



**Diana Rosa
Pires de Paula
e Cunha**

**Estudo de argamassas com base em cal hidráulica e
suas aplicações**



**Diana Rosa
Pires de Paula
e Cunha**

**Argamassas com base em cal hidráulica natural e
suas aplicações**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Professor Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

À minha família.

o júri

presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim

professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Maria Isabel Morais Torres

professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Prof. Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira

professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Toda a colaboração de forma direta ou indireta na realização desta dissertação reflete-se no trabalho aqui apresentado. Como tal, gostaria de agradecer fazendo referência àqueles que contribuíram para que finalizasse mais uma etapa da minha vida académica.

Ao Prof. Doutor Victor Ferreira pela orientação, disponibilidade, apoio, motivação e pela transmissão de conhecimento e sugestões durante o decorrer deste trabalho.

À Eng^a. Dina Frade e ao pessoal da Secil Argamassas pela simpatia com que me acolheram e pela ajuda e atenção que me disponibilizaram durante a realização da parte experimental bem como esclarecimentos e opiniões que sempre me facultaram ao longo da dissertação.

A todo o pessoal do laboratório do DEC, pela sempre disponível ajuda e simpatia.

Ao meu amigo Daniel Pedrosa pelos conselhos e críticas ao meu trabalho, bem como o permanente incentivo de que tudo vai correr. Obrigada.

Aos meus colegas e amigos que mostraram todo o seu apoio, paciência e carinho ao longo deste processo, especialmente Ana Ministro, Cátia Alves, Cátia Gaudêncio, Mariana Ferreira, Quintino Jackson Vinevala, Joana Saraiva, Lúcia Dionísio, Raquel Costa e Sara Vitória.

E por último, mas não menos importante, à minha família. Um especial obrigado aos meus pais Idalina Paula e Ernesto Cunha, à minha irmã Ana Cunha, e ao meu irmão Nuno Cunha, pelo constante sorriso, amizade, paciência e incentivo que sempre me deram e que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

palavras-chave

Argamassas, cal hidráulica, reabilitação, materiais de construção.

resumo

A presente dissertação tem como interesse aumentar o conhecimento dos materiais de construção usados na conservação e reabilitação de edifícios.

A necessidade de obras de restauro, aliadas à atual estagnação do mercado de construção nova, leva a que Portugal e toda a Europa acompanhem a tendência de reabilitar e conservar os edifícios antigos.

Para isso, é imperativo conseguir manter o aspeto e a qualidade da estrutura original, de forma a assegurar a continuidade com o passado, garantindo a compatibilidade de resistências físico-químicas e mecânicas entre as argamassas de restauro e as antigas, onde um dos problemas da deterioração das estruturas de construção históricas está associado à manutenção e restauro das argamassas.

Posto isto, pretende-se estudar três tipos de argamassas, formuladas exclusivamente com base em cal hidráulica natural como ligante, verificando se são uma boa aposta para a reabilitação do edificado. Este estudo envolveu uma argamassa de consolidação, que serve para preencher cavidades e imperfeições de emparelhamento de alvenaria, uma argamassa de reboco que é aplicada como camada de enchimento e regularização em suportes antigos consolidados com a argamassa anterior e uma argamassa de acabamento, que se aplica sobre a camada de reboco e como o próprio nome indica serve de acabamento final.

Este estudo centra-se na aplicação destas argamassas em suporte de tijolo e na sua caracterização em termos mecânicos, físicos e de outros parâmetros relevantes como a resistência aos sais e ao gelo-degelo que, no todo, permitem avaliar as argamassas e comparar as diferenças entre elas.

Com os resultados obtidos através dos ensaios efetuados, é feita uma discussão acerca da aplicabilidade das argamassas em causa num quadro de reabilitação do edificado.

keywords

Mortars, hydraulic lime, conservation, construction materials.

abstract

The main objective of the present dissertation is to increasing the knowledge of the construction materials used in building rehabilitation.

The necessity of restoration works allied with the current stagnation of the construction market of new buildings lead Portugal and all the Europe to follow the trend of rehabilitation and restoration of existent buildings in need.

For that, it is imperative to preserve the aspect and the quality of the original structure to ensure continuity with the past, ensuring the compatibility between the physical, chemical and mechanical properties of the restoration mortar and the existent ones where the deterioration problems of the structures of historical constructions is associated to the maintenance and restoration of mortars.

It is intended to study three types of mortars exclusively formulated with base in natural hydraulic lime as binder, to verify if they are a good solution for rehabilitation. This study involved a consolidation masonry that is used for cavities and imperfections matching of pairing masonry, a masonry coating that is applied as filling layer and surfacing in former supports consolidated with the existent mortar and a finishing mortar that is applied on the coating layer and serves as finishing.

This study is centered in the application of these mortars in brick support and in its mechanical and physical characterization and for other important parameters as the salts and freezing and thawing resistances which together permit to evaluate the mortars and compare the difference between.

With the obtained results based on carried out tests, it is done a discussion about the mortars applicability of the studied mortars in terms of rehabilitation works.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABELAS	ix
LISTA DE ACRÓNIMOS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Gerais.....	1
1.2 Aplicação na Reabilitação	2
1.2.1 Considerações Gerais	2
1.2.2 Requisitos das Argamassas de Reabilitação	4
1.3 Âmbito e Objetivos.....	7
1.4 Estrutura da Dissertação	7
2 ARGAMASSAS.....	11
2.1 Definição Geral de Argamassas.....	11
2.2 Tipos de Argamassa.....	11
2.3 Propriedades e Utilização	12
2.3.1 Argamassas de Assentamento	13
2.3.2 Argamassas de Revestimento	13
2.3.3 Propriedades das Argamassas.....	14
2.4 Constituintes da Argamassa.....	15
2.4.1 Agregados.....	15
2.4.2 Ligantes	16
2.4.2.1 Ligantes de gesso	17
2.4.2.2 Ligantes de cal.....	18
2.4.2.2.1 Cal aérea	20
2.4.2.2.2 Cal hidráulica	21
2.4.2.3 Ligantes de cimento	24
2.4.3 Aditivos e Adjuvantes	26
2.5 Aplicação de Argamassas de Reabilitação	26

3	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	31
3.1	Considerações Gerais	31
3.2	Características das Argamassas	32
3.3	Produção das Argamassas	35
3.4	Ensaio Sobre as Argamassas	39
3.4.1	Caracterização das Argamassas no Estado Seco	39
3.4.2	Caracterização das Argamassas no Estado Fresco	40
3.4.3	Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido	42
3.4.3.1	Estudo do comportamento mecânico	43
3.4.3.1.1	Módulo de elasticidade	43
3.4.3.1.2	Resistência à flexão e à compressão	44
3.4.3.1.3	Resistência aos sais	45
3.4.3.1.4	Resistência ao gelo-degelo	47
3.4.3.2	Fenómenos de transporte	49
3.4.3.2.1	Porosidade aberta	49
3.4.3.2.2	Permeabilidade ao vapor de água	50
3.4.3.2.3	Capilaridade	52
3.4.3.2.4	Absorção de água a baixa pressão (Tubos de Karsten)	55
3.4.3.2.5	Condutibilidade térmica	56
3.5	Aplicação das Argamassas “in situ”	58
3.5.1	Considerações Gerais	58
3.5.2	Aderência a Suportes	61
3.5.3	Aderência em Parede	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1	Formulações Desenvolvidas em Laboratório	65
4.1.1	Caracterização das Argamassas no Estado Seco	65
4.1.2	Caracterização das Argamassas no Estado Fresco	66
4.1.3	Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido	70
4.1.3.1	Comportamento mecânico	70
4.1.3.2	Fenómenos de transporte	74
4.1.3.3	Avaliação da resistência aos sais	78
4.1.3.4	Avaliação da resistência ao gelo-degelo	84

4.2	Aplicação das argamassas “in situ”	89
4.2.1	Ensaio Laboratorial de Aderência em Suporte de Tijolo	89
4.2.2	Aderência a Paredes em Tijolo	90
4.2.3	Presença de Fissuras na Parede de Tijolo	91
5	CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1 - Camadas do revestimento em argamassa [26].....	14
Figura 2.2 - Tipos de ligantes de argamassas [20].	17
Figura 2.3 - Principais campos de aplicação [5].	20
Figura 2.4 - Diagrama de produção industrial da cal hidráulica natural [5].....	23
Figura 2.5 - Pedreira (à esquerda); Forno e Moinho (ao centro); Cal Hidráulica-NHL (à direita) [5].....	23
Figura 2.6 - Aplicação da argamassa de consolidação [18].	27
Figura 2.7 - Aplicação da argamassa de reboco [34].	27
Figura 2.8 - Acabamento à base de cal na reabilitação de uma fachada antiga [35].....	28

Capítulo 3

Figura 3.1 - Misturadora mecânica (à esquerda); Amassadura a decorrer (à direita).	35
Figura 3.2 - Moldes.	36
Figura 3.3 - Aplicação da argamassa sob suporte de tijolo.	36
Figura 3.4 - Preparação da argamassa “in situ”.....	37
Figura 3.5 - Parede de tijolo com juntas de argamassa de consolidação.....	37
Figura 3.6 - Chapisco.	38
Figura 3.7 - Aplicação da camada de argamassa de reboco.	38
Figura 3.8 - Aplicação da camada de argamassa de acabamento.....	38
Figura 3.9 - Aparelho de peneiração.	39
Figura 3.10 - Mesa de espalhamento.....	41
Figura 3.11 - Reómetro Viskomat NT.....	41
Figura 3.12 - Aparelho Pundit Lab usado no ensaio do módulo de elasticidade.	43
Figura 3.13 - Ensaio de resistência à flexão.....	44
Figura 3.14 - Ensaio de resistência à compressão.	45
Figura 3.15 - Amostras no exsiccador.....	47
Figura 3.16 - Amostras sobre o geotêxtil.	47
Figura 3.17 - Plano de um ciclo gelo-degelo.....	48
Figura 3.18 - Sistema utilizado para fazer o ensaio.....	49

Figura 3.19 - Amostras das argamassas que foram ensaiadas.	50
Figura 3.20 - Moldes e amostras para o ensaio da permeabilidade ao vapor.	50
Figura 3.21 - Copo do ensaio com a amostra [49].	51
Figura 3.22 - Esquema da colocação da amostra para o ensaio da capilaridade [51].	52
Figura 3.23 - Corte em duas partes dos provetes (à esquerda); Dissolução da parafina, em banho-maria (ao centro); Imersão da superfície partida do provete em água (à direita).	54
Figura 3.24 - Tubo de Karsten em superfície horizontal [56].	56
Figura 3.25 - Esquema do ensaio de condutibilidade térmica.	57
Figura 3.26 - Ensaio de resistência à tração pull-off.	60
Figura 3.27 - Exemplificação do tipo de rotura adesiva [50].	60
Figura 3.28 - Exemplificação do tipo de rotura coesiva [50].	60
Figura 3.29 - Amostra de tijolo preparada para o teste de “Pull-Off”.	61
Figura 3.30 - Ensaio de aderência.	62

Capítulo 4

Figura 4.2 - Curva típica da variação do torque em função do tempo de ensaio (corresponde à argamassa de consolidação).	67
Figura 4.3 - Curva de fluxo obtida com a argamassa de consolidação, Torque em função da velocidade de rotação.	68
Figura 4.4 - Curva de fluxo da argamassa de consolidação obtida no minuto zero do ensaio, com perfil em patamar a 80 rpm.	69
Figura 4.5 - Coeficiente proporcional à tensão, g.	69
Figura 4.6 - Coeficiente proporcional à viscosidade, h.	70
Figura 4.7 - Resistência à Flexão.	72
Figura 4.8 - Resistência à Compressão.	73
Figura 4.9 - Percentagem de poros abertos existentes em cada tipo de argamassa.	75
Figura 4.10 - Tubo de Karsten sob uma amostra de tijolo.	76
Figura 4.11 - Amostra da argamassa hidrófuga.	77
Figura 4.12 - Cristalização de sais em provetes da argamassa de consolidação.	79
Figura 4.13 - Cristalização de sais em provetes da argamassa de reboco.	79
Figura 4.14 - Cristalização de sais em provetes da argamassa de acabamento.	79
Figura 4.15 - Evolução da massa dos provetes ao longo de cada ciclo para 45 dias de cura.	80
Figura 4.16 - Evolução da massa dos provetes ao longo de cada ciclo para 60 dias de cura.	80

Figura 4.17 - Evolução da massa dos provetes ao longo de cada ciclo para 90 dias de cura. .	81
Figura 4.18 - Resistência à flexão dos provetes sujeitos a saís.	82
Figura 4.19 - Resistência à compressão dos provetes sujeitos a saís.	82
Figura 4.20 - Provetes da argamassa de consolidação ao fim do 3º dia de ciclos de gelo-degelo.	84
Figura 4.21 - Provetes da argamassa de consolidação ao fim do 5º dia de ciclos de gelo-degelo.	84
Figura 4.22 - Provetes da argamassa de reboco ao fim do 7º dia de ciclos gelo-degelo.	85
Figura 4.23 - Provetes da argamassa de acabamento ao fim do 7º dia de ciclos gelo-degelo.	85
Figura 4.24 - Massa dos provetes ao longo dos ciclos de gelo-degelo.....	86
Figura 4.25 - Resistência à flexão após os ciclos de gelo-degelo para as argamassas de reboco e de acabamento.....	87
Figura 4.26 - Resistência à compressão após os ciclos de gelo-degelo para as argamassas de reboco e de acabamento.....	87
Figura 4.27 - Argamassas na parede de tijolo.	91
Figura 4.28 - Técnica tradicional do “esponjamento”.....	91

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1.1 - Requisitos estabelecidos para características mecânicas das argamassas, segundo Veiga [12].	6
Tabela 1.2 - Requisitos estabelecidos para características de comportamento à água e ao clima, segundo Veiga [12].	6

Capítulo 2

Tabela 2.1 - Tipos de cais de construção ^(a) [5].	19
Tabela 2.2 - Resistência à compressão da cal hidráulica (HL) e cal hidráulica natural (NHL) [27].	21
Tabela 2.3 - Propriedades da cal hidráulica [29].	22
Tabela 2.4 - Comparação de características entre ligantes (cimento portland, cal hidráulica e cal hidratada) [32].	25

Capítulo 3

Tabela 3.1 - Características do produto, argamassa de consolidação [18].	32
Tabela 3.2 - Características do produto, argamassa de reboco [34].	33
Tabela 3.3 - Características do produto, argamassa de acabamento [35].	34
Tabela 3.4 - Excerto da tabela de resumos dos requisitos para argamassas endurecidas [22].	53
Tabela 3.5 - Requisitos do equipamento de ensaio de condutibilidade térmica.	57
Tabela 3.6 - Condutibilidade Térmica referentes a argamassas [57].	58

Capítulo 4

Tabela 4.1 - Amostras retidas em cada peneiro para as argamassas de consolidação, reboco e acabamento.	65
Tabela 4.2 - Resultado do ensaio do espalhamento para os três tipos de argamassa.	66
Tabela 4.3 - Resultados referentes ao módulo de elasticidade, E.	70
Tabela 4.4 - Resultados do ensaio de resistência à flexão.	71

Tabela 4.5 - Resultados do ensaio de resistência à compressão.	73
Tabela 4.6 - Ensaio de capilaridade em provetes prismáticos, segundo a norma EN 1015-18.	74
Tabela 4.7 – Absorção de água a baixa pressão.....	76
Tabela 4.8 - Valores da permeabilidade ao vapor de água segundo a norma EN1015-19.	77
Tabela 4.9 - Resultados referentes à condutibilidade térmica.....	78
Tabela 4.10 - Percentagem do ganho de peso durante os ciclos.	81
Tabela 4.11 - Valor da resistência aos 90 dias das argamassas sujeitas e não sujeitas a sais. 84	
Tabela 4.12 - Resultados laboratoriais referentes ao ensaio de aderências em suporte de tijolo.	89
Tabela 4.13 - Resultados referentes ao ensaio de aderências feito numa parede de tijolo.	90

LISTA DE ACRÓNIMOS

CEN	Comité Europeu de Normalização
EMO	European Mortar Organization
EN	Normas europeias
ISO	Normas internacionais
CL	Cal Cálctica
DL	Cal Dolomítica
HL	Cal Hidráulica
NHL	Cal Hidráulica Natural
CEM	Cimento Portland comum
BR	Cimentos brancos

CAPÍTULO 1

Introdução

Considerações Gerais
Aplicação na Reabilitação
Âmbito e Objetivos
Estrutura da Dissertação

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Desde os primórdios, o homem primitivo com o objetivo de melhorar a sua qualidade de vida, procurou sempre, dentro dos recursos naturais, criar condições favoráveis para se proteger passando a construir abrigos. No início, estes eram frágeis, mas com a evolução do conhecimento dos materiais existentes passou-se a edificações mais sólidas. Um desses materiais, onde se assistiu a essa evolução ao longo dos tempos no conhecimento, é a argamassa, onde desde há milhares de anos que é um material presente na construção [1].

Num passado remoto, as argamassas utilizadas pelos Romanos eram constituídas essencialmente por cinzas vulcânicas ou pozolanas, pó de tijolo ou de telha, cal hidratada, areia e/ou matérias orgânicas (gorduras) [2]. Nos dias que correm, a argamassa utilizada é constituída essencialmente por agregados finos, água e um ligante. Este ligante pode ser gesso, cal ou cimento. Os ligantes, utilizados atualmente, podem ser ainda subdivididos em vários subgrupos, como por exemplo, a cal pode ser cal aérea ou cal hidráulica. De referir também que a cal hidráulica é um material nobre que tem acompanhado o Homem no último século, onde face às suas extraordinárias características, é um material do futuro com aplicações na reabilitação e na obra nova [2].

Já no que diz respeito à produção, e em resposta ao método tradicional de preparação de argamassas em obra, foram, em 1950, desenvolvidas tecnologias para a produção industrial, visto existir na indústria moderna da construção cada vez mais preocupações com a racionalização dos custos, com os cumprimento de prazos, com a qualidade e durabilidade do trabalho acabado, com questões ligadas à limpeza e arrumação do estaleiro de obra e, principalmente nos centros urbanos, preocupação com a falta de espaço disponível para os estaleiros de obra [3].

Atualmente e na obra nova, as técnicas de execução de revestimentos acompanharam a evolução dos suportes, onde por exemplo, sobre as alvenarias de tijolo vazado de diversas dimensões são aplicadas argamassas de reboco tecnologicamente evoluídas. É também possível atualmente, e com um único produto (argamassa), proteger as paredes para assim garantir o seu desempenho, verticalidade e oferecer uma gama vastíssima em termos de soluções de acabamento que satisfazem plenamente as expectativas estéticas dos projetistas. No entanto, quanto

à reabilitação, esta intervenção deve implicar a utilização de pelo menos duas camadas de pelo menos dois produtos (argamassas) distintos [4]. De notar que na escolha de uma argamassa de reabilitação, é imperativo compatibilizar o conceito original do objeto com o que se quer fazer, sem nunca esquecer que argamassa em causa deverá ter a maior durabilidade possível [5].

1.2 APLICAÇÃO NA REABILITAÇÃO

1.2.1 Considerações Gerais

A preservação do património edificado Português é impreterível devido à importância que este assume no contexto da identidade de um país com oito séculos de história, mas também por motivos económicos ligados ao subsector Turismo [6, 7].

Nos dias que correm, já não se fala na reabilitação como futuro, mas como presente. Com o mercado da reabilitação a aumentar e com uma política visível assente na sustentabilidade, que implica economia dos materiais e de energia, é fundamental escolher de forma cuidada os materiais a aplicar nesta área.

Assim, na escolha de uma argamassa de reabilitação, deve-se ter em conta a maior durabilidade possível desta, e nunca esquecer o conceito original da obra. Segundo Couto *et al.* [8], quando se pretende reabilitar, existem alguns critérios base a ter em conta, tais como:

- **Preservar o mais possível:** É preservando que se mantém a autenticidade do edifício. Um edifício é um conjunto de materiais e técnicas construtivas, e a sua conjugação constitui a sua identidade. Preservar significa prolongar essa identidade no tempo;
- **Reduzir as intervenções ao mínimo:** Restringir as intervenções ao mínimo necessário tem várias vantagens. Não só do ponto de vista económico, como também do ponto de vista ecológico, minimizando também consequências de possíveis erros provenientes da aplicação de materiais ou técnicas incompatíveis;
- **Usar materiais e técnicas de origem ou compatíveis:** É preciso ter em consideração as técnicas e materiais que compõem o edifício em que se pretende fazer a intervenção. A utilização de materiais e técnicas recentes pode ser desastrosa não só em termos estéticos como de durabilidade (caso de aplicação de argamassas de cimento em edifícios antigos);

- **Adaptar o novo ao velho:** Os novos conceitos e os novos materiais devem ser adaptados ao existente e não o contrário. A introdução de elementos novos deverá ser sempre ponderada, nunca devendo significar a destruição desnecessária do existente. Ao longo da vida de um edifício é natural que novas exigências e novos conceitos exijam algumas adaptações, no entanto estas devem ser feitas respeitando o existente;
- **Conservar sempre uma reversibilidade futura:** A incorporação de novos elementos ou a substituição dos existentes, deverá, sempre que possível, considerar a possibilidade de uma reversibilidade futura. Isto requer uma intervenção mais cuidadosa.

Posto isto, a pergunta que se impõe é saber qual é o tipo de argamassa mais apropriada para a área da reabilitação.

No contexto da reabilitação do património edificado, o aparecimento do cimento portland propiciou o abandono das argamassas tradicionais à base de cal aérea, por se constituir como um ligante capaz de conferir às argamassas de reboco resistências mecânicas mais elevadas e pelo baixo tempo de presa, o que permitia a realização dos trabalhos em prazos relativamente mais curtos. Contudo, as argamassas contendo como ligante somente o cimento portland não constituem a solução mais adequada para as intervenções de reabilitação, devido aos inconvenientes que lhe estão normalmente associadas [6, 9]. Alguns autores referem que a utilização de quantidades mínimas de cimento portland, em argamassas de cal (argamassas bastardas), pode não representar uma solução tão desadequada, desde que as argamassas de reabilitação não estejam expostas a ambientes com elevada humidade relativa [7].

Em 2007, Sequeira *et al.* [5] debruçaram-se sobre este assunto e concluíram que, apesar do ligante aéreo ter uma ductilidade mais elevada (o que é mais favorável), a cal hidráulica apresenta um bom compromisso entre ductilidade e resistência, prevendo-se melhor resistência ao uso para argamassas de cal hidráulica natural, do que argamassas que contenham exclusivamente ligante aéreo ou hidráulico. Sendo este fator mais importante no caso da reabilitação [5].

No mesmo ano de 2007, num estudo feito por Kalaitzaki [10], conclui-se que as argamassas de cal hidráulica resistem melhor ao fenómeno da cristalização de sais, em comparação com as argamassas de cimento. É também referido que as argamassas com elevado número de poros pequenos, aquando submetidas a grandes pressões e devido à cristalização, têm grande probabilidade de destruir o material [10].

Já em 2012, Faria *et al.* [11] concluíram que as argamassas de cimento têm a seu favor o atual uso comum e a rapidez com que adquirem elevadas resistências mecânicas, bem como o baixo coeficiente de absorção capilar. Porém, apresentam como desvantagens resistências mecânicas, geralmente, demasiado elevadas face aos suportes onde são aplicadas. Estas argamassas apresentam também dificuldades de secagem, baixa permeabilidade ao vapor de água, libertação de sais solúveis, baixa deformabilidade, o que leva a que possam fissurar devido aos movimentos de suporte associados a variações de temperatura e humidade, ou seja, estas desvantagens conferem pouca durabilidade e com custos danosos para os suportes. Além disso, apresentam ainda elevados consumos energéticos e recursos naturais [11].

De realçar também que, as argamassas de cimento apresentam um aspeto final muito diferente das argamassas antigas, por exemplo, em termos da textura da superfície, do modo como refletem a luz. Para além disso, contêm na sua composição sais solúveis que são transportados para o interior das paredes e lá cristalizam, contribuindo para a sua degradação [12].

Já as argamassas de cal aérea têm a seu favor alguns pontos, nomeadamente, o facto de serem bastante permeáveis ao vapor de água, facilitarem a evaporação da água, serem mais deformáveis e apresentarem resistências mecânicas que não produzem tensões prejudiciais nos suportes onde estas estão aplicadas. Contudo, demoram muito tempo a atingir as características mecânicas necessárias e até mesmo a endurecer, quando aplicadas em ambientes com elevada humidade relativa ou fraco contacto com o dióxido de carbono. Perante isto, e por resultados obtidos, considera-se que a cal hidráulica possui determinadas características que são mais apropriadas para a reabilitação [11, 13].

A cal hidráulica natural possui uma vasta gama de aplicações, nomeadamente em argamassas para operações de reabilitação, como já foi dito anteriormente. Aqui, a cal hidráulica natural é o ligante que, possuindo presa hidráulica, possibilita a obtenção de propriedades mecânicas mais adequadas. A presa aérea confere as características físico-químicas que compatibilizam estas argamassas com os suportes antigos [5]. As argamassas de juntas de alvenarias antigas é um dos exemplos que resulta muito bem com a aplicação da cal hidráulica natural.

1.2.2 Requisitos das Argamassas de Reabilitação

Na utilização e aplicação das argamassas na conservação de edifícios antigos, estas têm de verificar um conjunto de exigências adicionais relacionadas com ética da conservação do património edificado, onde devem permitir o cumprimento de vários critérios [14-17]:

- Não contribuir para degradar os elementos pré-existentes, nomeadamente as alvenarias antigas;
- Proteger as paredes;
- Ser reversíveis, ou, pelo menos, reparáveis;
- Ser duráveis (e contribuir para a durabilidade do conjunto);
- Não prejudicar a apresentação visual da arquitetura, nem descaracterizar o edifício.

