



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Engenharia

# Propriedades hígricas de materiais e patologia de elementos construtivos

Rui Miguel de Oliveira Alves

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

Orientadores: Prof. Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha  
Prof. Doutor João Paulo de Castro Gomes

Covilhã, Outubro de 2011



# Dedicatória

À memória do meu pai.



# Agradecimentos

Ao Professor Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha, meu professor e orientador científico, agradeço a total disponibilidade, incentivo, motivação, saber e experiência. Agradeço todas as preciosas indicações e sugestões que me transmitiu, ao longo deste trajecto que se revelaram fundamentais na sua concretização.

Ao Professor Doutor João Paulo de Castro Gomes, meu co-orientador científico, agradeço o permanente apoio e incentivo, assim como as preciosas sugestões para a realização da componente experimental.

Ao colega João Centeio, e ao Sr. Félix e Sr. Albino agradeço a disponibilidade manifestada e a preciosa contribuição na realização de alguns ensaios.

Aos meus colegas que contribuíram de maneira directa ou indirecta para a realização deste trabalho agradeço a amizade e o apoio.

Agradeço também à Mapei por ter fornecido o material necessário para produzir a argamassa pré-doseada.

Ao Professor Doutor Miguel Nepomuceno, queria agradecer por ter disponibilizado as areias para a realização das várias argamassas.

A toda a minha família que ao longo destes anos me deu o apoio e ajuda necessária.

Do fundo do coração deixo um enorme obrigado à minha mãe e aos meus avós pelo apoio constante ao longo deste trajecto, sem eles nada teria sido possível. Nunca esquecerei tudo o que fizeram por mim. Obrigado.

Ao meu irmão um forte abraço pelo apoio e orgulho que sempre demonstrou para comigo. Em breve serás tu a escrever isto também. Força.

A todos os meus amigos que me apoiaram ao longo deste percurso.



## Resumo

A humidade, dos factores patológicos, é aquele que mais afecta as construções. Deste modo, o conhecimento das propriedades hígricas dos materiais possibilita a escolha mais coerente dos materiais para um melhor funcionamento dos sistemas construtivos.

Inicialmente efectuou-se uma compilação de conceitos e definições das principais propriedades de argamassas e betões, assim como das principais propriedades hígricas dos materiais de construção. Foram também mencionadas as principais formas de manifestação de humidade, assim como métodos de diagnóstico das mesmas. Algumas soluções para as referidas formas de manifestação de humidade foram também apresentadas.

A parte experimental desta dissertação teve como objectivo determinar as propriedades hígricas de cinco séries de argamassas e de um betão C25/30 concebido em central. Uma destas argamassas é uma argamassa comercial pré-doseada e as restantes têm entre outros constituintes, cimento, cal hidráulica, metacaulino e um ligante geopolimérico.

Foram efectuados vários ensaios para a determinação das propriedades hígricas das argamassas, tais como, determinação do teor de humidade, absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão com vácuo, permeabilidade ao oxigénio e permeabilidade à água. Para complementar estes ensaios foi efectuado também o de resistência à compressão para cada uma das argamassas.

Para todos os ensaios, as argamassas antes de ensaiadas foram sujeitas a um processo simplificado do método de pré-condicionamento de corpos de prova RILEM TC 116-PCD. No entanto, para o ensaio de absorção de água por capilaridade os corpos de prova foram também sujeitos a outro ambiente antes do ensaio, em que se efectuou a uma secagem durante 24 horas a 110°C. Deste modo, foi possível comparar os resultados obtidos do ensaio quando os corpos de prova foram sujeitos a dois ambientes diferentes.

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir qual das argamassas é mais eficaz para utilizar na reparação de anomalias devidas à humidade.

## Palavras-chave

Argamassa, betão, propriedades hígricas, humidade, patologias, metacaulino, lamas residuais calcinadas, teor de humidade, absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão com vácuo, permeabilidade ao oxigénio e permeabilidade à água.



# Abstract

Humidity, of all the pathological factors, is the one that affects constructions the most. So, because of that, having the knowledge of the hygric properties of the building materials gives us the possibility to choose them more coherently for a more efficient functioning of the constructive systems.

Initially, a compilation of concepts and definitions of the main properties of mortar and concrete was made, as well as of the main hygric properties of the building materials. The main forms of humidity manifestation were also mentioned, as well as some of the methods of how to diagnose them. Also some solutions to the referred forms of humidity manifestation were presented.

The experimental section of this dissertation had as its objective ascertain the hygric properties of five series of mortar and concrete C25/30 factory made. One of these mortars is a commercial pré-dosed mortar and the rest have cement, hydraulic lime, metakaolin and a geopolymeric binder in their composition.

Various experiments were made in order to determine the hygric properties of the mortars, such as, the determination of its humidity content, water absorption through capillarity, water absorption through immersion with vacuum, permability to oxygen and water. In order to complement these experiments it was also determined the resistance to compression of each one of the different mortars.

For all of the experiments, the mortars before tested were subjected to a simplified process of the method of pré-conditioning of test-speciments RILEM TC 116-PCD. However, for the experiment with water absorption through capillarity the test-specimens were also subjected to a different environment beforehand, in which they went through a 24 hour drying at 110°C. This way it was possible to compare the results of the experiment when the test-speciments were subjected to two different environments.

From the final results of the experiments it was possible to determine which one of the mortars is more suitable to use in the reparation of anomalies caused by humidity.

# Keywords

Mortar, concrete, hygric properties, humidity, pathologies, metakaolin, calcined residual mud, humidity content, water absorption through capillarity, water absorption through immersion with vacuum, permability to oxygen and water



# Índice

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do tema	3
1.2 Objectivos	4
1.3 Plano de trabalhos e organização da dissertação	4
Capítulo 2 - DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS PROPRIEDADES HÍGRICAS DE ARGAMASSAS E BETÕES	7
2.1 Introdução	9
2.2 Argamassa	9
2.2.1 Argamassa - Conceito	9
2.2.2 Propriedades da argamassa	11
2.2.2.1 Trabalhabilidade	11
2.2.2.2 Resistência à fendilhação	12
2.2.2.3 Permeabilidade à fendilhação	13
2.2.2.4 Permeabilidade ao vapor de água	14
2.2.2.5 Aspecto estético	15
2.2.2.6 Durabilidade	15
2.2.2.7 Resistência mecânica	16
2.2.2.8 Absorção de água por capilaridade	16
2.2.2.9 Compatibilidade com o suporte	17
2.2.2.10 Retracção	17
2.3 Betão	18
2.3.1 Betão - Conceito	18
2.3.2 Propriedades do betão	18
2.3.2.1 Retracção	18
2.3.2.2 Capilaridade do betão	19
2.3.2.3 Permeabilidade do betão	20
2.3.2.4 Fluência	20
2.3.2.5 Durabilidade	21
2.4 Propriedades hígricas dos materiais	21
2.4.1 Permeabilidade ao vapor de água	21
2.4.2 Higroscopicidade	22
2.4.3 Absorção de água por capilaridade	23
2.4.4 Teor de humidade	25
2.4.5 Coeficiente de difusibilidade higríca	26
2.4.6 Permeabilidade à água	26

Capítulo 3 - PATOLOGIAS DEVIDAS À HUMIDADE	29
3.1 Introdução	31
3.2 Formas de manifestação da humidade	33
3.2.1 Humidade de construção	33
3.2.2 Humidade de terreno	34
3.2.3 Humidade de precipitação	37
3.2.4 Humidade de condensação	39
3.2.4.1 Condensações superficiais	40
3.2.4.2 Condensações no interior das paredes	41
3.2.5 Humidade devido a fenómenos de higróscopidade	42
3.2.6 Humidade devida a causas fortuitas	42
3.3 Métodos de diagnóstico dos fenómenos patológicos devidos à humidade	43
3.3.1 Análise documental	44
3.3.2 Observação visual	44
3.3.3 Análise não-destrutiva	44
3.3.4 Análise destrutiva	47
3.4 Soluções para a reparação de anomalias provocadas pela acção da humidade	50
3.4.1 Reparação de anomalias provocadas por humidade de construção	52
3.4.2 Reparação de anomalias provocadas por humidade de terreno	53
3.4.3 Reparação de anomalias provocadas por humidade de precipitação	54
3.4.4 Reparação de anomalias provocadas por humidade de condensação	55
3.4.5 Reparação de anomalias provocadas por humidade devida a fenómenos de higróscopidade	55
Capítulo 4 - DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	57
4.1 Introdução	59
4.2 Execução dos corpos de prova	60
4.2.1 Caracterização dos materiais utilizados no fabrico dos provetes	60
4.2.2 Misturas estudadas	61
4.2.3 Amassadura	62
4.2.4 Preparação dos provetes	63
4.3 Pré-condicionamento pelo método de RILEM TC 116-PCD	65
4.4 Condições de realização e descrição dos ensaios	66
4.4.1 Ensaio de verificação da resistência à compressão	66
4.4.2 Ensaio de determinação do teor de humidade através de uma balança de alta precisão por infra-vermelhos	66
4.4.3 Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade	68

4.4.4 Ensaio de determinação da absorção de água por imersão com vácuo	70
4.4.5 Ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio	71
4.4.6 Ensaio de determinação da permeabilidade à água	73
4.5 Resultados dos ensaios realizados e conclusões	73
4.5.1 Argamassa	74
4.5.1.1 Ensaio de verificação da resistência à compressão	74
4.5.1.2 Ensaio de determinação do teor de humidade através de uma balança de alta precisão por infra-vermelhos	75
4.5.1.3 Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade	77
4.5.1.4 Ensaio de determinação da absorção de água por imersão com vácuo	89
4.5.1.5 Ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio	89
4.5.1.6 Ensaio de determinação da permeabilidade à água	90
4.5.2 Betão	91
4.5.2.1 Ensaio de verificação da resistência à compressão	91
4.5.2.2 Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade	91
4.5.2.3 Ensaio de determinação da absorção de água por imersão com vácuo	93
4.5.2.4 Ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio	93
4.5.2.5 Ensaio de determinação da permeabilidade à água	94
4.5.3 Síntese dos resultados de caracterização de argamassas e betão	95
 Capítulo 5 - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	 97
5.1 Conclusões	99
5.2 Trabalhos futuros	101
 BIBLIOGRAFIA	 103
 ANEXOS	 109



# Lista de Figuras

Figura 2.1 - a) Reboco numa única camada fissurada; b) Reboco aplicado em duas camadas	13
Figura 2.2 - Ciclo de humedecimento e secagem de um reboco. a) Penetração da chuva; b) Evaporação da água	14
Figura 2.3 - Curvas de adsorção e desadsorção	23
Figura 2.4 - Processos possíveis de transferência de humidade em meios porosos	24
Figura 2.5 - Teores de humidade de referência de um material	25
Figura 2.6 - a) Porosidade aberta; b) Porosidade fechada	27
Figura 3.1 - Anomalias em edifícios	31
Figura 3.2 - Humidades em edifícios	32
Figura 3.3 - Humidade ascensional em parede	35
Figura 3.4 - Humidade ascensional em muro	35
Figura 3.5 - Exemplo de manifestação de humidade de solo	36
Figura 3.6 - Altura atingida pela água em paredes, de acordo com as condições de evaporação que estão sujeitas	37
Figura 3.7 - Anomalias em paredes duplas com caixa de ar	39
Figura 3.8 - Exemplo de manifestação de humidade devido a anomalias das paredes duplas com caixa de ar	39
Figura 3.9 - Diagrama psicrométrico	40
Figura 3.10 - Humidade devido a condensações superficiais	41
Figura 3.11 - Humidímetro	45
Figura 3.12 - Câmara termográfica	46
Figura 3.13 - Termograma	46
Figura 3.14 - Detector de sais	47
Figura 3.15 - Berbequim de baixa rotação; Estufa ventilada; Balança de precisão	48
Figura 3.16 - Tira de medição de sulfatos	49
Figura 3.17 - Tira de medição de cloretos	50
Figura 3.16 - Tira de medição de nitratos	50
Figura 4.1 - Amassadura das argamassas	63
Figura 4.2 - Moldes para as argamassas	63
Figura 4.3 - Corpos de prova na câmara de cura	64
Figura 4.4 - Caroteadora e carotes	65
Figura 4.5 - Ensaio de verificação da resistência à compressão	66
Figura 4.6 - Balança de alta precisão por infra-vermelhos	67
Figura 4.7 - Amostras das argamassas para ensaio	67
Figura 4.8 - Tinta impermeável Sikagard 570 W	68

Figura 4.9 - Ensaio de absorção de água por capilaridade	69
Figura 4.10 - Ensaio de absorção de água por imersão com vácuo	70
Figura 4.11 - Permeâmetro de oxigênio e água	71
Figura 4.12 - Corpos de prova impermeabilizados lateralmente e célula onde são colocados sob pressão	72
Figura 4.13 - Profundidade de penetração da água	73
Figura 4.14 - Carga máxima à compressão das argamassas	75
Figura 4.15 - Curvas de absorção NFB (Fases não impermeabilizadas) - 72 horas	78
Figura 4.16 - Curvas de absorção NFB (Fases impermeabilizadas) - 72 horas	79
Figura 4.17 - Curvas de absorção Norma DIN (Fases não impermeabilizadas) - 72 horas	79
Figura 4.18 - Curvas de absorção Norma DIN (Fases impermeabilizadas) - 72 horas	79
Figura 4.19 - Curvas de absorção NFB (Fases não impermeabilizadas) - 72 horas	81
Figura 4.20 - Curvas de absorção NFB (Fases impermeabilizadas) - 72 horas	81
Figura 4.21 - Curvas de absorção Norma DIN (Fases não impermeabilizadas) - 72 horas	81
Figura 4.22 - Curvas de absorção Norma DIN (Fases impermeabilizadas) - 72 horas	82
Figura 4.23 - Comparação das curvas de absorção do pré-condicionamento com as curvas de absorção da secagem a 110°C (Argamassa A) - 72 horas	83
Figura 4.24 - Comparação das curvas de absorção do pré-condicionamento com as curvas de absorção da secagem a 110°C (Argamassa B) - 72 horas	84
Figura 4.25 - Comparação das curvas de absorção do pré-condicionamento com as curvas de absorção da secagem a 110°C (Argamassa C) - 72 horas	85
Figura 4.26 - Comparação das curvas de absorção do pré-condicionamento com as curvas de absorção da secagem a 110°C (Argamassa D) - 72 horas.	86
Figura 4.27 - Comparação das curvas de absorção do pré-condicionamento com as curvas de absorção da secagem a 110°C (Argamassa E) - 72 horas	87
Figura 4.28 - Curvas de absorção NFB - 72 horas	92
Figura 4.29 - Curvas de absorção Norma DIN - 72 horas	92



# Lista de Quadros

Quadro 4.1 - Análise granulométrica	61
Quadro 4.2 - Composição das argamassas para 13 dm <sup>3</sup>	62
Quadro 4.3 - Número de corpos de prova para os ensaios	64
Quadro 4.4 - Valores médios da resistência à compressão das argamassas	74
Quadro 4.5 - Valores médios do teor de humidade das várias argamassas nas várias etapas do pré-condicionamento	76
Quadro 4.6 - Valores médios do teor de humidade das várias argamassas sem pré-condicionamento	77
Quadro 4.7 - Valores médios do coeficiente de capilaridade e coeficiente de absorção das argamassas com pré-condicionamento	78
Quadro 4.8 - Valores médios do coeficiente de capilaridade e coeficiente de absorção das argamassas, quando secadas a 110°C	80
Quadro 4.9 - Síntese dos coeficientes de capilaridade e coeficientes de absorção das várias argamassas	88
Quadro 4.10 - Síntese dos coeficientes de absorção capilar das várias argamassas, obtidos através de linhas de tendência para as primeiras 6 horas do ensaio	88
Quadro 4.11 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão com vácuo nas várias argamassas	89
Quadro 4.12 - Resultados do ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio nas várias argamassas	90
Quadro 4.13 - Resultados do ensaio de determinação da permeabilidade à água nas várias argamassas	90
Quadro 4.14 - Resistência à compressão do betão	91
Quadro 4.15 - Coeficiente de capilaridade e coeficiente de absorção do betão	92
Quadro 4.16 - Coeficiente de absorção capilar do betão, obtido através da linha de tendência para as primeiras 6 horas do ensaio	93
Quadro 4.17 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão com vácuo no betão	93
Quadro 4.18 - Resultados do ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio no betão	94
Quadro 4.19 - Resultados do ensaio de determinação da permeabilidade à água no betão	94
Quadro 4.20 - Síntese dos resultados de caracterização de argamassas e betão	95



## Lista de Acrónimos

UBI	Universidade da Beira Interior
Argamassa A (MAPEI)	Argamassa pré-doseada Mape-Antique FC
Argamassa B (CEM)	Argamassa de traço 1:3 composta por cimento e areia
Argamassa C (CAL)	Argamassa de traço 1:1:5 composta por cimento, cal hidráulica e areia
Argamassa D (METAC)	Argamassa composta por cimento, metacaulino e areia
Argamassa E (GEO)	Argamassa de traço 1:3 composta por ligante geopolimérico e areia
Razão A/C	Razão água/cimento
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
RILEM	Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches Sur Les Matériaux et Les Construction
CMADE	Center of Materials and Building Technologies





# Capítulo 1 - Introdução

**1.1. Enquadramento do tema**

**1.2. Objectivos**

**1.3. Plano de trabalhos e organização da dissertação**

## 1.1 Enquadramento do tema

O conhecimento das propriedades hígricas dos materiais de construção é fundamental para um melhor aproveitamento e desempenho destes nos elementos construtivos das edificações. Deve existir um conhecimento e compreensão dos fenómenos físicos relacionados com o comportamento dos materiais, para que os elementos construtivos apresentem garantias de durabilidade, estanqueidade, manutenção do aspecto e funcionalidade.

A humidade actualmente é uma das principais causas da degradação do património edificado, muitas das anomalias que surgem devido a esse fenómeno devem-se muitas vezes a um desconhecimento das propriedades hígricas dos materiais utilizados. Um conhecimento mais profundo destas propriedades, para além de evitar uma degradação mais acelerada dos materiais, prolonga a sua durabilidade de forma que não seja necessário efectuar medidas correctivas e consequentes gastos.

A variação da humidade nos materiais de construção pode originar gerar fenómenos prejudiciais para o bom funcionamento dos materiais, tais como:

- Degradação do aspecto estético;
- Diminuição da resistência mecânica;
- Efeitos físico-químicos;
- Aparecimento de bolores nas zonas de pontes térmicas;
- Efeitos biológicos.

Devido aos materiais de construção serem porosos, a humidade pode ficar retida sob distintas formas, nomeadamente vapor, água e gelo. Deste modo, para que a resolução dos problemas referentes às construções possa ocorrer com maior eficácia, é fundamental compreender a capacidade dos materiais de reter humidade.

Grande parte dos materiais de construção são higroscópicos, logo possuem a capacidade de libertar ou acumular humidade conforme as condições ambientais dos edifícios. Isto faz com que tenham grande influência ao moderar ou atenuar a amplitude da humidade relativa dentro das edificações e, devido a isso, contribuir no melhoramento da qualidade do ar interior e na poupança de energia [1].

As envolventes dos edifícios desempenham assim um papel muito importante, tanto para evitar patologias, como para melhorar a qualidade de vida dos habitantes das edificações. Através desta podem ocorrer trocas de humidade entre o exterior e o interior [2]:

- Transferência de humidade por ventilação do exterior para o interior;
- Transferência de humidade através das paredes, devido ao gradiente de pressão parcial de vapor;
- Transferência de humidade entre a atmosfera e as paredes, e entre estas e o ambiente interior.

Foi neste contexto que se escolheram os materiais para o trabalho laboratorial. Como os rebocos são dos elementos mais importantes de uma envolvente e representam a principal barreira contra os agentes exteriores, optou-se por produzir argamassas para determinar as suas propriedades hígricas.

Outro dos constituintes mais importantes das edificações que estão mais em contacto com agentes externos e, como tal, muito susceptíveis a fenómenos de humidade são as fundações. Uma vez que estas são na sua grande maioria compostas por betão, no trabalho laboratorial foram também realizados ensaios de determinação das propriedades hígricas em corpos de prova de betão produzido em fábrica.

## **1.2 Objectivos**

Com este trabalho pretende-se contribuir para um melhor conhecimento das propriedades e comportamento de argamassas e betões face à água. Tendo em conta que a humidade é os principais factores responsáveis pelas anomalias verificadas nas edificações, este trabalho tem também como objectivo contribuir para o desenvolvimento dos estudos no âmbito da durabilidade dos materiais de construção.

Foram produzidos e ensaiados materiais com diferentes constituintes e composições, sendo que se procurou comparar e classificar os mesmos quanto às suas propriedades hígricas.

No ensaio de absorção de água por capilaridade, foram também comparados os comportamentos dos mesmos materiais, quando submetidos a ambientes de humidade relativa diferentes, previamente à realização dos ensaios. Um destes ambientes a que os corpos de prova foram sujeitos é um processo simplificado do pré-condicionamento RILEM TC 116-PCD, em que os corpos de prova após os 34 dias de cura, são sujeitos a uma pré-secagem a 50°C durante 24 horas e posteriormente colocados numa câmara com humidade relativa de 75%. O outro processo é o proposto pelas normas NF B 10-502 e DIN 52617, em que os corpos de prova são sujeitos a uma secagem a 110°C, durante 24 horas e seguidamente ensaiados. Deste modo, pretende-se comparar e concluir qual dos ambientes permite fornecer melhores valores para a determinação das propriedades hígricas dos materiais ensaiados.

## **1.3 Plano de trabalhos e organização da dissertação**

A dissertação está organizada em cinco capítulos, cujo conteúdo será exposto nos próximos parágrafos.

Na primeira parte do trabalho (capítulo 2), é efectuada uma revisão bibliográfica e a sua análise de forma a adquirir um conhecimento geral sobre as principais propriedades hígricas dos materiais de construção e das principais propriedades da argamassa e do betão, uma vez que foram os materiais utilizados no trabalho laboratorial.

Na segunda parte (Capítulo 3) realiza-se uma revisão bibliográfica das principais patologias associadas à humidade. São apresentadas as principais formas de manifestação de humidade nas edificações, assim como os fenómenos responsáveis pelo aparecimento destas. Posteriormente são apresentados alguns métodos utilizados no diagnóstico das patologias associadas à humidade. Por fim, são propostas algumas soluções para o tratamento das anomalias geradas pelo aparecimento de humidade.

A terceira parte (capítulo 4) é referente à parte laboratorial do trabalho e é iniciada com a descrição pela caracterização das várias fases de execução dos corpos de prova a utilizar nos ensaios. Posteriormente, é efectuada uma descrição dos procedimentos e das condições dos ensaios efectuados neste trabalho laboratorial. Por fim, são apresentados os resultados dos ensaios e as respectivas conclusões.

As principais conclusões obtidas com a realização deste trabalho são apresentadas no capítulo 5, em que se efectua uma comparação dos objectivos propostos com os alcançados. Por fim, referem-se algumas possibilidades de continuação do trabalho apresentado.



## **Capítulo 2 - Definição e caracterização das principais propriedades hígricas de argamassas e betões**

**2.1. Introdução**

**2.2. Argamassa**

**2.3. Betão**

**2.4. Propriedades Hígricas dos materiais**

## 2.1. Introdução

Os materiais de construção civil são, na sua maioria, materiais porosos em que estes poros se encontram interligados. É devido a esta característica da sua estrutura que ocorrem as variações do teor de humidade no seu interior. Estes fenómenos fazem com que os materiais de construção muitas vezes modifiquem o seu comportamento e desenvolvam patologias [3].

Segundo Ramos [3] que cita Yves Couasnet, a quantidade de humidade que os materiais porosos podem acumular depende do seguinte conjunto de factores:

- Natureza dos constituintes da fase sólida dos materiais;
- Massa volúmica, forma, dimensões e organização dos poros dos materiais;
- Interações físico-químicas entre as diferentes fases em presença: sólida/líquida/gasosa;
- Condições termodinâmicas aplicadas aos materiais (pressões e temperaturas).

No caso concreto das argamassas para reboco e de betões, a água tem especial importância, uma vez que esta é adicionada durante o processo de fabrico e tem grande influência nas suas características, tanto na amassadura como no estado sólido.

No presente capítulo abordam-se as principais propriedades dos materiais que vão ser abordados ao longo da dissertação, as argamassas e os betões.

Tendo em conta as várias referências bibliográficas consultadas acabou por se escolher uma lista de propriedades consideradas de maior importância para estes materiais. Também se procurou definir o conjunto das principais propriedades hígricas:

- Permeabilidade ao vapor de água;
- Higrscopicidade;
- Absorção de água por capilaridade;
- Teor de humidade;
- Coeficiente de difusibilidade hígrica;
- Permeabilidade à água.

## 2.2. Argamassa

### 2.2.1. Argamassa - Conceito

Uma argamassa define-se como um material proveniente da mistura de um ou mais ligantes com areia, água e, eventualmente, aditivos e/ou adjuvantes. Do ponto de vista funcional, uma argamassa tem um campo de aplicação bastante vasto. Deste modo existem vários tipos de argamassas, dependendo a composição destas do fim para que são utilizadas. Uma

argamassa pode desempenhar várias funções, tais como, assentamento de alvenarias, impermeabilização, regularização e acabamento de superfícies. Apesar das várias possibilidades de aplicação, as argamassas devem sempre apresentar algumas características indispensáveis para que estas funcionem correctamente, entre elas, a resistência à acção mecânica do choque, a capacidade de absorver as deformações que são sujeitas, a resistência aos agentes climáticos e à acção química [4, 5].

As argamassas são divididas em três grupos, sendo que esta distinção é feita devido à natureza do ligante que é utilizado na mistura. Sendo assim podem ser consideradas [6]:

- Argamassas de cimento;
- Argamassas de cal;
- Argamassas bastardas.

Dos três tipos de argamassa referidos anteriormente as que são mais utilizadas na construção são as argamassas de cimento, sendo que as argamassas bastardas (são denominadas desta forma porque são constituídas por mais do que um tipo de ligante), também são bastante comuns. É importante referir também que as argamassas à base de cal podem-se sub-dividir em dois grupos, dependendo do tipo de cal que é utilizado. As mais utilizadas para o fabrico de argamassas são a cal hidráulica e a cal aérea. A cal hidráulica resulta da cozedura de calcários margosos com elevado teor de argila. Estas cals são predominantemente constituídas por silicatos, aluminatos e hidróxido de cálcio. As cals aéreas são produzidas pela decomposição de calcários constituídos de carbonato de cálcio ou de carbonato de cálcio e magnésio pela acção da temperatura, sendo que estas cals possuem baixo teor em argilas.

Quando se pretende fabricar uma argamassa deve-se ter em consideração o tipo de edificação onde esta vai ser aplicada, uma vez que, para edifícios antigos as argamassas deverão ter características diferentes que as argamassas que são aplicadas em edifícios novos [4].

Nos monumentos e edifícios históricos, durante muitos séculos, foram utilizadas argamassas à base de cal. A cal mais utilizada era a cal aérea, por essa razão, é possível encontrar um grande número de edifícios históricos em que foi utilizado este tipo de ligante para o fabrico de argamassas [7].

Posteriormente, o cimento passou a ser o ligante mais utilizado, quer na construção nova, como na reabilitação de edifícios antigos. Relativamente à utilização de argamassas constituídas por cimento, na reabilitação de edifícios, viria a revelar-se um erro. Isto deve-se ao facto de as argamassas compostas por cimento serem demasiado rígidas e pouco “transpiráveis” para serem aplicadas como argamassas de reboco na reabilitação de edifícios antigos [6, 7, 8].

Numa perspectiva de reabilitar o património histórico das civilizações, foi importante efectuar um estudo sobre a aplicação de argamassas à base de cal que sejam semelhantes às argamassas utilizadas na construção de edifícios antigos.

Segundo Claudia Agostinho [9], citando Luís Cavaco, as argamassas de cal aérea têm como principais características, uma capacidade de absorção capilar elevada e grande

permeabilidade ao vapor de água, o que possibilita a evaporação de água dos seus paramentos com relativa facilidade. Outra característica destas argamassas é o facto de a cura ocorrer através a fenómenos de carbonatação. Isto faz com que em ambientes de humidade elevada a argamassa apresente maiores dificuldades para efectuar a cura.

O mesmo autor refere que as argamassas à base de ligante hidráulico, em especial quando este é cimento, apresentam resistências mecânicas elevadas, são menos permeáveis e apresentam uma menor capacidade de deformação que as argamassas de cal aérea. A presa destas argamassas realiza-se através de processos de hidratação, quer em ambientes secos, tal como em ambientes húmidos. Estas argamassas apresentam menos flexibilidade e muitas vezes evidenciam fissuração devido à retracção plástica. Estas são também susceptíveis a libertar sais solúveis [8, 9].

Devido às crescentes exigências de qualidade e rapidez de execução dos trabalhos em obra, ocorreu uma progressiva substituição das argamassas preparadas em obra por argamassas preparadas em fábrica. Neste contexto surgiram argamassas pré-doseadas para substituição de rebocos antigos.

Estas argamassas, que normalmente não contêm cimento, tentam aproximar o máximo possível das características das argamassas dos edifícios antigos no que diz respeito às características físico-mecânicas.

As argamassas pré-doseadas podem garantir um melhor desempenho devido ao estudo e desenvolvimento prévio de que foram alvo em laboratório. No entanto, têm como desvantagem o facto de os fabricantes não revelarem, devido a existir segredo industrial, todos os constituintes e dosagens utilizadas no produto. Isto pode ter efeitos ao nível de utilização em obra, uma vez que estas argamassas podem não estar preparadas para ser aplicadas universalmente em todo o tipo de suporte [10].

A aplicação destas argamassas pré-doseadas obriga a um estudo rigoroso das condições/estado do suporte, no que diz respeito principalmente às suas características mecânicas, físicas, químicas e fragilidades para que nenhuma particularidade entre em conflito com a argamassa [10].

## 2.2.2. Propriedades das argamassas

### 2.2.2.1. *Trabalhabilidade*

Uma argamassa diz-se que possui uma boa trabalhabilidade quando permite ser facilmente aplicada a uma superfície, tem uma boa aderência e compacidade, evidenciando um bom rendimento, para que o acabamento final seja o pretendido.

Esta propriedade das argamassas influencia não só a facilidade de aplicação na obra, como também o seu futuro desempenho no estado endurecido. A fendilhação, que muitas vezes é originada pela retracção é consequência de uma boa trabalhabilidade, tal como capacidade de impermeabilização e uma boa aderência ao suporte [4].

Segundo Miranda, citando o autor Pedro Gaspar, existem diversas formas de se obter uma melhor trabalhabilidade. Um desses meios seria aumentar a quantidade de água em relação à de cimento, porém esta medida teria efeitos prejudiciais para a argamassa na fase endurecida, uma vez que poderia ocorrer retracção e consequente fissuração desta devido à evaporação de água e perda de volume. Outra medida seria aumentar o teor de finos nas areias utilizadas na mistura da argamassa [11].

Existem também adjuvantes apropriados para melhorar a trabalhabilidade das argamassas (plastificantes e introdutores de ar). No entanto, a utilização destes exige um conhecimento profundo das suas consequências no comportamento do reboco. [4].

#### 2.2.2.2. Resistência à fendilhação

Uma argamassa, depois de ser aplicada, devido à perda de água (sucção e evaporação), e à consequente diminuição de volume, apresenta fenómenos de retracção.

É devido a fenómenos de retracção que as argamassas tendem a fissurar. A origem destas fissuras depende do grau de adesão do reboco ao suporte, do módulo de elasticidade, da constituição, das condições de aplicação e do poder de retenção de água do reboco [11].

O reboco ao aderir a uma superfície rígida, como a parede, passa a ver restringida a sua deformação. Isto faz com que se gerem tensões de tracção no plano de aderência entre a camada de revestimento e o suporte, o que pode levar ao aparecimento de fissuras [4].

A resistência à fendilhação de uma argamassa está relacionada com a capacidade da argamassa resistir às tensões nela introduzidas pelo efeito de restrição da retracção, conferida pela aderência a um suporte relativamente rígido. Esta resistência depende também da intensidade dessas tensões de tracção. Uma argamassa será então passível de sofrer fendilhação, se apresentar maior retracção e maior for a relação do módulo de elasticidade/resistência à tracção. Isto significa que o comportamento do reboco é influenciado pelas tensões de retracção e pela capacidade do material constituinte para dissipar as forças de tracção geradas [11].

A composição de uma argamassa também tem grande importância na capacidade de resistir à fendilhação. De todos os constituintes de uma argamassa, a natureza de um ligante é aquele que mais influencia a maior ou menor susceptibilidade desta sofrer fendilhação. Deste modo, uma argamassa de cimento tem mais tendência para apresentar fendilhação, devido a ser mais rígida, pouco flexível e pouco elástica. Isto faz com que ocorra maior retracção nestas argamassas e que estas sejam menos sensíveis aos movimentos dos suportes onde vão ser aplicadas. As argamassas de cal aérea são menos susceptíveis de sofrer fendilhação, enquanto que, as argamassas à base de cal hidráulica, devido à maior finura deste ligante, também apresentam fendilhação como as argamassas à base de cimento [4].

A água de amassadura também tem influência no aparecimento de fendilhação nas argamassas, uma vez que o excesso desta provoca um aumento da retracção e da porosidade [4].

O tipo de suporte onde vai ser aplicada a argamassa também possui grande importância no comportamento à fendilhação. Um suporte que possua na sua constituição saís que ao serem transportados para o reboco que o reveste, através da água que circula no seu interior, pode originar fissuras quando ocorre a cristalização e posterior expansão [4].

O suporte de assentamento de uma argamassa deve possuir uma menor capacidade de absorção de água possível. Caso contrário, uma argamassa no estado fresco, depois de ser assentada, pode perder a água da sua constituição, originando fissuras internas, que posteriormente, podem progredir até à superfície [4].

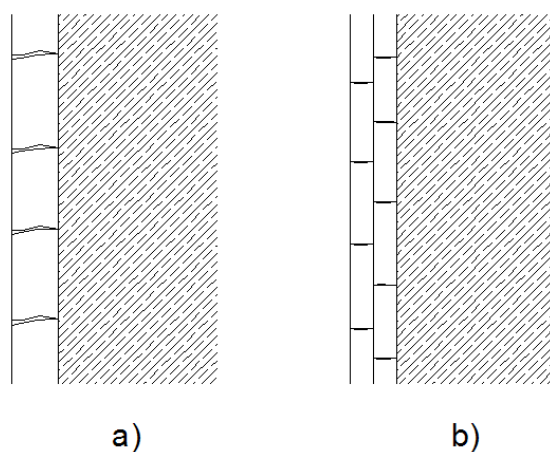


Figura 2.1 - a) Reboco numa única camada fissurada; b) Reboco aplicado em duas camadas, citado em [4].

Outro aspecto a ter em conta é o facto de as fendas num reboco de uma só camada serem mais prejudiciais para a durabilidade deste e do seu suporte. Deste modo, a água e os restantes agentes exteriores penetram mais facilmente no reboco e conseqüentemente no seu suporte. Uma forma de combater este tipo de situações é a aplicação de várias camadas de reboco com espessura final equivalente. Isto obriga a trajectos mais longo por parte dos agentes exteriores [4].

### 2.2.2.3. Permeabilidade à água

Denomina-se por permeabilidade à água, a propriedade de um material sólido poroso de ser atravessado por água no estado líquido sob um gradiente de pressão [12].

A permeabilidade à água de uma argamassa está relacionada com a rede de poros existente e com a existência de fissuras. Sendo que esta é influenciada pela natureza e dosagem dos materiais, pela técnica de execução, pela espessura da camada de revestimento, pela natureza do suporte, além dos factores externos ao revestimento como a pressão do vento e a pluviosidade [4, 13].

