



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Engenharia

# **Desempenho de argamassas para reabilitação de revestimentos de fachadas desagregadas sob acções gelo/degelo**

**Ricardo Gonçalo Marques Lourenço**

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

Orientador: Prof. Doutor Luiz António Pereira de Oliveira

Covilhã, Outubro de 2010

# Agradecimentos

A toda a minha família que durante todos estes anos me deu todo o apoio e ajuda necessária.

Do fundo do coração fica um enorme obrigado e orgulho por tudo o que fizeram e deram por mim, sem dúvida sem eles nunca este sonho se podia tornar realidade. Aos melhores PAIS do mundo, um forte Abraço. Nunca mas nunca esquecerei tudo o que lutaram por mim...

Ao meu irmão por todo carinho, alegria que me deu todos o fins-de-semana. Ao melhor irmão do mundo que nunca se esquece de mim em nada e que sei que tem muito orgulho em mim, um enorme Abraço. (Tu um dia terás a escrever isto também) Força...

A minha maravilhosa e inesquecível namorada que esteve sempre ao meu lado para o que desse e viesse, que me ajudou sempre, deu força para atingir o meu sonho ... a esta pessoa especial, o maior beijo...

Ao meu orientador Professor Doutor Luiz António Pereira de Oliveira pela constante disponibilidade, incentivo, motivação, não esquecendo os conhecimentos e sugestões que me transmitiu.

A todos os meus amigos...

Ao Gil e ao André por todos os momentos bons vividos lá em casa...

# Resumo

O objectivo desta dissertação foi avaliar o comportamento das argamassas em climas frios, mais concretamente aos ciclos gelo/degelo.

Foram preparados quatro séries de argamassas. Cada série é constituída por quatro argamassas com diferentes adições (cal hidratada, pó de vidro, cinza de lama calcinada e metacaulino). Todas as argamassas ensaiadas apresentam a mesma proporção em volume de materiais, ou seja 1:1:5. A primeira série sem qualquer outra modificação além da quantidade de água necessária para a consistência desejada é referida como série de controlo. Numa segunda série foi executada, se adicionando um introdutor de ar (Sika AER 5) com uma dosagem igual a 0,1% do peso do cimento, que equivale em massa a uma quantidade de 0,5g.

A terceira série se constitui de argamassas, nas quais apenas se substituiu 25% do volume de agregados finos por grãos obtidos da reciclagem de poliestireno expandido (EPS). Na quarta série realizou-se a substituição dos mesmos 25% de agregados finos por resíduos de cortiça. (Cor).

Procedeu-se à determinação das propriedades físicas e mecânicas destas argamassas com o objectivo de avaliar a influência das mesmas nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. Para as argamassas no estado fresco realizaram-se ensaios; consistência, massa volúmica, retenção de água e reologia, para o estado endurecido; resistências mecânicas flexão e compressão, massa volúmica, absorção de água por capilaridade, módulo de elasticidade dinâmico e resistência aos ciclos gelo/degelo de modo a avaliar o comportamento de argamassas em climas frios.

Os resultados obtidos viabilizam a utilização dos resíduos estudados como componentes de argamassas de construção.

Em geral, tendo em vista todos os ensaios efectuados podemos concluir, que o conjunto de argamassas estudadas, apresentam boas condições para serem empregues em revestimentos de fachadas sujeitas a condições específicas de baixas temperaturas.

**Palavras-chave:** argamassas, gelo/degelo, cimento, areia, resistência mecânica, materiais, introdutor de ar.

# Abstract

The aim of this thesis is to evaluate the behavior of mortars in cold climates, more specifically in freezing-thawing cycles.

Thus, it was prepared four series of mortars. Each series is constituted by four mortars with different additions (hydrated lime, glass powder, gray mud calcined and metakaolin). All the mortars tested present the same proportion in material volume, which is 1:1:5. The first series with any other modification beyond the amount of water necessary to obtain the desired consistence is referred as control series. In the second series it was executed, if the air entrainment agent (Sika AER 5) was added with a dosage equal to 0.1% of the weight of cement, which equals in mass to a quantity of 0.5g.

The third series is constituted by mortars, where it was only replaced 25% of the volume of fine aggregates by grains obtained in the recycle of expanded polystyrene (EPS). In the fourth series it was done the replacement of the same 25% of fine aggregated by waste cork (Cor).

Next, it was preceded to the determination of the physical and mechanical properties of the mortars tested with the aim to evaluate the influence of that in the properties of mortars in the fresh and hardened state. To the fresh mortars it were conducted test of: consistence, density, water holding and rheology; and for the hardened state: mechanical strength of bending and compression, density, water absorption by capillarity, module of dynamic elasticity and resistance to the freezing-thawing cycles, so it could be evaluate the behavior of mortars in cold climates.

The obtained results enable the utilization of the studied residues as components of construction mortars.

In general, having in mind all the experiments that were done, we are able to conclude, that the group of studied mortars, present good conditions to be employed in front revetment that are subjected to specific cold temperatures.

**Key-words:** mortar, freezing-thawing, cement, sand, mecanical resistance, materials, air entrainment agent.

# Índice

Índice de figuras .....	viii
Índice de tabelas.....	x
Lista de abreviaturas.....	xi
Capítulo 1 <i>Introdução</i> .....	12
1.1 Enquadramento .....	13
1.2 Estrutura e organização do texto .....	15
Capítulo 2 <i>Argamassas de revestimento de fachadas</i> .....	16
2.1 Introdução.....	17
2.2 Requisitos gerais .....	17
2.3 Composição típica das argamassas de revestimento .....	21
2.3.1 Argamassas.....	21
2.3.2 Ligantes.....	22
2.3.2.1 Ligantes Hidráulicos .....	22
2.3.2.2 Cimento Portland .....	23
2.3.2.3 Ligantes Aéreos - Cal Aérea .....	23
2.3.3 Agregados .....	24
2.3.4 Água .....	25
2.3.5 Adjuvantes .....	25
2.3.6 Adições.....	26
2.3.7 Traço .....	27
2.3.8 Exigências normativas para argamassas de revestimento .....	27
2.3.8.1 Densidade da massa no estado endurecido.....	27
2.3.8.2 Módulo de elasticidade.....	28
2.3.8.3 Resistência à tracção.....	28
2.3.8.4 Retenção de água .....	29
2.3.8.5 Absorção de água por Capilaridade .....	29
2.3.9 Requisitos: EN 998-1.....	30
Capítulo 3 <i>Comportamento de argamassas em climas frios</i> .....	31
3 Comportamento de argamassas em climas frios .....	32

3.1	Processo de congelação .....	32
3.1.1	Temperaturas / Volumes da água .....	32
3.1.2	Congelamento da água .....	33
3.1.3	Tensão provocada pelo gelo .....	34
3.2	Ciclos gelo/degelo .....	35
3.2.1	Mecânica dos ciclos gelo/degelo.....	35
3.2.2	Magnitude da tensão causadora de danos.....	36
3.2.3	Tipos de danos .....	37
3.3	Melhoramento do comportamento de argamassas aos ciclos gelo/degelo .....	37
3.3.1	Introdutor de ar.....	37
Capitulo 4 <i>Desenvolvimento experimental</i> .....		39
4	Introdução .....	40
4.1	Materiais .....	41
4.1.1	Areia .....	41
4.1.2	Pó de vidro.....	42
4.1.3	Lamas residuais calcinadas .....	43
4.1.4	Cal hidratada.....	44
4.1.5	Metacaulino.....	44
4.1.6	Poliestireno expandido e cortiça .....	44
4.2	Misturas estudadas .....	47
4.3	Massa volúmica aparente dos materiais utilizados .....	48
4.4	Métodos .....	49
4.4.1	Argamassas no estado fresco .....	49
4.4.2	Argamassas no estado endurecido.....	51
4.4.2.1	Ciclo gelo/ degelo .....	52
4.5	Preparação dos provetes.....	53
4.6	Resultados e discussão .....	56
4.6.1	Propriedades das argamassas frescas .....	56
4.6.2	Propriedades das argamassas endurecidas.....	63
Conclusões .....		77
Bibliografia.....		79

Anexos ..... 84

# Índice de figuras

Figura 1- volume específico da água a diferentes temperaturas.....	32
Figura 2- Geometria congelamento (Chatterji, 1999).....	34
Figura 3- Durabilidade do betão em relação à temperatura mais baixa nos ciclos gelo degelo (Cai, et al., 1998).....	36
Figura 4- Curva granulométrica da areia. ....	41
Figura 5- Forma das partículas de vidro. ....	42
Figura 6- Granulometria das partículas de lama residuais calcinadas.....	43
Figura 7- Granulometria de partículas de cal hidratada.....	44
Figura 8- Máquina de redução de partículas do Eps e cortiça. ....	45
Figura 9- Curva granulométrica da cortiça.....	46
Figura 10- Curva granulométrica do poliestireno expandido.....	46
Figura 11- Análise granulométrica da % de passados Eps, cortiça e areia. ....	47
Figura 12- Mesa de espalhamento com o cone cilíndrico. ....	49
Figura 13- Conjunto invertido sobre a superfície não absorvente, com um peso aproximado 2,5 kg, para o cálculo da retenção de água. ....	50
Figura 14- Detalhes do reômetro Viskomat NT. ....	50
Figura 15- Perfil de velocidade tipo “step”.....	51
Figura 16- Variação da temperatura com o tempo em um ciclo. ....	52
Figura 17- Preenchimento dos provetes prismáticos e sua compactação no compactador mecânico. ....	53
Figura 18- Provetes prismáticos dentro da estufa. ....	54
Figura 19- Provetes Prismáticos dentro do tabuleiro com água.....	54
Figura 20- Provetes prismáticos dentro de uma sala a uma temperatura ambiente de aproximadamente 20°C ± 2°C e humidade relativa de 65% ± 5%. ....	55
Figura 21- % de retenção de água dos diferentes tipos de argamassas. ....	57
Figura 22- Massa volúmica no estado fresco (kg/m <sup>3</sup> ) dos diferentes tipos de argamassas.....	57
Figura 23- Comparação dos vários tipos de argamassas com e sem incorporador de ar. ....	58
Figura 24- Comparação dos vários tipos de argamassas com incorporador de ar, Eps e cortiça. ....	58
Figura 25- Parâmetro g versus espalhamento.....	60
Figura 26- Curvas de escoamento torque x velocidade ( argamassas base comparação com argamassas com incorporador de ar) . ....	61
Figura 27- Curvas de escoamento torque x velocidade ( argamassas base comparação com argamassas com Eps). ....	62
Figura 28- Curvas de escoamento torque x velocidade ( argamassas base comparação com argamassas com cortiça). ....	62
Figura 29- Resistência à flexão das argamassas aos 28 dias.....	63

Figura 30- Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias.....	64
Figura 31- Massa volúmica no estado endurecido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) dos diferentes tipos de argamassas. .....	66
Figura 32- Coeficiente de capilaridade das argamassas aos 28 dias. ....	67
Figura 33- Linhas tendência de absorção capilar dos dezasseis tipos de argamassas em relação ao tempo. ....	68
Figura 34- Arca gelo/degelo. ....	69
Figura 35- Argamassas na arca gelo/degelo.....	69
Figura 36- Massa perdida ao fim de 30 ciclos gelo/degelo. ....	70
Figura 37- Comparação do Módulo de elasticidade dinâmico dos diferentes tipos de argamassas no fim 30 ciclos gelo/degelo.....	70
Figura 38- Comparação da velocidade dinâmica ao fim dos 30 ciclos gelo/degelo. ....	71
Figura 39- Exemplo de uma argamassa ao fim dos 30 ciclos gelo/degelo. ....	72

# Índice de tabelas

Tabela 1- Classificação MERUC - Densidade de massa no estado endurecido.....	27
Tabela 2- Classificação MERUC - Módulo de elasticidade dinâmico.....	28
Tabela 3- Classificação MERUC - Resistência à tracção. ....	28
Tabela 4- Classificação MERUC - Retenção de água. ....	29
Tabela 5- Classificação MERUC - Capilaridade.....	29
Tabela 6- Requisitos para argamassas no estado endurecido. ....	30
Tabela 7- Análise Elementar Óxidos %. ....	42
Tabela 8- Características da lama residual das Minas da Panasqueira. ....	43
Tabela 9- Composição das argamassas frescas em (massa). ....	48
Tabela 10- Massa volúmica aparente dos materiais. ....	49
Tabela 11- Resultados das misturas de argamassas no estado fresco. ....	56
Tabela 12- Equações do modelo reológico. ....	60
Tabela 13- Propriedades das argamassas endurecidas. ....	65
Tabela 14- Classificação MERUC.....	73
Tabela 15- Classificação de categorias para as propriedades no estado endurecido (resistência á compressão).....	75
Tabela 16- Classificação de categorias para as propriedades no estado endurecido (absorção de água por capilaridade). ....	76

# Lista de abreviaturas

ML - Argamassa com cal hidratada ou aérea

MG - Argamassa com pó de vidro

Mk - Argamassa com metacaulino

MA - Argamassa com lama residual calcinada da mina da Panasqueira

MLI - Argamassa com cal hidratada ou aérea e introdutor de ar

MGI - Argamassa com pó de vidro e introdutor de ar

MKI - Argamassa com metacaulino e introdutor de ar

MAI - Argamassa com lama residual calcinada da mina Panasqueira e introdutor de ar

ML-Eps - Argamassa com cal hidratada ou aérea e poliestireno expandido

MG-Eps - Argamassa com pó de vidro e poliestireno expandido

MK-Eps - Argamassa com metacaulino e poliestireno expandido

MA-Eps - Argamassa com lama residual calcinada da mina da Panasqueira e poliestireno expandido

ML-Cor - Argamassa com cal hidratada ou aérea e cortiça

MG-Cor - Argamassa com pó de vidro e cortiça

MK-Cor - Argamassa com metacaulino e cortiça

MA-Cor - Argamassa com lama residual calcinada da mina Panasqueira e cortiça

Eps - Poliestireno expandido

# Capítulo 1

*Introdução*

## 1.1 Enquadramento

Até ao aparecimento do cimento, as argamassas de revestimentos eram produzidas com cal, tanto aérea como hidráulica. Com o aparecimento do novo ligante, com maior resistência e maior facilidade de aplicação, o uso da cal tem caído em progressiva diminuição de uso, sendo nos nossos dias só aplicada em casos pontuais de reabilitação. Contudo, as argamassas de cimento são demasiado rígidas para funcionarem como argamassas de substituição. Por isso, tal como em outros países, procura-se incrementar o uso de cal (hidráulica e aérea) na formulação das argamassas de substituição. Estes materiais possibilitam a obtenção de argamassas deformáveis e não muito fortes, capazes de acompanhar as deformações do suporte.

As argamassas de cimento apresentam incompatibilidades químicas e mecânicas em relação aos suportes antigos, têm uma elevada rigidez, o seu processo de endurecimento dá origem à libertação de sais solúveis e apresentam ainda uma menor vida útil em relação às argamassas de cal. Foi então necessário um novo emprego da cal e uma nova pesquisa de modo a otimizar o comportamento de argamassas com este ligante.

As exigências funcionais de uma argamassa levam a uma tentativa de definição da melhor formulação tendo em conta variados aspectos desde os componentes até ao seu custo. Identificam-se quatro factores de variação relativamente ao comportamento de argamassas:

- ✓ Características dos componentes utilizados: tipo de ligante, granulometria da areia, uso de adições e adjuvantes;
- ✓ Traço e quantidade de água na amassadura;
- ✓ O processo de cura;
- ✓ Os procedimentos de aplicação e características do suporte.

O factor durabilidade é muito importante nas argamassas para construção. Uma argamassa tem maior durabilidade consoante resiste melhor à acção dos agentes de degradação que actuam sobre ela. Esses agentes podem ser os mais variados consoante as características da região e do clima onde é feita a construção. Climas áridos, soalheiros e frios são favoráveis a que existam, respectivamente, os agentes de degradação como o vento, o sol e os ciclos gelo/degelo.

A água, um dos principais agentes agressores para as argamassas, exponencia o efeito dos ciclos gelo/degelo em climas frios. Os ciclos gelo/degelo são um processo pelo qual a água no interior da argamassa cristaliza e liquidifica sucessivamente.

A durabilidade de uma argamassa aos ciclos gelo/degelo está dependente da sua capacidade para:

- ✓ Resistir à penetração de água;
- ✓ Perder água rapidamente para prevenir a saturação;
- ✓ Ter uma estrutura porosa que permita resistir à tensão provocada pelo aumento de volume da água quando passa ao estado sólido.

Deste modo, desenvolveu-se um estudo experimental de forma a avaliar o comportamento de argamassas à acção dos ciclos gelo/degelo. Esse estudo consistiu no desenvolvimento de argamassas mistas, nas quais se incorporam em substituição à cal hidratada, adições potencialmente pozolânicas com o intuito de se poder desenvolver resistências mecânicas sem o aumento da rigidez da argamassa fresca.

Considerando que a porosidade das argamassas tem um papel relevante no comportamento gelo/degelo das mesmas, neste estudo se incorporou à composição de algumas argamassas agregados leves obtidos através da reciclagem de resíduos urbanos. Trata-se do poliestireno expandido utilizado na protecção de equipamentos em embalagens e da cortiça obtida de rolhas de garrafas ou de outras origens.

As hipóteses que estão associadas a este objectivo são: (i) a variação do tipo de ligante gera resistências mecânicas de diferentes ordens de grandeza e tem implicações na resistência aos ciclos gelo/degelo; (ii) a variação da dimensão das partículas do agregado, a quantidade de água de amassadura e o uso de um introdutor de ar modificam a microestrutura do material endurecido o que gera diferenças no comportamento aos ciclos gelo/degelo.

O desenvolvimento do objectivo proposto dependeu da análise de quatro séries de argamassas. Cada série é constituída por quatro argamassas com diferentes adições (cal hidratada, pó de vidro, cinza de lama calcinada e metacaulino). Uma segunda série foi executada, adicionando-se um introdutor de ar (Sika AER 5) A terceira série se constitui de argamassas, nas quais apenas se substituiu 25% do volume de agregados finos por grãos obtidos da reciclagem de poliestireno expandido (EPS). Na quarta série realizou-se a substituição dos mesmos 25% de agregados finos por resíduos de cortiça. (Cor).

## 1.2 Estrutura e organização do texto

O texto da dissertação está organizado em quatro capítulos, cujo conteúdo será apresentado nos próximos parágrafos.

O capítulo 1 consiste na parte introdutória do trabalho. Inicialmente é realizado o enquadramento e a justificação do tema.

Por fim, é divulgada a forma como a informação está distribuída e a organização do texto.

No capítulo 2 é apresentada uma pesquisa bibliográfica e a sua análise de forma a adquirir um conhecimento geral sobre o tema. É iniciado com uma análise sobre os revestimentos de paredes, apontando as suas funções, constituição e requisitos de bom desempenho. Posteriormente, é realizada uma análise as argamassas, bem como as características e propriedades das argamassas de constituição semelhante às formuladas na fase experimental.

No capítulo 3 é abordado o comportamento de argamassas em climas frios, nomeadamente, a resistência aos ciclos gelo/degelo e todos os factores determinantes nesta propriedade.

No capítulo 4 aborda a descrição dos procedimentos de ensaio adoptados na caracterização dos componentes, no fabrico das argamassas e na caracterização das argamassas endurecidas. Descreve ainda a análise de resultados e discussão de todos os ensaios, fazendo análise relacional das características das argamassas com o comportamento aos ciclos gelo/degelo.

# Capítulo 2

*Argamassas de revestimento de fachadas*

## 2.1 Introdução

O revestimento de argamassa de fachada é uma das partes integrantes do edifício, que contribui para a obtenção do adequado desempenho do edifício como um todo.

No entanto, muitas vezes, esse revestimento é visto apenas como uma forma de esconder as imperfeições da base (estrutura e alvenaria), não sendo valorizadas suas importantes funções que são, genericamente, proteger, regularizar e dar acabamento aos elementos de vedação e também embelezar a parte exterior do edifício.

Como se toma pouca atenção à parte do revestimento, decisões importantes são tomadas nas obras de forma empírica, o que leva a ter resultados, quer a nível patológicos, a elevação de custos de produção, elevados desperdícios de materiais, mão-de-obra e tempo.

Assim, através do projecto do revestimento de argamassa de fachada, procura-se antecipar tomada de decisões, buscando-se melhores soluções relativas as suas características e à forma de produção que proporcionem melhores resultados.

## 2.2 Requisitos gerais

Os revestimentos de paredes são obtidos a partir de argamassas e genericamente apresentam a função de proteger o suporte, regularizar as alvenarias, impermeabilizar e atribuir o aspecto estético.

De forma a cumprir estas funções, os rebocos devem cumprir determinadas exigências funcionais. A variabilidade, é devida à diferença de materiais e técnicas de construção (Veiga, 2005).

Veiga (2005) estabelece os requisitos mais significativos para alcançar um revestimento com bom comportamento de modo a cumprir com as funções que lhe são exigidas:

- ✓ Aderência ao suporte;
- ✓ Resistência à fendilhação;
- ✓ Capacidade de impermeabilização em zona não fendilhada;
- ✓ Capacidade de promover a expulsão do vapor de água formado no interior e da água infiltrada, por evaporação;
- ✓ Aspecto estético;
- ✓ Durabilidade face às acções externas.

O primeiro requisito, aderência entre a argamassa e o suporte condiciona a reversibilidade, capacidade de impermeabilização, distribuição de tensões do revestimento e a durabilidade. Uma aderência relativamente baixa favorece a remoção do revestimento sem provocar o risco

de danificação do suporte, possibilitando a reversibilidade da solução. Ao invés, o valor da aderência não deve ser demasiado baixo de modo a não possibilitar o destacamento do revestimento, que por sua vez favorece a infiltração de água, afectando a capacidade de impermeabilização do revestimento. A aderência influencia ainda a distribuição das tensões geradas por movimentos diferenciais entre a argamassa e o suporte, afectando a resistência à fendilhação do revestimento (Veiga, 1997).

A longo prazo, a aderência surge em função da deformabilidade da argamassa, ou seja, da capacidade de adaptação aos movimentos diferenciais entre o revestimento e o suporte. Uma argamassa deformável tem a capacidade de acompanhar os movimentos do suporte, diminuindo a retracção no revestimento. Quando os módulos de elasticidade do suporte e do revestimento são muito distintos, podem ocorrer descolamentos do revestimento, condicionando a durabilidade da solução. Esta situação é agravada no caso de o módulo de elasticidade do revestimento ser muito superior ao do suporte, uma vez que o revestimento suportará as tensões de compressão mais fortes e, devido à sua espessura baixa, é mais susceptível a fenómenos de encurvadura que podem provocar descolamentos localizados ou generalizados (Veiga, 1997).

A resistência à fendilhação de um revestimento aparece em função da capacidade da argamassa em resistir às tensões de tracção nela induzidas pelo efeito da restrição da retracção e por outro lado, pela intensidade dessas tensões. Assim, quanto maior for a retracção e quanto mais elevada for a relação módulo de elasticidade/resistência à tracção, maior a tendência para ocorrer fendilhação do revestimento. A fendilhação é ainda influenciada pela aderência e pela retenção de água. Uma boa aderência possibilita uma distribuição de tensões mais eficiente. Por outro lado, um poder de retenção de água elevado reduz os riscos de dissecação prematura da argamassa, melhorando o comportamento à fendilhação (Veiga, 1997).

A capacidade de impermeabilização em zona não fendilhada corresponde à capacidade do reboco de não permitir a permanência de água no suporte durante muito tempo de modo a impedir a degradação do revestimento. Isto é conseguido através da conjugação de dois factores. Por um lado, o revestimento deve resistir à penetração da água proveniente do exterior e por outro, deve eliminar a água em excesso, assim que as condições atmosféricas sejam favoráveis. As argamassas são materiais de porosidade aberta (porosidade aberta é constituída pelo volume total de poros que comunicam entre si, formando uma rede continua de vazios Rato (2006), nas quais a água pode penetrar principalmente por permeabilidade ou capilaridade, em função da dimensão dos poros e dos capilares e da pressão da água (Veiga, 1997). A água que penetra na argamassa pode ter várias origens, das quais se destaca: água proveniente das chuvas; a água infiltrada através de fendas ou de zonas particulares, como vãos e remates; água que entra na execução das alvenarias e rebocos e não é necessária à hidratação do ligante; água transportada por ascensão capilar proveniente do terreno e por causas acidentais (Veiga, 1997).

À partida, a melhor combinação para obter uma boa capacidade de impermeabilização em zona não fendilhada é a utilização de uma argamassa com valores de coeficiente de capilaridade e permeabilidade à água baixos e uma elevada permeabilidade ao vapor de água. Normalmente, em argamassas tradicionais estas propriedades são interdependentes, havendo a tendência a que uma menor permeabilidade à água corresponda a uma menor permeabilidade ao vapor de água. A permeabilidade ao vapor de água é influenciada por vários factores, dos quais se salienta o traço, tipo de ligante e areia utilizada (Veiga, 1997).

O revestimento contribui para a atribuição e preservação do aspecto estético do edifício. Contudo, existem vários fenómenos/anomalias que condicionam o aspecto estético, nomeadamente:

- ✓ Fendilhação;
- ✓ Eflorescências;
- ✓ Criptoflorescências;
- ✓ Poluição atmosférica e humidade.

A fendilhação é muito usual, podendo ter várias origens, das quais se destacam: espessura inadequada do revestimento; deficiente dosagem de ligante; excessiva capacidade de absorção do suporte absorvendo a água de amassadura do revestimento levando à retracção; retracção do revestimento quando os módulos de elasticidade são muito dispares; os ciclos gelo/degelo que provocam um aumento de volume da água; evaporação da água de amassadura conduzida a fenómenos de retracção; ciclos de cristalização/dissolução de sais presentes no suporte, ou nos materiais de constituição, ou transportados pela água das chuvas; concentração de tensões junto a aberturas (Magalhães, 2002, Nero, 2007, Rodrigues, 2004).

O aparecimento de eflorescências e criptoflorescências que correspondem à formação de cristais de sais, no exterior e no interior do revestimento, respectivamente. O aparecimento destas anomalias pode ter várias causas. Frequentemente é devido à presença prolongada da humidade conjugada com um dos dois factores: a existência de sais solúveis nos materiais constituintes do reboco ou do suporte; ou a cristalização/dissolução de cal não carbonatada existente no suporte ou no revestimento (Magalhães, 2002).

A poluição atmosférica provoca a acumulação de sujidade na fachada que pode ser significativa em revestimentos muito lisos, nos quais não é favorecida a auto-lavagem. Ao chover vai haver escorrimento que pode provocar marcas nos locais de escorrimento da água (Veiga, 1997).

A presença prolongada da humidade, a falta de ventilação, a acumulação de sujidade nos revestimentos pode conduzir à presença de organismos e microrganismos que se depositam na superfície do revestimento e contribuem para a sua degradação (Magalhães, 2002).