Para a verificação dos dois primeiros critérios, devem ser cumpridas exigências relacionadas com os seguintes pontos [17]:

- Bom comportamento à água: oferecer alguma resistência à penetração da água até ao suporte e não dificultar a sua secagem;
- Ter alguma resistência mecânica mas não transmitir tensões elevadas ao suporte;
- Não introduzir sais solúveis ao suporte.

Para a verificação do 3º e 4º critério, devem ser cumpridas exigências relacionadas com os seguintes pontos [17]:

- Alguma resistência mecânica, mas inferior à dos tipos de suportes sobre os quais se prevê que possam vir a ser aplicados;
- Aderência ao suporte suficiente para garantir a durabilidade mas não tão grande que a sua extração possa afetar a alvenaria; a rotura não pode ser coesiva no seio do suporte;
- Módulo de elasticidade relativamente pouco elevado;
- Reduzida suscetibilidade à fendilhação;
- Bom comportamento ao gelo e aos sais solúveis existentes no suporte.

Tendo em conta alguns dos critérios mencionados, Veiga [12] recomenda requisitos especificados para as argamassas de revestimento, presentes na Tabela 1.1 e Tabela 1.2.

Tabela 1.1 - Requisitos estabelecidos para características mecânicas das argamassas, segundo Veiga [12].

Uso	Características Mecânicas (MPa)			Aderência (MPa)	Comportamento à retração restringida			
	Rt	Rc	E		F _{rmáx} (N)	G (N.mm)	CSAF	CREF (mm)
Reboco exterior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000-5000	0,1 - 0,3 ou rotura coesiva pelo reboco	< 70	> 40	> 1,5	> 0,7
Reboco interior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000 - 5000		< 70	> 40	> 1,5	> 0,7
Juntas	0,4 - 0,8	0,6 - 3,0	3000 - 6000	0,1 - 0,5 ou rotura coesiva pela junta	< 70	> 40	> 1,5	> 0,7

Rt - Resistência à tração; Rc - Resistência à compressão; E - Módulo de elasticidade; F_{rmáx} - Força máxima induzida por retração restringida; G - Energia de rotura à tração; CSAF - Coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda; CREF - Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação.

Tabela 1.2 - Requisitos estabelecidos para características de comportamento à água e ao clima, segundo Veiga [12].

Uso	Comportamento à água					Envelhecimento artificial acelerado
	Ensaio clássico		Ensaio com humidímetro			
	S _D (m)	C (kg/m ² .h ^{1/2})	M (h)	S (h)	H (mv:h)	
Reboco exterior	< 0,08	< 12 > 8	> 0,1	< 120	< 16000	Médio: degradação moderada nos ciclos água/gelo
Reboco interior	< 0,10	-	-	< 120	-	
Juntas	< 0,10	< 12 > 8	> 0,1	< 120	< 16000	

S_D - espessura da camada de ar de difusão equivalente (valor relacionado com a permeância); C - coeficiente de capilaridade; M - atraso na molhagem; S - período de humedecimento; H - intensidade de molhagem.

As argamassas em estudo são produtos com base em cal hidráulica natural que se utilizam na reabilitação sobre superfícies antigas. A utilização exclusiva deste ligante de cal, e a sua composição especial, resultam numa excelente compatibilidade com os suportes antigos, onde para além da compatibilidade física e mecânica, destaca-se a elevada compatibilidade química na presença de sais solúveis que potencialmente migram nestes suportes [18].

1.3 ÂMBITO E OBJETIVOS

A presente dissertação de mestrado tem como objetivo principal estudar argamassas com base em cal hidráulica natural (NHL5), assim como as suas aplicações na área da reabilitação do edificado. Para isso, vão ser efetuados ensaios laboratoriais e “in situ”, que permitirão caracterizar melhor as argamassas em estudo.

Pretende-se neste estudo efetuar aplicações de três tipos diferentes de argamassas à base de cal hidráulica natural, em suportes de tijolo, com o fim de avaliar a possibilidade de aplicação deste tipo de produtos no edificado existente, tendo em atenção as soluções tradicionais de muitos centros urbanos em Portugal.

Neste estudo, que contou com a colaboração da empresa SECIL Argamassas, partiu-se de três tipos de argamassas complementares que se aplicam em conjunto como um sistema de reabilitação, e que têm em comum precisamente o ligante de cal hidráulica natural.

Estas argamassas serão avaliadas no estado seco, fresco e endurecido através da medição de um conjunto de propriedades fundamentais (trabalhabilidade, resistência mecânica, capilaridade, entre outras), tendo em atenção os requisitos funcionais exigidos e a necessidade de compatibilização das soluções em trabalhos de reabilitação.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 1 é apresentada uma breve introdução acerca do tema bem como os objetivos e organização do trabalho realizado. Fala-se também da aplicação das argamassas no campo da reabilitação.

No capítulo 2, apoiado pela pesquisa bibliográfica, é feito o enquadramento do estudo, descrevendo a constituição geral das argamassas, seus constituintes e algumas propriedades destas.

No capítulo 3 apresentam-se as metodologias do trabalho laboratorial e em espaço exterior (denominado “in situ”) desenvolvidas, no qual são descritos os procedimentos dos ensaios efetuados.

Segue-se o capítulo 4, onde são apresentados os resultados dos ensaios laboratoriais e “in situ” obtidos, assim como o tratamento dos resultados por forma a comparar as soluções e materiais.

No 5º, e último capítulo, são feitas as considerações finais. São ainda elaboradas algumas comparações entre o comportamento das diferentes argamassas em estudo. Finalmente são deixadas ideias para trabalhos a realizar futuramente.

CAPÍTULO 2

Argamassas

Definição Geral de Argamassas

Tipos de Argamassas

Propriedades e Utilização

Constituintes da Argamassa

Aplicação de Argamassas de Reabilitação

2 ARGAMASSAS

2.1 DEFINIÇÃO GERAL DE ARGAMASSAS

Segundo a NBR 13281 [19], a argamassa é uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante inorgânico e água, contendo ou não aditivos ou adições, podendo ser doseada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada). Esta pode ser usada como argamassa de assentamento ou de revestimento.

A formulação da argamassa é, normalmente, baseada na premissa que os vazios existentes no volume de agregados (geralmente rondam 25-40%) devem ser preenchidos com ligante, geralmente gesso, cal ou cimento, onde um dos seus principais objetivos é o de proporcionar coesão à mistura final [20].

Para se ter uma escolha controlada dos agregados que constituem a argamassa, recorre-se à curva granulométrica, onde além de ser um dos pressupostos básicos para o sucesso da argamassa, permite ter a noção imediata das características principais desta [21].

A possível utilização de adjuvantes ou aditivos no seu fabrico servem para conferir à argamassa algumas características que facilitem a sua aplicação, tais como o retardamento ou a aceleração de presa, o aumento da trabalhabilidade ou da adesão [20].

2.2 TIPOS DE ARGAMASSA

As normas existentes usadas são: (i) EN 998-1 [22], (ii) EN 998-2 [23]. Estas normas têm o intuito de classificar as argamassas de acordo com os seguintes parâmetros [24]:

Local de produção:

- Argamassas industriais: Argamassas que são doseadas e misturadas em fábrica. Podem-se apresentar “em pó”, requerendo apenas a adição de água ou “em pasta”, já amassada e pronta a aplicar;
- Argamassas industriais semiacabadas: São argamassas pré-doseadas, a modificar em obra. Dentro deste grupo existem as argamassas pré-doseadas e as argamassas pré-misturadas;

- Argamassas pré-doseadas: Argamassas cujos componentes são doseados em fábrica e fornecidos em obra, onde serão misturados segundo instruções e condições do fabricante;
- Argamassas pré-misturadas: Argamassas cujos componentes são doseados e misturados em fábrica, fornecidos em obra, onde serão adicionados outros componentes que o fabricante especifica ou também fornece;
- Argamassas feitas em obra (ou tradicionais): Argamassas compostas por constituintes primários (por exemplo, ligantes, agregados e água) doseados e misturados em obra.

Conceção:

- Argamassas de Desempenho (ou de prestação): Argamassas cuja composição e processo de fabrico estão definidos pelo fabricante com vista a obter propriedades específicas;
- Argamassas de Formulação: Argamassas que são fabricadas segundo uma composição predeterminada, para a qual as propriedades obtidas dependem da proporção entre os componentes.

2.3 PROPRIEDADES E UTILIZAÇÃO

As propriedades e a sua utilização estão diretamente associadas ao fim a que se destinam, como por exemplo, os rebocos, monomassas, argamassas de alvenaria, cimentos cola, entre outros. Contudo, são consideradas outras classificações possíveis, do ponto de vista da sua aplicação e o tipo de ligante [25].

A European Mortar Organization (EMO), baseada em normas europeias (EN) e internacionais (ISO), distingue as seguintes argamassas:

- | | |
|---|--|
| ▪ argamassa mineral de reboco | ▪ argamassa de restauração |
| ▪ reboco orgânico | ▪ argamassa de moldagem |
| ▪ reboco de silicato | ▪ argamassa de reparação do betão |
| ▪ argamassa de aderência | ▪ argamassa de regularização |
| ▪ sistema de isolamento térmico pelo exterior (ITE) | ▪ argamassa de assentamento de alvenaria |
| ▪ argamassa base | ▪ argamassa de betonilha |
| ▪ argamassa base de um ITE | ▪ argamassa de selagem |
| ▪ argamassa de enchimento | ▪ cimento-cola, (C) |

-
- argamassa de revestimento mineral
 - revestimento monomassa
 - argamassa de isolamento térmico
 - argamassa de drenagem
 - argamassa resistente à intempérie
 - argamassa de obturação
 - argamassa de impermeabilização
 - argamassa de assentamento de alvenaria
 - argamassa de cobertura
 - adesivo de dispersão, (D)
 - cola reativa, (R)
 - argamassa de juntas
 - argamassa autonivelante
 - argamassa de pavimentação
 - argamassa de ancoragem
 - argamassa de injeção
 - argamassa de revestimento orgânico
 - argamassa de gunitagem

Uma vez que as argamassas para assentamento e revestimento são as mais utilizadas na construção, estas serão descritas com mais pormenor no subcapítulo seguinte.

2.3.1 Argamassas de Assentamento

A principal função das argamassas para assentamento é a união estável entre blocos ou tijolos das alvenarias, contribuindo também com a capacidade de isolante térmico e acústico. Os seus principais requisitos são a resistência, a boa aderência às estruturas e capacidade de acomodar movimentos devidos a tensões mecânicas, variações térmicas e variações de humidade. De referir que as diversas técnicas utilizadas no assentamento da argamassa dependem do tipo de bloco ou tijolo de alvenaria [20].

2.3.2 Argamassas de Revestimento

A argamassa de revestimento pode ser entendida como a proteção de uma superfície porosa com uma ou mais camadas superpostas de espessura normalmente uniforme, resultando numa superfície apta a receber, de maneira adequada, uma decoração final.

As principais funções de um revestimento de argamassa são [26]:

- Proteger a base, usualmente de alvenaria e a estrutura da ação direta dos agentes agressivos contribuindo para o isolamento termoacústico e a estanqueidade à água e aos gases;

- Permitir que o acabamento final resulte numa base regular, adequada ao recebimento de outros revestimentos, de acordo com o projeto arquitetónico, por meio da regularização dos elementos de vedação.

Normalmente, as argamassas utilizadas para revestimento são as argamassas à base de cal, à base de cimento e argamassas mistas de cal e cimento. Dependendo das proporções entre os constituintes da mistura e sua aplicação no revestimento, estas recebem diferentes nomes no seu emprego [Figura 2.1], descritos de seguida [26]:

- **Chapisco:** Camada de preparo da base, constituída de mistura de cimento, areia e aditivos, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento;
- **Emboço:** Camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base com ou sem chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final;
- **Reboco:** Camada de revestimento utilizada para o cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final.

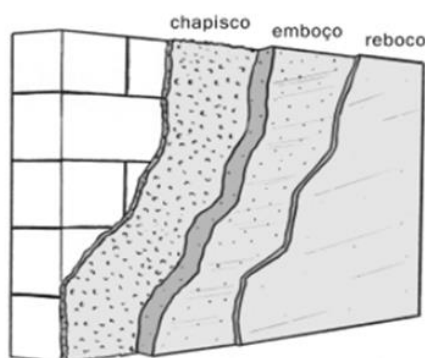


Figura 2.1 - Camadas do revestimento em argamassa [26].

2.3.3 Propriedades das Argamassas

As argamassas, para cumprir adequadamente as suas funções, devem possuir características e propriedades que sejam compatíveis com as condições que se pretende.

De seguida são enumeradas, de uma maneira muito sucinta, algumas das propriedades /características das argamassas que serão abordadas ao longo da dissertação [24]:

- **Trabalhabilidade:** Conjunto de propriedades de aplicação de uma argamassa, que caracterizam a sua adequação ao uso;
- **Durabilidade:** Resistência da argamassa a diferentes condições químicas, mecânicas e climáticas, que asseguram o seu desempenho ao longo do tempo de vida útil;
- **Resistência à compressão:** Valor de rutura de uma argamassa, determinado através da aplicação de uma força de compressão em dois pontos opostos;
- **Capilaridade:** Capacidade que uma argamassa tem de absorver água, de forma natural, sem se exercer pressão, devido à sua rede de poros capilares;
- **Permeabilidade ao vapor de água:** Fluxo de vapor de água que atravessa a argamassa, em condições de equilíbrio, por unidade de superfície e pressão de vapor;
- **Aderência:** Força máxima de rutura, por unidade de superfície, de uma argamassa, aplicada sob um suporte, que pode ser determinada por aplicação de uma força de tração ou corte;
- **Condutividade térmica:** Característica térmica (λ) de uma argamassa em pó. Este valor está relacionado com a densidade da argamassa endurecida;
- **Porosidade:** Relação entre o volume de poros existentes na argamassa e o seu volume total;
- **Impermeabilidade:** Capacidade de uma argamassa para impedir a penetração de água, sob uma determinada pressão.

2.4 CONSTITUINTES DA ARGAMASSA

2.4.1 Agregados

Segundo a EN 998-1 [22], um agregado é um material granular que não intervém na reação de endurecimento da argamassa, onde é constituído por misturas de partículas com uma extensa gama de tamanhos que formam o “esqueleto” da argamassa.

Atualmente, os agregados utilizados podem ser de origem natural, como a areia e o cascalho, que já se encontram nesta forma na natureza; de origem industrializada, em que a composição e granulometria são obtidas, ou ajustadas, por processos industriais que transformam rochas,

escórias de alto-forno, entre outras; e de origem reciclada, que resultam do processamento de material inorgânico usado anteriormente na construção.

A utilização destes materiais como agregados deve ter em conta a funcionalidade da argamassa que vão integrar, e deve obedecer a determinados requisitos, quer a nível físico como químico. Do ponto de vista físico, considera-se importante a dimensão, granulometria, forma granulométrica, massa volúmica das partículas, absorção de água e resistência ao gelo-degelo. Do ponto de vista químico, refere-se o teor em iões cloro solúveis em água dos agregados e cargas, o teor de sulfatos solúveis em meio ácido dos agregados e fillers das argamassas, constituintes que alterem o tempo de presa e resistência mecânica da argamassa, matéria solúvel e perda ao fogo.

Em Portugal, os agregados mais utilizados na indústria das argamassas são: (i) as areias de sílica, devido à facilidade de extração e por se encontrarem em jazidas dispersas por todo o país, resultando num preço reduzido, e (ii) os carbonatos de cálcio, devido a serem facilmente trabalháveis, assegurando um desenho granulométrico superior [25].

2.4.2 Ligantes

A classificação das argamassas, como já referido, pode ser feita em grupos e subgrupos mais ou menos distintos, divididos pelo tipo de ligante. As argamassas são constituídas por ligantes como cal, gesso ou cimento e dependendo da sua composição, as suas propriedades vão variar consideravelmente [20].

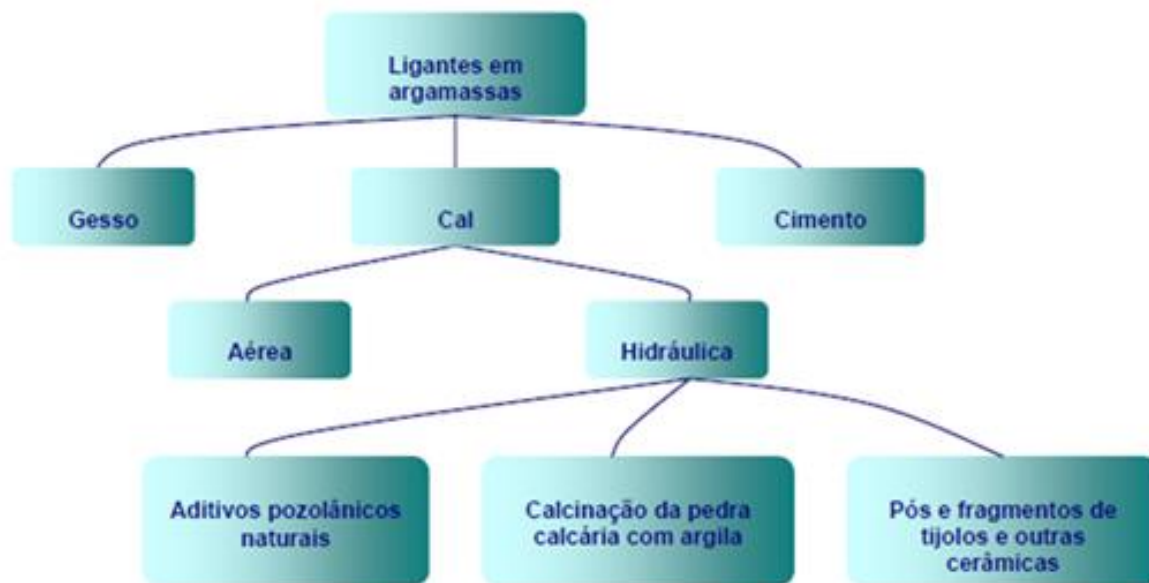


Figura 2.2 - Tipos de ligantes de argamassas [20].

Dentro do grupo das argamassas de cal, existem dois grandes subgrupos que são a cal aérea e a cal hidráulica. Neste último subgrupo, consideram-se ainda vários tipos de hidraulicidade, consoante ela é obtida pela adição de substâncias pozolânicas naturais, de pós e fragmentos de tijolo e outras cerâmicas, ou simplesmente pela calcinação de pedra calcária com alguma percentagem de argila, como demonstra a Figura 2.2. Em alguns casos, ainda são utilizadas misturas entre cal e gesso ou entre cal e cimento, denominadas argamassas bastardas, de forma a poder aproveitar as melhores propriedades de cada constituinte [20].

2.4.2.1 Ligantes de gesso

O gesso encontra-se abundantemente na natureza (terrenos sedimentares) sob a forma de anidrite (CaSO_4) ou pedra de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Este é usado em argamassa desde há muito tempo, devido à facilidade de produção e à sua capacidade de endurecer rapidamente que está relacionada com a ação coerente de presa da água de cristalização [20].

A matéria-prima do gesso é a pedra de gesso ou gesso, onde é triturada e, de seguida, colocada num forno, a uma temperatura de 160°C , a fim de sofrer uma desidratação parcial (sulfato de cálcio semi-hidratado). Segue-se a redução a pó e obtém-se o gesso corrente. O referido pó pode ser amassado com água, nas devidas proporções, originando sulfato de cálcio dihidratado [2].

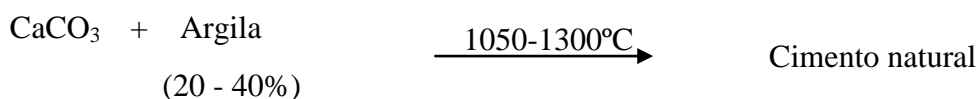
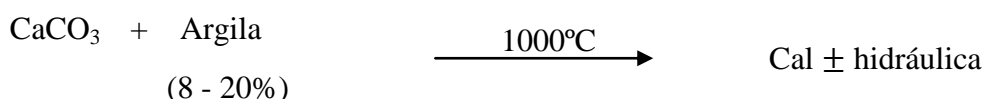
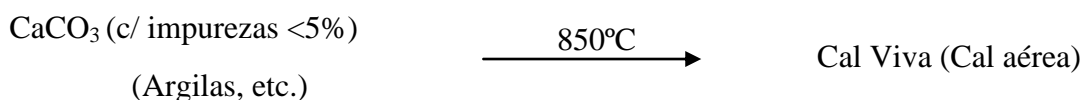
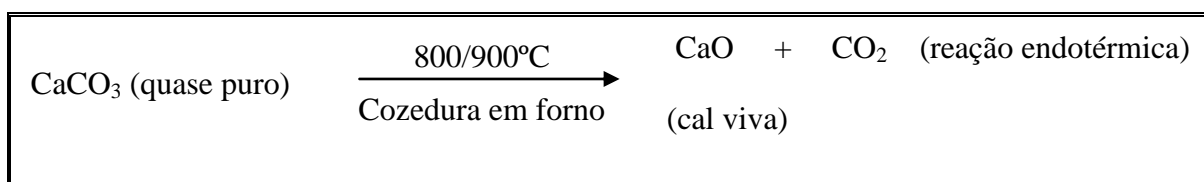
A qualidade de presa rápida do gesso, juntamente com a facilidade de obtenção e baixas temperaturas de produção, foi determinante para o uso do gesso como constituinte preferencial de argamassas durante muitos anos, apesar das suas duas grandes desvantagens: (i) baixa resistência e (ii) solubilidade nas águas pluviais. Neste sentido, a sua utilização está então mais vocacionada para climas secos ou para o interior de edifícios, como reboco, ou aproveitando a sua presa rápida para revestimentos multicamada (primeiras camadas). Apesar disso, é possível contornar as desvantagens utilizando misturas de gesso e cal [20].

A grande vantagem da utilização do gesso como ligante reside no facto de este se expandir ligeiramente durante a presa, o que leva a evitar problemas relacionados com a contração [20].

2.4.2.2 Ligantes de cal

De acordo com Norma NP EN 459-1 [27], define-se cal como sendo um material que abrange quaisquer formas físicas e químicas, sob as quais pode aparecer o óxido de cálcio e ou de magnésio (CaO e MgO) e ou hidróxidos (Ca(OH)₂ e Mg(OH)₂). De acordo com a referida norma, destacam-se a cal aérea e a cal hidráulica [27].

A cozedura do calcário puro dá origem ao óxido de cálcio que constitui a cal aérea, e a cozedura do calcário margoso dá origem às cal mais ou menos hidráulicas, conforme o teor de argila e também aos cimentos naturais [28].



As cais de construção são cais utilizadas na construção de edifícios e em engenharia civil. Na Tabela 2.1 estão apresentados todos os tipos de cais de construção [5]. Os campos de aplicação dos vários tipos de cais podem esquematizar-se da forma que se apresenta na Figura 2.3 [5].

Tabela 2.1 - Tipos de cais de construção^(a) [5].

Designação	Notação
Cal cálcica 90	CL 90
Cal cálcica 80	CL 80
Cal cálcica 70	CL 70
Cal dolomítica 85	DL 85
Cal dolomítica 80	DL 80
Cal hidráulica 2	HL 2
Cal hidráulica 3,5	HL 3,5
Cal hidráulica 5	HL 5
Cal hidráulica natural 2	NHL 2
Cal hidráulica natural 3,5	NHL 3,5
Cal hidráulica natural 5	NHL 5

^(a) Em complemento, as cais aéreas são classificadas de acordo com as suas condições de fornecimento, em cal viva (Q) ou cal hidratada (S). No caso particular de cais dolomíticas hidratadas, o grau de hidratação é identificado por S₁:semi-hidratada ou por S₂:totalmente hidratada

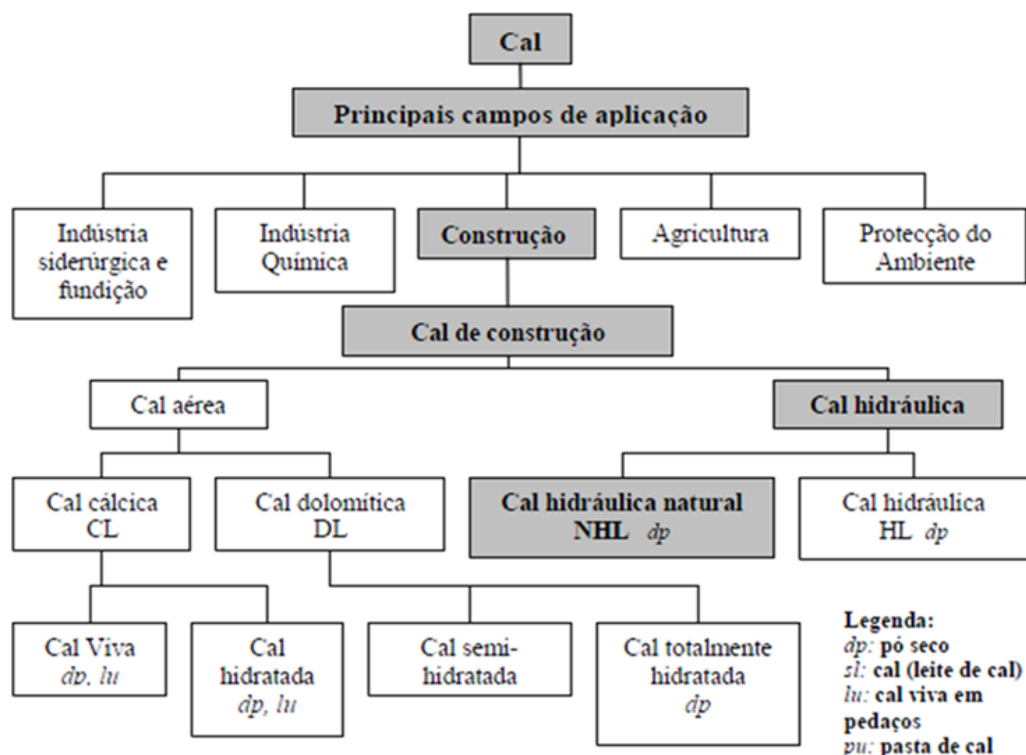


Figura 2.3 - Principais campos de aplicação [5].