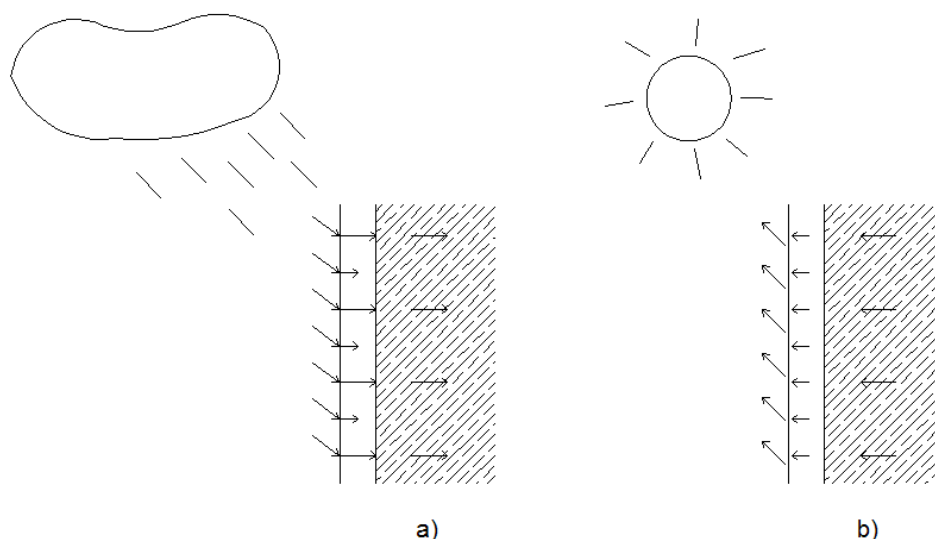


Figura 2.2 - Ciclo de humedecimento e secagem de um reboco. a) Penetração da chuva; b) Evaporação da água [14].

Uma vez que os rebocos são materiais porosos, quando as acções chuva/vento combinam, pode originar a entrada de água por capilaridade ou permeabilidade nos rebocos. Esta quantidade de água será tanto maior, quanto maior for o número de poros e a sua dimensão [11].

Um reboco deve então ser o mais impermeável possível à água, de forma a resistir à penetração desta do exterior até ao suporte. No entanto, este não deve ser excessivamente impermeável, uma vez que, deve permitir a “respiração” da parede para que se dê a secagem da água em excesso [14]. Desta forma, fica patente a complexidade de se obter um reboco que respeite estas duas condições que permitem um melhor funcionamento.

#### 2.2.2.4. Permeabilidade ao vapor de água

Um reboco deve ser permeável ao vapor de água de forma a possibilitar a evaporação da água em excesso nas paredes, infiltrada através de fendas, zonas particulares (remates, vãos, etc.) e durante o processo construtivo de uma edificação [14].

Na utilização normal de uma habitação são produzidas diariamente grandes quantidades de vapor de água. Deste modo, para evitar que ocorram condensações na superfície das paredes interiores, as paredes devem permitir a saída desse vapor de água. Um reboco deve então ser permeável e facilitar a secagem do próprio revestimento e do suporte.

As argamassas de cimento são menos permeáveis ao vapor de água que as argamassas à base de cal. Isto deve-se ao facto de estas argamassas serem mais compactas e possuírem menos volume de vazios [15].

#### 2.2.2.5. *Aspecto estético*

O aspecto estético de uma argamassa tem grande importância, uma vez que a aparência de um edifício é condicionado pelo revestimento exterior [11]. Devido a estar exposto a acções externas e por desempenhar uma função de protecção, os rebocos são dos primeiros elementos do edifício a sofrer degradação visível [4].

Deste modo, o surgimento de fendilhação (generalizadas ou pontuais), escorrimento da água da chuva, manchas resultantes da poluição atmosférica, eflorescências ou destacamento localizado desfavorece a estética de um edifício [11].

De entre as outras propriedades das argamassas, o aspecto estético é a propriedade que revela a qualidade de um reboco, que transparece na aparência global de um edifício. Assim, este deve assegurar o aspecto visual desejado através da sua textura, cor, regularidade, tipo de acabamento e desempenho [4].

Segundo Miranda, que cita Gaspar, o aspecto estético das edificações a longo prazo pode ser melhorado através de um maior rigor na fase de projecto. No entanto, existem alguns factores que influenciam de forma directa a estética dos rebocos, entre eles a poluição e a chuva [11].

#### 2.2.2.6. *Durabilidade*

Esta característica diz respeito às anomalias que podem afectar as argamassas para reboco e colocar em risco o seu bom desempenho. Se um reboco deixa de responder a alguma das funcionalidades para a qual foi concebido, considera-se que alcançou o termo da sua vida útil. A durabilidade das argamassas para reboco é condicionada por várias anomalias, prejudiciais para o seu bom desempenho. Alguns dos exemplos dessas anomalias podem ser [14]:

- Fendilhação;
- Penetração de água por capilaridade;
- Perdas de aderência;
- Esfarolamento provocado por dissecação prematura;
- Corte do suporte;
- Espessura excessiva;
- Ataque de sais;
- Cultura e proliferação de microrganismos;
- Qualidade da argamassa.

Sendo que, na maioria das vezes, estas não se manifestam devido a uma causa isolada. Por exemplo, no caso de ocorrer fendilhação devido a fenómenos de retracção (excesso de água ou de cimento na dosagem), pode levar à infiltração de água no reboco e o consequente aparecimento de manchas de humidade e deposição de fungos.

Diz-se que um reboco alcançou o termo de vida útil, quando deixa de responder de forma satisfatória às propriedades que lhe são exigidas [11].

Factores também importantes a ter em conta na durabilidade de um reboco são o local, o clima e a topografia onde este é aplicado [13].

#### 2.2.2.7. Resistência mecânica

A resistência mecânica das argamassas está relacionada com o seu módulo de elasticidade, que por sua vez, condiciona a trabalhabilidade e a resistência à deformação da própria argamassa [11].

Uma argamassa com módulo de elasticidade maior possui mais resistência às agressões externas e às tensões geradas entre o reboco e o suporte durante o processo de secagem e retracção do material. No entanto, uma argamassa deve possuir trabalhabilidade e ser deformável, para que possa acompanhar as deformações impostas pelo suporte onde está aplicada. Essas deformações ocorrem muitas vezes devido à temperatura, humidade e movimentos diferenciais [11].

Segundo Martins, que cita Rato, a resistência mecânica de uma argamassa depende essencialmente de dois aspectos: o tipo de rede cristalina da matriz e o tipo de estrutura porosa. O primeiro está relacionado com o tipo de ligante, traço e as condições do endurecimento. O segundo depende da quantidade, dimensão e forma dos poros [4, 16].

#### 2.2.2.8. Absorção de água por capilaridade

Esta propriedade está relacionada com a permeabilidade, uma vez que a capilaridade é a capacidade de uma argamassa para absorver água no estado líquido devido a forças capilares. Quanto mais impermeável for uma argamassa, menor será a sua capilaridade [12, 15].

A penetração da água na argamassa efectua-se através dos poros existentes nesta, que envolve a pasta de cimento, os agregados e interface pasta-agregado ou por defeitos constituição do material [4]. A absorção capilar é de grande importância na durabilidade de uma argamassa, uma vez que a água absorvida prejudica o desempenho da argamassa, reduzindo a durabilidade e capacidade de protecção do suporte [13].

Martins que cita Nsambu, afirma que a absorção capilar de materiais cimentícios varia com diversos factores, sendo que diminui quando [4]:

- Aumenta a dosagem de finos e de cimento;
- Diminui a relação água/cimento;
- Aumenta a compactação;
- Aumenta a idade do material;
- Se aplica uma cura saturada nas primeiras idades;
- Aumenta a duração da cura;

A absorção capilar será tanto maior se os capilares do material forem finos e se o material se encontrar menos húmido. Segundo Martins, que cita Rodrigues, os poros de pequena dimensão executam uma maior força capilar, o que faz com que acumulem água mais rapidamente e durante períodos de tempo mais longos [4].

A quantidade e a conectividade dos poros também influencia na absorção. Se uma argamassa possuir uma porosidade aberta, a água tem mais facilidade em penetrar na estrutura desta [17].

#### *2.2.2.9. Compatibilidade com o suporte*

É importante que ocorra uma boa compatibilidade entre o reboco e o suporte onde este vai ser aplicado. Deste modo, existem parâmetros que devem ser respeitados, do ponto de vista geométrico, físico, mecânico e químico.

A compatibilidade geométrica está ligada a uma boa capacidade de adesão do reboco ao suporte, ao preenchimento de juntas e irregularidades da parede. A adesão do reboco ao suporte está dependente de factores como a quantidade de água existente, o teor de finos e o coeficiente de absorção do suporte [14].

O reboco deve possuir a capacidade de permitir trocas de humidade entre o suporte e o exterior, para isso necessita de ter boa permeabilidade ao vapor de água. Deve também apresentar um coeficiente de condutibilidade térmica idêntico ao do suporte [14].

Do ponto de vista de compatibilidade mecânica, o reboco deve evitar grandes diferenças de rigidez em relação ao suporte. Caso isto não se verifique, podem surgir elevadas tensões que podem levar à deterioração do reboco ou do próprio suporte [14].

Relativamente às propriedades químicas de um reboco, este deve ser capaz de resistir ao ataque de sais que possam existir no suporte. O reboco também não deve conter sais na sua constituição que ao serem dissolvidos na água proveniente do exterior possam desencadear reacções nocivas para os constituintes do suporte [14].

#### *2.2.2.10. Retracção*

As argamassas de revestimento, após a sua aplicação, estão sujeitas a fenómenos de retracção. Estes fenómenos consistem em perda de volume das argamassas, originadas pela perda de água. Quando a secagem da argamassa se processa com excessiva rapidez, as variações volumétricas vão originar fendilhação [13].

A retracção muitas das vezes é restringida pelos agregados que compõem a argamassa e também pelo suporte. Este fenómeno vai ocorrer nas argamassas até que estas estejam em equilíbrio com o ambiente, a temperatura constante e na ausência de cargas exteriores aplicadas [4].

Segundo Cruz que cita Miranda, a retracção em argamassas de cimento ou bastardas divide-se em retracção plástica e retracção hidráulica ou por secagem. A primeira tem início a partir do

momento em que a argamassa é aplicada no suporte, através da movimentação da pasta de cimento e consequente penetração da água de amassadura nos poros da base. É também nesta fase que se dá a evaporação da água para o ambiente. Por outro lado, a retracção hidráulica apenas se inicia após as primeiras horas de presa da argamassa. A intensidade da tensão desenvolvida durante a retracção depende de alguns agentes, tais como magnitude da retracção, módulo de elasticidade, grau de restrição e relaxação da argamassa [13].

## 2.3. Betão

### 2.3.1. Betão - Conceito

O betão define-se como um material proveniente da mistura de um ou mais ligantes com brita, areia, água e, eventualmente aditivos ou adjuvantes. Quando se efectua a mistura dos vários componentes deve-se ter especial atenção às proporções destes, que devem obedecer a determinadas regras.

A composição da mistura para o fabrico do betão tem em consideração algumas variáveis definidas pelo projectista da estrutura que vão influenciar o produto final, tais como a compacidade, impermeabilidade, porosidade, trabalhabilidade, resistência mecânica, etc. Também as exigências relativas ao tipo de obra, técnicas de transporte, lançamento e adensamento do betão influenciam a mistura.

Deve-se referir que as propriedades do betão endurecido não são estáticas e vão evoluindo ao longo do tempo. Por exemplo, cerca de 50 a 60% da resistência final desenvolve-se nos primeiros 7 dias, 80 a 85% em 28 dias e mesmo ao fim de 30 anos de idade do betão, verificam-se aumentos de resistência [18]. Apesar do referido anteriormente é importante garantir a durabilidade de uma estrutura de betão, uma vez que quando se dá a cura deste ocorrem reacções de hidratação entre o ligante e a água. Estas reacções vão fazer com que o cimento hidratado baixe a sua alcalinidade, o que no caso de estruturas de betão armado é prejudicial uma vez que as armaduras para serem conservadas necessitam de se encontrar num meio alcalino [19]. Estas e outras reacções fazem com que o betão seja um material quimicamente instável, que vai influenciar a durabilidade deste [19].

### 2.3.2. Propriedades do betão

#### 2.3.2.1. Retracção

Esta propriedade dos betões está relacionada com a variação de volume que este material sofre desde que é compactado até ao estado limite de equilíbrio com o ambiente, a temperatura constante e na ausência de qualquer tensão aplicada. A retracção é

caracterizada pela diminuição das dimensões das peças de betão, devido à secagem da água [20, 21].

A retracção ocorre no estado fresco e no estado endurecido do betão, no entanto neste último ocorre apenas para as idades mais jovens. Esta propriedade caracteriza-se pelo assentamento dos materiais que compõem o betão e pela evaporação da água à superfície [20].

O efeito da retracção é complexo e depende de diversos factores, especialmente do meio ambiente em que a estrutura está inserida. Os principais factores que influenciam a retracção são [18]:

- Temperatura;
- Humidade;
- Vento;
- Natureza e quantidade dos agregados;
- Natureza e quantidade de cimento;
- Quantidade de água;
- Adjuvantes;
- Dimensão da peça de betão.

Pelas consequências que provoca nos materiais de construção, a retracção é das propriedades mais importantes. Como normalmente são impostas restrições através do atrito, gera-se tensões de tracção no material que leva ao aparecimento de fendilhação. Para além do enfraquecimento do betão que pode afectar a capacidade resistente do betão, o aparecimento de fendilhação condiciona também a durabilidade e o aspecto deste. A fendilhação resultante da retracção faz com que a água penetre mais facilmente na estrutura do betão e provoque problemas de humidade [20].

#### 2.3.2.2. *Capilaridade do betão*

A capilaridade é medida através do coeficiente de absorção/capilaridade, e define-se como sendo a massa de água absorvida, por área de material, devido a forças capilares [12].

Uma vez que o betão é um material poroso, este permite que a água circule através dele devido a fenómenos de capilaridade. Um elemento de betão (exemplo: sapata) que esteja em contacto com a água, mesmo que não seja sujeito a pressões hidrostáticas, desenvolve um mecanismo de sucção capilar que permite a circulação de água no interior deste. Em termos de durabilidade, estes elementos estão susceptíveis de apresentar algumas anomalias [20].

Citando Coutinho, a absorção capilar depende de diversos factores, tais como [20]:

- Finura do cimento (a absorção capilar diminui quando a finura do cimento aumenta);
- Relação A/C (a absorção capilar aumenta quando a relação A/C aumenta);
- Idade (a absorção capilar diminui quando a idade aumenta);

- Duração da cura húmida (a absorção capilar diminui quando a duração aumenta);
- Compacidade (a absorção capilar diminui quando a compacidade aumenta).

#### 2.3.2.3. Permeabilidade do betão

Segundo Coutinho, “a permeabilidade é a propriedade de um betão ser atravessado pelos gases e fluidos actuando na sua superfície sob pressão”. Isto significa que sempre que a água penetre num elemento de betão através da existência de uma pressão hidráulica, o mecanismo de transporte desta é a permeabilidade [20].

Na estrutura do betão existem três tipos diferentes de poros. Os primeiros são poros de cimento hidratado, que são de dimensão reduzida, com dimensões próximos do nanómetro e independentes da relação água/cimento. Existem também os poros capilares com dimensões entre  $10^{-2}$  e  $10 \mu\text{m}$ , têm origem no excesso de água de amassadura. Por último, os poros de maior dimensão, com dimensões superiores a  $\mu\text{m}$ , que têm origem na granulometria do inerte e nos métodos de mistura e compactação [20].

#### 2.3.2.4. Fluência

Designa-se por fluência o aumento progressivo no tempo da deformação das peças de betão armado quando sujeitas a tensões constantes de carácter permanente. Ao se sujeitar uma peça de betão a uma tensão constante com carácter de permanência, verifica-se que a deformação instantânea aumenta progressivamente ao longo do tempo de aplicação. Isto ocorre devido às variações volumétricas da pasta de cimento que contem os agregados [22].

A fluência é influenciada por vários factores, tais como o tipo de betão, tipo de cimento, estado higrométrico do ambiente, características das peças, idade do betão em que é aplicada a carga, valor das cargas aplicadas e varia ao longo do tempo [20].

Para betões da mesma classe de resistência, a fluência aumenta com a dosagem de cimento e com a razão A/C. Relativamente à influência do estado higrométrico, a fluência aumenta em ambientes mais secos e em peças de menor dimensão. Isto deve-se à maior ou menor dificuldade de secagem do betão que determina a sua contracção e é equivalente a um processo de retracção sob a acção de tensões [22].

Segundo Lynam, citado por Coutinho, a fluência ocorre devido a três mecanismos: escorregamento cristalino, movimento da água adsorvida pelos produtos de hidratação do cimento e escoamento viscoso ou ainda por um aumento da solubilidade dos constituintes do cimento, devido à tensão a que estão sujeitos [20].

### 2.3.2.5. Durabilidade

Na concepção de estruturas de betão deve-se procurar garantir que estas sejam duráveis, para além da sua resistência mecânica, a interacção da sua camada superficial com o meio ambiente é fundamental para o começo de processos que possam gerar degradação [23].

As propriedades que têm influência na durabilidade do betão, como a densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade, fissuração e resistência mecânica são controlados através da quantidade de água no betão e na sua relação com a quantidade de ligante e determinam a qualidade do material e a sua duração. No entanto, as propriedades de transporte da camada superficial do betão, nomeadamente a permeabilidade, difusão e capilaridade, determinam a resistência deste a ambientes agressivos [18, 24].

Segundo Martins citando A. De Sousa Coutinho e Arlindo Gonçalves, o betão pode ser durável e manter o seu desempenho previsto para um determinado ambiente, mas não ser para outro ambiente diferente. Daí surge a importância de ajustar essas características de transporte da camada inicial ao ambiente em que o betão vai ser aplicado [18].

A temperatura também influencia a durabilidade do betão, assim o betão torna-se sensível a temperaturas elevadas, uma vez que estas podem provocar a desidratação dos constituintes do cimento. Também as baixas temperaturas têm efeitos negativos, sobretudo se forem inferiores a  $-5^{\circ}\text{C}$ . Estas podem provocar sucessivos ciclos de gelo e degelo da água existente nos poros do betão e causar a fadiga deste [18].

No entanto, o mecanismo de deterioração mais gravoso para o betão é de natureza química. Este é provocado pela acção de cloretos da água do mar ou de sais descongelantes, acção de sulfatos e de outros ambientes quimicamente agressivos. Para atenuar os efeitos agressivos provocados pela entrada destes agentes externos, deve-se reduzir a permeabilidade do betão. Para tal, pode tomar-se diversas medidas, como por exemplo, aumentar a dosagem de cimento ou limitar o quociente água-cimento [18].

## 2.4. Propriedades Hígricas dos materiais

### 2.4.1. Permeabilidade ao vapor de água

Segundo Lanzinha [12], designa-se por permeabilidade ao vapor de água de um material, a quantidade de vapor que passa na unidade de tempo, em regime permanente, através de superfície de um material com espessura unitária, quando a diferença de pressão de vapor entre as duas faces paralelas é também unitária.

A transferência de humidade dos materiais de construção, no estado gasoso, pode ocorrer das seguintes formas [25]:

- Difusão de vapor através de uma camada de ar;

- Difusão de vapor através de materiais porosos;
- Convecção.

A difusão de vapor de água através de elementos de construção, de entre os referidos anteriormente, é o fenómeno mais vulgar. Este ocorre sempre que exista uma diferença de pressão entre as faces de um dado elemento construtivo. Desta forma, dois gases que contenham concentrações diferentes de vapor de água vão originar uma troca molecular até que as concentrações sejam iguais [25].

A permeabilidade ao vapor de água de um material é influenciada maioritariamente pelo seu teor de humidade, que por sua vez, é influenciado pelas condições ambientes a que o material se encontra. A temperatura ambiente e dos materiais também tem preponderância na permeabilidade ao vapor de água. No entanto esta é considerada menos importante que a humidade relativa [25].

Numa determinada massa de ar, a pressão do vapor de água aumenta, se a humidade presente nela também aumentar [12].

Como as actividades diárias dos ocupantes dos edifícios provocam o aparecimento de vapor de água dentro destes locais, a pressão no interior vai aumentar relativamente à pressão exterior. Isto faz com que o vapor de água presente nos edifícios tenha tendência para atravessar o material da envolvente para o exterior [12].

Os materiais constituintes de uma envolvente são permeáveis ao vapor de água, permitindo que o ar os atravesse e se efectue a passagem de humidade para o exterior. Contudo, se a massa de ar que atravessa a parede arrefecer pode gerar condensações no interior da parede. Isto pode vir a provocar danos nos materiais constituintes da envolvente de um edifício [12].

#### 2.4.2. Higroscopicidade

A higroscopicidade consiste na variação do teor em humidade de um material em função da humidade relativa do ar. Quando a pressão de vapor de água do ambiente é superior à pressão no interior do material, as forças intermoleculares (ou de Van Der Waals) que actuam na interface sólido-fluído no interior dos poros, vão atrair o vapor de água até que se estabeleça um equilíbrio das duas pressões [3, 12].

Esta característica dos materiais pode ser medida através do Teor de Humidade Higroscópico, para uma determinada humidade relativa, e é expressa por  $W_H$ , em  $\text{kg/m}^3$ . A higroscopicidade depende de alguns factores, tais como a porosidade dos materiais, a temperatura e a humidade relativa do ar [12, 26].

A higroscopicidade ocorre devido a um processo de adsorção de vapor de água por parte dos materiais, este fenómeno pode ser dividido em diferentes etapas [12, 26]:

- Adsorção mono-molecular - fixação de uma camada de moléculas de água sobre a superfície dos poros;

- Adsorção plurimolecular - fixação de várias camadas de moléculas de água sobre a primeira camada adsorvida;
- Ocorre a condensação capilar quando o diâmetro dos poros é suficientemente pequeno.

Um determinado material será mais higroscópico, se possuir a capacidade de absorver e restituir uma maior quantidade de humidade [12].

A relação do teor de humidade em equilíbrio de um material e a humidade relativa do ar a determinada temperatura é representada através da curva higroscópica [26].

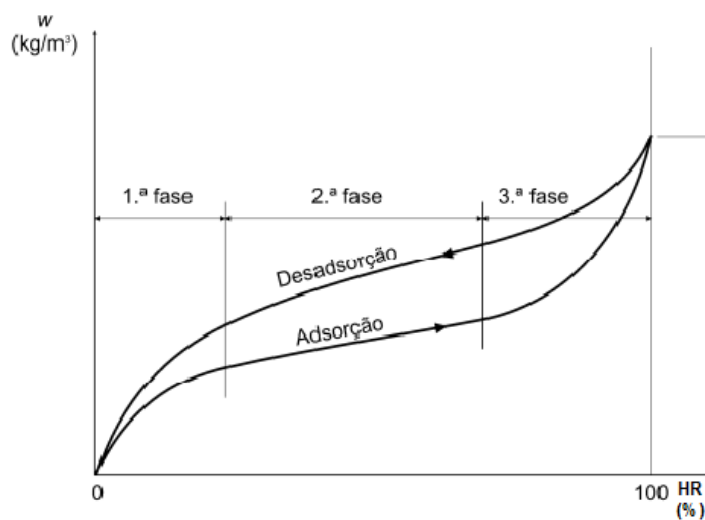


Figura 2.3 - Curvas de adsorção e desadsorção [26].

A posição e andamento das curvas higroscópicas variam com a temperatura. No caso de a temperatura ser mais elevada, vai ocorrer mais facilmente a libertação de moléculas de água. Isto leva a que as curvas higroscópicas alusivas a temperaturas mais elevadas se localizem sempre abaixo das curvas pertencentes a temperaturas mais baixas [3].

### 2.4.3. Absorção de água por capilaridade

Define-se por capilaridade, a propriedade de um determinado material absorver água líquida, por sucção, quando se encontra em contacto com esta. A capilaridade pode ser determinada através do coeficiente de absorção de água ( $A_w$ , em  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ) ou coeficiente de capilaridade ( $C$ , em  $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{0.5})$ ) e ilustra a massa de água absorvida, por área de material em contacto com a água, devido à existência de forças de sucção capilar [12].

Os materiais de construção regulam a sua capacidade de transferência de fluidos através da distribuição, raio e número de capilares por unidade de área, e também pelas forças de tensão superficial que se geram devido ao conteúdo de humidade que estes contêm [12], [27].

A origem do potencial capilar são as forças capilares, devido à tensão existente entre a superfície da água e as paredes dos poros, que é dependente do teor de humidade, da

densidade e viscosidade da água, da temperatura e das características dos poros, como o raio, a tortuosidade e a conectividade.

Relacionado com os factores referidos anteriormente, está o facto de alguns materiais utilizados na construção apresentarem uma camada superficial de orvalho devido ao processo de esfriamento durante a noite (ex: ardósia). Outros materiais quando sujeitos a estas condições, não evidenciam este fenómeno (ex: telha de barro). Isto deve-se ao facto de a temperatura da superfície dos materiais, devido à radiação nocturna, baixar consideravelmente e posteriormente condensar [27].

A transferência de humidade dentro dos poros de um material pode desenvolver-se de diversas formas, sendo que muitas das vezes a sucção capilar ocorre simultaneamente com a difusão. Segundo Ramos citando Peukhuri, existem quatro formas distintas de transferência de humidade num meio poroso. No primeiro caso existe um baixo teor de humidade, em que a transferência se efectua apenas por difusão pura. O segundo caso refere-se a uma situação em que a transferência de humidade se processa na fase líquida e de vapor, para um teor de humidade crescente. Para a fase seguinte, a terceira, admite-se um aumento do teor de humidade, relativamente à fase anterior. Por último, na quarta fase, a transferência de humidade ocorre apenas por capilaridade pura [26].

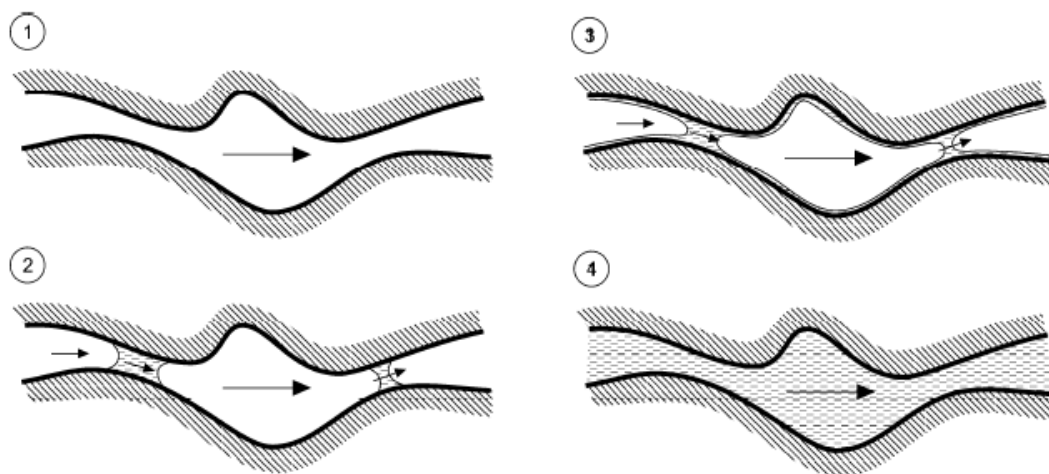


Figura 2.4 - Processos possíveis de transferência de humidade em meios porosos - Peukhuri, citado por [26].

Na situação em que os poros são preenchidos por água (quarta fase), a água é transportada para o interior do material, e no caso de a taxa de transporte de humidade ser maior que a taxa de condensação não ocorre produção de orvalho na superfície. No entanto, o referido anteriormente não explica o aparecimento de orvalho durante a noite, e a maior ou menor taxa de transporte de humidade em certos materiais. Este fenómeno explica-se pela cinética de adsorção ser maior em materiais com poros de maiores dimensões que em materiais com poros de menores dimensões. Apesar de materiais com poros de menores dimensões serem mais higroscópicos e permitirem uma maior quantidade de humidade absorvida, estes possuem uma cinética de adsorção menor. Assim, os materiais com poros de menores

dimensões e, conseqüentemente, com uma cinética de adsorção menor vai fazer com que junto à superfície do material os poros estejam preenchidos com água e esta posteriormente, com a diminuição de temperatura nocturna, leve à formação de orvalho [27].

Através do conhecimento dos valores referentes ao coeficiente de absorção de água de um material é possível classificá-lo como [12]:

- Sucção rápida:  $A > 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$
- Inibidor de água:  $A \leq 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$
- Quase impermeável:  $A \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$
- Impermeável:  $A \leq 0,001 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$

Pelo conhecimento dos valores do coeficiente C pode efectuar-se uma classificação dos materiais de acordo com a sua capilaridade [10]:

- Capilaridade forte:  $C > 4 \text{ g}/(\text{cm}^2 \sqrt{\text{min}})$
- Capilaridade fraca:  $1,5 < C < 4 \text{ g}/(\text{cm}^2 \sqrt{\text{min}})$
- Capilaridade muito fraca:  $C < 1,5 \text{ g}/(\text{cm}^2 \sqrt{\text{min}})$

#### 2.4.4. Teor de humidade

O teor de humidade pode ser definido de duas formas. Na primeira pode-se definir como a relação entre a massa de água contida no material e a massa do material no estado seco ( $W$  em % ou kg/kg). Pode ainda ser definido segundo uma relação entre o volume de água contido no material e a o volume aparente do material seco ( $\theta$  em  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) [3, 12].

Esta propriedade está dependente da humidade relativa e da porosidade dos materiais [12].

Os materiais de construção podem conter teores de humidade, que pode variar entre o zero e a humidade máxima. Para que o teor de humidade de um determinado material seja zero, este tem que estar em contacto com uma ambiente de humidade relativa próxima do zero. Quando o material se encontra num ambiente saturado durante um período considerado longo, apresenta um teor de humidade crítico [3].

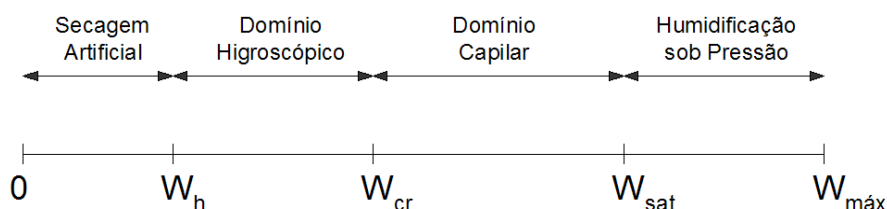


Figura 2.5 - Teores de humidade de referência de um material - Freitas, citado por [3].

Considera-se que um material possui um teor de humidade máximo, quando o volume que não é ocupado pelo esqueleto sólido da estrutura está preenchido com água. No entanto, considera-se muito difícil que este teor de humidade seja atingido. Mesmo que um material permaneça em contacto com água durante um período de tempo longo não vai atingir o valor de teor de humidade máximo. Para tal se defina que existe um teor de humidade saturado [3].

Quando o teor de humidade nos materiais é demasiado elevado ou demasiado baixo, pode provocar problemas construtivos, danificar o material e diminuir o seu desempenho. Também a transferência de humidade pode afectar a durabilidade dos materiais, provocando uma degradação lenta destes através de processos físicos e biológicos (retracção, dilatação, ciclos gelo/degelo, bolores, etc.) [12].

#### 2.4.5. Coeficiente de difusibilidade higrica

O coeficiente de difusibilidade higrica ( $D_w$  em  $m^2/s$ ) define-se como o parâmetro que relaciona o gradiente médio do teor de humidade ao fluxo médio da humidade (fase líquida ou de vapor) em regime isotérmico [12].

Este parâmetro depende da humidade, da temperatura devido à tensão superficial e da viscosidade da água [2].

Este parâmetro é determinado através dos perfis de teor de humidade e pode ser determinado de duas formas. A primeira é através do *Método da transformação de Boltzman* e a segunda pelo *Método dos perfis* [12].

#### 2.4.6. Permeabilidade à água

Denomina-se por permeabilidade à água, a medida da capacidade de um material ser atravessado por água no estado líquido sob um gradiente de pressão. Esta pode ser determinada através do coeficiente de permeabilidade à água,  $k_w$ , em  $m \cdot s^{-1}$  que é determinado tendo em conta a profundidade de penetração da água nos corpos de prova. Este coeficiente também pode ser convertido para permeabilidade intrínseca,  $K_w$ , expresso em  $m^2$ , que é independente das propriedades do líquido.

A permeabilidade à água é fortemente influenciada pela porosidade, que é uma das características estruturais evidenciada pelos materiais de construção. A maioria dos materiais de construção apresenta maior ou menor permeabilidade, consoante a sua porosidade.

No entanto, a permeabilidade dos materiais de construção não está somente relacionada com a porosidade destes, mas depende também das dimensões, forma, tortuosidade e continuidade dos poros. Ou seja, no caso de dois materiais de construção possuírem a mesma porosidade, um deles poderá ser menos susceptível a ser atravessado por fluidos ou gases se os vazios no seu interior não se encontrarem interligados [28].

Um material que possua uma porosidade aberta, em que os vazios comuniquem entre si é mais permeável que um material em que os vazios não comuniquem entre si (porosidade fechada) [29]. Quando os vazios comunicam entre si, permitem a circulação dos líquidos e dos gases no seu interior.

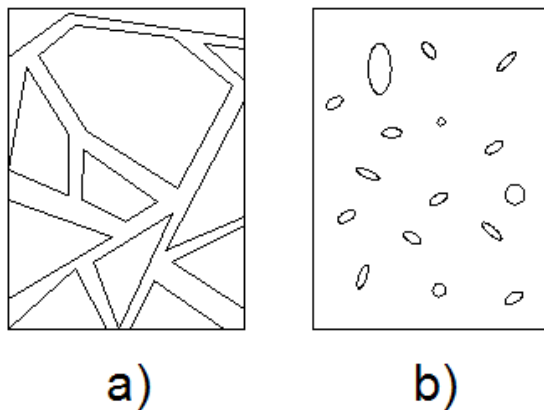


Figura 2.6 - a) Porosidade aberta; b) Porosidade fechada [29].



## **Capítulo 3 - Patologias devidas à humidade**

**3.1. Introdução**

**3.2. Formas de manifestação da humidade**

**3.3. Métodos de diagnóstico dos fenómenos patológicos devidos à humidade**

**3.4. Soluções para a reparação de anomalias provocadas pela acção da humidade**

### 3.1.Introdução

A humidade é uma das acções mais frequentes nas edificações sendo responsável por grande parte das anomalias, que conduzem à degradação e à alteração das propriedades dos materiais de construção. Como consequência destas anomalias podem resultar deficientes condições de habitabilidade e salubridade, que vão afectar os utentes dos edifícios.

Bezelga e Neto, depois de avaliarem 1200 situações de um país da Comunidade Europeia, concluíram os seguintes dados acerca de anomalias verificadas em edifícios [30]:



Figura 3.1 - Anomalias em edifícios

Em qualquer obra de construção civil é muito frequente ocorrer o aparecimento de humidade, uma vez que esta pode ser introduzida durante a construção ou aparecer posteriormente. Pode ter origem no interior da edificação ou exteriormente, sendo que no ultimo caso pode ocorrer através da envolvente exterior ou do solo adjacente.

Os elementos de construção são na grande maioria constituídos por materiais porosos, processando-se a migração da humidade com relativa facilidade. Deste modo, a humidade manifesta-se de variadas formas nas edificações, que pode desde logo ser associada às causas que lhe deram origem. Assim, é de grande importância conhecer as diversas formas de manifestação da humidade, para que se faça um diagnóstico correcto que identifique as causas, e posteriormente, determinar de forma correcta as soluções de reparação.

