. 35, pp. 1656– 1664.

ROUSSEL, N. (2006) - *A thixotropy model for fresh fluid concretes: Theory, validation and applications*, *Cement and Concrete Research*, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, vol.36, pp. 1797-1806.

ROUSSEL, N. *et al.* (2005) - *From mini-cone test to Abrams cone test: measurement of cement-based materials yield stress using slump tests*, *Cement and Concrete Research*, vol. 35, pp.817-822.

SARAIVA, J. (2007) - *Técnicas de protecção e reparação de estruturas de betão armado*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

- SCHULZE, J. (1999) - Influence of water-cement ratio and cement content on the properties of polymer-modified mortars, *Cement and Concrete Research*, vol. 29, p. 909–915.
- SCHULZE, J., KILLERMANN, O. (2001) - Long-term performance of redispersible powders in mortars, *Cement and Concrete Research*, vol.31, pp. 357-362.
- SEABRA *et al.* (2007) - Rheological behavior of hydraulic lime-based mortars, *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 27, pp. 1735–1741.
- SILFWERBAND, J. (2003) - Shear bond strength in repaired concrete structures, *Materials and Structures*, vol.36, pp. 419-42.
- SILVA, M. (2006) - Transição Sol-Gel Em Soluções Orgânico-Aquosas De Lisozima e o Efeito Introdutor do Solvente: Caracterização Cinética e Estrutural, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SILVA, P. (2008) - *Comportamento de Estruturas de Betão Reforçadas por Colagem Exterior de Sistemas de CFRP*, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- SIVAKUMAR, M. (2010) - Effect of Polymer modification on mechanical and structural properties of concrete – An experimental investigation, *International Journal of Civil and Structural Engineering*, vol.1, nº 4.
- SENF, L. *et al.* (2009) - Mortar composition defined according to rheometer and flow table tests using factorial designed experiments, *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 3107–3111.
- SOUSA, J. (2011) - *Inspecção e Reabilitação de Estruturas segundo s NP EN 1504 – Caso De Obra*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- SOUSA, J., BAUER, E. (2002) – *Estudo da Reologia das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco*, Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Natal.
- TEIXEIRA, M. (2013) - *Estudo reológico de caldas hidráulicas para utilização na reabilitação do edificado*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- UKRAINCZYK, N., ROGINA, A. (2013) Styrene–butadiene latex modified calcium aluminate cement mortar, *Cement & Concrete Composites*, vol. 41, pp.16–23.
- WALLEVIK, J. (2003) - Rheology of particle suspensions. Fresh Concrete, Mortar Andcement Paste with Various Types of Lignosulfonates. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

WALLEVIK, J. (2005) - Thixotropic investigation on cement paste: experimental and numerical approach. *Journal of non-Newtonian fluid mechanics*, vol.132, pp.86–99.

WALLEVIK, J.E. (2009) - Rheological properties of cement paste: thixotropic behavior and structural breakdown, *Cement Concrete Research*, vol.39, pp. 14–29.

WANG, R. *et al.* (2005) - Physical and mechanical properties of styrene–butadiene rubber emulsion modified cement mortars, *Cement and Concrete Research*, vol. 35, pp. 900 – 906.

WANG, R. *et al.* (2006) - Influence of polymer on cement hydration in SBR-modified cement pastes, *Cement and Concrete Research*, vol. 36, pp. 1744–1751.

WANG, R. *et al.* (2011) - Effect of Styrene–Butadiene Rubber Latex on Mechanical Properties of Cementitious Materials Highlighted by Means of Nanoindentation, *Strain*, vol. 47, pp.117 – 126.

WÉSTERHOLM, M. (2006) - *Rheology of the Mortar Phase of Concrete with Crushed Aggregate*, Dissertação de Licenciatura em Engenharia Química, Universidade Técnica de Luleå, Luleå.

WOOD, *et al.* (1990) - Concrete repair materials for effective structural applications, *Construction and Building Materials*, vol.4, pp. 64-67.

ZHONG, S., CHEN, Z. (2002) - Properties of latex blends and its modified cement mortars, *Cement and Concrete Research*, vol. 32, pp. 1515-1524.

Documentos Normativos

ASTM C 230/C 203M:2008 - Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.

ASTM C 1437:2007 - Standard test method for flow of hydraulic cement mortar.

EN 1015-7:1998 - Methods of test for mortar for masonry Part 7: Determination of air content of fresh mortar.

EN 1542:1999 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Measurement of bond strength by pull-off.

EN 1766:2006 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Reference concretes for testing.

LNEC E 372:1993 - Água de amassadura para betão. Características e verificação da conformidade.

LNEC E 374:1993 - Adjuvantes para argamassas e betões. Características e verificação da conformidade.

NP EN 196-1:2006 - Métodos de ensaio de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas.

NP EN 196-2:2006 - Métodos de ensaio de cimentos. Parte 2: Análise química de cimentos.

NP EN 196-3:1990 - Métodos de ensaio de cimentos. Parte 3: Determinação do tempo de presa e da expansibilidade.

NP EN 196-21:1990 - Métodos de ensaio de cimentos. Determinação do teor em cloretos, dióxido de carbono e álcalis nos cimentos.

NP EN 480-8:1998 - Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção: métodos de ensaio. Parte 8: determinação do teor de resíduo seco.

NP EN 933-2:1999 - Ensaio para determinação das características geométricas dos agregados. Parte 2: Determinação da distribuição granulométrica. Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas.

NP EN 934-3:2009 - Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte 3: Adjuvantes para argamassa de alvenaria. Definições, requisitos, conformidade, marcação e etiquetagem.

NP EN 1008:2003 - Água de amassadura para betão.

NP EN 1097-3:2002 - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios.

NP EN 1504-1:2005 - Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão. Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 1: Definições.

NP EN 1504-3:2006 - Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão. Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 3: Reparação estrutural e não estrutural.

NP EN 1504-9:2009 - Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão. Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 9: Princípios gerais para a utilização de produtos e sistemas.

NP EN 1504-10:2008 - Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão. Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 10: Aplicação e controlo de qualidade.

NP EN 12390-3:2009 - Ensaio do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão de provetes.

NP EN 12350-2:2002 - Ensaio do betão fresco. Parte 2: Ensaio de Abaixamento.