2.4.2.2.1 Cal aérea

A cal aérea é um ligante constituído sobretudo por óxidos de cálcio, CaO , ou hidróxidos de cálcio, Ca(OH)_2 , que endurece lentamente ao ar por reação com o dióxido de carbono. Esta não endurece na água, pois não possui propriedades hidráulicas.

Quanto ao teor de impurezas, as cals aéreas dividem-se em dois grupos, gordas e magras, onde a reação de presa é a mesma para ambas.

As cals aéreas gordas derivam de calcários quase puros com teores de carbonato não inferiores a 99% e são de cor branca. Denominam-se de gordas devido às suas propriedades plásticas, pois são cals facilmente trabalháveis e bastante macias.

As cals aéreas magras derivam de calcários com teores de argila e de outras impurezas compreendidos entre 1 e 5% e têm uma cor acinzentada. Estas cals têm as desvantagens de não serem tão trabalháveis e não tão macias, em comparação com as cals aéreas gordas.

A cal aérea é cálcica quando é sobretudo constituída por óxido de cálcio (CaO) e, segundo a norma europeia, é designada pela sigla CL. É dolomítica quando na sua constituição tem sobretudo óxido de cálcio e óxido de magnésio, sendo designada na norma europeia pela sigla DL [28].

2.4.2.2.2 Cal hidráulica

As cals com propriedades hidráulicas são classificadas, segundo a NP EN 459-1, como cal hidráulica (HL), um ligante constituído sobretudo por hidróxido de cálcio, silicatos e aluminatos de cálcio produzidos pela mistura de materiais e/ou aditivos. Segundo a mesma norma, a cal hidráulica natural (NHL) é uma cal produzida pela calcinação de calcários mais ou menos argilosos ou siliciosos, e posterior redução a pó por extinção com ou sem moagem e sem qualquer tipo de aditivos. Estas têm a capacidade de desenvolver resistências em contacto com água, resistência hidráulica por hidrólise dos silicatos e resistência aérea através da reação de carbonatação com dióxido de carbono presente na atmosfera. A presa da cal hidráulica natural acontece em duas fases, sendo inicialmente predominantemente hidráulica, onde é obtida pela hidratação dos aluminatos e silicatos de cálcio após a amassadura e, a longo prazo, produz efeitos a presa aérea, ocorrendo por reação do hidróxido de cálcio com o dióxido de carbono atmosférico [5].

A cal hidráulica (HL) e a cal hidráulica natural (NHL) são classificadas de acordo com a sua resistência à compressão, como mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Resistência à compressão da cal hidráulica (HL) e cal hidráulica natural (NHL) [27].

Tipos de cals de construção	Resistência à compressão (MPa)	
	7 dias	28 dias
HL e NHL 2	-	≥ 2 a ≤ 7
HL 3,5 e NHL 3,5	-	$\geq 3,5$ a ≤ 10
HL 5 e NHL 5	≥ 2	≥ 5 a ≤ 15
HL 5 e NHL 5 com baridade inferior a $0,90 \text{ kg/dm}^3$ são permitidas uma resistência até 20 MPa.		

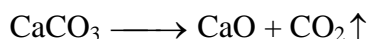
Na Tabela 2.3 estão descritas propriedades da cal hidráulica (HL) segundo a norma EN 459-1.

Tabela 2.3 - Propriedades da cal hidráulica [29].

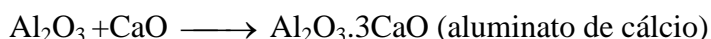
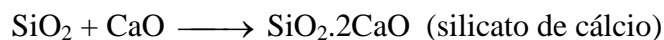
Propriedades		Valor Médio (ano 2005)
Água livre		0,8%
Presença	Início	1 hora
	Fim	6 horas
Sulfatos		2,3%
Cal livre		3,9%
Finura	90 m	11,0%
	200m	1,5%
Resistência à Compressão	7 dias	5 MPa
	28 dias	8 MPa

A cal hidráulica natural é obtida a partir da cozedura em fornos verticais de calcários que apresentam uma determinada quantidade de impurezas argilosas. Este processo engloba três fases [5]:

- 1) 500 a 550°C - ocorre desidratação da argila
- 2) 700 a 850°C - ocorre decomposição do calcário.



- 3) 700 a 900°C - ocorre formação de silicatos e aluminatos.



O fenómeno que distingue a cal hidráulica do cimento portland é a extinção da cal que é retirada do forno. Este processo tem o objetivo de hidratar o óxido de cálcio [28].

A finura da cal hidráulica é obtida por extinção do óxido de cálcio seguida de moagem em moinhos de bolas. Este processo deve ser feito com precaução, utilizando apenas a água estritamente necessária para converter o óxido de cálcio em hidróxido de cálcio. Esta extinção é realizada lentamente a temperaturas entre 130 e 400°C e após a extinção obtém-se pó.

Atualmente, a cal hidráulica natural é aplicada como o ligante de eleição na reabilitação de edifícios antigos, na medida em que devido às suas excepcionais propriedades, asseguram uma total compatibilidade a este tipo de suportes e na construção sustentável. Trata-se de um material respirável e durável, com a capacidade única de absorver CO_2 durante a carbonatação do hidróxido de cálcio e conseqüente formação de carbonato de cálcio [5].

A Figura 2.4 e Figura 2.5 ilustram, de um modo prático, a produção da cal hidráulica natural.

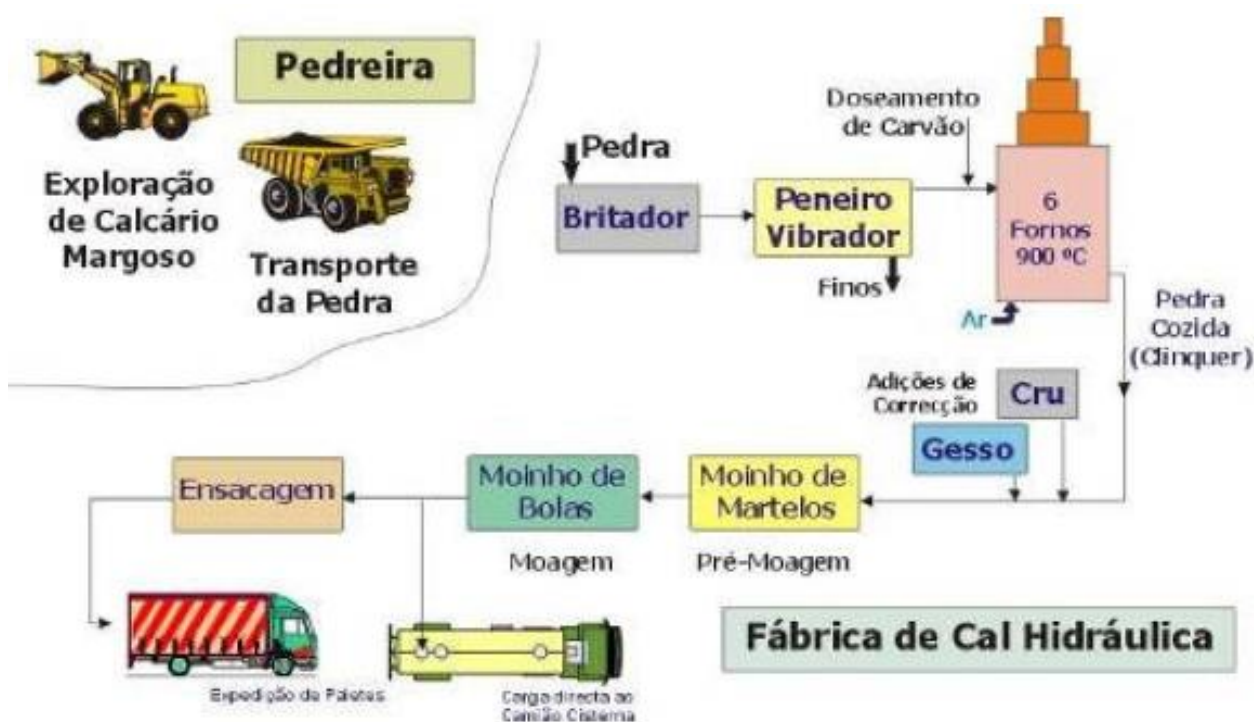


Figura 2.4 - Diagrama de produção industrial da cal hidráulica natural [5].



Figura 2.5 - Pedreira (à esquerda); Forno e Moinho (ao centro); Cal Hidráulica-NHL (à direita) [5].

A cal hidráulica natural possui uma vasta gama de aplicações, tais como nas argamassas tradicionais de reboco, argamassas para elevação de alvenarias, enchimentos e acabamentos. Para

operações de reabilitação, as argamassas que possuem cal hidráulica natural como ligante, ao possuírem presa hidráulica, possibilita a obtenção de propriedades mecânicas mais adequadas, sendo que a presa aérea confere características físico-químicas que compatibilizam estas argamassas com os suportes antigos [5].

Vantagens da aplicação da cal hidráulica em argamassas:

- Redução da fissuração e da fendilhação (devido à sua adesividade e baixa retração);
- Menor capilaridade e maior impermeabilização do suporte;
- Adequada resistência à compressão;
- Boa trabalhabilidade.

As suas principais aplicações são [29]:

- Na fabricação de argamassas, como único ligante ou em mistura com outros ligantes hidráulicos ou aéreos, conferindo-lhes trabalhabilidade e flexibilidade, reduzindo significativamente a retração das argamassas hidráulicas;
- Na fabricação de argamassas de reabilitação, como único ligante, em execução de rebocos exteriores sobre suportes antigos;
- No fabrico de blocos e outros artefactos de construção (maioritariamente para a cal hidráulica HL5);
- No tratamento de solos, para melhoria das características mecânicas e trabalhabilidade (maioritariamente para a cal hidráulica HL5);
- Como substituto do filler nos pavimentos betuminosos (só para a cal hidráulica HL5).

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

2.4.2.3 Ligantes de cimento

Hoje em dia, o cimento é sem dúvida o ligante preferencial em argamassas, principalmente em argamassas de alvenaria [20]. Este trata-se de um ligante hidráulico, pois ganha presa e endurece por via de reação de hidratação tanto no ar como debaixo de água, e também lhe esta associado outra característica, o seu poder aglomerante, que se manifesta quando misturado com agregados tornando possível o fabrico de argamassas e betões [1].

Basicamente, o cimento é produzido a partir de uma mistura de matérias-primas calcárias e argilosas, que geralmente contêm óxidos nas seguintes proporções: cálcio 60-65%, silício 20-24%, alumínio 6-10%, magnésio 1% e ferro até 3,5% [20].

Os cimentos comuns (CEM) encontram-se na norma EN 197-1 [30], e os cimentos brancos (BR) estão segundo a norma NP 4326 [31]. Para o fabrico das argamassas, podem ser utilizados qualquer um dos cimentos referidos, mas a seleção e dosificação dos cimentos deverá ser realizada em função da aplicação da argamassa [1].

É de notar que a cal e o cimento têm um aspeto (cor) muito parecido, pelo que podem ser facilmente confundidos e até mesmo sofrer falsificações. Isto pode ter consequências desastrosas, pois a cal hidráulica tem menor resistência que o cimento [28].

Tabela 2.4 - Comparação de características entre ligantes (cimento portland, cal hidráulica e cal hidratada) [32].

Características	Cimento tipo II	Cal hidráulica	Cal aérea
Resistência à compressão, aos 7 dias (MPa)	18 a 40	1 a 5	-
Resistência à compressão, aos 28 dias (MPa)	35 a 65	3 a 10	-
Resistência à compressão, aos 90 dias (MPa)	-	-	-
Tipo de presa:	Aérea	70 a 80%	-
	hidráulica	20 a 80%	-
Influência na trabalhabilidade	Média	Boa	Muito boa
Risco de fissuração	Médio	Desprezável	Desprezável
Adaptação ao movimento dos edifícios	Risco de fissuração	Boa capacidade	Boa capacidade
Isolamento sonoro	Fraco	Bom	Bom
Impermeabilidade à água	Muito boa	Muito boa	Boa
Permeabilidade aos vapores	Fraca	Boa	Boa

2.4.3 Aditivos e Adjuvantes

A adição de aditivos ou adjuvantes, como já anteriormente referido, tem como objetivo alterar algumas das propriedades de uma argamassa por ação física, química ou mecânica, sem no entanto modificar o seu aspeto visual (à exceção dos casos em que a alteração visual é proposta, como com pigmentos) [25].

Segundo a norma EN13318 [33] e EN 998-1 [22], estes são definidos como:

- Aditivo: Material inorgânico finamente dividido, que pode ser adicionado à argamassa com o objetivo de obter ou melhorar propriedades específicas;
- Adjuvante: Material orgânico ou inorgânico adicionado em pequenas quantidades com o objetivo de modificar as propriedades da argamassa fresca ou endurecida;

Pela norma EN13318 [33], estes materiais podem ter a função de [25]:

- Introdutor de ar: Adjuvante que permite a incorporação de uma quantidade controlada de bolhas de ar, distribuídas uniformemente na argamassa, que se mantêm apos o endurecimento;
- Superplastificante: Adjuvante que permite reduzir fortemente a quantidade de água de amassadura, ou ambos os efeitos em simultâneo;
- Plastificante: Adjuvante de ação semelhante ao anterior mas menos intensa;
- Retardador: Adjuvante que retarda o início de presa.

2.5 APLICAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO

No campo da aplicabilidade das argamassas na reabilitação do património edificado, estas devem ser usadas quando se verifica a necessidade de substituir, parcialmente ou na totalidade, as argamassas existentes.

Devem ser escolhidas argamassas adequadas a esse uso específico, com o fim de verificar determinados requisitos funcionais e estéticos exigidos. Esses requisitos variam em cada situação, onde se deve ter em conta fatores como as características de suporte, compatibilidade com os materiais existentes, o tipo de edificado e a respetiva época de construção, o clima da região e as condições ambientais a que está sujeito.

Desenham-se assim argamassas diferentes que devem funcionar, e serem aplicadas, como um sistema de modo a melhorar a durabilidade da aplicação. É importante referir que não são apenas as características dos materiais que influenciam o comportamento, a durabilidade e,

em geral, a qualidade do revestimento, uma vez que as técnicas de preparação e aplicação, as condições climáticas e de cura e a preparação do suporte são igualmente importantes [12].

Neste trabalho aborda-se um destes sistemas possíveis, baseado em cal hidráulica e de que se expõe de seguida, resumidamente, as suas características para melhor se perceber como funciona a integração no ato de reabilitação. O sistema estudado é composto pelos seguintes três tipos de argamassas:

Argamassa de Consolidação: Argamassa seca, de encasque aplicada de forma a preencher cavidades e quaisquer imperfeições do emparelhamento da alvenaria, podendo ser necessário recorrer a pequenos elementos constituintes da alvenaria para aumentar a espessura [18].



Figura 2.6 - Aplicação da argamassa de consolidação [18].

Argamassa de Reboco: Especialmente concebida para conservação e reabilitação do edificado, é destinada ao revestimento de alvenarias antigas ou de construção nova. A argamassa de reboco é seca e é normalmente aplicada sob a argamassa de consolidação, porém, pode ser também aplicada diretamente sobre suportes em alvenaria, sendo que estes devem estar coesos, limpos, sem qualquer tipo de material que afete as normais condições de aderência [34].



Figura 2.7 - Aplicação da argamassa de reboco [34].

Argamassa de Acabamento: Esta é uma argamassa seca, formulada também a partir de cal hidráulica natural e destinada para a execução de acabamentos finos em soluções de renovação e reabilitação de revestimentos antigos. É utilizada como acabamento na conservação e reabilitação do edificado, nomeadamente quando se pretende recuperar revestimentos exteriores de fachadas de edifícios antigos, que necessitem de elevados níveis de “transpirabilidade”, ou melhor, permeabilidade ao vapor. Esta argamassa é aplicada sob a argamassa de reboco ou também pode ser aplicada diretamente sobre suportes em alvenaria se estes estiverem em bom estado [35].



Figura 2.8 - Acabamento à base de cal na reabilitação de uma fachada antiga [35].

É importante referir que a seleção de revestimentos para utilização em intervenções de conservação e reabilitação, em edifícios antigos, deve ser realizada caso a caso pelo projetista, tendo em conta a natureza e a importância histórica do edifício e as condições concretas relacionadas com o revestimento antigo, com a natureza e o estado do suporte e com o clima local [17].

CAPÍTULO 3

Metodologia Experimental

Considerações Gerais
Características das Argamassas
Produção das Argamassas
Ensaio sobre as Argamassas
Aplicação das Argamassas “in situ”

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O conjunto de ensaios desenvolvidos tem o principal objetivo de avaliar as argamassas de consolidação, reboco e acabamento, no estado seco, fresco e endurecido. As argamassas usadas foram cedidas pela empresa SECIL Argamassas que esteve envolvida e ajudou na elaboração deste trabalho.

Para tal foi elaborado um plano de ensaios que consistiu em estudar:

- (i) Argamassas testadas em laboratório:
 - Caracterização das argamassas no estado seco;
 - Caracterização das argamassas no estado fresco;
 - Caracterização das argamassas no estado endurecido.
- (ii) Argamassas testadas “in situ”:
 - Caracterização das argamassas no estado endurecido.

Para a realização destes ensaios, que ajudam a caracterizar as argamassas, fez-se primeiramente uma recolha de informação, nomeadamente das normas que dizem respeito a cada um dos ensaios, para assim ver qual a metodologia experimental a seguir. Para a confeção das argamassas seguiram-se as indicações do fabricante. Efetuou-se então o estudo dos três tipos de argamassa no estado seco, fresco e endurecido.

3.2 CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS

Com base nas fichas técnicas dos materiais de seguida apresentam-se as características de cada argamassa.

(i) Argamassa de Consolidação:

Esta é uma argamassa seca, formulada exclusivamente a partir de cal hidráulica natural. Incorpora agregados siliciosos e calcários criteriosamente selecionados e destina-se à consolidação de suportes antigos, preenchendo cavidades e imperfeições de emparelhamento de alvenaria [18].

Tabela 3.1 - Características do produto, argamassa de consolidação [18].

<u>Produto em Pó</u>	
Granulometria (mm)	< 4,0
<u>Produto em Pasta</u>	
Água de Amassadura (%)	16,5 ± 0,5
Massa Volúmica (kg/m³)	1900 - 2100
Consumo teórico (kg/m²/mm)	16
<u>Produto Endurecido</u>	
Resistência à Compressão (Classe)	CS II (1,5N/mm ² a 5,0N/mm ²)
Massa Volúmica (kg/m³)	1700 - 1800
Capilaridade (Classe)	W0 (não especificada)
Módulo de Elasticidade (N/mm²)	2000 - 4000
Permeabilidade ao vapor de água (μ)	< 15,0
Aderência Tijolo e Bloco (N/mm²)/ MF	0,2/B
Penetração de água após ensaio de capilaridade (mm)	< 5,0
Condutibilidade térmica (w/m.K)	0,93 (P=90%) 0,83 (P=50%)

(ii) Argamassa de Reboco:

Esta é uma argamassa seca, formulada exclusivamente a partir de cal hidráulica natural. Incorpora agregados siliciosos e calcários criteriosamente selecionados e foi especialmente concebida para a conservação e reabilitação do edificado, sendo destinada ao revestimento de alvenarias antigas ou de construção nova. É aplicada como camada de enchimento e regularização em suportes antigos consolidados com a argamassa anterior, de consolidação [34].

Tabela 3.2 - Características do produto, argamassa de reboco [34].

<u>Produto em Pó</u>	
Granulometria (mm)	< 3,0
<u>Produto em Pasta</u>	
Água de Amassadura (%)	16,5 ± 0,5
Massa Volúmica (kg/m³)	1600 - 1800
Consumo teórico (kg/m²/mm)	14
<u>Produto Endurecido</u>	
Resistência à Compressão (Classe)	CS II (1,5N/mm ² a 5,0N/mm ²)
Massa Volúmica (kg/m³)	1400 - 1600
Capilaridade (após 24 h) (kg/m²)	≥ 0,3
Módulo de Elasticidade (N/mm²)	2000 - 4000
Permeabilidade ao vapor de água (μ)	< 5,0
Aderência Tijolo e Bloco (N/mm²)/ MF	0,2/B
Penetração de água após ensaio de capilaridade (mm)	< 5,0
Condutibilidade térmica (w/m.K)	0,76 (P=90%) 0,67 (P=50%)

(iii) Argamassa de Acabamento:

Esta é uma argamassa seca, formulada exclusivamente a partir de cal hidráulica natural, destinada para a execução de acabamentos transpiráveis, ou seja, permeáveis ao vapor, em soluções de renovação e reabilitação de revestimentos antigos. Esta também é constituída por agregados siliciosos e calcários que foram criteriosamente selecionados, e aplica-se sobre a camada de reboco e, como o próprio nome indica, serve de acabamento [35].

Tabela 3.3 - Características do produto, argamassa de acabamento [35].

<u>Produto em Pó</u>	
Granulometria (mm)	< 1,0
<u>Produto em Pasta</u>	
Água de Amassadura (%)	20,0 ± 1,0
Massa Volúmica (kg/m³)	1400 - 1600
Consumo teórico (kg/m²/mm)	1,2
<u>Produto Endurecido</u>	
Resistência à Compressão (Classe)	CS II (1,5N/mm ² a 5,0N/mm ²)
Massa Volúmica (kg/m³)	1200-1400
Capilaridade (após 24 h) (kg/m²)	≥ 0,3
Módulo de Elasticidade (N/mm²)	2000 - 4000
Permeabilidade ao vapor de água (μ)	< 5,0
Aderência Tijolo e Bloco (N/mm²)/ MF	0,2/B
Penetração de água após ensaio de capilaridade (mm)	< 5,0
Condutibilidade térmica (w/m.K)	0,54 (P=90%) 0,47 (P=50%)

3.3 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

Para as argamassa testadas em laboratório, recorreu-se a uma misturadora mecânica [Figura 3.1], onde se juntou primeiro a argamassa seca e posteriormente adicionada água. Estas quantidades de água e de produto foram calculadas com base nas instruções para o modo de preparação das argamassas, que se encontram na embalagem de cada produto. Nestas é dito que para a aplicação manual deve-se misturar 4,0 a 4,5 litros de água por cada saco de 25kg de produto. Este processo de mistura é iniciado com uma velocidade de rotação baixa e passados 30 segundos, aumenta-se esta velocidade para a rotação maior, durante 1 minuto e 30 segundos, finalizando assim a amassadura.



Figura 3.1 - Misturadora mecânica (à esquerda); Amassadura a decorrer (à direita).

Após a amassadura, procedeu-se à execução dos provetes, efetuada em moldes [Figura 3.2], previamente limpos com um óleo mineral, com dimensões de 4cm × 4cm × 16cm para cada provete.

Estes foram enchidos por duas vezes, com camadas aproximadamente iguais e, posteriormente, compactadas com o auxílio de um pilão em cerca de 25 pancadas. A argamassa em excesso foi retirada com uma régua metálica, nivelando a superfície da argamassa com o bordo superior do molde, como mostra a Figura 3.2.



Figura 3.2 - Moldes.

De seguida, estes moldes foram para uma câmara climática, capaz de manter as condições de temperatura e humidade ($HR=95\% \pm 5\%$ e $T=20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) e, passadas 48 horas, foram desmoldados e colocados em água numa sala com ambiente condicionado de temperatura e humidade ($HR=65\% \pm 5\%$ e $T=20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$). Passada uma semana, retiraram-se da água e ficaram nesta mesma sala até serem testados. Para além destes provetes foram feitos também provetes circulares, usados para o ensaio da permeabilidade ao vapor de água. A execução destes provetes encontra-se no capítulo que diz respeito a este ensaio de permeabilidade ao vapor de água.

Quanto à produção dos provetes sobre tijolos, também desenvolvidas em laboratório, com a finalidade de evitar a absorção de água de amassadura por parte destes, começou por se pulverizar os mesmos, para se garantir a adequada humedificação do suporte e limpeza dos excessos de água. Foram escolhidos suportes de tijolos em bom estado, sem fissuração e com as faces bem conservadas. Preparados os tijolos, a argamassa fresca foi aplicada sob estes suportes com espessura de 10 ± 1 mm, sendo retirado o excesso com o auxílio da régua metálica, como se pode visualizar na Figura 3.3. Os suportes foram colocados a $T=20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $HR=65\% \pm 5\%$ para a argamassa endurecer e aos 28 dias de cura realizarem-se os ensaios de aderência.

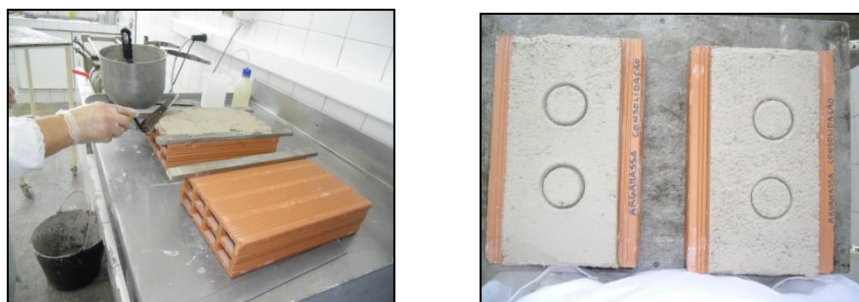


Figura 3.3 - Aplicação da argamassa sob suporte de tijolo.

A aplicação das argamassas “in situ” foi feita num muro de alvenaria de tijolo, muro este que foi construído fora das condições laboratoriais. É de referir que utilizou-se este muro de tijolo, pois não foi possível arranjar outro tipo de suporte, por exemplo adobe ou outro, que seria mais apropriado para a aplicação destas argamassas uma vez que são argamassas de reabilitação. As argamassas utilizadas foram as mesmas argamassas anteriormente produzidas em laboratório.



Figura 3.4 - Preparação da argamassa “in situ”.

Foi utilizada a argamassa de consolidação para assentar os tijolos. Esta, de textura mais grossira em comparação com os outros dois tipos de argamassa, serviu também para regularizar a parede, sendo utilizada na fase de chapisco e servindo de base para as camadas que se seguem, pois permite ter uma boa aderência.