Dos 37% das anomalias devido à humidade também é possível verificar que a humidade de precipitação e a humidade de condensação são as que mais afectam os edifícios [30]:

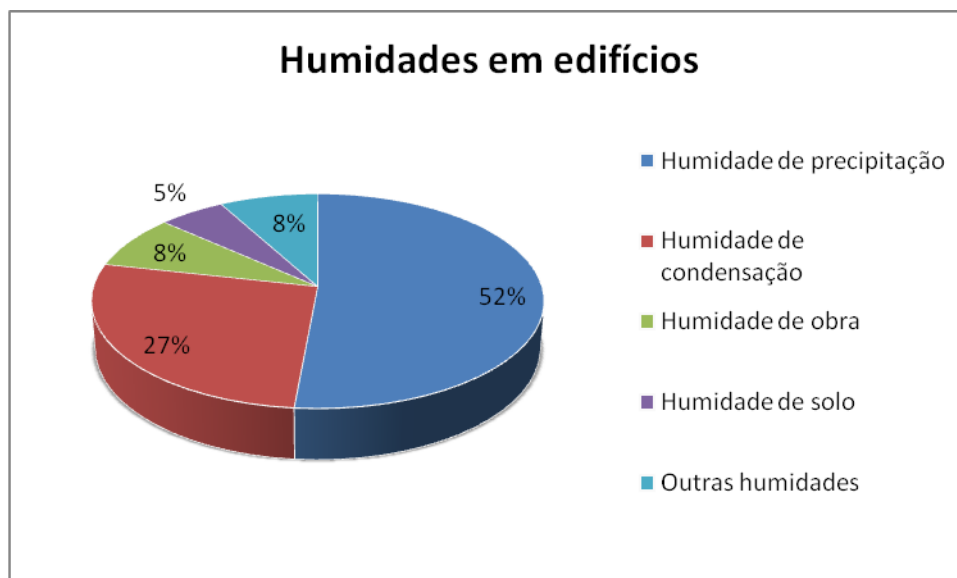


Figura 3.2 - Humidades em edifícios

Efectuar correctamente o diagnóstico de humidades é uma tarefa bastante delicada, que pressupõe um grande conhecimento dos fenómenos e manifestações. No caso de ocorrer transferência de humidade na fase de vapor, esta é condicionada por movimentos convectivos ou difusão. A capilaridade, a gravidade e o efeito do gradiente de pressão regem as transferências de humidade na fase líquida [31].

As transferências, tanto na fase de vapor como na fase líquida, são influenciadas pela temperatura, humidade relativa, precipitação, radiação solar, pressão do vento das ambiências e características dos materiais [31]. Deste modo, conclui-se que as características do local onde o edifício se localiza têm elevada importância na manifestação de humidades. Para combater estes factores, que podem vir a revelar-se desfavoráveis, deve-se avaliar a capacidade que um edifício tem para se opor a estes agentes [30].

Os materiais utilizados na construção são também de grande importância. Estes podem evidenciar comportamentos distintos perante as humidades, dependendo se são empregues isoladamente ou em conjunto. Isto pode ocorrer no caso de dois materiais serem incompatíveis. Também a maneira como são aplicados e o modo se ligam vai ter influência no seu comportamento perante as humidades.

Para que o tratamento das anomalias ocorra de forma eficaz, deve-se ter em consideração todos estes fenómenos, uma vez que estes podem encontrar-se relacionados, ou podem mesmo ser consequência de outro. Devem também realizar-se ensaios e procedimentos experimentais que auxiliem no diagnóstico e caracterização.

## 3.2. Formas de manifestação da humidade

Um correcto diagnóstico das causas do aparecimento de humidades é indispensável para a correcção das anomalias e prevenção de futuros casos. Para que o diagnóstico seja feito de forma mais correcta, os métodos devem ser apropriados à situação em causa. Assim, um processo de detecção de humidade deverá ser tanto mais exaustivo quanto maior for a complexidade da anomalia detectada.

É usual dizer-se que a humidade tem como factores tipificadores a sua precedência e a sua forma de penetração nos elementos construtivos, podendo associar-se a cada causa um conjunto de sintomas que são detectados. Deste modo, foi possível agrupar os vários tipos de humidades em grupos distintos de acordo com a sua proveniência. Este procedimento revelou-se bastante útil pois facilita o diagnóstico das causas das anomalias e conseqüentemente a sua reparação.

As formas de humidade podem então dividir-se em [17]:

- Humidade de construção;
- Humidade do terreno;
- Humidade de precipitação;
- Humidade de condensação;
- Humidade devido a fenómenos de higroscopicidade;
- Humidade devida a causas fortuitas.

Apesar de se efectuar este tipo de distinção nem sempre é fácil associar as anomalias a uma causa isolada. Por vezes estes tipos de fenómenos encontram-se relacionados, ou podem mesmo ser consequência de outros.

A elaboração desta distinção relativamente às formas de manifestação da humidade teve por base dois tipos de conhecimento, um conhecimento estritamente empírico, proveniente da experiência em análise destes fenómenos e um conhecimento associativo que procura relacionar as causas com os efeitos nos elementos de construção, quando sujeitos à humidade [31].

### 3.2.1. Humidade de construção

Qualquer edifício, desde que se inicia o seu processo de construção, é susceptível a entradas de água, principalmente através dos materiais que o constituem. Isto deve-se ao facto de grande parte dos materiais e processos de construção necessitarem de água para a sua aplicação. Como se sabe o betão e as argamassas necessitam de água na sua composição, tal como outros materiais utilizados na construção tradicional [32].

Na fase de construção de um edifício deve-se também ter em consideração a água da chuva, uma vez que os materiais quando estão em estaleiro encontram-se sujeitos à sua acção

directa. O mesmo se verifica quando as paredes exteriores não possuem o revestimento final, proporcionando a entrada de água das chuvas.

A humidade de construção pode então ser considerada, como toda a humidade que foi introduzida nos elementos construtivos, durante o processo de construção do edifício. Uma percentagem desta água vai-se evaporar rapidamente, enquanto que a restante água demora mais tempo a evaporar-se.

A secagem dos materiais porosos, constituintes de uma edificação dá-se por três fases. A primeira fase consiste na secagem da água superficial dos materiais, sendo que esta fase é a que ocorre mais rapidamente. A segunda fase consiste na evaporação da água que se encontra presente nos poros de maiores dimensões. Este processo é um pouco mais demorado devido à água necessitar de atravessar os referidos poros (fase líquida ou gasosa), e chegar à superfície do material para ser evaporada. Por último, a terceira fase é a mais demorada, uma vez que a água que se encontra nos poros de menor dimensão tem que atingir a superfície do material e posteriormente ser evaporada [17, 32].

O processo de evaporação está também relacionado com o aquecimento e ventilação a que o edifício está sujeito, da região climática em que este se localiza e dos materiais que o constituem [33].

As anomalias presentes nos edifícios devido à “humidade de construção” podem ter duas origens distintas. A primeira ocorre através da evaporação da água, que leva a que ocorram destaques ou expansões dos materiais. O segundo caso ocorre devido ao facto de os materiais se encontrarem húmidos, o que leva ao aparecimento de manchas. Também podem surgir condensações devido ao abaixamento da temperatura [17].

Em suma, se não forem adoptadas medidas eficazes para a remoção da humidade presente num edifício após a sua construção, podem surgir anomalias resultantes da difusão da humidade.

### 3.2.2. Humidade do terreno

Como já foi referido anteriormente, os materiais utilizados na construção civil são, na sua grande maioria, materiais porosos. As paredes dos pisos térreos e as fundações não são excepção, pelo que por vezes estes elementos evidenciam problemas de humidades devido às elevadas capilaridades que apresentam, dando origem a que a humidade efectue migração através destes.

A humidade ascensional ocorre devido a [17]:

- Existência de zonas das paredes em contacto com a água do solo;
- Existência de materiais com elevada capilaridade nas paredes;
- Inexistência ou deficiente posicionamento de barreiras estanques nas paredes.



Figura 3.3 - Humidade ascensional em parede



Figura 3.4 - Humidade ascensional em muro

Uma maneira de combater estas humidades seria colocar uma barreira impermeável que impedisse a progressão da humidade nestes elementos. No entanto, nem sempre isto é possível.

A humidade do solo pode ser proveniente de duas fontes, as águas freáticas e as águas superficiais. As manifestações de humidade provenientes das águas freáticas apresentam-se constantes ao longo do ano, uma vez que a sua fonte se encontra activa durante este período de tempo. Por outro lado, as humidades originadas pelas águas superficiais, atinge alturas mais elevadas nas paredes interiores que nas paredes exteriores. Isto deve-se ao facto de as paredes exteriores estarem mais expostas à radiação solar e a evaporação dar-se de forma mais eficaz. A altura da água nas paredes exteriores também podem variar ao longo do ano, uma vez que, no verão a radiação solar será mais incidente que no Inverno [31].

Existe um conjunto de factores que pode influenciar de forma bastante preponderante o aparecimento da humidade do solo [31]:

- Condições climáticas das ambiências (temperatura e humidade relativa);
- Insolação;
- Presença de sais;
- Porosidade e porometria dos materiais;
- Espessura da parede e natureza dos materiais de revestimento.

Seguidamente serão descritos cada um dos factores apresentados anteriormente:

- *Condições climáticas das ambiências*

Este factor está intimamente relacionado com o processo de secagem das paredes e com a altura que a água atinge nas mesmas. Deste modo, numa zona em que a humidade relativa seja elevada, vai ocorrer pouca evaporação e conseqüentemente a água proveniente do solo vai avançar. Enquanto que numa zona em que a humidade relativa seja baixa, vai ocorrer bastante evaporação da água presente no elemento e conseqüentemente a progressão da humidade será menor.

- *Insolação*

A orientação geográfica, a insolação e ventilação de uma parede tem influência na altura que a água proveniente do solo pode atingir. Deste modo, estes factores têm preponderância na temperatura superficial das paredes que faz com que exista mais ou menos evaporação da humidade presente nestes elementos.

- *Presença de sais*

Os sais existentes nos terrenos e nos materiais de construção são transportados pela água, quando são dissolvidos por esta, atingindo alturas significativas nas paredes. Quando a água das paredes nas zonas mais elevadas evapora, os sais que foram transportados pela água vão ficar depositados e cristalizam. Este fenómeno faz com que exista uma colmatagem dos poros e uma redução da permeabilidade ao vapor de água dos materiais, que conseqüentemente pode levar a um aumento da ascensão da água por capilaridade [17].

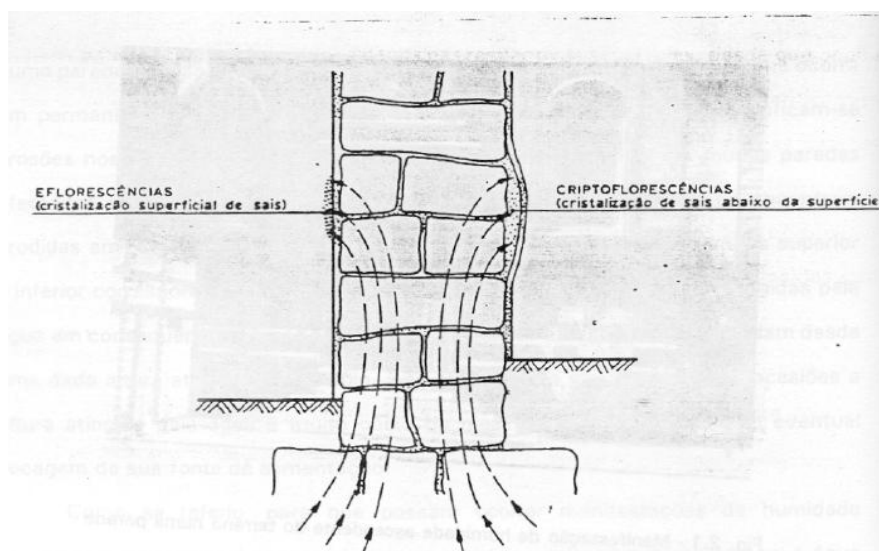


Figura 3.5 - Exemplo de manifestação da humidade de solo [17].

- *Porosidade e porometria*

Os materiais utilizados na construção civil são, na sua maioria, bastante porosos. Pode-se dizer que na sua grande maioria, estes apresentam uma porosidade aberta, o que faz com que a água circule no seu interior. Estes materiais têm maior tendência para conduzir água,

quanto maior for a sua porometria - quanto menor o diâmetro dos poros maior a altura teórica que a água pode atingir [17].

- *Espessura da parede e natureza dos materiais de revestimento*

A altura da humidade numa parede diz-se estável quando a quantidade de água evaporada pela parede seja equivalente àquela que é absorvida por capilaridade pelo solo. Esta altura da humidade na parede também é fortemente influenciada pela espessura da parede. Assim, quanto mais espessa for a parede, maior será a área de absorção de água e, conseqüentemente, a altura da humidade dentro da parede. Isto também acontece em elementos de betão, como as sapatas.

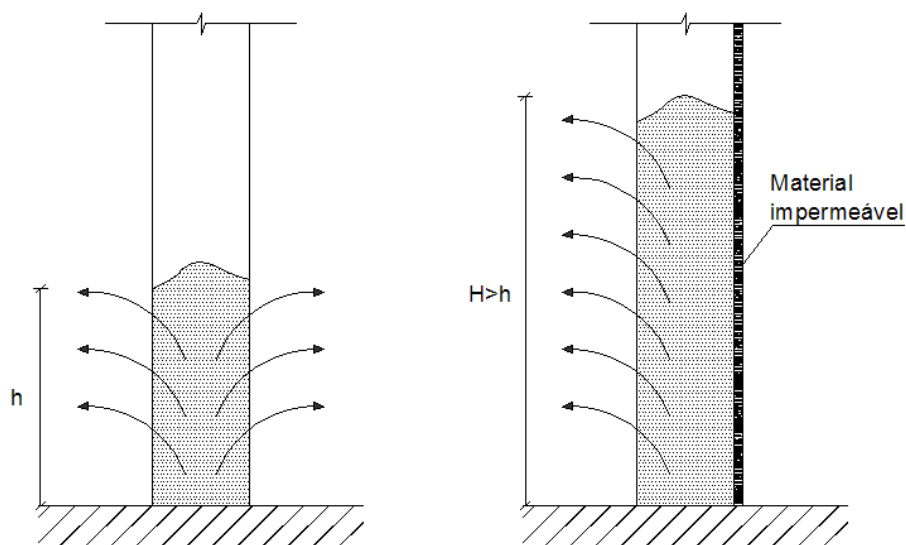


Figura 3.6 - Altura atingida pela água em paredes, de acordo com as condições de evaporação a que estão sujeitas [17].

A natureza dos materiais também tem preponderância na altura da humidade na parede. Deste modo, se uma das faces de uma parede for impermeabilizada, vai haver uma redução das superfícies de evaporação da água. Em suma, se uma das faces de uma parede for impermeabilizada, maior será a altura da humidade dentro desta [17].

### 3.2.3. Humidade de precipitação

A chuva torna-se um agente prejudicial para as edificações quando actua em conjunto com o vento, ou seja, quando a sua trajectória deixa de ser estritamente vertical e passar a ter uma forte componente horizontal. Isto faz com que a chuva incida directamente em paredes de edifícios provocando o seu humedecimento.

A incidência de chuva nas paredes de edifícios pode não ter qualquer consequência gravosa para a edificação, desde que a água não atinja o paramento interior da mesma. Este tipo de humidade deveria apenas ser considerado em edifícios antigos, devido ao grande número de normas existente para a execução de paredes em edifícios. No entanto, isto nem sempre

acontece devido às imperfeições que se geram tanto na concepção, como na vida útil de um edifício (aparecimento de fissuras, deterioração dos revestimentos, etc.) [17].

A entrada da água da chuva através da envolvente exterior pode dar-se de duas formas [30]:

- a) Por capilaridade em materiais porosos. Este processo dá-se através de forças internas de tensão superficial e depende da capilaridade do material e do seu teor de humidade.
- b) Por infiltrações (fissuras, fendas ou juntas), ou por acção cinética da chuva, de diferenças de pressão e pressão do vento.

Um factor a ter também em conta para evitar o aparecimento de humidades de precipitação, tem a ver com a localização geográfica e orientação do edifício. Tendo em conta estes parâmetros, será possível prever os riscos de molhagem de uma parede, uma vez que estes variam de região para região [17].

A incidência de água numa parede exterior de um edifício pode, para além dos fenómenos referidos anteriormente, gerar outro tipo de humidade. Assim, quando as paredes se encontram húmidas, podem-se gerar condensações devido ao aumento da condutibilidade térmica. Também os fenómenos de secagem que podem ocorrer nestes casos (devido a actuarem sobre a parede ventos de forte intensidade), provocam um abaixamento da temperatura superficial exterior das paredes, que pode levar a um aumento das condensações.

A humidade de precipitação, quando actua durante um período longo de tempo sobre os paramentos de uma habitação, pode também gerar eflorescências e criptoflorescências. Se os paramentos afectados pela humidade se encontrarem em locais húmidos ou mal ventilados, as manchas podem dar origem ao aparecimento de bolores e colonização biológica (fungos) [34].

Apesar de actualmente as paredes duplas com caixa de ar serem uma solução bastante válida para evitar o aparecimento de humidade, devido ao efeito da chuva, existem algumas falhas inerentes à sua utilização. Assim, tornam-se comum alguns erros que vão originar a ocorrência de anomalias, tais como, a caixa de ar se encontrar parcialmente obstruída com resíduos resultantes do processo construtivo do edifício, os estribos de ligação dos panos se encontrar com inclinação para o interior, a caleira para a drenagem de água se encontrar obstruída ou os orifícios de drenagem da caleira se encontrarem mal posicionado ou obstruídos [17].

As anomalias resultantes deste tipo de humidade revelam-se através do aparecimento de manchas de humidade nos paramentos interiores das paredes exteriores, sendo que a localização mais frequente destas é nas zonas de enquadramento dos vãos de portas e janelas. Aparecem periodicamente, normalmente em períodos de chuva. São caracterizadas pelo aparecimento de bolores e eflorescências [17].

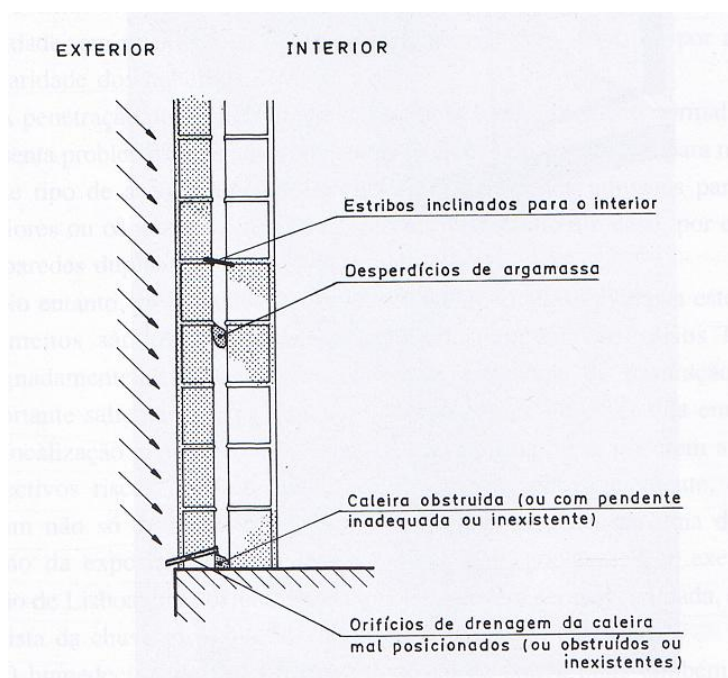


Figura 3.7 - Anómalias em paredes duplas com caixa de ar [17]



Figura 3.8 - Exemplo de manifestação de humidade devido a anomalias das paredes duplas com caixa de ar

### 3.2.4. Humidade de condensação

As condensações de vapor de água sobre os paramentos ou no interior de paredes constituem uma das causas mais vulgares da existência de humidade nos edifícios.

O ar é composto por uma mistura de gases e vapor de água. A quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter denomina-se por limite de saturação e varia com a temperatura. Ou seja, quando a temperatura aumenta, o limite de saturação aumenta e quando a temperatura diminui, o limite de saturação também diminui [17].

Quando a humidade relativa (relação entre a quantidade de vapor de água que o ar contém e a concentração máxima de vapor, para um dado valor de pressão e temperatura), for superior

a 100%, vão ocorrer condensações [30]. A condensação trata-se da passagem ao estado líquido do vapor de água existente no ar em excesso ao estado líquido.

Esta relação é mais perceptível através do diagrama psicrométrico, que relaciona as humidades absoluta e relativa e a temperatura do ar.

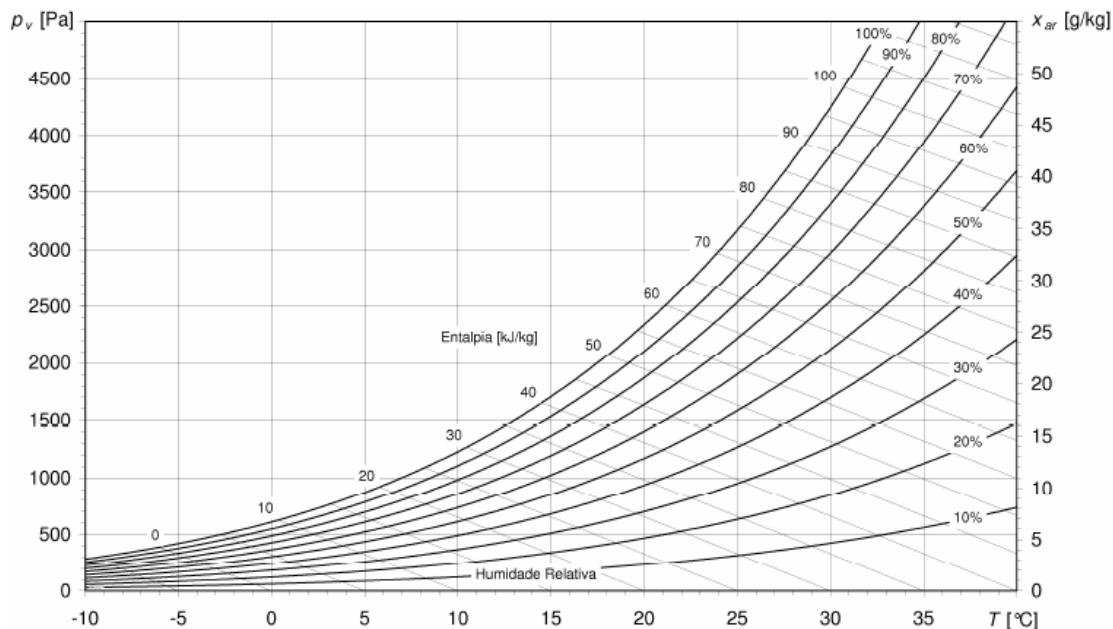


Figura 3.9 - Diagrama psicrométrico [26]

#### 3.2.3.4. Condensações superficiais

Pode-se então considerar que quando se dá o arrefecimento de uma massa de ar, vão ocorrer condensações do vapor de água, uma vez que, o valor do limite de saturação para uma determinada temperatura foi alcançado [35].

Numa edificação, o arrefecimento de massas de ar ocorrem sobretudo, junto aos paramentos das paredes exteriores. Este fenómeno é ainda mais frequente quando, num edifício possam existir pontes térmicas [35].

O isolamento térmico das paredes exteriores é das melhores medidas para a prevenção de condensações superficiais. Isto deve-se ao facto de no Inverno as superfícies interiores das paredes exteriores estarem a uma temperatura inferior à do ar ambiente, o que leva a que as massas de ar que entram em contacto com estas paredes gerem condensações. Se existir um bom isolamento térmico das paredes exteriores, a temperatura superficial interior da parede será maior e, conseqüentemente, menor será possibilidade de existirem condensações superficiais [35].

Outro factor de extrema importância nas edificações é a sua ventilação. O excesso de vapor de água que se gera no interior de uma habitação é transportado para o exterior. Isto pode ocorrer por renovação do ar interior, ou através do atravessamento das paredes exteriores por difusão. A inexistência de uma correcta ventilação de uma habitação faz com que possam

ocorrer condensações, primeiro nos envidraçados e, posteriormente, nas superfícies opacas [35].

O ar do exterior é de extrema importância para que se evitem condensações nas envolventes das habitações, uma vez que, o ar húmido do exterior é aquecido quando entra em contacto com o ar interior, fazendo com que se dê uma redução da humidade relativa da massa de ar do interior da habitação [35].

Deste modo conclui-se que as condensações superficiais dependem de [35]:

- Condições de utilização;
- Ventilação dos compartimentos;
- Isolamento térmico das paredes;
- Temperatura ambiente interior.

Este tipo de condensações pode levar ao aparecimento de manchas de humidade e bolores nos paramentos interiores das paredes. Na grande generalidade dos casos, as paredes afectadas são as paredes exteriores, em especial, nos locais onde existem pontes térmicas.



Figura 3.10 - Humidade devido a condensações superficiais.

#### 3.2.4.2. Condensações no interior das paredes

Dois parâmetros bastante importantes para a compreensão deste tipo de condensações são a pressão parcial e a pressão de saturação do vapor de água. Citando o autor Mendonça, que define a pressão parcial do vapor de água como “a pressão a que esse vapor estaria se ocupasse sozinho o volume ocupado pela respectiva massa de ar. Enquanto que, as pressões correspondentes ao limite de saturação designam-se por pressões de saturação” [35].

O aparecimento de condensações no interior das paredes dá-se sempre que num dado ponto a pressão parcial do vapor de água, que atravessa a parede por difusão, iguala a pressão de saturação correspondente à temperatura nesse ponto [35].

Este tipo de condensações é influenciado principalmente por dois factores:

- As características de isolamento térmico dos vários materiais que constituem as paredes;
- As características de permeabilidade ao vapor de água daqueles materiais.

Uma parede heterogénea será influenciada pelo risco de condensações internas, dependendo da localização das camadas constituintes desta.

Este tipo de condensações apesar de não provocarem anomalias visíveis, podem provocar o apodrecimento de materiais orgânicos, o descasque de materiais, etc.

### 3.2.5. Humidade devido a fenómenos de higroscopicidade

Um material de construção diz-se higroscópico quando este absorve ou liberta humidade até ficar em equilíbrio com a humidade relativa ambiente [33].

Grande parte dos materiais de construção possui na sua composição sais solúveis em água, tal como nos solos, especialmente quando estes são ricos em matéria orgânica. A presença dos sais só por si não é prejudicial às edificações, no entanto, estes quando se encontram na presença de água podem dissolver-se e acompanhar a migração da água até à superfície da parede, onde iram cristalizar sob a forma de *eflorescências* (cristalização à superfície) ou de *criptoeflorescências* (cristalização sob o revestimento da parede).

Quando a humidade relativa do ar se encontra abaixo de 65 - 75%, os sais mantêm-se cristalizados. Se a humidade relativa atinge valores superiores aos referidos anteriormente vai ocorrer uma dissolução dos sais e conseqüente humedecimento das superfícies. Estes fenómenos provocam variações dos volumes dos materiais, o que faz com que os materiais se degradem após estes ciclos [17].

Os sais solúveis que geram este tipo de anomalias são os sulfatos, os carbonatos, os cloretos, os nitratos e os nitritos, sendo que os dois primeiro não são higroscópicos [17].

A ausência da humidade não vai fazer com que os sais desapareçam das paredes, nem as anomalias associadas a estes, uma vez que a cristalização dos sais se pode dar através de adsorção por parte destes da humidade do ar. Se a humidade relativa do ar variar várias vezes durante o dia, vai provocar ciclos de dissolução-cristalização que provocam variações de volume dos materiais e conseqüente deterioração destes.

### 3.2.6. Humidade devida a causas fortuitas

Este tipo de humidades tem muitas das vezes origem em falhas pontuais, tais como, defeitos da construção, falhas de equipamentos ou erros humanos. Os erros humanos que lhes dão

origem podem ser passivos ou activos, sendo que os activos têm a ver com acidentes que possam ocorrer durante a vida útil do edifício. Os erros passivos por sua vez estão ligados a falta manutenção do edifício [17].

Um exemplo duma das causas mais frequentes por este tipo de humidade é as roturas de canalizações.

A maior dificuldade que por vezes surge neste tipo de humidades, quer a nível de efectuar um diagnóstico correcto da causa, quer a nível de propor uma solução eficaz para o problema, tem a ver com o facto de as anomalias se manifestarem, por vezes, muito longe da origem do problema. Isto acontece devido às constantes migrações da água dentro dos elementos de construção.

### 3.3. Métodos de diagnóstico dos fenómenos patológicos devidos à humidade

O diagnóstico das causas de manifestação de humidades é essencial para uma optimização da solução de rectificação das anomalias que deram lhes deram origem. Torna-se então importante utilizar um método de diagnóstico adequado ao tipo de humidade em causa.

As causas que originam o aparecimento de humidades podem ser variadas, sendo que diferentes causas podem provocar o mesmo tipo de anomalias [36]. O método de diagnóstico deverá ser tanto mais exaustivo, quanto maior for a complexidade dos fenómenos provocados pelas humidades [31].

Para efectuar o diagnóstico das anomalias devem ser realizados ensaios *in situ*, estes ensaios devem ser preferencialmente não-destrutivos, embora por vezes seja necessário recorrer a ensaios destrutivos [37].

Henriques [17], propõe um método diagnóstico que integra diferentes fases de procedimento, desde análise documental, observações visuais das anomalias e até ensaios *in situ* (destrutivos e não-destrutivos). Este método de diagnóstico vai ser abordado neste trabalho e é composto pelos seguintes pontos:

- Análise documental;
- Observação visual das anomalias;
- Análise não-destrutiva;
  - Determinação das condições termo-higrométricas do ar;
  - Determinação das temperaturas superficiais das paredes;
  - Determinação da presença de sais solúveis;
  - Determinação das zonas de humedecimento das paredes;
- Análise destrutiva;
  - Recolha de amostras para determinação dos teores de água;
  - Recolha de amostras para determinação da higroscopicidade;

- Recolha de amostras para ensaio de sais;
- Determinação dos teores de água das amostras;
- Determinação da higroscopicidade dos materiais;
- Determinação da existência de sais solúveis;
- Compilação e análise dos dados obtidos.

### 3.3.1. Análise documental

Numa primeira fase deve efectuar-se uma recolha de dados relativamente à habitação que está a ser investigada. As disposições de projecto, o sistema construtivo, a constituição das paredes, ao tipo de ocupação dos espaços, às redes de canalizações de esgotos e de águas pluviais, etc. Os dados relativamente aos dados climáticos da região onde o edifício se insere também são de elevada importância. Deve-se averiguar se o edifício já foi sujeito a algum tipo de reparações e a qual foi a evolução das anomalias que se verificaram neste. Os hábitos dos habitantes relativamente à ventilação também são de grande importância, tal como, as zonas onde é produzida maior quantidade de vapor de água [17].

É também do interesse desta análise documental avaliar o tipo de inércia térmica do edifício. Esta define-se como sendo a maior ou menor capacidade que um determinado elemento tem de absorver o calor e a menor ou maior facilidade com que o liberta [38]. Isto tem importância para a determinação dos coeficientes de transmissão térmica das diferentes zonas que constituem as paredes afectadas.

### 3.3.2. Observação visual

Para se efectuar uma boa observação visual, deve-se observar *in situ* os elementos nos quais as anomalias se manifestam. Esta fase deve conter um levantamento fotográfico dos elementos em questão.

### 3.3.3 - Análise não-destrutiva

Uma análise não-destrutiva deve compreender um conjunto de ensaios para que se possa determinar de forma eficaz alguns parâmetros necessários para um diagnóstico eficaz. Os ensaios não-destrutivos devem ter como objectivos determinar os seguintes parâmetros:

- Determinação das condições termo higrométricas do ar;
- Determinação das temperaturas superficiais das paredes;
- Determinação da presença de sais solúveis;
- Determinação das zonas de humedecimento das paredes.

Em seguida vão ser abordados alguns exemplos de ensaios não-destrutivos, com vista à determinação de alguns dos parâmetro referidos.

- *Ensaio de medição da variação da resistência eléctrica através de um humidímetro*

Todos os materiais de construção possuem uma determinada resistência eléctrica, esta será maior quanto menor for o teor de água existente. Isto significa que a resistência eléctrica dum material varia na razão inversa do seu teor de água [37].

A medição da humidade superficial de uma parede com recurso a um humidímetro é efectuada através de dois eléctrodos que são colocados em contacto com a parede que geram uma corrente eléctrica, cuja intensidade será tanto maior quanto menor for a resistência do material da parede localizado entre esses eléctrodos. A partir do conhecimento da resistência eléctrica do material ensaiado é então possível estimar o valor do respectivo teor de água [17].

Para que o ensaio se efectue o mais correctamente possível, deve definir-se uma malha ao longo da parede para que os eléctrodos possam ser posicionados de forma adequada.

Apesar da facilidade de uso e rapidez de execução, o ensaio do humidímetro possui algumas desvantagens inerentes ao seu uso. Sabe-se então que estes ensaios padecem de precisão, pelo que os resultados são susceptíveis a inúmeros erros. Com efeito, a resistência eléctrica depende não só do teor de água dos materiais mas também do tipo de material e da eventual presença de sais [37].



Figura 3.11 - Humidímetro [37]

- *Ensaio de termografia de infravermelhos*

O ensaio de termografia é efectuada por um aparelho que se baseia no facto dos objectos e materiais emitirem radiação de calor ou radiação infravermelha. Deste modo, sabendo a intensidade de radiação dos materiais é possível determinar a capacidade dos matérias para radiar calor. Quanto mais quente se encontra um objecto, maior será a radiação emitida por este [39].



Figura 3.12 - Câmara termográfica [39]

A energia infravermelha emitida pelos objectos é captada por câmaras termográficas, que através de cálculos de temperatura, produzem imagens de calor (termogramas).

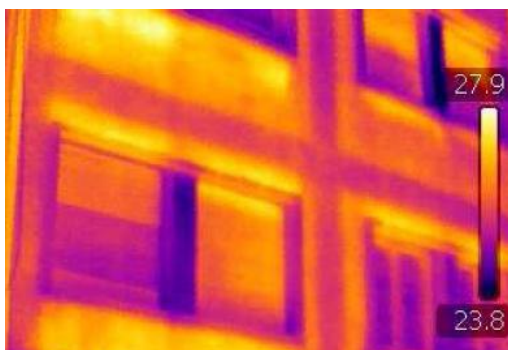


Figura 3.13 - Termograma [37]

Uma câmara de termografia por infravermelhos é um aparelho que detecta energia infravermelha (calor), a converte em sinal eléctrico e produz imagens, efectuando cálculos de temperatura.

Este método é considerado útil na detecção de humidades devido ao facto de a massa calorífica da água ser superior às dos materiais, uma vez que esta tem a capacidade de conservar o calor da radiação solar durante mais tempo. Assim é possível determinar a existência de humidade nas paredes dos edifícios de forma qualitativa, isto é, se a parede se encontra seca ou com vários graus de humidade [39].

Este ensaio tem como principais vantagens, o facto de possibilitar a inspecção sem existir contacto com os elementos a diagnosticar e avaliar áreas em vez de pontos, permitindo assim apresentar uma imagem global da superfície em análise. No entanto, tem como principais desvantagens o facto de necessitar de um profissional com experiência e conhecimento para interpretar os resultados obtidos pelo ensaio e de implicar ensaios posteriores mais localizados [39].

- *Outros ensaios para determinação da humidade superficial em paredes*

Existem diversos tipos de humidímetros que avaliam a humidade das paredes, através de processos diferentes do referido anteriormente.

Os humidímetros baseados na utilização de neutrões ou micro-ondas também são bastante utilizados. O funcionamento destes aparelhos consiste na medição da atenuação que a água existente nos materiais em análise produz, quando sujeita a uma emissão de neutrões ou micro-ondas produzida pelo aparelho. Este equipamento tem a vantagem de ser bastante preciso e detectar a distribuição da água nos materiais em análise. Contudo, apresenta limitações quando os ensaios são realizados em materiais heterogéneos [17].

Mais recentemente foram desenvolvidos equipamentos que possibilitam a medição de sais nas superfícies das paredes. Sabe-se que muitas das vezes a presença de sais nos materiais de construções pode levar ao aparecimento de anomalias, quando estes se encontram na presença de humidade.



Figura 3.14 - Detector de sais [40].