NP EN 12350-6:2002 - Ensaio do betão fresco. Parte 6: Massa volúmica.

ANEXOS

Anexo A - Peso dos provetes de argamassa e teor de resíduo seco do polímero de estireno-butadieno

Tabela A.1 – Percentagem de teor de resíduo seco.

Amostra	Peso (g)			Teor de Resíduo Seco (%)
	Recipiente	Recipiente + Polímero Aquoso	Recipiente + Polímero Seco	
a	1,96	14,73	5,95	25%
b	1,97	12,66	4,64	25%
c	1,93	15,49	5,33	25%

Tabela A.2 – Peso dos provetes antes de serem colocados na câmara húmida e aos 28 dias (Cura Húmida)

Argamassas	Peso (g) - Antes da câmara húmida					
	1	2	3	4	5	6
PCM-SB-1	488,2	488,6	491,5	495,9	501,0	505,5
PCM-SB-2	465,0	461,8	462,0	463,7	461,0	465,8
CM-1.2	547,5	553,0	559,4	534,4	529,8	505,0
PCM-SB-5	490,7	495,5	503,8	477,3	480,2	487,2
CM-5	565,2	562,8	567,2	505,4	525,6	491,4
Peso (g) – Aos 28 dias						
PCM-SB-1	504,3	503,3	506,7	512,9	516,5	516,3
PCM-SB-2	482,4	478,3	479,0	482,3	477,8	481,8
CM-1.2	561,3	567,4	574,7	548,0	544,2	518,5
PCM-SB-5	503,1	508,1	516,8	489,9	493,2	500,1
CM-5	578,6	574,7	579,7	517,5	538,2	503,3

Tabela A.3 – Peso dos provetes antes e depois de serem colocados na câmara húmida e aos 28 dias (Cura Húmida-Seca)

Argamassas	Peso (g) - Antes da câmara húmida					
	1	2	3	4	5	6
PCM-SB-1	477,6	471,0	471,4	474,8	474,9	468,8
PCM-SB-2	437,3	436,3	433,6	451,2	450,8	450,1
PCM-SB-5	480,1	474,4	477,3	490,7	491,3	495,8
Peso (g) - Depois da câmara húmida						
PCM-SB-1	489,8	483,8	488,1	488,1	488,7	484,4
PCM-SB-2	457,6	457,6	457,9	468,3	468,0	468,6
PCM-SB-5	489,8	483,8	500,9	487,5	501,3	505,1
Peso (g) - Aos 28 dias						
PCM-SB-1	473,9	467,2	468,5	471,3	471,6	466,8
PCM-SB-2	437,2	436,3	435,2	450,3	449,1	449,4
PCM-SB-5	476,7	471,3	474,7	488,4	489,4	493,4

Anexo B - Resultados auxiliares dos ensaio de resistência à flexão e à compressão

Tabela B.1 - Resultados experimentais da Consistência por espalhamento das argamassas com um traço 1:3 em volume.

	Argamassas		
	PCM-SB-3	PCM-SB-4	CM-3.4
Espalhamento (mm)	204	200	150

Tabela B.2 - Resultados experimentais do espalhamento ao longo de 3 horas, para as PCM-SB e CM.

Tempo (minutos)	Espalhamento (mm)				
	Argamassas				
	PCM-SB-1	PCM-SB-2	CM-1.2	PCM-SB-5	CM-5
0	209	206	203	201	182
15	206	204	196	198	173
30	204	202	185	194	173
45	198	197	180	188	173
60	195	196	176	183	169
75	190	195	170	174	168
90	188	189	165	166	165
105	173	185	156	164	159
120	171	177	156	163	153
135	165	163	149	159	145
150	163	151	146	157	143
165	152	147	141	153	141
180	144	142	137	147	135
Temperatura (°C)	19,0	23,8	18,6	25,4	24,3
Humidade Relativa (%)	30,1	44,6	37,7	25,0	19,9

Tabela B.3 - Diferentes composições das CM e respectivos resultados do ensaio de espalhamento.

Materiais (g)	CM-1.2		CM-3.4			CM-5		
Cimento	500	500	300	300	300	500	500	500
Areia	1400	1400	1260	1260	1260	1400	1400	1400
Água	255	255	207	207	207	228	228	228
Superplastificante	3,5	2,5	6	5,4	4,8	10	5	5,5
Traço C:A (volume)	1:2	1:2	1:3	1:3	1:3	1:2	1:2	1:2
Traço C:A (peso)	1:2,8	1:2,8	1:4,2	1:4,2	1:4,2	1:2,8	1:2,8	1:2,8
Relação: W/C	0,51	0,51	0,69	0,69	0,69	0,46	0,46	0,46
Relação (%): SP/C	0,7	0,5	2	1,8	1,6	2	1	1,1
D1 (mm)	216	200	146	148	140	177	178	183
D2 (mm)	221	199	141	152	141	174	179	180
D3 (mm)	217	200	143	150	142	174	179	180
D4 (mm)	218	200	144	151	139	173	178	183
D _{med} (mm)	218	200	144	150	141	175	178	182
Espalhamento (%)	118	100	44	50	41	75	78	82

Tabela B.4 - Diferentes composições da PCM-SB-1 e PCM-SB-2, e respectivos resultados do ensaio de espalhamento.

Materiais (g)	PCM-SB-1					PCM-SB-2			
	Cimento	500	500	500	500	500	500	500	500
Areia	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
Água adicional	175	225	200	190	185	185	195	205	200
Polímero	96,3	123,8	110,0	104,5	101,8	67,8	71,5	75,2	73,3
Teor de resíduo seco (polímero)	24,1	30,9	27,5	26,1	25,4	17,0	17,9	18,8	18,3
Dispersão Aquosa (polímero)	72,2	92,8	82,5	78,4	76,3	50,9	53,6	56,4	55,0
Água Total	247	318	283	268	261	236	249	261	255
Traço C:A (volume)	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2
Traço C:A (peso)	1:2,8	1:2,8	1:2,8	1:2,8	1:2,8	1:2,8	1:2,8	1:2,8	1:2,8
Relação: W/C	0,49	0,64	0,57	0,54	0,52	0,47	0,50	0,52	0,51
Relação: P/W (volume)	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:3	1:3	1:3	1:3
Relação: P/W (peso)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Relação: P/C (%)	5	6	6	5	5	3	4	4	4
D1 (mm)	183	217	212	207	200	191	198	204	203
D2 (mm)	183	216	208	206	206	190	199	204	204
D3 (mm)	186	214	210	207	199	193	195	204	203
D4 (mm)	186	215	209	207	203	191	195	205	202
D _{med} (mm)	184	216	210	207	202	191	197	204	203
Espalhamento (%)	84	116	110	107	102	91	97	104	103

Tabela B.5 - Diferentes composições de PCM-SB-3, PCM-SB-4, PCM-SB-5, e respectivos resultados do ensaio de espalhamento.