Figura 3.5 - Parede de tijolo com juntas de argamassa de consolidação.



Figura 3.6 - Chapisco.

Quando o chapisco se encontra bem seco, é colocada uma nova camada de argamassa de reboco, de mais ou menos 2 a 3 cm de espessura. A argamassa de acabamento é colocada por último e tem cerca de 2 cm. Esta foi colocada por duas camadas, proporcionando uma melhor textura, pois evita irregularidades que possam acontecer devido a grãos existentes.



Figura 3.7 - Aplicação da camada de argamassa de reboco.



Figura 3.8 - Aplicação da camada de argamassa de acabamento.

3.4 ENSAIOS SOBRE AS ARGAMASSAS

3.4.1 Caracterização das Argamassas no Estado Seco

A análise granulométrica foi o método utilizado para a caracterização das argamassas no estado seco, segundo a norma NBR 7181. Este é o processo que visa definir, para determinadas faixas pré-estabelecidas de tamanhos de grão, a percentagem em peso que cada fração possui em relação à massa total da amostra em análise.

O sucesso de uma argamassa passa pela construção da curva granulométrica do material granular constituinte. De notar que para a construção da respetiva curva, e sendo o material em análise granular, recorreu-se a um processo de peneiração [21].



Figura 3.9 - Aparelho de peneiração.

Inicialmente pesaram-se 100g de amostra de produto em análise para a cápsula de pesagem e, de seguida, colocou-se a base de recolha sobre o aparelho de peneiração e sobre esta, os peneiros por ordem decrescente de abertura de malha. Foram ainda colocadas 2 bolas de borraça em cada peneiro até à abertura 1,0mm (inclusive).

Verteu-se cuidadosamente a amostra sobre a malha do peneiro superior e posteriormente, colocou-se a tampa sobre os peneiros e prendeu-se esta coluna firmemente com as correias.

Depois do aparelho devidamente montado, é feita a peneiração ao longo de 12 minutos com amplitude 1,5mm, onde no final são retiradas as correias e tampa. De seguida, procedeu-se à pesagem de cada peneiro com o material retido, tarou-se o peneiro com a amostra, limpou-se este com o auxílio de uma trincha e, por último, é colocado o peneiro vazio numa balança com o fim de registar o valor obtido.

3.4.2 Caracterização das Argamassas no Estado Fresco

O estudo das argamassas, no estado fresco, foi feito a partir do comportamento reológico e trabalhabilidade das mesmas.

O termo reologia foi introduzido pelo professor Eugene Bingham para descrever a ciência que estuda o modo de como a matéria flui ou como esta se deforma, ou seja, estuda as propriedades físicas que influenciam o transporte de quantidade de movimento num fluido, nomeadamente a viscosidade.

A viscosidade é a propriedade reológica mais conhecida e descreve as propriedades de escoamento de um fluido, ou seja, o atrito das camadas internas dentro do fluido que impõe resistência a fluir [36].

A trabalhabilidade é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas numa condição homogênea [37]. A trabalhabilidade poderá ser melhorada através da adição de aditivos incorporadores de ar, porém devem-se ter em conta os cuidados na sua dosagem para não prejudicar a sua aderência e resistência [38].

O estudo da reologia da argamassa começa por verificar a trabalhabilidade da mesma, com a utilização de uma mesa de espalhamento [39]. O ensaio do espalhamento, feito segundo a norma EN 1015-3[40], é iniciado com o enchimento até meio de um copo cónico (estando este já sobre a mesa de espalhamento) com a argamassa. Segue-se uma pequena compactação, com a ajuda de um pilão, e preenche-se o restante espaço do copo, sendo novamente compactado. O copo cónico é retirado e são efetuadas automaticamente 15 pancadas na mesa de espalhamento.

Regista-se o diâmetro final da argamassa após as pancadas, como é demonstrado na Figura 3.10, e fica este valor como sendo o valor de referência do espalhamento da argamassa, como se pode ver na Tabela 4.2.



Figura 3.10 - Mesa de espalhamento.

Posteriormente é feito o ensaio reológico, pois este permite uma melhor caracterização da argamassa, na medida em que serve para estudar parâmetros tais como a viscosidade plástica e a tensão de cedência. Para tal, foi utilizado um reómetro da marca Viskomat NT, apresentado na Figura 3.11.



Figura 3.11 - Reómetro Viskomat NT.

O comportamento reológico foi analisado segundo o modelo de Bingham, através da equação seguinte:

$$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma} \quad (1)$$

Onde os parâmetros reológicos como a viscosidade plástica (η) e a tensão de cedência (τ_0) foram determinados e analisados com base neste ensaio [39].

Este reómetro mede o valor de torque (T) em função da velocidade de rotação (N) do copo do reómetro que contém a amostra. O valor do torque [N.mm] pode ser relacionado com a velocidade de rotação (N) através da equação:

$$T = g + hN \quad (2)$$

Onde g é o coeficiente proporcional à tensão de cedência ou de escoamento [N.mm] e h um coeficiente proporcional à viscosidade plástica [N.mm.min] [41].

Este ensaio é iniciado com o enchimento do copo do reómetro com argamassa até à marca estipulada. Posto isto, é descida uma vareta que começa a rodar dentro do copo consoante o programa estipulado. Neste estudo, o perfil definido é um perfil em que a velocidade inicia a 0 rpm ao longo de cerca de 60 min, com subidas de velocidade periódicas de 15 em 15 min até às 80 rpm. E logo a seguir, diminui no mesmo período até às 0 rpm iniciais. Nas zonas de variação de velocidade podem-se construir as curvas de fluxo.

As curvas de fluxo representam a variação do torque (T) em função da velocidade de rotação (N), a partir das quais se determinam as constantes proporcionais à viscosidade plástica (h) e à tensão de cedência (g), através do declive da reta e da ordenada na origem, respetivamente, uma vez que se tratam de argamassas com comportamento Binghamiano típico ($T=g+hN$).

3.4.3 Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido

O estudo das argamassas no estado endurecido foi feito em laboratório e em ambiente não laboratorial. Para os ensaios realizados em laboratório, foram utilizados provetes prismáticos (4×4×16) exceto para os ensaios da permeabilidade ao vapor, que foram utilizados provetes circulares. Para os ensaios das aderências, as argamassas foram aplicadas diretamente sobre os suportes de tijolo com uma espessura de aproximadamente 10±1 mm.

No ensaio feito em ambiente não laboratorial, as argamassas foram produzidas no local e aplicadas diretamente numa parede de tijolo.

3.4.3.1 Estudo do comportamento mecânico

3.4.3.1.1 Módulo de elasticidade

De um modo geral, o módulo de elasticidade, ou módulo de Young, é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido.

É de notar que o módulo de elasticidade de uma argamassa deve ser baixo para poder absorver a deformação da estrutura [20].

O presente ensaio foi feito aos 28 dias de cura, em que para as argamassas em causa foi usado o aparelho Pundit Lab, presente na Figura 3.12. Este fornece a velocidade de propagação das ondas e, com base neste valor, calcula-se o módulo de elasticidade.

Antes de se proceder ao ensaio, colocaram-se os provetes numa estufa ventilada, à temperatura $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$, para estes secarem até atingirem uma massa constante e posteriormente registar a sua massa ($m_{p.seco}$).

Determinou-se a densidade aparente de cada provete pela seguinte fórmula:

$$\text{Densidade aparente} = m_{p.seco} / v_p \quad (3)$$

Considerando-se o volume do provete, $v_p = 256 \times 10^{-6} \text{ m}^3$.

Após a calibração do aparelho Pundit Lab, efetuou-se a leitura do tempo de transmissão (t) de cada provete, colocando os transdutores do Pundit Lab nas faces laterais ($40 \times 40 \text{ mm}$) do provete (distanciados 160 mm), como mostra a Figura 3.12.

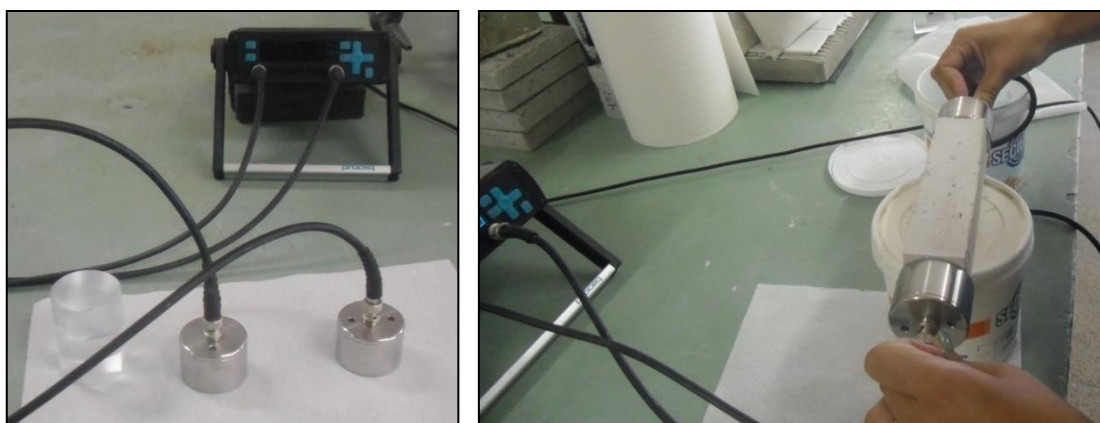


Figura 3.12 - Aparelho Pundit Lab usado no ensaio do módulo de elasticidade.

O cálculo do módulo de elasticidade (E) de cada provete é feito usando a equação (4), onde o valor médio do módulo de elasticidade (E_m) é calculado com base nos três provetes em causa.

$$E = 24739.5 \times \frac{D_{aparente}}{t^2} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

3.4.3.1.2 Resistência à flexão e à compressão

A grande parte dos materiais quando sujeitos a elevados esforços, atinge o seu limite de deformação, levando à sua rutura. A resistência corresponde à capacidade que um material tem em suportar esforços externos ou internos, sem entrar em rotura nem se deformar excessivamente [42]. Neste trabalho a resistência mecânica foi avaliada à flexão e à compressão.

O ensaio de resistência à flexão foi efetuado, segundo a norma EN 1015-11 [43], para cada provete de argamassa ($4 \times 4 \times 16$ cm) aos 7, 28, 60 e 120 dias de cura. O teste de resistência à flexão foi feito colocando o provete na máquina universal de ensaios, centrado perpendicularmente à célula de carga e apoios [Figura 3.13]. Aproximou-se a célula de carga da superfície do provete e iniciou-se o ensaio, onde a força aplicada na amostra foi aumentada gradualmente até ser detetada a rotura. Este procedimento foi efetuado para 3 provetes de cada um dos tipos de argamassa, sendo o valor da tensão de rotura à flexão a sua média.

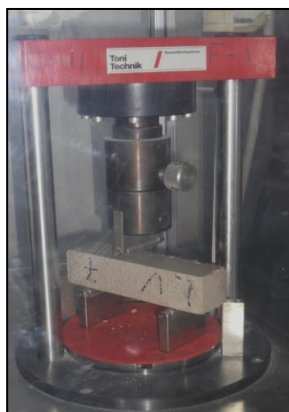


Figura 3.13 - Ensaio de resistência à flexão.

O ensaio de resistência à compressão foi efetuado, segundo a norma EN 1015-11 [43], para cada provete aos 7, 28, 60 e 120 dias de cura. Para este ensaio foi utilizada a mesma máquina universal de ensaios da resistência à flexão, onde os provetes utilizados são as metades que sobraram dos provetes testados à flexão. Estes são centrados entre os pratos da máquina, com

o fim de receber um acréscimo de força de compressão gradual até se dar a rotura, como mostra na Figura 3.14. Posto isto, a tensão de rotura é calculada a partir da média dos valores obtidos para os 3 provetes de cada formulação.

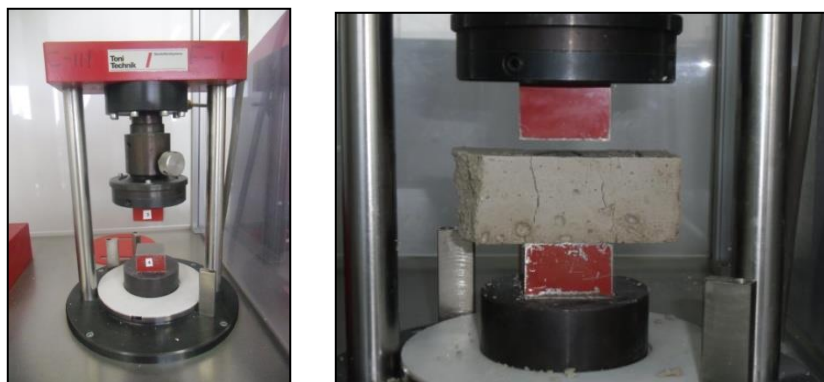


Figura 3.14 - Ensaio de resistência à compressão.

3.4.3.1.3 Resistência aos sais

Os sais solúveis estão presentes nos materiais de construção sob a forma de soluções aquosas que migram na rede porosa. A cristalização de sais solúveis no sistema poroso de uma argamassa produz, muito frequentemente, a deterioração desta, onde os sais produzidos são constituídos por iões existentes na água. Os iões penetram e circulam na estrutura porosa da argamassa sob a forma de soluções diluídas, dando origem a cristais. Numa estrutura porosa contendo sais acumulados, estes vão-se dissolver ou cristalizar dependendo da humidade relativa existente na atmosfera envolvente.

Uma argamassa porosa e permeável vai ser mais suscetível à cristalização de sais, na medida em que admite uma maior quantidade de solução na sua estrutura, e facilita a evaporação da água. Porém, quanto mais puros forem os seus materiais de origem, isto é, quanto menos contaminantes existirem, menor será a probabilidade de ocorrer cristalização de sais.

A cristalização de sais pode ser visto do seguinte modo [20]:

- Se a taxa de migração do líquido até à superfície for superior à taxa de evaporação da água, a cristalização dos sais dá-se à superfície, ocorrendo eflorescências que não são agressivas para a argamassa embora indiquem que nalgum ponto interior desta esta a ocorrer a cristalização;

- Se a taxa de migração do líquido até à superfície for inferior à taxa de evaporação da água, vai originar uma zona seca logo abaixo da superfície, dando-se por isso a cristalização dos sais na interface entre a zona seca e a zona húmida, originando flocos, laminas, etc. que causam esfoliação das camadas mais superficiais da argamassa ou a sua desintegração;
- Se por sua vez, a taxa de migração do líquido for muito inferior à taxa de evaporação da água, os depósitos de sais ocorrem no interior do material sem que seja possível observar qualquer deterioração superficial.

Concluindo, a cristalização pode ocorrer na superfície do material, formando-se eflorescências, ou no interior dos poros, o que dá origem a cripto-florescências. Estas introduzem tensões internas que podem originar a desintegração do material. As eflorescências não causam danos mecânicos, mas a sua presença pode constituir por si só uma degradação com consequências a nível, por exemplo, da estética ou da salubridade do edifício [44, 45].

De notar que é difícil prever o comportamento de uma argamassa de revestimento, unicamente com base nas suas características, uma vez que ela pode ser condicionada por fatores externos como as condições ambientais, a presença de revestimentos por pintura ou as propriedades dos materiais que constituem a alvenaria [44].

A resistência a sais solúveis é normalmente analisada quanto à sua resistência a sulfatos e cloretos de sódio. Não existe uma norma que defina um procedimento exato para este tipo de ensaio e portanto, adotou-se um que, descrito de seguida, consiste na dissolução de NaCl em água para verificar se em contacto com a argamassa ocorre a formação de sais.

No início do ensaio foram colocados os provetes numa estufa a $T=65^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas para a sua massa estabilizar. Ao fim deste tempo, os provetes foram colocados num exsiccador [Figura 3.15] para arrefecerem lentamente. Posteriormente e à parte, foi preparada uma solução aquosa de NaCl com 27g de NaCl e 1L de água. Retiraram-se os provetes do exsiccador e puseram-se sobre o geotêxtil [Figura 3.16], que foi previamente colocado dentro de um tabuleiro, imergindo-os parcialmente (5mm a partir da base do provete) com a solução aquosa previamente preparada. Posto isto, deixaram-se os provetes absorver a solução por capilaridade na câmara a $T=20^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR}=65\%$.

Fizeram-se ciclos durante 2 semanas, sendo 1 ciclo equivalente a: 7 horas de imersão, 17 horas na estufa a $T=65^{\circ}\text{C}$, onde os provetes foram pesados ao fim de cada ciclo. Durante mais 2 semanas estes ficaram na câmara de $T=20^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR}=65\%$ a “repousar”, para no final deste

tempo (1 mês), os provetes serem submetidos a testes para medir as suas propriedades mecânicas (resistência à compressão e à flexão).



Figura 3.15 - Amostras no exsiccador.



Figura 3.16 - Amostras sobre o geotêxtil.

3.4.3.1.4 Resistência ao gelo-degelo

O ensaio ao gelo-degelo efetuado nestes provetes não é normalizado, mas realizou-se aos 60 dias de cura, tendo por base a norma NP EN 539-2 [46]. Este ensaio tem como objetivo estudar o comportamento dos três tipos de argamassa, quando sujeitas a vários ciclos de gelo-degelo, ou seja, avaliar como o efeito da água nos provetes pode ou não ser destrutivo quando estes são sujeitos a grandes alterações de temperatura [47].

A porosidade está muito relacionada com este fenómeno de gelo-degelo, na medida em que o aumento do volume específico de água, quando esta passa do estado líquido para o estado

sólido (gelo-degelo), gera pressões na superfície dos poros da argamassa que podem levar a fissuração e fraturas. As argamassas são frágeis contra este tipo de pressão, principalmente se a porosidade for elevada, pois faz com que haja maior quantidade de água na estrutura. Os poros pequenos são no entanto mais sensíveis, pois colapsam mais facilmente se sujeitos a pressões elevadas [20].

Antes de se iniciar o ensaio, colocaram-se três provetes de cada tipo de argamassa num tabuleiro com água para estes irem “encharcados” para a câmara, posto isto, foram feitos 35 ciclos de gelo-degelo, fazendo variar a temperatura entre -10°C e $+15^{\circ}\text{C}$.

Este ensaio foi realizado numa câmara que permitiu fazer o seguinte programa de gelo-degelo: durante 30 minutos os provetes permanecem a -10°C e atingindo $+15^{\circ}\text{C}$ nos seguintes 30 minutos de forma crescente e linear, onde permanecem mais 30 minutos a esta temperatura, e vice-versa. Este procedimento é efetuado sucessivamente até se completarem os ciclos [Figura 3.17].

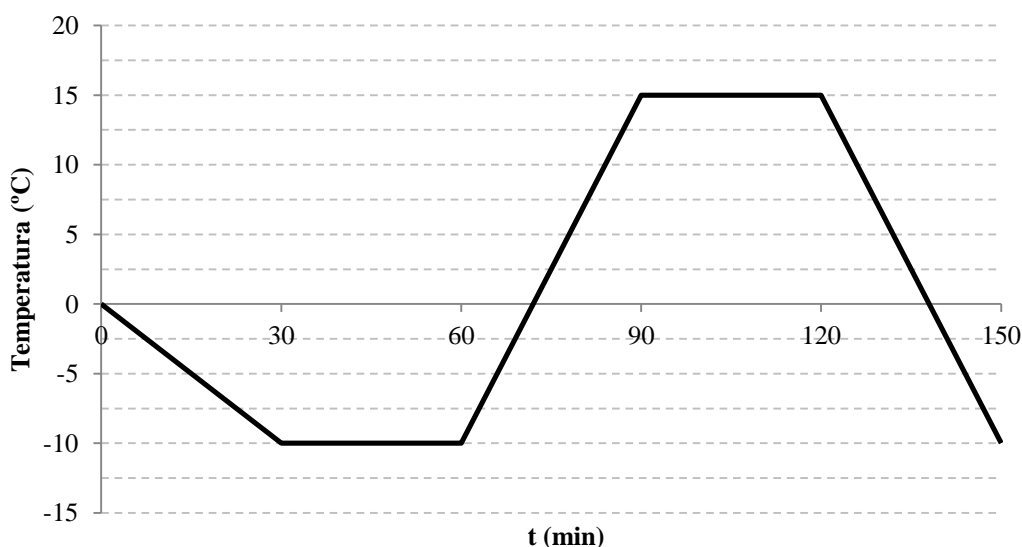


Figura 3.17 - Plano de um ciclo gelo-degelo.

Em cada dia foram feitos 5 ciclos e durante a noite fez-se a molhagem aos provetes, colocando-os imersos num tabuleiro. No fim de cada dia (5 ciclos) antes de molhar, anotou-se o peso dos provetes verificando também o estado destes. Ao fim dos 35 ciclos fez-se o teste de resistência à flexão e à compressão.

3.4.3.2 Fenómenos de transporte

3.4.3.2.1 Porosidade aberta

A porosidade é uma propriedade que diz respeito aos espaços vazios que se encontram dentro da amostra.

Com o ensaio de porosidade aberta foi possível avaliar para cada amostra, a percentagem de poros abertos, ou seja, os espaços comunicáveis com o exterior.

Este estudo foi feito tendo como base o princípio de Arquimedes, usando o sistema representado na Figura 3.18.



Figura 3.18 - Sistema utilizado para fazer o ensaio.

A percentagem de poros abertos foi calculada segundo a expressão seguinte:

$$\Phi = \frac{W_{sat} - W_{seco}}{W_{sat} - W_{sub}} \times 100 \quad (5)$$

Onde, Φ representa a percentagem de poros, W_{sat} é a massa com poros saturados, W_{seco} corresponde à massa da amostra seca e W_{sub} é a massa da amostra submersa com os poros saturados [48].

Escolheram-se pequenas amostras de cada um dos tipos de argamassa [Figura 3.19] e registou-se o seu peso (W_{seco}). De seguida, colocaram-se as amostras num tabuleiro com água durante 24 horas, para estas ficarem bem saturadas e registou-se o peso da amostra saturada de cada uma (W_{sat}). Por último, pesou-se cada uma das amostras saturadas submersas em água, utilizando o dispositivo da Figura 3.18, para assim se obter o peso das amostras saturadas

submersas (W_{sub}). Com estes valores calculou-se pela equação (5) a percentagem de poros abertos para cada uma das argamassas.



Figura 3.19 - Amostras das argamassas que foram ensaiadas.

3.4.3.2.2 Permeabilidade ao vapor de água

Segundo a norma EN1015-19, a permeabilidade ao vapor é o fluxo de vapor de água que passa por unidade de superfície, em condições de equilíbrio, de um material de unidade de espessura, quando entre os dois lados deste material existe diferença de pressão ao vapor [49].

A permeabilidade ao vapor de água melhora com o aumento do teor em cal na argamassa. Uma argamassa com alto teor em cal permite que o vapor de água passe do interior para o exterior, fazendo com que a construção “respire” [50].

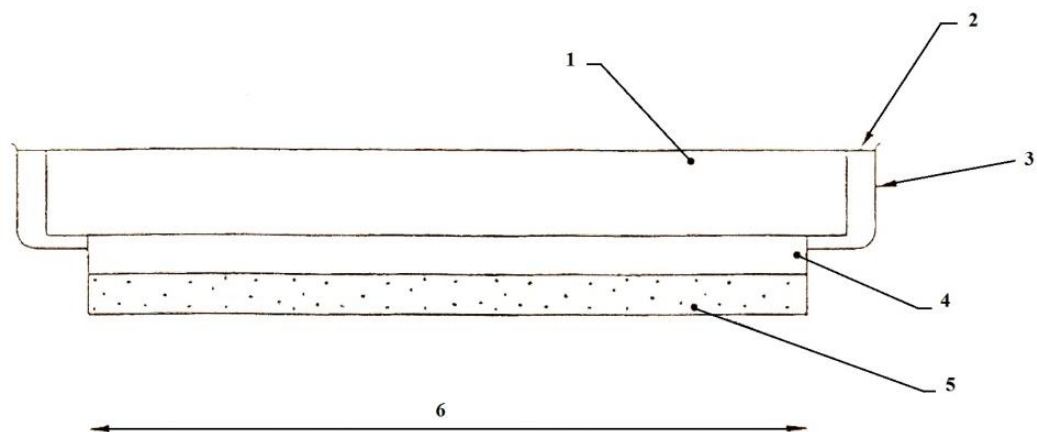
Na execução deste ensaio foram utilizados provetes de forma circular com diâmetro um pouco maior que o copo que foi utilizado para o ensaio [Figura 3.20].

Sobre um suporte de betão celular autoclavado, com uma massa volúmica de $550\text{kg/m}^3 \pm 50\text{kg/m}^3$, colocaram-se duas camadas de gaze de algodão e por cima deste, colocou-se o molde circular como mostra a figura seguinte. Encheu-se adequadamente com a argamassa e foram submetidos a 28 dias de cura em condições de $T=20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ e $HR=50\% \pm 5\%$.



Figura 3.20 - Moldes e amostras para o ensaio da permeabilidade ao vapor.

Após os 28 dias de cura, mediu-se a espessura dos provetes em 3 pontos distintos e calculou-se o valor médio, colocando de seguida a solução saturada de KNO_3 (nitrato de potássio) no copo de ensaio, deixando um espaço de ar de $10\text{mm} \pm 5\text{mm}$ entre o provete e a superfície da solução. Selou-se o provete com silicone, ficando na sala de conservação à $T=20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ e $\text{HR}=50\% \pm 5\%$ entre 1 a 2 dias até que o produto de selagem seque. Pesou-se e registou-se a massa do conjunto (provetes mais copo de ensaio), tempo de ensaio e humidade relativa da sala. O ensaio terminou quando se obteve um coeficiente de correlação 1,0 da equação linear da massa da amostra em função do tempo de ensaio, e com um mínimo de três pontos numa linha reta. Isto acontece quando a quantidade de vapor de água que passa através da amostra por unidade de tempo for constante [49].