#### 3.3.4. Análise destrutiva

Depois de saber com maior exactidão quais são as zonas que se encontram secas e húmidas das paredes de um edifício, deve proceder-se à extracção de amostras para serem submetidas a observação (*in situ* ou em laboratório). Estes métodos são bastante intrusivos, uma vez que, provocam a destruição de zonas localizadas das paredes de edifícios.

Seguidamente vão ser expostos alguns exemplos de ensaios não-destrutivos com o objectivo de determinar os seguintes objectivos [17]:

- Recolha de amostras para determinação dos teores de água;
- Recolha de amostras para determinação da higroscopicidade;
- Recolha de amostras para ensaio de sais;
- Determinação dos teores de água das amostras;
- Determinação da higroscopicidade dos materiais;
- Determinação da existência de sais solúveis.

- *Ensaio de determinação do teor de humidade de uma parede*

Este ensaio pretende determinar qual será o teor de água de amostras recolhidas provenientes de uma parede. Este valor, expresso em percentagem, é determinado através da pesagem de amostras após a sua recolha e, posteriormente, após a sua secagem [37].

Para a realização deste ensaio é necessário possuir equipamentos para uma correcta extracção das amostras, tais como, um berbequim de baixa rotação para evitar o aquecimento excessivo e a consequente secagem da amostra, contentores estanques para se efectuar o transporte, balança de precisão para pesagem e uma estufa ventilada.

O teor de água [%] é obtido através da expressão [37]:

$$\text{Teor de água (\%)} = \frac{m_{\text{húmida}} - m_{\text{seca}}}{m_{\text{seca}}} \times 100 \quad (3.1)$$

O valor de  $m_{\text{húmida}}$  é a massa da amostra após esta ter sido extraída da parede [g] e o valor de  $m_{\text{seca}}$  é a massa da amostra após secagem [g].

As principais vantagens inerentes ao uso deste tipo de ensaio, é a sua grande precisão e o facto de possibilitar que as amostras utilizadas neste ensaio possam ser aproveitadas para ensaios de higroscopicidade e presença de sais solúveis [37].

As desvantagens residem no facto de não permitir medições *in situ*, e de necessitar de aparelhos de laboratório.



Figura 3.15 - berbequim de baixa rotação; Estufa ventilada; Balança de precisão [37]

- *Ensaio de determinação da higroscopicidade numa parede*

Um ensaio de determinação da higroscopicidade de uma amostra de parede é determinado pela diferença de massas em contacto com um dado ambiente e após secagem.

A higroscopicidade, como já foi referido anteriormente, é a capacidade que os materiais de construção têm de absorver ou libertar humidade até que fiquem em equilíbrio com a

humidade relativa ambiente. Isto faz com que os sais presentes neste se dissolvam ou cristalizem, quando a humidade relativa se encontra acima ou abaixo de 65 - 75%, respectivamente. Este ensaio submete as amostras a ambientes com humidades relativas a um nível constante, procurando determinar se existem manifestações patológicas associadas à presença de sais.

Para a execução deste ensaio é necessário a utilização de caixas “Petri”, balança de precisão, estufa ventilada e câmara condicionadora capaz de manter a humidade relativa a um nível constante [37].

A higroscopicidade [%] de um material é determinada através da expressão [37]:

$$\text{Higroscopicidade}(\%) = \frac{m_{cc} - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 \quad (3.2)$$

O valor de  $m_{cc}$  é a massa da amostra ao fim de 24 horas na câmara condicionada [g] e  $m_{seca}$  é a massa da amostra depois da secagem durante uma hora na estufa [g].

- *Ensaio de análise semi-quantitativa de sais solúveis numa parede*

Este ensaio tem como objectivo avaliar a existência de sais solúveis [mg/l], tais como sulfatos, cloretos, nitratos e nitritos, através de tiras indicadores de cada tipo de sal [37].

Os ensaios também são efectuados em amostras de parede recolhidas *in situ*, no entanto, as amostras ao contrário dos ensaios anteriores são em pó e são posteriormente colocadas num tubo de ensaio. Seguidamente junta-se água destilada e deixa-se a solução em repouso durante uma hora. Ao fim desse tempo, a solução distribui-se por três recipientes.

O primeiro destina-se à determinação de sulfatos, em que se determina o seu pH. O valor do pH deve estar entre 4 e 8, caso contrário, terá de ser adicionado acetato de sódio para aumentar o pH ou ácido ascórbico para diminuir o pH. Por último, efectua-se a submersão da tira de medição na solução e compara-se com os valores de uma tabela referência [37].



Figura 3.16 - Tira de medição de sulfatos [37]

Para determinar os cloretos, utiliza-se uma das soluções e determina-se o seu pH. Este valor deve estar entre 5 e 8, caso isto não aconteça deve juntar-se hidróxido de sódio para aumentar o pH ou ácido nítrico para diminuir. Por fim, efectua-se a submersão da tira de medição na solução e compara-se com os valores de uma tabela referência [37].



Figura 3.17 - Tira de medição de cloretos [37]

Por último, o terceiro tubo de ensaio destina-se à determinação dos nitratos através também da medição do seu pH. Se o valor do pH andar entre 1 e 12, os valores são aceitáveis, caso contrário, terá de ser juntar acetato de sódio para aumentar o pH ou ácido ascórbico para diminuir. Finalmente, efectua-se a submersão da tira de medição na solução e compara-se com os valores de uma tabela referência. Caso sejam detectados nitritos, estes devem ser anulados através da junção de ácido sulfânico na solução, e o ensaio deve ser repetido [37].



Figura 3.18 - Tira de medição de nitratos [37]

- *Compilação e análise dos dados obtidos*

A informação recolhida nas diversas fases referidas anteriormente deve ser compilada e analisada para servir de suporte ao diagnóstico.

### **3.4. Soluções para a reparação de anomalias provocadas pela acção da humidade**

Para evitar que as medidas de reparação sejam ineficazes ou provoquem efeitos contrários aos pretendidos, é fulcral efectuar-se um estudo dos materiais e os locais onde estas são aplicadas. Por vezes, as intervenções para além de tornarem as obras de reparação mais dispendiosas aumentam os defeitos já existentes [30].

Quando se efectua um processo de reparação de anomalias provocadas pelo aparecimento de humidades, deve-se ter em conta diversos factores para a escolha da solução, tais como, o tipo de anomalia existente, o tipo de construção e os objectos a atingir.

Para evitar que as medidas de reparação sejam ineficazes ou provoquem efeitos contrários aos pretendidos, é fulcral efectuar-se um estudo dos materiais e os locais onde estas são aplicadas. Por vezes as intervenções para além de tornarem as obras de reparação mais dispendiosas, aumenta os defeitos já existentes.

As anomalias provocadas pelo aparecimento de humidade nos edifícios podem ser corrigidas através de diferentes tipos de intervenção. Estes podem ser tipificados em seis grupos distintos:

- Eliminação das anomalias;
- Substituição dos elementos e materiais afectados;
- Ocultação das anomalias;
- Protecção contra os agentes agressivos;
- Eliminação das causas das anomalias;
- Reforço das características funcionais.

Quando se efectuam este tipo de trabalhos deve-se sempre procurar qual é a fonte responsável pelas anomalias verificadas. Só depois se procede à reparação das anomalias resultantes das humidades.

- Eliminação das anomalias

Neste tipo de intervenção o que normalmente se pretende é a resolução temporária das anomalias, não constituindo esta uma solução. Isto significa que as causas das anomalias continuam a decorrer, uma vez que estas não foram eliminadas. A resolução das causas que dão origem ao problema só ocorrerá se existir uma aplicação duma metodologia de eliminação das anomalias que seja coincidente com a eliminação das respectivas causas [17]. Alguns exemplos deste tipo de intervenção são a secagem de paredes humedecidas, remoção de eflorescências ou de bolores e a colagem ou fixação de bolores.

- Substituição de elementos ou materiais afectados

Quando os elementos ou materiais afectados se apresentem num estado cuja reparação seja difícil ou inviável, a sua substituição constitui uma solução viável. A substituição pode ser total ou parcial, dependendo esta da extensão das anomalias, assim como a natureza dos materiais danificados. A resolução dos problemas através deste tipo de intervenções só é definitiva quando, na substituição se eliminem as causas das anomalias ou se criem protecções contra a acção dos agentes agressivos [41].

Alguns exemplos deste tipo de intervenção são a substituição de elementos de madeira apodrecidos, substituição de revestimentos de paredes, etc.

- Ocultação das anomalias

Este tipo de intervenção, embora seja muitas das vezes a mais económica de resolver os problemas, nem sempre será a mais indicada. Isto deve-se ao facto de as causas das anomalias ainda persistirem [17].

- Protecção contra os agentes agressivos

A metodologia proposta por esta intervenção tem como objectivo impedir a actuação directa dos agentes causadores nas anomalias dos elementos construtivos, sem que os agentes causadores sejam eliminados [41].

Estas medidas surgem como solução em trabalhos conservação, porém por envolverem maiores operações, têm um campo de aplicação reduzido [41].

As intervenções mais comuns deste tipo são a impermeabilização dos paramentos exteriores de paredes enterradas, aplicação de barreiras pára-vapor nos paramentos interiores de paredes afectadas por condensações internas.

- Eliminação das causas das anomalias

Embora nem sempre seja possível efectuar este tipo de intervenção, esta é sem dúvida a mais eficaz. Muitas das vezes os trabalhos associados a estas intervenções são trabalhos bastante complexos, pelo que a sua execução deve ser bem ponderada [17]. Para complementar estas intervenções deve-se também eliminar as anomalias ou efectuar a substituição dos elementos [41].

Seguidamente vão ser expostos alguns tipos de intervenções que possibilitem a eliminação das causas das anomalias:

- Drenagem do terreno em situações de anomalias em paredes de pisos térreos e enterrados, provocadas por humidade ascensional;
- Correção das condições termo-higrométricas em ambientes onde ocorram condensações;
- Reforço da ventilação dos espaços, o qual pode proporcionar a eliminação ou diminuição da ocorrência de condensações.

- Reforço das características funcionais

Esta intervenção visa a correcção de algumas situações em que, o elemento ou elementos construtivos deixem de respeitar as exigências funcionais para as quais foram concebidos [17].

Exemplo disso é o reforço do isolamento térmico das envolventes exteriores das construções.

#### 3.4.1. Reparação de anomalias provocadas por humidade de construção

As soluções de reparação deste tipo de anomalias devem ser direccionadas no sentido de corrigir as causas que lhes dão origem, mais concretamente, a água em excesso proveniente do processo construtivo do edifício [17].

A melhor maneira para efectuar a reparação deste tipo de humidade é criar condições ambientes que favoreçam a secagem das paredes.

Como se sabe, a capacidade de evaporação de água dos materiais está intimamente ligada com a humidade relativa da ambiência que envolve estes elementos. Deste modo, deve garantir-se que a humidade relativa do ar é baixa para que ocorram trocas de vapor de água entre o material e o ar, até que sejam atingidas as condições de equilíbrio. Com este intuito as propostas de soluções devem procurar garantir uma baixa humidade relativa do ar através das seguintes medidas [17]:

- Reforço da ventilação dos ambientes (Utilização de dispositivos de ventilação que proporcionem a troca de ar com o exterior);
- Aumento da temperatura do ar (Utilização de aquecedores destinados a aumentar a temperatura do ar ambiente);
- Diminuição da humidade relativa do ar (Utilização de desumidificadores que retirem a água do ar).

Deve-se ter em atenção que algumas destas medidas só são efectivas se forem utilizadas em conjunto. Por exemplo, o aumento da temperatura do ar só será efectivo na remoção da humidade relativa do ar, se existir uma boa ventilação.

### 3.4.2. Reparação de anomalias provocadas por humidade de terreno

No caso da humidade de terreno, a escolha de uma solução deve determinar de forma inequívoca a proveniência da água existente no terreno, se das águas freáticas ou superficiais. Isto deve-se ao facto de algumas soluções de reparação são específicas apenas para um daqueles tipos de causas, sendo ineficientes no outro. Para tal, a escolha da solução a adoptar deve basear-se num diagnóstico exaustivo para a determinação da fonte da humidade [17].

Estas medidas interventivas devido a apresentarem avultadas dificuldades de ordem técnica e económica, fundamentam que sejam tomadas decisões preventivas na fase de projecto e execução, tais como, procurar não construir em terrenos alagados, drenar as águas afastando-as das fundações, utilização de revestimentos estanques e de materiais densos que sejam pouco permeáveis [41].

Algumas das soluções propostas para este tipo de humidade são [17]:

- Soluções destinadas a impedir o acesso da água às paredes - Secagem da fonte de alimentação da água; tratamento superficial do terreno; rebaixamento do nível freático; drenagem do terreno e execução de valas periféricas.
- Soluções destinadas a impedir a ascensão da água nas paredes - Redução da secção absorvente; Introdução de barreiras estanques e introdução de produtos impermeabilizantes.

- Soluções destinadas a retirar a água em excesso das paredes - Electro-osmose e drenos atmosféricos.
- Soluções destinadas a ocultar as anomalias - Execução de uma nova parede pelo interior e aplicação de revestimentos de parede especiais.

### 3.4.3. Reparação de anomalias provocadas por humidade de precipitação

Estes tipos de anomalias são devidas a deficiências de estanquidade das paredes. Estas podem-se dividir em dois grupos distintos [17]:

- Anomalias provocadas por deficiências de estanquidade das paredes - Aplicações de revestimento de parede novos, após remoção dos existentes; aplicação dum hidrófugo de superfície nos paramentos exteriores; aplicação dum revestimento exterior curativo com base em ligantes sintéticos; aplicação dum revestimento exterior de elementos descontínuos.
- Anomalias devidas a infiltrações de água através de fissurações

Relativamente a este último, as soluções a adoptar para a reparação de infiltrações de água, dependem do grau de estabilização das fissuras e da sua largura. Foram então criados dois grupos distintos de fissuras para facilitar a intervenção na resolução dos problemas que afectam estes elementos [17]:

- Reparação de paramentos com fissuras de pequena largura ( $\leq 0,2$  mm) e estabilizadas
- Reparação de paramentos com fissuras de largura significativa ( $\geq 0,2$  mm) não-estabilizadas ou que existam dúvidas sobre o grau estabilização

Quanto ao primeiro caso, a reparação pode ser efectuada através da aplicação dum revestimento curativo de ligantes sintéticos nas zonas afectadas [17].

No caso segundo caso, para realizar esta reparação terá de se aplicar em todo paramento das paredes afectadas um revestimento curativo de ligantes sintéticos, armados com rede de fibra de vidro. Este procedimento convém ser efectuado depois de garantir que as fissuras existentes se encontram estabilizadas [17].

Uma medida bastante eficaz para prevenir este tipo de situações é utilizar hidrófugos, que evitam a infiltração da água por capilaridade. Esta técnica torna os poros dos materiais das paredes impermeáveis e permite a respiração destes, uma vez que, não são impermeáveis ao vapor [41].

#### 3.4.4. Reparação de anomalias provocadas por humidade de condensação

Como já foi referido anteriormente, existem dois tipos distintos de humidade de condensação: Condensações superficiais e condensações no interior das paredes.

Para o conjunto das condensações superficiais, existem três tipos de soluções [17, 41]:

- Reforço do isolamento térmico das paredes - Revestimentos de agregados leves pelo interior e revestimentos porosos que absorvam a humidade quando o ambiente está saturado;
- Reforço da ventilação dos espaços - Sistemas de ventilação mecânica, Orifícios de ventilação nas fachadas (devidamente protegidas no interior);
- Reforço da temperatura ambiente - Sistema de climatização.

Apesar por vezes se adoptarem medidas correctivas efectivas ou até mesmo que os componentes da envolvente tenham sido devidamente dimensionados para combater este tipo de humidade, alguns podem apresentar um desempenho térmico inadequado (temperaturas superficiais baixas) decorrente da existência de água no interior dos mesmos. Isto faz com que a resistência térmica destes elementos diminua em função da água presente no mesmo. A água presente nestes pode ter origem em infiltrações ou em humidade proveniente da fase de construção [41].

#### 3.4.5. Reparação de anomalias provocadas por humidade devida a fenómenos de higroscopicidade

A resolução deste tipo de anomalias é considerada por muitos como as anomalias de maior grau de dificuldade de remoção. Isto ocorre sobretudo, se não se pretende modificar o aspecto das paredes onde sucedem estes fenómenos [17].

Apesar do referido anteriormente, são conhecidas algumas soluções preconizadas para a resolução destas anomalias, tais como [17]:

- Remoção dos sais higroscópicos - Através de compressas de algodão ou de papel absorvente, embebidas em água destilada;
- Substituição dos elementos afectados;
- Ocultação das anomalias;
- Controlo da humidade relativa do ar - A humidade relativa do ar nestes casos deve ser controlado, para que seja inferior a 65 - 75%. Isto pode ser alcançado através da utilização de dispositivos mecânicos de desumidificação.



# Capítulo 4 - Desenvolvimento experimental

- 4.1. Introdução**
- 4.2. Execução dos corpos de prova**
- 4.3. Pré-condicionamento pelo método de RILEM TC 116-PCD**
- 4.4. Condições de realização e descrição dos ensaios**
- 4.5. Resultados dos ensaios realizados e conclusões**

## 4.1. Introdução

Neste capítulo é efectuada a determinação das diferentes propriedades hígricas de acordo com os procedimentos de ensaio já normalizados ou estabelecidos em estudos anteriores. Introduziu-se uma inovação nos procedimentos de ensaio das argamassas, com a introdução do pré-condicionamento dos provetes de acordo com os procedimentos do método RILEM TC 116-PCD, anteriormente utilizado em betões, que agora se pretende validar.

Como foi referido anteriormente, as propriedades estão estreitamente relacionadas com a durabilidade dos materiais de construção, sendo que nas obras de construção civil, tanto as argamassas, como o betão são materiais correntemente utilizados.

Para proceder ao desenvolvimento experimental de determinação de diferentes propriedades hígricas foram produzidas cinco tipos diferentes de argamassas e um betão C25/30. No caso das argamassas houve a preocupação de escolher uma argamassa comercial pré-doseada, que não possui cimento na sua composição, destinada a ser utilizada em obras de reabilitação de edifícios com características físico-mecânicas idênticas às argamassas de reboco de edifícios históricos.

Como se sabe, nos últimos anos a construção civil tem sido dominada pelo uso do cimento Portland, especialmente quando se trata do fabrico de argamassas. Foram também produzidas duas argamassas de composição tradicional, sendo que a primeira série apenas contém cimento Portland como ligante e a segunda série cimento e cal hidráulica [42].

Também foram produzidas argamassas inovadoras que incorporam resíduos, é o caso da quarta série de argamassa produzida, que adiciona o metacaulino ao cimento Portland. Para além de aproveitarem materiais que de outra forma poluem a terra, o mar e a atmosfera, ajudam a melhorar o desempenho dos materiais cimentícios [43]. A produção de cada tonelada de clínquer de cimento está inerente à emissão de uma tonelada de dióxido de carbono, pelo que foi aconselhado que a produção de clínquer fosse limitada e substituída por adições e produtos à base de metacaulino a fim de evitar um possível desastre ecológico por aquecimento global [44].

Numa perspectiva de desenvolver um ligante que substitua o cimento Portland, têm sido efectuados diversos estudos sobre os ligantes utilizados no período referente à civilização romana [45]. As argamassas antigas apresentam elevada resistência mecânica e à acção da água. No entanto, os estudos efectuados carecem de uma explicação para os mecanismos de reacção que expliquem essa resistência. Uma das argamassas produzidas neste trabalho consiste numa argamassa obtida à base de um tratamento térmico de lamas residuais provenientes das minas da Panasqueira. Estes resíduos, após serem calcinados são misturados com uma solução de Hidróxido de Sódio e Silicato de Sódio, que permite a activação alcalina [46].

De facto, tem sido desenvolvido um trabalho extenso em laboratório resultante da pesquisa levada a cabo pelo CMADE, que demonstrou que o alumino-silicato presente nas lamas residuais das minas da Panasqueira possui uma boa reactividade quando adicionado com activadores alcalinos, após tratamento térmico por calcinação. Os resultados demonstram que as misturas geopoliméricas efectuadas a partir de lamas residuais apresentam boa resistência mecânica, durabilidade, bom desempenho, resistência à abrasão e aos ácidos, assim como, um bom desempenho ambiental nos testes de lixiviação [47].

Assim, encontrar novas aplicações para o alumino-silicato dos resíduos das minas da Panasqueira para que este funcione como ligante nos sistemas construtivos tem sido, desde 2003, de grande interesse para centro CMADE. Estas argamassas geopoliméricas à base de ligante aglutinante alcalino são então sugeridas como argamassas para reparação de betão, sendo alternativas para melhorar, activa ou passivamente, o desempenho energético dos edifícios em que são aplicadas [48].

Tendo em conta estes estudos e outros a decorrer, a quinta série de argamassas que foi produzida para este trabalho, resulta dessa mesma experiência.

Devido à utilização do betão ser praticamente universal na construção civil, os ensaios deste trabalho também foram aplicados em exemplares deste material. O betão utilizado neste trabalho consiste num betão produzido em central e comercializado pela Betão Liz.

Em resumo, produziram-se corpos de prova com os seguintes materiais:

- Argamassa A (MAPEI): Argamassa comercial pré-doseada Mape-Antique FC;
- Argamassa B (CEM): Cimento Portland e areia;
- Argamassa C (CAL): Cimento Portland, cal hidráulica e areia;
- Argamassa D (METAC): Cimento Portland, metacaulino e areia;
- Argamassa E (GEO): Ligante geopolimérico e areia.

## 4.2. Execução dos corpos de prova

### 4.2.1. Caracterização dos materiais utilizados no fabrico dos provetes

Para o fabrico dos vários provetes de argamassas foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento Portland composto, tipo II, classe 32,5;
- Cal hidráulica NHL5;
- Metacaulino;
- Areia 0/2 - Natural rolada, proveniente da Betão Liz - Figueira da Foz;
- Lamas residuais calcinadas das minas da Panasqueira;
- Argamassa comercial Mape-Antique FC;
- Água da rede pública.

A análise granulométrica da areia foi determinada de acordo com a especificação do LNEC E245-1971 [49]. Os resultados das percentagens do material acumulado e retido no peneiro foram os seguintes:

Quadro 4.1 - Análise granulométrica da areia

Peneiro	Malha [mm]	Resíduo no peneiro		Percentagens acumuladas	
		[g]	[%]	Passados [%]	Retidos [%]
nº 4	4,76	0,00	0,00	100,00	0,00
nº 8	2,38	0,50	0,04	99,96	0,04
nº 16	1,190	4,80	0,34	99,62	0,38
nº 30	0,590	365,30	26,15	73,48	26,52
nº 50	0,297	839,90	60,11	13,36	86,64
nº 100	0,149	173,00	12,38	0,98	99,02
nº 200	0,074	12,00	0,86	0,12	99,88
Resíduo		1,70	0,12	0,00	100,00
Totais		1397,20	100,00		

O betão utilizado para os ensaios experimentais deste trabalho é um betão produzido em central e aplicado no âmbito do projecto SELICON, de classe de resistência C25/30, classe de consistência S3, classe de exposição XC2, classe de teor de cloretos Cl0,4 e com razão a/l de 0,65. Este betão é constituído pelos seguintes materiais:

- Cimento tipo II/A-L, classe 42,5;
- Agregados graníticos com dimensão máxima de 22mm;
- Cinzas volantes;
- Plastificante.

#### 4.2.2. Misturas estudadas

No trabalho laboratorial que foi desenvolvido foram produzidas cinco tipos diferentes de argamassas.

Foi estudada uma argamassa pré-doseada comercializada pela MAPEI, indicada para obras de reabilitação, designada por Mape-Antique FC. Esta argamassa pré-preparada é constituída à base de um ligante hidráulico especial que não contém cimento e areia natural fina. Quando se efectuou a mistura, utilizou-se a razão água/(ligante+agregado) recomendada na ficha técnica desta argamassa.

Para as restantes argamassas que contêm cimento na sua composição, foi adoptada a mesma relação água/(ligante+agregado) sugerida na ficha técnica da argamassa pré-doseada. A segunda argamassa produzida foi uma argamassa à base de cimento e areia com traço 1:3. Na série seguinte de argamassas juntou-se cal hidráulica, e de acordo com a ficha técnica da cal

utilizada o traço adoptado foi 1:1:5. A ficha técnica da cal hidráulica Martingança aconselha este traço para rebocos exteriores para argamassas bastardas [50]. Na produção da quarta argamassa foi introduzido metacaulino, sendo que a quantidade deste foi 30% da quantidade de cimento utilizada na mistura. A relação ligante/agregado foi baseada na utilizada por Lourenço [51]. Por fim, na última argamassa, o traço adoptado foi 1:3, sendo que o ligante utilizado foi obtido a partir de lamas residuais calcinadas. As lamas são inicialmente colocadas num moinho e posteriormente são calcinadas durante duas horas a 950°C, para amplificar o seu grau de amorfismo e conseqüentemente a sua reactividade. Depois de se dar o tratamento térmico as lamas calcinadas são colocadas num moinho durante 6 horas. Após todo este processo determinou-se, através do programa ALKalSoft (desenvolvido na UBI), a dosagem de activador para a mistura (Silicato de Sódio + Hidróxido de Sódio). Para além da solução composta por Silicato de Sódio (Na<sub>4</sub>O<sub>4</sub>Si) e Hidróxido de Sódio (NaOH) foi adicionado à mistura 1 litro de água para proporcionar uma melhor trabalhabilidade durante a amassadura. No entanto isso viria a revelar-se prejudicial para a mistura, uma vez que a água retardou o processo de activação alcalina, como se esperava.

Quadro 4.2 - Composição das argamassas para 13 dm<sup>3</sup>.

Tipo de argamassa	Mape-Antique FC	Cimento	Cal Hidraulica	Metacaulino	Lama Calcinada	Areia	Na <sub>4</sub> O <sub>4</sub> Si	NaOH	Água
	[Kg]	[Kg]	[kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[L]	[L]
A (MAPEI)	14,154	-	-	-	-	-	-	-	-
B (CEM)	-	3,980	-	-	-	11,954	-	-	-
C (CAL)	-	2,917	2,917	-	-	14,583	-	-	-
D (METAC)	-	2,567	-	0,770	-	17,202	-	-	-
E (GEO)	-	-	-	-	5,180	15,540	1,036	0,196	1

Relativamente ao betão utilizado neste trabalho, como se trata de um betão produzido em central, as composições foram referidas anteriormente. A mistura foi produzida pelo fabricante Betão Liz.

### 4.2.3. Amassadura

Nesta fase da produção das argamassas pretende-se que mistura seja homogénea e que a trabalhabilidade das argamassas produzidas seja idêntica à trabalhabilidade da argamassa comercial. A amassadura foi efectuada manualmente sobre um tabuleiro metálico, completamente limpo e isento de detritos, com a ajuda de uma colher de pedreiro. Esta fase terminou quando se verificou que a mistura se encontrava totalmente homogénea.



Figura 4.1 - Amassadura das argamassas.

#### 4.2.4. Preparação dos provetes

Após efectuar a amassadura, a argamassa é colocada nos moldes previamente limpos e devidamente lubrificadas com óleo mineral. No caso da argamassa em que foi utilizado o ligante geopolimérico, os moldes foram cobertos com um plástico (Fig. 4.2). Isto deve-se ao facto desta argamassa quando se encontra no estado fresco não poder estar em contacto com o metal dos moldes, devido a poder ocorrer uma provável reacção química. A compactação foi efectuada através de, aproximadamente, 10 pancadas com o molde sobre a mesa. Após a compactação a superfície é alisada com uma espátula, retirando ou acrescentando argamassa (Fig. 4.2).



Figura 4.2 - Moldes para as argamassas.

No quadro 4.3 apresenta-se a listagem de ensaios efectuados e o número de corpos de prova ensaiados.

Quadro 4.3 - Número de corpos de prova para os ensaios.

		Número de corpos de prova para os diferentes ensaios					
		Compressão	Teor de Humidade	Absorção de água por capilaridade	Absorção de água por imersão com vácuo	Permeabilidade de ao Oxigénio	Permeabilidade de à água
Argamassa	Argamassa A (MAPEI)	3	3	10	3	3	3
	Argamassa B (CEM)	3	3	10	3	3	3
	Argamassa C (CAL)	3	3	10	3	3	3
	Argamassa D (METAC)	3	3	10	3	3	3
	Argamassa E (GEO)	3	3	10	3	3	3
Betão		2	-	3	5	5	5

Os provetes das argamassas A (MAPEI), B (CEM), C (CAL) e D (METAC) foram desmoldados ao final de um dia e, posteriormente colocados numa câmara de cura com temperatura 20°C ±1°C e humidade relativa 90% ± 5% até completar 34 dias.

Na argamassa E (GEO), devido ao facto de se ter utilizado cerca de 20% de água na mistura, uma vez que é previsto que se utilize entre 5% e 10%, a activação alcalina ocorreu mais tarde. Por conseguinte, os provetes só foram completamente retirados dos moldes duas semanas após a amassadura. Devido ao excesso de água durante a amassadura, os corpos de prova foram colocados em estufa durante dois dias a 60°C. Isto permitiu garantir a evaporação da água no interior dos provetes e facilitar a activação alcalina. Apenas após este processo foi possível realizar os carotes.

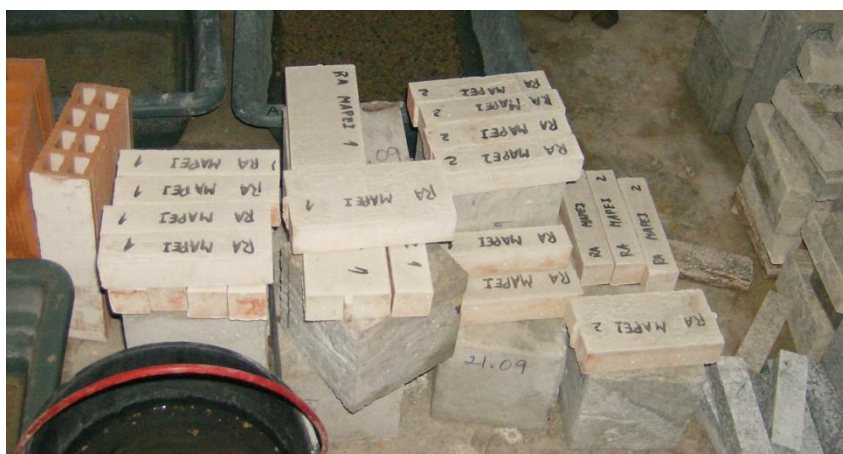


Figura 4.3 - Corpos de prova na câmara de cura.

Depois de se completarem os 34 dias, foram efectuados carotes para as primeiras quatro argamassas, uma vez que os ensaios de permeabilidade ao oxigénio, permeabilidade à água e

absorção de água por imersão com vácuo necessitam de provetes de forma cilíndrica para serem efectuados. Inicialmente seria de prever que os carotes fossem efectuados aos 28 dias. No entanto, devido a problemas com a caroteadora não foi possível efectuar os carotes e iniciar o pré-condicionamento das argamassas aos 28 dias. Após a resolução do problema foram então efectuados os carotes aos 34 dias de idade.



Figura 4.4 - Caroteadora e carotes.

### 4.3. Pré-condicionamento pelo método de RILEM TC 116-PCD

Para a realização dos ensaios de determinação das propriedades hígricas, os corpos de prova devem atingir uma concentração média de humidade. Devido a esse facto, foi efectuado um pré-condicionamento conforme indicado no procedimento RILEM TC 116-PCD [52]. Este processo permite também uma distribuição uniforme da água nos corpos de prova.

O processo de pré-condicionamento utilizado neste trabalho laboratorial consiste num processo simplificado adoptado por alguns autores [53]. Devido à escassez de tempo e tendo em conta que foi provado que este procedimento simplificado permite obter valores bastante semelhantes ao indicado no RILEM TC 116-PCD, sem no entanto envolver a complexidade de processos inerente ao uso deste, optou-se por seguir o procedimento simplificado [53].

Este processo simplificado do pré-condicionamento numa primeira fase consiste em sujeitar os provetes a uma pré-secagem durante 24 horas a 50°C. No fim das 24 horas efectuam-se pesagens dos corpos de prova.

A fase seguinte do pré-condicionamento consiste em colocar os provetes numa câmara com humidade relativa de 75% e temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Isto faz com que os corpos de prova recuperem a humidade perdida durante o processo de pré-secagem, até ao equilíbrio de 75% de humidade relativa, e ocorra uma redistribuição uniforme da humidade. Para tal, o período de pré-condicionamento deverá ser de, pelo menos, 2 semanas [53].

## 4.4. Condições de realização e descrição dos ensaios

### 4.4.1. Ensaio de verificação da resistência à compressão

Dos factores que influenciam a durabilidade das argamassas e betões, a resistência à compressão é dos mais importantes. Devido a esse facto é usual em trabalhos de investigação determinar esta característica das argamassas e betões [54, 55].

A taxa de acréscimo de carga utilizada neste ensaio foi de 0,3kN/s.



Figura 4.5 - Ensaio de verificação da resistência à compressão.

Tal como a maioria dos ensaios deste trabalho, a resistência à compressão foi determinada depois de os corpos de prova terem sido sujeitos ao pré-condicionamento simplificado.

Relativamente às argamassas, os provetes utilizados para este ensaio têm as dimensões de 40 x 40 x 160 mm, que posteriormente são divididos ao meio longitudinalmente e colocados no dispositivo para ensaio de argamassas à compressão. O dispositivo é colocado na prensa e posteriormente as argamassas são ensaiadas [55].

Os corpos de prova de betão ensaiados são cúbicos, com 15 cm de aresta [54].

### 4.4.2. Ensaio de determinação do teor de humidade através de uma balança de alta precisão por infra-vermelhos

Paralelamente às várias etapas do pré-condicionamento a que foram sujeitos os corpos de prova foram deixados provetes de controlo na câmara de cura para serem posteriormente ensaiados e comparados de forma a determinar o teor de humidade ao longo do tempo. O teor de humidade foi medido por uma balança de alta precisão por infra-vermelhos, Kern, modelo MLB N (Figura 4.6).

As amostras para ensaio eram retiradas dos provetes de controlo que se encontravam na câmara de cura. O teor de humidade também foi determinado para os corpos de prova que foram submetidos ao pré-condicionamento simplificado, de forma que se pudessem

estabelecer comparações da variação da humidade nos dois casos. Para ambos os casos retiraram-se amostras do interior e do exterior dos provetes para facilitar a interpretação dos resultados dos ensaios, tendo em conta as variações de humidade. Nas diferentes argamassas foram retiradas partículas de diferentes dimensões e em forma de pó, por raspagem da superfície (Figura 4.7).



Figura 4.6 - Balança de alta precisão por infra-vermelhos.

A balança de alta precisão por infra-vermelhos pesa as amostras e seguidamente efectua a secagem destas através de radiações de infra-vermelhos até que a diferença de peso das amostras seja menor ou igual que 1mg durante 120 segundos. As temperaturas a que são sujeitos os corpos de prova variam desde os 40°C até aos 120°C, sempre numa escala crescente e constante.

As pesagens foram realizadas em três fases distintas. A primeira ocorreu após os 34 dias de cura, a segunda fase após o processo de pré-secagem e por último, no final do pré-condicionamento simplificado pelo método de RILEM. Este procedimento foi seguido tanto para os corpos de prova de controlo, como para os que foram submetidos ao pré-condicionamento.

No betão, não foi determinado o teor de humidade porque não se estabeleceu uma metodologia para o efeito. No entanto, sugere-se para futuros trabalhos que se procure uma forma adequada de realizar este ensaio.



Figura 4.7 - Amostras das argamassas para ensaio.

#### 4.4.3. Ensaio de determinação da Absorção de Água por Capilaridade

Para a determinação da absorção de água por capilaridade foi seguida a especificação do LNEC E 393 - 1993 - Betões, e a norma europeia EN 1015-18 - Argamassas [56, 57]. No caso das argamassas adoptou-se o procedimento das duas normas, por sua vez o betão ensaiado obedeceu apenas à especificação para betões. Na determinação dos coeficientes de capilaridade, a metodologia adoptada foi a Norma Francesa NF B 10 - 502 [12], enquanto que os coeficientes de absorção foram determinados de acordo com a Norma Alemã DIN 52617 [12].