Por fim a durabilidade face às acções externas, está relacionado com algumas anomalias que possam afectar o revestimento, como exemplo: a fendilhação; a penetração de água por capilaridade; as perdas de aderência; o esfarelamento provocado por dissecação prematura e o ataque de sais (Veiga, 1997). A durabilidade da argamassa está correlacionada com a sua estrutura porosa. A estrutura porosa condiciona a capacidade para transportar, reter e expulsar a água por evaporação e o comportamento aos sais, ao gelo e a respectiva resistência mecânica. Por outro lado, a durabilidade implica ainda resistência à colonização biológica, que por sua vez se relaciona com a composição (os adjuvantes podem tornar as argamassas mais susceptíveis a este tipo de degradação), mas também ao comportamento à água, uma vez que períodos longos de humedecimento aumentam a probabilidade de fixação de fungos (Veiga, et al., 2004) .

## 2.3 Composição típica das argamassas de revestimento

### 2.3.1 Argamassas

Uma argamassa é um material resultante de uma mistura de agregados (finos), um ou mais ligantes, água e, eventualmente, adjuvantes com a finalidade de melhorar as suas propriedades. As argamassas têm como objectivo cumprir as funções para as quais forem criadas, nomeadamente as mais comuns como o assentamento de alvenarias e o revestimento de elementos (paredes, colunas, fachadas, ...).

Existem vários tipos de classificação das argamassas, segundo a sua dosagem, consistência, produção e principalmente segundo a natureza do (s) ligante (s), pois são estes que maioritariamente vão influenciar o seu comportamento. Geralmente, as argamassas são divididas em três grupos:

- ✓ Argamassas de cal;
- ✓ Argamassas de cimento;
- ✓ Argamassas bastardas;

As argamassas de cal podem ainda ser subdivididas em dois grupos:

- ✓ Argamassas de cal aérea. São constituídas fundamentalmente por hidróxido de cálcio.
- ✓ Argamassas de cal hidráulica. São constituídas predominantemente por silicatos de cálcio, aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio.

A principal diferença entre a cal aérea e a cal hidráulica está nos compostos que, por sua vez, dão naturalmente origem a reacções distintas com a água e, por esta via, a propriedades físicas, químicas e mecânicas do material endurecido também distintas.

As principais características e propriedades das argamassas de cal aérea são: boa capacidade de deformação, baixa resistência mecânica, alta absorção capilar, alta permeabilidade ao vapor de água e baixa resistência aos ciclos gelo/degelo (Palomo).

Nas argamassas à base de cimento, recorrendo a uma explicação simplificada, na presença de água os silicatos e os aluminatos do cimento hidratam e formam uma pasta de cimento (chama-se pasta pois não tem agregados). As principais características de uma argamassa de cimento são: elevada resistência mecânica, baixa absorção capilar, baixa permeabilidade ao vapor de água e alta resistência aos ciclos gelo/degelo.

Nas argamassas bastardas os ligantes são uma mistura de um aéreo e um hidráulico. Geralmente têm características intermédias entre as argamassas de um tipo de ligante apenas, aproveitando as boas mas também as más características de cada um. As argamassas de cimento e cal aérea são as mais usadas e apresentam características intermédias entre as argamassas de cimento e as argamassas de cal aérea.

### 2.3.2 Ligantes

Ligante é um pó muito fino que ao ser misturado e amassado com água dá origem a uma pasta. Esta pasta endurece pela ocorrência da reacção química entre esse pó e água e/ou ar (Coutinho, 1988).

O ligante assume a função de aglutinador entre os vários constituintes, concedendo às argamassas coesão e resistência.

A classificação dos ligantes pode ser feita de diferentes maneiras, por vários autores. O autor Coutinho (Coutinho, 1997) divide-os em três categorias:

- ✓ Hidráulicos;
- ✓ Aéreos;
- ✓ Orgânicos.

Os ligantes aéreos só endurecem ao ar, enquanto os ligantes hidráulicos adquirem elevadas resistências debaixo de água.

#### 2.3.2.1 Ligantes Hidráulicos

Estas cais hidráulicas são fabricadas a partir de rochas calcárias argilosas a uma temperatura de cozedura de cerca de 1200-1500 °C.

Este processo de cozedura é definido pelas seguintes fases:

- ✓ 500-700°C - desidratação da argila;
- ✓ 850-900°C - decomposição do calcário;
- ✓ 1200-1500°C - reacção da sílica e da alumina da argila com o óxido de cálcio, originando silicatos e aluminatos de cálcio.

É retirado dos fornos obtendo-se pedaços de várias dimensões constituídos pela mistura de silicatos e aluminatos de cálcio, cal livre e ainda um pó inerte formado pela pulverização durante o arrefecimento que é o silicato bicálcico (Coutinho, 2006). A cal retirada do forno é

extinta de modo a eliminar a cal viva e provocar a pulverização de toda a cal hidráulica. Depois de extinta retiram-se os grãos incozidos. Os grãos cozidos são moídos e juntos ao restante pó, mistura que assume então a designação de cal hidráulica (Coutinho, 1997) (Lanas, 2004).

### **2.3.2.2 Cimento Portland**

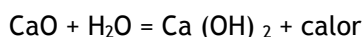
O cimento é o ligante mais utilizado actualmente nas formulações de argamassas. “Trata-se de um ligante hidráulico por ganhar presa e endurecer por via de reacção de hidratação, em presença de água”. Cimento Portland é obtido a partir de uma mistura de calcário (carbonato de cálcio) e margas, contendo por isso argila (silicatos de alumínio e ferro) e eventualmente pode conter algumas substâncias ricas em sílica, alumina ou ferro. A mistura reduzida a pó muito fino e são submetidos a temperaturas elevadas na ordem dos 1450 °C. As matérias reagem entre si, no que são ajudadas pela fase líquida obtida pela fusão de cerca de 20% da matéria-prima originando novos compostos (clinkerização). Na consequência destes fenómenos químicos e físicos, os produtos da reacção, ao arrefecerem, aglomeram-se em pedaços com dimensões variáveis chamados clinquer. O clinquer é composto por quatro minerais artificiais, sendo eles: silicatos bicálcicos e tricálcicos, o aluminato tricálcico e o ferro-aluminato tetracálcico. O clinquer é moído e adicionado ao gesso (assume o papel de retardador de presa) e adições (normalmente calcário moído) (Rodrigues, 2004, Coutinho, 1997, Coutinho, 2006).

### **2.3.2.3 Ligantes Aéreos - Cal Aérea**

A cal aérea é o ligante que resulta da cozedura de pedra calcária quase pura, ou seja, de um calcário com uma percentagem em carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) igual ou superior a 95%, os restantes 5 % da composição do ligante é argila e outras impurezas. A cal aérea apresenta coloração branca, grande finura e confere às argamassas elevada plasticidade. De seguida vão ser mostradas as várias etapas para obter uma cal aérea (Lawrence, 2007, Van Balen, 2004). A cozedura do calcário a cerca de 900 °C dá origem à cal viva que é sobretudo óxido de cálcio (CaO):



A cal viva, em presença de água, transforma-se em cal “apagada” que é sobretudo hidróxido de cálcio (Ca (OH)<sub>2</sub>), dando-se um grande aumento de volume:



Obtém-se, assim, cal aérea utilizada em construção, em pó ou em pasta, dependendo do seu tipo de extinção.

Depois de aplicada a argamassa de cal aérea dá-se o processo de carbonatação:



“O processo de carbonatação dá-se com a reacção entre o hidróxido de cálcio e o dióxido de carbono. As argamassas de cal aérea endurecem exclusivamente em contacto com o ar, pois apenas deste modo o dióxido de carbono entra em contacto com o hidróxido de cálcio, permitindo a reconversão em carbonato de cálcio. A carbonatação é um processo muito lento, sendo necessário, nalguns casos, muitos anos para ficar completa” (Cultrone, 2005, Lanas, et al., 2003, Botas, 2009).

### 2.3.3 Agregados

Os agregados são utilizados com o intuito de diminuir a retracção, aumentar a porosidade melhorando a permeabilidade ao vapor de água, diminuir a quantidade de ligante, melhorar a resistência ao gelo e aumentar a resistência à compressão. Os agregados influenciam a compacidade da argamassa pela sua granulometria e forma das partículas, que por sua vez influenciam o volume de vazios (Cavaco, 2005).

Uma argamassa é constituída por vários materiais, sendo os agregados a representar a componente maioritária. O agregado mais usado no fabrico de argamassas é a areia.

As argamassas são influenciadas no seu comportamento pela natureza e a forma das areias. Quanto á natureza, as areias podem ter;

- ✓ Origem natural;
- ✓ Serem fabricadas por britagem do material extraído das pedreiras.

As de origem natural são geralmente de natureza siliciosa (quartzosas e graníticas), provenientes de rio ou de areeiro. As segundas, apresentam normalmente natureza calcária. Quanto á forma das partículas condiciona a aderência da pasta de ligante ao agregado, a trabalhabilidade da argamassa no estado fresco, a compacidade do material endurecido e o valor da superfície específica (Paiva, et al., 2007). As partículas ao serem mais angulosas, menores serão a percentagem de vazios, conduzindo a uma menor quantidade de água de amassadura e uma menor quantidade de ligante, aumentando a compacidade da argamassa e a resistência mecânica (Lanas, et al.).

### 2.3.4 Água

Na produção de argamassas quer com ligantes aéreos e hidráulicos, a água é indispensável para criar plasticidade no estado fresco e garantir capacidade aglutinante, assim como na hidratação dos ligantes hidráulicos (silicatos e aluminatos) (Coutinho, 2006).

A água utilizada na produção de uma argamassa é um factor muito importante para a sua qualidade, pois é decisiva na sua aderência ao suporte, no processo de endurecimento e na sua consistência no estado fresco. Logo pode vir também a ser um factor condicionante das propriedades da sua estrutura interna, alterando as suas características de comportamento da argamassa.

A água de amassadura deve ser controlada, de forma a obter uma argamassa mais consistente, levando a um revestimento mais compacto, com menor tendência para fissurar, menor permeabilidade à água, mas com maior capacidade resistente, embora seja menos trabalhável (Veiga, 2006).

Seabra et al (2006) menciona a extrema importância do rácio água/ligante no comportamento do estado fresco das argamassas; Poppe, et al., (2004) mencionam, inclusivamente que, tradicionalmente, o rácio água/ligante é o parâmetro mais importante nas futuras características da argamassa. Yang et al (2006) atribui à água a principal responsabilidade nos processos de fissuras por retracção e pelos mecanismos do gelo/degelo.

### 2.3.5 Adjuvantes

Adjuvante é toda a substância utilizada em percentagem inferior a 5% da massa de ligante adicionada durante a amassadura aos demais componentes das argamassas com o fim de modificar e melhorar certas propriedades, quer no estado fresco, quer no estado endurecido (Coutinho, 1997).

Os adjuvantes mais utilizados nas argamassas são: introdutores de ar, aceleradores de presa e plastificantes.

### 2.3.6 Adições

A norma Portuguesa ENV206, (1993) estabelece as características das adições para utilização em argamassas e betões. Nessa norma são definidos dois tipos de adições, a saber:

- ✓ Adições do tipo I - adições quase inertes;
- ✓ Adições do tipo II - adições pozolânicas ou potencialmente hidráulicas.

“As adições do tipo I são materiais quimicamente inertes, que quando na forma de pó são atacados pela cal e pelos álcalis libertados durante a hidratação do cimento Portland favorecendo o aparecimento, a longo prazo, de efeitos benéficos a resistência mecânica, permeabilidade e resistência química. Exemplos disto são: quartzo, dolomite rochas calcárias e vários produtos rochosos siliciosos, além de granito (Nepomuceno, 2005).”

“Adições pozolânicas ou potencialmente hidráulicas são materiais siliciosos ou siliciosos e aluminosos que, por si só, possuem pouco ou nenhum poder cimentício, mas que na forma de pó e na presença de humidade, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio em temperaturas normais, formando compostos com propriedades cimentícias semelhantes aos originados na hidratação dos constituintes do clínquer Portland. São adições deste tipo as cinzas volantes, cinzas vulcânicas ácidas no estado natural ou calcinadas, alguns xistos e argilas calcinadas e alguns subprodutos industriais, como a sílica de fumo e as escórias granuladas de alto-forno (ENV206, 1993). As adições pozolânicas consistem essencialmente em  $S_iO_2$  reactivo e  $Al_2O_3$ , com teor mínimo  $S_iO_2$  reactivo de 25% em massa, definido de acordo com a NP 2064 (2064, 1991); o restante contém  $Fe_2O_3$  e outros óxidos (Nepomuceno, 2005)”

### 2.3.7 Traço

Tão importante como a influência de cada um dos constituintes da argamassa é a relação com que estes são doseados. A relação entre a quantidade de ligante e a de agregado designa-se por traço e é expressa geralmente como a razão entre a quantidade de ligante e a quantidade de agregado. Esta razão pode ser expressa em relação ao volume ou à massa.

O traço tem influência maioritária nas características de resistência mecânica e porosidade das argamassas.

A resistência mecânica da argamassa aumenta com o aumento do traço para qualquer um dos três ligantes. Nas argamassas de cal aérea e hidráulica verifica-se a tendência contrária, quanto maior a quantidade de cal, maior será a porosidade da argamassa (Lanas, et al., 2003, Lanas, 2004, Pereira, 2008, Botas, 2009).

### 2.3.8 Exigências normativas para argamassas de revestimento

Para a classificação MERUC das argamassas, foram realizados os ensaios de densidade de massa no estado endurecido, módulo de elasticidade, resistência à tracção na flexão, retenção de água e absorção de água por capilaridade.

#### 2.3.8.1 Densidade da massa no estado endurecido

Na Tabela 1 estão apresentadas as faixas da classificação MERUC<sup>1</sup>.

Tabela 1- Classificação MERUC - Densidade de massa no estado endurecido.

Classe	Classe Densidade de massa no estado endurecido - M (kg/m <sup>3</sup> )
M1	< 1200
M2	1000 a 1400
M3	1200 a 1600
M4	1400 a 1800
M5	1600 a 2000
M6	> 1800

<sup>1</sup> CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation – Classification MERUC. Livraison 341, cahier 2669-3, juillet-août 1993. Paris.

### 2.3.8.2 Módulo de elasticidade

A classificação MERUC<sup>2</sup> define faixas de 1 a 6, cujos valores e classificação das amostras estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Classificação MERUC - Módulo de elasticidade dinâmico.

Classe	Classe Módulo de elasticidade - E (MPa)
E1	< 5000
E2	3500 a 7000
E3	5000 a 10000
E4	7500 a 14000
E5	12000 a 20000
E6	> 16000

### 2.3.8.3 Resistência à tracção

A classificação MERUC<sup>2</sup> define faixa de 1 a 6, cujos valores e classificação das amostras são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Classificação MERUC - Resistência à tracção.

Classe	Classe Resistência à tracção - R (MPa)
R1	< 1,5
R2	1 a 2
R3	1,5 a 2,7
R4	2 a 3,5
R5	2,7 a 4,5
R6	> 3,5

<sup>2</sup> CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation – Classification MERUC. Livraison 341, cahier 2669-3, juillet-août 1993. Paris.

### 2.3.8.4 Retenção de água

A classificação MERUC<sup>3</sup> define 6 faixas, cujos valores e classificação das amostras são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Classificação MERUC - Retenção de água.

Classe	Classe Retenção de água - U (%)
U1	< 78
U2	72 a 85
U3	80 a 90
U4	86 a 94
U5	91 a 97
U6	95 a 100

### 2.3.8.5 Absorção de água por Capilaridade

A classificação MERUC<sup>3</sup> define 6 faixas, cujos valores e classificação das amostras estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Classificação MERUC - Capilaridade.

Classe	Classe Coeficiente de capilaridade - C (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )
C1	< 1,5
C2	1 a 2,5
C3	2 a 4
C4	3 a 7
C5	5 a 12
C6	> 10

<sup>3</sup> CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation – Classification MERUC. Livraison 341, cahier 2669-3, juillet-août 1993. Paris.

### 2.3.9 Requisitos: EN 998-1

Em 2003 foi publicada a EN 998-1, (2003), “Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar”. A nível europeu, as especificações para argamassas para reboco, no que respeita a rebocos para aplicação em paramentos interiores e exteriores, são abordadas na referida norma, nomeadamente no que se refere às propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido.

Na Tabela 6 são apresentados os requisitos exigidos para as argamassas de revestimento no estado endurecido, em função das suas propriedades e/ou uso.

**Tabela 6- Requisitos para argamassas no estado endurecido.**

	<b>Categorias</b>	<b>Valores</b>
<b>Intervalo de resistência à compressão a 28 dias</b>	CS I	0,4 a 2,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS II	1,5 a 5 N/mm <sup>2</sup>
	CS III	3,5 a 7,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS IV	≥6 N/mm <sup>2</sup>
<b>Absorção de água por capilaridade</b>	W 0	Não especificado
	W 1	$c \leq 0,40 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
	W 2	$c \leq 0,20 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
<b>Condutibilidade térmica</b>	T 1	$\leq 0,1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
	T 2	$\leq 0,2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

# Capítulo 3

*Comportamento de argamassas em climas frios*

### 3 Comportamento de argamassas em climas frios

Um dos factores que afecta a durabilidade das argamassas é as temperaturas baixas sentidas em climas frios.

“A água, um dos principais agentes agressores para este tipo de material, exponencia o seu efeito neste tipo de climas. A principal causa de degradação, nestas condições, são os ciclos gelo/degelo, processo pelo qual a água no interior da argamassa cristaliza e liquidifica sucessivamente” (Botas, 2009).

A durabilidade de uma argamassa aos ciclos gelo/degelo está dependente da sua capacidade para:

- ✓ Resistir à penetração de água;
- ✓ Perder água rapidamente para prevenir a saturação;
- ✓ Ter uma estrutura porosa que permita resistir à tensão provocada pelo aumento de volume da água quando passa ao estado sólido.

#### 3.1 Processo de congelação

##### 3.1.1 Temperaturas / Volumes da água

No ambiente exterior, segundo Chatterji (1999), a temperatura da água no interior da argamassa raramente desce abaixo de  $-10^{\circ}\text{C}$ . Na Figura 1 é apresentado o volume específico da água a diferentes temperaturas.

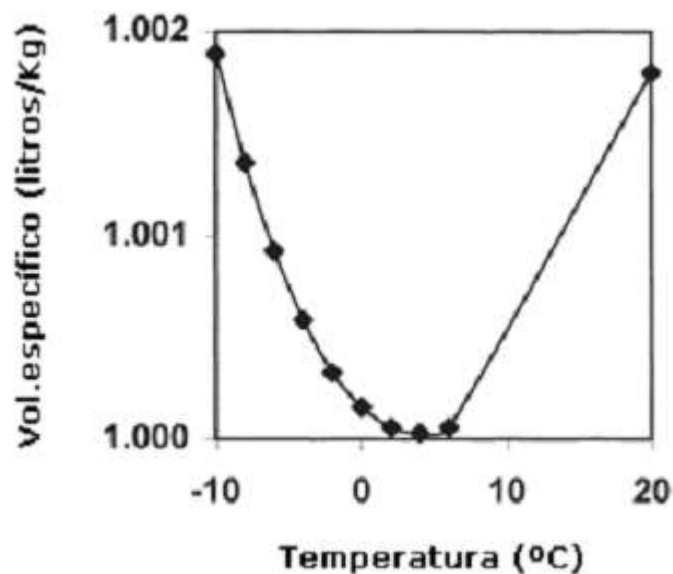


Figura 1- volume específico da água a diferentes temperaturas.

“A figura mostra que a diminuição da temperatura até sensivelmente os 4°C faz diminuir o volume específico da água; é visível também que a partir dos 4°C o volume específico aumenta com a diminuição da temperatura. Este aumento de volume significa que a estrutura porosa, saturada com água a 4 °C, vai estar supersaturada de água à temperatura de congelação e inferior.

A supersaturação<sup>4</sup> provoca pressão no corpo da estrutura porosa, e o resultado desta acção é a saída da água para o exterior ou para poros contíguos não saturados (Lawrence, 2007, Hansen, 2008, Botas, 2009) ”. Importa salientar que, a argamassa pode atingir a saturação antes da temperatura da água ser de 4 °C.

Na análise da figura 1 é curioso o facto das densidades da água a temperaturas tão diferentes como -10 °C e 20 °C serem iguais.

### **3.1.2 Congelamento da água**

Nos revestimentos de fachadas, as argamassas acumulam água no seu interior, esta quando sujeita a temperaturas baixas, ou mesmo negativas leva ao congelamento da sua estrutura porosa. O seu congelamento dá-se da superfície da camada em direcção ao interior, uma vez que é na superfície que se faz sentir as primeiras temperaturas negativas.

A velocidade de redução da temperatura no interior de estruturas correntes de betão armado foi estimada entre 1,7 e 5 °C/h, o que, segundo a maioria dos autores é uma velocidade baixa. No caso das argamassas a taxa é superior, uma vez que as argamassas tem uma porosidade maior que um betão corrente. O que vai acontecer a água no interior da argamassa, é que ao sentir temperaturas negativas ela vai congelar e forma-se uma massa de fibras de cristais de gelo em volta das paredes do poro, o que leva a uma subida da temperatura para próximo dos 0°C e seu consequente aumento de volume total.

As fibras de cristais estão separadas umas das outras por finas camadas de água, esta massa solidifica, aumentando de volume, sendo que apresenta fraca resistência. Este processo dá-se até a água no poro estar completamente congelada. A Figura 2 mostra uma forma simplificada do aumento de volume do poro devido à congelação da camada exterior da água (Hansen, 2008).

---

<sup>4</sup> O termo supersaturação é usado na literatura internacional. Um poro supersaturado é aquele em que o volume de água aquando saturado vai aumentar para valores superiores ao volume do poro.

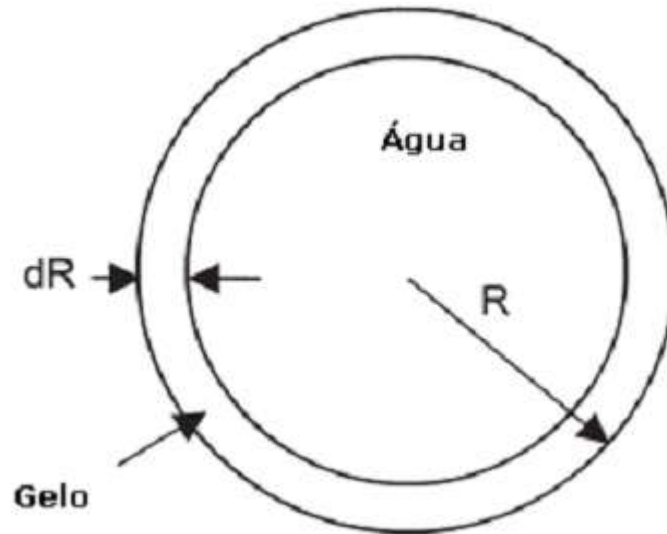


Figura 2- Geometria congelamento (Chatterji, 1999).

No poro isolado o processo é diferente em comparação com o da estrutura porosa corrente, porque as ligações entre poros (porosidade aberta) facilitam a passagem de água em determinadas fases do processo.

Nas argamassas, a porosidade aberta faz com aconteça mais rapidamente o congelamento da água no seu interior, uma vez que os poros estão interligados o que leva a existirem trocas quer ao nível da água a temperaturas negativas, quer de cristais de gelo.

As interligações de água e cristais de gelo na porosidade podem ser feitas por dois mecanismos: sob pressão exterior e/ou por congelação da água interior.

Uma condição essencial para todo este processo acima referido é que a dimensão da fibra seja inferior ao poro para onde migra.

As interligações sob pressão exterior são provocadas, por uma pressão vinda do exterior da argamassa através dos poros da superfície. Este mecanismo é idêntico ao anterior com a diferença de ter uma velocidade mais acelerada provocada pela pressão. Isto acontece quando existe uma massa de gelo ou neve encostada ou sobre a estrutura (Botas, 2009).

### **3.1.3 Tensão provocada pelo gelo**

Quando a água congela no interior da argamassa leva ao aumento do volume, provocando tensões, essas mesmas levam a perda de coesão e podem levar mesmo a degradação

As tensões ocorrerão sobre a argamassa caso os poros estejam saturados ou quase saturados; caso contrário, o aumento de volume resultante da congelação da água não afecta o material pois o volume final é inferior ao volume dos poros.

A resistência mecânica das argamassas aumenta com a congelação da água no seu interior quando existe uma queda da temperatura. Para uma argamassa de cimento saturada, por exemplo, a resistência mecânica aumenta com a queda da temperatura entre os 0 e os 60°C. Este facto é devido, exclusivamente, à resistência mecânica do gelo. Sabendo que a água líquida, quando congela, aumenta o volume em 9% (Palomo), as pressões resultantes nas paredes dos poros saturados são grandes e podem provocar fissuras internas na argamassa e uma alteração da sua porosidade.

## 3.2 Ciclos gelo/degelo

### 3.2.1 Mecânica dos ciclos gelo/degelo

Os ciclos gelo/degelo têm um papel decisivo no comportamento e na durabilidade das argamassas.

A água que se encontra no interior da argamassa quando sujeita a temperaturas negativas, ela vai congelar, logo vai provocar um aumento de volume (“gelo”)

A temperatura negativa, a água que se encontra no interior da argamassa congela, com o consequente aumento de volume (processo denominado “gelo”). Quando os poros se encontrarem saturados, ou quase saturados, o aumento de volume resultante da congelação dá origem a pressões exercidas nas paredes dos poros, podendo mesmo dar origem a fissuração. No processo de descongelação (“degelo”) a quantidade de água que anteriormente cristalizou retoma o seu volume inicial. No decorrer deste processo duas situações distintas podem ocorrer: a secagem parcial ou total por via da mudança de fase para vapor e pela consequente difusão; a absorção de nova quantidade de água por capilaridade. Termina assim um ciclo

Ao longo dos ciclos, os poros vão tendo menor capacidade para resistir às pressões exercidas pelo gelo e, à medida que aumenta o número de ciclos, vão apresentando maior fissuração.

Uma argamassa saturada durante e após o seu processo de degelo pode absorver mais água devido às fissuras provocadas pelas pressões no seu processo de gelo (Botas, 2009).

A resistência das argamassas aos ciclos gelo/degelo apresenta também uma relação directa com a temperatura mais baixa dos ciclos. A Figura 3 mostra esta relação num betão testado por Cai, et al. (1998).

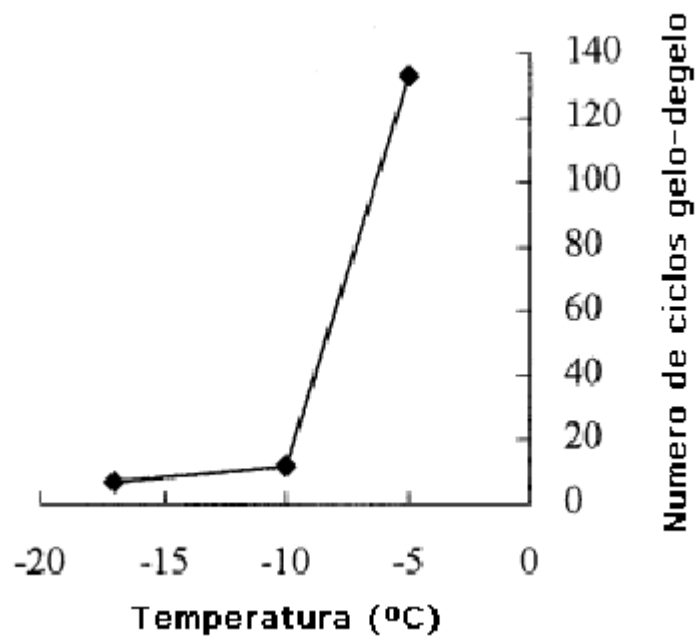


Figura 3- Durabilidade do betão em relação à temperatura mais baixa nos ciclos gelo degelo (Cai, et al., 1998).