**Legenda:**

- | | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1 - Amostra | 4 - Folga ($\approx 10\text{mm}$) |
| 2 - Selante | 5 - Solução saturada de sal |
| 3 - Copo de teste circular | 6 - Área ($\approx 0,02\text{m}^2$) |

Figura 3.21 - Copo do ensaio com a amostra [49].

A permeância ao vapor de água (Λ) é calculada pela seguinte fórmula:

$$\Lambda = \frac{1}{\frac{A \cdot \Delta p}{\Delta G / \Delta t} - R_A} \text{ em kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) \quad (6)$$

Onde:

A – Área da base dos provetes (cerca de $0,02 \text{ m}^2$)

t – Espessura do provete (m)

$\Delta G/\Delta t$ – valor absoluto do declive obtido no gráfico (variação de massa em função do tempo de ensaio) (kg/s)

R_A – Resistência ao vapor de água da folga de ar entre o provete e a solução salina, isto é, diferença na pressão do vapor de água entre o ar ambiente e a solução salina.

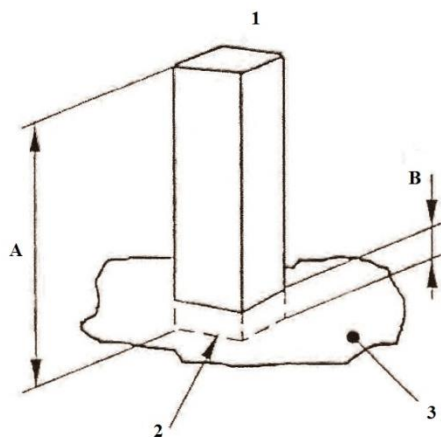
Δp – valores pontuais de pressão parcial de vapor obtidos no programa climatecalculator a partir da inserção da humidade relativa e temperatura.

A permeabilidade ao vapor de água (W_{VP}) foi obtida por [49]:

$$W_{VP} = \Lambda \times t$$

3.4.3.2.3 Capilaridade

Segundo a norma EN 1015-18 [51], a absorção de água por ação capilar é medida utilizando amostras de argamassas em forma de prismas à pressão atmosférica. Após a secagem dos provetes até massa constante, uma face da amostra é imersa em cerca de 5 a 10 mm de água [Figura 3.22] para um determinado período de tempo e o aumento da massa é determinado [51].



Legenda:

- 1 - Amostra Prismática
- 2 - Face da extremidade quebrada do prisma
- 3 - Superfície da água
- A - Aproximadamente 80 mm
- B - Imersão de 5 a 10 mm*
- *10 mm se a superfície for de textura muito grossa

Figura 3.22 - Esquema da colocação da amostra para o ensaio da capilaridade [51].

De uma maneira geral, a capilaridade é a capacidade que uma argamassa tem de absorver água de forma natural sem se exercer pressão [24].

Do ponto de vista da durabilidade das argamassas, o desenvolvimento da absorção de água por capilaridade ao longo do tempo, constitui um indicador importante, sobretudo no que se

refere a mecanismos de degradação, pois o tipo de argamassa “ideal” é aquele em que a absorção de água por capilaridade se faz lentamente e a sua secagem é feita de forma rápida. Este fenómeno é importante em argamassas de junta e de reboco em suportes de adobe, uma vez que a existência de água nestas argamassas é um dos motivos para a sua degradação [50, 52].

Para o ensaio da absorção de água por capilaridade, a moldagem dos provetes prismáticos teve um pormenor diferente em relação aos outros, pois nestes forrou-se a base do molde com papel de filtro, encheu-se o molde convenientemente com a argamassa, retirando o excesso e nivelando, e por último, colocou-se por cima outra folha de papel de filtro.

O processo de cura foi feito da mesma maneira que os restantes provetes. O papel de filtro tem como finalidade fazer a absorção completa de toda a água existente na argamassa, de forma a não influenciar os resultados.

O método exigido na norma 998-1 para este ensaio é o método da parafina, descrito na norma 1015-18. O método consiste em que cada provete deva ser cortado ao meio e barrado com parafina, exceto na face partida, registando-se posteriormente o valor do seu peso. Posteriormente, os provetes foram colocados sobre uns suportes postos num tabuleiro com a face partida virada para baixo.

Durante o ensaio, os provetes permaneceram imersos em água à profundidade de 5 a 10 mm para assegurar a completa imersão da superfície partida do provete, evitando a aderência de bolhas de ar. Iniciou-se a contagem do tempo (10 min, 1h30 min, 24h), mantendo o nível da água constante durante o teste.

Este ensaio é distinguido para dois tipos de argamassa, as argamassas de uso geral (GP) e as argamassas de renovação (R). Como mostra a Tabela 3.4, os valores de capilaridade têm que estar de acordo com o seguinte:

Tabela 3.4 - Excerto da tabela de resumos dos requisitos para argamassas endurecidas [22].

Teste	Método de teste	GP	LW	CR	OC	R	T
Absorção de água por capilaridade (categorias) (Para argamassas destinadas a serem utilizadas em elementos externos)	EN 1015-18	W0 a W2	W0 a W2	W0 a W2	W1 a W2	≥ 0,3 kg/m² Após 24h	W1

Segundo a norma EN 1015-18, a equação geral que define o índice de capilaridade é a seguinte:

$$(M_2 - M_1)/A = C\sqrt{t_i} \quad (7)$$

Para o caso em estudo, considera-se a argamassa de consolidação como sendo argamassa de uso geral (GP) e as argamassas de reboco e acabamento como sendo argamassas de renovação (R).

Posto isto, para a argamassa de uso geral, ou seja, para a argamassa de consolidação, o coeficiente de absorção de água por capilaridade é, por definição, o declive da reta da absorção da água aos 10 e 90 minutos, e pode ser calculado pela fórmula:

$$C = 0,1(M_2 - M_1) \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}) \quad (8)$$

Já para as argamassas de renovação, no caso a argamassa de reboco e de acabamento, a absorção de água é medida em kg/m^2 após 24 horas e utilizando a seguinte fórmula:

$$C = 0,625(M_3 - M_0) \quad \text{kg}/\text{m}^2 \quad (9)$$

Onde:

M_0 – massa do provete seco em g (usado em argamassas de renovação).

M_1 – massa do provete após imersão de 10 min em g.

M_2 – massa do provete após imersão de 90 min em g.

M_3 – massa do provete após imersão de 24h em g (usado em argamassas de renovação).



Figura 3.23 - Corte em duas partes dos provetes (à esquerda); Dissolução da parafina, em banho-maria (ao centro); Imersão da superfície partida do provete em água (à direita).

3.4.3.2.4 Absorção de água a baixa pressão (Tubos de Karsten)

O desempenho das argamassas em estudo, face à ação da água, é avaliado através do ensaio de tubos de Karsten. Este ensaio é um ensaio não-destrutivo que permite medir a absorção de água a baixa pressão do revestimento, com o intuito de avaliar a permeabilidade à água do mesmo.

A permeabilidade é uma característica que se define como a aptidão dos materiais serem atravessados por um fluido, quando submetidos a um gradiente de pressão [53].

A capacidade de impermeabilização dos revestimentos distingue-se como a sua aptidão em relação à água que neles penetra, devido à ação combinada da chuva e do vento sobre a sua superfície, para [54]:

- Atrasar no tempo o instante em que a água atinge o suporte;
- Limitar a quantidade de água que atinge o suporte;
- Reter a água junto ao suporte durante o mínimo tempo possível de modo a favorecer a secagem do revestimento.

Esta técnica é também frequentemente utilizada em revestimentos e paredes com os seguintes objetivos [55]:

- Determinar a permeabilidade à água líquida de revestimentos tradicionais ou não-tradicionais com base em ligantes minerais ou mistos;
- Avaliar a capacidade de impermeabilização à água dos revestimentos de paredes;
- Estimar o grau de degradação dos revestimentos e prever a vulnerabilidade das alterações superficiais à ação da água;
- Comparar resultados obtidos sobre diferentes tipos de superfícies de revestimentos e avaliar a influência do acabamento;
- Determinar o grau de proteção fornecido por um tratamento de superfície hidrófuga e a sua eficácia para um determinado período de tempo (durabilidade do tratamento).

Os tubos de Karsten são dispositivos de vidro graduados de 0 a 4 cm³, em forma de “cachimbo”, com a parte inferior em formato cilíndrico, que normalmente é fixado ao suporte com o auxílio de silicone.

Para a realização deste ensaio, começou por se revestir com silicone a superfície do bordo do tubo que ficou em contacto com o suporte de tijolo, com o intuito de ficarem colados. Após a secagem do silicone, atestou-se o tubo com água até à graduação 0 cm³ e esperou-se que esta

começa-se a baixar o nível a fim de registrar as leituras do tempo, isto é, fez-se o registo do tempo que a água demorou a baixar, registrando os valores para 1, 2, 3, e 4 ml.

Esta técnica foi feita em laboratório, embora possa também ser usada “in situ”. Os tubos foram colocados sob suporte de tijolo, como mostra a Figura 3.24, aos 45, 60 e 90 dias de cura.

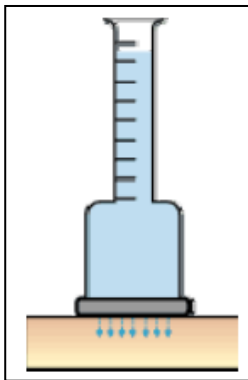


Figura 3.24 - Tubo de Karsten em superfície horizontal [56].

3.4.3.2.5 Condutibilidade térmica

O ensaio de condutibilidade térmica foi realizado segundo o método descrito nas normas ASTM C-518-91 e E-1530-93.

A condutibilidade térmica (λ) é uma propriedade característica de cada material, quer este se apresente em estado sólido, líquido ou gasoso.

O valor de λ é muito influenciado pela existência de cavidades elementares ocupadas por ar, por exemplo, em materiais porosos ou alveolares. Estas cavidades podem ser propositadas, ou acidentais, devido a certos processos tecnológicos, mudanças ou danos na estrutura. Os alvéolos acidentais podem fazer variar os valores da condutibilidade térmica duma forma imprevisível, favorecendo ou não o desempenho higrotérmico.

O valor de λ não é normalmente constante durante toda a vida útil dum material, podendo ser alterado como consequência de determinados fatores, tais como a temperatura, a humidade e o envelhecimento [42]. Na prática, é importante saber este coeficiente, pois quanto mais pequeno for, maior a sua resistência e capacidade de isolamento térmico.

Para este ensaio foi utilizada uma pequena amostra de cada um dos tipos de argamassa em estudo. Esta, e um transdutor de fluxo de calor (HFT) foram colocados entre duas placas a diferentes temperaturas de forma a produzir um fluxo de calor como mostra a Figura 3.25. A

montagem foi isolada termicamente e mantida a uma temperatura intermédia para minimizar a dissipação de calor na espessura da amostra. A reprodutibilidade da resistência térmica, nas áreas de contacto entre os pratos e a amostra, foi assegurada com a aplicação e manutenção de uma pressão controlada à montagem.

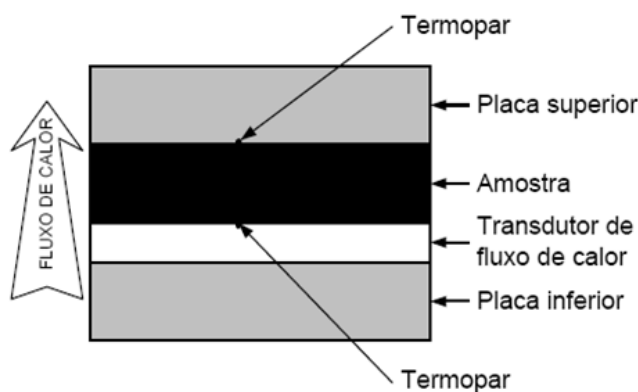


Figura 3.25 - Esquema do ensaio de condutibilidade térmica.

Em estado estacionário, as temperaturas das superfícies que contactam com a amostra foram medidas através de termopares e o calor foi medido pelo HFT.

Pela lei de Fourier, o calor medido é proporcional à resistência térmica da amostra e nas interfaces com os pratos. A proporcionalidade foi obtida através de uma calibração do sistema com amostras de condutibilidade térmica conhecida, realizada nas mesmas condições, para que a resistência nos contactos da superfície da amostra sejam reprodutíveis. Os requisitos do equipamento usado para este ensaio foram os apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Requisitos do equipamento de ensaio de condutibilidade térmica.

Tamanho da amostra	Diâmetro 50 mm
	Espessura 0,1 a 20 mm
Gama de temperaturas da amostra	20 a 200 °C
Gama de condutibilidade térmica recomendada	0,1 a 10 W m ⁻¹ K ⁻¹
Gama de resistência térmica	0,001 a 0,040 m ² K W ⁻¹
Exatidão e reprodutibilidade	2 a 5 % @ R > 0,005 m ² K W ⁻¹
	5 a 10 % @ R < 0,005 m ² K W ⁻¹

Segundo Santos e Matias [57], é possível fazer uma estimativa da condutibilidade térmica em função da massa volúmica aparente seca de vários tipos de argamassa. Esses valores podem ser consultados para vários tipos de argamassa, desde tradicionais, não tradicionais, argamassas com ligante cal ou até mesmo bastardas (cal + cimento) [Tabela 3.6].

Tabela 3.6 - Condutibilidade Térmica referentes a argamassas [57].

Material	Massa volúmica aparente seca (kg/m³)	Condutibilidade térmica, λ (W/(m·°C))
Argamassas e rebocos tradicionais	1800 - 2000	1,30
	> 2000	1,80
Argamassas e rebocos não-tradicionais	500 - 750	0,30
	750 - 1000	0,40
	1000 - 1250	0,55
	1250 - 1450	0,70
	1450 - 1600	0,80
	1600 - 1800	1,00
Argamassas e rebocos de cal e areia ou de argamassas bastarda	1600	0,80

3.5 APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS “IN SITU”

3.5.1 Considerações Gerais

Para que ocorra a união adequada da argamassa com o suporte, a mesma deve possuir boa adesividade, ou seja, capacidade de aderência da argamassa ao suporte no estado fresco e endurecido [38].

A aderência é a propriedade do revestimento que tem em conta a resistência às tensões atuantes na interface com o substrato no estado endurecido. No entanto, a resistência de aderência não é uma propriedade exclusiva da argamassa, sendo a interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento que se pretende avaliar [58]. A capacidade de aderência da argamassa depende, ainda, da quantidade e das características do agregado empregue. Com o aumento do teor de areia, há uma redução na resistência de aderência, por outro lado, é a

areia, por constituir-se no esqueleto indeformável da argamassa, que garante a durabilidade da aderência pela redução da retração [59].

A aderência da argamassa é um fenômeno essencialmente mecânico, devido à penetração da pasta do aglomerante, ou da própria argamassa, nos poros ou entre as rugosidades do substrato [59].

A falta de aderência pode provocar várias manifestações patológicas com consequentes prejuízos económicos e desconforto na habitabilidade. Uma das causas para a falta de aderência pode estar relacionada com a forma de lançamento da argamassa ao substrato (suporte). As argamassas projetadas mecanicamente podem apresentar valores de resistência de aderência superiores em relação às argamassas aplicadas manualmente, isto porque, a projeção mecânica proporciona maior superfície de contato e compacidade após a aplicação, reduzindo a porosidade e permeabilidade dos revestimentos. A ergonomia do operador, durante a execução do ensaio, pode também contribuir com a variação dos valores de resistência de aderência [58].

Outra das causas para a falta de aderência pode estar relacionada com a falta de chapisco sobre o suporte. Os revestimentos aplicados sem chapisco apresentam, muitas das vezes, baixas resistências de aderência, com valores bem abaixo ao requerido [60].

O chapisco é uma camada, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento [37].

Com o intuito de se estudar a tensão de rotura, fez-se o ensaio de aderência à tração, “pull-off”. Sendo que primeiramente as argamassas foram testadas em laboratório e aplicadas em suporte de tijolo (aderência a suportes) e, posteriormente, este ensaio foi feito numa parede de tijolo em ambiente não laboratorial (aderência em parede).

Os ensaios foram efetuados de acordo com a norma EN 1015-12 [61], onde a resistência de aderência à tração é calculada pela seguinte fórmula:

$$R = P/A \quad (10)$$

Onde:

R - Resistência de aderência à tração (MPa);

P - Carga de rotura (N);

A - Área da pastilha de ensaio (mm²).

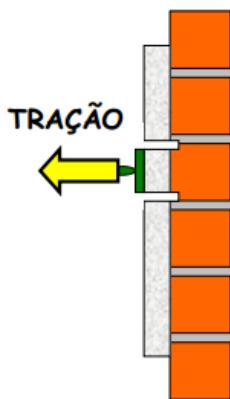


Figura 3.26 - Ensaio de resistência à tração pull-off.

Além do valor de rotura medido, é também possível verificar o tipo de rotura ocorrido. Se a rotura se deu na interface pastilha/argamassa ou argamassa/suporte, é chamada de rotura adesiva [Figura 3.27]. Se a rotura se deu na própria argamassa, é chamada de rotura coesiva [Figura 3.28].

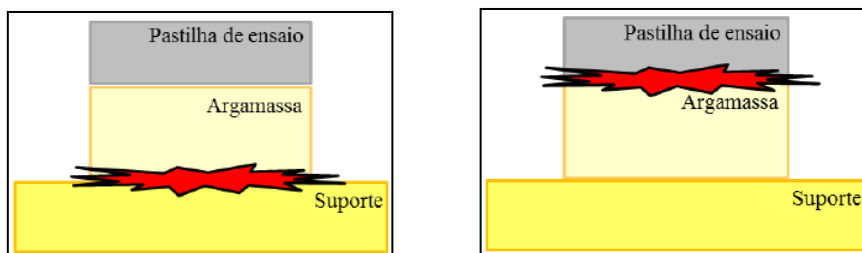


Figura 3.27 - Exemplificação do tipo de rotura adesiva [50].

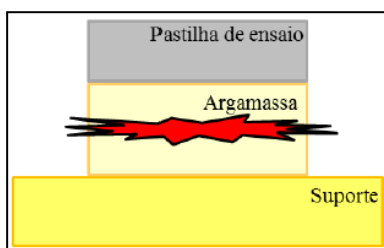


Figura 3.28 - Exemplificação do tipo de rotura coesiva [50].

3.5.2 Aderência a Suportes

Foram testadas em laboratório aderências em blocos de tijolo e também em caso real numa parede de tijolo.

Ainda com a argamassa fresca, “recortou-se” uma área (cerca de 50 mm de diâmetro), com a ajuda de um utensílio circular, para serem feitos os testes. Já com a argamassa endurecida, colaram-se as pastilhas sob estes moldes, e findo este processo, fez-se o ensaio com recurso à máquina universal de ensaios.

Com este ensaio, foi possível obter a tensão de rotura e observar o modo de rotura existente em cada tipo de argamassa para o suporte de tijolo.



Figura 3.29 - Amostra de tijolo preparada para o teste de “Pull-Off”.

3.5.3 Aderência em Parede

Foram aplicadas as argamassas na parede, como já descrito anteriormente, e aos 28 dias de cura foi feito o ensaio do “pull-off”. Esta parede foi preparada para fazer os testes só à camada de reboco e também a uma camada maior, reboco mais acabamento. Como se está perante um trabalho “in situ”, aqui foi utilizado um aparelho portátil para este ensaio.

Foi também feita uma análise visual à parede, com o fim de verificar se houve ou não existência de fissuras, ou algum tipo de degradação desta.

A Figura 3.30 mostra a parede preparada com as pastilhas para o ensaio das aderências ao tijolo, sendo as 5 pastilhas de cima da argamassa de reboco + acabamento, e as 4 pastilhas de baixo só com argamassa de reboco (à esquerda); realização do ensaio na parede (à direita).



Figura 3.30 - Ensaio de aderência.

CAPÍTULO 4

Resultados e Discussão

Formulações Desenvolvidas em Laboratório
Aplicação das Argamassas “in situ”










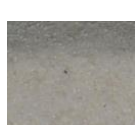
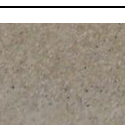

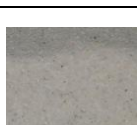
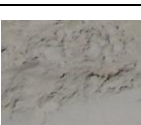


4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 FORMULAÇÕES DESENVOLVIDAS EM LABORATÓRIO

4.1.1 Caracterização das Argamassas no Estado Seco

A Tabela 4.1 mostra as dimensões das partículas que constituem as amostras das argamassas que ficaram retidas em cada peneiro, aquando o processo de peneiração.

Tabela 4.1 - Amostras retidas em cada peneiro para as argamassas de consolidação, reboco e acabamento.

Tipo de Argamassa Abertura do peneiro	Argamassa de consolidação	Argamassa de reboco	Argamassa de acabamento
2,000			
1,000			
0,500			
0,250			
0,125			
REFÚGO			

A Figura 4.1 representa as curvas granulométricas referentes a cada uma das argamassas que foram obtidas com base nos resultados da peneiração.

Verifica-se que a argamassa de acabamento é obviamente aquela que tem uma distribuição mais acentuada em termos de partículas finas, dada a natureza final da sua aplicação (acabamento), sendo as outras duas argamassas mais semelhantes.

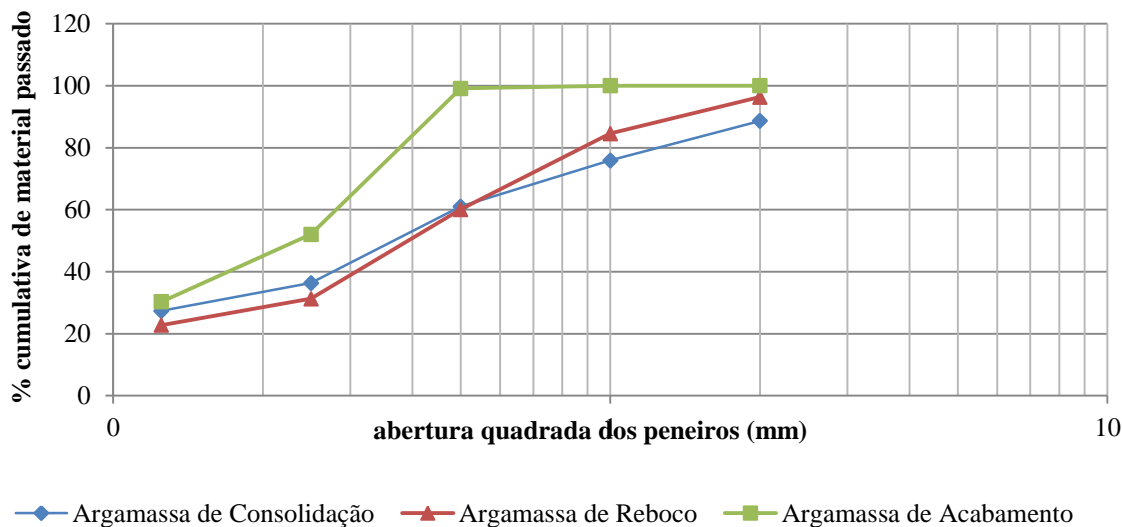


Figura 4.1 - Curvas granulométricas referentes aos três tipos de argamassa.

4.1.2 Caracterização das Argamassas no Estado Fresco

A caracterização no estado fresco foi efetuada por reologia e ensaio de espalhamento. Os valores de espalhamento das argamassas estudadas encontram-se na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Resultado do ensaio do espalhamento para os três tipos de argamassa.

Argamassa de consolidação	Argamassa de reboco	Argamassa de acabamento
150 mm (140-150 mm)	153 mm (150-160 mm)	157 mm (150-160 mm)

O espalhamento foi afinado nas formulações de modo a se obter os valores tabelados pretendidos para este tipo de argamassa. Para 2kg de argamassa ajustou-se a água de maneira a estas obterem o valor pretendido para o espalhamento, sendo que para a argamassa de consolidação

utilizaram-se 300g de água, para a de reboco 390g de água, e para a de acabamento 410g de água.

Sendo assim, verifica-se que estes valores estão dentro do intervalo que se pretende. Ao analisar os valores de espalhamento, verifica-se que as argamassas têm uma trabalhabilidade idêntica para poderem ser comparadas reologicamente.

O estudo do comportamento reológico foi iniciado com medidas no reómetro Viskomat NT, efetuadas para as três argamassas no estado fresco.

De seguida, apresenta-se o procedimento de como, a partir das curvas de torque em função do tempo e velocidade [Figura 4.2 e Figura 4.3], se chega aos parâmetros reológicos g (coeficiente proporcional à tensão) e h (coeficiente proporcional à viscosidade). As figuras seguintes referem-se à argamassa de consolidação, sendo que para as restantes faz-se do mesmo modo.

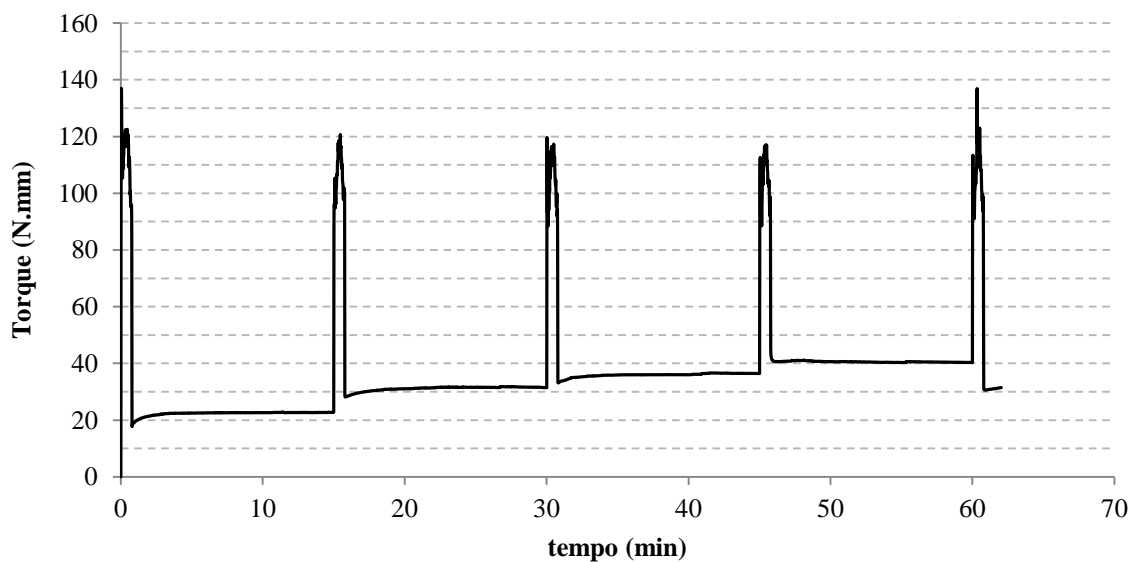


Figura 4.2 - Curva típica da variação do torque em função do tempo de ensaio (corresponde à argamassa de consolidação).