Este ensaio permite estimar a cinética de absorção de água das argamassas e dos betões ao longo do tempo. Sendo que a determinação destes coeficientes tem grande importância numa perspectiva de determinação da durabilidade.

No que diz respeito às argamassas, os corpos de prova foram sujeitos a dois ambientes de humidades relativas diferentes, de modo a que se possa comparar os resultados obtidos de cada um deles. Inicialmente, os corpos de prova foram ensaiados após o pré-condicionamento, segundo a simplificação do método RILEM TC 116-PCD. Depois de ter ocorrido o ensaio de absorção de água por capilaridade, os provetes foram sujeitos a uma secagem durante 24 horas a uma temperatura de 110°C - 120°C e foram novamente ensaiados. Os provetes de betão foram ensaiados apenas após o processo de pré-condicionamento simplificado, sendo que posteriormente não foram sujeitos a nenhum processo de secagem.

Os corpos de prova ensaiados das argamassas apresentam forma paralelepípedica, com dimensões 4 x 4 cm de base e 16 cm de altura, sendo que alguns foram impermeabilizados lateralmente de acordo com a Norma NF B 10-502 [12]. Isto faz com que a ascensão da água seja uniaxial, devido ao facto de água ser absorvida apenas pela base do provete e à inexistência de perdas laterais de água por evaporação. A impermeabilização foi efectuada através de uma tinta impermeável Sikagard 570 W, de solução aquosa estireno-acrílica (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Tinta impermeável Sikagard 570 W.

Os provetes de betão apresentam forma cilíndrica, com 10 cm de diâmetro e 15 cm de altura. No caso do betão, não foram impermeabilizados provetes, uma vez que estes iam apenas ser ensaiados após o pré-condicionamento. Deste modo, como não iriam ser sujeitos a uma processo de secagem, optou-se apenas por ensaiar provetes sem impermeabilização lateral. Entretanto, foi preparado o tabuleiro de ensaio que pudesse conter a quantidade necessária de água, assim como os suportes de apoio dos provetes. Os suportes utilizados eram de um material adequado, não absorvente, que garantiam que os corpos de prova ficassem imersos entre 5 e 10mm, minimizando a área de contacto entre os provetes e os mesmos (Figura 4.9). O ensaio teve início quando foi efectuada a pesagem dos corpos de prova após o pré-condicionamento (ou após a secagem), antes de serem colocados em contacto com água. Quando se efectuavam pesagens dos corpos de prova no decorrer do ensaio, houve também o cuidado de limpar a superfície molhada destes com um pano húmido. As condições de realização do ensaio mantiveram-se constantes, sendo que a humidade relativa do ambiente era suposto ser a mesma do pré-condicionamento (75% de humidade relativa). No entanto verificou-se que esta era cerca de  $85\% \pm 5\%$  e a temperatura era de forma aproximada  $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

No caso das argamassas, as pesagens efectuaram-se as pesagens dos provetes aos 10, 90, 180, 360, 1440 e 4320 minutos após o contacto destes com a água. Enquanto o ensaio decorria houve sempre o cuidado de manter o nível da água 5mm acima da base dos corpos de prova. No betão, os corpos de prova foram pesados 180, 360, 1440 e 4320 minutos após terem sido colocados em contacto com a água.



Figura 4.9 - Ensaio de absorção de água por capilaridade.

O coeficiente de absorção, segundo a Normal DIN 52617,  $A_w$ , expresso em  $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-0,5}]$ , é calculado pela seguinte fórmula:

$$A_w = \frac{m_{24h}}{A \times \sqrt{24}}$$

(4.1)

$m_{24h}$  - Aumento de massa do corpo de prova após 24 horas de ensaio, em Kg

A - Área do corpo de prova em contacto com a lâmina de água, em  $\text{m}^2$

O coeficiente de capilaridade, segundo a NF B 10-502, C, expresso em  $[g.cm^{-2}.min^{-0,5}]$ , é calculado pela seguinte fórmula:

$$C = \frac{100 \times m_{24h}}{A \times \sqrt{24 \times 60}} \quad (4.2)$$

$m_{24h}$  - Aumento de massa do corpo de prova após 24 horas de ensaio, em g

A - Área do corpo de prova em contacto com a lâmina de água, em  $cm^2$ .

Para além de calcular o coeficiente de capilaridade e o coeficiente de absorção através fórmulas anteriormente referidas, foram também determinados coeficientes de absorção capilar com o auxílio de linhas de tendência para as 6 horas de ensaio. Estes valores serão apresentados e discutido mais à frente.

#### 4.4.4. Ensaio de determinação da Absorção de Água por Imersão com vácuo

O ensaio de determinação da absorção de água por imersão com vácuo, também designado como “porosidade aberta”, baseia-se no princípio da saturação por vácuo (Figura 4.10) [58].

Os corpos de prova utilizados neste ensaio são cilíndricos com 4cm de altura e 5cm de diâmetro. Como já foi referido anteriormente, os provetes com estas dimensões foram obtidos através de uma caroteadora com 5cm de diâmetro que perfurou partes de argamassa com 4 cm de altura. No caso dos betões também foram extraídos carotes, no entanto devido à espessura da amostra ser superior a 4cm, estes foram cortados até a altura pretendida. Todos os provetes utilizados neste ensaio foram previamente sujeitos ao processo simplificado do pré-condicionamento pelo método de RILEM TC 116-PCD.



Figura 4.10 - Equipamento de absorção de água por imersão com vácuo.

Este ensaio pode dividir-se em duas fases distintas. A primeira consiste em submeter os corpos de prova a vácuo (aproximadamente -700 mbar) durante 3 horas. Numa segunda fase,

os provetes são saturados em água destilada e submetidos novamente a vácuo durante 3 horas. Após este tempo restabelece-se a pressão atmosférica através da abertura de uma válvula para entrada de ar no excicador. Isto faz com que ocorra uma pressão adicional que força ainda mais a entrada de água nos poros dos provetes.

Após terem sido efectuadas as pesagens, a absorção de água por imersão com vácuo,  $\delta$ , expressa em %, é obtida através da seguinte equação:

$$\delta = \frac{m_{\text{sat}} - m_{\text{seco}}}{m_{\text{sat}} - m_{\text{im}}} \times 100 \quad (4.3)$$

$m_{\text{sat}}$  - massa do corpo de prova saturado, em g

$m_{\text{seco}}$  - massa do corpo de prova seca, em g

$m_{\text{im}}$  - massa do corpo de prova saturado, imerso em água, em g

#### 4.4.5. Ensaio de determinação da Permeabilidade ao Oxigénio

Para a realização do ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio foi utilizado o permeâmetro desenvolvido na Universidade de Leeds (U.K.) (Figura 4.11), sendo que todo o ensaio obedeceu ao disposto na Especificação do LNEC E 392-1993 - Betões - Determinação da Permeabilidade ao Oxigénio, tal como à metodologia desenvolvida nos Laboratórios de Construção, da Universidade da Beira Interior [59, 60].

O permeâmetro utilizado permite sujeitar os corpos de prova a uma determinada pressão, de modo a que o fluxo do fluido que atravessa o provete seja uniaxial [59].

Os corpos de prova, tal como os que foram utilizados no ensaio de absorção de água por imersão e vácuo, são cilíndricos com 4cm de altura e 5cm de diâmetro e foram obtidos da mesma forma através de uma caroteadora.



Figura 4.11 - Permeâmetro de oxigénio e água.

Após se ter realizado o pré-condicionamento, os corpos de prova foram impermeabilizados lateralmente com uma tinta impermeável Sikagard 570 W de solução aquosa estireno-acrídica, de forma a garantir que a água atravessasse os provetes uniaxialmente a partir do topo destes. Seguidamente voltaram a ser colocados na câmara com 75% de humidade relativa, durante cerca de 24 horas.



Figura 4.12 - Corpos de prova impermeabilizados lateralmente e célula onde são colocados sob pressão.

Só depois de este procedimento ter sido efectuado é que se deu início ao ensaio. O ensaio tem início quando o corpo de prova é colocado dentro de um cone que o veda lateralmente e seguidamente é fechado sob pressão no interior da célula. Em todos os corpos de prova ensaiados a pressão absoluta à entrada da célula foi no máximo de 2,5 bar. Isto deve-se ao facto de para pressões superiores a 3 bar existir o risco de danificar a estrutura interna do corpo de prova.

Os corpos de prova após serem colocados na câmara ficam cerca de uma hora sob pressão, de forma a que se garanta um fluxo laminar. Seguidamente, no caso das argamassas e betões, regista-se o fluxo de oxigénio à saída do provete através do tempo que demora uma bolha de sabão a percorrer, por exemplo, 10cm de altura numa pipeta de vidro de, por exemplo, 5mm de diâmetro.

A permeabilidade intrínseca ao oxigénio,  $K$ , em  $m^2$ , pode ser determinada com base na seguinte expressão (considerando que  $\eta$  - viscosidade dinâmica do oxigénio =  $2,02 \times 10^{-16}$  Ns.m<sup>-2</sup>):

$$K = \frac{4,04 \times R \times L \times 10^{-16}}{A \times (P_2^2 - 1)} \quad (4.4)$$

R - Fluxo do oxigénio à saída, em cm<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

L - Espessura do corpo de prova, em m

A - Área da secção atravessada pelo oxigénio, em m<sup>2</sup>

P<sub>2</sub> - Pressão do oxigénio à entrada, em bar, sendo a pressão de saída de 1 bar.

#### 4.4.6. Ensaio de determinação da Permeabilidade à Água

O ensaio de permeabilidade à água realizou-se exactamente após terem sido efectuadas as leituras para o ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio. Tal como foi referido anteriormente, o ensaio da permeabilidade ao oxigénio não altera a estrutura do corpo de prova, logo a permeabilidade à água pode ser determinada no mesmo corpo de prova do ensaio anterior.

Uma vez que o corpo de prova já se encontra na célula, é introduzida água na extremidade superior desta e seguidamente coloca-se novamente o provete sob pressão, de modo a que force ainda mais a água penetrar através deste. Depois de introduzida a água deixa-se o corpo de prova sob pressão cerca de 30 minutos, no caso das argamassas. No betão, mais uma vez devido a este ser menos poroso, os corpos de prova foram sujeitos a pressão durante cerca de uma hora. Seguidamente, o provete é retirado da célula e é dividido ao meio longitudinalmente, de forma a se poder visualizar a profundidade de penetração da água.



Figura 4.13 - Profundidade da penetração da água

Uma vez determinada a profundidade de penetração, o coeficiente de permeabilidade à água,  $k_w$ , em  $m \cdot s^{-1}$ , determina-se através da expressão:

$$k_w = \frac{d_p^2 \times \delta}{2 \times h \times t} \quad (4.5)$$

Para converter o coeficiente de permeabilidade à água,  $k_w$ , em permeabilidade intrínseca,  $K_w$ , em  $m^2$ , uma vez que se utilizou apenas água, utiliza-se a expressão:

$$K_w = 1,02 \times 10^{-7} \times k_w \quad (4.6)$$

#### 4.5. Resultados dos ensaios realizados e conclusões

Neste parte do trabalho serão apresentados os resultados dos ensaios para a determinação de propriedades hígricas de argamassas e betões. Os resultados expostos são valores médios obtidos a partir do ensaio de vários corpos de prova.

Com os resultados obtidos dos ensaios, para além dos valores médios (4.7), foi também determinado o desvio padrão (4.8) e o coeficiente de variação (4.9) para os diferentes parâmetros avaliados.

$$\text{Valor médio} = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4.7)$$

$$\text{Desvio padrão} = S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (4.8)$$

$$\text{Coeficiente de variação} = Cv = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad (4.9)$$

#### 4.5.1. Argamassas

##### 4.5.1.1. Ensaio de verificação da resistência à compressão

Os resultados apresentados no quadro 4.4, que se referem à resistência à compressão dos diferentes tipos de argamassas, foram os esperados relativamente à argamassa B (CEM). Uma vez que na composição desta o único ligante utilizado foi o cimento, era de se esperar que possuísse resistências mecânicas maiores. A argamassa comercial (A, MAPEI), também apresenta uma resistência à compressão bastante elevada. O resultado mais surpreendente é o da argamassa E (GEO), que apesar de ser uma argamassa bastante porosa apresenta resistências mecânicas aceitáveis, sendo que apresenta valores médios muito próximos da argamassa C (CAL). A argamassa D (METAC) apresenta valores de resistência à compressão bastante baixos.

Quadro 4.4 - Valores médios da Resistência à compressão das argamassas.

Tipo de argamassa	Tensão de rotura [MPa]	Carga máxima [kN]	S	Cv [%]
A (MAPEI)	21,2	33,95	0,98	2,90
B (CEM)	27,3	43,62	1,75	4,02
C (CAL)	18,7	29,97	1,58	5,27
D (METAC)	7,0	11,17	0,56	4,99
E (GEO)	18,4	29,42	3,79	12,87

NOTA: S - Desvio padrão; Cv - Coeficiente de variação.

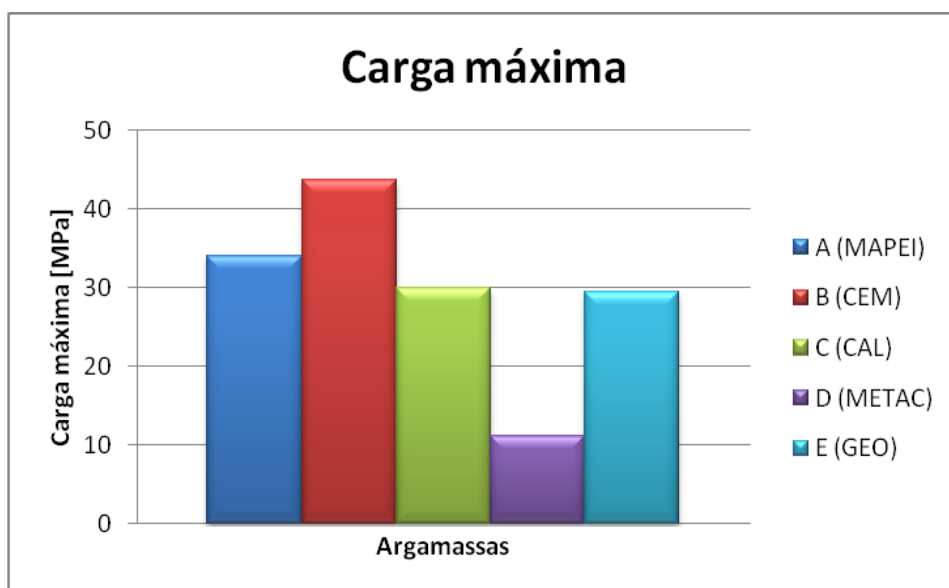


Figura 4.14 - Carga máxima à compressão das argamassas.

#### 4.5.1.2. Ensaio de determinação do teor de humidade através de uma balança de precisão por infra-vermelhos

No ensaio de determinação do teor de humidade, em relação aos corpos de prova ensaiados que foram sujeitos ao pré-condicionamento simplificado, os valores do teor de humidade ilustram os tipos de ambiente a que estes foram sujeitos em cada fase deste procedimento.

A Fase 1 corresponde aos 34 dias na câmara de cura a que as argamassas estiveram sujeitas, excepto a Argamassa E (GEO) que passou esse tempo em contacto com o ambiente do laboratório. A Fase 2 diz respeito à etapa da secagem em estufa a 50°C, durante 24 horas. Relativamente à fase 3, esta diz respeito ao fim das duas semanas a 21°C ± 1°C e 75% HR.

Como se pode ver pelos resultados, a Argamassa A (MAPEI) é bastante “transpirável”, sendo que as variações do teor de humidade ao longo das várias etapas evidenciam que esta perde e ganha humidade com relativa facilidade. Relativamente às argamassas B (CEM) e C (CAL), comprova-se o que é pressuposto acerca destas, ou seja, que são argamassas pouco permeáveis às trocas de vapor de água [6]. Tendo em conta os valores constata-se facilmente que mesmo depois de serem sujeitas a ambientes diferentes, o teor de humidade destas argamassas varia muito pouco. As argamassas D (METAC) e E (GEO), devido a serem mais porosas são mais susceptíveis a variações do teor de humidade. Os resultados evidenciam uma maior variação do teor de humidade destas argamassas quando são sujeitas às diferentes etapas do pré-condicionamento (Quadro 4.5).

Quadro 4.5 - Valores médios do teor de humidade das várias argamassas nas várias etapas do pré-condicionamento.

Fase 1 (Após 34 dias de cura)	Tipo de argamassa	Teor de humidade [%]		S		Cv [%]	
		Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
	A (MAPEI)	12,84	2,85	0,27	0,15	2,12	5,37
B (CEM)	5,30	2,13	0,14	0,11	2,59	4,93	
C (CAL)	7,48	3,37	0,06	0,23	0,86	6,82	
D (METAC)	6,48	2,32	0,02	0,21	0,38	8,95	
E (GEO)	2,87	3,18	0,10	0,11	3,46	3,59	
Fase 2 (Após a pré-secagem)	Tipo de argamassa	Teor de humidade [%]		S		Cv [%]	
		Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
	A (MAPEI)	9,45	1,77	0,51	0,11	5,41	6,14
B (CEM)	3,41	1,18	0,09	0,12	2,64	10,45	
C (CAL)	4,26	1,15	0,37	0,16	8,68	13,85	
D (METAC)	1,46	0,67	0,19	0,04	13,08	5,82	
E (GEO)	0,34	1,17	0,00	0,12	1,44	10,43	
Fase 3 (Após 2 semanas a 75% HR)	Tipo de argamassa	Teor de humidade [%]		S		Cv [%]	
		Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
	A (MAPEI)	12,22	1,05	0,13	0,02	1,09	2,17
B (CEM)	3,46	2,05	0,07	0,07	2,05	3,45	
C (CAL)	4,30	1,38	0,16	0,06	3,68	4,21	
D (METAC)	2,03	0,85	0,03	0,04	1,52	4,54	
E (GEO)	1,29	5,31	0,04	0,04	3,06	0,75	

NOTA: S - Desvio padrão; Cv - Coeficiente de variação.

Relativamente aos provetes de controlo que foram deixados na câmara de cura durante o processo de pré-condicionamento, os resultados foram os esperados. O teor de humidade destes corpos de prova manteve-se constante, para cada tipo de argamassa ao longo de todo o processo. Tanto nos resultados obtidos do interior, como do exterior é visível que a humidade se manteve constante ao longo do tempo, sendo que no interior os resultados quase não se alteram (Quadro 4.6).

Quadro 4.6 - Valores médios do teor de humidade das várias argamassas sem pré-condicionamento.

	Tipo de argamassa	Teor de humidade [%]		S		Cv [%]	
		Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Fase 1 (34 dias)	A (MAPEI)	12,84	2,85	0,27	0,15	2,12	5,37
	B (CEM)	5,30	2,13	0,14	0,11	2,59	4,93
	C (CAL)	7,48	3,37	0,06	0,23	0,86	6,82
	D (METAC)	6,48	2,32	0,02	0,21	0,38	8,95
	E (GEO)	2,87	3,18	0,10	0,11	3,46	3,59
	Fase 2 (35 dias)	A (MAPEI)	12,90	2,36	0,13	0,61	1,00
B (CEM)		5,75	3,05	0,04	0,37	0,70	12,04
C (CAL)		7,50	3,34	0,08	0,14	1,05	4,13
D (METAC)		7,31	1,97	0,03	0,05	0,38	2,44
E (GEO)		2,53	3,95	0,09	0,30	3,46	7,52
Fase 3 (49 dias)		A (MAPEI)	12,86	2,36	0,14	0,01	1,11
	B (CEM)	5,50	1,33	0,09	0,28	1,56	20,99
	C (CAL)	7,14	1,98	0,06	0,14	0,89	7,22
	D (METAC)	6,53	1,86	0,11	0,09	1,76	4,94
	E (GEO)	0,96	1,38	0,11	0,11	12,00	8,23

NOTA: S - Desvio padrão; Cv - Coeficiente de variação.

#### 4.5.1.3. Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade

Para classificar as diferentes argamassas quanto à absorção de água por capilaridade, recorreu-se à metodologia descrita em 4.4.3. para a determinação dos coeficientes de absorção e capilaridade.

Os resultados referentes ao coeficiente de capilaridade e de absorção, são obtidos pela média de 10 corpos de prova, 5 deles com as faces impermeabilizadas e os outros 5 sem faces impermeabilizadas.

- Corpos de prova com pré-condicionamento

A análise dos resultados através da Norma DIN mostra coeficientes de absorção capilar bastante menores que os coeficientes de capilaridade determinados através dos procedimentos previstos na Norma NFB. Ao contrário do que era de esperar, os corpos de

prova com faces não impermeabilizadas apresentam coeficientes de capilaridade e absorção superiores aos provetes de faces impermeabilizadas. Tal pode dever-se ao facto dos corpos de prova serem sujeitos a um ambiente de humidade relativa constante no pré-condicionamento e posteriormente, quando são ensaiados, esse ambiente mantêm-se constante. Isto faz com que os provetes não apresentem perdas de humidade através da evaporação.

Como é possível observar através dos valores do quadro 4.7, a argamassa que é mais susceptível à absorção de água por capilaridade é a argamassa D (METAC). Por outro lado a argamassa menos passível a este fenómeno é a argamassa A (MAPEI), o que pode ser explicado pelo facto de possuir superfície específica mais elevada devido aos seus constituintes serem muito finos. A argamassa E (GEO) apresenta resultados bastante curiosos, uma vez que esta é bastante porosa e no entanto apresenta coeficientes de absorção e capilaridade relativamente baixos. Este fenómeno deve-se ao facto de a água ascender rapidamente e preencher os poros desta argamassa.

Quadro 4.7 - Valores médios do coeficiente de capilaridade e do coeficiente de absorção das argamassas com pré-condicionamento.

Tipo de Argamassa	Coeficiente de capilaridade [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]		Coeficiente de absorção [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]	
	Faces não Impermeabilizadas	Faces Impermeabilizadas	Faces não Impermeabilizadas	Faces Impermeabilizadas
A (MAPEI)	2,80	2,31	2,17	1,79
B (CEM)	4,66	3,24	3,61	2,51
C (CAL)	5,08	4,09	3,94	3,17
D (METAC)	9,66	8,51	7,48	6,59
E (GEO)	4,60	3,41	3,57	2,64

Nas figuras 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18 estão traçadas as várias curvas das diferentes argamassas.

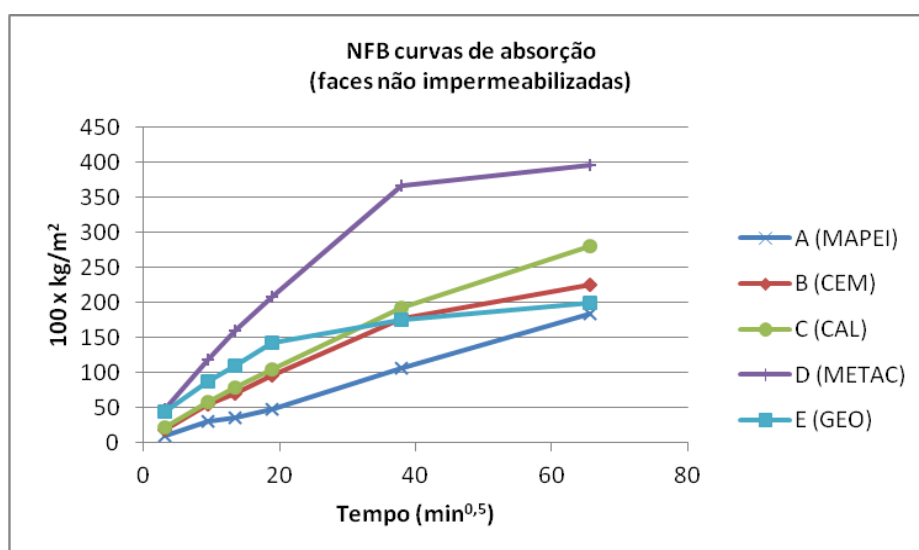


Figura 4.15 - Curvas de absorção NFB (Faces não impermeabilizadas) - 72 horas.

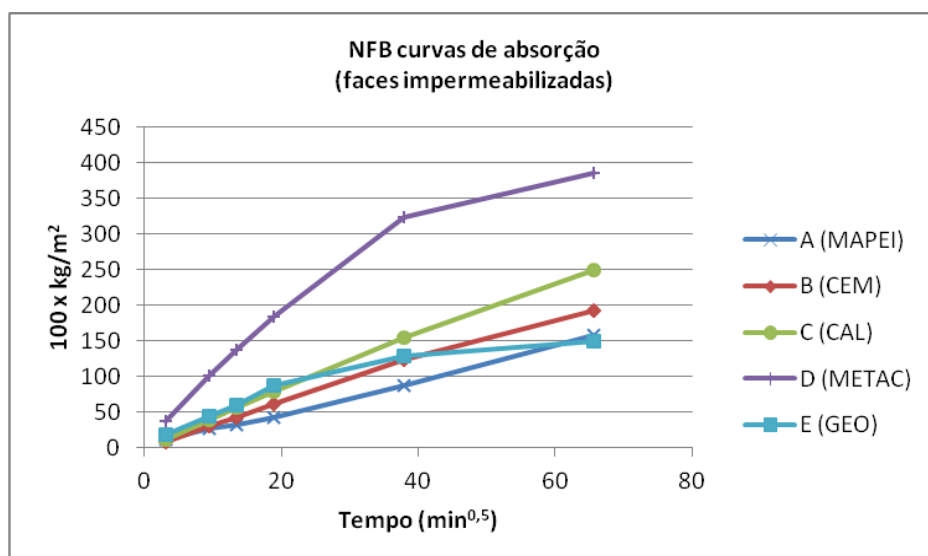


Figura 4.16 - Curvas de absorção NFB (Fases impermeabilizadas) - 72 horas.

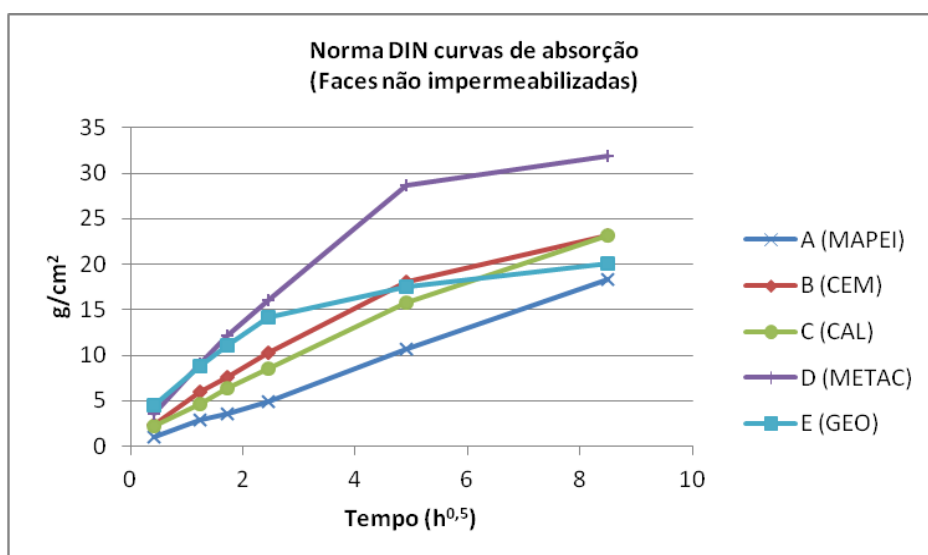


Figura 4.17 - Curvas de absorção Norma DIN (faces não impermeabilizadas) - 72 horas.

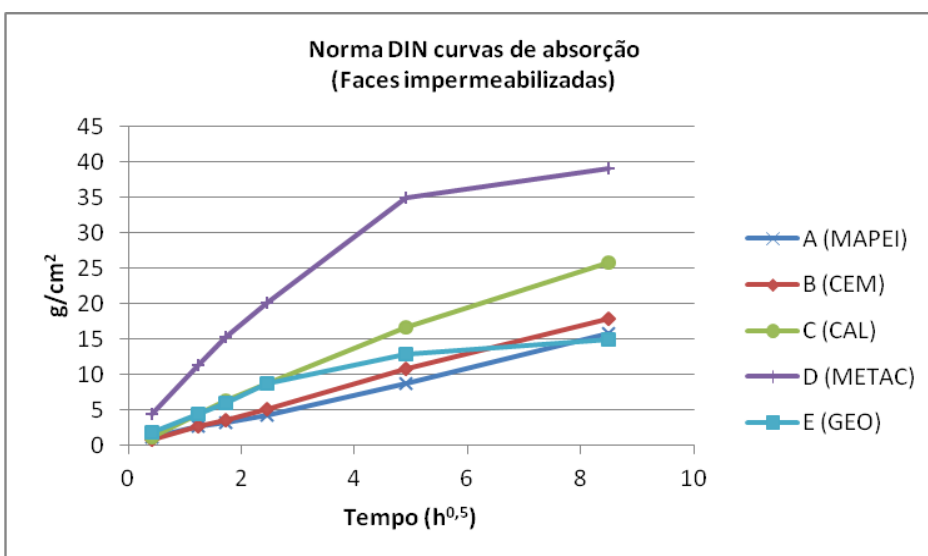


Figura 4.18 - Curvas de absorção Norma DIN (faces impermeabilizadas) - 72 horas.

Através das curvas de absorção é possível observar com mais pormenor o comportamento das várias argamassas ao longo do tempo.

Como se sabe, a absorção capilar depende da estrutura de poros existente e varia de acordo com a distribuição dos poros. A origem do potencial capilar são as forças capilares, devido à tensão existente entre a superfície da água e as paredes dos poros, que é dependente do teor de humidade, da densidade e viscosidade da água, da temperatura e das características dos poros, como o raio, a tortuosidade e a conectividade.

No caso da argamassa E (GEO), devido às características dos seus poros, esta exhibe um potencial capilar elevado.

- Corpos de prova secados em estufa a 110°C

Tal como se verificou com os corpos de prova sujeitos ao pré-condicionamento, a análise dos resultados pelos procedimentos da Norma DIN fornece coeficientes de absorção bastante inferiores aos coeficientes de capilaridade obtidos através da NFB. Verificou-se também que os coeficientes de absorção e capilaridade, ao contrário do que seria de esperar, são maiores para os corpos de prova com faces não impermeabilizadas que para os provetes de faces impermeabilizadas. Isto pode ser explicado pelo facto de os provetes se encontrarem a uma humidade relativa constante ao longo do ensaio, sendo que deste modo não existem perdas de humidade para a atmosfera.

Relativamente ao comportamento das argamassas, mantém-se idêntico ao comportamento destas quando foram previamente sujeitas ao pré-condicionamento. Sendo assim, a argamassa A continua a ser a que apresenta menor tendência para a absorção de água por capilaridade. A argamassa mais susceptível a absorver água por capilaridade continua a ser a argamassa D (METAC). As restantes argamassas apresentam comportamentos semelhantes aquando o ensaio se deu após o pré-condicionamento.

Quadro 4.8 - Valores médios do coeficiente de capilaridade e do coeficiente de absorção das argamassas, quando secadas a 110°C.

Tipo de Argamassa	Coeficiente de capilaridade [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]		Coeficiente de absorção [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]	
	Faces não Impermeabilizadas	Faces Impermeabilizadas	Faces não Impermeabilizadas	Faces Impermeabilizadas
A (MAPEI)	3,70	2,39	2,87	1,85
B (CEM)	4,33	3,65	3,36	2,83
C (CAL)	4,95	4,57	3,83	3,54
D (METAC)	8,09	9,12	6,26	7,06
E (GEO)	5,00	4,75	3,88	3,68

Nas figuras 4.19, 4.20, 4.21 e 4.22 estão traçadas as várias curvas das diferentes argamassas.

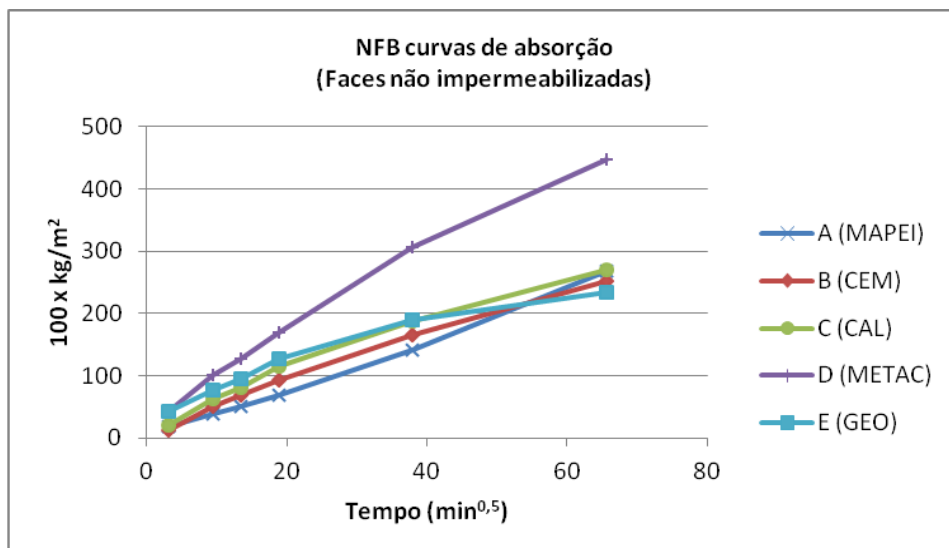


Figura 4.19 - Curvas de absorção NFB (Faces não impermeabilizadas) - 72 horas.

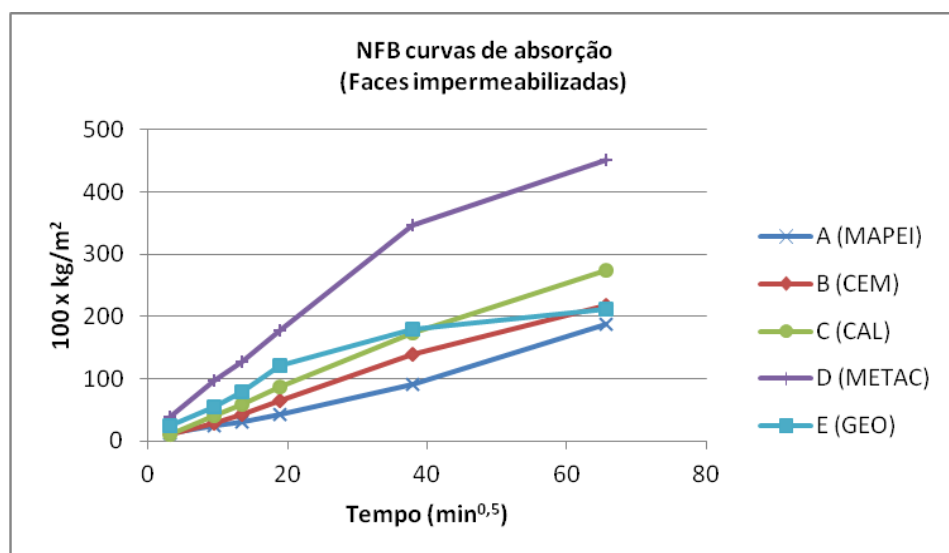


Figura 4.20 - Curvas de absorção NFB (Faces impermeabilizadas) - 72 horas.