A água nos poros congela mais rapidamente entre 0 e -10 °C do que abaixo de -10 °C.

Segundo Powers, citado por Cai, et al.(1998), uma maior velocidade de congelação leva a uma maior pressão interna; deste modo, a argamassa sofre efeitos mais destrutivos entre os 0 e os -10 °C. A explicação para este facto tem origem na conectividade dos poros. A água, nos poros com ligações a outros poros congela primeiro, e nos poros isolados geralmente congela depois.

### **3.2.2 Magnitude da tensão causadora de danos**

Na argamassa ao dar-se a congelação no seu interior, leva a um aumento de volume, que por sua vez, esse aumento vai causar uma pressão interna dando origem a danos na argamassa. Esses danos ocorrem quando a sua magnitude assume valores de cerca de duas vezes a resistência à tracção da zona da argamassa onde se deu a congelação. Chatterji (1999) afirma que a resistência à tracção de um betão corrente saturado é de 2,5 MPa a uma temperatura ambiente, o que significa, segundo o mesmo, que, contendo gelo, tenha uma resistência à tracção de cerca de 4 MPa a -10 °C e 6 MPa a -20 °C. Para causar danos neste betão a força produzida pelo gelo terá de ser da ordem de 8 MPa a 12 MPa.

### **3.2.3 Tipos de danos**

Os tipos de danos provocados nas argamassas pelos ciclos gelo/degelo podem ser:

- ✓ Fissuras internas;
- ✓ Desagregação de superfície, conhecida internacionalmente por “surface scaling”.

As fissuras internas propagam-se pela porosidade aberta de acordo com as ligações entre os poros (Cho, 2007).

Geralmente, as fissuras propagam-se na superfície dos agregados, pois a interface pasta agregado é a zona mais frágil da argamassa (Cho, 2007, Cao, et al., 2002).

A desagregação de superfície é facilmente observável pois, são visíveis as fissuras e algum material pulverulento que a argamassa perde; é também notado um aumento de volume da argamassa. A superfície exterior vai ser a primeira a atingir temperaturas negativas, sendo este tipo de danos o primeiro a ocorrer.

## **3.3 Melhoramento do comportamento de argamassas aos ciclos gelo/degelo**

Para obter uma argamassa com bom comportamento aos ciclos gelo/degelo tomam-se algumas medidas, como o uso de introdutores de ar para melhorar a sua estrutura porosa a esse comportamento ou até recorrer a tecnologia e cálculos avançados de forma a prever os danos correspondentes a cada formulação de argamassas, para que, antecipadamente se saiba as precauções a tomar e os danos esperados. Para esse melhoramento da estrutura porosa foi utilizado neste trabalho de investigação para além do introdutor de ar, materiais como, poliestireno expandido e cortiça.

### **3.3.1 Introdutor de ar**

Um introdutor de ar tem o objectivo de alterar a porosidade das argamassas, fazendo com que estas no seu estado endurecido tenham uma maior quantidade e melhor distribuição dos vazios. Estes produtos são colocados na fase de amassadura tendo ainda como consequência uma melhoria da trabalhabilidade (Coutinho, 1997).

O introdutor de ar faz com que parte dos vazios se transforme em vazios esféricos e de dimensões superiores aos vazios capilares (Chatterji, 2002).

A trabalhabilidade é um factor que, no estado fresco da argamassa, é muito melhorado.

O ar introduzido desempenha um papel de fluido e de inerte. Como fluido substitui parte da água de amassadura, fazendo com que se reduza a quantidade de água em excesso usada unicamente para melhoria de trabalhabilidade. Como inerte, substitui os grãos de areia

menores que 1 ou 2 mm e apresenta sobre esta a vantagem de ser deformável, elástico e poder deslizar sem atrito (Coutinho, 1997).

Os vazios resultantes do adjuvante introduzido interseccionam os canais capilares da porosidade da argamassa, o que implica que a absorção de água por capilaridade seja significativamente reduzida (Cultrone, 2005).

Os grandes poros esféricos que resultam da acção do introdutor de ar desempenham um papel importante na durabilidade das argamassas porque não são saturados ainda que a restante estrutura porosa se encontre totalmente preenchida por água. Sujeitas à pressão, os vazios esféricos introduzidas são locais de expansão para a água impelida pelo aumento do volume de gelo como do próprio gelo. Estas características têm maior eficácia quando as bolhas têm uma dimensão adequada, o volume de ar é suficiente e as bolhas estão bem repartidas na massa da argamassa (Botas, 2009).

# Capítulo 4

*Desenvolvimento experimental*

## 4 Introdução

Tendo em vista que as argamassas de revestimento possuem, tal como se apresentou nos capítulos anteriores, diferentes desempenhos em função de suas composições e do meio ambiente em que se inserem, o trabalho experimental foi desenvolvido tendo em conta os seguintes aspectos:

- ✓ - as argamassas de cal apresentam baixo desempenho ao efeito do fenómeno de gelo e degelo;
- ✓ - as argamassas de cimento apresentam elevado desempenho ao efeito de gelo degelo, porém são argamassas susceptíveis à fissuração, sobretudo nas primeiras idades e mais intensamente quando as condições ambientais externas são favoráveis.

Deste modo, o estudo experimental é desenvolvido em argamassas mistas, nas quais se incorporam em substituição à cal hidratada, adições potencialmente pozolânicas com o intuito de se poder desenvolver resistências mecânicas sem o aumento da rigidez da argamassa fresca.

Considerando que a porosidade das argamassas, tal como foi explicado no capítulo 3 tem um papel relevante no comportamento gelo/degelo das mesmas, neste estudo se incorporou à composição de algumas argamassas agregados leves obtidos através da reciclagem de resíduos urbanos. Trata-se do poliestireno expandido utilizado na protecção de equipamentos em embalagens e da cortiça obtida de rolhas de garrafas ou de outras origens. As características destes materiais são apresentadas nos itens a seguir.

## 4.1 Materiais

Os materiais utilizados para a composição de argamassas foram: cimento Portland CEM I 32,5 R, cal hidratada CL 80, areia do Tejo, pozolana de vidro, lamas residuais calcinadas das minas da Panasqueira, metacaulino, poliestireno expandido, cortiça e água.

### 4.1.1 Areia

A areia do Tejo possui as seguintes características: areia 0/4 dimensão máxima 2.0 mm, módulo de finura 2,821 e massa volúmica 2590 kg/m<sup>3</sup>. A curva granulométrica da areia é apresentada na Figura. 4.

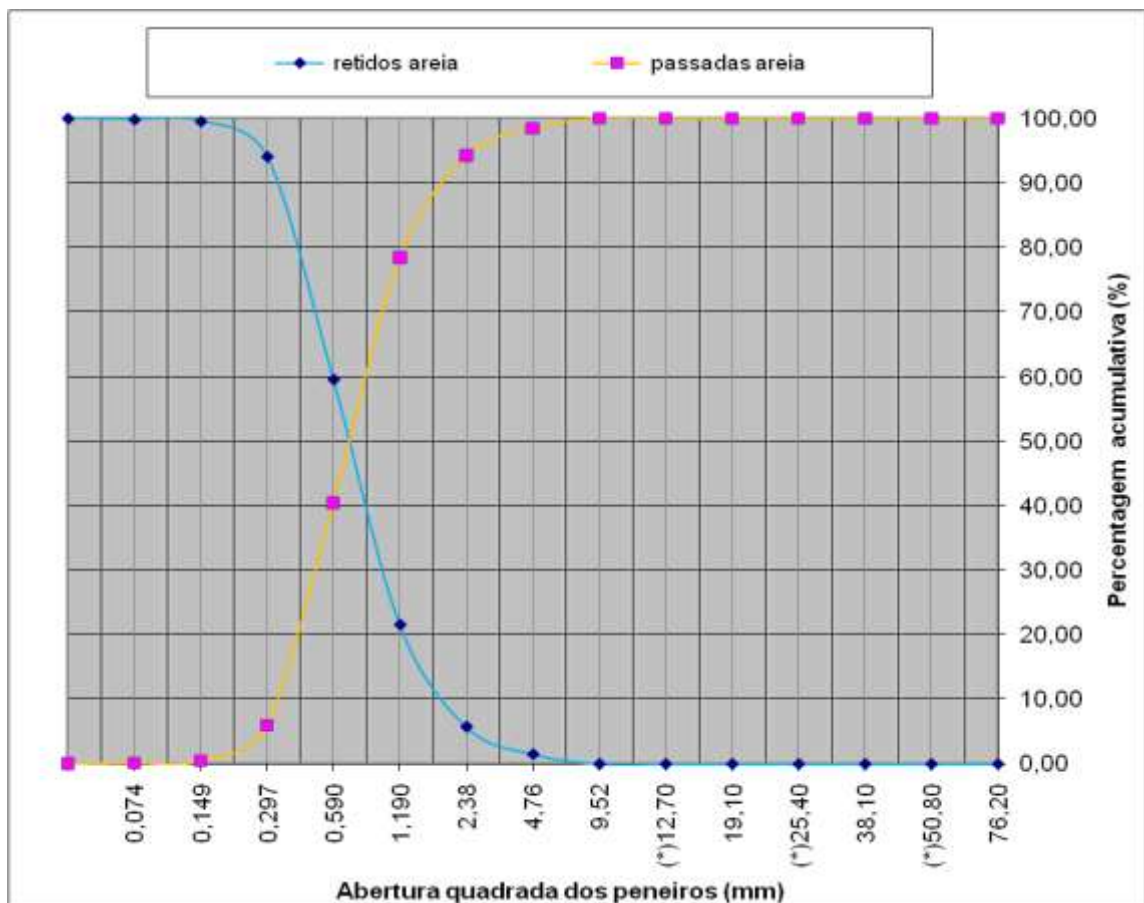


Figura 4- Curva granulométrica da areia.

#### 4.1.2 Pó de vidro

O vidro utilizado foi recolhido nos Serviços Municipalizados da Covilhã, tendo sido feita uma recolha selectiva de forma a obter uma amostra de vidro de cor âmbar e verde. Posteriormente as amostras, moídas nas fracções <75 µm, foram analisadas através da análise de difracção de raio-X de forma a se obter a sua composição, e observado pelo microscópio electrónico para se conhecer a sua forma. O resultado da análise de difracção de raio-X é apresentado na Tabela 7, sendo os valores expressos em termos de percentagem. Os vidros são essencialmente constituídos de óxido de silício, seguidos por percentagens menores de óxidos de cálcio e sódio. A forma das partículas também foi analisada e constatou-se que a forma preponderante, que resulta do processo de moagem, é a laminar, tal como mostra na Figura 5. A superfície específica de 295 m<sup>2</sup>/kg foi determinada pelo método de Blaine em amostras de vidro após moagem. O pó de vidro apresenta uma massa volúmica 2525 kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 7- Análise Elementar Óxidos %.

Vidro	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Âmbar	73,27	3,09	11,36	0,81	10,37	1,1
Verde	72,25	2,54	12,35	1,18	10,54	1,15

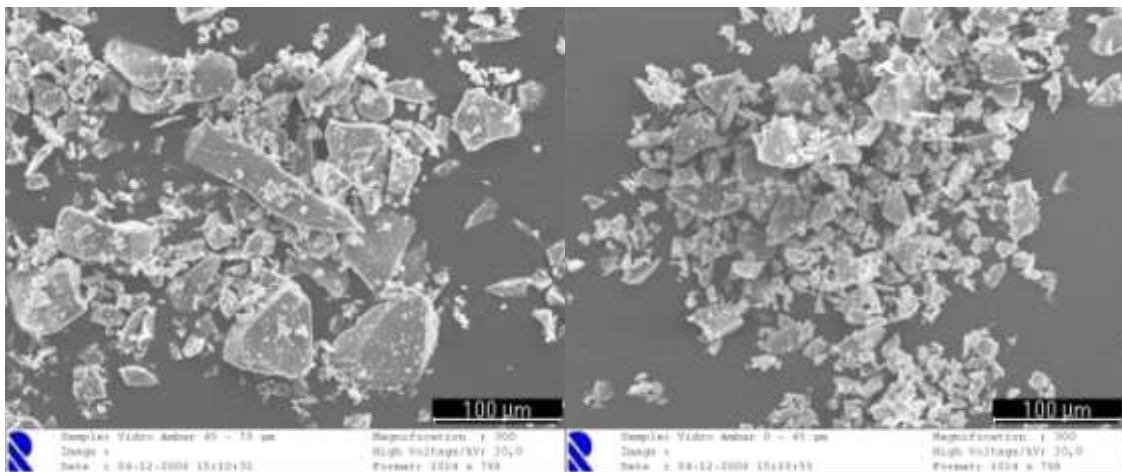


Figura 5- Forma das partículas de vidro.

### 4.1.3 Lamas residuais calcinadas

Foram utilizadas, na composição da série de argamassas MA, MAI, MA-Eps, MA-Cor, lamas residuais calcinadas, cuja composição química, determinada por espectrometria de energia dispersiva (EDS) é apresentada na Tabela 8. São essencialmente constituídas por sílica e alumina, e em menores percentagens por óxidos de ferro e de sódio. As lamas, cuja massa volúmica é de  $2780 \text{ kg/m}^3$ , foram submetidas a um tratamento térmico (calcinação) num forno de altas temperaturas durante 2 horas a  $850^\circ\text{C}$ , para aumentar o seu grau de amorfismo e consequentemente o seu potencial de reactividade. Após calcinação obteve-se uma superfície específica de  $56,3 \text{ m}^2/\text{kg}$ , determinada pelo método de Blaine. Assim, uma parte das lamas calcinadas foi moída em moinhos de bolas durante 6 horas para obtenção de uma superfície específica de  $133,2 \text{ m}^2/\text{kg}$ .

Tabela 8- Características da lama residual das Minas da Panasqueira.

Constituintes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
% em massa	68,54	18,27	1,17	5,64	1,14	5,24

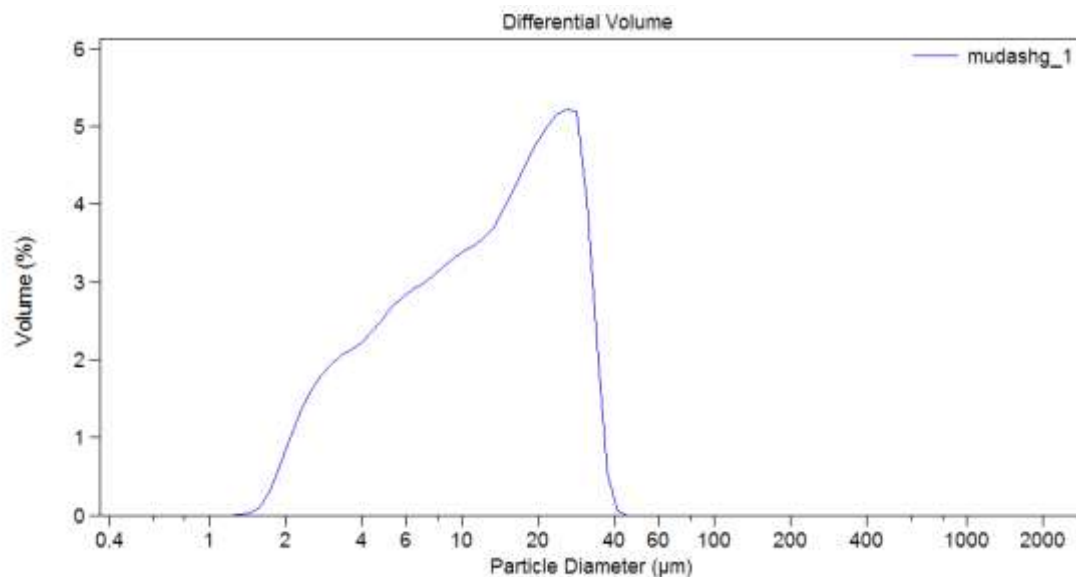


Figura 6- Granulometria das partículas de lama residuais calcinadas.

#### 4.1.4 Cal hidratada

As únicas características a cerca da cal hidratada conhecidas, é uma cal hidratada CL 80, com uma massa volúmica  $2180 \text{ kg/m}^3$ .

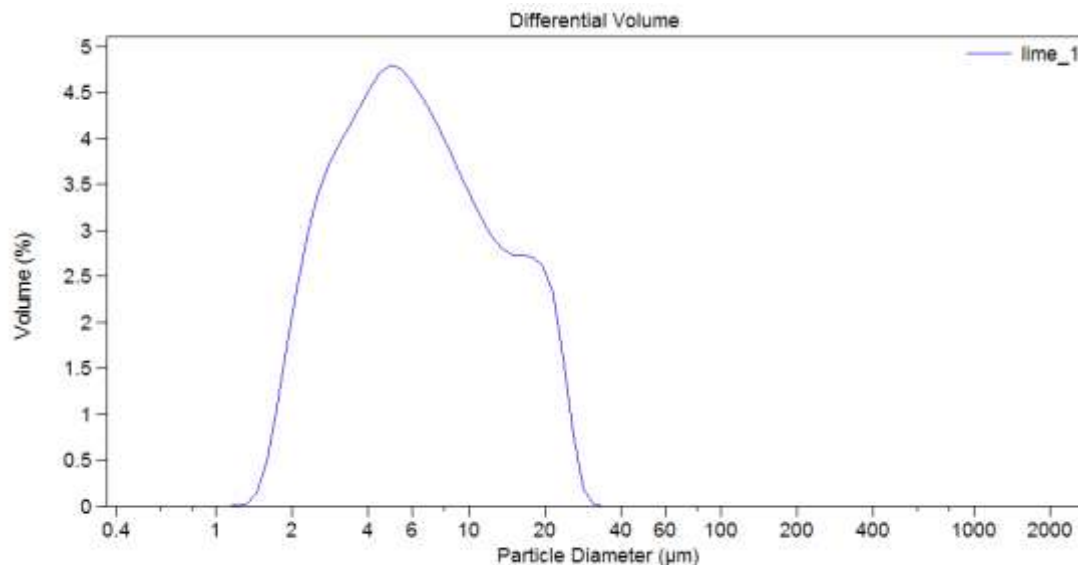


Figura 7- Granulometria de partículas de cal hidratada.

#### 4.1.5 Metacaulino

Determinou-se para o metacaulino a massa volúmica, desvio padrão e o coeficiente de variação. A massa volúmica foi determinada pelo picnómetro e apresenta o valor de  $3186 \text{ kg/m}^3$ . O desvio padrão é de 0,309 e coeficiente de variação é de 9,71 %.

#### 4.1.6 Poliestireno expandido e cortiça

O poliestireno utilizado foi recolhido nos Serviços Municipalizados da Covilhã, tendo sido reduzido o seu tamanho em laboratório, a partículas pequenas. A cortiça foi recolhida de rejeito e efectuado o mesmo procedimento, Figura 8. O Poliestireno expandido tem uma massa volúmica  $10 \text{ kg/m}^3$  e a Cortiça  $250 \text{ kg/m}^3$ .



Figura 8- Máquina de redução de partículas do Eps e cortiça.

A análise granulométrica do poliestireno expandido e da cortiça é efectuada através do método de vibração de peneiros. Os peneiros são encaixados uns nos outros, com um progressivo aumento da abertura da malha, de maneira a que o peneiro de baixo tenha malha com abertura inferior ao que se encontra por cima. A amostra é introduzida no peneiro de maior malha e coloca-se o conjunto de peneiros em vibração horizontal durante 6 minutos. Os constituintes vão descendo por gravidade ficando retidos num recipiente disposto a cada uma das diferentes granulometrias.

Os peneiros são retirados individualmente e são peneirados manualmente até não se verificar passagem de grãos durante, pelo menos um minuto, procedendo-se posteriormente a sua pesagem ( $m_{\text{peneiro}}$ ).

A percentagem retida em cada peneiro (R) corresponde ao quociente entre a massa obtida em cada peneiro ( $m_{\text{peneiro}}$ ) pela massa total de amostra ( $m_{\text{total}}$ ). O procedimento é repetido. Com a percentagem de material retido em cada peneiro, é possível desenhar a curva granulométrica do agregado.

Nas Figuras 9 e 10 apresenta-se a curva granulométrica da cortiça e do poliestireno. A Figura 11 reúne as composições granulométricas dos materiais utilizados como agregados finos neste trabalho.

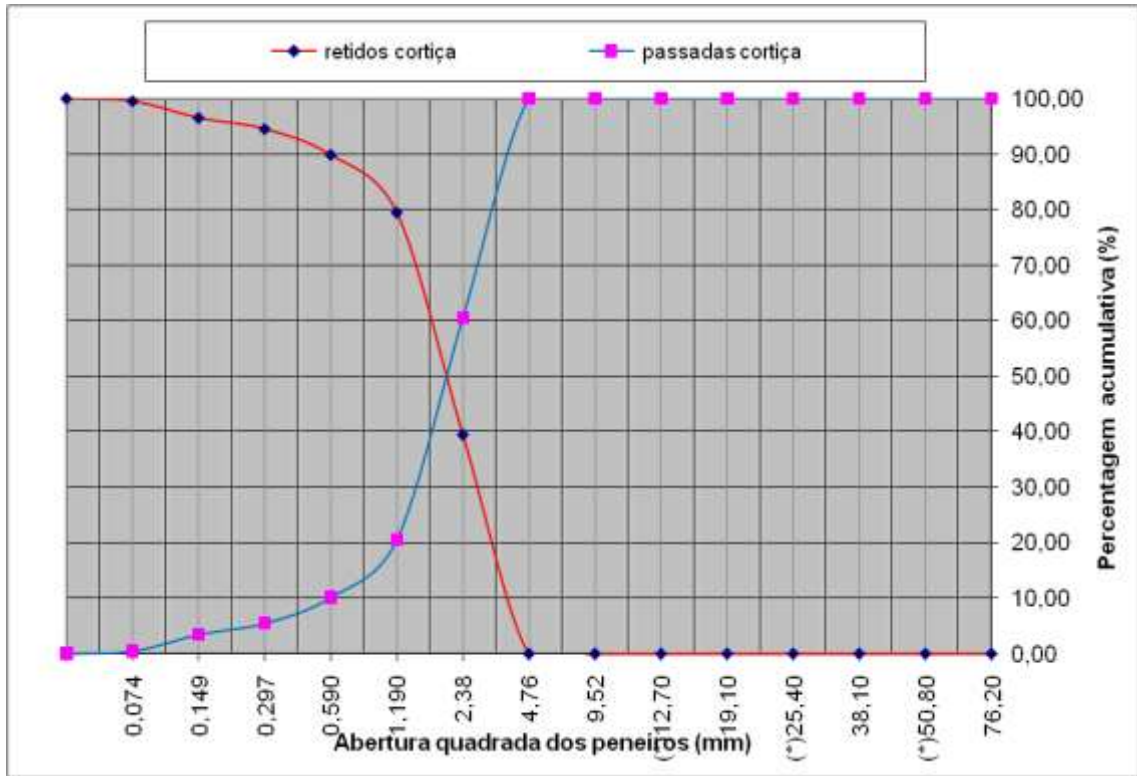


Figura 9- Curva granulométrica da cortiça.

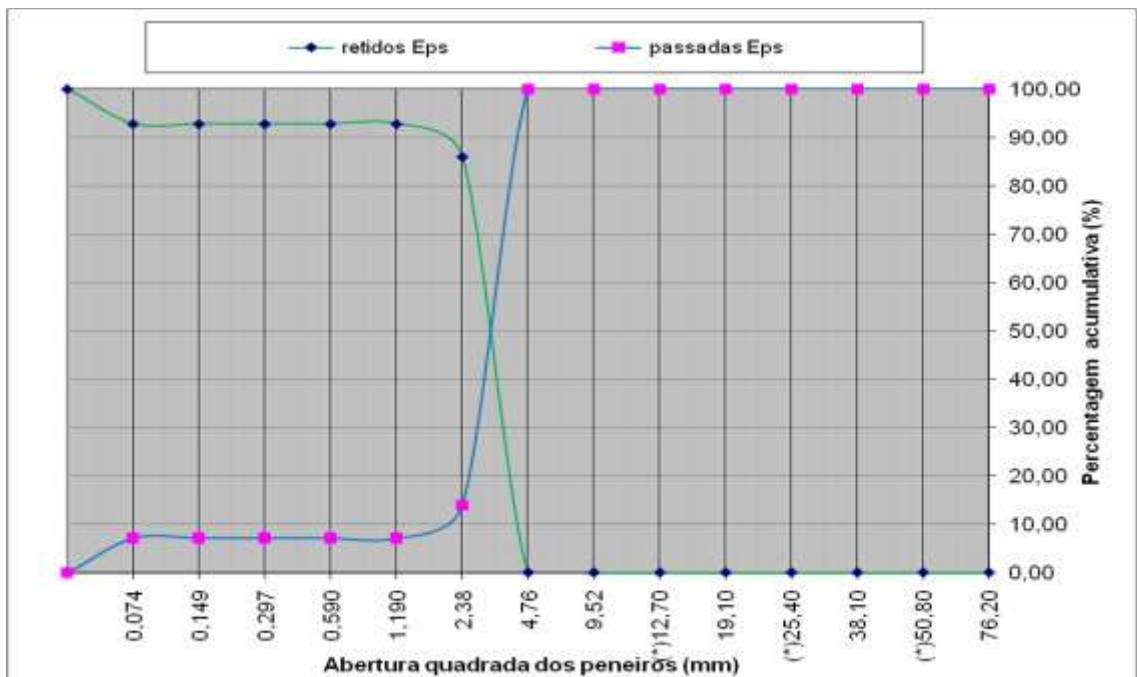


Figura 10- Curva granulométrica do poliestireno expandido.

O módulo de finura do poliestireno expandido é 2.730, o da cortiça é 0.846.