Materiais (g)	PCM-SB-3			PCM-SB-4				PCM-SB-5		
	Cimento	300	300	300	300	300	300	300	500	500
Areia	1260	1260	1260	1260	1260	1260	1260	1400	1400	1400
Água adicional	144	147	150	156	168	165	162	0	25	3
Polímero	79,2	80,9	82,5	57,2	61,6	60,5	59,4	300	300	300
Teor de resíduo seco (polímero)	19,8	20,2	20,6	14,3	15,4	15,1	14,9	75	75	75
Dispersão Aquosa (polímero)	59,4	60,6	61,9	42,9	46,2	45,4	44,6	225	225	225
Água Total	203	208	212	199	214	210	207	225	250	228
Traço C:A (volume)	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:2	1:2	1:2
Traço C:A (peso)	1:4,2	1:4,2	1:4,2	1:4,2	1:4,2	1:4,2	1:4,2	1:2,8	1:2,8	1:2,8
Relação: W/C	0,68	0,69	0,71	0,66	0,71	0,70	0,69	0,45	0,50	0,46
Relação: P/W (volume)	1:2	1:2	1:2	1:3	1:3	1:3	1:2	-	-	-
Relação: P/W (peso)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	-	-	-
Relação: P/C (%)	7	7	7	5	5	5	5	15	15	15
D1 (mm)	195	199	204	197	208	203	205	187	231	202
D2 (mm)	197	197	205	195	206	202	200	183	232	204
D3 (mm)	195	196	205	196	206	203	195	186	231	205
D4 (mm)	196	200	204	196	207	203	199	186	234	203
D _{med} (mm)	196	198	204	196	207	203	200	185	232	204
Espalhamento (%)	96	98	104	96	107	103	100	85	132	104

Anexo C - Figuras

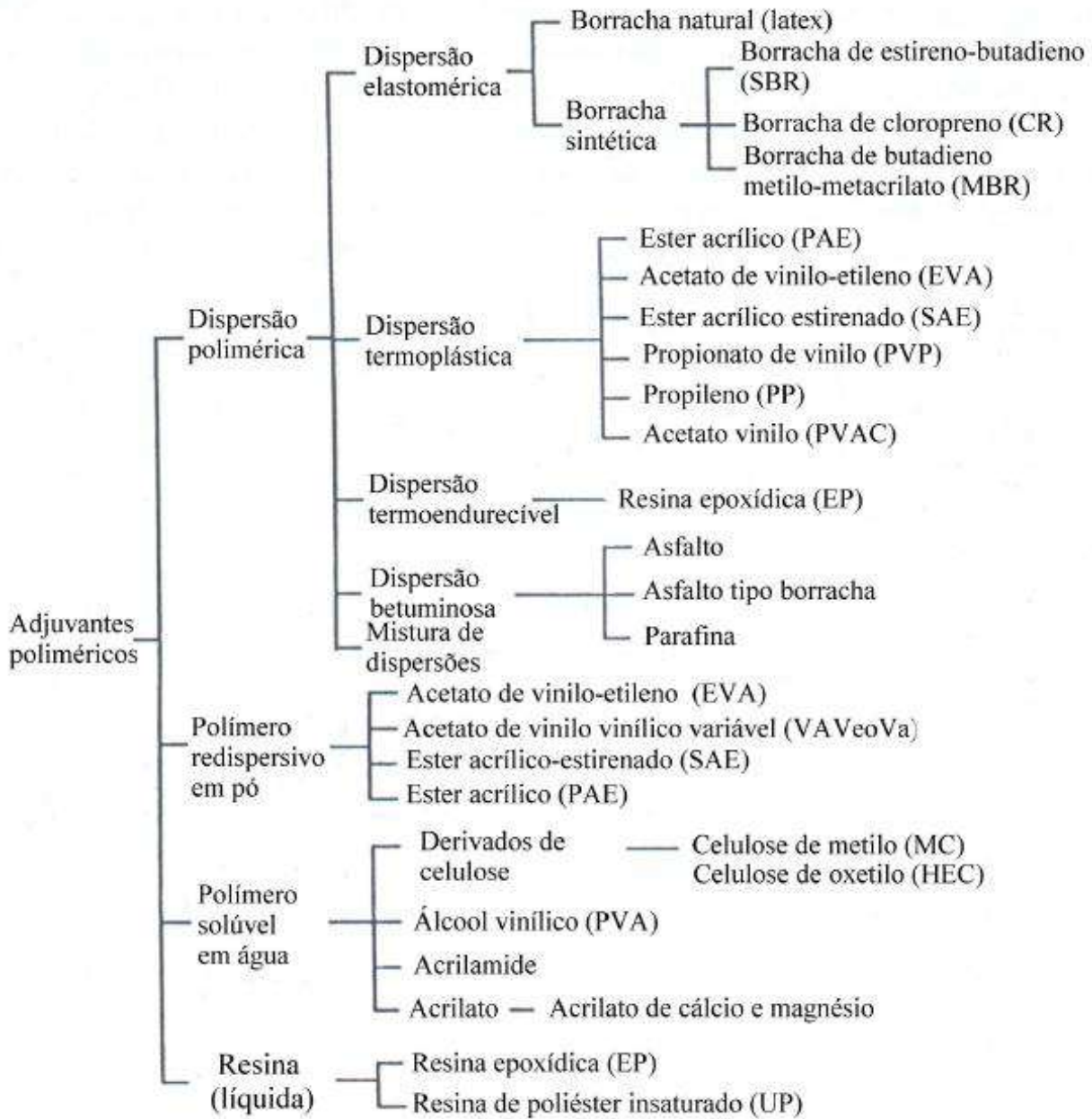


Figura C.1 - Aditivos poliméricos modificadores de materiais cimentícios (Ribeiro, 2004)