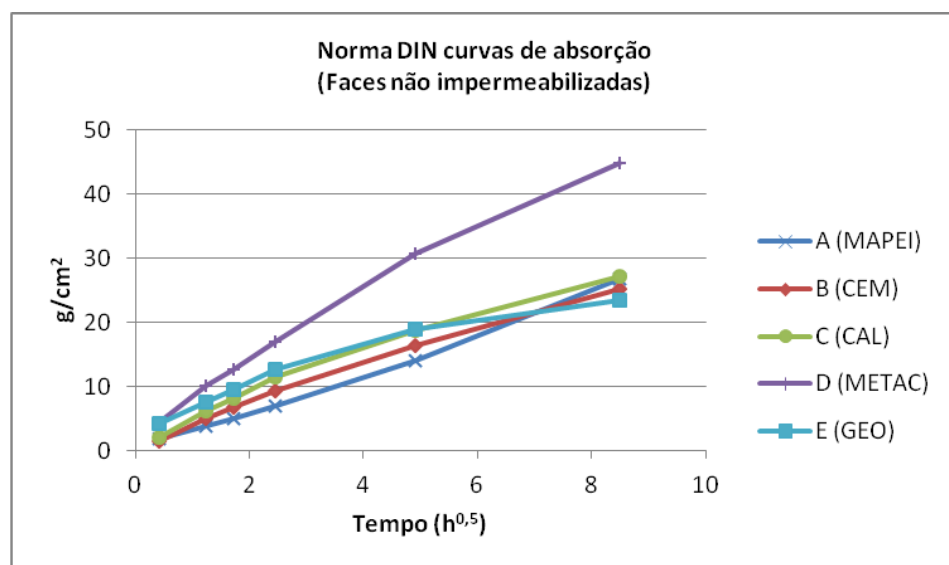


Figura 4.21 - Curvas de absorção Norma DIN (faces não impermeabilizadas) - 72 horas.

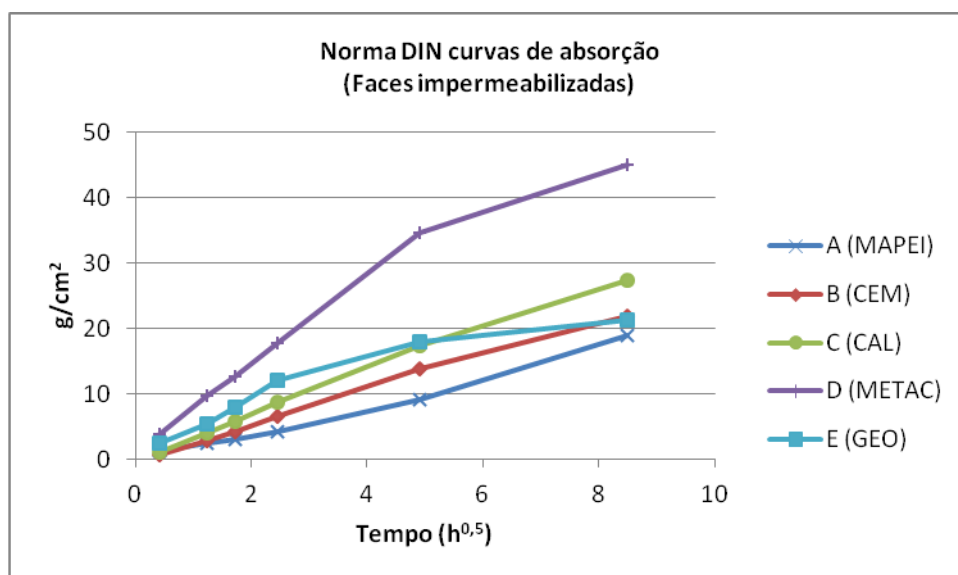


Figura 4.22 - Curvas de absorção Norma DIN (faces impermeabilizadas) - 72 horas.

O comportamento das argamassas ao longo do tempo, assim como os respectivos coeficientes de absorção e capilaridade são bastante semelhantes com os resultados obtidos neste mesmo ensaio quando sujeitas previamente ao procedimento simplificado do RILEM TC 116-PCD.

- Análise comparativa entre o pré-condicionamento e a secagem em estufa

Após analisar e comparar os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade, chegou-se à conclusão que os resultados obtidos após a secagem em estufa dos corpos de prova são mais homogêneos para todas as argamassas. Ou seja, os coeficientes de absorção e capilaridade para todas as argamassas não diferem muito uns dos outros. Por outro lado, após se efectuar o pré-condicionamento simplificado, verifica-se uma maior dispersão de resultados (Quadro 4.9).

Este facto pode ser interpretado como favorável à aplicação do pré-condicionamento às argamassas, uma vez que permite evidenciar as diferenças de comportamento das várias séries de argamassas, facilitando a análise científica dos dados.

O facto de os valores da absorção de água por capilaridade após secagem a 110°C serem homogêneos para as várias séries de argamassas, pode explicar-se pelo facto de provavelmente ocorrer ter ocorrido alterações da microestrutura das argamassas durante este processo. A secagem a 110°C pode ter danificado algumas ligações internas, o que faz com que as argamassas tenham mais tendência para absorver água e deste modo apresentarem um comportamento semelhante.

Em seguida serão apresentados os gráficos referentes a cada série de argamassa que compara o comportamento destas ao longo do tempo após o processo simplificado de pré-condicionamento e de secagem a 110°C.

Argamassa A (MAPEI):

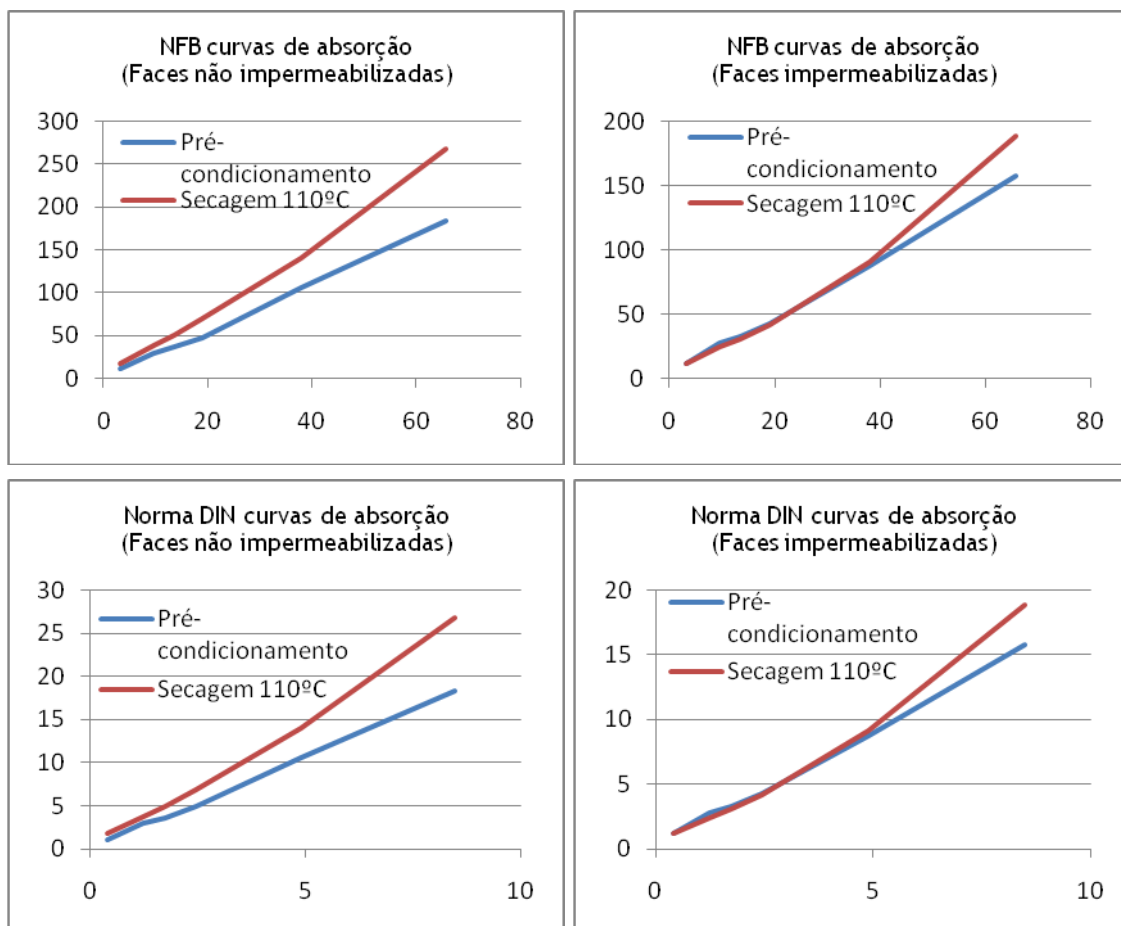


Figura 4.23 - Comparação das curvas de absorção do pré-condicionamento com as curvas de absorção da secagem a 110°C (Argamassa A, MAPEI) - 72 horas.

Argamassa B (CEM):

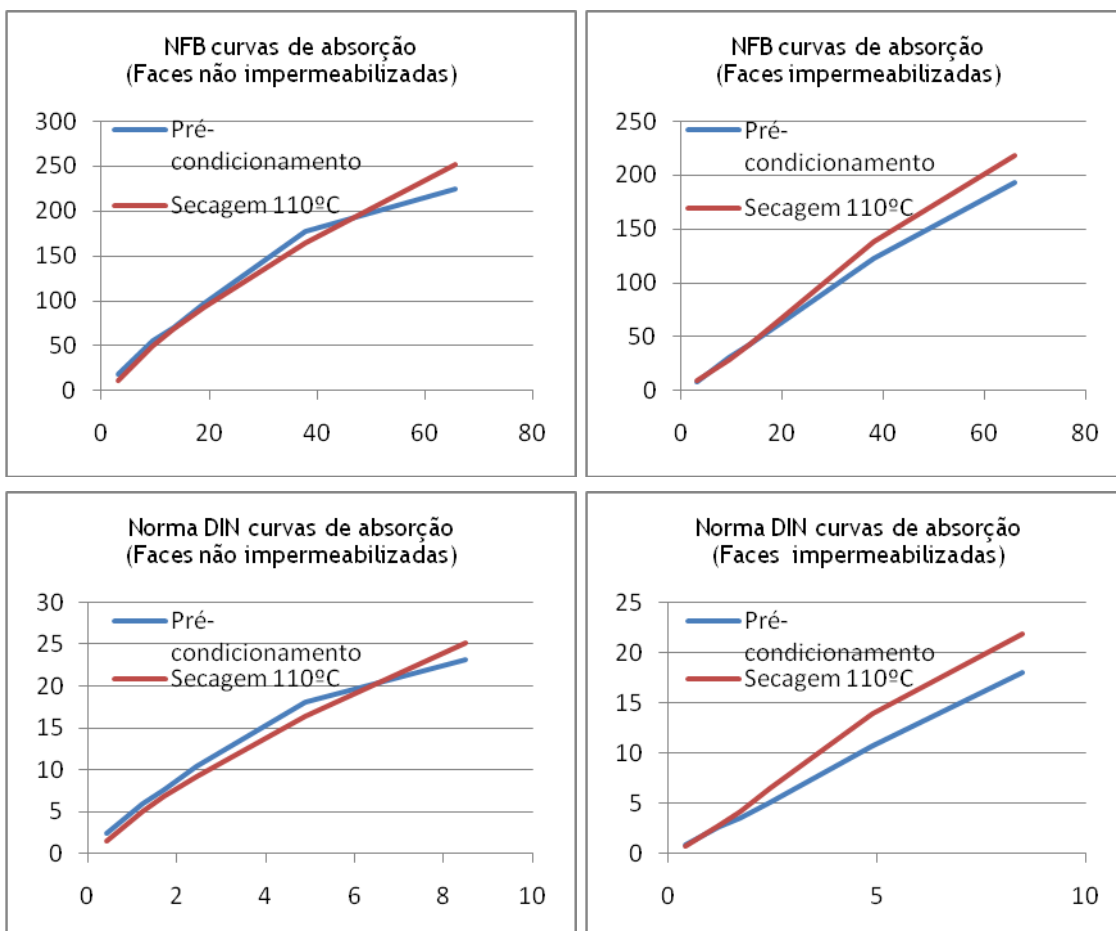


Figura 4.24 - Comparação das curvas de absorção do pré-condicionamento com as curvas de absorção da secagem a 110°C (Argamassa B, CEM) - 72 horas.

Argamassa C (CAL):

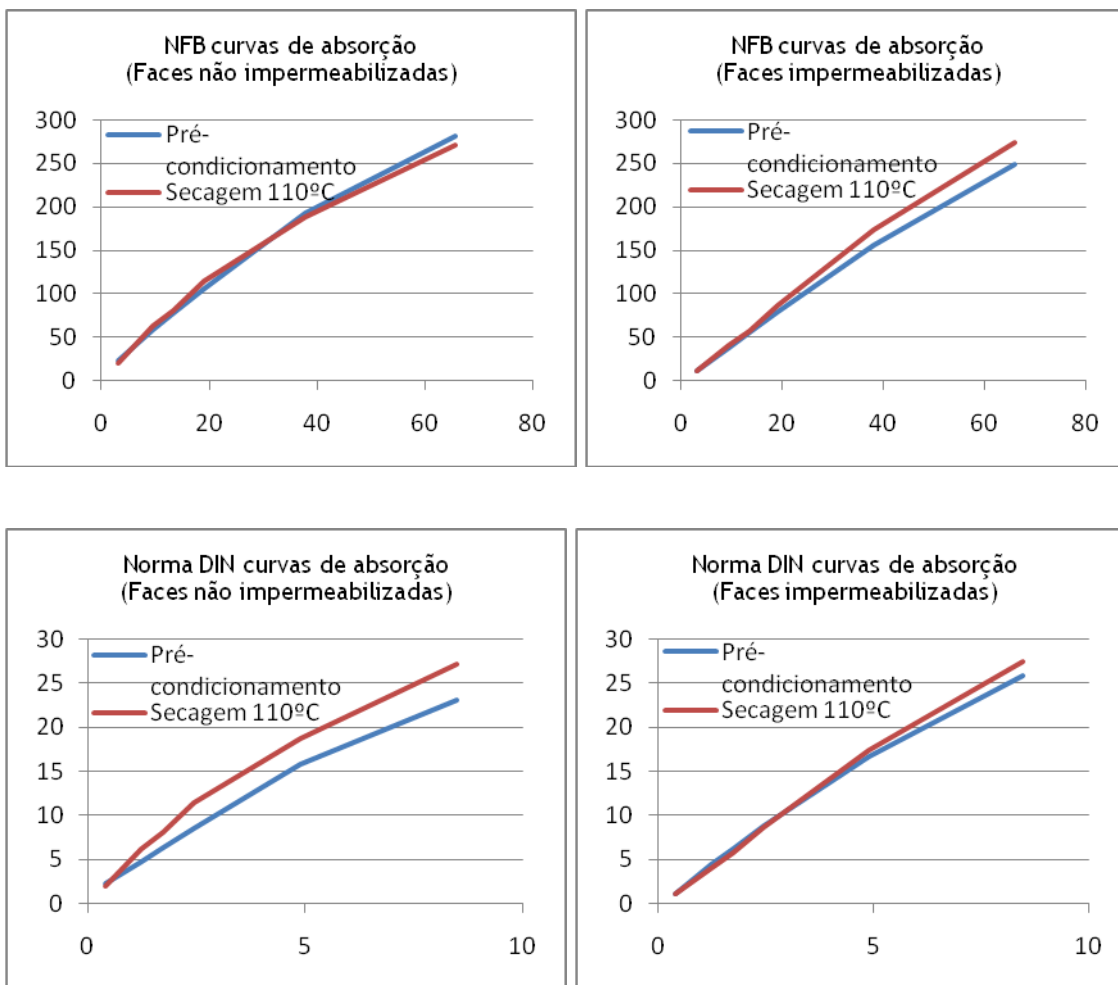


Figura 4.25 - Comparação das curvas de absorção do pré-condicionamento com as curvas de absorção da secagem a 110°C (Argamassa C, CAL) - 72 horas.

Argamassa D (METAC):

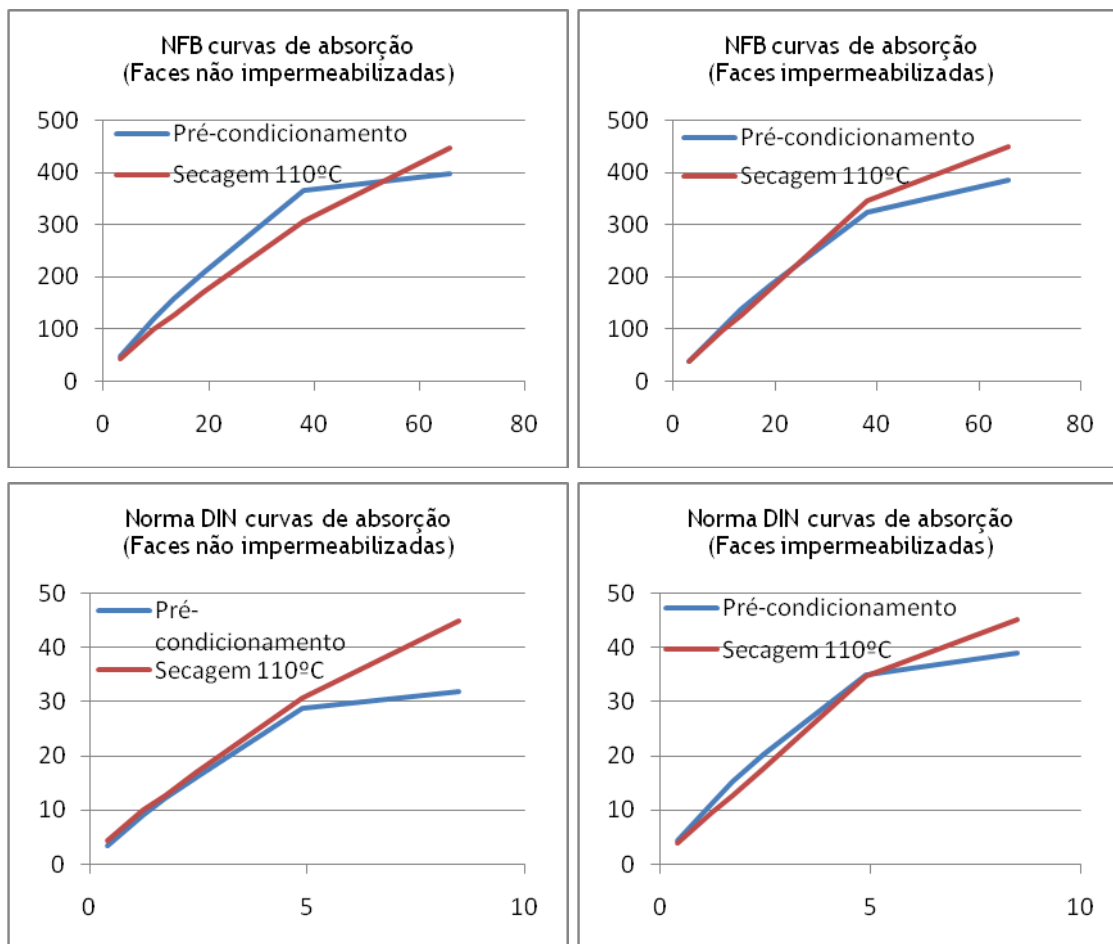


Figura 4.26 - Comparação das curvas de absorção do pré-condicionamento com as curvas de absorção da secagem a 110°C (Argamassa D, METAC) - 72 horas.

Argamassa E (GEO):

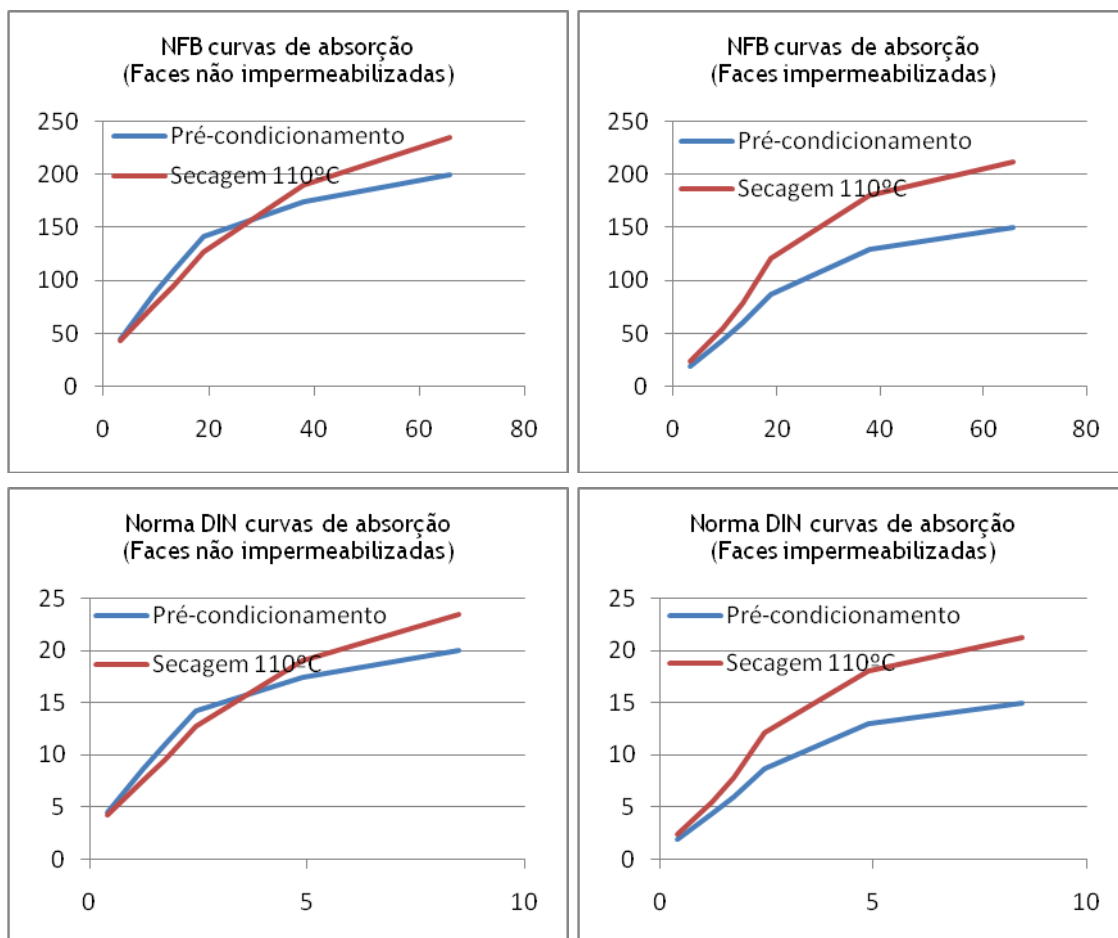


Figura 4.27 - Comparação das curvas de absorção do pré-condicionamento com as curvas de absorção da secagem a 110°C (Argamassa E, GEO) - 72 horas.

Quadro 4.9 - Síntese dos coeficientes de capilaridade e coeficientes de absorção das várias argamassas.

	Tipo de Argamassa	Coeficiente de capilaridade [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]		Coeficiente de absorção [kg/m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> ]	
		Faces não Impermeabilizadas	Faces Impermeabilizadas	Faces não Impermeabilizadas	Faces Impermeabilizadas
Pré-condicionamento	A	2,80	2,31	2,17	1,79
	B	4,66	3,24	3,61	2,51
	C	5,08	4,09	3,94	3,17
	D	9,66	8,51	7,48	6,59
	E	4,60	3,41	3,57	2,64
Secagem 110°C	A	3,70	2,39	2,87	1,85
	B	4,33	3,65	3,36	2,83
	C	4,95	4,57	3,83	3,54
	D	8,09	9,12	6,26	7,06
	E	5,00	4,75	3,88	3,68

Quadro 4.10 - Síntese dos coeficientes de absorção capilar das várias argamassas, obtidos através de linhas de tendência para as primeiras 6 horas do ensaio.

	Tipo de Argamassa	Coeficiente de absorção capilar [kg/m <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]	
		Faces não Impermeabilizadas	Faces Impermeabilizadas
Pré-condicionamento	A (MAPEI)	0,23	0,19
	B (CEM)	0,50	0,27
	C (CAL)	0,40	0,48
	D (METAC)	0,80	1,00
	E (GEO)	0,61	0,43
Secagem 110°C	A (MAPEI)	0,32	0,19
	B (CEM)	0,49	0,36
	C (CAL)	0,60	0,48
	D (METAC)	0,79	0,87
	E (GEO)	0,53	0,61

Para a análise final dos coeficientes de capilaridade optou-se por efectuar uma análise aos valores obtidos pelas linhas de tendência para as primeiras 6 horas do ensaio.

Como seria de esperar os valores referentes aos coeficientes de absorção capilar do ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova, quando sujeitos a secagem a 110°C

são superiores aos obtidos relativamente aos corpos de prova submetidos ao processo simplificado de pré-condicionamento. A exceção ocorre na argamassa D (METAC), quando as faces não se encontram impermeabilizadas e para a argamassa E (GEO) quando as faces se encontram impermeabilizadas.

Tendo em conta que se tratam de casos pontuais, em que os valores não são distantes, estes não têm efeitos práticos.

#### 4.5.1.4. Ensaio de determinação da Absorção de Água por Imersão com vácuo

A determinação da absorção de água por imersão com vácuo foi determinada de acordo com a metodologia apresentada no ponto 4.4.4. Os resultados referentes ao ensaio são apresentados no quadro 4.11.

Neste ensaio foi possível observar que a argamassa B (CEM) foi a que absorveu menos água. Tal como era de esperar, isto deve-se principalmente ao facto de esta argamassa ser mais densa, sendo composta apenas por um tipo de ligante, o cimento. Isso faz com que esta seja menos permeável à água. As argamassas mais permeáveis continuam a ser a D (METAC) e a E (GEO). Isto pode dever-se mais uma vez ao facto destas argamassas serem muito porosas. As restantes duas argamassas apresentam valores bastante semelhantes.

Quadro 4.11 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão com vácuo nas várias argamassas.

Tipo de argamassa	Absorção de água por imersão com vácuo [%]	S	Cv [%]
A (MAPEI)	14,16	0,60	4,21
B (CEM)	10,46	0,22	2,15
C (CAL)	14,47	0,50	3,44
D (METAC)	18,82	1,34	7,10
E (GEO)	15,32	1,26	8,25

NOTA: S - Desvio padrão; Cv - Coeficiente de variação.

#### 4.5.1.5. Ensaio de determinação da Permeabilidade ao Oxigénio

No ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio das argamassas foi seguida a metodologia proposta no ponto 4.4.5. Os valores obtidos do ensaio são apresentados no quadro 4.12.

Tal como foi possível constatar através do ensaio do teor de humidade, a argamassa A (MAPEI) é uma argamassa bastante “transpirável”. Apesar de os seus constituintes serem de dimensões menores que as restantes argamassas, como é visível no quadro 4.12, esta argamassa é bastante permeável ao oxigénio. Isto faz com que esta argamassa seja bastante susceptível a trocas gasosas, variando facilmente o teor de humidade presente nela. Como se pode comprovar pelos resultados, a argamassa B (CEM) em que o cimento é o único ligante, é

a menos permeável ao oxigénio. Isto vem comprovar a teoria de que esta argamassa é a menos “transpirável”. A mais permeável ao oxigénio é a argamassa D (METAC), sendo que reforça a ideia de esta ser bastante porosa e susceptível a trocas gasosas.

Quadro 4.12 - Resultados do ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio nas várias argamassas.

Tipo de argamassa	Permeabilidade ao oxigénio x 10 <sup>-16</sup> [m <sup>2</sup> ]	S x 10 <sup>-16</sup>	Cv [%]
A (MAPEI)	11,17	2,70	24,20
B (CEM)	2,28	0,39	16,95
C (CAL)	3,31	0,24	7,25
D (METAC)	26,88	2,55	9,47
E (GEO)	-	-	-

NOTA: S - Desvio padrão; Cv - Coeficiente de variação.

A argamassa E (GEO) devido a ser constituída por um ligante geopolimérico é mais porosa que as restantes argamassas. Por conseguinte, tendo se verificado que não é possível determinar o fluxo de oxigénio no equipamento existente por ser demasiadamente rápido, mesmo a baixas pressões, a medição da permeabilidade nestas argamassas por este método não tem efeitos práticos. Trata-se de uma permeabilidade muito elevada.

#### 4.5.1.6. Ensaio de determinação da Permeabilidade à Água

Como foi referido no ponto 4.4.6., o ensaio de permeabilidade à água foi efectuado na sequência do ensaio de permeabilidade ao oxigénio e segue a metodologia proposta nesse ponto. Os resultados obtidos nesse ensaio são apresentados no quadro 4.13.

Quadro 4.13 - Resultados do ensaio de determinação da permeabilidade à água nas várias argamassas.

Tipo de argamassa	Permeabilidade à água x 10 <sup>-16</sup> [m <sup>2</sup> ]	S x 10 <sup>-16</sup>	Cv [%]
A (MAPEI)	2,57	0,24	9,30
B (CEM)	1,03	0,28	27,00
C (CAL)	1,54	0,11	6,94
D (METAC)	4,23	0,06	1,45
E (GEO)	-	-	-

NOTA: S - Desvio padrão; Cv - Coeficiente de variação.

Os resultados deste ensaio estão de acordo com os do ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio. A argamassa B (CEM) continua a ser a menos permeável, mesmo

tendo em conta que desta vez se trata de um fluido. Os valores obtidos do ensaio indicam que a argamassa D (METAC) é a mais permeável à água sob pressão. As restantes duas apresentam valores intermédios, sendo que a argamassa A (MAPEI) é mais permeável à água sob pressão que a argamassa C (CAL).

Relativamente à argamassa E (GEO), tal como no ensaio da determinação da permeabilidade ao oxigénio sobre pressão, não se consideram os resultados obtidos neste ensaio, devido à elevada porosidade que esta apresentava.

## 4.5.2. Betão

### 4.5.2.1. Ensaio de verificação da resistência à compressão

Seguindo a metodologia descrita no ponto 4.4.1. foi possível obter os valores das tensões de rotura do betão C25/30 à compressão. Os valores apresentam-se no quadro 4.14.

Quadro 4.14 - Resistência à compressão do betão.

	Tensão de rotura [Mpa]	Carga máxima [kN]	S	Cv [%]
Betão C25/30	31,59	710,78	0,51	0,07

NOTA: S - Desvio padrão; Cv - Coeficiente de variação.

Os resultados apresentados são a média dos resultados obtidos no ensaio de dois corpos de prova cúbicos com 15cm de aresta.

Tendo por base valores obtidos por outros autores, pode classificar-se que a resistência deste betão aos 28 dias se encontra dentro do esperado [12, 59].

### 4.5.2.2. Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade

O ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade do betão seguiu a metodologia proposta no ponto 4.4.3. Tal como foi referido, ao contrário das argamassas não se efectuaram pesagens dos corpos de prova aos 10 e 90 minutos após o início do ensaio. Este ensaio baseou-se apenas na especificação do LNEC E 393 - 1993 - Betões e a determinação do coeficiente de absorção e do coeficiente de capilaridade nas normas DIN 52617 e NF B 10 - 502, respectivamente [12].

Os resultados dos coeficientes de capilaridade e absorção apresentados no quadro 4.15, resultam da média dos valores obtidos para 3 provetes de betão com 10cm de diâmetro e 15 cm de altura.

Quadro 4.15 - Coeficiente de capilaridade e coeficiente de absorção do betão.

	Coeficiente de capilaridade [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]	Coeficiente de absorção [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
Betão C25/30	0,65	0,51

Na figura 4.28 e 4.29 estão traçadas as curvas do betão referentes às respectivas normas.

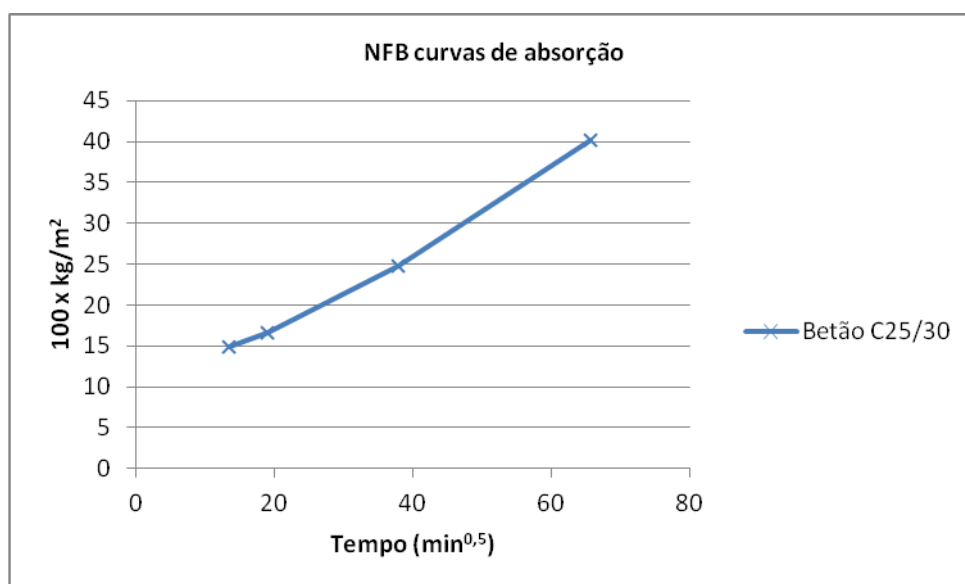


Figura 4.28 - Curva de absorção NFB - 72 horas.

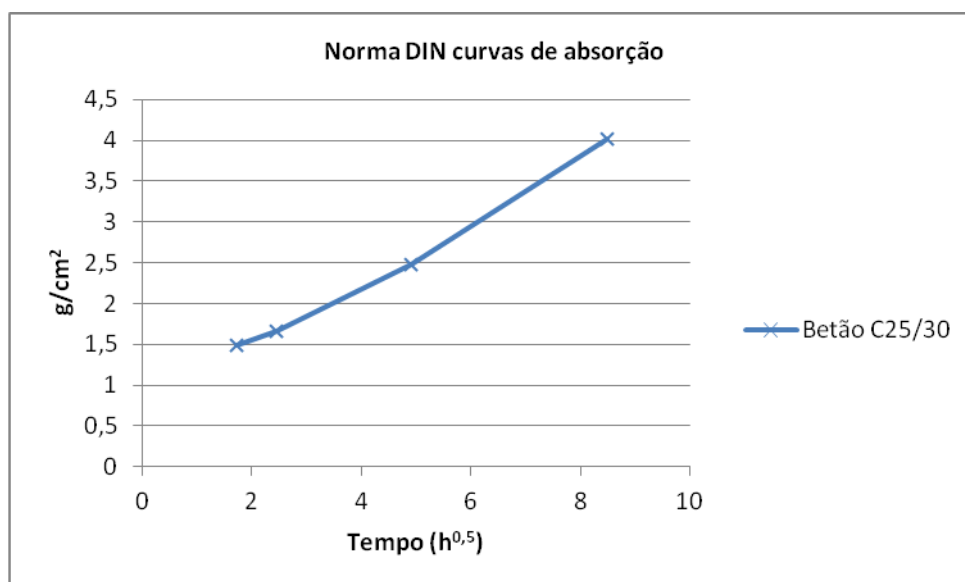


Figura 4.19 - Curva de absorção Norma DIN - 72 horas.

Tal como tinha sucedido com as argamassas, também no betão o coeficiente de absorção apresenta valores médios inferiores aos valores obtidos para o coeficiente de capilaridade. Sendo o betão um material mais impermeável que as argamassas, os coeficientes de absorção e capilaridade são menores que os das argamassas. Isto é visível pelo traçado das curvas de

absorção, uma vez que os corpos de prova continuam a absorver água linearmente ao longo do tempo.

Tal como para as argamassas, foi determinado um coeficiente de absorção capilar pelas linhas de tendência. Os valores para o mesmo encontram-se dentro do esperado (Quadro 4.16).

Quadro 4.16 - Coeficiente de capilaridade do betão obtido através da linha de tendência para as primeiras 6 horas do ensaio.

	Coeficiente de absorção capilar [kg/m <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
Betão C25/30	0,031

#### 4.5.2.3. Ensaio de determinação da Absorção de Água por Imersão com vácuo

O ensaio de determinação da absorção de água por imersão com vácuo decorreu tendo por base o pressuposto no ponto 4.4.4. Sendo que os valores apresentados no quadro 4.17 são a média dos valores relativos a 5 corpos de prova de betão.