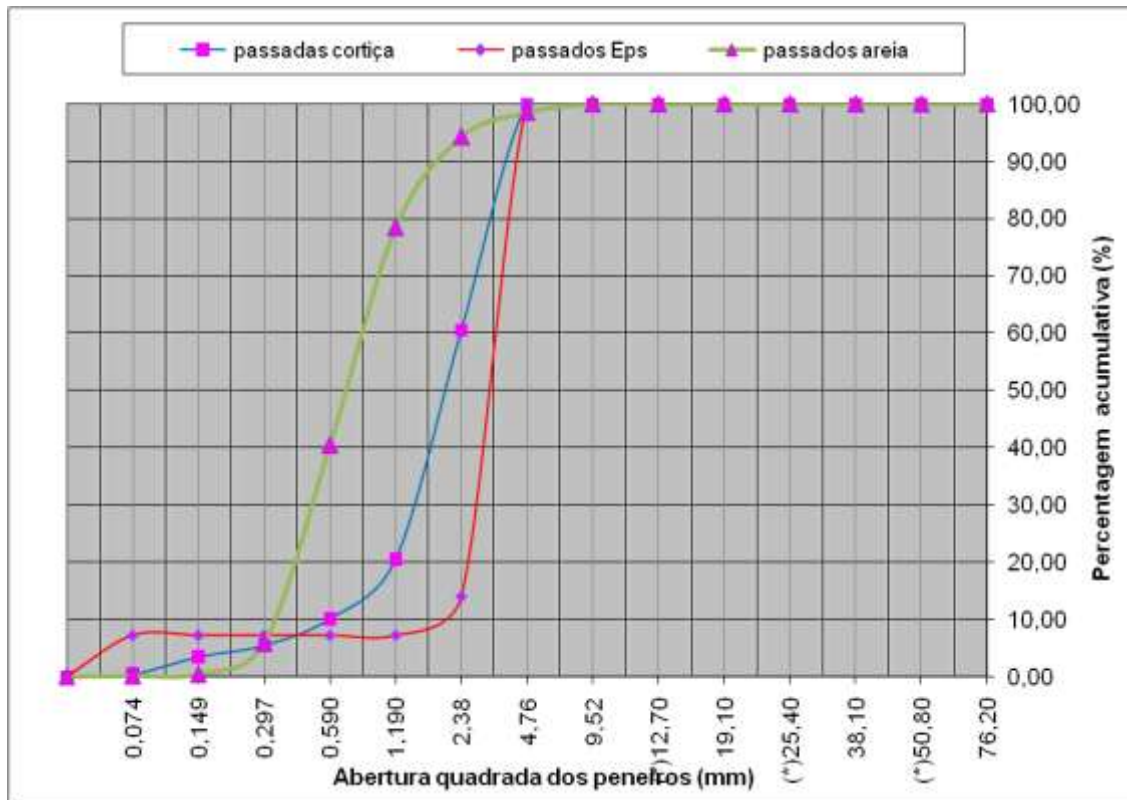


Figura 11- Análise granulométrica da % de passados Eps, cortiça e areia.

## 4.2 Misturas estudadas

No presente trabalho experimental foram preparados quatro séries de argamassas. Cada série é constituída por quatro argamassas com diferentes adições (cal hidratada, pó de vidro, cinza de lama calcinada e metacaulino). Todas as argamassas ensaiadas apresentam a mesma proporção em volume de materiais, ou seja 1:1:5. A primeira série sem qualquer outra modificação além da quantidade de água necessária para a consistência desejada é referida como série de controlo. Numa segunda série foi executada, adicionando-se um introdutor de ar (Sika AER 5) com uma dosagem igual a 0,1% do peso do cimento, que equivale em massa a uma quantidade de 0,5g.

A terceira série se constitui de argamassas, nas quais apenas se substituiu 25% do volume de agregados finos por grãos obtidos da reciclagem de poliestireno expandido (EPS). Na quarta série realizou-se a substituição dos mesmos 25% de agregados finos por resíduos de cortiça. (Cor).

Os ensaios discriminados no item a seguir foram realizados para as quatro séries de argamassas cujas composições finais são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9- Composição das argamassas frescas em (massa).

Tipo	Cimento	Cal hidratada	Pó de vidro	Lama calcinada	Metacaulino	Areia	Eps	Cortiça	Água
	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(%)
ML	1	0,35	-	-	-	6,7	-	-	20
MG	1	-	0,72	-	-	6,7	-	-	16
MA	1	-	-	1,05	-	6,7	-	-	17
MK	1	-	-	-	0,3	6,7	-	-	21
MLI	1	0,35	-	-	-	6,7	-	-	18
MGI	1	-	0,72	-	-	6,7	-	-	15
MAI	1	-	-	1,05	-	6,7	-	-	15
MKI	1	-	-	-	0,3	6,7	-	-	18
ML-EPS	1	0,35	-	-	-	6,696	0,004	-	20
MG-EPS	1	-	0,72	-	-	6,691	0,009	-	16
MA-EPS	1	-	-	1,05	-	6,691	0,009	-	17
MK-EPS	1	-	-	-	0,3	6,691	0,009	-	21
ML-Cor	1	0,35	-	-	-	6,575	-	0,125	20
MG-Cor	1	-	0,72	-	-	6,575	-	0,125	16
MA-Cor	1	-	-	1,05	-	6,575	-	0,125	17
MK-Cor	1	-	-	-	0,3	6,575	-	0,125	21
ML-Eps 1,25 litro	1	0,35	-	-	-	6,681	0,019	-	20

#### 4.3 Massa volúmica aparente dos materiais utilizados

A massa volúmica aparente dos materiais (baridade no estado solto) foi determinada para todos os materiais permitindo assim transformar as proporções em volume para proporções em massa, guardando assim maior rigor nos trabalhos experimentais.

O ensaio é efectuado com um cilíndrico de massa ( $m_0$ ) e volume ( $V$ ) conhecido. A amostra seca é colocada, com o auxílio da colher, no recipiente cónico e sem compactar. Com o auxílio da espátula a superfície é alisada pelo contorno do recipiente. O exterior do recipiente é limpo e determina-se a sua massa ( $m_1$ ).

A massa volúmica aparente é determinada pela seguinte expressão:

$$\rho = \frac{M}{V} = \left[ \frac{\text{g}}{\text{dm}^3} \right]$$

Com,

$\rho$  - Massa volúmica do agregado [ $\text{g}/\text{dm}^3$ ];

$M$  - massa do agregado contido no molde cilíndrico [ $\text{g}$ ];

$V$  - capacidade do recipiente cilíndrico [ $\text{dm}^3$ ].

Para cada constituinte são realizadas 3 medições, resultando a massa volúmica da média dos valores individuais. Na Tabela 10 apresenta-se os respectivos valores da massa volúmica aparente dos materiais utilizados experimentalmente.

Tabela 10- Massa volúmica aparente dos materiais.

Materiais	Massa volúmica aparente (kg/l)
Cimento 32,5 R	1,054
Cal hidratada	0,372
Areia	1,407
Vidro <0,075mm	0,7573
Cinza Panasqueira	1,1019
Metacaulino	0,318
Cortiça	0,09972
Poliestireno	0,00738

## 4.4 Métodos

### 4.4.1 Argamassas no estado fresco

A água de amassadura foi determinada em função da consistência desejada ou seja um valor compreendido entre 190 mm  $\pm$  10 mm obtido pelo método da mesa de espalhamento, segundo a norma EN 1015-3 (CEN, 1999).



Figura 12- Mesa de espalhamento com o cone cilíndrico.

Nas argamassas frescas foram também determinadas as massas volúmicas e retenção de água, segundo as normas EN 1015-6 (CEN, 1998), EN 1015-8 (CEN, 1999) respectivamente.

A retenção de água da argamassa é obtida conhecendo-se a percentagem de massa de água da amassadura absorvida por dois ou três papéis de filtro colocados em contacto com a superfície da amostra da argamassa durante 5 minutos.



Figura 13- Conjunto invertido sobre a superfície não absorvente, com um peso aproximado 2,5 kg, para o cálculo da retenção de água.

O comportamento reológico das argamassas foi estudado através do reômetro Viskomat NT, ilustrado na Figura 14.

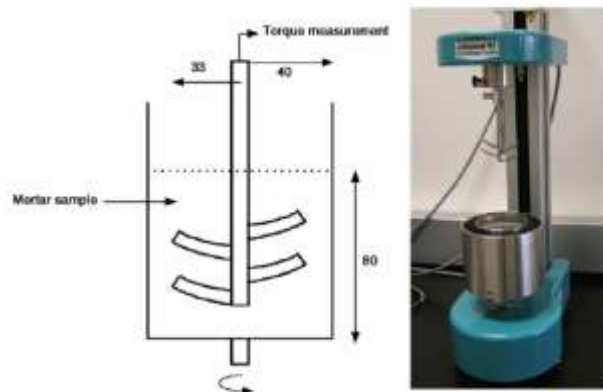


Figura 14- Detalhes do reômetro Viskomat NT.

As medidas foram efectuadas 5 minutos após terminada a mistura. A velocidade de rotação do recipiente que condiciona a amostra pode ser programado e, neste estudo, foi utilizado um perfil denominado “step”. A velocidade de rotação é ajustada para variar com o tempo, variando de 20 em 20 rpm, passando de um valor inicial de zero a 160 rpm e em seguida de 160 rpm até zero. Para cada velocidade, aguardou-se cerca de 1 min antes de aumentar ou diminuir 20 rpm de acordo com o esquema da Figura 15. Este perfil permite chegar a valores de equilíbrio de torque para cada velocidade, e construir as curvas de equilíbrio de

escoamento para uma melhor determinação dos coeficientes relativos de viscosidade plástica e a tensão de cedência ( $h$  e  $g$ , respectivamente).

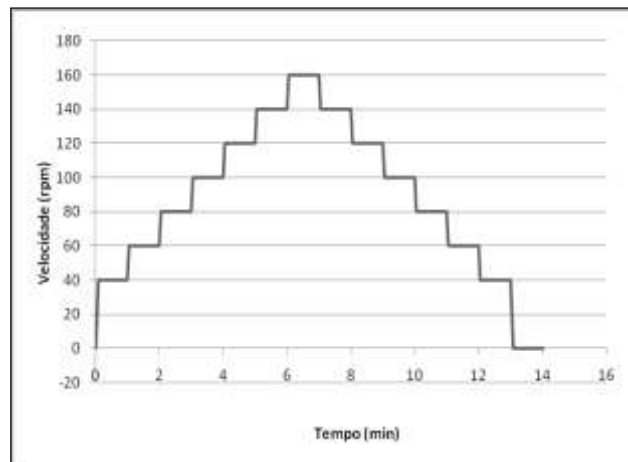


Figura 15- Perfil de velocidade tipo “step”.

A tensão de cedência é a força mínima necessária para quebrar as interações que existem no núcleo do material e iniciar um movimento. Depende do número de lugares que se interagem e da força dessas interações. A tensão de cedência pode ser considerada a resistência à entrada em escoamento uma vez que a viscosidade plástica é uma medida da resistência da mistura ao aumento da velocidade desse escoamento. A tensão de cedência é então uma estimativa da solidez da estrutura mesoscópica do material ao passo que a viscosidade plástica é a medida dos atritos internos (Goto, 2006).

#### 4.4.2 Argamassas no estado endurecido

Nas argamassas endurecidas foram realizados ensaios em 3 corpos de prova prismáticos de 40 x 40 x 160 mm, por argamassa, de acordo com a EN 1015-11 (CEN, 1999), para determinação da resistência à tracção na flexão e da resistência à compressão aos 28 dias. A massa volúmica da argamassa endurecida e o módulo de elasticidade dinâmico foi determinado, aos 28 dias, em 3 corpos de prova prismáticos. O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado pelo método de velocidade da onda de ultra-sons (Monte, et al., 2007). Os ensaios de absorção de água por capilaridade, conduzidos segundo a EN 1015-18 (CEN, 2002) foram conduzidos em 3 corpos de prova prismáticos de 40 x 40 x 160 mm, em cada mistura na idade de 28 dias, após a secagem dos mesmos em estufas na temperatura de  $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  até constância de massa.

#### 4.4.2.1 Ciclo gelo/ degelo

Os ensaios de resistência aos ciclos gelo/degelo dos diferentes tipos de argamassas não são abordados em nenhum documento normativo. As únicas normas existentes dizem respeito a métodos de ensaio para determinação da resistência aos ciclos gelo/degelo para betão e para pedra natural. Estes procedimentos foram considerados como muito agressivos, principalmente devido ao facto de a cada ciclo se proceder à imersão dos provetes. Depois da análise aos vários métodos utilizados por vários investigadores e reflectindo sobre cada método, foi adoptado um método de ensaio diferente e original que teve como objectivo observar se ocorre fissuras internas ou desagregação de superfície e avaliar os tipos de danos causados nos diferentes tipos de argamassas ao longo do tempo.

Os provetes foram imersos em água durante duas horas na câmara húmida até atingirem massa constante.

Os provetes foram retirados da imersão e determinada para os diferentes 16 tipos de argamassas a sua massa numa balança de precisão 0,001 g. Seguidamente cada um dos provetes foi colocado dentro de um saco de plástico e fechados de modo a conservar as suas condições de humidade e a armazenar algum material caso se separasse do provete.

A “arca” dos ciclos gelo degelo foi programada para que efectuassem um ciclo por dia com temperatura máxima e mínima de 18 e -36 °C. A “arca” era ligada para o ciclo gelo durante 3 horas, ao fim dessas 3 horas a “arca” era desligada e aberta ao fim do dia de modo a atingir a temperatura de aproximadamente 18°C. A Figura 16 mostra a variação de temperatura em relação ao tempo em um ciclo.

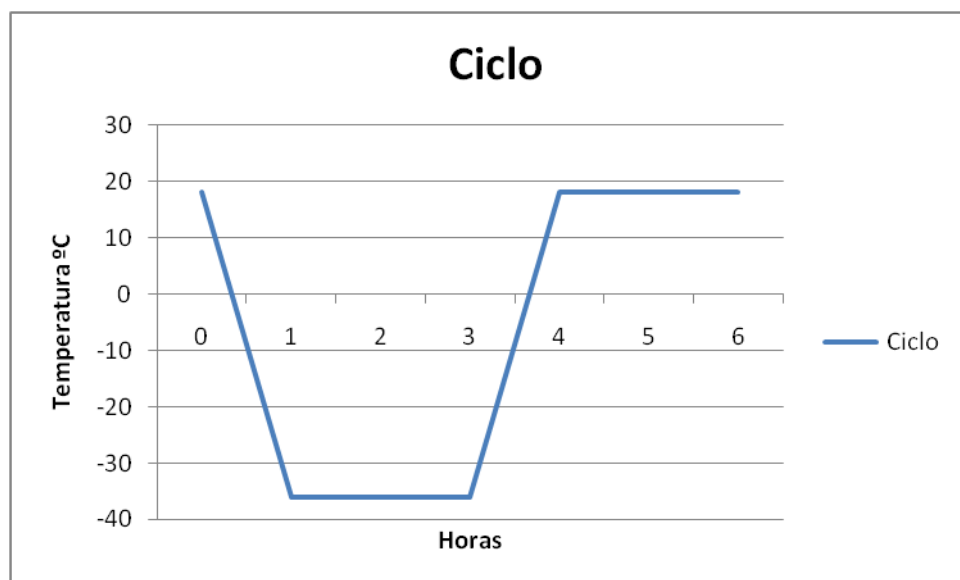


Figura 16- Variação da temperatura com o tempo em um ciclo.

#### 4.5 Preparação dos provetes

Após a caracterização das argamassas no estado fresco e necessário preparar os moldes para a realização dos ensaios no estado endurecido. Tendo por base os ensaios a realizar, vão ser moldados provetes do tipo prismáticos de dimensões 40 x 40 x 160. Os moldes prismáticos encontram-se em conjuntos de três moldes que são previamente limpos e lubrificadas com óleo mineral. Estes são preenchidos e levados ao compactador onde foram dadas 60 pancadas.

Por fim utilizando uma espátula, a superfície é alisada, retirando ou acrescentando argamassa.



Figura 17- Preenchimento dos provetes prismáticos e sua compactação no compactador mecânico.

Por fim os provetes foram levados para a estufa e ao final de dois dias foram desmoldados, permanecendo cinco dias cobertos de água dentro de um tabuleiro. No fim desses cinco dias foram retirados da estufa e colocados numa sala com uma temperatura ambiente aproximadamente de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e humidade relativa de  $65\% \pm 5\%$  até completarem os 28 dias.



Figura 18- Provetes prismáticos dentro da estufa.



Figura 19- Provetes Prismáticos dentro do tabuleiro com água.



Figura 20- Provetes prismáticos dentro de uma sala a uma temperatura ambiente de aproximadamente  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e humidade relativa de  $65\% \pm 5\%$ .

## 4.6 Resultados e discussão

### 4.6.1 Propriedades das argamassas frescas

Na Tabela 11 está apresentado os resultados da consistência, desvio padrão, coeficiente variação e retenção de água das diferentes misturas de argamassas no estado fresco.

Tabela 11- Resultados das misturas de argamassas no estado fresco.

Tipo	Consistência	DP	CV	Retenção	M.
	(mm)		(%)	água	Volúmica
				(%)	(Kg/m <sup>3</sup> )
<b>ML</b>	199	4,9	2,5	90,95	1989
<b>MG</b>	193	6,8	3,5	85,41	1982
<b>MA</b>	193	5,9	3,1	86,48	2035
<b>MK</b>	192	4,1	2,1	88,88	2018
<b>MLI</b>	195	1,3	0,7	87,19	1918
<b>MGI</b>	185	2,9	1,6	83,93	1883
<b>MAI</b>	182	1,3	0,7	84,58	1927
<b>MKI</b>	181	1,0	0,5	87,54	1896
<b>ML-EPS</b>	188	16,9	9,0	87,48	1978
<b>MG-EPS</b>	160	0,5	0,3	84,28	1899
<b>MA-EPS</b>	172	2,8	1,6	85,76	1927
<b>MK-EPS</b>	184	6,2	3,4	88,16	1918
<b>ML-Cor</b>	201	2,6	1,3	85,79	1634
<b>MG-Cor</b>	170	4,5	2,6	81,75	1612
<b>MA-Cor</b>	178	1,2	0,6	85,19	1658
<b>MK-Cor</b>	185	3,3	1,8	86,44	1645
<b>ML-EPS 1,25 litro</b>	185	4,4	2,4	87,68	1824

De seguida mostra-se um gráfico dos valores de retenção de água e uma comparação gráfica da massa volúmica dos diferentes tipos de argamassas.

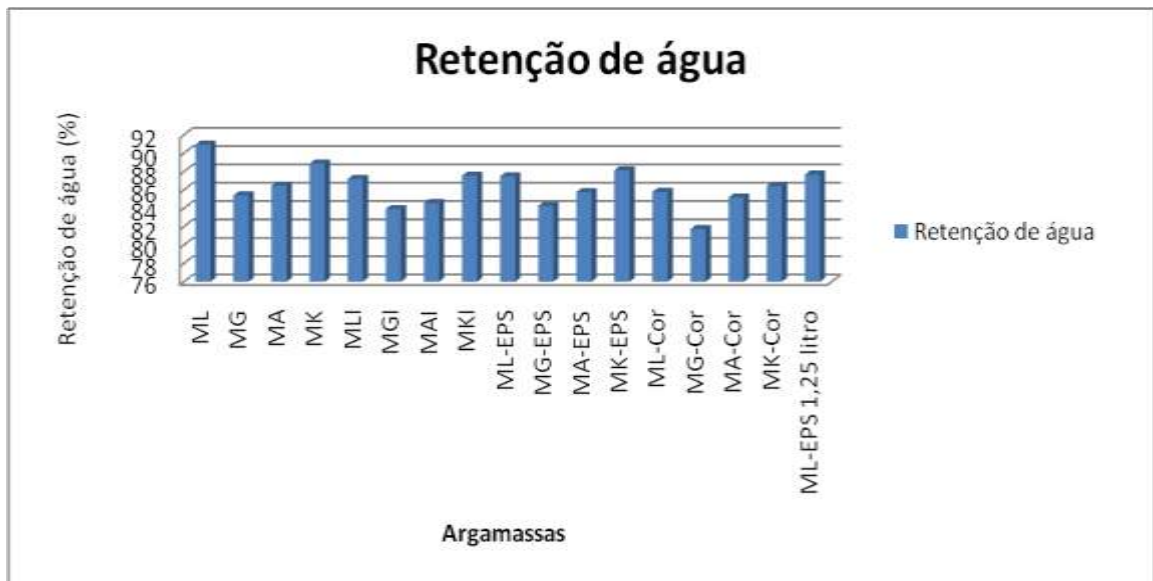


Figura 21- % de retenção de água dos diferentes tipos de argamassas.

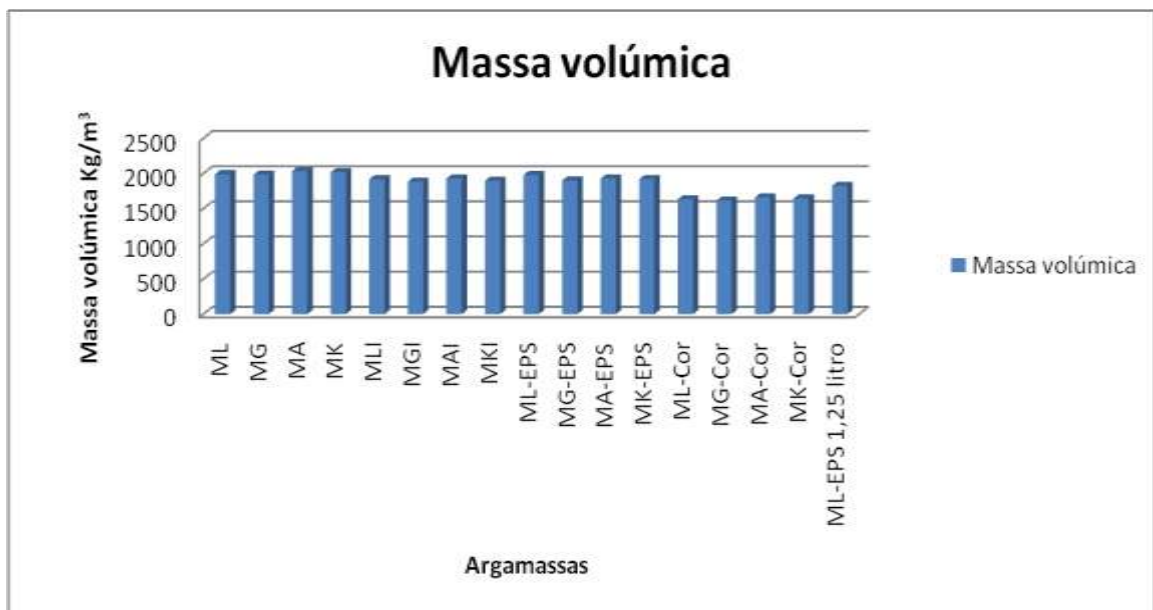


Figura 22- Massa volúmica no estado fresco ( $\text{kg/m}^3$ ) dos diferentes tipos de argamassas.

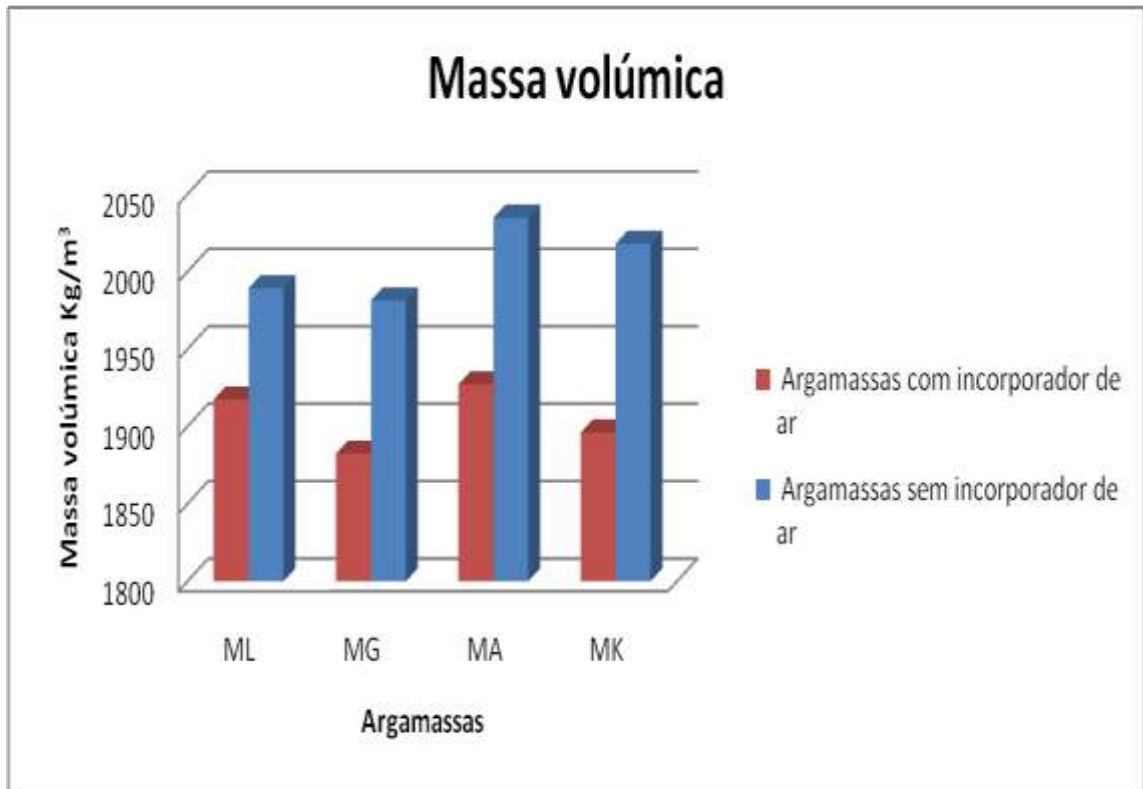


Figura 23- Comparação dos vários tipos de argamassas com e sem incorporador de ar.

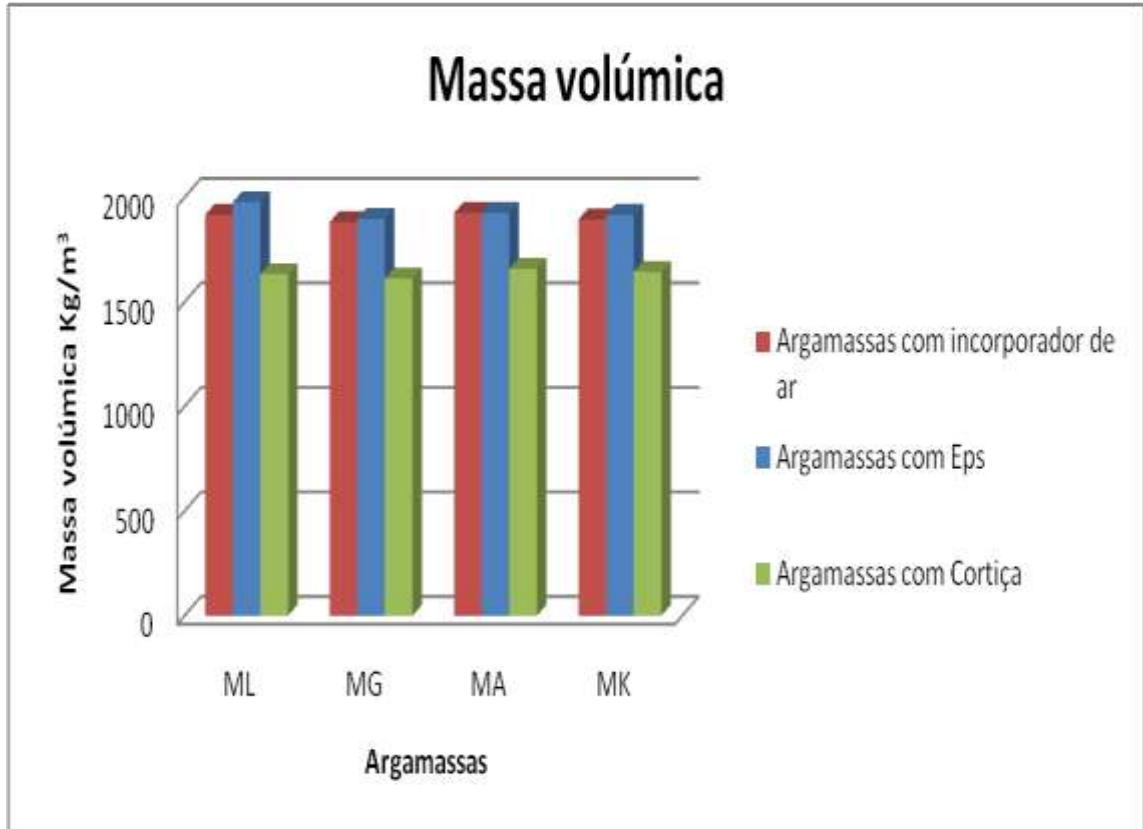


Figura 24- Comparação dos vários tipos de argamassas com incorporador de ar, Eps e cortiça.