A Figura 4.2 é referente à argamassa de consolidação, e é uma curva típica de variação de torque em função do tempo de ensaio usando um perfil em patamar à velocidade de 80rpm. O torque começa por aumentar significativamente como consequência do aumento da velocidade de corte até 80 rpm. De seguida, observa-se uma diminuição deste. Definiu-se no reómetro o perfil, onde existe um acréscimo do torque após o início e aos 15, 30, 45 e 60 minutos, que se deve ao aumento da velocidade até as 80rpm e respetiva retoma de velocidade do ensaio, 0

rpm. É através desta variação de velocidades que se torna possível obter as curvas de fluxo, e desta forma, determinar os parâmetros reológicos das argamassas em estudo.

A equação de Bingham é a que mais se adequa para o modelo de comportamento de argamassas, por ser a que melhor traduz a evolução reológica, e a que possui maior fiabilidade para a determinação dos parâmetros reológicos (g e h).

Na Figura 4.3 observa-se que o comportamento do fluxo da pasta de cal base segue o modelo de Bingham.

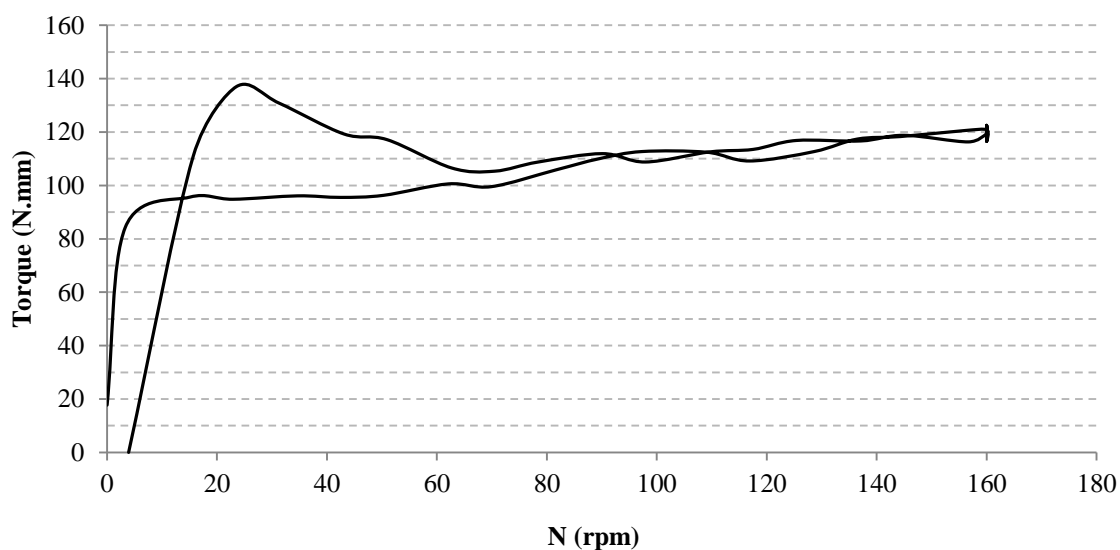


Figura 4.3 - Curva de fluxo obtida com a argamassa de consolidação, Torque em função da velocidade de rotação

Na Figura 4.4 encontra-se a reta que se ajusta ao modelo para a obtenção dos parâmetros reológicos g e h , de acordo com a equação $T = g + hN$. Esta reta é feita para t igual a 0, 15, 30, 45 e 60 minutos.

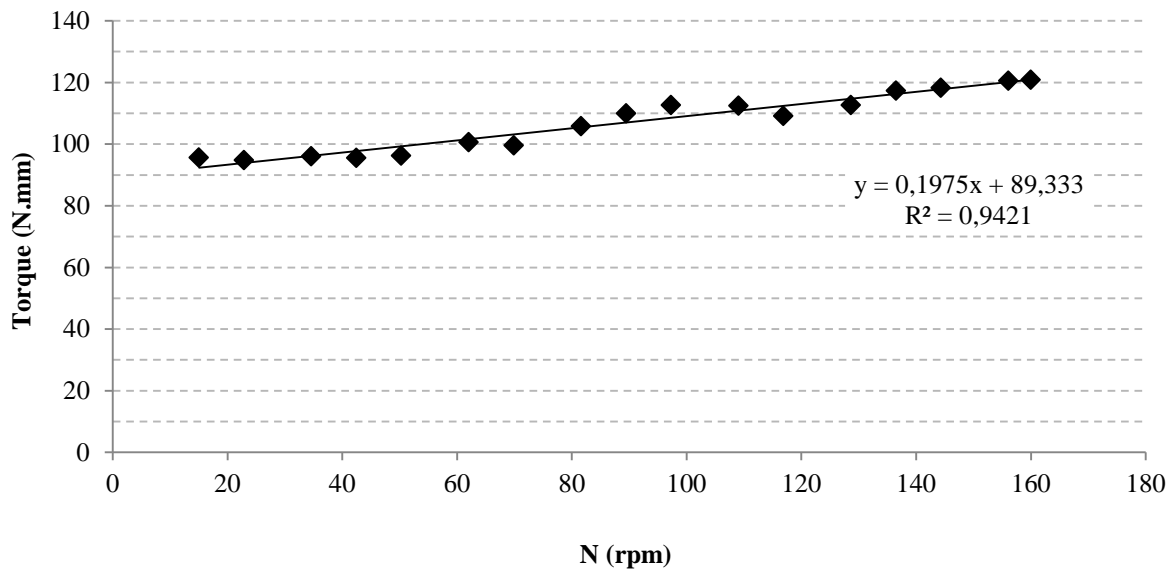


Figura 4.4 - Curva de fluxo da argamassa de consolidação obtida no minuto zero do ensaio, com perfil em patamar a 80 rpm.

A equação inserida na Figura 4.4 apresenta os valores relativos a h (0,1975N.mm.min) e g (89,333N.mm) para esta argamassa.

Este procedimento é feito também para t igual a 15, 30, 45 e 60 minutos e com estes valores de h e g , obtém-se o gráfico de g e h em função de t apresentados de seguida na Figura 4.5 e Figura 4.6.

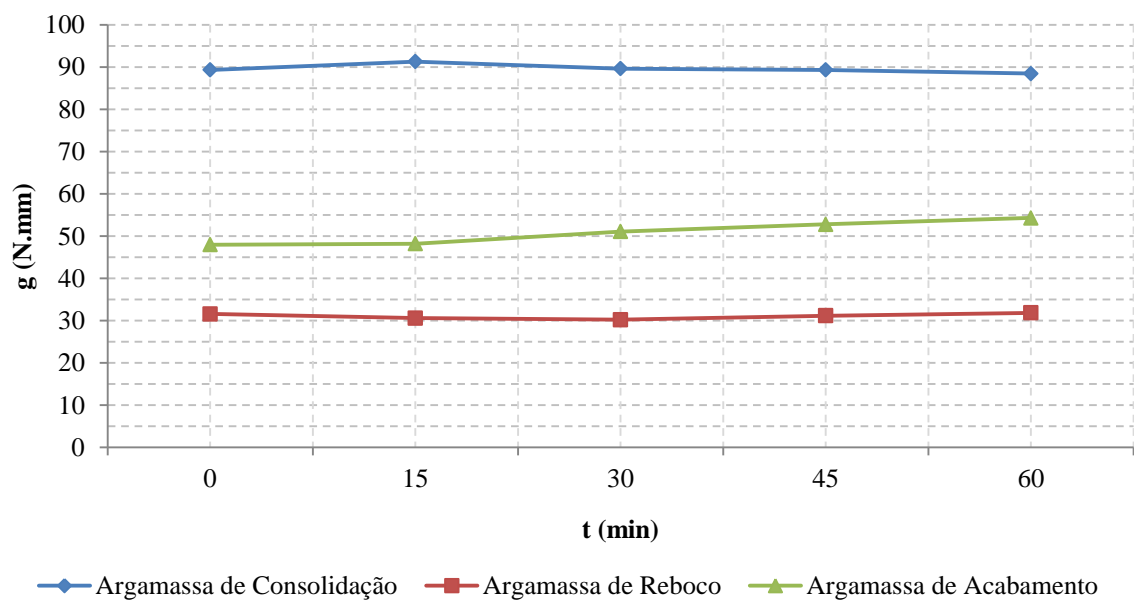


Figura 4.5 - Coeficiente proporcional à tensão, g .

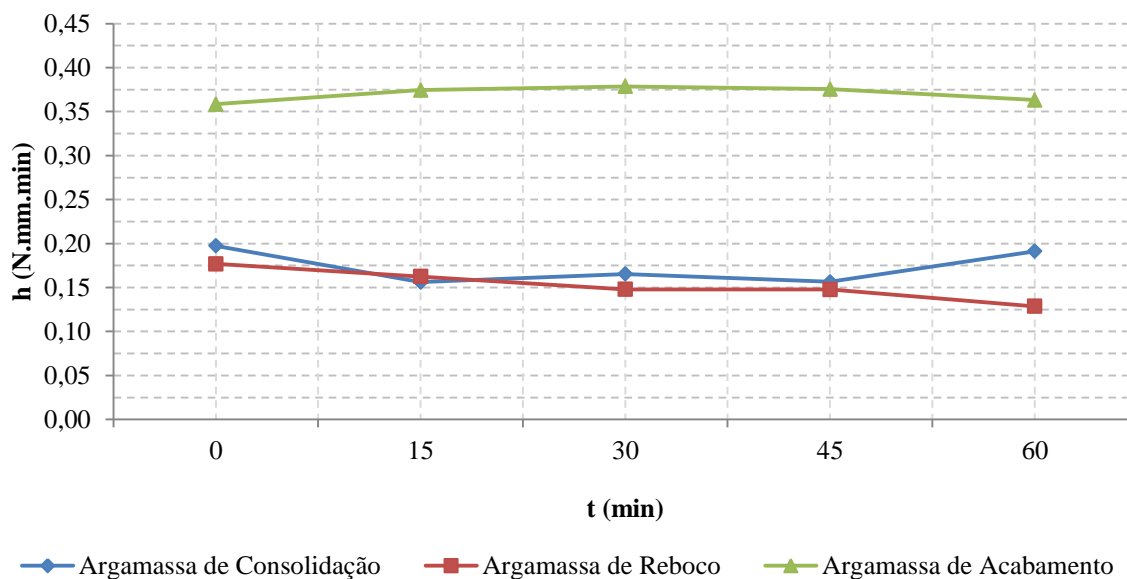


Figura 4.6 - Coeficiente proporcional à viscosidade, h.

Da observação dos gráficos, é de realçar que a argamassa de consolidação apresenta um coeficiente proporcional à viscosidade baixo mas uma tensão de cedência elevada, comparativamente com as restantes. Este facto está relacionado com a presença de aditivos numa percentagem muito baixa na argamassa de consolidação, e por isso, esta não reage de igual modo relativamente às argamassas de reboco e de acabamento.

4.1.3 Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido

4.1.3.1 Comportamento mecânico

Para uma melhor caracterização mecânica das argamassas, na Tabela 4.3 estão apresentados os módulos de elasticidade, E, referentes a cada tipo de argamassa em estudo.

Tabela 4.3 - Resultados referentes ao módulo de elasticidade, E.

Módulo de Elasticidade		
Argamassa de consolidação	Argamassa de reboco	Argamassa de acabamento
6100 MPa	2300 MPa	1250 MPa

A argamassa de consolidação é a que apresenta maior módulo de elasticidade. Como visto anteriormente, no ensaio reológico, isto seria um resultado já expectável, visto que a tensão de cedência desta argamassa é mais alta do que as outras.

As argamassas de reboco e acabamento são as que apresentam menor módulo de elasticidade, o que é aconselhável no campo da reabilitação de modo a minimizar a fendilhação por deformação do suporte ou da estrutura resistente, porque quanto menor for o módulo de elasticidade, maior será a capacidade de absorver deformações. Os valores recomendados por Veiga [12] encontram-se no intervalo de 2000-5000 MPa, no entanto, as argamassas de consolidação e acabamento situam-se fora deste intervalo.

Com o fim de melhorar a capacidade de absorver deformações, o aumento da espessura da camada é uma solução, onde se tem que tomar cuidado para não se ter espessuras excessivas que poderão comprometer a aderência [38].

A Tabela 4.4 e a Figura 4.7 apresentam os resultados dos ensaios da resistência à flexão feitos aos 7, 28, 60 e 120 dias de cura para os três tipos de argamassa em estudo.

Tabela 4.4 - Resultados do ensaio de resistência à flexão.

Resistência à Flexão (MPa)			
Dias de cura	Argamassa de consolidação	Argamassa de reboco	Argamassa de acabamento
7	0,22	-	0,60
28	1,15	1,10	0,70
60	1,05	1,00	1,10
120	1,05	1,00	1,22

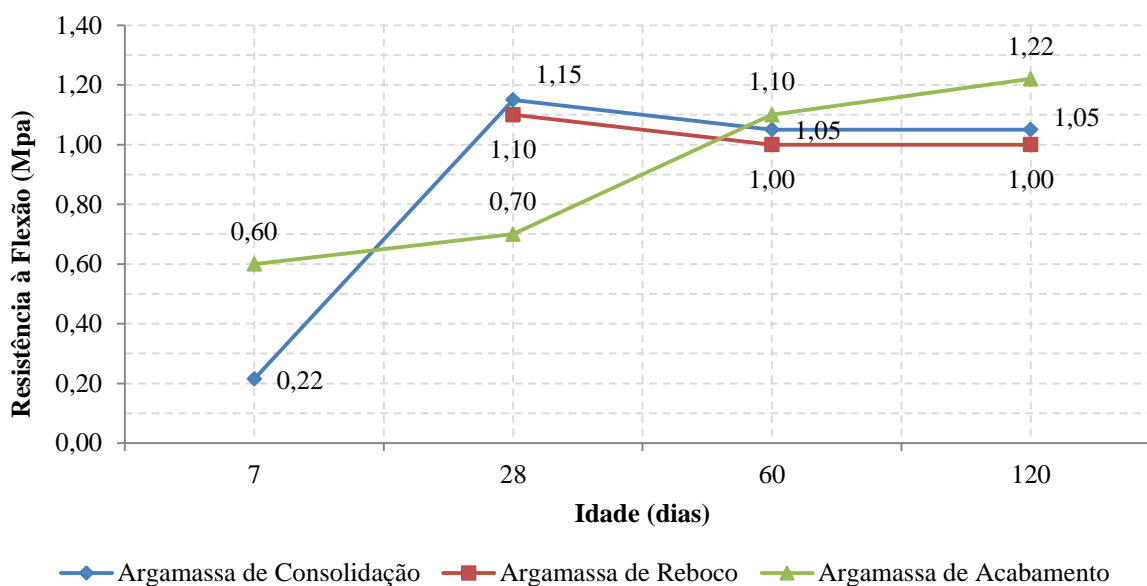


Figura 4.7 - Resistência à Flexão.

Pela visualização da Figura 4.7, é de realçar que o valor da resistência à flexão máxima encontra-se na argamassa de acabamento aos 120 dias, em comparação com as restantes argamassas.

É de notar que a argamassa de reboco aos 7 dias não obteve nenhum resultado de resistência à flexão, devido ao facto de ainda estar demasiado fresca.

Na análise do comportamento da resistência à flexão ao longo do tempo de cura dos três tipos de argamassa, é de notar que no período dos 7 aos 28 dias a argamassa de consolidação ganha uma forte resistência, atingindo mesmo o seu valor máximo aos 28 dias, como se pode conferir pela considerável inclinação da reta, ao contrário da inclinação da reta da argamassa de acabamento. No período dos 28 aos 120 dias, a resistência à flexão da argamassa de consolidação sofre um decréscimo gradual, em relação ao valor máximo atingido aos 28 dias. De notar que no mesmo período de tempo, a resistência à flexão da argamassa de acabamento, e em oposição às restantes argamassas, continua a crescer de forma gradual, atingindo o seu valor máximo de 1,22 MPa aos 120 dias.

Por fim, é de realçar que a argamassa de reboco, dos 28 aos 120 dias de cura, tem uma evolução igual à argamassa de consolidação, diferindo em cerca de 0,05 MPa ao longo dos ensaios consoante o tempo de cura.

Conclui-se que, no ensaio à flexão da argamassa de acabamento, a sua resistência aumenta de forma gradual ao longo do tempo de cura, atingindo o valor máximo, e o maior em comparação com as restantes argamassas, aos 120 dias.

É importante notar que o facto das argamassas de consolidação e reboco terem o seu valor máximo de resistência à flexão já aos 28 dias, e diferirem em cerca de 9% do seu valor final, pode levar a que estas argamassas possam ser interessantes devido ao ganho rápido de resistência.

A Tabela 4.5 e a Figura 4.8 apresentam os resultados dos ensaios de resistência à compressão feitos aos 7, 28, 60 e 120 dias de cura para os três tipos de argamassa em estudo.

Tabela 4.5 - Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Resistência à Compressão (MPa)			
Dias de cura	Argamassa de consolidação	Argamassa de reboco	Argamassa de acabamento
7	0,54	0,14	0,10
28	2,42	1,48	1,45
60	2,41	1,43	1,42
120	2,79	1,70	1,54

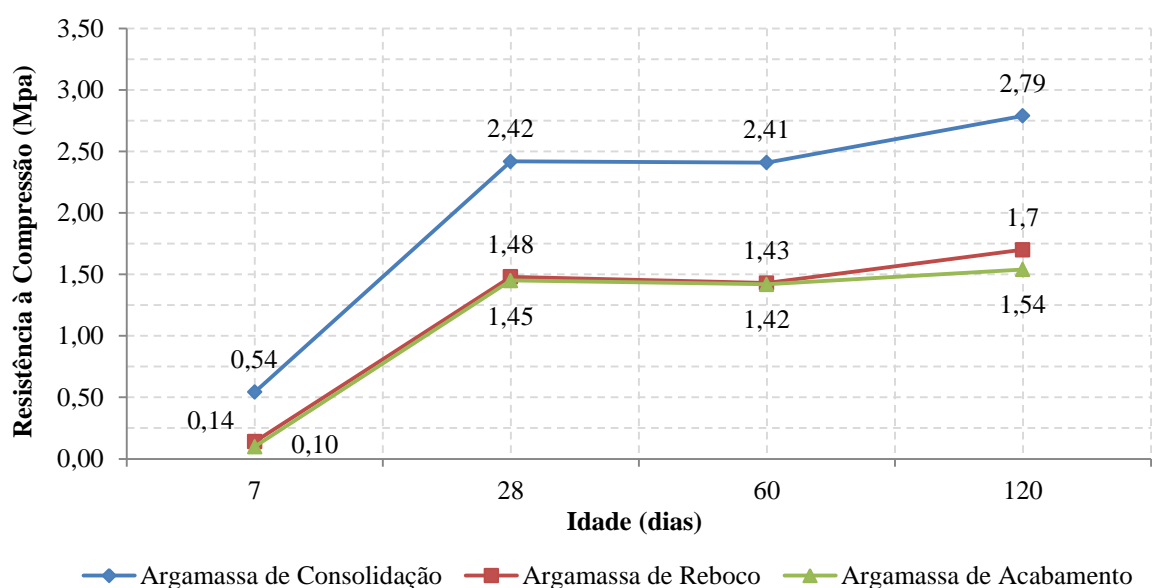


Figura 4.8 - Resistência à Compressão.

Da análise da Figura 4.8, e de uma maneira global, verifica-se logo à partida que as três argamassas sujeitas à compressão têm um comportamento idêntico ao longo dos seus dias de cura. É de notar que a argamassa de consolidação é a que verifica maior resistência à compressão, em comparação com as outras duas argamassas, reboco e acabamento respetivamente.

O facto de a resistência axial ser diretamente proporcional ao módulo de elasticidade, espelha a relação direta entre a diferença de resistência à compressão dos vários tipos de argamassa com os módulos de elasticidade destas [Tabela 4.3]. Logo, sendo a argamassa de consolidação aquela que possui maior módulo de elasticidade, e conseqüentemente rigidez axial (EA, onde “A” é a área da secção transversal), faz com que seja esta mesma a ter o maior valor de resistência à compressão, em comparação com as restantes argamassas.

Os valores da resistência à compressão últimos, aos 120 dias, das argamassas de reboco e acabamento, situam-se no intervalo de valores recomendados por Veiga [12] na Tabela 1.1, 0,4 a 2,5 MPa. Já a argamassa de consolidação encontra-se fora deste intervalo com 2,79 MPa. Apesar disso, é de referir que o valor de resistência requerido para cada argamassa, varia de caso para caso, onde é importante ter-se alguma resistência mecânica, mas não transmitir tensões elevadas ao suporte.

4.1.3.2 Fenómenos de transporte

A capilaridade, permeabilidade e porosidade são propriedades importantíssimas que ajudam a perceber melhor os fenómenos de degradação dos materiais, nomeadamente, os ensaios de resistência aos sais e ao gelo-degelo. Posto isto, serão apresentados os resultados da capilaridade e permeabilidade ao vapor de água das argamassas em estudo, que servirão de ferramenta para a discussão dos ensaios de resistência aos sais e de resistência ao gelo-degelo.

Os valores apresentados na Tabela 4.6 são referentes à capilaridade obtida para cada uma das argamassas pelo método da parafina.

Tabela 4.6 - Ensaio de capilaridade em provetes prismáticos, segundo a norma EN 1015-18.

Coeficiente de capilaridade		
Argamassas de consolidação (GP)	Argamassas de reboco (R)	Argamassas de acabamento (R)
10,30	0,10	0,10

As argamassas de reboco e acabamento têm coeficientes de capilaridade bastante baixos, ao contrário da argamassa de consolidação.

As argamassas de reboco e acabamento, na medida que se pretende argamassas com baixos coeficientes de capilaridade, de modo a minimizar a infiltração de água nas zonas não fendilhadas, não se situam no intervalo de 8 a 12, valores recomendado por Veiga [12] [Tabela 1.2].

De modo a compreender esta variação de capilaridade efetuou-se a avaliação da porosidade das argamassas em estudo. A Figura 4.9 ilustra a percentagem de poros abertos que existem nos três tipos de argamassa em estudo, verificando que a argamassa de consolidação é a que tem maior percentagem de porosidade aberta, ao contrário da argamassa de acabamento que possui menor percentagem.

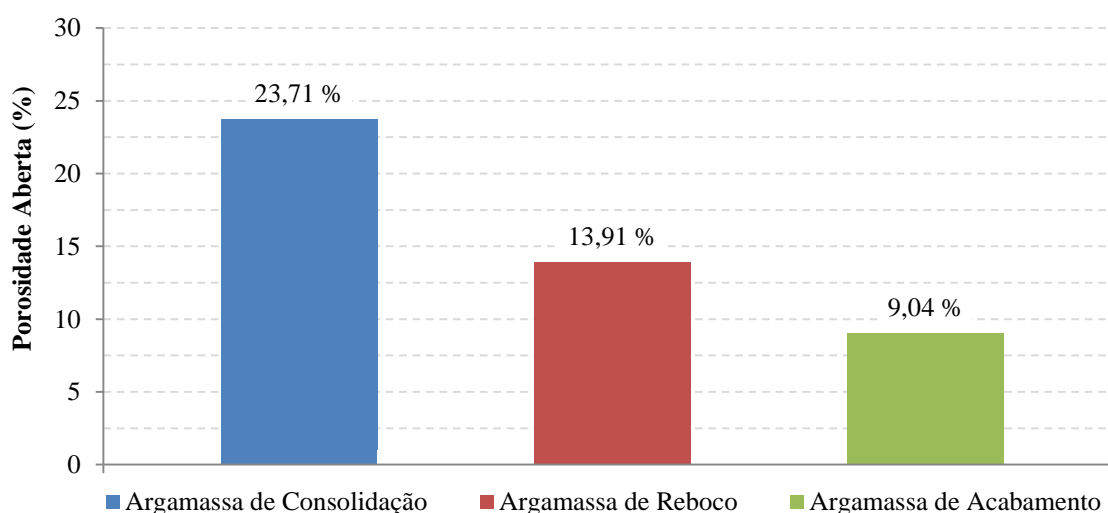


Figura 4.9 - Percentagem de poros abertos existentes em cada tipo de argamassa.

Os valores obtidos para a porosidade vão de encontro ao resultado obtido para a capilaridade, uma vez que a argamassa de consolidação tem um valor bastante mais elevado, comparativamente com os outros dois tipos de argamassa, reboco e acabamento, que têm um valor de capilaridade muito baixo.

Diretamente relacionada com a capilaridade, também se avaliou a permeabilidade das argamassas à água líquida a baixa pressão por tubos de Karsten em suporte de tijolo. A Tabela 4.7 mostra o tempo que as argamassas demoram a absorver a água colocada nos tubos de Karsten, para os 45, 60 e 90 dias de cura em suporte de tijolo.



Figura 4.10 - Tubo de Karsten sob uma amostra de tijolo.

Tabela 4.7 - Absorção de água a baixa pressão.