Quadro 4.17 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão com vácuo no betão.

	Absorção de água por imersão com vácuo [%]	S	Cv [%]
Betão C25/30	8,52	0,76	8,97

NOTA: S - Desvio padrão; Cv - Coeficiente de variação.

Os resultados deste ensaio quando comparados com os obtidos por outros autores revelam que este betão é menos poroso e que resiste melhor à entrada de água na sua microestrutura. Pereira, para um betão da classe C 30/37, com 28 dias de cura obteve um valor médio de 14,67%. Já Lanzinha [12, 59], para um betão de classe C 20/25, com 28 dias de cura obteve um valor médio de 16,5%.

#### 4.5.2.4. Ensaio de determinação da Permeabilidade ao Oxigénio

Na determinação da permeabilidade ao oxigénio, o ensaio seguiu a metodologia proposta no ponto 4.4.5. Para este ensaio foram ensaiados 3 corpos de prova e os respectivos valores do ensaio são apresentados no quadro 4.18.

Quadro 4.18 - Resultados do ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio no betão.

	Permeabilidade ao oxigénio x 10 <sup>-16</sup> [m <sup>2</sup> ]	S	Cv
		x 10 <sup>-16</sup>	[%]
Betão C25/30	1,02	0,58	57,28

NOTA: S - Desvio padrão; Cv - Coeficiente de variação.

Tal como seria de esperar, a permeabilidade ao oxigénio do betão é inferior à das argamassas.

Tendo em conta os valores obtidos por outros autores, verifica-se que este betão é menos permeável ao oxigénio que os betões produzidos por estes. Pereira, para um betão C30/37, obteve um valor médio de 1,36 x 10<sup>-16</sup> m<sup>2</sup> [59].

#### 4.5.2.5. Ensaio de determinação da Permeabilidade à Água

Para a execução do ensaio de determinação da permeabilidade à água seguiu-se a metodologia sugerida no ponto 4.4.6. Para este ensaio, foram ensaiados 3 corpos de prova e a média dos resultados referentes a esses provetes encontram-se no quadro 4.19.

Quadro 4.19 - Resultados do ensaio de determinação da permeabilidade à água no betão.

	Permeabilidade à água 10 <sup>-16</sup> [m <sup>2</sup> ]	S	Cv
		x 10 <sup>-16</sup>	[%]
Betão C25/30	0,29	0,10	34,68

NOTA: S - Desvio padrão; Cv - Coeficiente de variação.

Seguindo a mesma lógica do ensaio de permeabilidade ao oxigénio também seria de esperar que, pelos mesmos motivos, as argamassas fossem mais permeáveis à água que o betão. Como se pode verificar os resultados obtidos foram precisamente os esperados. O betão é menos permeável que as argamassas devido à baixa permeabilidade e interconectividade entre os poros da sua microestrutura, em particular da fase de argamassa que o constitui. Entre outros, a dosagem de cimento e a baixa razão água/ligante contribuem certamente para este efeito.

Comparando os valores obtidos com os valores de outros autores, conclui-se que o betão ensaiado é muito menos permeável, pois relativamente aos resultados obtidos Pereira [59], para um betão C30/37, obteve um valor médio de 6,39 x 10<sup>-18</sup> m<sup>2</sup>.

### 4.5.3. Síntese dos resultados de caracterização de argamassas e betão

No quadro 4.20 apresenta-se um resumo das principais características hígricas das argamassas e betão, determinadas nos ensaios de caracterização.

Quadro 4.20 - Síntese dos resultados de caracterização de argamassas e betão.

Argamassa						Ensaio																						
						Compressão [kN]						Teor de humidade no interior [%]			Teor de humidade no exterior [%]			Coeficiente De Capilaridade [g/cm <sup>2</sup> minuto <sup>0,5</sup> ]		Coeficiente De Absorção [kg/m <sup>2</sup> hora <sup>0,5</sup> ]		Absorção de água por imersão com vácuo [%]		Permeabilidade ao Oxigénio x 10 <sup>-16</sup> [m <sup>2</sup> ]		Permeabilidade à água x 10 <sup>-16</sup> [m <sup>2</sup> ]		
E (GEO)	D (METAC)	C (CAL)	B (CEM)	A (MAPEI)		Fase 1			Fase 2			Fase 3			Pré-condicionamento		Secagem 110°C		Pré-condicionamento		Secagem 110°C		Absorção de água por imersão com vácuo [%]		Permeabilidade ao Oxigénio x 10 <sup>-16</sup> [m <sup>2</sup> ]		Permeabilidade à água x 10 <sup>-16</sup> [m <sup>2</sup> ]	
						Fases sem Imp.	Faces c/ Imp.	Fases sem Imp.	Faces c/ Imp.	Fases sem Imp.	Faces c/ Imp.	Fases sem Imp.	Faces c/ Imp.	Fases sem Imp.	Faces c/ Imp.	Fases sem Imp.	Faces c/ Imp.	Fases sem Imp.	Faces c/ Imp.	Absorção de água por imersão com vácuo [%]		Permeabilidade ao Oxigénio x 10 <sup>-16</sup> [m <sup>2</sup> ]		Permeabilidade à água x 10 <sup>-16</sup> [m <sup>2</sup> ]				
29,42	11,17	29,97	43,62	33,95		2,87	6,48	7,48	5,30	12,84	9,45	12,22	2,85	1,77	1,05	2,80	2,31	3,70	2,39	2,17	1,79	2,87	1,85	14,16	11,17	2,57		
0,34	2,03	4,26	3,41	3,46		1,29	2,03	4,30	3,41	3,46	2,13	1,18	2,05	4,66	3,24	4,33	3,65	3,61	2,51	3,36	2,83	10,46	2,28	1,03				
3,18	2,32	3,37	2,13	2,85		1,17	0,67	1,15	1,18	1,77	0,67	0,85	0,85	9,66	8,51	8,09	9,12	7,48	6,59	6,26	7,06	18,82	26,88	4,23				
5,31	0,85	1,38	2,05	1,05		5,31	9,66	5,08	4,66	2,80	2,31	3,70	2,39	2,17	1,79	2,87	1,85	14,16	11,17	2,57								
4,60	9,66	5,08	4,66	2,80		4,60	3,41	5,00	4,75	3,57	2,64	3,88	3,68	15,32	-	-	0,29											
0,65	0,51	8,52	1,02	0,29																								

Após analisar todos os resultados dos ensaios referentes às argamassas, pode-se concluir que numa perspectiva de reparação de anomalias, a argamassa mais indicada seria a argamassa comercial pré-doseada. A argamassa A (MAPEI) revela ser bastante “transpirável”, uma vez que, no ensaio de permeabilidade ao oxigénio é facilmente atravessada por este. Com isto concluí-se que esta argamassa permite as trocas gasosas, sendo que se assemelha com as argamassas utilizadas em edifícios mais antigos. Apesar destes aspectos positivos, esta argamassa é pouco permeável à água, sendo que neste aspecto difere um pouco das argamassas utilizadas nos edifícios antigos. As argamassas devem ser pouco permeáveis à água, no entanto, numa perspectiva de compatibilidade com as características dos locais onde esta argamassa é colocada, seria interessante verificar o seu funcionamento ao ser aplicada em edifícios antigos, uma vez que as argamassas aí utilizadas são mais permeáveis à água. Outro factor a favorável da aplicação desta argamassa tem a ver como facto desta não apresentar cimento na sua constituição e, devido a isso, evitar possíveis fenómenos de retracção.

A argamassa C (CAL), constituída por cal hidráulica, revelou características interessantes. Esta é mais permeável ao oxigénio que a argamassa B (CEM), constituída apenas por cimento e areia. Esta argamassa apresenta uma resistência à compressão menor que a argamassa B (CEM), o que poderá significar que é mais deformável e conseqüentemente mais compatível com o suporte onde será aplicada. No entanto, é mais permeável que a argamassa B (CEM), sendo que essa diferença não se revela muito significativa.

## **Capítulo 5 - Conclusões e trabalhos futuros**

**5.1. Conclusões**

**5.2. Trabalhos futuros**

## 5.1. Conclusões

Ao finalizar este trabalho, considera-se que os objectivos essenciais propostos no programa de trabalhos foram atingidos.

Na componente laboratorial, parte fundamental do trabalho, seguiu um conjunto de processos e normas diversificadas, exigindo empenho e coordenação de tarefas, para que todos os ensaios fossem realizados no tempo previsto e para que as medições fossem realizadas nos tempos adequados. Estas exigências normativas revelaram-se difíceis de cumprir, uma vez que, a exigência dos ambientes laboratoriais devidamente condicionados e a execução de alguns processos dos ensaios, são dos aspectos que tornam estes trabalhos de caracterização das propriedades hígricas dos materiais de difícil realização.

O processo simplificado do método de RILEM TC 116-PCD já tinha sido utilizado em betão por outros autores, sendo que neste trabalho foi aplicado novamente a um betão e pela primeira vez a cinco tipos diferentes de argamassas.

Quanto aos resultados obtidos podemos concluir que a aplicação do processo simplificado do pré-condicionamento RILEM TC 116-PCD é bastante benéfica quando se procura comparar o desempenho de diferentes tipos de argamassa. Este pré-condicionamento estabelece um teor médio de humidade distribuído uniformemente pelos corpos de prova, que ao serem posteriormente ensaiados permite distinguir com maior facilidade o desempenho destes.

No ensaio de resistência à compressão, tal como era de prever, a argamassa composta por cimento e areia foi a que evidenciou um melhor comportamento. A argamassa que continha cimento e metacaulino na sua constituição foi a que apresentou os piores resultados.

Através do ensaio de determinação do teor de humidade que foi determinado ao longo das várias etapas do pré-condicionamento, conclui-se que as argamassas compostas por cimento e por cimento e cal são pouco transpiráveis, uma vez que o teor de humidade varia pouco. As argamassas D (METAC) e E (GEO), são que mais sofrem mais variações do teor de humidade. Tal como foi referido anteriormente, isto deve-se ao facto de estas serem mais porosas. A argamassa pré-doseada A (MAPEI), apresentou valores de humidade no seu interior sempre superiores ao das restantes argamassas, tal facto pode dever-se a esta ser composta por constituintes de textura mais fina e consequentemente apresentar maior superfície específica e maior número de poros de menor dimensão, para conter água no interior.

No ensaio de absorção de água por capilaridade, apesar de terem sido utilizadas normas diferentes e as argamassas terem sido sujeitas a ambientes de humidade relativa diferentes, foi possível concluir que a argamassa A (MAPEI) é a que apresenta coeficientes de absorção e coeficientes de capilaridade mais baixos.

Por outro lado, a argamassa constituída por cimento e metacaulino foi a que apresentou coeficientes de absorção e capilaridade maiores.

Relativamente ao ensaio de absorção de água por imersão com vácuo, a argamassa que absorveu menos água foi a argamassa composta por cimento e areia B (CEM). A argamassa D (METAC) foi a que apresentou o maior coeficiente de absorção de água por imersão com vácuo.

No ensaio de determinação da permeabilidade ao oxigénio sob pressão, a argamassa que se mostrou menos susceptível à penetração do oxigénio foi a composta por cimento B (CEM). Como se sabe as argamassas constituídas por cimento são menos permeáveis. As argamassas D (METAC) e E (GEO) como são bastante porosas não foi possível determinar o seu coeficiente com muita precisão, sendo que são muito permeáveis ao oxigénio sob pressão.

Os resultados da permeabilidade à água sob pressão são idênticos ao ensaio anterior, sendo que a argamassa B (CEM) continua a ser a menos permeável e as argamassas D (METAC) e E (GEO) as mais permeáveis.

Numa perspectiva de comparação entre as várias argamassas preparadas para os ensaios, os valores recolhidos referentes aos ensaios foram na sua maioria dentro do esperado. A primeira série de argamassas A (MAPEI) obteve resultados que levam a considerar esta como uma opção bastante válida. De acordo com o seu catálogo, este tipo de argamassa é utilizada em obras de reabilitação e pelos resultados obtidos comprova-se que se trata de uma argamassa permeável às trocas gasosas e pouco permeável à água. Na resistência à compressão também apresentou valores bastante satisfatórios, sendo a segunda argamassa com maiores valores.

A segunda série de argamassa (traço 1:3 composta por cimento e areia), como seria de esperar, revelou-se a mais resistente ao ensaio de compressão. Relativamente aos outros ensaios de determinação das propriedades hígricas, também revelou um comportamento ao que seria de esperar destas argamassas, ou seja, mostrou ser pouco permeável à água e ao oxigénio.

Relativamente à argamassa que contem cal hidráulica C (CAL), mostrou ser uma alternativa bastante válida às argamassas constituídas apenas por cimento. Esta argamassa apesar de ser menos resistente e ser um pouco mais permeável à água, também é mais permeável ao oxigénio sob pressão. Como foi referido anteriormente, uma argamassa deve ser pouco permeável à água e mais permeável ao oxigénio, pelo que é possível concluir que a mistura de cal hidráulica com cimento é benéfica.

A argamassa constituída por metacaulino D (METAC) apresentou resultados aquém do esperado. Revelou ser uma argamassa muito porosa, e conseqüentemente muito permeável à água. Também na resistência à compressão apresentou valores pouco satisfatórios. Estes resultados podem dever-se ao facto de durante a amassadura se ter juntado água em excesso que possa ter levado à formação de inúmeros vazios, contribuindo para uma maior porosidade.

Por fim, na argamassa efectuada a partir de resíduos das minas da Panasqueira E (GEO), os resultados obtidos foram bastante curiosos, uma vez que apesar de ser uma argamassa bastante porosa e permeável tanto à água como ao oxigénio, no ensaio de absorção de água

por capilaridade apresenta coeficientes bastante baixos. Isto deve-se ao facto de existirem muitos vazios e a água ascender muito rapidamente, dando-se a saturação desta muito rapidamente. Quanto à resistência à compressão, obteve valores bastantes satisfatórios. Em suma, a argamassa comercial pré-doseada A (MAPEI), é a mais indicada para reparação de anomalias. Tal como já foi referido anteriormente, esta argamassa possui as características que mais se assemelham às argamassas dos edifícios antigos. Esta revela ser bastante transpirável e devido a não conter cimento na sua constituição evita possíveis fenómenos de retracção.

A argamassa que apresenta cal hidráulica na sua constituição C (CAL), revelou características bastante favoráveis, daí que a sua aplicação seria de considerar em detrimento de argamassas apenas constituídas por cimento.

Os resultados dos ensaios realizados nas argamassas e no betão C25/30 são satisfatórios quando comparados com os obtidos por outros autores.

## 5.2. Trabalhos futuros

Devido à humidade ser a patologia que mais se manifesta nas edificações, as propriedades hígricas são um campo de estudo bastante vasto. Por conseguinte, surgem várias sugestões para trabalhos futuros de forma a contribuir para o estudo do problema.

Na sequência da realização deste trabalho outras investigações poderão ser realizadas, em seguida apresenta-se algumas propostas para o seu desenvolvimento:

- Averiguar se as medições efectuadas com os processos padrão de ensaio em laboratório são verdadeiramente indicativos das propriedades do material na obra.
- Necessidade de estender estes ensaios de determinação das propriedades hígricas a outros grupos de novos materiais.
- Aplicar o processo simplificado do pré-condicionamento RILEM TC 116-PCD em novos grupos de materiais.
- No caso das argamassas geopoliméricas, tentar desenvolver uma técnica de activação alcalina mais eficaz e que permita que estas argamassas sejam menos permeáveis à água.
- Aplicação da metodologia da balança de infra-vermelhos para a determinação do teor de humidade noutros materiais.
- Analisar as alterações dos materiais ao longo do tempo e como essas alterações vão influenciar o seu desempenho.



# Bibliografia

- [1] AZEVEDO, Simão Cabanita de; “Influência do teor de água no comportamento de materiais de construção”; Faculdade de Ciência e tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.
- [2] SOUSA, José Manuel Soares de; “Caracterização da capilaridade de revestimentos de fachada”; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1996.
- [3] RAMOS, Nuno M. Monteiro; “Modelação da variação da humidade relativa no interior de edifícios”; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2000.
- [4] MARTINS, André Miguel Malha Martins; “Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco”, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.
- [5] QUARESMA, Celestino F.; “Materiais de construção”, Universidade de Coimbra, Coimbra, 1995.
- [6] BOTAS, Sandro M. dos Santos; “Avaliação do comportamento de argamassas em climas frios”; Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.
- [7] PENAS, Filipa Ezequiel; “Argamassas de Cal Hidráulica para revestimentos de paredes”; Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.
- [8] TORGAL, Fernando Pacheco, JALALI, Said e COELHO, Ana Z.; “Desempenho comparado entre argamassas comerciais para reabilitação e argamassas de cal aérea e metacaulino”; Universidade do Minho, Guimarães.
- [9] AGOSTINHO, Cláudia S. A.; “Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea”, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.
- [10] GOMES, Francisco A. C. M.; “Argamassas pré-doseadas para rebocos de edifícios antigos”, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.
- [11] MIRANDA, Lina M. C. da Costa; “Estudo comparativo entre argamassas de revestimento à base de cimento com adição de cal hidráulica e de cal hidratada”; Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2009.
- [12] LANZINHA, João C. G.; “Propriedades Higrotérmicas de materiais de construção”; Universidade de Coimbra, Coimbra, 1998.

[13] CRUZ, Nuno T. C. Ceríaco; “Estudo da influência da granulometria das areias no desempenho de rebocos de ligante hidráulico”, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.

[14] VEIGA, Maria do Rosário da Silva; “Comportamento de argamassas de revestimento de paredes”; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1998.

[15] MARTINS, João Guerra e ASSUNÇÃO, Joaquim Soares; “Argamassas e rebocos”; 3ª edição, 2010.

[16] RATO, Vasco Nunes da Ponte Moreira; “Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas”; Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006.

[17] HENRIQUES, Fernando M. A. ; “Humidade em paredes”; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1994.

[18] MARTINS, João Guerra; “Betões - Elementos gerais, natureza e qualidade”; 3ª edição, 2010.

[19] COUTINHO, A. De Sousa; “Fabrico e propriedades do betão”, Volume I; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1997.

[20] COUTINHO, A. De Sousa; “Fabrico e propriedades do betão”, Volume III; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1997.

[21] MARTINS, João Guerra; “Patologia do betão reparação e reforço de estruturas”; 1ª edição, 2006.

[22] COSTA, António e APPLETON, Júlio; “Estruturas de betão I, Parte II - Materiais “; Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1998.

[23] QUINTELA, Marisa Betânia de Oliveira Antunes; “Durabilidade de revestimentos exteriores de parede em reboco monocamada”; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.

[24] SOUZA, Vicente Custódio Moreira e RIPPER, Thomaz; “Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto”, São Paulo, 1998.

[25] FREITAS, Vasco Peixoto de, et al. ; “Humidade na construção”, 6ªs Jornadas de Construções Cívicas; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1998.

[26] RAMOS, Nuno M. Monteiro; “A importância da inércia higroscópica no comportamento higrotérmico dos edifícios”; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2007.

[27] PHILIPPI, P.C., FERNANDES, C.P., YUNES, P.P.; “Higroscopicidade e capilaridade nos materiais de construção”; Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

[28] FILHO, Juarez Hoppe; “Efeitos da adição de cal hidratada sobre a permeabilidade ao Oxigénio e absorção capilar de concreto com altos teores de adições minerais”; Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2002.

[29] TEIXEIRA, Ana S. M. dos Santos Guimarães; “Caracterização experimental do funcionamento de sistemas de ventilação da base das paredes para tratamento da humidade ascensional”; Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, Porto, 2007.

[30] ANDRADE, Jorge F. M. Corte-Real; “ Diagnóstico e tratamento de humidades em edifícios através de um sistema pericial”; Dissertação para obtenção do grau de mestre, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1994.

[31] FREITAS, Vasco Peixoto de, et al.; “Humidade ascensional”; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

[32] MARTINS, João Guerra; “Identificação e tratamento de patologias em edifícios”; 1ª edição, 2005.

[33] SILVA, Ana Catarina Moio da; “Humidade ascensional - determinação das propriedades físicas e higrotérmicas de alguns materiais”; Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2008.

[34] PALHA, Filipe M. do C. F. B. ; “Tecnologia e reabilitação de estuques correntes em paramentos interiores”; Dissertação para obtenção de Grau de Mestre, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.

[35] MENDONÇA, Luís V.; “Condensações em edifícios”; Engenharia & Vida, nº63, Setembro 2005, p.71-74.

[36] GARCEZ, Nuno F. da S. ; “Sistema de inspecção e diagnóstico de revestimentos exteriores de coberturas inclinadas”; Dissertação para obtenção de Grau de Mestre, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

[37] PALMA, António M. O. C. ; “Principais métodos de diagnóstico de anomalias de paredes de edifícios antigos. Exemplos de aplicação” ; Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

[38] ALMEIDA, Gonçalo T. L.; “Análise de soluções construtivas para a verificação de requisitos térmicos e acústicos em edifícios de habitação”; Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

[39] MENDONÇA, Luís V.; “Termografia por infravermelhos - Inspeção de betão”; Engenharia & Vida, nº16, Setembro 2005, p.53-57.

[40] PINTO, Manuel; “Física das construções”; Escola Superior de Tecnologias e Gestão, Viseu.

[41] MARTINS, João Guerra e Rosa, Celina Capitão; “Reabilitação da envolvente vertical opaca de edifícios”; 1ª edição, 2005.

[42] BRANCO, J. Paz; “Manual do pedreiro”; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1981.

[43] TAVARES, Edson Miguel da Silva; “Reacção Pozolânica de Metacaulinos e Diatomites em Argamassas de Reabilitação”; Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.

[44] SAMPAIO, Joaquim, COUTINHO, J. Sousa, SAMPAIO, M. Noémia; “Melhoria do desempenho de betões pelo metacaulino”; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

[45] DUXSON, P., FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A., PROVIS, J.L., LUKEY, G.C., PALOMO, A. and van DEVENTER, J.S.J. (2007), Geopolymer Technology: The current state of art. Journal of Materials Science, 42, 2817-2933.

[46] TORRAL, Fernando Pacheco, GOMES, J.P. Castro, JALALI, Said; “Argamassa Antigas: Reacção Pozolânica ou Activação Alcalina?”.

[47] TORRAL, F. Pacheco, GOMES, J.P. Castro, JALALI, S. (2008), Investigations on mix design of tungsten mine waste geopolymeric binder, Construction and Building Materials, Volume 22, Issue 9, 1939-1949.

[48] TORRAL, F. Pacheco; GOMES J.P. Castro and JALALI, Said (2006), Adhesion characterization of tungsten mine waste geopolymeric binder. Influence of OPC concrete substrate surface treatment, Construction and Building Materials (IF 1.456), Volume 22, Issue 3, March 2008, Pages 154-161.

[49] LNEC, Especificação E 254 - 1971 - *Inertes para argamassas e betões. Análise granulométrica.*

[50] BRAZÃO, J.S. Farinha e REIS, A. Correia dos; “Tabelas técnicas”, 1993.

[51] LOURENÇO, Ricardo Gonçalo Marques; “Desempenho de argamassas para reabilitação de revestimentos de fachadas desagregadas sob acção gelo/degelo”; Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2010.

[52] RILEM TECHNICAL COMMITTEES - RILEM TC 116 - PCD: Permeability of concrete as a criterion of its durability.

[53] GOMES, J.P. Castro, WANG, D., OLIVEIRA, L.A. Pereira de, FERREIRA, R.M.; “Study of preconditioning procedures for absorption and permeability of concrete”; International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, 2011.

[54] LNEC, Especificação E 226 - 1968 - Betão. Ensaio de Compressão.

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

[56] LNEC, Especificação E 393 - 1993 - Betões. Determinação da absorção de água por capilaridade.

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

[58] GOMES, J.P. Castro, OLIVEIRA, L.A. Pereira, PEREIRA, C.N. Gonilho, TORRAL, F. Pacheco; “Ensaio de absorção e permeabilidade em agregados”; Universidade da Beira Interior, Covilhã.

[58] PEREIRA, Cristiana N. G., “Estudo da influência de diferentes tipos de agregados no betão estrutural: Durabilidade e zona de interface”, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2005.

[60] LNEC, Especificação E 392 - 1993 - Betões. Determinação da Permeabilidade ao Oxigénio.

# Anexos



Argamassa A		
	Tensão de rotura [kN]	Tensão média de rotura [kN]
P6	35	33,95
	32,8	
P9	35,1	
	33	
P13	34,2	
	33,6	

Argamassa B		
	Tensão de rotura [kN]	Tensão média de rotura [kN]
P3	-	43,62
	41,5	
P9	44,8	
	44,4	
P12	42	
	45,4	

Argamassa C		
	Tensão de rotura [kN]	Tensão média de rotura [kN]
P12	27,8	29,96666667
	29,6	
P13	31,6	
	31	
P14	31,3	
	28,5	

Argamassa D		
	Tensão de rotura [kN]	Tensão média de rotura [kN]
P12	10,6	11,16666667
	10,6	
P13	11,3	
	12,1	
P14	11,3	
	11,1	

Argamassa E		
	Tensão de rotura [kN]	Tensão média de rotura [kN]
P4	31,5	29,41666667
	34,8	
P5	25,7	
	31,4	
P6	28	
	25,1	

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso*100/s em função do tempo						C [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
				3,162278	9,486833	13,41641	18,97367	37,947332	65,726707	
Argamassa A (s/imp)	P5	16,201	525,1	11,11073	29,62861	37,03577	49,38102	106,1692	182,70978	2,797727288
	P7	15,668	537,9	10,21168	30,63504	35,74088	47,52923	105,30795	176,15147	2,775167081
	P8	16,133	524,6	10,53719	32,2314	39,04959	53,0846	115,28926	194,00826	3,038201434
	P10	15,734	539,1	10,80451	27,96462	34,95578	46,91197	105,50289	184,94783	2,780274626
	P15	15,734	525,1	10,16895	27,96462	33,0491	41,35661	99,78285	178,59224	2,629536845
Argamassa A (c/imp)	P1	16,4	525,1	14,02439	30,4878	36,58537	48,1465	95,731707	168,90244	2,522751995
	P2	16,268	537,9	11,67973	27,04779	31,96558	41,97387	83,602274	148,76287	2,203045661
	P3	16	524,6	10,625	25,625	30,625	39,50482	84,375	159,375	2,22347648
	P4	16,087	539,1	9,958506	26,76349	32,36515	42,59113	91,493776	163,69295	2,408025197
	P16	15,8	525,1	13,29114	27,21519	32,91139	40,73934	83,544304	148,10127	2,201585713

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso [Kg] /m2 em função do tempo						A [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
				0,408252	1,224745	1,732051	2,44949	4,8989795	8,4852814	
Argamassa A (s/imp)	P5	16,201	525,1	1,111043	2,96278	3,703475	4,937967	10,616629	18,270477	2,167110239
	P7	15,668	537,9	1,02119	3,063569	3,574164	4,914475	10,531019	17,615522	2,149635178
	P8	16,133	524,6	1,053741	3,223207	3,905039	5,330689	11,529164	19,401227	2,353380711
	P10	15,734	539,1	1,080463	2,796492	3,495615	4,830304	10,5504	18,494979	2,153591465
	P15	15,734	525,1	1,016906	2,796492	3,304945	4,258294	9,9783907	17,859413	2,036830482
Argamassa A (c/imp)	P1	16,4	525,1	1,402439	3,04878	3,658537	4,756098	9,5731707	16,890244	1,954115293
	P2	16,268	537,9	1,167937	2,704696	3,196459	4,179985	8,3599705	14,87583	1,706471831
	P3	16	524,6	1,0625	2,5625	3,0625	4	8,4375	15,9375	1,722297475
	P4	16,087	539,1	0,994592	2,672966	3,232424	4,289178	9,1378131	16,348604	1,865248297
	P16	15,8	525,1	1,329114	2,721519	3,291139	4,177215	8,3544304	14,810127	1,70534096

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso*100/s em função do tempo						C [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
				3,162278	9,486833	13,41641	18,97367	37,947332	65,726707	
Argamassa B (s/imp)	P1	15,667	608,1	23,61702	60	75,95745	103,4043	180,6383	231,70213	4,760135837
	P5	16	602,3	20,625	50,625	63,125	84,375	151,875	218,75	4,002257664
	P7	15,601	601,1	17,94712	49,99555	65,37879	91,65851	170,49764	221,13416	4,493119339
	P12	15,8	603,4	20,25316	58,22785	75,31646	103,1646	194,93671	220,88608	5,13703333
	P13	15,6	591,5	21,15385	57,69231	73,07692	100,641	186,53846	232,05128	4,915720081
Argamassa B (c/imp)	P2	15,932	608,1	8,78753	26,36259	35,7778	51,46982	107,3334	179,51669	2,828424345
	P4	15,799	602,3	10,12729	36,07849	49,37056	71,52402	133,5537	196,84929	3,519424153
	P6	15,6	601,1	7,692308	29,48718	41,02564	60,25641	132,69231	217,30769	3,496749336
	P8	15,47	603,4	7,756949	26,50291	36,1991	52,35941	102,77957	155,13898	2,708479573
	P10	15,6	591,5	11,53846	37,17949	48,71795	69,87179	138,46154	217,30769	3,648781916

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso [Kg] /m2 em função do tempo						A [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
				0,408252	1,224745	1,732051	2,44949	4,8989795	8,4852814	
Argamassa B (s/imp)	P1	15,667	525,1	2,361652	5,999872	7,595583	10,34021	18,063445	23,16972	3,687185364
	P5	16	537,9	2,0625	5,0625	6,3125	8,4375	15,1875	21,875	3,100135456
	P7	15,601	524,6	1,794757	4,99968	6,538042	9,166079	17,050189	22,113967	3,480355274
	P12	15,8	539,1	2,025316	5,822785	7,531646	10,31646	19,493671	22,088608	3,979128907
	P13	15,6	525,1	2,115385	5,769231	7,307692	10,0641	18,653846	23,205128	3,807700401
Argamassa B (c/imp)	P2	15,932	525,1	0,878735	2,636204	3,577705	5,146874	10,733116	17,951293	2,190888076
	P4	15,799	537,9	1,012722	3,607823	4,937021	7,152351	13,355276	19,68479	2,726134226
	P6	15,6	524,6	0,769231	2,948718	4,102564	6,025641	13,269231	21,730769	2,708570389
	P8	15,47	539,1	0,775695	2,650291	3,61991	5,235941	10,277957	15,513898	2,097979256
	P10	15,6	525,1	1,153846	3,717949	4,871795	6,987179	13,846154	21,730769	2,826334319

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso*100/s em função do tempo						C [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
				3,162278	9,486833	13,41641	18,97367	37,947332	65,726707	
Argamassa C (s/imp)	P1	15,733	585,3	23,51695	59,11017	79,44915	108,0508	195,12712	287,92373	5,142160012
	P5	16,267	579,8	23,97541	60,2459	79,91803	106,9672	200,40984	277,2541	5,281154675
	P6	16	585,5	20	56,875	76,875	101,875	185	273,75	4,875178059
	P7	15,867	587	20,79832	56,09244	75,63025	101,4706	187,81513	282,35294	4,949259169
	P8	16	592,4	23,125	60	79,375	108,75	195,625	284,375	5,155171394
Argamassa C (c/imp)	P2	16,133	585,3	12,39669	37,80992	54,54545	75,61983	148,76033	239,2562	3,920259915
	P3	16	579,8	8,75	33,125	49,375	73,125	141,875	227,5	3,738734525
	P4	16	585,5	11,25	36,875	55	80	158,125	255,625	4,166959625
	P9	15,801	587	13,29067	41,77068	60,12447	84,80714	167,08273	266,44633	4,402892761
	P10	16	592,4	13,125	42,5	60	83,75	160,625	255	4,23284041

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso [Kg] /m2 em função do tempo						A [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
				0,408252	1,224745	1,732051	2,44949	4,8989795	8,4852814	
Argamassa C (s/imp)	P1	15,733	525,1	2,351745	5,911142	7,945084	10,80531	19,513125	28,792983	3,983100018
	P5	16,267	537,9	2,397492	6,024467	7,99164	10,6965	20,040573	27,724842	4,090764821
	P6	16	524,6	2	5,6875	7,6875	10,1875	18,5	27,375	3,776296687
	P7	15,867	539,1	2,079788	5,609126	7,562866	10,14685	18,781118	28,234701	3,833679667
	P8	16	525,1	2,3125	6	7,9375	10,875	19,5625	28,4375	3,993178591
Argamassa C (c/imp)	P2	16,133	525,1	1,239695	3,78107	5,454658	7,56214	14,87634	23,926114	3,036620272
	P4	16	537,9	0,875	3,3125	4,9375	7,3125	14,1875	22,75	2,89601131
	P6	16	524,6	1,125	3,6875	5,5	8	15,8125	25,5625	3,227713046
	P8	15,801	539,1	1,32903	4,176951	6,012278	8,480476	16,707803	26,643883	3,410466068
	P10	16	525,1	1,3125	4,25	6	8,375	16,0625	25,5	3,278744083

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso*100/s em função do tempo						C [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
				3,162278	9,486833	13,41641	18,97367	37,947332	65,726707	
Argamassa D (s/imp)	P1	15,535	548,6	41,841	107,4992	145,478	191,8249	343,73994	395,88027	9,058342831
	P2	15,21	534,2	46,67982	120,3156	161,7357	213,0178	378,69822	399,07955	9,97957447
	P4	15,21	538,6	47,99474	120,973	163,0506	213,6752	375,41091	396,4497	9,892946219
	P5	15,21	538	50,62459	123,6029	166,9954	216,9625	387,24523	399,73702	10,20480792
	P11	15,275	535,1	48,44517	121,1129	159,7381	206,2193	348,28151	392,79869	9,178023542
Argamassa D (c/imp)	P3	15,667	548,6	31,91489	88,08511	122,5532	164,6809	303,82979	386,17021	8,006447556
	P7	15,535	534,2	45,70325	129,3853	177,6633	234,9533	382,36241	393,30544	10,07613416
	P8	16,133	538,6	40,9112	103,5177	140,0899	183,4806	327,9095	379,35844	8,640906229
	P9	15,732	538	31,14682	85,17701	116,3238	155,7341	286,67785	382,02525	7,554597978
	P10	15,471	535,1	39,42903	100,1885	133,8002	176,4611	314,13951	387,82656	8,27821377

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso [Kg] /m2 em função do tempo						A [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
				0,408252	1,224745	1,732051	2,44949	4,8989795	8,4852814	
Argamassa D (s/imp)	P1	15,535	525,1	4,1841	10,74992	14,5478	19,18249	34,373994	39,588027	7,016562186
	P5	15,21	537,9	4,667982	12,03156	16,17357	21,30178	37,869822	39,907955	7,730145145
	P6	15,21	524,6	4,799474	12,0973	16,30506	21,36752	37,541091	39,64497	7,66304319
	P7	15,21	539,1	5,062459	12,36029	16,69954	21,69625	38,724523	39,973702	7,904610226
	P8	15,275	525,1	4,844517	12,11129	15,97381	20,62193	34,828151	39,279869	7,109266466
Argamassa D (c/imp)	P2	15,667	525,1	3,191421	8,808323	12,25506	16,46773	30,382332	38,6162	6,201767609
	P4	15,535	537,9	4,570325	12,93853	17,76633	23,49533	38,236241	39,330544	7,804939959
	P6	16,133	524,6	4,090994	10,35145	14,00855	18,34749	32,789934	37,934668	6,693217184
	P8	15,732	539,1	3,114671	8,517671	11,63234	15,57335	28,667684	38,20239	5,851766431
	P10	15,471	525,1	3,942861	10,01874	13,37987	17,64592	31,413613	38,782238	6,412276814