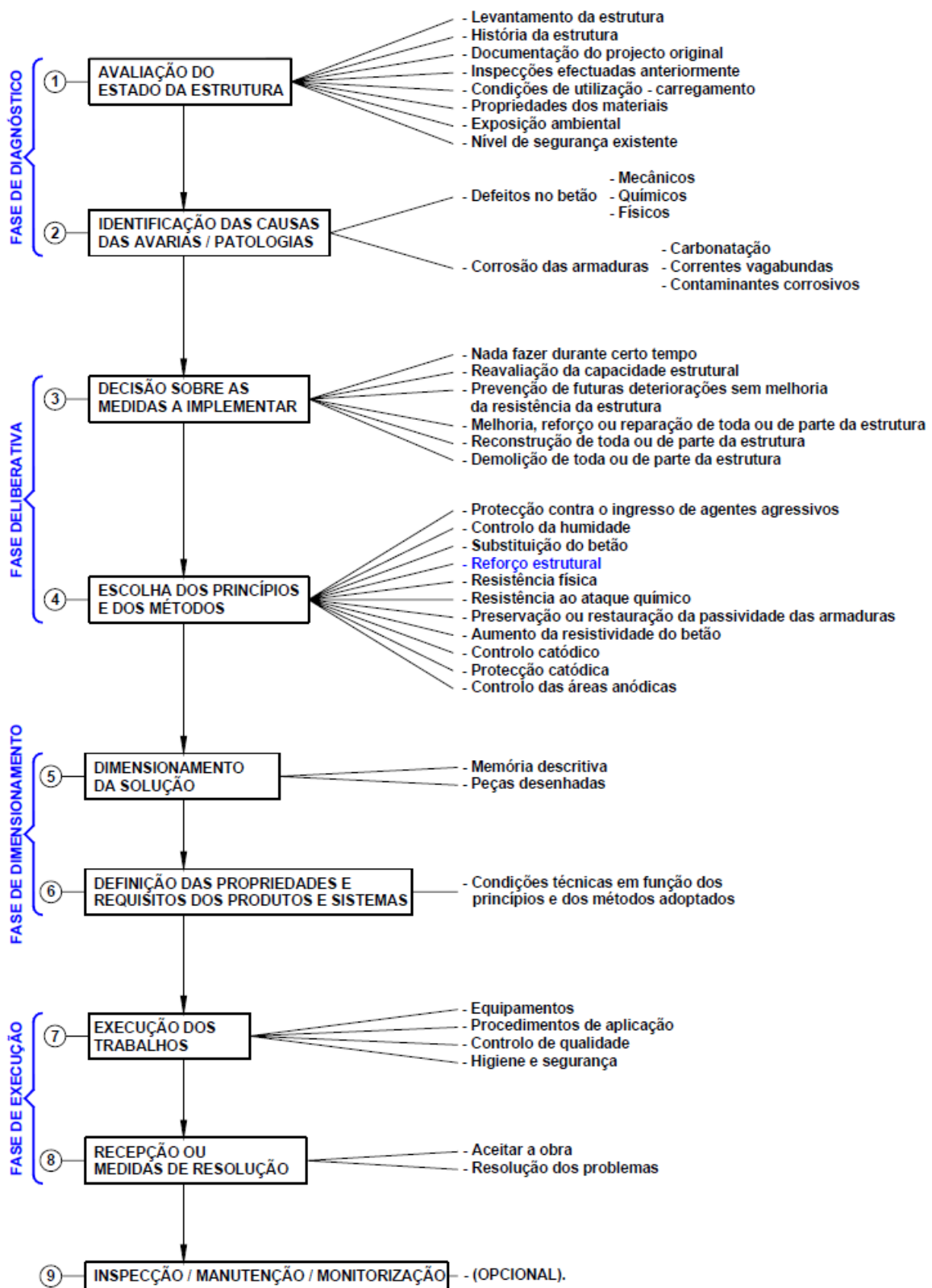


Figura C.2 - Etapas principais de um processo de reparação de uma estrutura de betão (NP EN 1504-9), Silva (2008).