A Tabela 11 apresenta os resultados referentes às propriedades medidas nas argamassas no estado fresco. O intervalo de consistência desejada foi obtido pelas misturas ML, MG, MA, MK, MLI, MGI, MAI, MKI, ML-Eps, MK-Eps, ML-Cor e MK-Cor. As argamassas MG-Eps, MA-Eps, MG-Cor e MA-Cor não estão dentro do intervalo de consistência previsto,  $190 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ .

Na Figura 21 observa-se que as argamassas apresentam uma retenção de água elevada, indiciando um bom comportamento quando aplicadas em condições atmosféricas adversas (tempo seco e quente).

A retenção de água aumenta com a introdução de cal aérea. Esta observação é coerente com (Rodrigues, 2004) que refere que é esperado que as argamassas com maior teor de cal aérea apresentem maior valor de retenção de água, sendo uma característica benéfica da utilização deste material.

Nas Figuras 22, 23 e 24 as argamassas base (ML, MG, MA, MK) apresentam valores de massa volúmica superiores às argamassas com incorporador de ar, Eps e cortiça. A Figura 24 mostra que as argamassas com Eps apresentam uma massa volúmica ligeiramente maior do que as argamassas com incorporador de ar e cortiça, isso deve-se ao facto da dificuldade da obtenção da massa volúmica aparente do Eps. Na verdade a grandeza determinada não traduz exactamente o volume ocupado pretendido de material na argamassa. Este engano foi verificado á posteriori através de nova determinação da massa volúmica aparente. Nesta nova determinação o processo de preenchimento do recipiente foi modificado, sendo então realizado através de um método mais enérgico, ao invés da simples queda de uma altura de 10 cm tal como se fazia para os demais materiais.

Na Tabela 12 apresentam-se os valores dos parâmetros reológicos obtidos pelo modelo de Bingham para as misturas ensaiadas. Nesta podemos constatar que o valor para o parâmetro  $g$ , que indica a tensão de cedência da mistura, é crescente para a sequência de misturas de argamassas base ML, MA, MG, MK. O que indica também uma maior solidez da estrutura mesoscópica da mistura ML e por consequência uma maior resistência da mesma ao início de escoamento. As argamassas base com adição de cortiça apresentam todas elas, uma menor resistência ao início de escoamento em comparação as argamassas com adição de introdutor de ar e Eps.

Os atritos internos nas misturas MG, MK, MA e MLI são menores que nas restantes misturas, assim como a resistência que oferecem ao aumento da velocidade de escoamento.

Tais constatações realçam a maior sensibilidade dos estudos reológicos a favor de uma melhor identificação do comportamento da argamassa no estado fresco.

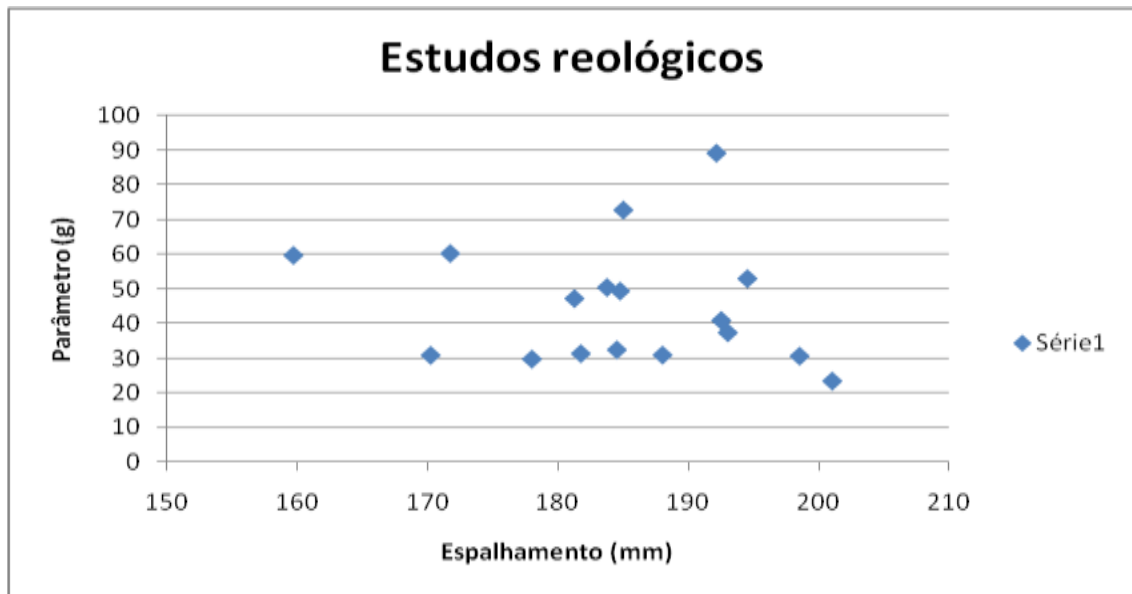


Figura 25- Parâmetro g versus espalhamento.

Na Figura 25 reúnem-se os resultados de espalhamento na mesa de fluidez e o respectivo valor de g, indicativo da tensão de cedência das argamassas estudadas. Pode-se concluir pela não correlação destes dois parâmetros.

Tabela 12- Equações do modelo reológico.

Misturas	Modelo de Bingham	R <sup>2</sup>
	T = g + h N	
<b>ML</b>	T= 30,722 + 0,0688 N	0,725
<b>MG</b>	T= 40,982 + 0,027 N	0,286
<b>MA</b>	T= 37,469 + 0,032 N	0,426
<b>MK</b>	T= 89,031 + 0,0626 N	0,139
<b>MLI</b>	T= 52,975 + 0,0309 N	0,338
<b>MGI</b>	T= 49,427 + 0,0848 N	0,739
<b>MAI</b>	T= 31,444 + 0,0817 N	0,968
<b>MKI</b>	T= 47,268 + 0,0827 N	0,781
<b>ML-EPS</b>	T= 31,034 + 0,0731 N	0,780
<b>MG-EPS</b>	T= 59,666 + 0,0397 N	0,234
<b>MA-EPS</b>	T= 60,218 + 0,1659 N	0,809
<b>MK-EPS</b>	T= 50,444 + 0,1574 N	0,846
<b>ML-Cor</b>	T= 23,557 + 0,0988 N	0,958
<b>MG-Cor</b>	T= 30,968 + 0,0866 N	0,868
<b>MA-Cor</b>	T= 29,87 + 0,0807 N	0,909
<b>MK-Cor</b>	T= 32,545 + 0,0941 N	0,842
<b>ML-Eps 1,25 litro</b>	T= 72,694 + 0,0616 N	0,214

Se analisarmos as curvas de escoamento apresentadas na Figura 26, 27 e 28 constata-se que a mistura cujo escoamento ocorre sob baixa tensão são as misturas, ML, ML-Cor, MG-Cor, MA-Cor e ML-Eps. Pelos valores de tensão de cedência  $g$  e de viscosidade plástica  $h$ , apresentados na Tabela 12, pode-se constatar um comportamento reológico mais favorável das argamassas com adição de resíduos.

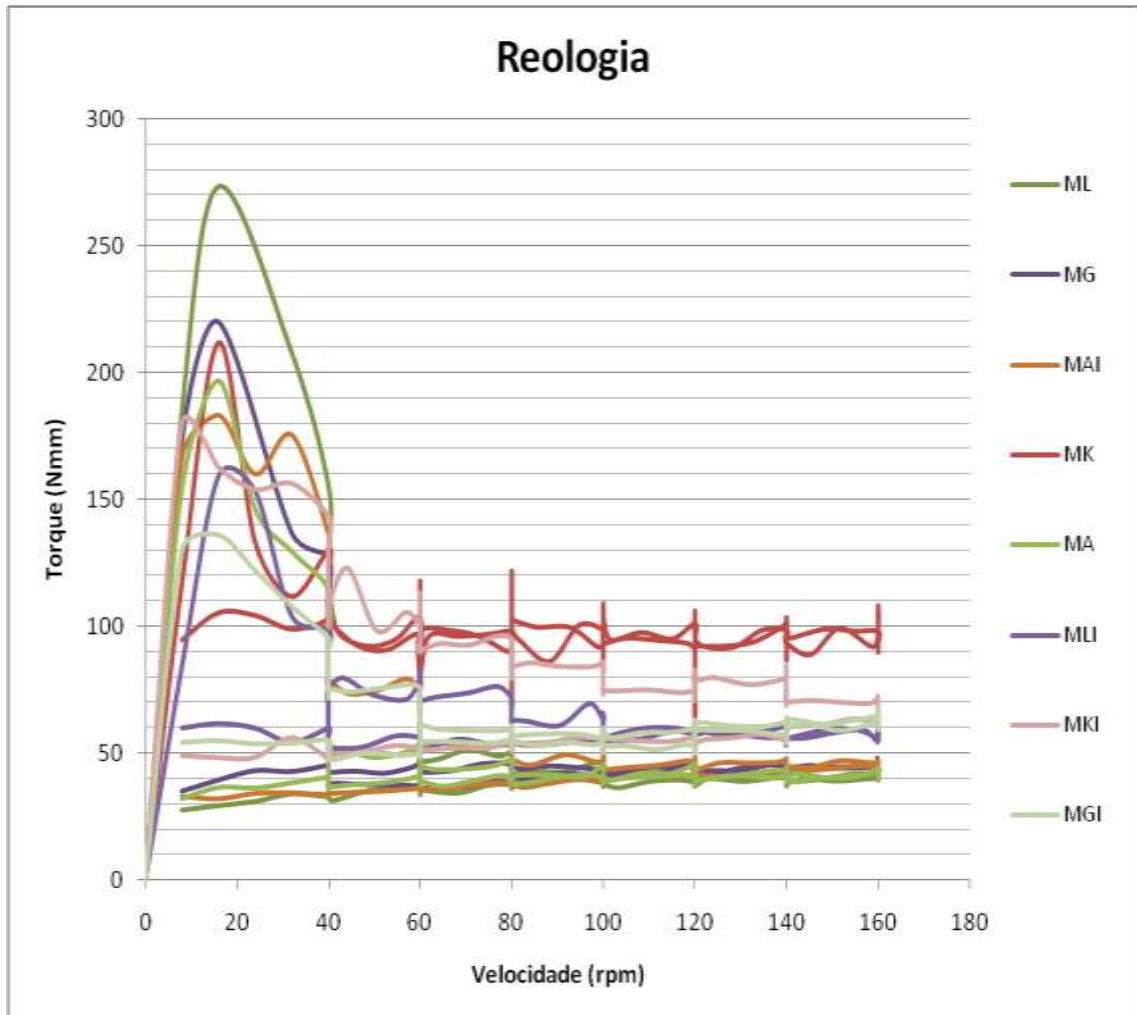


Figura 26- Curvas de escoamento torque x velocidade ( argamassas base comparação com argamassas com incorporador de ar ) .

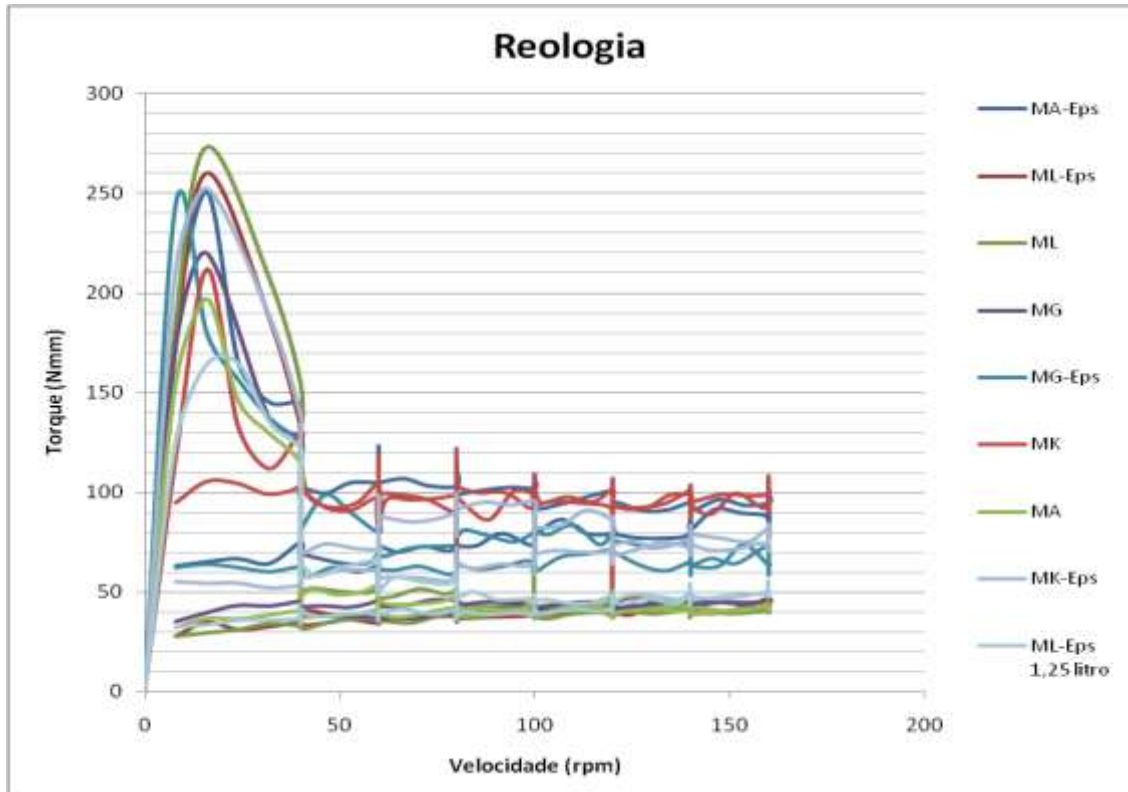


Figura 27- Curvas de escoamento torque x velocidade ( argamassas base comparação com argamassas com Eps).

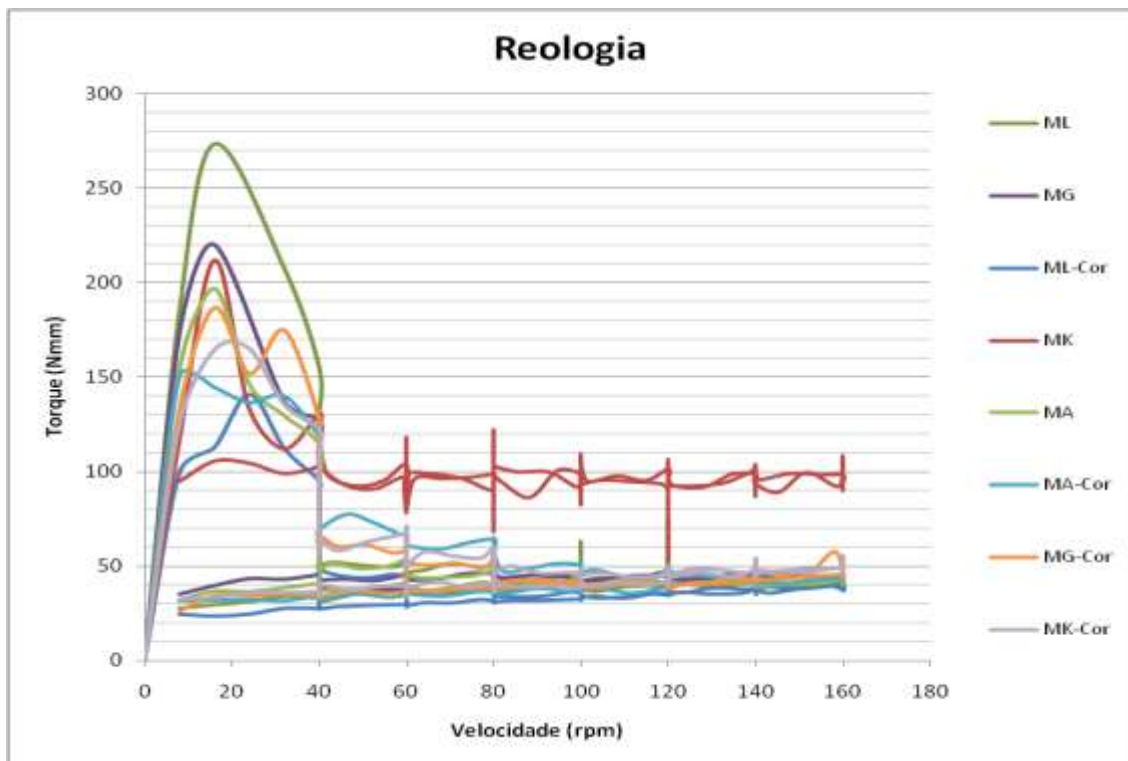


Figura 28- Curvas de escoamento torque x velocidade ( argamassas base comparação com argamassas com cortiça).

#### 4.6.2 Propriedades das argamassas endurecidas

As resistências mecânicas são, de todos os factores que influenciam a durabilidade das argamassas, um dos mais importantes. Por esta razão, na maioria dos trabalhos de investigação são referidas estas características na caracterização das argamassas. Neste trabalho de investigação, e no que corresponde aos ensaios de resistências mecânicas, é realizado o ensaio de resistência à tracção por flexão e, seguidamente, já com as metades de provetes provenientes deste, é realizado o ensaio de resistência à compressão.

Os valores de resistência à tracção das argamassas variam consoante os diferentes tipos de argamassas aos 28 dias (Figura 29). De acordo com o que foi obtido, a tendência é de subida dos valores de resistência à tracção de algumas argamassas com a utilização do introdutor de ar. Estes valores contrariam a opinião geral do introdutor de ar, que ao aumentar a porosidade das argamassas, diminui as suas resistências mecânicas.

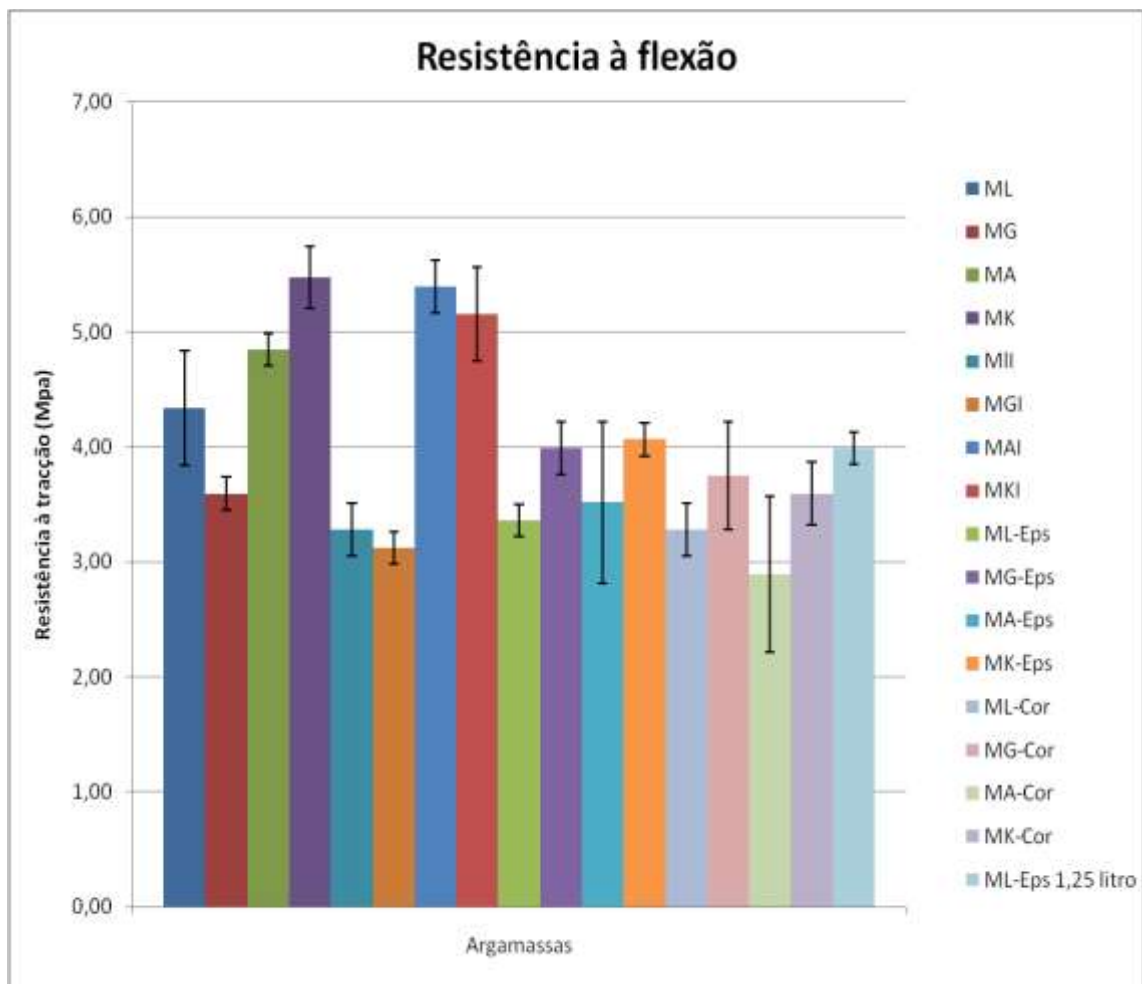


Figura 29- Resistência à flexão das argamassas aos 28 dias.

Os resultados apresentados na Figura 30, que são referentes à resistência à compressão dos diferentes tipos de argamassas, foram surpreendentes em vários aspectos. De acordo com o que foi obtido, a tendência é de subida dos valores de resistência à compressão das argamassas MAI e MKI com a utilização do introdutor de ar. Estes valores contrariam a opinião geral de que o introdutor de ar, ao aumentar a porosidade das argamassas, diminui as suas resistências mecânicas. O comportamento deste produto deveria ser melhor estudado para uma melhor compreensão do seu efeito nas argamassas já que, é destinado para betões.

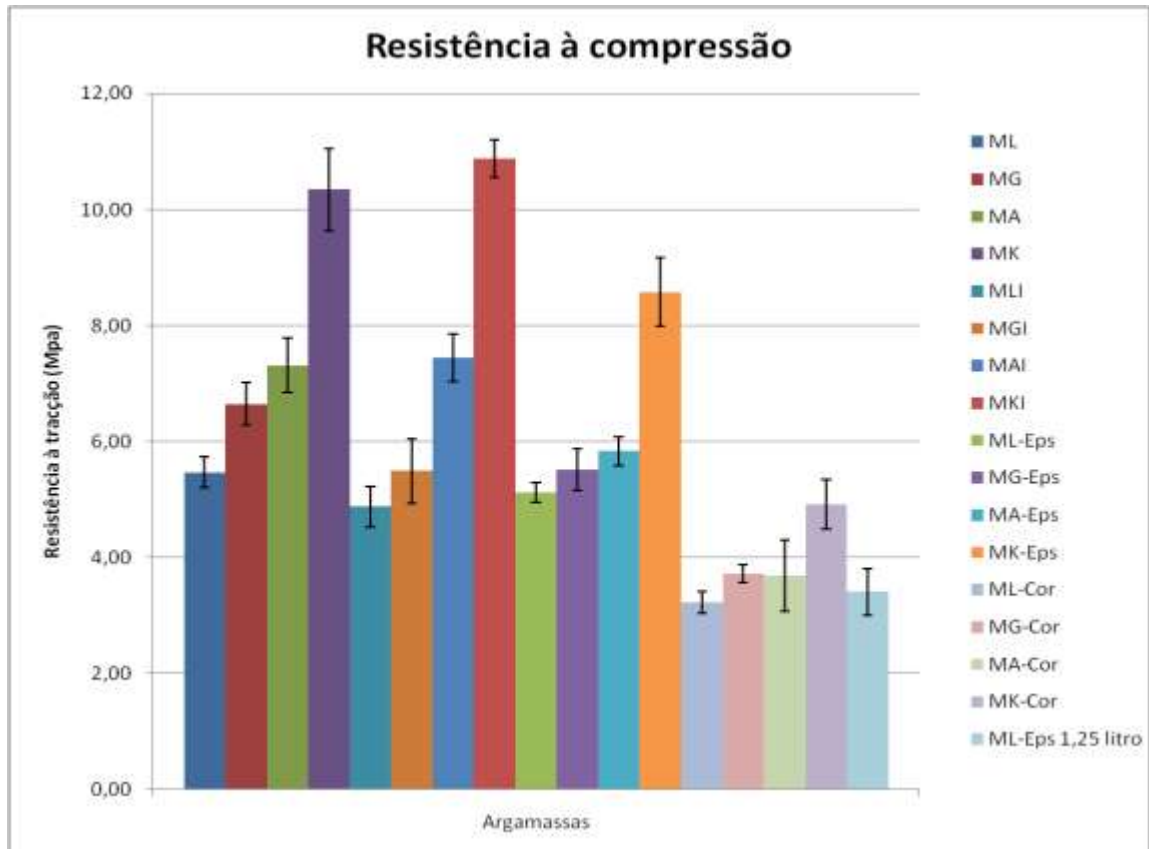


Figura 30- Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias.

Após a determinação da resistência à compressão e a tração das diferentes argamassas, é possível obter um valor da ductilidade das argamassas através da relação  $R_t/R_c$ . A ductilidade indica a capacidade da argamassa se deformar consoante as solicitações mecânicas a que está sujeita. Segundo Veiga, et al. (1994), quanto maior este coeficiente, mais ductil é a argamassa. Um comportamento mais ductil permite otimizar as resistências das argamassas às tensões criadas, sem que sejam transmitidos esforços muito elevados para o suporte. Os valores da relação  $R_t/R_c$  apresentados na Tabela 13 mostra que estamos perante tipos de argamassas com alguma ductilidade.

Outra ideia da ductilidade pode ser expressa pelo módulo de elasticidade.

O módulo de elasticidade dinâmico permite avaliar a deformabilidade das argamassas, ao aumento da deformabilidade das argamassas corresponde uma diminuição do seu módulo de elasticidade.

Através da análise dos resultados obtidos neste estudo experimental do módulo de elasticidade, Tabela 13 foi possível confirmar que o módulo de elasticidade das argamassas é reduzido na maioria das argamassas, com o aumento do teor de ar incorporado, em comparação à série base de argamassas (ML, MG, MA, MK), por permitir maior capacidade de acomodação das deformações, reduzindo o risco de aparecimento de fissuras em um revestimento que seja executado com a mesma.

Tabela 13- Propriedades das argamassas endurecidas.