Tempo de Cura	Coluna de água	Tempo de absorção (s)		
		A. Consolidação	A. Reboco	A. Acabamento
45 Dias	1 ml	28	1470	0
	2 ml	64	3350	0
	3 ml	112	5400	0
	4 ml	172	8220	0
60 Dias	1 ml	1224	1540	0
	2 ml	2430	3194	0
	3 ml	3602	5940	0
	4 ml	3624	10020	0
90 Dias	1 ml	600	960	0
	2 ml	1440	1920	0
	3 ml	2160	3600	0
	4 ml	2940	7200	0

Através da análise dos resultados obtidos pelos tubos de Karsten, pode-se concluir, que a argamassa de acabamento é hidrófuga [Figura 4.11], pois não houve qualquer tipo de absorção de água por parte desta argamassa.

O termo “hidrófuga” significa que é uma argamassa que isola muito bem da humidade, impedindo a circulação de água, pois o seu sistema poroso também é pequeno e, conseqüentemente, melhora a sua capacidade de impermeabilização, reduzindo assim eflorescências e a degradação.



Figura 4.11 - Amostra da argamassa hidrófuga.

Como se pode ver através dos gráficos anteriores, verifica-se que tanto na argamassa de consolidação como na de reboco, há absorção de água, sendo mais rápida esta absorção para a argamassa de consolidação. Este facto poderá ser irrelevante para esta argamassa, visto que esta nunca é exposta, porque recebe sempre o reboco e o acabamento. É de notar também que o tempo de absorção de água por parte destes dois tipos de argamassa aumenta aos 60 dias de cura e volta a diminuir aos 90 dias de cura.

Quanto à permeabilidade ao vapor de água, os resultados obtidos estão na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Valores da permeabilidade ao vapor de água segundo a norma EN1015-19.

Permeabilidade ao Vapor de Água (W_{VP})		
Argamassa de consolidação	Argamassa de reboco	Argamassa de acabamento
9,85	5,19	5,12

Pela análise da Tabela 4.8, facilmente se verifica de que a argamassa de consolidação é aquela que possui maior permeabilidade ao vapor de água, enquanto as restantes duas argamassas possuem valores muito idênticos, mas inferiores à argamassa de consolidação. Posto isto, e no campo da reabilitação, a argamassa de consolidação é aquela que possui um valor alto como se pretende, de modo a permitir a eliminação da água presente na parede.

Na Tabela 4.9 estão os resultados referentes à condutibilidade térmica de cada uma das argamassas, verificando-se que este valor é muito idêntico para os três tipos.

Tabela 4.9 - Resultados referentes à condutibilidade térmica.

Condutibilidade Térmica (W/m.K)		
Argamassa de consolidação	Argamassa de reboco	Argamassa de acabamento
0,577	0,607	0,548

É possível fazer-se uma breve comparação simplista, tendo em conta os valores das condutibilidades térmicas presentes na Tabela 3.6 segundo o ITE 50 [57], em função do tipo de argamassa e massa volúmica no estado endurecido. No ITE 50 está tabelado que para argamassas de cal, com massa volúmica de 1600kg/m^3 , a condutibilidade térmica ronda os $0,80\text{W/m.K}$, logo, e sendo este valor o termo de comparação, facilmente se consta pela Tabela 4.9 que o valor da condutibilidade térmica, para as argamassas em estudo, se encontra abaixo do $0,80\text{W/m.K}$. Posto isto, e não esquecendo da elevada variedade de argamassas existentes na construção, poderá dizer-se que as argamassas em estudo possuem uma maior resistência térmica do que as argamassas, neste caso, comparadas.

4.1.3.3 Avaliação da resistência aos sais

Como foi descrito na metodologia apresentada, os provetes foram submetidos a ciclos de 7 horas de imersão, 17 horas na estufa a $T=65^\circ\text{C}$, pesando os provetes no fim de cada ciclo durante duas semanas, sendo o resultado obtido o apresentado de seguida.

A Figura 4.12, Figura 4.13 e Figura 4.14, mostram o aspeto dos provetes de cada tipo de argamassa após terem sido sujeitas aos ciclos em solução aquosa de NaCl.

A Figura 4.12, que diz respeito à argamassa de consolidação, mostra uma clara quantidade de sais que se depositaram nas paredes exteriores dos provetes, ficando este com um aspeto degradado.



Figura 4.12 - Cristalização de sais em provetes da argamassa de consolidação.

A Figura 4.13 mostra provetes da argamassa de reboco, que quando sujeito à ação dos sais, mostra uma acumulação superficial de sais nas suas paredes (eflorescências). Já a Figura 4.14, que corresponde aos provetes de argamassa de acabamento, apenas apresentam uma pequena alteração na cor com o aparecimento de algumas manchas.



Figura 4.13 - Cristalização de sais em provetes da argamassa de reboco.



Figura 4.14 - Cristalização de sais em provetes da argamassa de acabamento.

Com o decorrer dos ciclos, houve diferentes variações de massa para os três tipos de argamassa. Estas alterações podem ser verificadas através da Figura 4.15, Figura 4.16 e Figura 4.17.

A Tabela 4.10 mostra a percentagem de ganho de peso no final dos ciclos para os 45, 60 e 90 dias de cura.

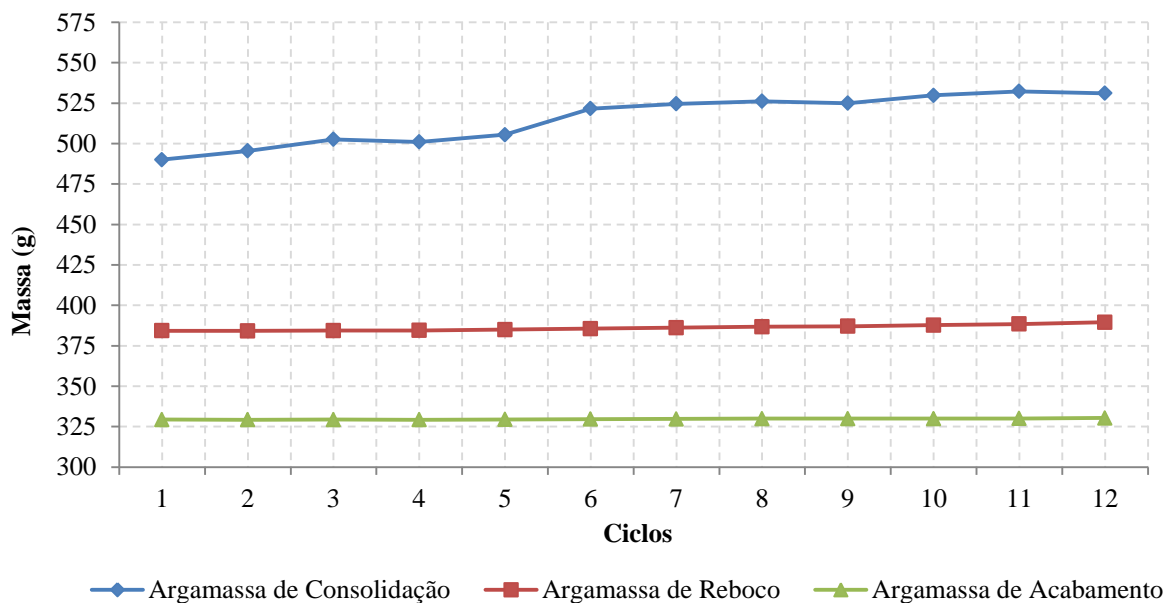


Figura 4.15 - Evolução da massa dos provetes ao longo de cada ciclo para 45 dias de cura.

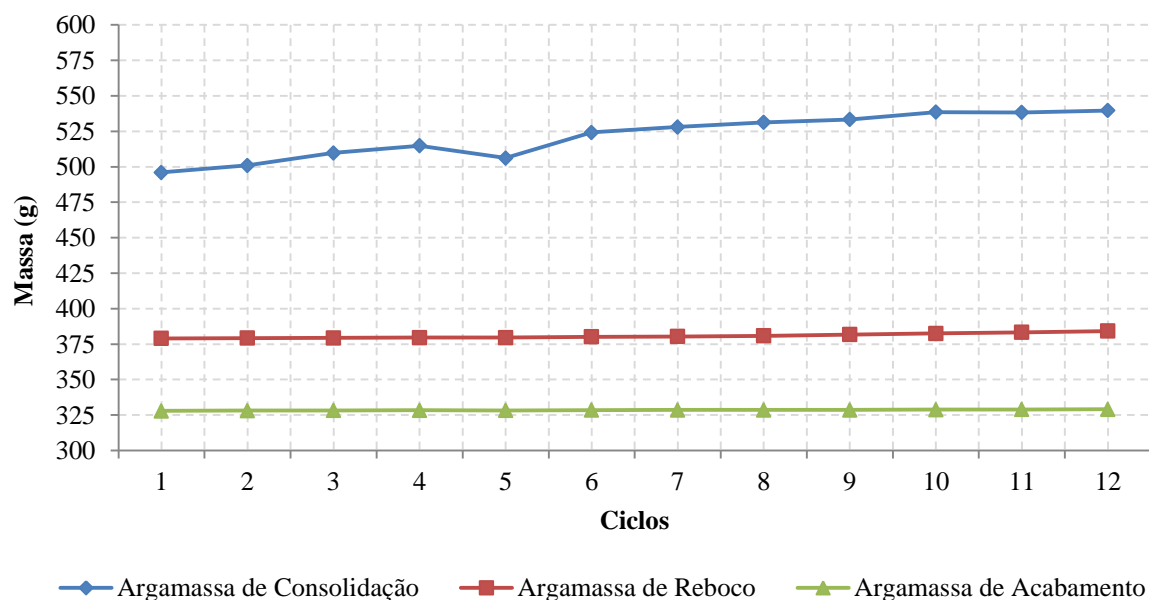


Figura 4.16 - Evolução da massa dos provetes ao longo de cada ciclo para 60 dias de cura.

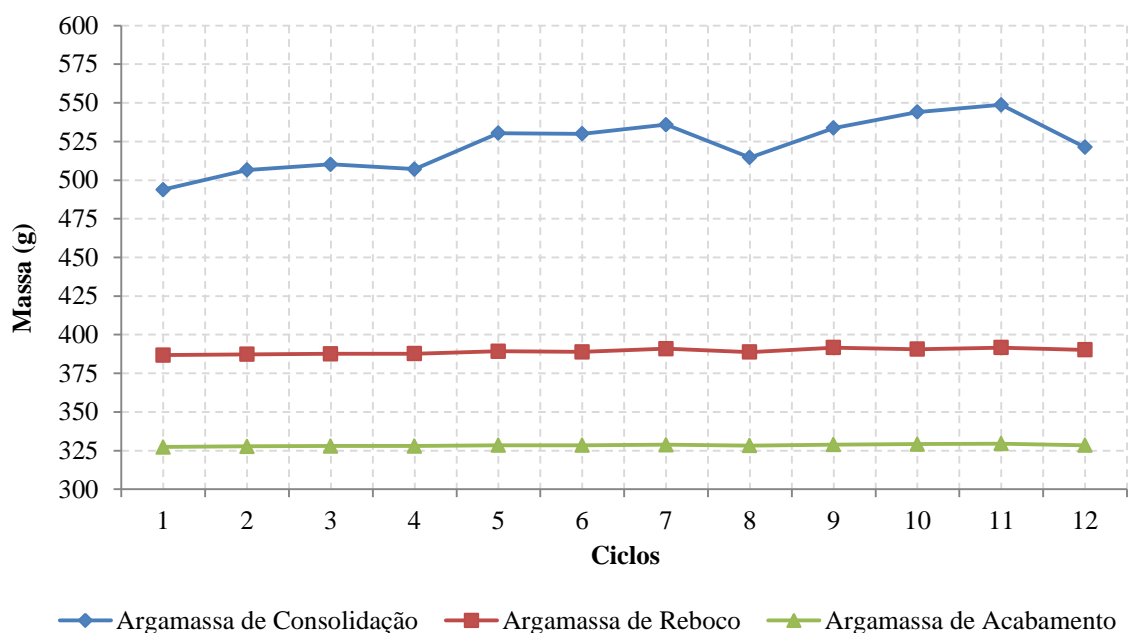


Figura 4.17 - Evolução da massa dos provetes ao longo de cada ciclo para 90 dias de cura.

Tabela 4.10 - Percentagem do ganho de peso durante os ciclos.

Tipo de Argamassa \ Dias de Cura	Dias de Cura		
	45	60	90
Argamassa de consolidação	8,38 %	8,81 %	9,99%
Argamassa de reboco	1,35 %	1,37 %	0,88 %
Argamassa de acabamento	0,31 %	0,34 %	0,35 %

Da análise das figuras anteriores, sabe-se a percentagem do ganho de peso durante os ciclos de sais, concluindo-se que a argamassa de acabamento foi a que sofreu menos alteração no peso e também no seu aspeto exterior, como se pode ver na Figura 4.14. A argamassa de reboco ganhou um pouco de massa mas nada de muito significativo, embora a nível visual já se verifique uma acumulação superficial dos sais [Figura 4.13].

A maior percentagem de ganho de peso pertence à argamassa de consolidação, como se pode observar nos gráficos anteriores e comprovar pela Tabela 4.10. Pela Figura 4.12, é de notar também, que é esta a argamassa que mostra mais cristalização de sais à superfície. Este facto pode estar relacionado com a maior porosidade aberta desta argamassa de consolidação [Figura 4.9].

Aquando do final dos ciclos, os provetes estiveram duas semanas em repouso na câmara a $T=20^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR}=65\%$, e no final foram submetidos a testes para medir as suas propriedades mecânicas, nomeadamente a resistência à compressão e à flexão. Nos gráficos da Figura 4.18 e Figura 4.19 encontram-se os resultados destes testes feitos para os três tipos de argamassa em estudo, para as idades de 45, 60 e 90 dias de cura.

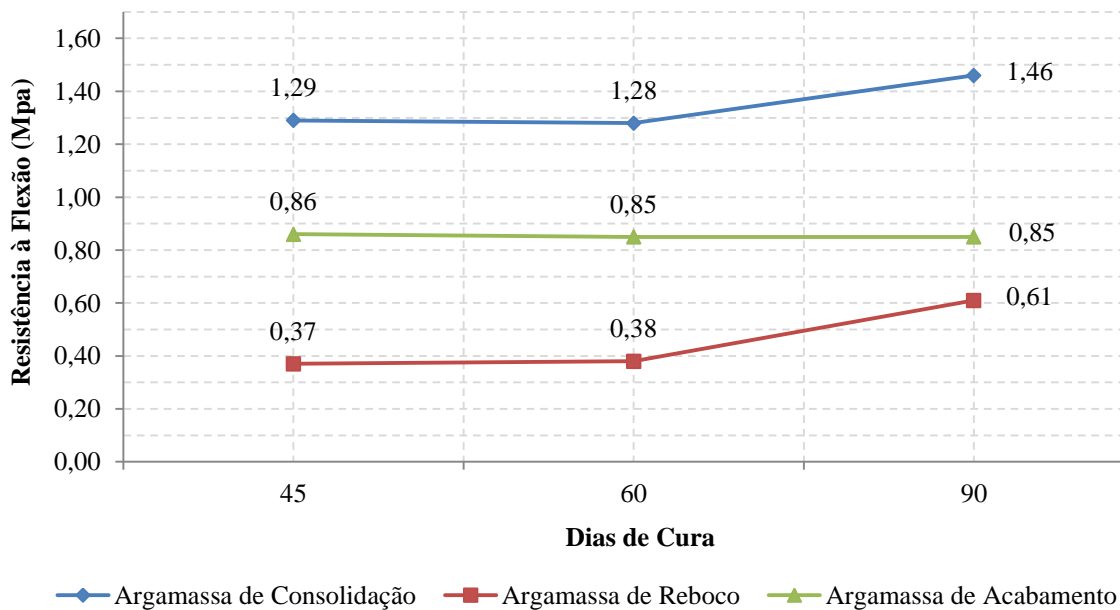


Figura 4.18 - Resistência à flexão dos provetes sujeitos a saís.

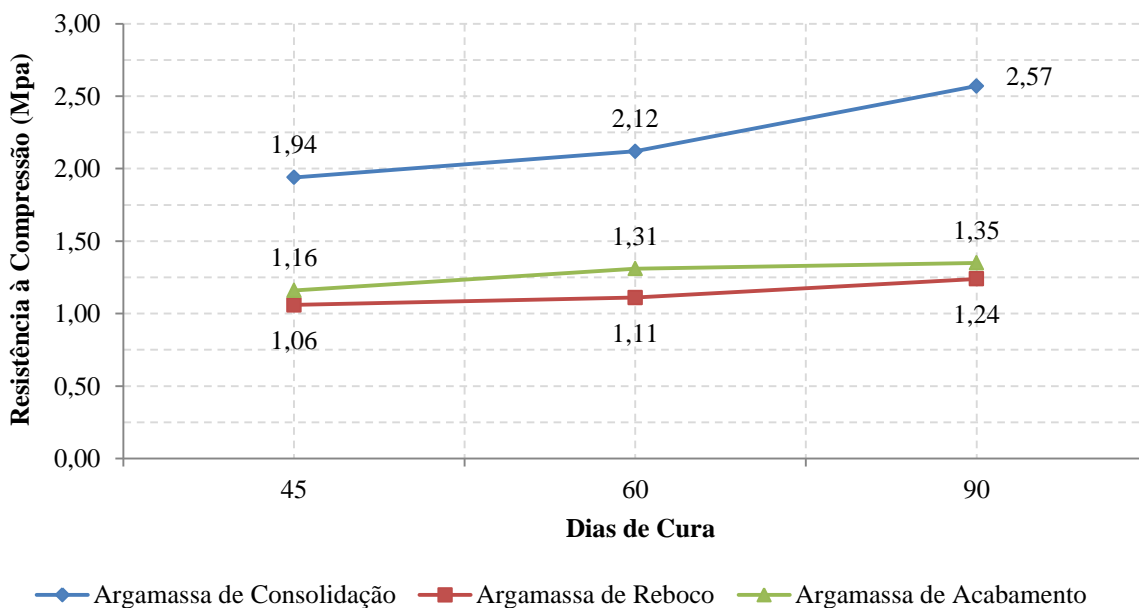


Figura 4.19 - Resistência à compressão dos provetes sujeitos a saís.

A porosidade aberta é uma propriedade que ajuda a compreender melhor este fenómeno de resistência aos sais.

Como é visível no gráfico referente à percentagem de porosidade aberta [Figura 4.9], a argamassa de consolidação é a que tem maior percentagem de poros abertos, logo, vai provocar maior acumulação dos sais na argamassa [Figura 4.12], no entanto, não causa grandes danos mecânicos. Aliás, o ensaio com os tubos de Karsten (Tabela 4.7) mostra que houve pouca absorção de água para o interior desta argamassa, o que suporta esta menor degradação da resistência.

Ainda na Tabela 4.6, verifica-se que os valores de capilaridade são iguais para as argamassas do tipo cal reboco e acabamento, e também são as que sofrem menos danos com o teste de resistência aos sais, sendo por isso, argamassas bastante parecidas e mais “fechadas”, ao contrário da argamassa de consolidação.

Na comparação dos valores de resistência referentes aos ensaios à compressão e flexão das argamassas em estudo, não sujeitas [Figura 4.7 e Figura 4.8] e sujeitas a sais [Figura 4.18 e Figura 4.19], é possível constatar-se que, na argamassa de consolidação, houve um aumento da sua resistência à flexão aos 90 dias depois de sujeita aos sais. Essa diferença é de 1,46 MPa, quando sujeita aos sais, para 1,05 MPa, quando não sujeita aos sais [Tabela 4.11]. Comparando com a argamassa de reboco e acabamento, esta é a que tem maior resistência mecânica, isto pode ser explicado pelo facto de a porosidade também ser maior, logo, tem maior capacidade de acumular os sais e este preenchimento leva a um aumento da resistência mecânica, embora o excesso de sais fragilize a estrutura por ação de tensões internas.

As argamassas de reboco e acabamento sofrem um decréscimo do seu valor da resistência à flexão aos 90 dias. De notar que a argamassa de consolidação depois de sujeita aos sais passa a ser a argamassa com maior resistência à flexão aos 90 dias, em comparação com as restantes.

No ensaio da resistência à compressão das argamassas, os valores aos 90 dias de cura sofrem um ligeiro decréscimo quando sujeitas aos sais. Apesar disso, a ordem das argamassas, em relação à resistência à compressão mantem-se igual, sendo a argamassa de consolidação a mais resistente e a argamassa de acabamento a menos resistente.

Tabela 4.11 - Valor da resistência aos 90 dias das argamassas sujeitas e não sujeitas a sais.

90 dias	Resistência à flexão		Resistência à compressão	
	Não sujeito a sais	Sujeito a sais	Não sujeito a sais	Sujeito a sais
Arg. de consolidação	1,05*	1,46	2,60*	2,57
Arg. de reboco	1,00*	0,61	1,57*	1,24
Arg. de acabamento	1,16*	0,85	1,48*	1,35

* Valores interpolados entre os 60 e 120 dias de cura.

4.1.3.4 Avaliação da resistência ao gelo-degelo

Este ensaio foi realizado aos 60 dias de cura e após a exposição dos provetes aos ciclos de gelo-degelo, fazendo variar a temperatura de -10°C a +15°C e vice-versa ao longo de 35 ciclos, estes sofreram grandes alterações de aspeto exterior e de peso, como se pode verificar de seguida nas figuras e gráficos apresentados.

A Figura 4.20 e Figura 4.21 mostram como ficaram os provetes da argamassa de consolidação quando expostos aos ciclos de gelo-degelo, sendo que a Figura 4.20 ilustra os provetes ao fim de 15 ciclos e a Figura 4.21 ao fim de 25 ciclos, verificando que acabaram por se danificar.



Figura 4.20 - Provetes da argamassa de consolidação ao fim do 3º dia de ciclos de gelo-degelo.



Figura 4.21 - Provetes da argamassa de consolidação ao fim do 5º dia de ciclos de gelo-degelo.

Os provetes da argamassa de reboco encontram-se na Figura 4.22. Aqui os provetes mantiveram-se intactos até ao fim dos 35 ciclos, observando-se apenas o aparecimento de umas pequenas manchas, mas nada de significativo.



Figura 4.22 - Provetes da argamassa de reboco ao fim do 7º dia de ciclos gelo-degelo.

A Figura 4.23 mostra o aspeto exterior dos provetes de argamassa de acabamento, ao fim de 35 ciclos de gelo-degelo, observando-se que não houve alterações para este tipo de argamassa.



Figura 4.23 - Provetes da argamassa de acabamento ao fim do 7º dia de ciclos gelo-degelo.

A Figura 4.24 demonstra as variações de massa, para os três tipos de argamassa, que ocorreram ao longo dos ciclos.

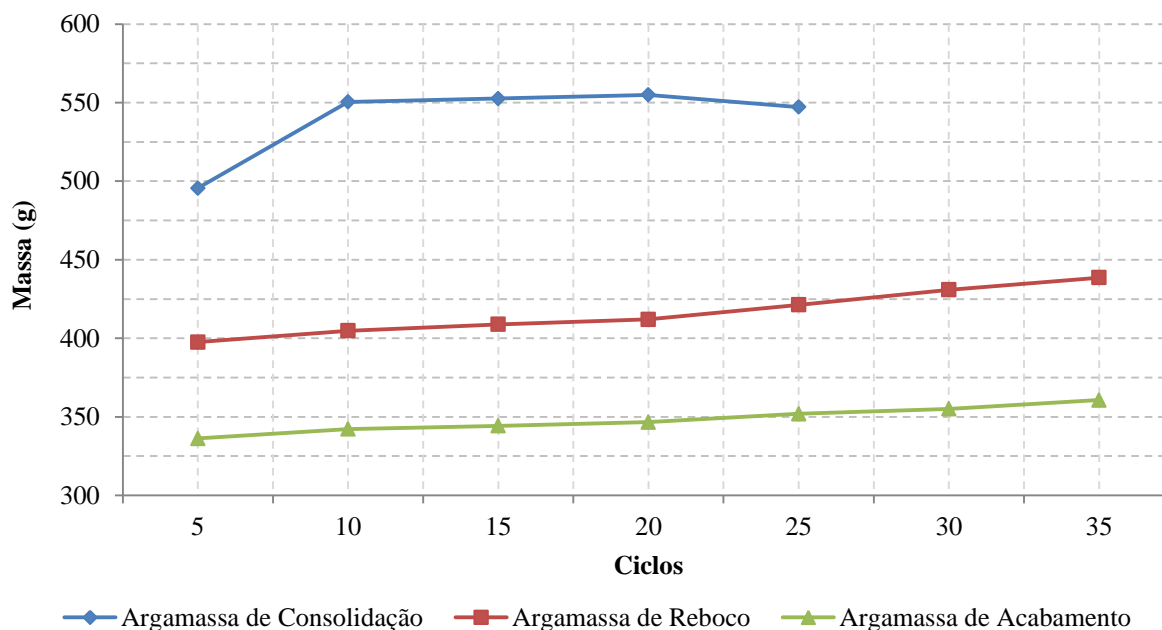


Figura 4.24 - Massa dos provetes ao longo dos ciclos de gelo-degelo.

No final destes, ciclos foram efetuados testes de resistência à flexão e compressão para os provetes que estavam intactos. Estes testes só foram feitos para os provetes de argamassas de reboco e de acabamento, uma vez que os provetes da argamassa de consolidação ao fim do 5º dia, ou seja, ao fim de 25 ciclos de gelo-degelo colapsaram, como se pode verificar no gráfico que demonstra a evolução de peso [Figura 4.24]. Estes começaram a perder peso, o que mostra que perderam partículas, levando ao respetivo colapso [Figura 4.21]. Muito embora a argamassa de consolidação seja a mais forte, esta tem um elevado valor de capilaridade e uma grande percentagem de porosidade aberta, quando comparada com as outras duas, o que leva a que quando sujeita a estes ciclos de gelo-degelo se degrade mais rapidamente. Esta degradação também se pode justificar pelo facto de esta argamassa ter capilares finos, o que para o efeito do gelo-degelo, este fator provoca maiores danos na argamassa.