Anexo D - Resultados auxiliares do ensaio de reometria

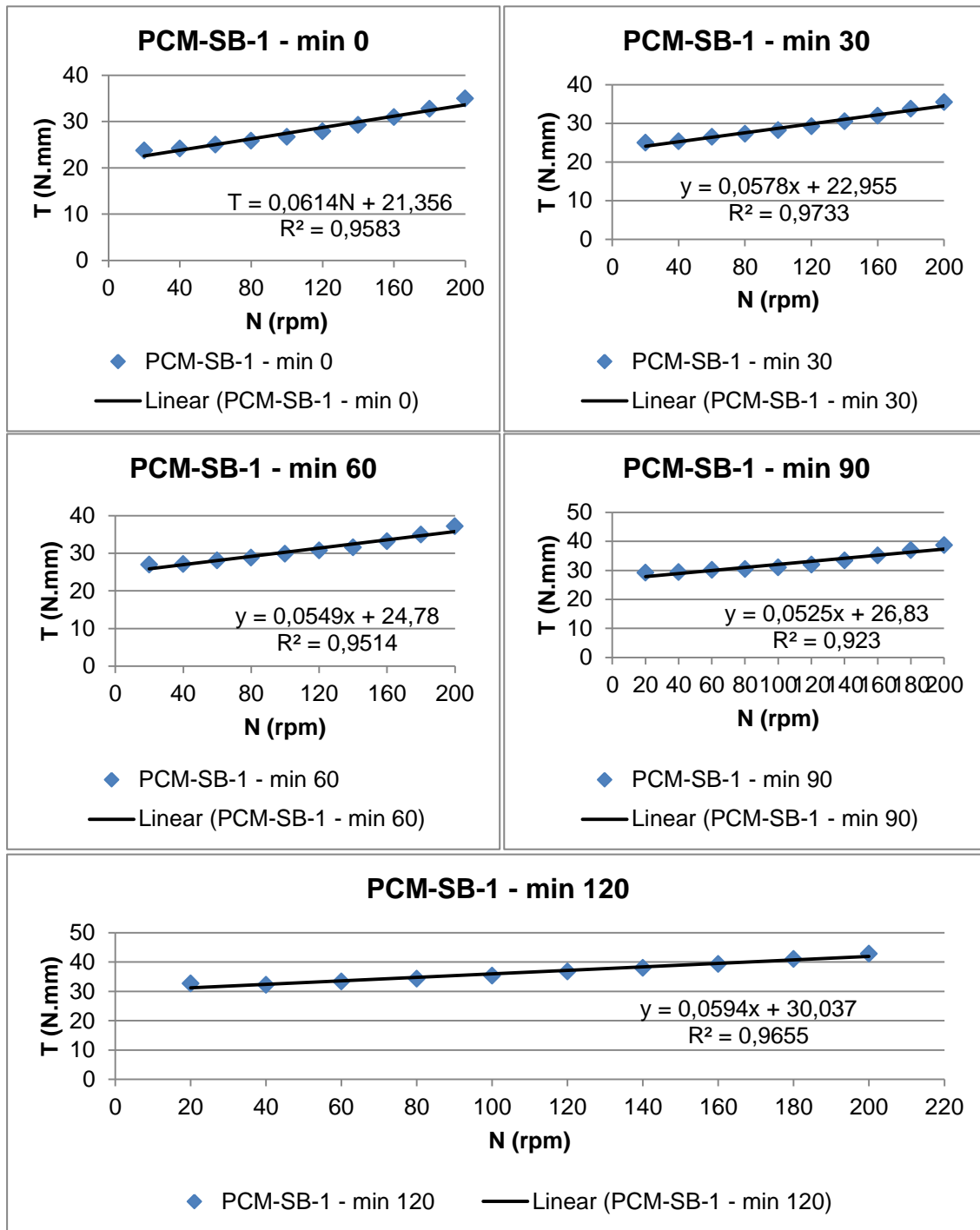


Figura D.1 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, da argamassa PCM-SB-1, para os diferentes tempos de estudo (T=0 min, T=30min, T=60min, T=90min e T=120 min).

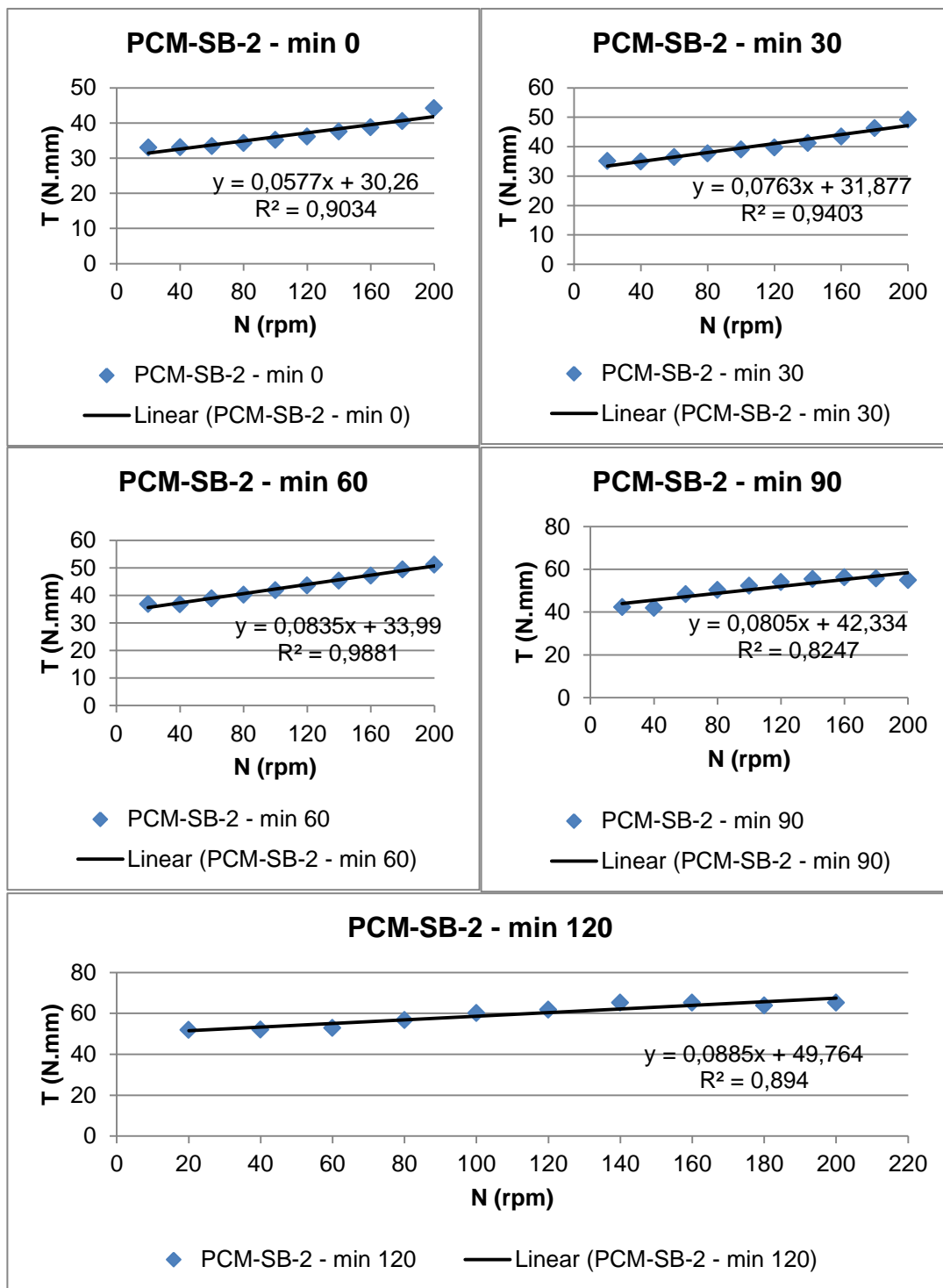


Figura D.2 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, da argamassa PCM-SB-2, para os diferentes tempos de estudo (T=0 min, T=30min, T=60min, T=90min e T=120 min).