Tipo	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidade (GPa)	Rt/Rc aos 28 dias (MPa)
<b>ML</b>	1802	7,7	0,8
<b>MG</b>	1860	9,2	0,5
<b>MA</b>	1936	7,1	0,7
<b>MK</b>	1867	8,6	0,5
<b>MLI</b>	1749	6,0	0,7
<b>MGI</b>	1754	8,1	0,6
<b>MAI</b>	1830	7,4	0,7
<b>MKI</b>	1784	8,3	0,5
<b>ML-EPS</b>	1814	7,3	0,7
<b>MG-EPS</b>	1769	9,3	0,7
<b>MA-EPS</b>	1796	8,4	0,6
<b>MK-EPS</b>	1795	8,0	0,5
<b>ML-Cor</b>	1489	4,7	1,0
<b>MG-Cor</b>	1525	5,7	1,0
<b>MA-Cor</b>	1556	6,7	0,8
<b>MK-Cor</b>	1523	7,3	0,7
<b>ML-Eps 1,25 litro</b>	1634	5,7	1,2

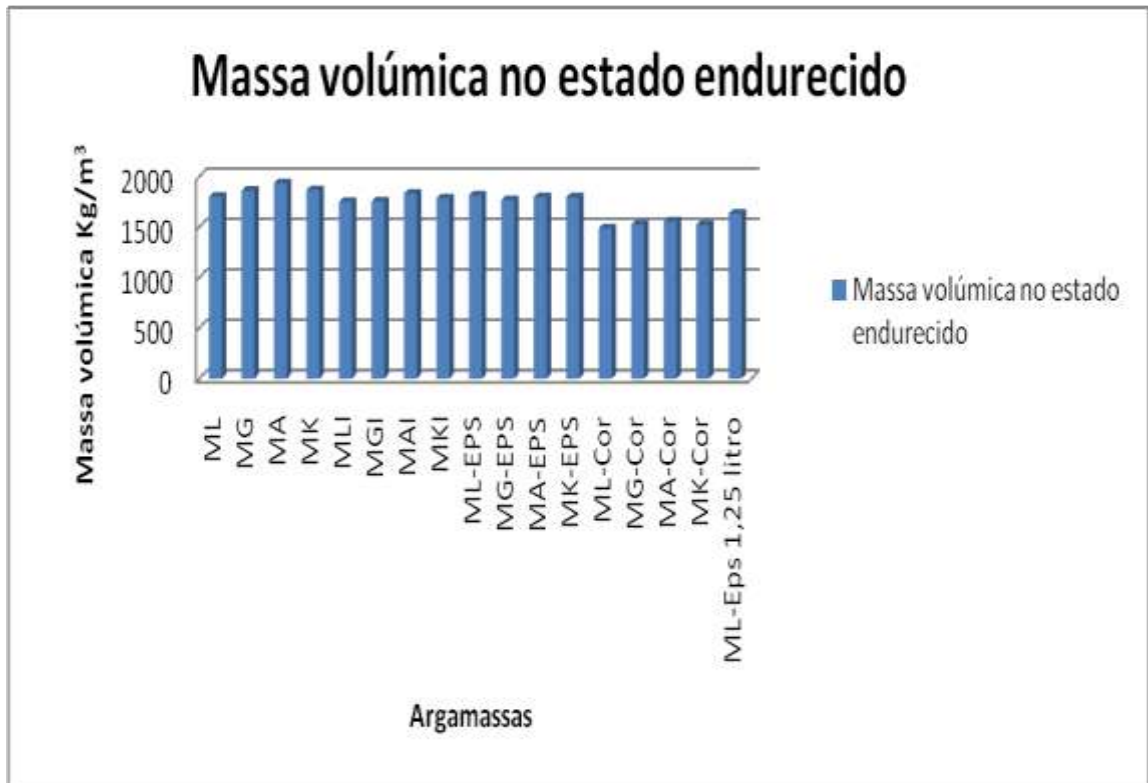


Figura 31- Massa volúmica no estado endurecido ( $\text{kg/m}^3$ ) dos diferentes tipos de argamassas.

A Figura 31 apresenta os resultados da massa volúmica no estado endurecido, podendo-se obter a mesma conclusão que foi obtida da massa volúmica no estado fresco, com a única diferença de se obterem valores ligeiramente mais reduzidos de massa volúmica.

O ensaio de absorção de água por capilaridade permite avaliar a cinética de absorção de água das argamassas ao longo do tempo até atingir o equilíbrio, correspondente à absorção máxima. Este ensaio é de extrema importância na caracterização do comportamento das argamassas aos ciclos gelo/degelo.

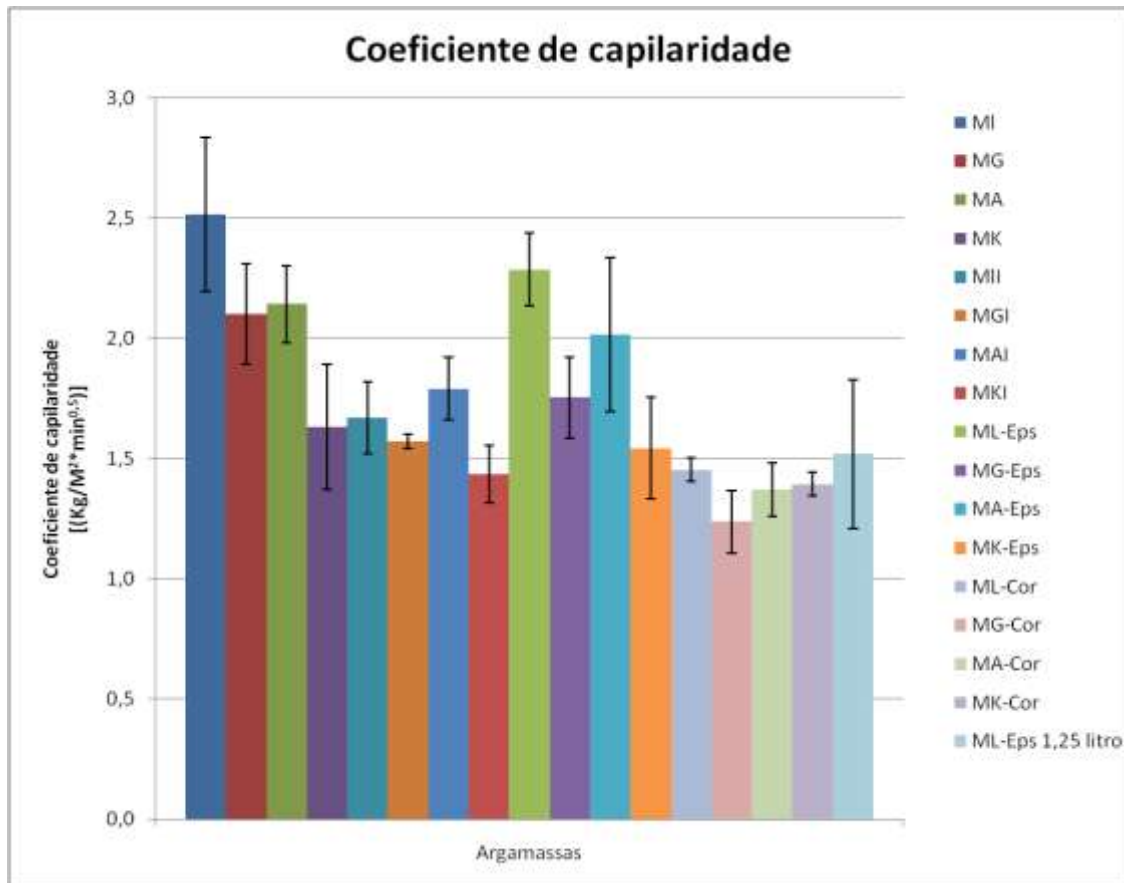


Figura 32- Coeficiente de capilaridade das argamassas aos 28 dias.

Na Figura 32 observa-se que os coeficientes de capilaridade obtidos aos 28 dias de idade são menores para as argamassas MGI, ML-Cor e MK-Cor, considerando os seus respectivos valores de desvio padrão  $0,03 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  para argamassa MGI,  $0,05 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  para a ML-Cor e por fim  $0,05 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  para MK-Cor. Ao possuir uma superfície específica mais elevada, pela incorporação respectiva de resíduos de vidro com introdutor de ar, cal aérea com cortiça e metacaulino com cortiça, as misturas apresentam poros de menores dimensões e tal como observa (Rato, 2006), poros de menores dimensões conduzem a coeficientes de capilaridade menores.

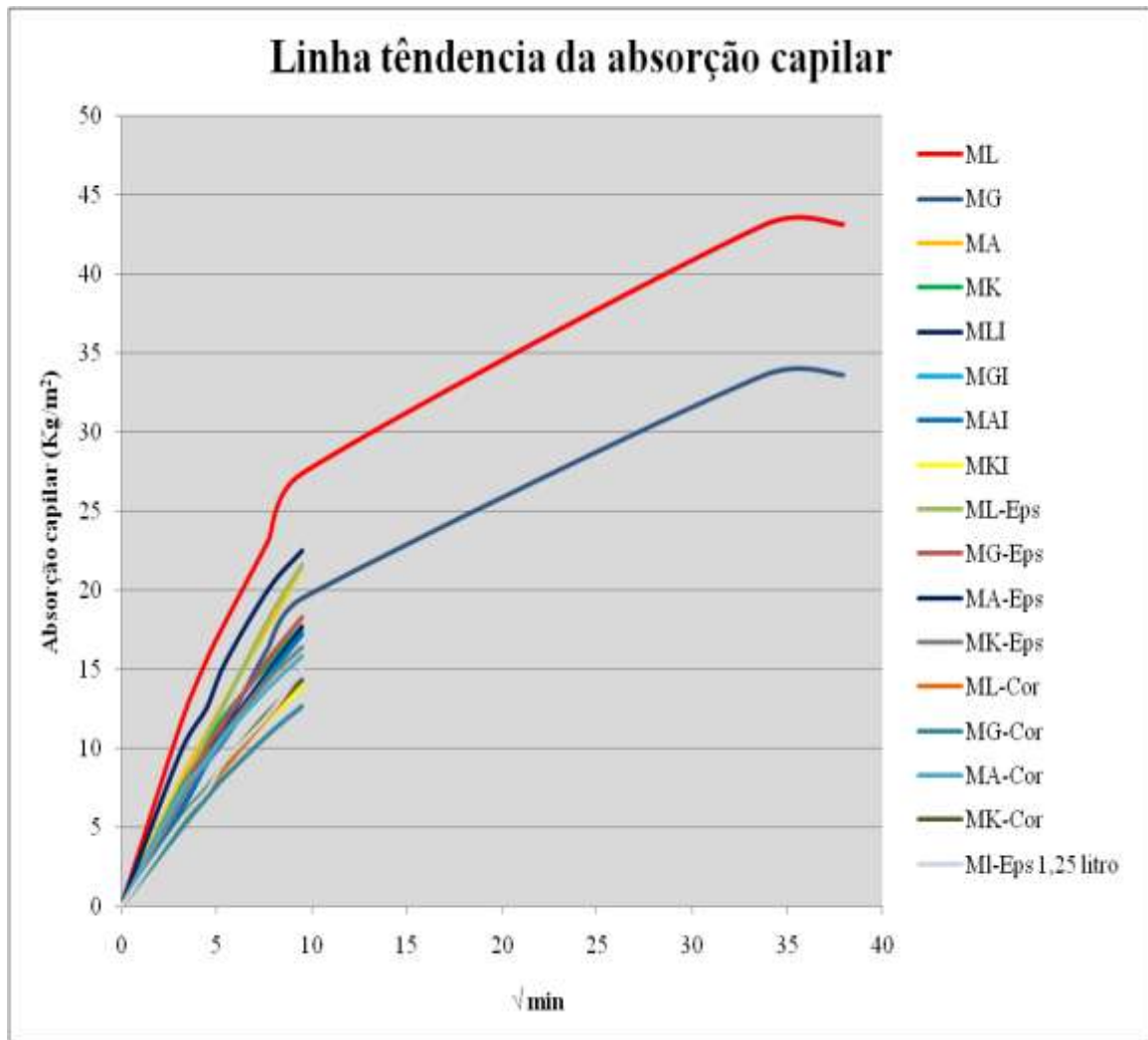


Figura 33- Linhas tendência de absorção capilar dos dezasseis tipos de argamassas em relação ao tempo.

A Figura 33 traduz a evolução de absorção de água por capilaridade das argamassas em função do tempo. Neste ensaio foram-se registando as medições do peso aos 10, 20, 30, 60 minutos, 19 e 24 horas para as argamassas ML e MG. Para os restantes tipos de argamassas só foram realizadas medições até aos 60 minutos, uma vez que se depara, que das 19 horas para as 24 horas, é a altura em que a franja capilar atinge uma altura estável à partir da qual a pressão capilar é insuficiente para gerar ascensão da água. O efeito de gravidade nos poros capilares compete para essa estabilidade.

O ensaio de ciclos gelo/degelo permite avaliar a perda de massa dos provetes ao longo de 30 ciclos, verificando-se, assim, uma forma gradual de caracterizar a acção que a congelação/descongelação tem nas diferentes argamassas. Este é, naturalmente, o ensaio que melhor caracteriza o comportamento de argamassas em climas frios.

Além desse ensaio também foi feita uma comparação do módulo de elasticidade dinâmico e da velocidade dinâmica, uma vez que estes ensaios também nos podem revelar alterações importantes na estrutura das argamassas sujeitas a baixas temperaturas.

A Figura 34 e 35 mostram os provetes dentro da arca numa fase inicial, em que a temperatura interior é 17°C.



Figura 34- Arca gelo/degelo.



Figura 35- Argamassas na arca gelo/degelo.

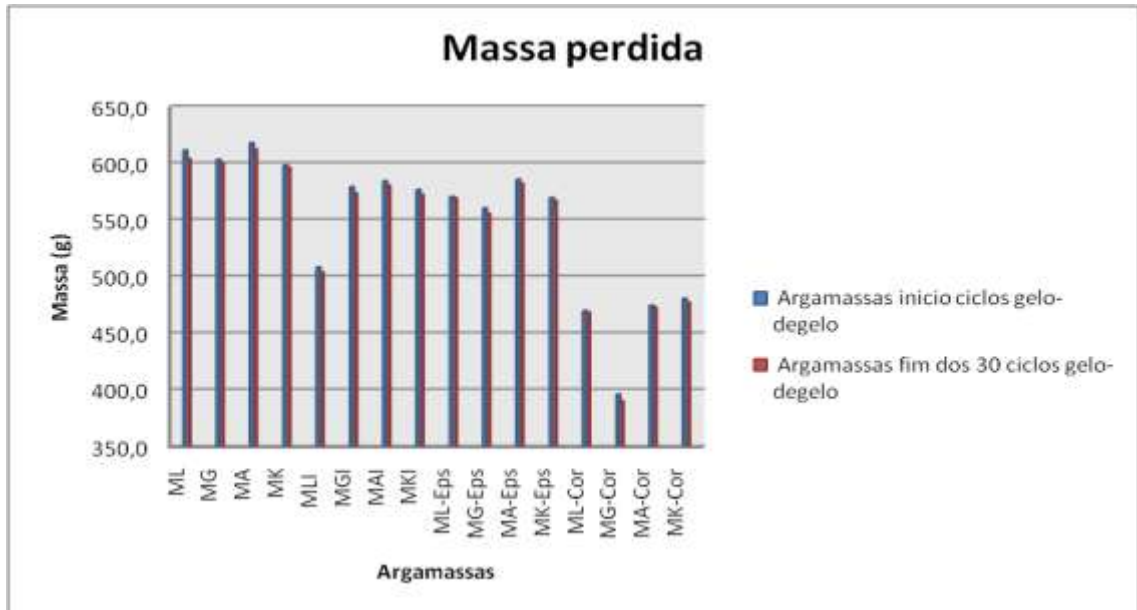


Figura 36- Massa perdida ao fim de 30 ciclos gelo/degelo.

A Figura 36 mostra uma quase uniformidade da perda de massa dos provetes sob à acção dos ciclos gelo/degelo em as todas as argamassas ensaiadas. Observou-se uma perda de massa ao fim dos 30 ciclos gelo/degelo, sendo essa perda mínima de 0,19 % na argamassa ML-Eps e a perda máxima de 1,52 % na argamassa MG-Cor, as demais argamassas tiveram perdas que variaram entre 0,19 % e 1,52 %. Observadas as percentagens de perda de massa, pode-se concluir que essas perdas são consideravelmente pequenas tendo em vista a boa resposta das argamassas face ao ciclo gelo degelo efectuado e as condições de simulação suficientes dos provetes para as condições de um revestimento.

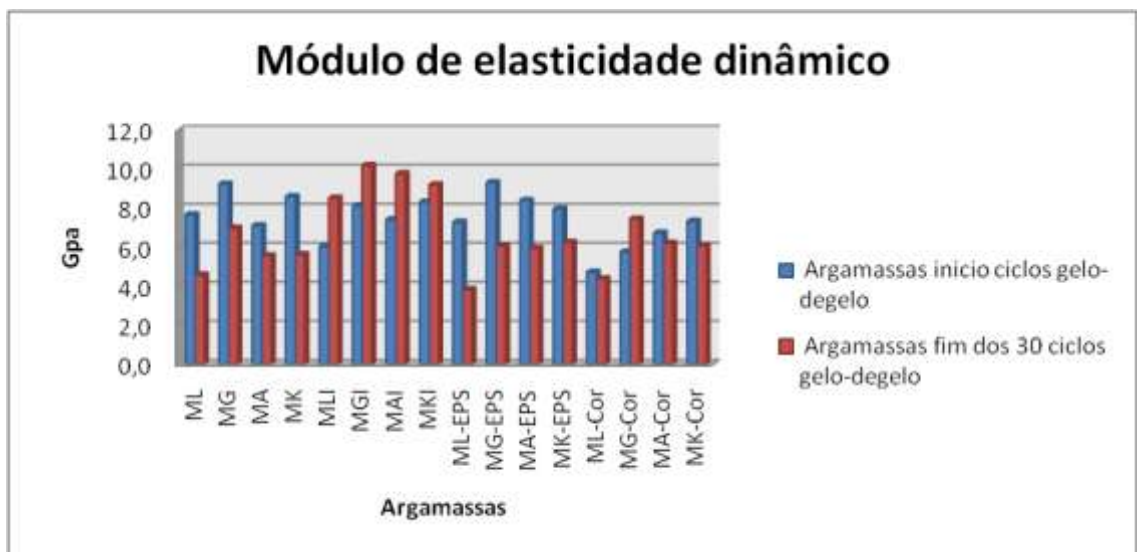


Figura 37- Comparação do Módulo de elasticidade dinâmico dos diferentes tipos de argamassas no fim 30 ciclos gelo/degelo.

A Figura 37 permite analisar o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas antes e depois dos 30 ciclos gelo/degelo.

O módulo de elasticidade dinâmico permite avaliar a deformabilidade das argamassas, ao aumento da deformabilidade das argamassas corresponde uma diminuição do seu módulo de elasticidade.

Pela interpretação do gráfico da Figura 37, as argamassas ML, MG, MA, MK, ML-Eps, MG-Eps, MA-Eps, MK-Eps e MG-Cor apresentam um módulo de elasticidade dinâmico mais baixo ao fim dos 30 ciclos gelo/degelo, isto significa que ao fim dos 30 ciclos estas argamassas apresentam uma deformabilidade muito maior que no seu início. Esta dedução deve-se ao facto de que o módulo de elasticidade dinâmico é directamente dependente da massa volúmica do material. Na verdade o que aqui se passa é que qualquer fissuração interna fruto da expansão e retracção provocada pelo ciclo gelo/degelo trará certamente modificação ao valor do módulo. Este comportamento poderá ser também observado e confirmado com os resultados obtidos pela simples velocidade ultra-sónica.

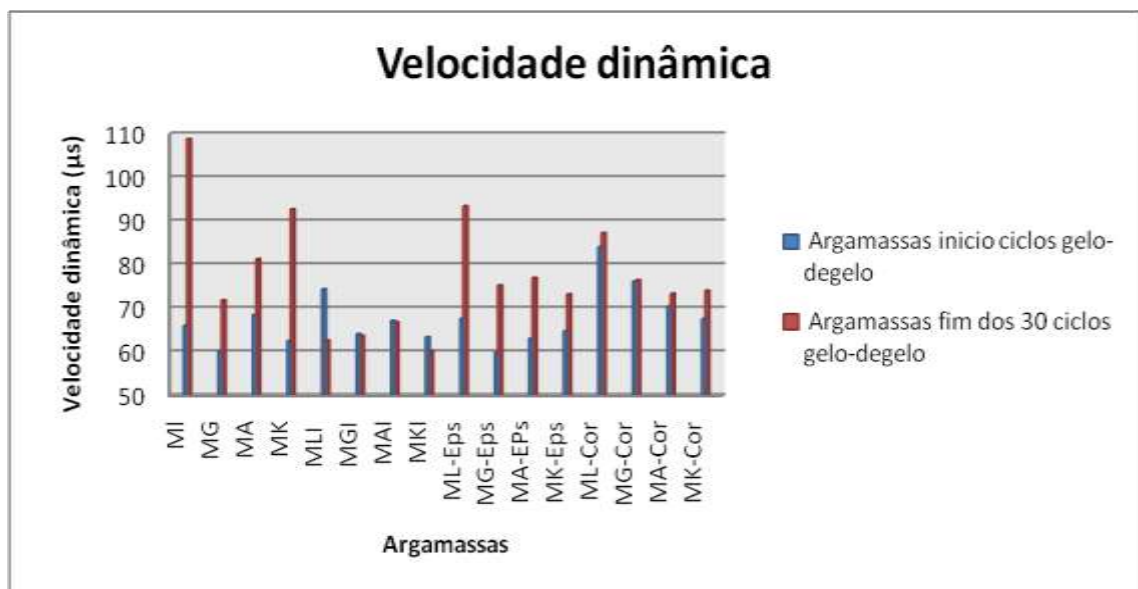


Figura 38- Comparação da velocidade dinâmica ao fim dos 30 ciclos gelo/degelo.

A Figura 38 mostra-nos uma comparação da velocidade dinâmica das argamassas em estudo.

O resultado apresentado na Figura 41 mostra-nos que as argamassas ML, MG, MA, MK, ML-Eps, MG-Eps, MA-Eps, MK-Eps, ML-Cor, MG-Cor, MA-Cor e MK-Cor apresentam uma velocidade dinâmica maior que a inicial para o mesmo tipo de argamassas, significando isto, que estas argamassas apesar de algumas delas não ser visível á vista humana, como no caso de fissuras exteriores, este ensaio de velocidade dinâmico é de extrema importância uma vez que nos pode indicar que existe fissuras interiores em algumas argamassas, e estas podem apresentar fragilidades tão importantes como aquelas traduzidas pela existência de fissuras externas.



Figura 39- Exemplo de uma argamassa ao fim dos 30 ciclos gelo/degelo.

Por outro lado, a classificação MERUC apresenta faixas mais estreitas e considera outros requisitos. A Tabela 14 apresenta os resultados dos ensaios e a classificação MERUC das amostras analisadas.

Tabela 14- Classificação MERUC.

Amostras	M (kg/m <sup>3</sup> )	E (MPa)	R (MPa)	U (%)	C (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	M E R U C
ML	1802	7660	4,3	91	2,5	5 ; 3 ; 5 ; 4 ; 3
MG	1860	9233	3,6	85	2,1	5 ; 3 ; 5 ; 3 ; 2
MA	1936	7102	4,8	86	2,1	5 ; 3 ; 6 ; 3 ; 2
MK	1867	8594	5,5	89	1,6	5 ; 3 ; 6 ; 4 ; 2
MLI	1749	6024	3,3	87	1,7	5 ; 2 ; 5 ; 4 ; 2
MGI	1754	8120	3,1	84	1,6	5 ; 3 ; 5 ; 3 ; 2
MAI	1830	7402	5,4	85	1,8	5 ; 3 ; 6 ; 3 ; 2
MKI	1784	8312	5,2	88	1,4	5 ; 3 ; 6 ; 4 ; 2
ML-EPS	1814	7284	3,4	87	2,3	5 ; 3 ; 5 ; 4 ; 3
MG-EPS	1769	9300	4,0	84	1,8	5 ; 3 ; 5 ; 3 ; 2
MA-EPS	1796	8391	3,5	86	2,0	5 ; 3 ; 5 ; 3 ; 2
MK-EPS	1795	7959	4,1	88	1,5	5 ; 3 ; 5 ; 4 ; 2
ML-Cor	1489	4715	3,3	86	1,5	5 ; 2 ; 5 ; 3 ; 2
MG-Cor	1525	5745	3,8	82	1,2	5 ; 2 ; 5 ; 3 ; 2
MA-Cor	1556	6723	2,9	85	1,4	5 ; 2 ; 4 ; 3 ; 2
MK-Cor	1523	7331	3,6	86	1,4	5 ; 2 ; 5 ; 3 ; 2

Das dezasseis amostras estudadas e classificadas na metodologia MERUC, tem-se:

- ✓ Densidade de massa no estado endurecido - resultados predominantes nas classes 4 e 5.
- ✓ Módulo de elasticidade - argamassas distribuídas entre as classes 2 e 3.
- ✓ Resistência à tracção na flexão - argamassas distribuídas entre as classes 5 e 6; uma amostra pertence à classe 4.
- ✓ Retenção de água - as argamassas classificadas entre as classes 3 e 4.
- ✓ Capilaridade - as argamassas classificadas entre as classes 2 e 3.

O *cahier des prescriptions techniques d'emploi et de mise en oeuvre - Cahier 2669- 2*<sup>5</sup> prescreve as classes da argamassas a serem utilizadas em situações específicas da obra.

<sup>5</sup> CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT - Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation - Cahier des prescriptions techniques d'emploi et de mise en oeuvre, Livraison 341, cahier 2669-2, juillet-août 1993. Paris.

As condicionantes que delimitam o tipo de argamassa a ser utilizada são:

- ✓ Tipo de exposição da parede do envelope da edificação,
- ✓ Condições atmosféricas, ou melhor, o microclima,
- ✓ Tipo de revestimento de acabamento, decorativo.

Nessas condições, as argamassas ensaiadas devem atender aos seguintes requisitos:

#### Condição da parede

- Forte exposição à chuva (C1 ou C2) MG, MA, MK, MLI, MGI, MAI, MKI, MG-Eps, MA-Eps, MK-Eps, ML-Cor, MG-Cor, MA-Cor, MK-Cor.
- Exposição a choques e deterioração ( $E \geq 3$  e  $R \geq 3$ ) todas as amostras.
- Parede enterrada ( $M \geq 4$ ,  $R \geq 3$  e  $C \leq 2$ ) todas as amostras menos ML, ML-Eps.

#### Condições atmosféricas

- Clima quente ou vento (U5 ou U6) nenhuma das amostras.
- Clima frio (M5 ou M6) todas as amostras.

#### Revestimentos eventuais

- Cerâmico ( $E \geq 4$  e  $R \geq 4$ ) todas as amostras.

Da análise da Tabela 14 pode-se verificar que, pela classificação MERUC, as argamassas em estudo situam-se nas faixas de baixo módulo de elasticidade, mas com elevadas classes de resistências à tracção.