Para os outros dois tipos de argamassa, apenas se verifica uma pequena alteração da cor (aparecimento de algumas manchas, principalmente na argamassa de reboco) e uma ligeira subida do peso, o que vem de encontro ao facto de ter valores de capilaridade e de porosidade mais baixos, logo, é possível dizer-se que estes provetes, perante os ciclos de gelo-degelo, ficaram em boas condições. É importante referir que o facto da argamassa de acabamento ser hidrófuga, facto constatado pelo ensaio realizado com os tubos de Karsten, faça com que esta tenha uma reduzida estrutura capilar e uma grande capacidade de impermeabilização, reduzindo

assim a degradação por ação do gelo-degelo, uma vez que é restringida a circulação de água no seu sistema poroso.

Apresentam-se de seguida na Figura 4.25 e Figura 4.26 os resultados de resistência à flexão e compressão para os dois tipos de argamassa (reboco e acabamento) após os ciclos de gelo-degelo.

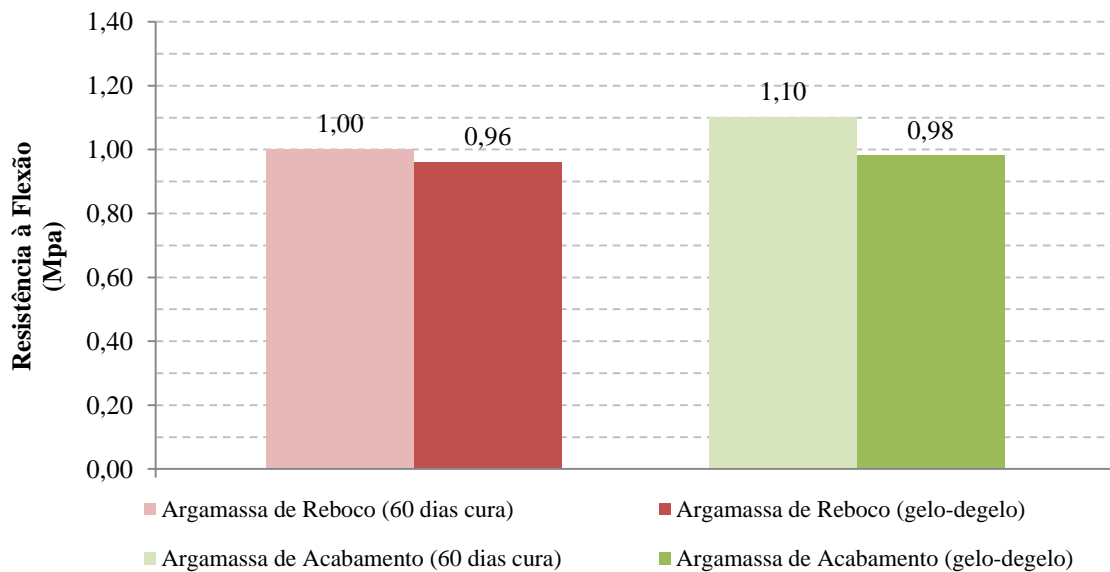


Figura 4.25 - Resistência à flexão após os ciclos de gelo-degelo para as argamassas de reboco e de acabamento.

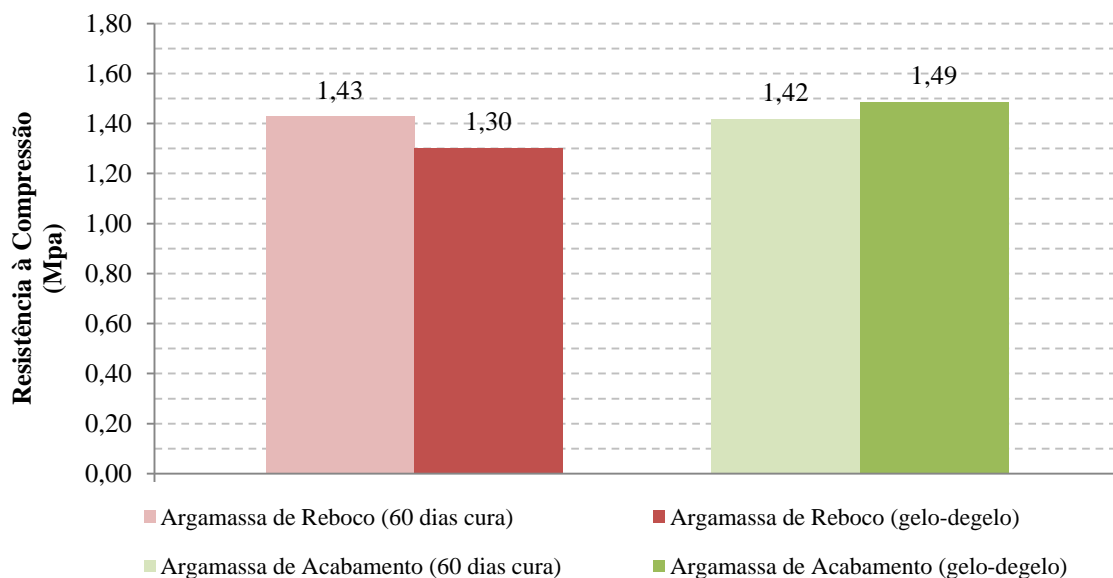


Figura 4.26 - Resistência à compressão após os ciclos de gelo-degelo para as argamassas de reboco e de acabamento.

Da análise dos gráficos referentes à flexão e compressão, Figura 4.25 e Figura 4.26 respectivamente, observa-se que não houve uma variação significativa, em relação ao comportamento mecânico, depois das argamassas estarem sujeitas aos ciclos de gelo-degelo, comparativamente com os resultados delas nos ensaios à flexão e à compressão sem estarem sujeitas a qualquer tipo de alterações.




Logo, para as argamassas de reboco e de acabamento, como houve menos entrada de água devido à sua estrutura porosa e capilaridade reduzidas, também houve menos estragos quando sujeitas aos ciclos de gelo-degelo e por isso, a sua resistência à flexão e compressão também não vão sofrer grandes alterações, o que leva a que esta ação gelo-degelo seja reduzida, evitando a deterioração destes materiais.

4.2 APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS “IN SITU”

4.2.1 Ensaios Laboratoriais de Aderência em Suporte de Tijolo

As argamassas em estudo foram testadas laboratorialmente em suporte de tijolo. A Tabela 4.12 mostra os resultados obtidos, feito aos 28 dias de cura, para o ensaio de aderência ao tijolo, onde é mostrado o tipo de rotura e tensão de rotura que cada uma das argamassas sofreu.

Tabela 4.12 - Resultados laboratoriais referentes ao ensaio de aderências em suporte de tijolo.

Tipo de argamassa	Tipo de rotura aos 28 dias	Tensão (MPa)	Ilustração
Argamassa de consolidação	Adesiva (interface suporte/argamassa)	0,200	
Argamassa de reboco	Coesiva (rompe pela argamassa)	0,280	
Argamassa de acabamento	Coesiva (rompe pela argamassa)	0,370	

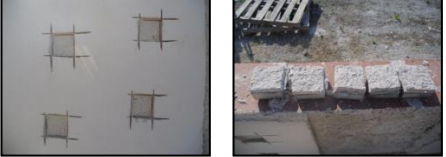

Da análise da Tabela 4.12, é constatado que as argamassas de reboco e acabamento sofreram ambas uma rotura coesiva (pela argamassa) aos 28 dias de cura e, em oposição, a argamassa de consolidação sofreu uma rotura adesiva na interface suporte/argamassa.

Os valores recomendados, para a tensão de arrancamento, variam entre 0,1 e 0,3 MPa [Tabela 1.1] ou rotura coesiva, segundo Veiga [12]. Assim sendo, as composições em estudo apresentam valores de tensão de arrancamento (rotura) e tipo de rotura, dentro das condições recomendadas, logo, é possível dizer-se que as argamassas em estudo possuem bom desempenho em relação à aderência a substratos.

4.2.2 Aderência a Paredes em Tijolo

A Tabela 4.13, diz respeito aos resultados obtidos “in situ” para uma parede de tijolo, produzida em ambiente não laboratorial, para o ensaio das aderências, feito aos 28 dias de cura.

Tabela 4.13 - Resultados referentes ao ensaio de aderências feito numa parede de tijolo.

Tipo de argamassa	Tipo de rotura aos 28 dias	Tensão (MPa)	Ilustração
Argamassa de reboco + acabamento	Coesiva (rompe pela argamassa)	0,197	
Argamassa de reboco	Coesiva (rompe pela argamassa)	0,160	

Como demonstrado pela Tabela 4.13, e já referido anteriormente, o ensaio foi feito para a argamassa de reboco e para o conjunto argamassas de reboco mais acabamento. Da análise da Tabela 4.13, é também constatado que a argamassa de reboco sofre um decréscimo na sua tensão de rotura, em comparação com a Tabela 4.12. De notar que o conjunto das argamassas de reboco mais acabamento influencia pouco no ensaio à tração, em comparação com o ensaio à tração da argamassa de reboco.

De referir ainda que as composições apresentam valores de tensão de rotura enquadrados nos valores recomendados (0,1 e 0,3 MPa) e modo de rotura por Veiga [12], o que demonstra uma boa aderência ao substrato.

4.2.3 Presença de Fissuras na Parede de Tijolo

Depois de aplicadas as argamassas, não se verificou qualquer aparecimento de fissuras na parede de tijolo.

Como se pode verificar pela Figura 4.27, depois de revestida, a parede de tijolo ficou em bom estado. Isto deve-se ao facto da boa aplicabilidade das argamassas, pois estas foram aplicadas de forma rigorosa, começando por se preencher as cavidades e qualquer tipo de imperfeições do emparelhamento da alvenaria que existissem com a argamassa de consolidação, e de seguida, colocada uma camada de argamassa de reboco de espessura compreendida entre 1,0 e 2,0 cm, finalizando esta aplicação com a técnica tradicional do “esponjamento” [Figura 4.28].

Para concluir, a aplicação da última argamassa, argamassa de acabamento, foi feita por barramento e em duas camadas sucessivas, conferindo assim uma superfície de textura lisa e evitando, deste modo, o aparecimento de fissuras.



Figura 4.27 - Argamassas na parede de tijolo.



Figura 4.28 - Técnica tradicional do “esponjamento”.

CAPÍTULO 5

Conclusões

5 CONCLUSÕES

A presente dissertação de mestrado teve como objetivo principal estudar argamassas com base em cal hidráulica natural (NHL5), usadas em aplicações na área da reabilitação do edificado. Para isso foram efetuados ensaios laboratoriais e “in situ”, que permitiram caracterizar melhor as argamassas em estudo.

Pretendeu-se com este estudo estudar três tipos diferentes de argamassas formuladas exclusivamente à base de cal hidráulica natural, em suportes de tijolo, com o fim de avaliar a possibilidade de aplicação deste tipo de produtos no edificado existente. As argamassas elaboradas e analisadas foram as seguintes: (i) Argamassa de consolidação, (ii) Argamassa de reboco e (iii) Argamassa de acabamento. A primeira é destinada à consolidação de suportes antigos, a segunda ao revestimento de alvenarias antigas ou construção nova e, por último, a terceira é aplicada à execução de acabamentos transpiráveis para soluções de renovação e reabilitação de revestimentos antigos.

No que se refere ao comportamento mecânico, sem ações exteriores, a resistência à flexão da argamassa de acabamento, em comparação com as outras duas, é a que revela maior resistência aos 120 dias de cura. De destacar que aos 28 dias de cura, as argamassas de consolidação e reboco atingem já o seu valor máximo de resistência à flexão, ao contrário da argamassa de acabamento, que apenas atinge 57% do seu valor máximo neste período. Este fator pode ser importante nas escolhas a tomar, dependendo dos seus respetivos fins e aplicações na reabilitação e conservação, devido ao tempo de “espera” até se conseguir o tipo de resistência adequada para o efeito.

Já no ensaio à compressão, é a argamassa de consolidação que apresenta maior resistência, e de forma distanciada em relação aos valores à compressão das restantes argamassas. Este motivo pode ser justificado pelo elevado módulo de elasticidade que esta tem, logo, uma elevada rigidez axial. De destacar que aos 28 dias, a resistência à compressão, das três argamassas, é cerca de 90% do seu valor máximo aos 120 dias de cura.

Apesar disso, e dependendo das situações de aplicação das argamassas, convém referir que ter um baixo módulo de elasticidade, como é o caso das argamassas de reboco e acabamento, tem as suas vantagens, nomeadamente, a capacidade de absorver a deformação da estrutura do edificado.

Quando sujeitas a ações exteriores, nomeadamente ação dos sais e gelo-degelo, o comportamento mecânico altera-se de forma significativa.

A argamassa de consolidação quando sujeita à ação de sais é a que revela mais alterações, tendo-se observado a acumulação/cristalização de uma grande quantidade destes e um aumento de peso, embora não se tenham verificado danos mecânicos significativos. Os seus valores de resistência à flexão e compressão são superiores comparativamente com as restantes argamassas em estudo. Aos 90 dias, a resistência à compressão da argamassa de consolidação, sofre um aumento. Apesar disso, é de referir que a resistência à compressão e flexão aos 90 dias, dos três tipos de argamassas, sofre uma redução depois de sujeitas aos sais.

No que diz respeito à ação exterior gelo-degelo, é constatado no estudo efetuado que as diferenças causadas pelo gelo-degelo, nas argamassas de reboco e acabamento, são muito pequenas nas resistências à flexão e compressão, antes e após os ciclos. Já a argamassa de consolidação, com uma elevada percentagem de porosidade aberta e elevada capilaridade, comparando com as restantes argamassas, apresenta, quando sujeita a ações de gelo-degelo, maior degradação. Na prática este resultado pode não ser muito relevante, uma vez que esta sendo uma argamassa de consolidação, raramente está exposta diretamente a ações de gelo-degelo. Apesar disso, a elevada permeabilidade ao vapor de água, verificada na argamassa de consolidação, tem a sua vantagem, visto esta permitir que o vapor de água passe do interior para o exterior, fazendo com que a construção respire e eliminando a água presente na parede.

A argamassa de acabamento é uma argamassa hidrófuga, sendo a sua estrutura capilar e porosa reduzida. Assim, quando sujeita ao gelo-degelo e sais, sofre menos alterações do seu aspeto exterior. Desta forma, esta argamassa revela ser um bom material para acabamento, visto ser o que sofre o primeiro contacto com os agentes exteriores.

Relativamente à aderência, as três argamassas em análise, tiveram um comportamento satisfatório, na medida que permaneceram nos valores e tipos de rotura “ideais” para argamassas a serem usadas na reabilitação, ou seja, aderência ao suporte suficiente para garantir a durabilidade mas não tão grande que a sua extração possa afetar a alvenaria.

Conclui-se assim que argamassas com base em cal hidráulica natural são uma boa aposta para a área da reabilitação, pois conseguem proporcionar uma camada final regularizadora e, principalmente, conseguem compatibilizar com estruturas de suporte antigas de carácter mais frágil.

Em termos de trabalho de investigação futuro, sugere-se continuar a avaliação destas argamassas em diferentes suportes de paredes (adobe, pedra natural, entre outros), para se poder validar o uso destas argamassas em reabilitação de diferentes tipologias de paredes e edifícios que se encontram em diferentes centros urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Paulo R. (2006). *"Caracterização de Argamassas Industriais"*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- [2] Secil Martingança (2005). *"Ensino a Retirar do Passado Histórico das Argamassas"*. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa.
- [3] APFAC - Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS. *"Argamassas de Construção"*.
Consultado em: <http://www.apfac.pt/layout.asp?area=3000> na data 20/11/2012.
- [4] Sequeira A.; Frade D.; Gonçalves P. (2008). *"Consolidation Mortar for Old Masonry"*. Historical Mortars Conference (HMC). 12p.
- [5] Sequeira A.; Frade D.; Gonçalves P. (2007). *"Cal Hidráulica - Um ligante para a reabilitação"*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. 14p.
- [6] Faria J.; Torgal F.; Jalali S. (2011). *"Desenvolvimento de Argamassas para a Reabilitação de Edifícios Antigos. Parte 1 - Trabalhabilidade e Comportamento Mecânico."*. Civil Engineering Journal, nº39. Universidade do Minho.
- [7] Torgal F.; Jalali S. (2010). *"Contextualização da Problemática Relativa à Utilização de Argamassas Bastardas em Obras de Reabilitação"*. Revista Internacional Construlink - Estruturas e Construções.
- [8] Couto A.; Couto J. (2007). *"Específicidades e Exigências das Argamassas na Reabilitação de Edifícios Antigos"*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. 10p.
- [9] Coelho A.; Torgal F.; Jalali S. (2009). *"A Cal na Construção"*. Edição Tecminho. Guimarães.
- [10] Kalaitzaki P. (2007). *"Hydraulic Lime Mortars With Siloxane for Waterproofing Historic Masonry"*. Cement and Concret Research, 37(2). p. 283-290.

- [11] Faria P.; Branco T.; Carneiro J.; Veiga R.; Silva A. (2012). *"Argamassas com Base em Cal para a Reabilitação de Rebocos"*. Patorreb: 4º Congresso de palogía y rehabilitación de edificios, Santiago de Compostela.
- [12] Veiga M. (2003). *"Argamassas para Revestimento de Paredes de Edifícios Antigos. Características e Campo de Aplicação de Algumas Formulações Correntes"*. Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Lisboa.
- [13] Veiga R.; Fragata A.; Velosa A.; Magalhães A.; Margalha G. (2010). *"Lime-based Mortars: Viability for Use as Substitution Renders in Historical Buildings"*. International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration, 4(2), p. 177-195.
- [14] Veiga M. (2004). *"Conservação e Renovação de Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos"*. Lisboa: Colecção Edifícios, CED 9. LNEC.
- [15] Veiga M.; Carvalho F. (2002). *"Argamassas de Reboco para Edifícios Antigos. Requisitos e Características a Respeitar"*. Lisboa: Cadernos de Edifícios, nº2. LNEC.
- [16] Veiga M. (2005). *"Comportamento de Rebocos para Edifícios Antigos: Exigências Gerais e Requisitos Específicos para Edifícios Antigos"*. Lisboa. LNEC.
- [17] Veiga M.; Magalhães A. (2005). *"Estudo Comparativo de Possíveis Soluções de Argamassas para Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos"*. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa.
- [18] S.A. Secil: Companhia Geral de Cal e Cimento. (2011). *"Reabilita Cal Consolidação: Argamassa de Consolidação de Alvenarias Antigas à Base de Cal Hidráulica"*.
- [19] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2005). *"Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Requisitos"*. Rio de Janeiro, Brasil.
- [20] Marques S. (2005). *"Estudo de Argamassas de Reabilitação de Edifícios Antigos"*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- [21] Sequeira C.; Santos A.; Frade D.; Gonçalves P. (2012). *"Análise de Diferentes Ligantes na Formulação de Argamassas Industriais de Reabilitação"*. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS. 12p.

- [22] Comité Europeu de Normalização (CEN) (2010). *"EN 998-1: Specification for Mortar for Masonry - Part 1: Rendering and Plastering Mortar"*. Bruxelas, Bélgica.
- [23] Comité Europeu de Normalização (CEN) (2010). *"EN 998-2: Specification for Mortar for Masonry - Part 2: Masonry Mortar"*. Bruxelas, Bélgica.
- [24] European Mortar Industry Organization (EMO). (2001). *"Technical Dictionary"*. 3rd Edition.
- [25] Oliveira S. (2008). *"Desenvolvimento de Métodos Expeditos de Caracterização de Argamassas de Construção de um Fabricante do Mercado Português"*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- [26] Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2002). *"Manual de Revestimentos de Argamassa"*.
- [27] Comité Europeu de Normalização (CEN) (2010). *"EN 459-1: Building lime - Part 1: Definitions, Specifications and Conformity Criteria"*. Bruxelas, Bélgica.
- [28] Coutinho J. (2002). *"Introdução e Ligantes: Cal Aérea e Cal Hidráulica"*. Apontamentos do 1º Ano - Licenciatura em Engenharia Civil, Universidade do Porto.
- [29] Secil: Companhia Geral de Cal e Cimento S.A. (2006). *"Cal Hidráulica: Cal Hidráulica NHL5"*.
- [30] Comité Europeu de Normalização (CEN) (2001). *"EN 197-1: Composição, Especificações e Critérios de Conformidade para Cimentos Correntes"*. Bruxelas, Bélgica.
- [31] Organismo de Normalização Sectorial (ONS) (1996). *"NP 4326: Cimentos brancos. Composição, Tipos, Características e Verificação da Conformidade"*.
- [32] APICER - Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica (2000). *"Manual de Alvenaria de Tijolo"*. Coimbra. 1º Edição.
- [33] Comité Europeu de Normalização (CEN) (2000). *"EN 13318: Screed Material and Floor Screeds - Definitions"*. Bruxelas, Bélgica.

- [34] S.A. Secil: Companhia Geral de Cal e Cimento (2011). *"Reabilita Cal Reboco: Reboco de Enchimento à Base de Cal Hidráulica Natural"*.
- [35] S.A. Secil: Companhia Geral de Cal e Cimento (2012). *"Reabilita Cal Acabamento: Argamassa para Acabamento à Base de Cal Hidráulica Natural"*.
- [36] Almeida T. (2010). *"Desenvolvimento de uma Célula Acústica para Análise de Propriedades Viscoelásticas de Fluidos"*. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, Brasil.
- [37] Carasek H. (2007). *"Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais"*. IBRACON. São Paulo, Brasil.
- [38] Santos H. (2008). *"Ensaio de Aderência das Argamassas de Revestimento"*. Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- [39] Azeiteiro L.C.; Velosa A.; Paiva H.; Mantas P.Q.; Ferreira V. M.; Veiga R. (2012). *"Caracterização Reológica de Caldas de Injeção para Consolidação de Revestimentos"*. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Coimbra.
- [40] Comité Europeu de Normalização (CEN) (2006). *"EN 1015-3: Methods of Test for Mortar for Masonry - Part 3: Determination of Consistence of Fresh Mortar (by flow table)"*. Bruxelas, Bélgica.
- [41] Vieira J. (2012). *"Funcionalização de Argamassas para Controlo das Condições Ambiente"*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- [42] Mendonça P. (2005). *"Habitar sob uma segunda pele : estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados"*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.
- [43] Comité Europeu de Normalização (CEN) (1999). *"EN 1015-11: Methods of Test for Mortar for Masonary - Part 11: Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortar"*. Bruxelas, Bélgica.
- [44] Gonçalves T.; Rodrigues J. (2010). *"Argamassas de Revestimento para Paredes Afectadas por Cristalização de Sais Solúveis: Influência do Substrato"*. 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Lisboa.

- [45] Gonçalves T. (2007). *"Salt Crystallization in Plastered or Rendered Walls"*. Dissertação de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- [46] Comité Europeu de Normalização (CEN) (2007). *"EN 539-2: Telhas Cerâmicas para Colocação Descontínua. Determinação das Características Físicas. Parte 2: Ensaio de Resistência ao Gelo."*. Bruxelas, Bélgica.
- [47] Torres M.; Gomes J. (2010). *"Ensaio de "imersão-compressão", "sensibilidade à água" e "gelo-degelo" em Misturas Betuminosas Recicladas a Semi-quente do Pavimento da EN244, em Ponte de Sôr"*. Civil Engineering Journal, 36. p. 51-62.
- [48] Figueiredo C. (2011). *"O papel do Metacaulino na Proteção do Betão Contra a Ação dos Cloretos"*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- [49] Comité Europeu de Normalização (CEN) (1998). *"EN 1015-19: Methods of Test for Mortar for Masonry - Part 19: Determination for Water Vapour Permeability of Hardened Rendering and Plastering Mortars"*. Bruxelas, Bélgica.
- [50] Matos M. (2012). *"Desempenho de Argamassas de Cal e Metacaulino em Suportes de Adobe"*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- [51] Comité Europeu de Normalização (CEN) (2002). *"EN 1015-18: Methods of Test Mortar for Masonry - Part 18: Determination of Water Absorption Coefficient Due to Capillary Action of Hardened Mortar"*. Bruxelas, Bélgica.
- [52] Algarvio M. (2010). *"Influência da Razão Água/Ligante nas Características das Argamassas de Cal Aérea para Rebocos de Edifícios Antigos"*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.
- [53] Freitas V.; Pinto P. (1999). *"Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção - Condensações Internas"*. Laboratório de Física das Construções: Informação Técnica NIT 002 - LFC 1998. Porto. 56p.
- [54] LNEC (1999). *"Revestimentos de Paredes. Caracterização da Capacidade de Impermeabilização"*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

- [55] Flores-Colen I. (2009). *"Metodologia de Avaliação do Desempenho em Serviço de Fachadas Rebocadas na Óptica da Manutenção Predictiva"*. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- [56] Apps C. (2011). *"Avaliação da Variabilidade da Técnica de Ensaio do Tubo de Karsten na Medição da Permeabilidade à Água Líquida em Revestimentos de Ladrilhos Cerâmicos e Argamassas"*. Dissertação Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [57] Santos C.; Matias L. (1990). *"Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios"*. Informação Técnica de Edifícios - ITE 50. Lisboa.
- [58] Associação Brasileira de Normas e Técnicas. (2010). *"NBR 13528: Revestimentos de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Determinação da Resistência de Aderência à Tração"*. Rio de Janeiro, Brasil. 11p.
- [59] Carasek H. (1996). *"Aderência de Argamassas à Base de Cimento Portland a Substratos Porosos: Avaliação dos Fatores Intervenientes e Contribuição ao Estudo do Mecanismo da ligação"*. Tese de Doutoramento em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 285p.
- [60] Mota J.; Silva A.; Carasek H.; Barbosa F. (2009). *"Análise em Obra da Resistência de Aderência de Revestimentos de Argamassa com o Preparo do Substrato com Solução de Cal e Chapisco"*. X Congreso Latinoamericano de Patología y XII Congreso de Calidad en la Construcción. Chile.
- [61] Comité Europeu de Normalização (CEN) (2000). *"EN 1015-12: Methods of Test of Mortar for Masonry - Part 12: Determination of Adhesive Strength of Hardened Rendering and Plastering Mortars on Substrates."*. Bruxelas, Bélgica.