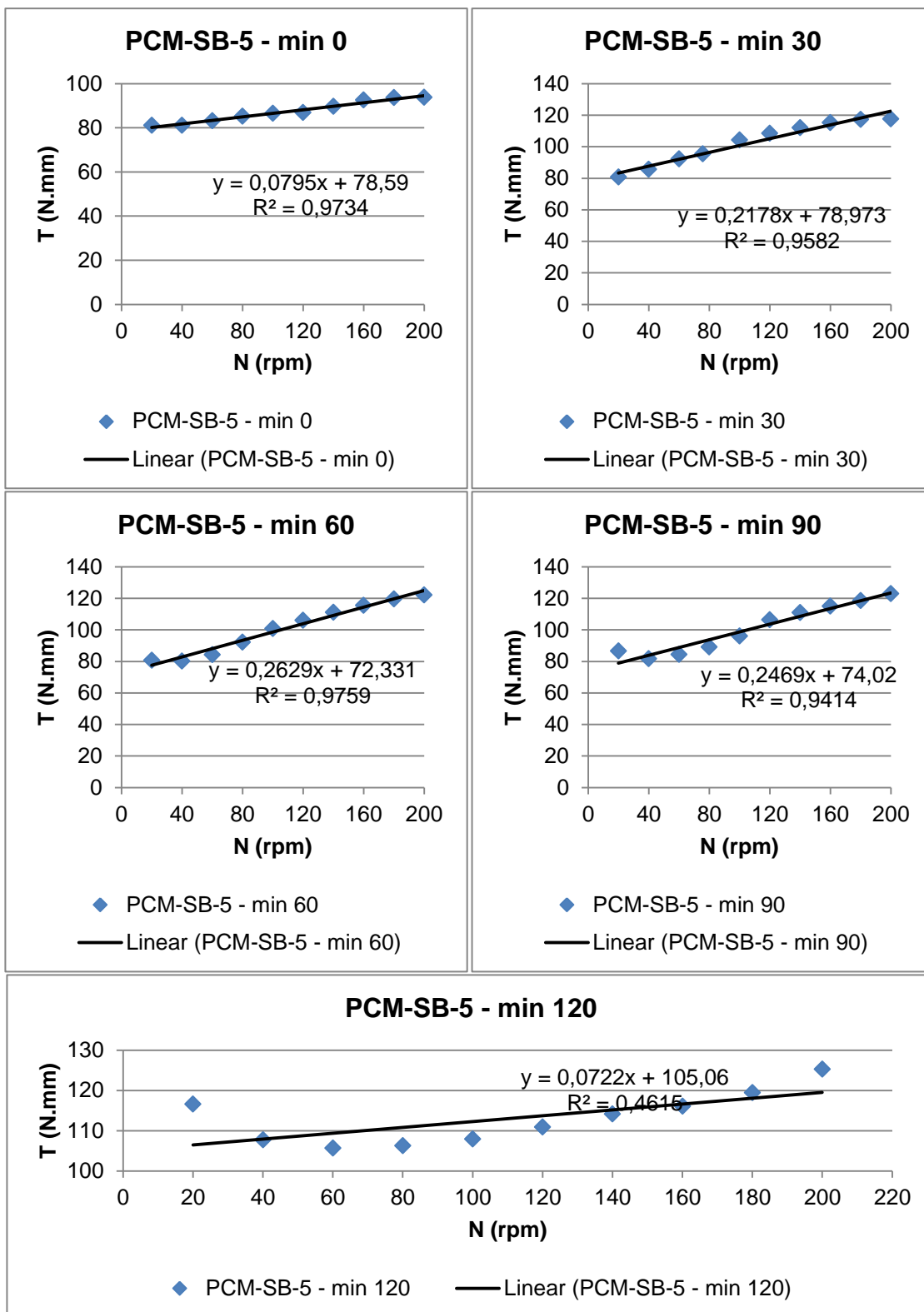


Figura D.3 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, da argamassa PCM-SB-5, para os diferentes tempos de estudo (T=0 min, T=30min, T=60min, T=90min e T=120 min).