De acordo com a classificação MERUC os valores apresentados identificam argamassas em estudo de baixa capilaridade que pertencem a classe 2 e 3.

A amostragem das argamassas em estudo atende a todas as especificações prescritas a serem utilizadas em situações específicas da obra.

Segundo as condicionantes que delimitam o tipo de argamassa a serem utilizadas, tendo em conta a presente tese ser o estudo das argamassas sob acções gelo-degelo, segundo as condições climatéricas, todas as argamassas apresentam bom desempenho em clima frio, a maioria dessas argamassas como está demonstrado na análise acima, apresentam uma capacidade para forte exposição à chuva inclusive uma óptima exposição a choques e deterioração.

A Tabela 15 e 16 apresentam a classificação segundo a norma EN 998-1.

Tabela 15- Classificação de categorias para as propriedades no estado endurecido (resistência á compressão).

Amostras	R (MPa)	EN 998-1
ML	5,5	CS III
MG	6,7	CS III
MA	7,3	CS III
MK	10,3	CS IV
MLI	4,9	CS III
MGI	5,5	CS III
MAI	7,4	CS III
MKI	10,9	CS IV
ML-EPS	5,1	CS III
MG-EPS	5,5	CS III
MA-EPS	5,8	CS III
MK-EPS	8,6	CS IV
ML-Cor	3,2	CS II
MG-Cor	3,7	CS II
MA-Cor	3,7	CS II
MK-Cor	4,9	CS II

Em termos de resistência à compressão, a EN 998-1 define que argamassas de uso geral e monocamadas podem ter classes de CSI a CSIV. Analisando os valores correspondentes aos 28 dias das argamassas estudadas, verifica-se que todas as argamassas pertencem a estas classes.

Numa análise mais detalhada, verifica-se que a maioria das argamassas pertence à classe CSIII, à excepção das argamassas contendo cortiça, que pertencem a classes mais baixas CSII.

Tabela 16- Classificação de categorias para as propriedades no estado endurecido (absorção de água por capilaridade).

Amostras	C (Kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	EN 998-1
ML	0,25	W 1
MG	0,21	W 1
MA	0,21	W 1
MK	0,16	W 2
MLI	0,17	W 2
MGI	0,16	W 2
MAI	0,18	W 2
MKI	0,14	W 2
ML-EPS	0,23	W 1
MG-EPS	0,18	W 2
MA-EPS	0,20	W 2
MK-EPS	0,15	W 2
ML-Cor	0,15	W 2
MG-Cor	0,12	W 2
MA-Cor	0,14	W 2
MK-Cor	0,14	W 2

O coeficiente de absorção de água por capilaridade,  $c$ , associado a uma determinada espessura de revestimento tem influência determinante no comportamento face à capacidade de impermeabilização desse revestimento.

A norma EN 998-1 (2003) define que os revestimentos monocamada devem ter este coeficiente entre as categorias W1 ( $c \leq 0,40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ ) e W2 ( $c \leq 0,20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ ).

Foram realizados os ensaios de capilaridade após os 28 dias de cura, como se pode verificar na Tabela 16, o coeficiente de capilaridade na maioria das argamassas em estudo mantém-se na categoria mais exigente, W2.

## Conclusões

Tendo em vista os resultados dos ensaios, podemos concluir:

- O intervalo de consistência desejada foi obtido pelas misturas ML, MG, MA, MK, MLI, MGI, MAI, MKI, ML-Eps, MK-Eps, ML-Cor e MK-Cor. As argamassas MG-Eps, MA-Eps, MG-Cor e MA-Cor não estão dentro do intervalo de consistência previsto,  $190 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ .
- As argamassas em estudo apresentam uma retenção de água elevada, indiciando um bom comportamento quando aplicadas em condições atmosféricas adversas (tempo seco e quente).
- Os atritos internos nas misturas MG, MK, MA e MLI são menores que nas restantes misturas, assim como a resistência que oferecem ao aumento da velocidade de escoamento.
- O resultado de resistência à tracção e à compressão registou-se uma subida dos valores de resistência à tracção das argamassas MAI e MKI. Estes valores contrariam a opinião geral do introdutor de ar, que ao aumentar a porosidade das argamassas, diminui as suas resistências mecânicas.
- Os valores da relação  $R_t/R_c$  apresentados mostram, que estamos perante tipos de argamassas com alguma ductilidade.
- O módulo de elasticidade das argamassas é reduzido na maioria das argamassas, com o aumento do teor de ar incorporado, em comparação à série base de argamassas (ML, MG, MA, MK)
- Os coeficientes de capilaridade obtidos aos 28 dias de idade são menores para as argamassas MGI, ML-Cor e MK-Cor.
- Segundo classificação MERUC, as argamassas em estudo situam-se nas faixas de baixo módulo de elasticidade, mas com elevadas classes de resistências à tracção. De acordo com a classificação MERUC os valores apresentados identificam argamassas em estudo de baixa capilaridade que pertencem a classe 2 e 3.
- Em termos de resistência à compressão, segundo a EN 998-1, verificou-se que a maioria das argamassas pertence à classe CSIII, à excepção das argamassas base (ML, MG, MA, MK) contendo cortiça, que pertencem a classes mais baixas CSII.

- Segundo a norma EN 998-1 (2003), o coeficiente de capilaridade na maioria das argamassas em estudo, pertenceu a categoria mais exigente, W2.
- Tendo em conta que a presente dissertação estudou as argamassas sob acções gelo/degelo e depois de realizado todos os ensaios previstos e as análises dos resultados, pode-se por fim concluir que as argamassas estudadas apresentam bom desempenho sob acções simuladas de gelo/degelo.

## Bibliografia

ARANDIGOYEN, M. et al - Lime-pastes with different kneading water: Pore structure and capillary porosity. Applied Surface Science 252 (2005) pp. 1449-1459.Elsevier, 2005.

ARANDIGOYEN, M; ALVAREZ, J.I. - Blended pastes of cement and lime: Pore structure and capillary porosity. Applied Surface Science 252 (2006) pp. 8077-8085.Elsevier, 2005.

ARANDIGOYEN, M; ALVAREZ, J.I.- Pore structure and Mechanical properties of cement-lime mortars.Cement and Concrete Research 37 (2007) pp. 767-775.Elsevier, 2007.

Botas, S. E. M. - Avaliação do comportamento de argamassas em climas frios. Lisboa, 2009.

CAI, H.; LIU, X. - Freeze-thaw durability of concrete: Ice formation process in pores. Cement and Concrete Research 28 (1998) pp. 1281-1287.Elsevier, 1998.

CAO, Jingyao; CHUNG, D. D. L. - Damage evolution during freeze-thaw cycling of cement mortar, studied by electrical resistivity measurement.Cement and Concrete Research 32 (2002) pp. 1657-1661.Elsevier, 2002.

CAVACO; Luís Soares Ribeiro Gomes - Técnicas de aplicação de argamassas de revestimento em edifícios antigos. Influência no desempenho. Lisboa, Março de 2005. Tese de Mestrado pelo Instituto Superior Técnico.

CHATTERJI,S. - Aspects of the freezing process in a porous material - water system Part 1 Freezing and the properties of water and ice. Cement and Concrete Research 29 (1999) pp. 627-630.Elsevier, 1999.

CHATTERJI,S. - Aspects of the freezing process in a porous material - water system Part 2 Freezing and the properties of frozen porous materials. Cement and Concrete Research 29 (1999) pp. 781-784.Elsevier, 1999.

CHATTERJI, S. - Freezing of air-entrained cement-based materials and specific actions of air-entraining agents. Cement and Concrete Research 25 (2003) pp. 759-765. Elsevier, 2002.

CHO, Taejun - Prediction of cyclic freeze-thaw damage in concrete structures based on response surface method. Construction and Building Materials 21 (2007) pp.2031-2040. Elsevier, 2007.

COUTINHO, A. de Sousa - Fabrico e Propriedades do Betão, volume I. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2.<sup>a</sup> edição, Lisboa, 1988.

COUTINHO, A. S. - Fabrico e propriedades do betão. Volumes I, II e III. 3.<sup>a</sup> edição. Lisboa: LNEC 1997. ISBN 972-49-0326-5.

COUTINHO, J. S. - Materiais de construção 2 - 1.<sup>a</sup> parte - Ligantes e Caldas. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2006.

CULTRONE, G. et al - Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural changes. Cement and Concrete Research 35 (2005) pp. 2278-2289. Elsevier, 2005.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Methods of test for mortar for masonry - Part 3: *Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Brussels: CEN; February 1999. EN 1015-3.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Methods of test for mortar for masonry - Part 6: *Determination of bulk density of fresh mortar*. Brussels: CEN; October 1998. EN 1015-6.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Methods of test for mortar for masonry - Part 8: *Determination of water retentivity of fresh mortar*. Brussels: CEN; September 1999. prEN 1015-8, draft European Standard.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Methods of test for mortar for masonry - Part 11: *Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels: CEN; November 1999. EN 1015-11.

998-1, EN. 2003. *Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar*. CEN: European Committee for Standardization. 2003.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN)- Methods of test for mortar for masonry - Part 18: *Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. Brussels: CEN; December 2002. EN 1015-18.

Goto, T. Influence des paramètres moléculaires du latex sur l'hydratation, la rhéologie et les propriétés mécaniques des composites ciment/latex, Thèse de Doctorat Physique et Chimie des Matériaux, Université Paris VI, France, 2006

HANSEN, Eric F. et al - Lime Putties and Mortars. Studies in conservation 53 (2008) pp.9-23. IIC, 2008.

LANAS, J. et al - Mechanical properties of natural hydraulic lime-based mortars. Cement and Concrete Research 34 (2004) pp. 2191-2201. Elsevier, 2004.

LANAS, J.; ALVAREZ, J.I. - Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior. Cement and Concrete Research 33 (2003) pp. 1867-1876. Elsevier, 2003

LAWRENCE, R. M. et al - Effects of carbonation on the pore structure of non-hydraulic lime mortars. Cement and Concrete Research 37 (2007) pp. 1059-1069. Elsevier, 2007.

Magalhães, Ana Cristiana. 2002. *Patologias de rebocos antigos. LNEC, Cadernos de Edifícios.* 2002.

Monte, R.; Almeida, V., Kudo, E. K.; Barros, M. S. B.; John, V. M. *Módulo de elasticidade dinâmico: comparação entre velocidade da onda ultrassônica e frequência ressonante.* VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas - VIISBTA 2007. Recife - Pernambuco, 01 a 04 de Maio de 2007

MOSQUERA, M. J. et al - Pore structure in mortars applied on restoration - Effect on properties relevant to decay of granite buildings. Cement and Concrete Research 32 (2002) pp. 1883-1888. Elsevier, 2002.

MOSQUERA, M. J. et al - Addition of cement to lime based mortars: Effect on pore structure and vapour transport. Cement and Concrete Research 36 (2006) pp. 1635-1642. Elsevier, 2005.

Nepomuceno, M. C. S. - Metodologia para a composição de Betões auto-compctáveis. Covilhã, 2005.

Norma Portuguesa NP 2064 - Cimentos. Definições, Composição, Especificações e Critérios de conformidade, IPQ, 1991.

Norma Portuguesa NP ENV206: 1993 Betão: Comportamento, Produção, Colocação e Critérios de conformidade - Lisboa, Instituto Português da Qualidade, 1993.

Nero, J. M. Gaspar. 2007. *Conservação e Reabilitação de Edifícios - Capítulo V. Folhas da cadeira de Conservação e reabilitação de Edifícios leccionada no Instituto Superior Técnico*. 2007.

PAIVA, H.; SEABRA, M. P.; LABRINCHA, J. A.; FERREIRA, V. M. & Efeito da natureza do ligante no comportamento em fresco de uma argamassa de reabilitação. 2.º Congresso nacional de argamassas de construção. Lisboa, 2007.

PALOMO, A. et al - Historic mortars: Characterization and durability. *New Tendencies for Research*.

PEREIRA, T. A. R. - Optimização das características de humedecimento e secagem de argamassas. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2008.

POPPE, A. M.; DE SCHUTTER, G. - Quantification of the water demand of sand in mortar. *Construction and Building Materials* 18 (2004) pp. 517-521. Elsevier, 2004.

RATO, V. N. M. - Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas.

Tese de Doutoramento de Engenharia Civil apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2006.

RODRIGUES, Paulina Faria - Argamassas de revestimento para alvenarias antigas - Contribuição para o estudo da influência dos ligantes. Lisboa, 2004. Tese de Doutoramento pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

SEABRA, M. P. et al - Rheological behaviour of hydraulic lime-based mortars. *Journal of the European Ceramic Society* 27 (2007) pp. 1735-1741. Elsevier, 2006.

VAN BALEN, K. - Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature. *Cement and Concrete Research* 35 (2005) pp. 647-657. Elsevier, 2004.

Veiga, M. R., Carvalho, F.R. - *Argamassas de revestimento na reabilitação do património urbano*. In 2º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Lisboa, LNEC, Junho/Julho de 1994. Vol. I. pp 195-206.

VEIGA, M. Rosário - Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação. Lisboa, LNEC, Maio de 1997. Tese de doutoramento pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

VEIGA, M. Rosário et al - Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Lisboa, LNEC, Julho 2004, colecção Edifícios.

VEIGA, M. Rosário - Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos. Seminário “Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos”. Lisboa, LNEC, 14-15 de Fevereiro de 2005.

VEIGA, M. Rosário - Os revestimentos antigos e a identidade dos edifícios. Arquitectura Ibérica. Reabilitação. Nº 12, 2006.

YANG, Z. et al - Water Transport in Concrete Damaged by Tensile Loading and Freeze-Thaw Cycling. Journal of materials in Civil Engineering May/June (2006) pp. 424-434. ASCE, 2006.

# **Anexos**





MA									
data				Traços em massa					
moldagem	desmoldagem			cimento	cal	areia	água		
06-Abr	08-Abr-10	MA	cinzas	1	1,05	6,7	17%	400g cimento	
13-Abr	04-Mai							420g cinzas	
								2680g areia	
Massas volúmicas da argamassa fresca Kg/m3								595g água	
MA	cinzas	2034,9							
Consistência flow-table(mm)		flow (mm)		DP	CV%	Ret água (%)		retenção de água (g)	
D1		185	193	5,94	3,08	86,48		m1	383,5
D2		192						m2	5,4
D1		198						m3	775
D2		197						m4	769,1
w3		9 g		nº p filtro	3			m'2	14,4
		3 ≤10g						m5	391,5
w2		66,555 g						mrecipiente(g)	1309,3
w1		0,17						vrecipiente(l)	1,2064
w4		13,52265044 %						mrec+arg(g)	3764,2
wrv		86,47734956 %							

MAI		com incorporador de ar							
data				Traços em massa					
moldagem	desmoldagem			cimento	cal	areia	água		
08-Abr	12-Abr-10	MAI	cinzas	1	1,05	6,7	15%	400g cimento	
16-Abr	07-Mai							420g cinzas	
								2680g areia	
Massas volúmicas da argamassa fresca Kg/m3								525g água	
MAI	cinzas	1927,2				0,5g sika AER5			
Consistência flow-table(mm)		flow (mm)		DP	CV%	Ret água (%)		retenção de água (g)	
D1		182	181,8	1,26	0,69	84,6		m1	383,5
D2		183						m2	5,3
D1		182						m3	755,4
D2		180						m4	769,1
w3		8,6 g		nº p filtro	3			m'2	13,9
		2,9 ≤10g						m5	371,9
w2		55,785 g						mrecipiente(g)	1309,3
w1		0,15						vrecipiente(l)	1,2064
w4		15,4 %						mrec+arg(g)	3634,3
wrv		84,6 %							

cal hidratada c/ poliestereno		ML-Eps		0,5 litro					
data				Traços em massa					
moldagem	desmoldagem			cimento	cal	poliestereno	areia	água	
19-Abr	21-Abr-10	ML-Eps		1	0,35	0,00369	6,69631	20%	1,48g Eps
	17-Mai								400g cimento
									140g cal hidratada
Massas volúmicas da argamassa fresca Kg/m3								2678,52g areia	
ML-Eps		1978,4				640g água			
Consistência flow-table(mm)		flow (mm)		DP	CV%	Ret água (%)		retenção de água (g)	
D1		205	188	16,91	9,00	87,48		m1	383,5
D2		200						m2	5,1
D1		175						m3	766,8
D2		172						m4	769,1
w3		9,6 g		nº p filtro	3			m'2	14,7
		3,2 ≤10g						m5	383,3
w2		76,66 g						mrecipiente(g)	1309,3
w1		0,2						vrecipiente(l)	1,2064
w4		12,5228281 %						mrec+arg(g)	3696
wrv		87,4771719 %							

cal hidratada c/ poliestereno		ML-Eps	1,25 litro					
data		Traços em massa					7,5g Eps	
moldagem	desmoldagem		cimento	cal	poliestereno	areia	água	400g cimento
06-Jul	08-Jul-10	ML-Eps	1	0,35	0,01875	6,68125	20%	140g cal hidratada
03-Ago		Massas volúmicas da argamassa fresca Kg/m3					2672,5g areia	
		ML-Eps	1823,9				640g água	
Consistência flow-table(mm)		flow (mm)	DP	CV%	Ret água (%)	retenção de água (g)		
D1	183	185	4,40	2,38	87,68	m1	383,5	
D2	180					m2	5,5	
D1	190					m3	724,4	
D2	187					m4	769,1	
w3	8,4 g	nº p filtro	3			m'2	13,9	
	2,8 ≤10g					m5	340,9	
w2	68,18 g					mrecipiente(g)	1309,3	
w1	0,2					vrecipiente(l)	1,2064	
w4	12,32033 %					mrec+arg(g)	3509,7	
wrv	87,67967 %							

pozolana c/ poliestereno		MG-Eps	1,25 litro					
data		Traços em massa					3,69g Eps	
moldagem	desmoldagem		cimento	vidro	poliestereno	areia	água	400g cimento
03-Mai	05-Mai-10	MG-Eps	1	0,72	0,00923	6,69077	16%	288g vidro
31-Mai		Massas volúmicas da argamassa fresca Kg/m3					2676,31g areia	
		MG-Eps	1898,5				538,9g água	
Consistência flow-table(mm)		flow (mm)	DP	CV%	Ret água (%)	retenção de água (g)		
D1	160	159,75	0,50	0,31	84,28	m1	383,5	
D2	160					m2	5,4	
D1	160					m3	745,3	
D2	159					m4	769,1	
w3	9,1 g	nº p filtro	3			m'2	14,5	
	3,0 ≤10g					m5	361,8	
w2	57,888 g					mrecipiente(g)	1309,3	
w1	0,16					vrecipiente(l)	1,2064	
w4	15,7 %					mrec+arg(g)	3599,7	
wrv	84,28 %							

		<b>Materiais</b>	<b>Massa volumica aparente (kg/l)</b>					
		poliestereno	0,00738					
metacaulino c/ poliestereno		MK-Eps	1,25 litro					
data		Traços em massa					3,69g Eps	
moldagem	desmoldagem		cimento	metacaulino	poliestereno	areia	água	400g cimento
04-Mai	06-Mai-10	MK-Eps	1	0,3	0,00923	6,69077	21%	120g cal metacaulino
01-Jun		Massas volúmicas da argamassa fresca Kg/m3					2676,31g areia	
		MK-Eps	1917,6				672g água	
Consistência flow-table(mm)		flow (mm)	DP	CV%	Ret água (%)	retenção de água (g)		
D1	179	183,75	6,18	3,37	88,16	m1	383,5	
D2	179					m2	5	
D1	192					m3	765,7	
D2	185					m4	769,1	
w3	9,5 g	nº p filtro	3			m'2	14,5	
	3,2 ≤10g					m5	382,2	
w2	80,262 g					mrecipiente(g)	1309,3	
w1	0,21					vrecipiente(l)	1,2064	
w4	11,8 %					mrec+arg(g)	3622,7	
wrv	88,16 %							

		Materiais	Massa volumica aparente (kg/l)					
		poliestereno	0,00738					
cinzas c/ poliestereno	MA-Eps	1,25 litro						
data		Traços em massa				3,69g Eps		
moldagem	desmoldagem	cimento	cinzas	poliestereno	areia	água	400g cimento	
07-Mai	10-Mai-10	MA-Eps	1	1,05	0,00923	6,69077	17%	
		04-Jun				2676,31g areia		
		Massas volúmicas da argamassa fresca Kg/m3				595g água		
		MA-Eps	1926,9					
Consistência flow-table(mm)		flow (mm)	DP	CV%	Ret água (%)	retenção de água (g)		
D1	170	171,75	2,75	1,60	85,76	m1	383,5	
D2	169					m2	5,1	
D1	175					m3	780,1	
D2	173					m4	769,1	
w3	9,6 g	nº p filtro	3			m'2	14,7	
	3,2 ≤10g					m5	396,6	
w2	67,422 g					mrecipiente(g)	1309,3	
w1	0,17					vrecipiente(l)	1,2064	
w4	14,24%					mrec+arg(g)	3633,9	
wrv	85,76%							

cal hidratada c/ cortiça		ML-Cort	1,25 litro					
data		Traços em massa				49,86g cortiça		
moldagem	desmoldagem	cimento	cal	cortiça	areia	água	400g cimento	
20-Abr	22-Abr-10	ML-Cort	1	0,35	0,12465	6,57535	20%	
		18-Mai				140g cal hidratada		
		ML-Cort				2630,14g areia		
		Massas volúmicas da argamassa fresca Kg/m3				640g água		
		ML-Cort	1633,6					
Consistência flow-table(mm)		flow (mm)	DP	CV%	Ret água (%)	retenção de água (g)		
D1	202	201	2,58	1,28	85,79	m1	383,5	
D2	204					m2	5,4	
D1	198					m3	700,2	
D2	200					m4	769,1	
w3	9 g	nº p filtro	3			m'2	14,4	
	3 ≤10g					m5	316,7	
w2	63,34 g					mrecipiente(g)	1309,3	
w1	0,2					vrecipiente(l)	1,2064	
w4	14,20903063%					mrec+arg(g)	3280,1	
wrv	85,79096937%							

pozolana c/ cortiça		MG-Cort	1,25 litro					
data		Traços em massa				49,86g cortiça		
moldagem	desmoldagem	cimento	vidro	cortiça	areia	água	400g cimento	
04-Mai	06-Mai-10	MG-Cort	1	0,72	0,12465	6,57535	16%	
		01-Jun				288g vidro		
		MG-Cort				2630,14g areia		
		Massas volúmicas da argamassa fresca Kg/m3				538,9g água		
		MG-Cort	1612,2					
Consistência flow-table(mm)		flow (mm)	DP	CV%	Ret água (%)	retenção de água (g)		
D1	173	170,25	4,50	2,64	81,75	m1	383,5	
D2	174					m2	5,1	
D1	170					m3	698,5	
D2	164					m4	769,1	
w3	9,2 g	nº p filtro	3			m'2	14,3	
	3,1 ≤10g					m5	315	
w2	50,4 g					mrecipiente(g)	1309,3	
w1	0,16					vrecipiente(l)	1,2064	
w4	18,3%					mrec+arg(g)	3254,3	
wrv	81,75%							

		Materiais		Massa volumica aparente (kg/l)				
		cortiça		0,09972				
metacaulino c/ cortiça		MK-Cort		1,25 litro				
data		Traços em massa					49,86g cortiça	
moldagem	desmoldagem	cimento	metacaulino	cortiça	areia	água	400g cimento	
05-Mai	07-Mai-10	MK-Cort	1	0,3	0,12465	6,57535	21%	120g metacaulino
		02-Jun					2630,14g areia	
		Massas volúmicas da argamassa fresca Kg/m3					672g água	
		MK-Cort					1644,6	
Consistência flow-table(mm)		flow (mm)	DP	CV%	Ret água (%)	retenção de água (g)		
D1		187	184,5	3,32	1,80	86,44	m1	383,5
D2		184					m2	5,3
D1		180					m3	699,5
D2		187					m4	769,1
							m'2	14,3
w3		9g	nº p filtro	3			m5	316
		3 ≤10g					mrecipiente(g)	1309,3
w2		66,36g					vrecipiente(l)	1,2064
w1		0,21					mrec+arg(g)	3293,3
w4		13,6%						
wrv		86,4%						

cinzas c/ cortiça		MA-Cort		1,25 litro				
data		Traços em massa					49,86g cortiça	
moldagem	desmoldagem	cimento	cinzas	cortiça	areia	água	400g cimento	
11-Mai	13-Mai-10	MA-Cort	1	1,05	0,12465	6,57535	17%	420g cinzas
		08-Jun					2630,14g areia	
		Massas volúmicas da argamassa fresca Kg/m3					595g água	
		MA-Cort					1658,5	
Consistência flow-table(mm)		flow (mm)	DP	CV%	Ret água (%)	retenção de água (g)		
D1		179	178	1,15	0,65	85,19	m1	383,5
D2		177					m2	5,5
D1		179					m3	713,2
D2		177					m4	769,1
							m'2	13,8
w3		8,3g	nº p filtro	3			m5	329,7
		2,8 ≤10g					mrecipiente(g)	1309,3
w2		56,049g					vrecipiente(l)	1,2064
w1		0,17					mrec+arg(g)	3310,1
w4		14,8%						
wrv		85,19%						

		Reistência à flexão		28dias	f (28 dias)	f média	DP	CV%		
		F (N)	b (mm)							d (mm)
Mistura	Provete				(N/mm2)	(N/mm2)	(N/mm2)			
MI	1		40	40					Rt/Rc	
	2	1700	40	40	3,98	4,34	0,50	11,47	0,8	
	3	2000	40	40	4,69				0,5	
MG	10	1500	40	40	3,52				0,7	
	11	1600	40	40	3,75	3,59	0,14	3,77	0,5	
	12	1500	40	40	3,52				0,7	
MA	37	2100	40	40	4,92				0,6	
	38	2000	40	40	4,69	4,84	0,14	2,79	0,7	
	39	2100	40	40	4,92				0,5	
MK	31	2400	40	40	5,63				0,7	
	32	2400	40	40	5,63	5,47	0,27	4,95	0,7	
	33	2200	40	40	5,16				0,6	
MII	25	1400	40	40	3,28				0,5	
	26	1500	40	40	3,52	3,28	0,23	7,14	1,0	
	27	1300	40	40	3,05				1,0	
MGI	19	1300	40	40	3,05				0,8	
	20	1400	40	40	3,28	3,13	0,14	4,33	0,7	
	21	1300	40	40	3,05				1,2	
MAI	49	2200	40	40	5,16					
	50	2300	40	40	5,39	5,39	0,23	4,35		
	51	2400	40	40	5,63					
MKI	43	2100	40	40	4,92					
	44	2100	40	40	4,92	5,16	0,41	7,87		
	45	2400	40	40	5,63					
ML-Eps	55	1500	40	40	3,52					
	56	1400	40	40	3,28	3,36	0,14	4,03		
	57	1400	40	40	3,28					
MG-Eps	67	1700	40	40	3,98					
	68	1800	40	40	4,22	3,98	0,23	5,88		
	69	1600	40	40	3,75					
MA-Eps	91	1800	40	40	4,22					
	92	1200	40	40	2,81	3,52	0,70	20,00		
	93	1500	40	40	3,52					
MK-Eps	73	1800	40	40	4,22					
	74	1700	40	40	3,98	4,06	0,14	3,33		
	75	1700	40	40	3,98					
ML-Cor	61	1300	40	40	3,05					
	62	1400	40	40	3,28	3,28	0,23	7,14		
	63	1500	40	40	3,52					
MG-Cor	79	1800	40	40	4,22					
	80	1600	40	40	3,75	3,75	0,47	12,50		
	81	1400	40	40	3,28					
MA-Cor	97	900	40	40	2,11					
	98	1400	40	40	3,28	2,89	0,68	23,41		
	99	1400	40	40	3,28					
MK-Cor	85	1400	40	40	3,28					
	86	1600	40	40	3,75	3,59	0,27	7,53		
	87	1600	40	40	3,75					
ML-Eps 1,25 litro	103	1700	40	40	3,98					
	104	1600	40	40	3,75	3,98	0,23	5,88		
	105	1800	40	40	4,22					