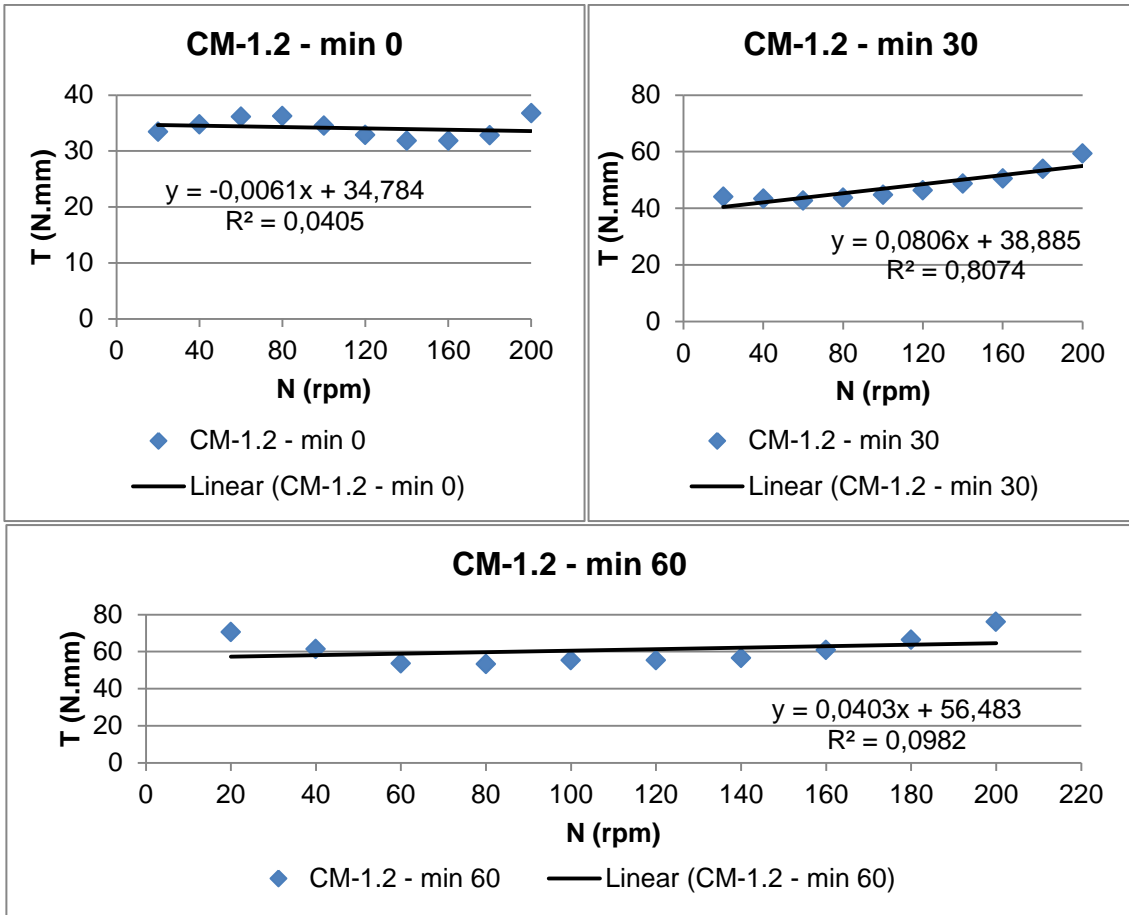


Gráfico D.4 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, da argamassa CM-1.2, para os diferentes tempos de estudo (T=0 min, T=30 min e T=60 min).

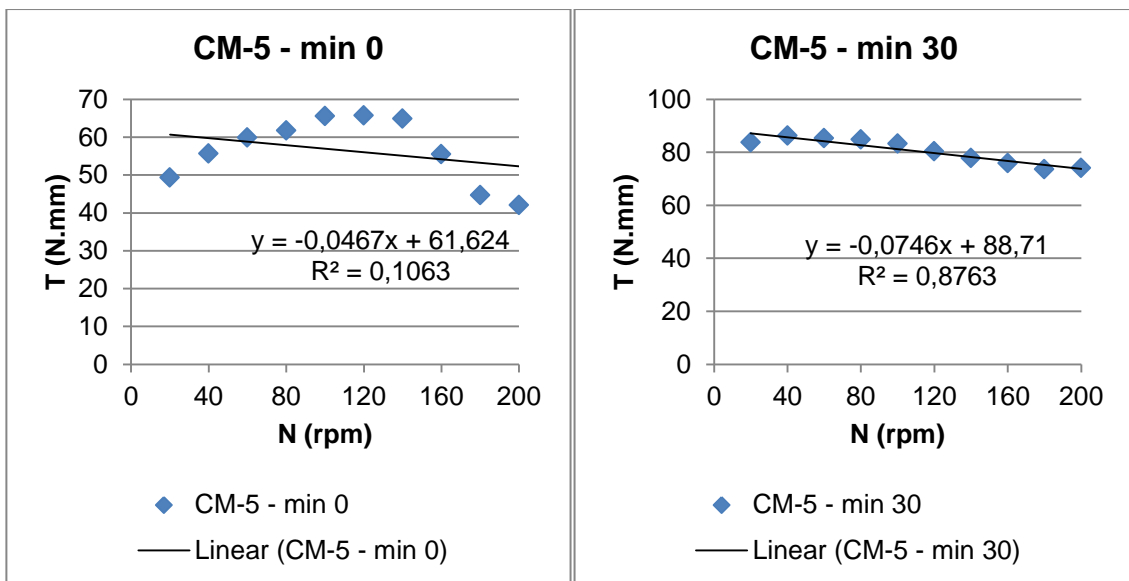


Gráfico D.5 - Curvas de fluxo, Torque vs velocidade de rotação, da argamassa CM-5, para os diferentes tempos de estudo (T=0 min e T=30 min).

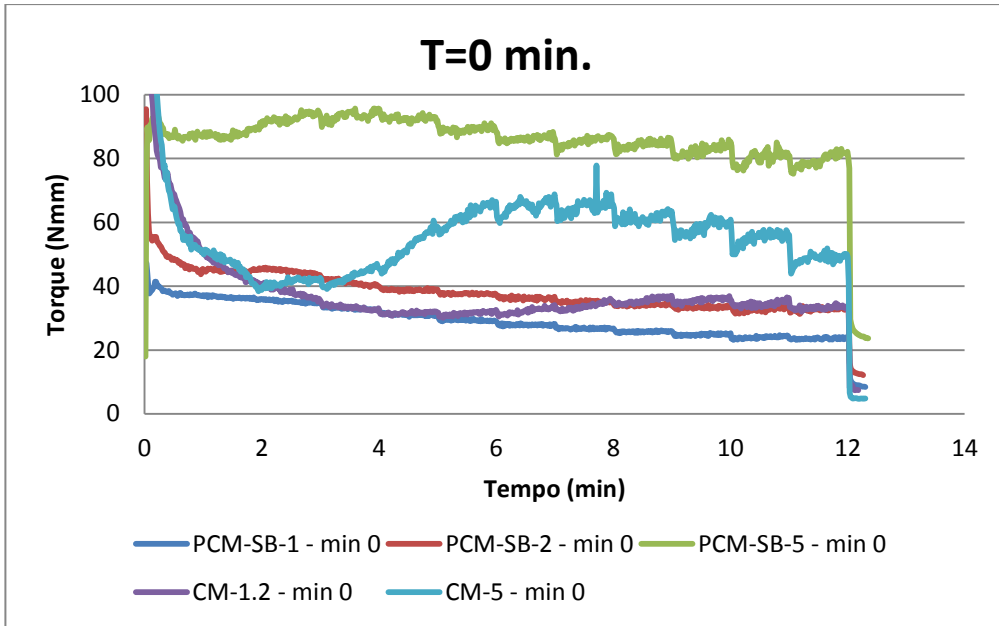


Gráfico D.1 - Variação do Torque com o tempo, logo após a primeira mistura (T=0 min), para as PCM-SB e CM.

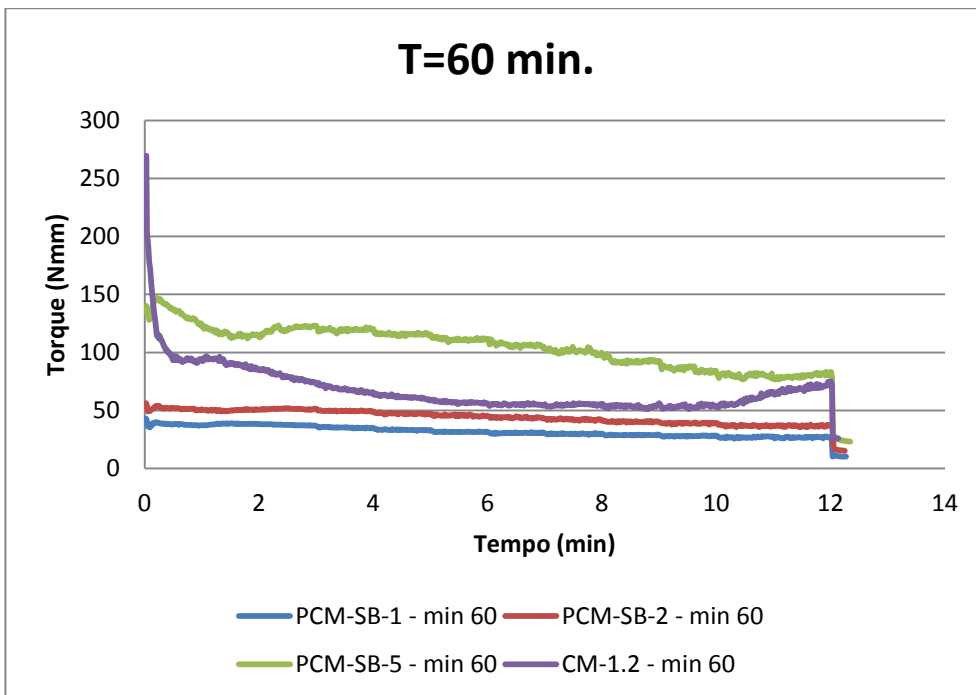


Gráfico D.2 - Variação do Torque com o tempo, 60 minutos após a primeira mistura, para as PCM-SB e CM-1.2.

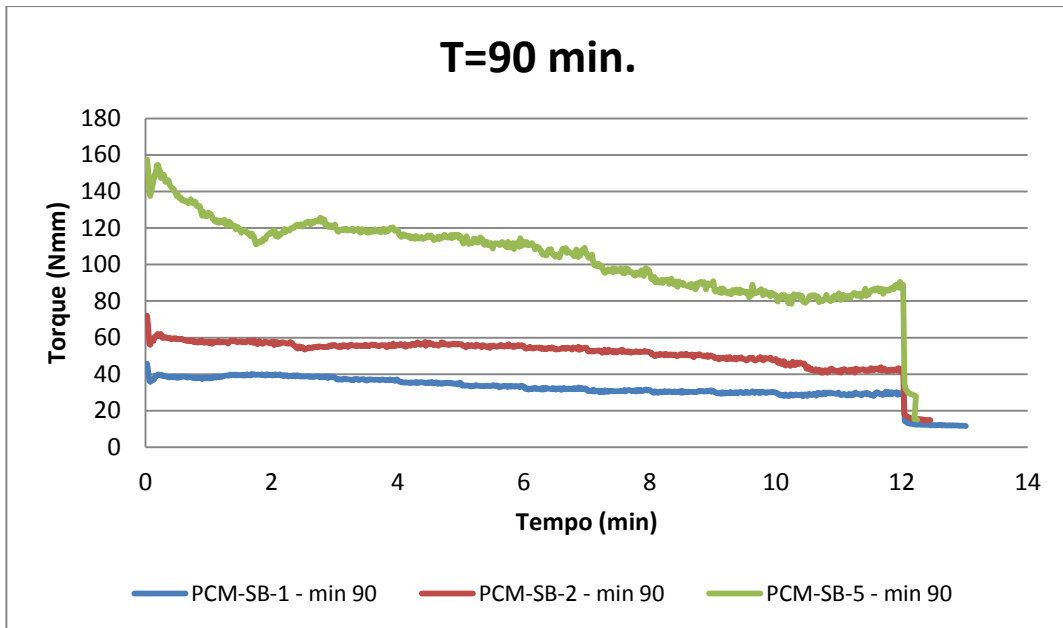


Gráfico D.3 - Variação do Torque com o tempo, 90 minutos após a primeira mistura, para as PCM-SB.

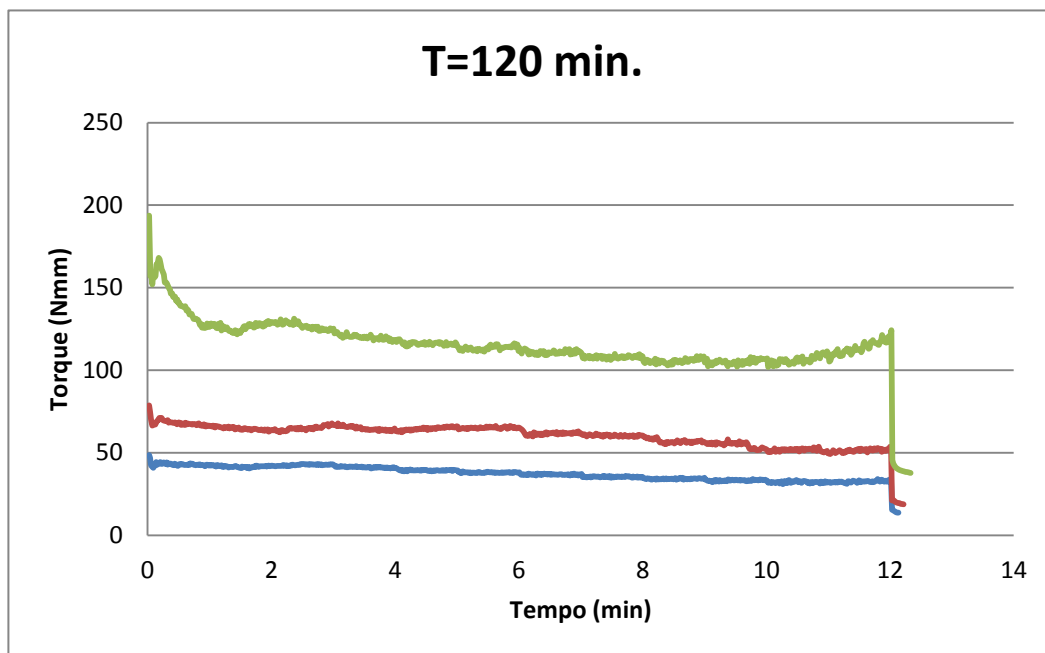


Gráfico D.4 - Variação do Torque com o tempo, 120 minutos após a primeira mistura, para as PCM-SB.