		Resistência à Compressão							
				F (N)	Area	fc (28 dias)	fc média	DP	CV %
Mistura	Provete			(mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )		
ML	1	a	8800	1600	5,5				
		b	9300	1600	5,8				
	2	a	8200	1600	5,1	5,47	0,27	4,99	
		b	8400	1600	5,3				
	3	a	9200	1600	5,8				
	b	8600	1600	5,4					
MG	10	a	9700	1600	6,1				
		b	10200	1600	6,4				
	11	a	10800	1600	6,8	6,65	0,37	5,57	
		b	11100	1600	6,9				
	12	a	10700	1600	6,7				
	b	11300	1600	7,1					
MA	37	a	11700	1600	7,3				
		b	11300	1600	7,1				
	38	a	10900	1600	6,8	7,31	0,47	6,40	
		b	11500	1600	7,2				
	39	a	13100	1600	8,2				
	b	11700	1600	7,3					
MK	31	a	15200	1600	9,5				
		b	16800	1600	10,5				
	32	a	16300	1600	10,2	10,34	0,71	6,83	
		b	17800	1600	11,1				
	33	a	17800	1600	11,1				
	b	15400	1600	9,6					
MLI	25	a	7100	1600	4,4				
		b	7400	1600	4,6				
	26	a	8200	1600	5,1	4,88	0,35	7,21	
		b	7400	1600	4,6				
	27	a	8300	1600	5,2				
	b	8400	1600	5,3					
MGI	19	a	8700	1600	5,4				
		b	9600	1600	6,0				
	20	a	9400	1600	5,9	5,49	0,56	10,27	
		b	9200	1600	5,8				
	21	a	7100	1600	4,4				
	b	8700	1600	5,4					
MAI	49	a	11000	1600	6,9				
		b	12400	1600	7,8				
	50	a	11200	1600	7,0	7,44	0,41	5,52	
		b	12500	1600	7,8				
	51	a	11900	1600	7,4				
	b	12400	1600	7,8					
MKI	43	a	16900	1600	10,6				
		b	17900	1600	11,2				
	44	a	17500	1600	10,9	10,88	0,33	3,00	
		b	18000	1600	11,3				
	45	a	17400	1600	10,9				
	b	16700	1600	10,4					

<b>ML-Eps</b>	55	a	8500	1600	5,3			
		b	8200	1600	5,1			
	56	a	7700	1600	4,8	5,11	0,17	3,41
		b	8100	1600	5,1			
	57	a	8200	1600	5,1			
		b	8400	1600	5,3			
<b>MG-Eps</b>	67	a	8900	1600	5,6			
		b	9000	1600	5,6			
	68	a	8700	1600	5,4	5,52	0,36	6,47
		b	8100	1600	5,1			
	69	a	8500	1600	5,3			
		b	9800	1600	6,1			
<b>MA-Eps</b>	91	a	9500	1600	5,9			
		b	9000	1600	5,6			
	92	a	9900	1600	6,2	5,83	0,25	4,21
		b	9300	1600	5,8			
	93	a	8800	1600	5,5			
		b	9500	1600	5,9			
<b>MK-Eps</b>	73	a	14100	1600	8,8			
		b	14100	1600	8,8			
	74	a	14300	1600	8,9	8,57	0,59	6,91
		b	11800	1600	7,4			
	75	a	13900	1600	8,7			
		b	14100	1600	8,8			
<b>ML-Cor</b>	61	a	4900	1600	3,1			
		b	5700	1600	3,6			
	62	a	5000	1600	3,1	3,22	0,19	5,98
		b	5300	1600	3,3			
	63	a	5100	1600	3,2			
		b	4900	1600	3,1			
<b>MG-Cor</b>	79	a	5600	1600	3,5			
		b	6000	1600	3,8			
	80	a	6000	1600	3,8	3,72	0,16	4,35
		b	5700	1600	3,6			
	81	a	6100	1600	3,8			
		b	6300	1600	3,9			
<b>MA-Cor</b>	97	a	4600	1600	2,9			
		b	5600	1600	3,5			
	98	a	7400	1600	4,6	3,69	0,62	16,81
		b	6700	1600	4,2			
	99	a	5500	1600	3,4			
		b	5600	1600	3,5			
<b>MK-Cor</b>	85	a	7500	1600	4,7			
		b	6900	1600	4,3			
	86	a	8000	1600	5,0	4,92	0,42	8,61
		b	8200	1600	5,1			
	87	a	8900	1600	5,6			
		b	7700	1600	4,8			
<b>ML-Eps 1,25 litro</b>	85	a	5200	1600	3,3			
		b	5000	1600	3,1			
	86	a	5100	1600	3,2	3,41	0,40	11,65
		b	4900	1600	3,1			
	87	a	6400	1600	4,0			
		b	6100	1600	3,8			

Ensaio de ultra som Modulo de elasticidade dinâmico											
		Tempo	L	$\rho$	V	v	Ed	Edm	Sd	CoV	
Mistura	Proвете	$\mu$ s	mm	kg/m <sup>3</sup>	km/s		MPa	MPa	MPa	%	Gpa
MI	1	67,0	160	1802	2,39	0,2	7398,9				
	2	65,8	160	1802	2,43	0,2	7671,2	7660,0	255,7	3,3	7,7
	3	64,8	160	1802	2,47	0,2	7909,8				9,2
MG	7	60,6	160	1802	2,64	0,2	9044,2				7,1
	8	58,7	160	1802	2,73	0,2	9639,2	9232,6	352,4	3,8	8,6
	9	60,7	160	1802	2,64	0,2	9014,5				6,0
MA	37	69,5	160	1802	2,30	0,2	6876,1				8,1
	38	68,2	160	1802	2,35	0,2	7140,8	7102,2	209,4	2,9	7,4
	39	67,5	160	1802	2,37	0,2	7289,7				8,3
MK	31	64,2	160	1802	2,49	0,2	8058,4				7,3
	32	64,1	160	1802	2,50	0,2	8083,5	8593,7	905,5	10,5	9,3
	33	58,7	160	1802	2,73	0,2	9639,2				8,4
MLI	25	73,8	160	1802	2,17	0,2	6098,2				8,0
	26	75,5	160	1802	2,12	0,2	5826,6	6024,3	173,0	2,9	4,7
	27	73,5	160	1802	2,18	0,2	6148,1				5,7
MGI	19	64,4	160	1802	2,48	0,2	8008,4				6,7
	20	63,0	160	1802	2,54	0,2	8368,3	8120,1	215,3	2,7	7,3
	21	64,5	160	1802	2,48	0,2	7983,6				5,7
MAI	49	67,2	160	1802	2,38	0,2	7354,9				
	50	67,8	160	1802	2,36	0,2	7225,3	7401,7	203,8	2,8	
	51	66,0	160	1802	2,42	0,2	7624,8				
MKI	43	62,1	160	1802	2,58	0,2	8612,6				
	44	63,3	160	1802	2,53	0,2	8289,1	8311,7	290,3	3,5	
	45	64,3	160	1802	2,49	0,2	8033,3				
ML-Eps	55	66,8	160	1802	2,40	0,2	7443,3				
	56	67,7	160	1802	2,36	0,2	7246,7	7283,9	144,4	2,0	
	57	68,1	160	1802	2,35	0,2	7161,8				
MG-Eps	67	60,5	160	1802	2,64	0,2	9074,2				
	68	59,3	160	1802	2,70	0,2	9445,1	9300,4	198,4	2,1	
	69	59,5	160	1802	2,69	0,2	9381,8				
MA-Eps	91	62,4	160	1802	2,56	0,2	8530,0				
	92	64,2	160	1802	2,49	0,2	8058,4	8391,1	289,5	3,4	
	93	62,2	160	1802	2,57	0,2	8584,9				
MK-Eps	73	65,7	160	1802	2,44	0,2	7694,6				
	74	63,0	160	1802	2,54	0,2	8368,3	7958,6	359,7	4,5	
	75	65,2	160	1802	2,45	0,2	7813,1				
ML-Cor	61	84,2	160	1802	1,90	0,2	4684,7				
	62	85,6	160	1802	1,87	0,2	4532,7	4715,0	199,1	4,2	
	63	82,1	160	1802	1,95	0,2	4927,5				
MG-Cor	79	75,2	160	1802	2,13	0,2	5873,2				
	80	75,1	160	1802	2,13	0,2	5888,9	5745,1	235,6	4,1	
	81	77,9	160	1802	2,05	0,2	5473,1				
MA-Cor	97	72,0	160	1802	2,22	0,2	6406,9				
	98	68,5	160	1802	2,34	0,2	7078,4	6722,6	337,5	5,0	
	99	70,5	160	1802	2,27	0,2	6682,5				
MK-Cor	85	71,3	160	1802	2,24	0,2	6533,3				
	86	65,6	160	1802	2,44	0,2	7718,1	7331,0	690,9	9,4	
	87	65,5	160	1802	2,44	0,2	7741,6				
ML-Eps 1,25 litro	103	78,1	160	1802	2,05	0,2	5445,1				
	104	77,2	160	1802	2,07	0,2	5572,8	5694,4	327,4	5,8	
	105	74,0	160	1802	2,16	0,2	6065,3				

	Determinação da massa volúmica da argamassa endurecida						DP	CV%	
		Mseca	Msat	Mimer	$\rho$	$\rho$ médio			
	Provete	g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>			
ML	4	461,9	523,7	268,8	1812				
	5	460,2	524,8	265,6	1775	1802	22,8	1,27	1801,6
	6	465,8	526,9	270,6	1817				1860,1
MG	7	474,4	522,8	264,3	1835				1936,0
	8	487,3	536,2	278,1	1888	1860	26,5	1,43	1866,5
	9	485,6	533,5	272,0	1857				1748,6
MA	40	565,3	619,9	328,3	1939				1753,8
	41	570,4	629,3	333,5	1928	1936	6,8	0,35	1830,3
	42	574,2	631,2	335,4	1941				1783,9
MK	34	481,2	525,1	268,4	1875				1813,8
	35	476,9	521,0	267,0	1878	1867	16,5	0,89	1768,6
	36	542,8	596,9	303,1	1848				1796,3
MLI	28	520,1	582,6	284,3	1744				1794,7
	29	516,9	576,1	281,4	1754	1749	5,2	0,30	1488,9
	30	511,7	573,4	280,7	1748				1525,0
MGI	22	450,9	496,0	237,7	1746				1556,0
	23	446,5	490,1	236,6	1761	1754	7,9	0,45	1523,2
	24	450,5	495,7	238,9	1754				1634
MAI	52	473,6	520,8	262,0	1830				
	53	481,6	529,3	266,0	1829	1830	1,3	0,07	
	54	480,1	527,9	265,8	1832				
MKI	46	519,7	565,3	272,9	1777				
	47	518,5	562,1	270,4	1778	1784	11,1	0,62	
	48	516,2	557,4	270,1	1797				
ML-Eps	58	524,4	587,6	293,9	1785				
	59	541,5	604,2	307,6	1826	1814	24,6	1,35	
	60	543,9	603,2	306,0	1830				
MG-Eps	70	466,4	506,4	244,8	1783				
	71	460,4	500,7	241,7	1778	1769	20,3	1,15	
	72	453,8	497,3	237,3	1745				
MA-Eps	94	463,2	516,3	257,2	1788				
	95	469,5	522,0	262,0	1806	1796	9,1	0,50	
	96	465,7	514,9	255,5	1795				
MK-Eps	76	527,3	571,3	276,5	1789				
	77	535,9	575,7	278,4	1803	1795	7,1	0,40	
	78	532,5	578,1	281,1	1793				
ML-Cor	64	434,5	490,5	197,5	1483				
	65	443,7	498,8	202,6	1498	1489	8,0	0,54	
	66	431,5	485,4	195,0	1486				
MG-Cor	82	448,4	494,2	198,9	1518				
	83	451,5	490,8	196,4	1534	1525	7,8	0,51	
	84	451,4	495,5	199,1	1523				
MA-Cor	100	400,1	446,6	186,8	1540				
	101	404,4	449,1	190,6	1564	1556	13,8	0,89	
	102	404,0	448,9	190,5	1563				
MK-Cor	88	387,0	432,3	177,0	1516				
	89	394,5	434,2	177,3	1536	1523	10,8	0,71	
	90	393,5	439,7	180,5	1518				
ML-Eps 1,25 litro	106	418,6	480,5	223,1	1626				
	107	425,1	486,9	229,7	1653	1634	16,1	0,98	
	108	414,9	476,9	221,4	1624				

Ensaio de capilaridade aos 28 dias										
				Massa (g)						
				1ª leitura	2ª leitura	3ª leitura	4ª leitura	5ª leitura	6ª leitura	7ª leitura
				10min	20 min	30 min	60 min	90 min	19 horas	24 horas
	Provete	Início (g)	Fifacola (g)							
MI	4	455,3	456,6	476,9	484	488,1	497,2	504,1	525	525,3
	5	453,5	454,7	469,2	474,3	477,4	484,4	490,7	526,1	526,1
	6	460	461,5	482,6	489,1	493,7	502,4	509,4	528,5	528,5
MG	7	468,2	469,5	481,7	486,6	488,9	496,6	501	522,6	522,8
	8	480,7	482,2	491,2	496,5	499,3	507,1	511,5	536,7	536,7
	9	479,3	480,7	489,9	495,4	498,6	507,4	513,3	534,1	534,1
MA	40	554,1	555,6	568,3	572,9	576,3	583,2	588,3		
	41	557,8	561,1	575,1	579,8	583,8	591,8	598,3		
	42	560,9	563,9	576,1	580,6	583,6	591,2	597,2		
MK	34	462,9	464,2	475	479,6	482,3	487	490,5		
	35	461,3	462,7	474,3	478,1	480,9	485,2	488,5		
	36	527,9	529,3	543,2	547,9	551,4	557,9	562,4		
MII	28	512,4	513,7	527,7	532,1	534,7	541,1	546,1		
	29	509,3	510,7	521,5	525,5	527,7	533,3	537,7		
	30	504,2	505,7	515,6	519,2	521,5	527,3	531,1		
MGI	22	445	446,4	458,3	461,9	464,1	469,9	474,3		
	23	440,5	441,8	452,6	455,6	457,6	463,8	468		
	24	444,6	446,1	458,8	462,4	464,6	470,5	474,5		
MAI	52	465,5	468,3	479,9	484,8	487,9	494,8	499		
	53	473,1	476,2	485	489,7	492,2	498,6	503		
	54	471,8	474,9	483,6	488,1	490,4	496,3	500,2		
MKI	46	501,6	504,5	512,4	516,7	519,7	524,4	527,9		
	47	498,9	501,8	509,7	513,4	516,1	520,8	524		
	48	494,9	498,1	506,1	509,5	511,8	516,2	519,3		
ML-Eps	58	510,4	513,5	524,8	530,2	533,6	541,6	546,5		
	59	523,5	526,9	540	545,7	549,7	558,7	564,6		
	60	523,2	526,2	537	542,1	545,5	553,8	559,3		
MG-Eps	70	450,4	453,7	465,4	469,1	471,9	477,8	481,5		
	71	444,6	447,2	458,3	462,3	465,5	471,3	475,4		
	72	442,1	445	457,3	462,1	465,6	472,1	476,7		
MA-Eps	94	453,7	458,5	472	475,6	478,8	484,9	488,7		
	95	459,1	461,7	478,8	483,5	489,1	497,6	501,9		
	96	456,1	458,3	475,1	479,5	484,8	492,4	495,8		
MK-Eps	76	501,2	504,1	513,8	518,1	521	526,5	529,8		
	77	510	512,6	523,3	526,9	529,2	533,9	536,4		
	78	507,9	510,6	522,4	526,9	530,2	535,9	539,6		
ML-Cor	64	421	426,2	434,3	438,1	440,6	445,4	448,8		
	65	428,3	432,3	440,6	443,7	446,4	451,8	455,6		
	66	417,7	422,7	431,4	434,1	436,5	441,7	445,5		
MG-Cor	82	437,9	440,9	449,1	452,3	454,5	458,8	461,6		
	83	436,5	439,4	446,6	449,3	451,2	455,2	457,6		
	84	438,1	441,1	449,5	452,8	455,4	459,9	463,1		
MA-Cor	100	391,4	393,5	404,5	408,1	411	416,3	419,5		
	101	394,8	396,8	409,3	412,2	414,6	419,1	422,2		
	102	395,5	397,6	408,9	411,4	414,4	419	422,1		
MK-Cor	88	370,7	373,8	382,4	385,4	388,4	393,5	396,8		
	89	373	375,9	384,1	386,8	389,3	394,3	397,6		
	90	376,7	379,5	389,5	392,8	395,5	400,5	403,4		
ML-Eps 1,25 litro	106	411,54	413,7	420,1	423,8	426,7	432,1	438,9		
	107	418,78	420,7	430,5	432,7	435,7	440,6	444,1		
	108	497,9	500,1	510,3	513,1	516,6	520,3	523,5		

C	C(médio)	DP	CV
Kg/(m <sup>2</sup> *min <sup>0,5</sup> )	Kg/(m <sup>2</sup> *min <sup>0,5</sup> )		%
2,72			
2,15	2,5	0,318172	12,64
2,68			
1,93			
2,03	2,1	0,213776	10,18
2,34			
2			
2,32	2,1	0,162583	7,59
2,11			
1,55			
1,42	1,6	0,259422	15,92
1,92			
1,84			
1,62	1,7	0,151327	9,06
1,55			
1,6			
1,54	1,6	0,03	1,91
1,57			
1,91			
1,8	1,8	0,1253	7,00
1,66			
1,55			
1,43	1,4	0,115036	8,03
1,32			
2,17			
2,46	2,3	0,15308	6,69
2,23			
1,61			
1,71	1,8	0,169214	9,65
1,94			
1,67			
2,31	2,0	0,323316	16,03
2,07			
1,6			
1,31	1,5	0,210792	13,66
1,72			
1,45			
1,5	1,5	0,045092	3,10
1,41			
1,25			
1,1	1,2	0,130512	10,55
1,36			
1,5			
1,29	1,4	0,113578	8,29
1,32			
1,44			
1,35	1,4	0,045092	3,24
1,39			
1,88			
1,36	1,5	0,31241	20,55
1,32			

Ensaio de ultra som Modulo de elasticidade dinâmico											
Ciclo gelo degelo											
30 ciclos											
	Tempo	L	$\rho$	V	v	Ed	Edm	Sd	CoV		
Mistura	Proвете	$\mu$ s	mm	kg/m3	km/s		MPa	MPa	MPa	%	Gpa
MI	7	77,9	160	1802	2,05	0,2	5473,1				
	8	180,5	160	1802	0,89	0,2	1019,3	4579,7	3208,4	70,1	4,6
	9	67,7	160	1802	2,36	0,2	7246,7				7,0
MG	10	71,4	160	1802	2,24	0,2	6515,0				5,6
	11	85,8	160	1802	1,86	0,2	4511,6	6966,7	2709,2	38,9	5,6
	12	58,0	160	1802	2,76	0,2	9873,3				8,5
MA	1	90,3	160	1802	1,77	0,2	4073,2				10,2
	2	91,1	160	1802	1,76	0,2	4001,9	5562,6	2641,7	47,5	9,8
	3	62,1	160	1802	2,58	0,2	8612,6				9,2
MK	4	65,6	160	1802	2,44	0,2	7718,1				3,8
	5	145,8	160	1802	1,10	0,2	1562,3	5612,1	3508,2	62,5	6,1
	6	66,3	160	1802	2,41	0,2	7555,9				5,9
MLI	46	60,8	160	1802	2,63	0,2	8984,8				6,2
	47	63,1	160	1802	2,54	0,2	8341,8	8512,6	414,2	4,9	4,4
	48	63,6	160	1802	2,52	0,2	8211,1				7,4
MGI	40	57,6	160	1802	2,78	0,2	10010,9				6,2
	41	57,2	160	1802	2,80	0,2	10151,4	10188,9	199,5	2,0	6,1
	42	56,5	160	1802	2,83	0,2	10404,5				
MAI	37	62,3	160	1802	2,57	0,2	8557,4				
	38	56,6	160	1802	2,83	0,2	10367,8	9764,3	1045,2	10,7	
	39	56,6	160	1802	2,83	0,2	10367,8				
MKI	43	59,2	160	1802	2,70	0,2	9477,1				
	44	59,7	160	1802	2,68	0,2	9319,0	9192,5	364,6	4,0	
	45	61,5	160	1802	2,60	0,2	8781,5				
ML-Eps	13	89,1	160	1802	1,80	0,2	4183,6				
	14	93,1	160	1802	1,72	0,2	3831,8	3829,3	355,6	9,3	
	15	97,8	160	1802	1,64	0,2	3472,4				
MG-Eps	19	64,9	160	1802	2,47	0,2	7885,5				
	20	79,9	160	1802	2,00	0,2	5202,6	6066,9	1575,6	26,0	
	21	80,6	160	1802	1,99	0,2	5112,6				
MA-Eps	31	66,4	160	1802	2,41	0,2	7533,2				
	32	72,4	160	1802	2,21	0,2	6336,3	5936,9	1829,0	30,8	
	33	91,8	160	1802	1,74	0,2	3941,1				
MK-Eps	25	70,3	160	1802	2,28	0,2	6720,5				
	26	77,0	160	1802	2,08	0,2	5601,8	6237,2	574,6	9,2	
	27	72,1	160	1802	2,22	0,2	6389,2				
ML-Cor	16	87,2	160	1802	1,83	0,2	4367,9				
	17	85,7	160	1802	1,87	0,2	4522,2	4373,7	145,7	3,3	
	18	88,6	160	1802	1,81	0,2	4231,0				
MG-Cor	22	65,8	160	1802	2,43	0,2	7671,2				
	23	64,6	160	1802	2,48	0,2	7958,9	7443,8	658,8	8,9	
	24	70,4	160	1802	2,27	0,2	6701,5				
MA-Cor	34	72,4	160	1802	2,21	0,2	6336,3				
	35	73,5	160	1802	2,18	0,2	6148,1	6194,2	125,6	2,0	
	36	73,8	160	1802	2,17	0,2	6098,2				
MK-Cor	28	72,3	160	1802	2,21	0,2	6353,9				
	29	75,1	160	1802	2,13	0,2	5888,9	6081,0	242,8	4,0	
	30	74,4	160	1802	2,15	0,2	6000,2				

	Inicio		30 ciclos	
	µs		µs	
<b>MI</b>	67,0		77,9	
	65,8	65,9	180,5	108,7
	64,8		67,7	
<b>MG</b>	60,6		71,4	
	58,7	60,0	85,8	71,7
	60,7		58,0	
<b>MA</b>	69,5		90,3	
	68,2	68,4	91,1	81,2
	67,5		62,1	
<b>MK</b>	64,2		65,6	
	64,1	62,3	145,8	92,6
	58,7		66,3	
<b>MLI</b>	73,8		60,8	
	75,5	74,3	63,1	62,5
	73,5		63,6	
<b>MGI</b>	64,4		63,3	
	63,0	64,0	62,8	63,6
	64,5		64,7	
<b>MAI</b>	67,2		66,9	
	67,8	67,0	67,5	66,7
	66,0		65,6	
<b>MKI</b>	62,1		59,2	
	63,3	63,2	59,7	60,1
	64,3		61,5	
<b>ML-Eps</b>	66,8		89,1	
	67,7	67,5	93,1	93,3
	68,1		97,8	
<b>MG-Eps</b>	60,5		64,9	
	59,3	59,8	79,9	75,1
	59,5		80,6	
<b>MA-Eps</b>	62,4		66,4	
	64,2	62,9	72,4	76,9
	62,2		91,8	
<b>MK-Eps</b>	65,7		70,3	
	63,0	64,6	77,0	73,1
	65,2		72,1	
<b>ML-Cor</b>	84,2		87,2	
	85,6	84,0	85,7	87,2
	82,1		88,6	
<b>MG-Cor</b>	75,2		75,0	
	75,1	76,1	77,8	76,4
	77,9		76,3	
<b>MA-Cor</b>	72,0		72,4	
	68,5	70,3	73,5	73,2
	70,5		73,8	
<b>MK-Cor</b>	71,3		72,3	
	65,6	67,5	75,1	73,9
	65,5		74,4	

		Massa perdida ao fim 30 ciclos					
		Início Gelo/Degelo	Média	Fim Gelo/Degelo	Média		
	Provete	(g)	(g)	(g)	(g)		%
ML	7	603,2		601,1			
	8	613,3	611,2	603,3	603,9		1,21
	9	617,2		607,2			
MG	10	600,7		600,5			
	11	602,1	603,1	607,1	599,8		0,54
	12	606,5		591,9			
MA	1	615,6		608,7			
	2	631,7	617,9	630,1	612,0		0,96
	3	606,5		597,2			
MK	4	602,9		600,4			
	5	595,6	598,0	597,7	596,0		0,35
	6	595,6		589,8			
MLI	46	505,1		500,1			
	47	510,8	508,2	509,7	503,5		0,91
	48	508,6		500,8			
MGI	40	581,5		580,3			
	41	578,8	579,0	568,8	573,4		0,97
	42	576,6		571,0			
MAI	37	582,1		581,1			
	38	582,6	584,3	580,0	580,2		0,70
	39	588,3		579,6			
MKI	43	583,9		580,2			
	44	573,2	576,6	571,1	572,2		0,76
	45	572,7		565,3			
ML-Eps	13	567,8		566,3			
	14	575,0	570,3	574,1	569,2		0,19
	15	568,1		567,2			
MG-Eps	19	566,9		565,4			
	20	559,6	560,2	559,1	555,0		0,93
	21	554,1		540,5			
MA-Eps	31	581,6		578,1			
	32	587,3	585,7	587,0	581,9		0,65
	33	588,3		580,6			
MK-Eps	25	571,3		569,4			
	26	564,5	569,4	560,1	566,8		0,45
	27	572,4		571,0			
ML-Cor	16	468,4		466,4			
	17	482,1	469,7	480,1	468,2		0,33
	18	458,7		458,1			
MG-Cor	22	393,2		389,3			
	23	412,2	395,7	410,5	389,7		1,52
	24	381,8		369,3			
MA-Cor	34	467,8		466,6			
	35	479,2	474,3	478,4	472,4		0,41
	36	476,0		472,2			
MK-Cor	28	490,2		483,5			
	29	468,5	480,5	467,8	476,7		0,79
	30	482,9		478,9			