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso*100/s em função do tempo						C [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
				3,162278	9,486833	13,41641	18,97367	37,947332	65,726707	
Argamassa E (s/imp)	P8	15,600	572,2	36,53846	74,35897	94,87179	124,359	166,02564	191,02564	4,375159797
	P9	15,338	591,3	39,1191	81,49812	104,3176	134,9609	165,60417	191,03159	4,364053131
	P10	15,210	575,7	44,70825	84,1567	104,5384	140,042	176,86056	205,13195	4,660685
	P11	15,015	560,6	64,60206	112,5541	136,5301	168,4982	194,47219	217,11622	5,124792301
	P12	14,820	586,6	38,46154	84,34548	111,336	141,7004	170,71525	196,35628	4,498741835
Argamassa E (c/imp)	P13	15,275	611,4	15,05728	37,97054	55,64648	80,52373	117,83961	144,68085	3,105346311
	P14	15,076	621,1	17,90946	43,77867	60,36151	86,23072	133,32596	147,91885	3,513447624
	P15	15,015	599,6	23,31002	51,28205	68,59807	99,9001	137,19614	159,17416	3,615435664
	P16	15,010	620,2	19,32045	41,97202	55,29647	76,61559	121,91872	147,9014	3,212840394
	P17	15,142	613,1	18,49202	43,58833	60,09906	89,81838	136,70886	150,57788	3,602594803

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso [Kg] /m2 em função do tempo						A [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
				0,408252	1,224745	1,732051	2,44949	4,8989795	8,4852814	
Argamassa E (s/imp)	P8	15,600	572,2	3,653846	7,435897	9,487179	12,4359	16,602564	19,102564	3,388984206
	P9	15,338	591,3	3,91191	8,149812	10,43176	13,49609	16,560417	19,103159	3,38038102
	P10	15,210	575,7	4,470825	8,41567	10,45384	14,0042	17,686056	20,513195	3,610151077
	P11	15,015	560,6	6,460206	11,25541	13,65301	16,84982	19,447219	21,711622	3,969647047
	P12	14,820	586,6	3,846154	8,434548	11,1336	14,17004	17,071525	19,635628	3,484710442
Argamassa E (c/imp)	P13	15,275	611,4	1,505728	3,797054	5,564648	8,052373	11,783961	14,468085	2,405390909
	P14	15,076	621,1	1,790946	4,377867	6,036151	8,623072	13,332596	14,791885	2,721504827
	P15	15,015	599,6	2,331002	5,128205	6,859807	9,99001	13,719614	15,917416	2,800504423
	P16	15,010	620,2	1,932045	4,197202	5,529647	7,661559	12,191872	14,79014	2,488655468
	P17	15,142	613,1	1,849202	4,358833	6,009906	8,981838	13,670886	15,057788	2,790557935

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso*100/s em função do tempo						C [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
				3,162278	9,486833	13,41641	18,97367	37,94733192	65,7267069	
Argamassa A (s/imp)	P5A1	16,201	525,1	19,13515	40,12208	52,46734	73,45427	147,525805	274,681938	3,887539662
	P7A1	15,668	537,9	17,87044	37,01734	47,86725	65,09946	135,3047548	257,84491	3,565669219
	P8A1	16,133	524,6	20,45455	44,6281	58,26446	81,19835	158,677686	296,280992	4,181610576
	P10A2	15,734	539,1	15,25343	35,59134	48,30253	66,09819	133,467507	249,139346	3,517214888
	P15A2	15,734	525,1	14,61787	32,41354	41,31137	59,7426	127,747471	259,943859	3,366477107
Argamassa A (s/imp)	P1A1	16,4	525,1	12,80488	25	30,4878	43,90244	96,34146341	203,658537	2,538820479
	P2A1	16,268	537,9	12,90917	25,81835	33,19502	43,03058	87,90533272	166,589826	2,316437717
	P3A1	16	524,6	11,875	23,125	28,75	38,75	85,625	181,25	2,256416872
	P4A2	16,067	539,1	11,82573	25,51867	30,49793	41,70124	95,22821577	211,618257	2,509431765
	P16A2	15,8	525,1	9,493671	20,88608	28,48101	40,50633	89,24050633	178,481013	2,35169383

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso [Kg] /m2 em função do tempo						A [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
				0,408252	1,224745	1,732051	2,44949	4,898979486	8,48528137	
Argamassa A (s/imp)	P5A1	16,201	525,1	1,913462	4,012098	5,24659	7,345226	14,75217579	27,4674403	3,011275274
	P7A1	15,668	537,9	1,787082	3,701813	4,786827	6,510084	13,53076334	25,7850396	2,761955501
	P8A1	16,133	524,6	2,045497	4,462902	5,826567	8,120002	15,86809645	29,6287113	3,239061624
	P10A2	15,734	539,1	1,525359	3,559171	4,830304	6,609889	13,34689208	24,9141986	2,724422938
	P15A2	15,734	525,1	1,461802	3,241388	4,131181	5,974323	12,77488242	25,9946612	2,607661954
Argamassa A (c/imp)	P1A1	16,4	525,1	1,280488	2,5	3,04878	4,390244	9,634146341	20,3658537	1,966561887
	P2A1	16,268	537,9	1,290878	2,581756	3,3194	4,302926	8,790263093	16,6584706	1,79430494
	P3A1	16	524,6	1,1875	2,3125	2,875	3,875	8,5625	18,125	1,747812994
	P4A1	16,067	539,1	1,182548	2,551814	3,049729	4,170038	9,522624012	21,1613867	1,943797487
	P16A2	15,8	525,1	0,949367	2,088608	2,848101	4,050633	8,924050633	17,8481013	1,821614207

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso*100/s em função do tempo						C [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
				3,162278	9,486833	13,41641	18,97367	37,94733192	65,7267069	
Argamassa B (s/imp)	P1	15,667	608,1	14,68085	53,61702	70,85106	94,46809	162,7659574	250,851064	4,289168333
	P5	16	602,3	16,25	49,375	66,25	87,5	154,375	223,75	4,068138448
	P7	15,601	601,1	14,74228	49,35458	66,01976	89,7356	163,4469866	258,951304	4,307313652
	P12	15,8	603,4	15,82278	51,89873	71,51899	98,10127	175,3164557	270,886076	4,619994261
	P13	15,6	591,5	11,53846	48,07692	65,38462	92,30769	166,025641	255,128205	4,375159797
Argamassa B (s/imp)	P1	15,932	608,1	5,649126	22,59651	34,52244	53,98054	123,6531018	193,953342	3,258477169
	P5	15,799	602,3	6,962515	30,38188	44,93987	68,35924	139,2502989	214,572051	3,669541771
	P7	15,6	601,1	7,051282	28,20513	39,74359	64,10256	143,5897436	231,410256	3,783921987
	P12	15,47	603,4	7,110537	25,21008	36,84551	56,88429	122,1719457	183,581125	3,219513455
	P13	15,6	591,5	9,615385	35,89744	55,12821	80,12821	164,7435897	267,948718	4,341374779

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso [Kg] /m2 em função do tempo						A [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
				0,408252	1,224745	1,732051	2,44949	4,898979486	8,48528137	
Argamassa B (s/imp)	P1	15,667	525,1	1,468054	5,361588	7,084956	9,446608	16,27624944	25,0845727	3,322375505
	P5	16	537,9	1,625	4,9375	6,625	8,75	15,4375	22,375	3,151166492
	P7	15,601	524,6	1,474264	4,935581	6,602141	8,973784	16,34510608	25,8957759	3,336430808
	P12	15,8	539,1	1,582278	5,189873	7,151899	9,810127	17,53164557	27,0886076	3,578632166
	P13	15,6	525,1	1,153846	4,807692	6,538462	9,230769	16,6025641	25,5128205	3,388984206
Argamassa B (c/imp)	P2	15,932	525,1	0,564901	2,259603	3,452172	5,397941	12,36505147	19,3949284	2,524005562
	P4	15,799	537,9	0,696247	3,038167	4,493955	6,835876	13,92493196	21,4570542	2,842414833
	P6	15,6	524,6	0,705128	2,820513	3,974359	6,410256	14,35897436	23,1410256	2,931013367
	P8	15,47	539,1	0,711054	2,521008	3,684551	5,688429	12,21719457	18,3581125	2,493824399
	P10	15,6	525,1	0,961538	3,589744	5,512821	8,012821	16,47435897	26,7948718	3,362814444

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso*100/s em função do tempo						C [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
				3,162278	9,486833	13,41641	18,97367	37,94733192	65,7267069	
Argamassa C (s/imp)	P1	15,733	585,3	19,70339	62,28814	81,35593	111,2288	185,5932203	268,855932	4,890914409
	P5	16,267	579,8	19,67213	61,47541	81,7623	112,5	189,3442623	271,106557	4,989557178
	P6	16	585,5	19,375	60	78,125	108,125	185	270,625	4,875178059
	P7	15,867	587	18,90756	61,76471	80,67227	110,9244	185,9243697	266,596639	4,899434412
	P8	16	592,4	21,25	66,25	84,375	132,5	193,125	276,875	5,089290609
Argamassa C (c/imp)	P2	16,133	585,3	11,15702	44,00826	61,98347	92,97521	178,5123967	274,586777	4,704311898
	P3	16	579,8	6,25	23,75	36,25	60	137,5	235	3,623443152
	P4	16	585,5	13,125	42,5	60,625	90,625	176,875	278,125	4,66106551
	P9	15,801	587	11,392	43,66935	62,65602	94,93337	189,2338525	299,356563	4,986609605
	P10	16	592,4	12,5	48,75	66,875	97,5	185	283,75	4,875178059

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso [Kg] /m2 em função do tempo						A [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
				0,408252	1,224745	1,732051	2,44949	4,898979486	8,48528137	
Argamassa C (s/imp)	P1	15,733	525,1	1,970381	6,228946	8,135766	11,12312	18,55971525	26,8861628	3,788486011
	P5	16,267	537,9	1,967173	6,147415	8,176062	11,24977	18,93403824	27,1101002	3,864894371
	P6	16	524,6	1,9375	6	7,8125	10,8125	18,5	27,0625	3,776296687
	P7	15,867	539,1	1,890717	6,176341	8,067057	11,0922	18,59204639	26,6591038	3,795085577
	P8	16	525,1	2,125	6,625	8,4375	13,25	19,3125	27,6875	3,942147555
Argamassa C (c/imp)	P2	16,133	525,1	1,115726	4,400917	6,198475	9,297713	17,8516085	27,459245	3,643944327
	P4	16	537,9	0,625	2,375	3,625	6	13,75	23,5	2,806706997
	P6	16	524,6	1,3125	4,25	6,0625	9,0625	17,6875	27,8125	3,610445819
	P8	15,801	539,1	1,139168	4,366812	6,265426	9,49307	18,92285298	29,9348143	3,862611191
	P10	16	525,1	1,25	4,875	6,6875	9,75	18,5	28,375	3,776296687

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso*100/s em função do tempo						C [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
				3,162278	9,486833	13,41641	18,97367	37,94733192	65,7267069	
Argamassa D (s/imp)	P1	15,535	548,6	40,55359	95,91246	121,6608	162,2144	289,6684905	448,020599	7,63343497
	P2	15,21	534,2	43,3925	101,9066	130,835	176,1999	320,8415516	450,361604	8,454917259
	P4	15,21	538,6	44,70743	99,27679	124,2604	166,3379	303,7475345	446,416831	8,004450356
	P5	15,21	538	46,67982	109,1387	138,0671	186,7193	334,6482577	454,306377	8,818755912
	P11	15,275	535,1	41,89853	94,27169	118,4943	159,0835	285,4337152	439,279869	7,521838843
Argamassa D (c/imp)	P3	15,667	548,6	38,93617	106,5957	147,4468	202,3404	368,2978723	454,468085	9,705294621
	P7	15,535	534,2	40,55359	108,7866	144,1905	204,0554	410,041841	455,745092	10,80555128
	P8	16,133	538,6	34,71254	78,72307	101,0383	140,7097	287,6181621	438,245777	7,579169168
	P9	15,732	538	41,95286	102,9752	134,122	188,7879	361,6844707	452,582325	9,531189024
	P10	15,471	535,1	36,19715	84,02909	108,5914	149,3132	301,8583356	451,817937	7,954579898

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso [Kg] /m2 em função do tempo						A [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
				0,408252	1,224745	1,732051	2,44949	4,898979486	8,48528137	
Argamassa D (s/imp)	P1	15,535	525,1	4,055359	9,591246	12,16608	16,22144	28,96684905	44,8020599	5,912833303
	P5	15,21	537,9	4,33925	10,19066	13,0835	17,61999	32,08415516	45,0361604	6,549150748
	P6	15,21	524,6	4,470743	9,927679	12,42604	16,63379	30,37475345	44,6416831	6,200220585
	P7	15,21	539,1	4,667982	10,91387	13,80671	18,67193	33,46482577	45,4306377	6,830978956
	P8	15,275	525,1	4,189853	9,427169	11,84943	15,90835	28,54337152	43,9279869	5,826391314
Argamassa D (c/imp)	P2	15,667	525,1	3,893534	10,65935	14,74437	20,23361	36,82900364	45,4458416	7,517688887
	P4	15,535	537,9	4,055359	10,87866	14,41905	20,40554	41,0041841	45,5745092	8,36994403
	P6	16,133	524,6	3,471146	7,872063	10,10351	14,07054	28,76092481	43,8232195	5,870799193
	P8	15,732	539,1	4,195271	10,29748	13,41215	18,87872	36,16831935	45,2580727	7,382827272
	P10	15,471	525,1	3,619676	8,402818	10,85903	14,93116	30,18550837	45,181307	6,161591095

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso*100/s em função do tempo						C [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
				3,162278	9,486833	13,41641	18,97367	37,94733192	65,7267069	
Argamassa E (s/imp)	P8	15,600	548,6	34,61538	66,66667	82,05128	111,5385	177,5641026	228,846154	4,679224957
	P9	15,338	534,2	39,1191	73,02231	96,49377	136,9168	189,0756303	228,194726	4,982580347
	P10	15,210	538,6	42,07835	74,29458	94,01881	120,9753	181,4628801	232,745868	4,781966766
	P11	15,015	538	60,60606	93,90609	109,8901	142,5241	208,4582085	245,088245	5,493356131
	P12	14,820	535,1	37,11201	72,87449	92,44265	124,8313	192,9824561	237,516869	5,085534249
Argamassa E (c/imp)	P13	15,275	548,6	20,2946	50,40917	75,94108	118,4943	176,7594108	209,492635	4,658019467
	P14	15,076	534,2	23,21596	55,055	80,2609	120,723	185,0643967	211,596927	4,87687506
	P15	15,015	538,6	30,63603	65,26807	91,90809	137,1961	181,1521812	214,452214	4,77377913
	P16	15,010	538	22,65157	46,63558	65,28981	104,5969	176,5489674	213,857428	4,652473795
	P17	15,142	535,1	23,77545	54,81563	78,59108	124,1607	181,6180517	210,67694	4,786055897

Material	Provete nº	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso [Kg] /m2 em função do tempo						A [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
				0,408252	1,224745	1,732051	2,44949	4,898979486	8,48528137	
Argamassa E (s/imp)	P8	15,600	525,1	3,461538	6,666667	8,205128	11,15385	17,75641026	22,8846154	3,624512066
	P9	15,338	537,9	3,91191	7,302231	9,649377	13,69168	18,90756303	22,8194726	3,859490141
	P10	15,210	524,6	4,207835	7,429458	9,401881	12,09753	18,14628801	23,2745868	3,704095529
	P11	15,015	539,1	6,060606	9,390609	10,98901	14,25241	20,84582085	24,5088245	4,255135362
	P12	14,820	525,1	3,711201	7,287449	9,244265	12,48313	19,29824561	23,7516869	3,93923789
Argamassa E (c/imp)	P13	15,275	525,1	2,02946	5,040917	7,594108	11,84943	17,67594108	20,9492635	3,608086364
	P14	15,076	537,9	2,321596	5,5055	8,02609	12,0723	18,50643967	21,1596927	3,777611178
	P15	15,015	524,6	3,063603	6,526807	9,190809	13,71961	18,11521812	21,4452214	3,697753413
	P16	15,010	539,1	2,265157	4,663558	6,528981	10,45969	17,65489674	21,3857428	3,603790705
	P17	15,142	525,1	2,377545	5,481563	7,859108	12,41607	18,16180517	21,067694	3,707262957

Argamassa A				
	m <sub>sat</sub> [g]	m <sub>seco</sub> [g]	m <sub>im</sub> [g]	δ [%]
P5	158,2	145,6	72,5	14,70245
P9	156,9	145,1	74,2	14,26844
P2	157,3	145,4	69,3	13,52273
				14,16454

Argamassa B				
	m <sub>sat</sub> [g]	m <sub>seco</sub> [g]	m <sub>im</sub> [g]	δ [%]
P8	177,9	168,5	86,8	10,31833
P3	176,8	167,5	86,8	10,33333
P7	176,7	167,4	89,9	10,71429
				10,45532

Argamassa C				
	m <sub>sat</sub> [g]	m <sub>seco</sub> [g]	m <sub>im</sub> [g]	δ [%]
P3	175,3	162,8	86,1	14,01345
P5	174,2	161,7	87,3	14,38435
P7	172,5	160,2	90,5	15
				14,46593

Argamassa D				
	m <sub>sat</sub> [g]	m <sub>seco</sub> [g]	m <sub>im</sub> [g]	δ [%]
P3	158,7	143,4	71,9	17,62673
P5	160,5	144,1	81,9	20,86514
P6	157,6	141,1	65,8	17,97386
				18,82191

Argamassa E				
	m <sub>sat</sub> [g]	m <sub>seco</sub> [g]	m <sub>im</sub> [g]	δ [%]
P1	184	171,4	95,8	14,28571
P2	184,8	171	102,3	16,72727
P4	186,5	172,9	95,5	14,94505
				15,31935

	Provete n°	Provete			φ Pipeta [mm]	P <sub>entrada</sub> [bar]	t <sub>(20cm)</sub> [s]	t <sub>(20cm)médio</sub> [s]	v [m <sup>3</sup> /s]	K [m <sup>2</sup> ]	K [m <sup>2</sup> ] (bar)
		Altura [cm]	Diâmetro [cm]	Área [m <sup>2</sup> ]							
Argamassa A	P3	4	5,05	0,002003	5	2,5	6,66	6,755	5,93031E-07	9,11353E-16	9,11353E-16
							6,80				
							6,76				
							6,80				
	P5	4	5	0,001963	5	2,5	6,10	6,06	6,48018E-07	1,01587E-15	1,01587E-15
							5,95				
							6,11				
							6,08				
	P6	3,95	5	0,001963	5	2,5	4,38	4,2725	9,19132E-07	1,42288E-15	1,42288E-15
4,24											
4,27											
4,20											
Argamassa B	P5	4,1	5	0,001963	5	2,5	31,19	31,5	1,24666E-07	2,0032E-16	2,0032E-16
							31,64				
							31,59				
							31,58				
	P6	3,95	5	0,001963	5	2,5	22,31	22,3325	1,75842E-07	2,72215E-16	2,72215E-16
							22,20				
							22,27				
							22,55				
	P10	4	5	0,001963	5	2,5	29,06	29,085	1,35018E-07	2,11662E-16	2,11662E-16
29,20											
29,09											
28,99											
Argamassa C	P4	4	5,05	0,002003	5	2,5	19,41	19,49	2,05537E-07	3,15864E-16	3,15864E-16
							19,59				
							19,51				
							19,45				
	P9	4,05	5,05	0,002003	5	2,5	17,38	17,3675	2,30656E-07	3,58897E-16	3,58897E-16
							17,17				
							17,49				
							17,43				
	P10	3,95	5,05	0,002003	5	2,5	19,10	19,065	2,10119E-07	3,18869E-16	3,18869E-16
19,03											
19,05											
19,08											
Argamassa D	P4	3,95	4,95	0,001924	5	2,5	2,34	2,4325	1,58226E-06	2,49917E-15	2,49917E-15
							2,52				
							2,49				
							2,38				
	P7	4	4,95	0,001924	5	2,5	2,09	2,0675	1,86159E-06	2,9776E-15	2,9776E-15
							2,09				
							2				
							2,09				
	P10	3,9	4,95	0,001924	5	2,5	2,29	2,32	1,65898E-06	2,58719E-15	2,58719E-15
2,31											
2,38											
2,30											

	Provete n°	Provete			P <sub>entrada</sub> [bar]	t <sub>estabilidade</sub> [min]	Penetração [cm]	Penetração média [cm]	δ [%]	k <sub>w</sub> [m/s]	K [m <sup>2</sup> ]
		Altura [cm]	Diâmetro [cm]	Área [m <sup>2</sup> ]							
Argamassa A	P3	4	5,05	20,02962	2,5	30	3,5	3,46666667	14,16454	1,85305E-09	2,40896E-16
							3,4				
							3,5				
	P5	4	5	19,63495	2,5	30	3,8	3,76666667	14,16454	2,18764E-09	2,84393E-16
							3,7				
							3,8				
	P6	3,95	5	19,63495	2,5	30	3,5	3,5	14,16454	1,88885E-09	2,45551E-16
							3,5				
							3,5				
Argamassa B	P5	3,95	5	19,63495	2,5	30	2,2	2,2	10,45532	5,50861E-10	7,16119E-17
							2,2				
							2,2				
	P6	3,95	5	19,63495	2,5	30	2,7	2,76666667	10,45532	8,71185E-10	1,13254E-16
							2,8				
							2,8				
	P10	4	5	19,63495	2,5	30	2,8	2,9	10,45532	9,57178E-10	1,24433E-16
							2,9				
							3,0				
Argamassa C	P4	4	5,05	20,02962	2,5	30	2,6	2,63333333	14,46593	1,09199E-09	1,41958E-16
							2,7				
							2,6				
	P9	4,05	5,05	20,02962	2,5	30	2,8	2,8	14,46593	1,23459E-09	1,60496E-16
							2,8				
							2,8				
	P10	3,95	5,05	20,02962	2,5	30	2,8	2,8	14,46593	1,23459E-09	1,60496E-16
							2,8				
							2,8				
Argamassa D	P7	3,95	4,95	19,24422	2,5	30	3,95	3,95	18,82191	3,19681E-09	4,15586E-16
							3,95				
							3,95				
	P8	4	5,95	27,80506	2,5	30	4,0	4	18,82191	3,27826E-09	4,26173E-16
							4,0				
							4,0				
	P10	4	6,95	37,93669	2,5	30	4,0	4	18,82191	3,27826E-09	4,26173E-16
							4,0				
							4,0				

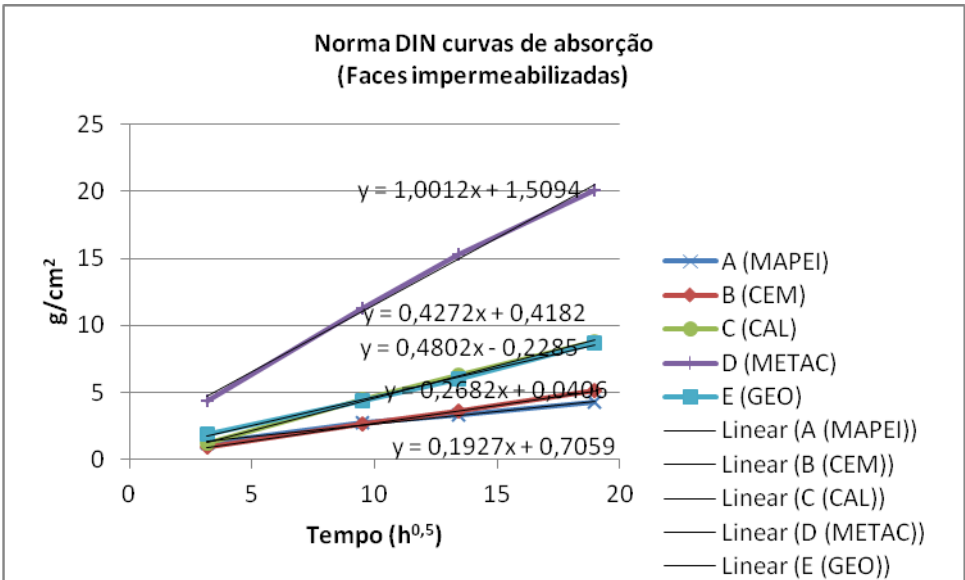
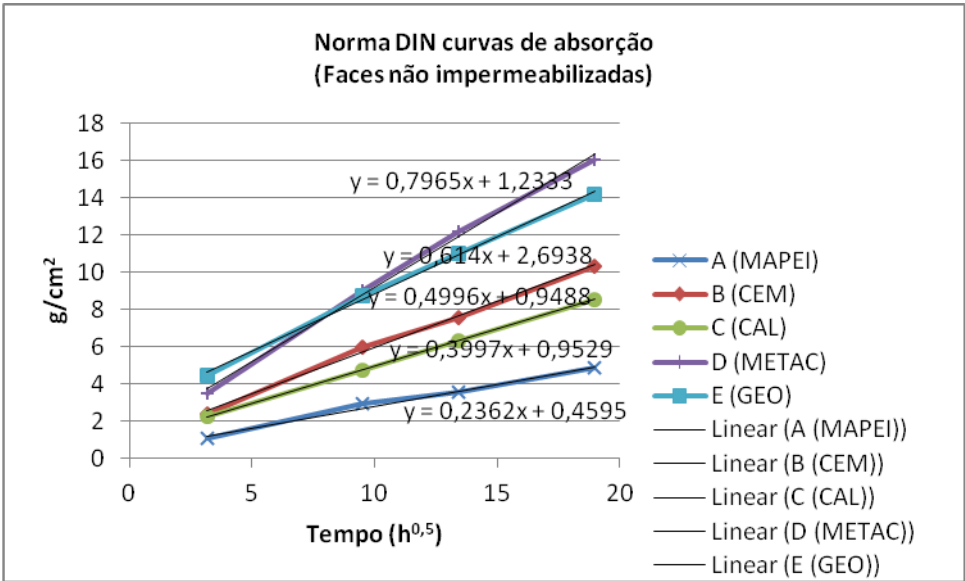
	Provete n°	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso*100/s em função do tempo				C [g/cm <sup>2</sup> min <sup>0,5</sup> ]
				13,41640786	18,97366596	37,94733192	65,7267069	
Betão C25/30	2SC01	78,540	2850,5	14,64225781	15,91549762	23,55493648	39,59775808	0,620727078
	2SC02	78,540	2875,3	15,02422975	16,93408947	27,12000795	43,79944945	0,714674961
	2SC03	78,540	2907,8	14,89690577	16,93408947	23,68226046	37,05127846	0,62408236

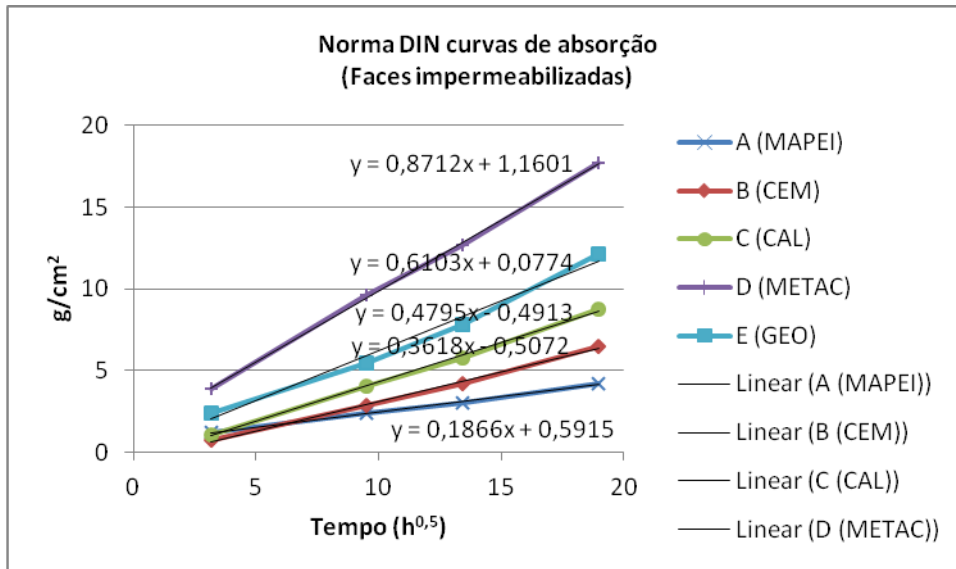
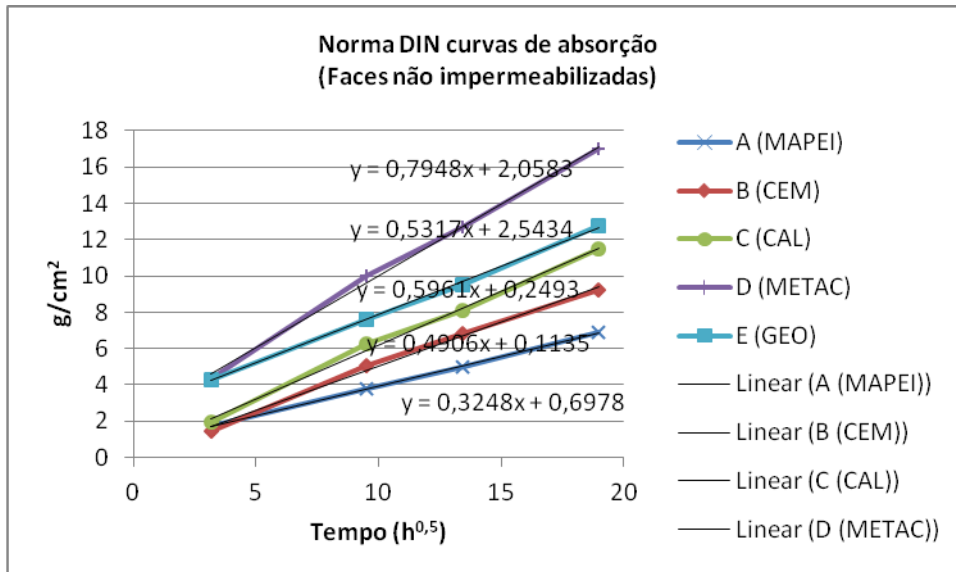
	Provete n°	Área [cm <sup>2</sup> ]	Peso inicial [g]	Variação do peso [Kg] /m2 em função do tempo				A [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
				1,732050808	2,449489743	4,898979486	8,485281374	
Betão C25/30	2SC01	78,540	2850,5	1,464225781	1,591549762	2,355493648	3,959775808	0,480813127
	2SC02	78,540	2875,3	1,502422975	1,693408947	2,712000795	4,379944945	0,553584844
	2SC03	78,540	2907,8	1,489690577	1,693408947	2,368226046	3,705127846	0,483412117

Betão 25/30				
	m <sub>sat</sub> [g]	m <sub>seco</sub> [g]	m <sub>im</sub> [g]	δ [%]
P1	186,3	178,3	96,2	8,879023
P2	185	177,8	100,3	8,50059
P3	185,4	177,7	100,2	9,037559
P4	184,3	176,4	92	8,559047
P5	186,9	179,9	95,3	7,641921

Provete n°	Provete			$\varphi$ Pipeta [mm]	P <sub>entrada</sub> [bar]	t <sub>(10cm)</sub> [s]	t <sub>(20cm)médio</sub> [s]	v [m <sup>3</sup> /s]	K [m <sup>2</sup> ]
	Altura [cm]	Diâmetro [cm]	Área [m <sup>2</sup> ]						
2SC 01	3,9	5	0,0019635	5	2,5	17,13	17,09333	1,1487E-07	1,7557E-16
						17,33			
						16,82			
2SC 02	3,8	4,9	0,00188574	5	2,5	37,02	37,35333	5,2565E-08	8,1512E-17
						37,45			
						37,59			
2SC 03	3,9	5	0,0019635	5	2,5	36,31	36,28667	5,4111E-08	8,2706E-17
						36,35			
						36,20			
2SC 04	3,8	5,01	0,00197136	5	2,5	32,52	32,85333	5,9765E-08	8,8652E-17
						32,77			
						33,27			
2SC 05	4	5,03	0,00198713	5	2,5	37,91	37,47333	5,2397E-08	8,1164E-17
						37,31			
						37,20			

Provete n°	Provete			P entrada [bar]	t estabilidade [min]	Penetração [cm]	Penetração média[cm]	δ [%]	k <sub>w</sub> [m/s]	K [m <sup>2</sup> ]
	Altura [cm]	Diâmetro [cm]	Área [m <sup>2</sup> ]							
2SC 01	3,9	5	1,96E-03	2,5	60	2,40	2,225	10	2,6946E-10	3,5029E-17
						1,90				
						2,30				
						2,30				
2SC 02	3,8	4,9	1,89E-03	2,5	60	1,70	2,000	10	2,1772E-10	2,8303E-17
						1,70				
						2,10				
						2,50				
2SC 03	3,9	5	1,96E-03	2,5	60	1,60	1,650	10	1,4818E-10	1,9264E-17
						1,90				
						1,50				
						1,60				
2SC 04	3,8	5,01	1,97E-03	2,5	60	2,50	2,275	10	2,817E-10	3,6621E-17
						2,30				
						2,20				
						2,10				
2SC 05	4	5,03	1,99E-03	2,5	60	1,80	1,900	10	1,9649E-10	2,5543E-17
						2,00				
						2,10				
						1,70				







### 1. Descrição

A **Cal Hidráulica Martingança** é um ligante hidráulico constituído maioritariamente por silicatos e aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio. Obtém-se por cozedura de calcário argiloso (marga), seguida de moagem e adição de sulfato de cálcio para regularização da presa.

As suas características físicas e químicas colocam a **Cal Hidráulica Martingança** na classe de resistência superior (NHL5) segundo a NP EN 459-1:2003 do CEN. O LNEC emitiu para a **Cal Hidráulica Martingança**, em 29 de Julho de 2003, o certificado nº 0856-CPD-0202, relativo à marcação CE deste produto.

A **Cal Hidráulica Martingança** é um ligante singular, pois além da presa predominantemente hidráulica, apresenta também presa por *carbonatação* que se manifesta a prazo.

### 2. Domínio de utilização

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

### 3. Características do produto

	Valores médios ano 2006	Norma de Referência
Água Livre	0.6 %	EN 459-1
Início de Presa	2 Horas	
Fim de Presa	5 Horas	
Sulfatos	2.7 %	
Cal livre	4.0 %	EN 459-1
Finura:		
90 µm	11 %	
200 µm	1.4 %	

	Valores médios ano 2006	Norma de Referência
Compressão:		EN 459-1
- Aos 7 dias	5 MPa	
- Aos 28 dias	9 MPa	

### 4. Fabricação de argamassas

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

Misturar previamente a **Cal Hidráulica Martingança** com o agregado e posteriormente adicionar água na quantidade adequada de forma a obter uma boa trabalhabilidade.

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

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

### Condicionantes

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

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

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

### Conselhos complementares

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

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

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



### 5. Tratamento de Solos

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

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

#### Processo de aplicação

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

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

Estes procedimentos encontram-se documentados em suporte vídeo disponibilizado em [www.secilmartinganca.pt](http://www.secilmartinganca.pt). Também poderá solicitar-se cópia aos nossos Serviços Comerciais.

### 6. Cal Hidráulica Martingança como substituto do filler

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

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

### 7. Higiene e Segurança

Nada a salientar, visto tratar-se de um produto não nocivo, nem inflamável, embora irrite os olhos e a pele; não deve ser ingerido.

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

Consultar a ficha de segurança do produto em [www.secilmartinganca.pt](http://www.secilmartinganca.pt)

### 8. Transporte, validade e embalagem

A **Cal Hidráulica Martingança** deve ser transportada, manuseada e armazenada dentro da embalagem original (a qual só deve ser aberta para utilização), ao abrigo de humidades e exposição ao calor.

Nestas condições, a **Cal Hidráulica Martingança** poderá ser armazenada pelo período máximo de 6 (seis) meses.

A **Cal Hidráulica Martingança** é fornecida em sacos de 40 kg, em paletes plastificada, ou a granel.

 Ano: 03	<b>Norma de referência:</b> NP EN 459-1:2003 <b>Utilização prevista:</b> Preparação de argamassas de alvenaria, de reboco e de emboço e produção de outros produtos de construção
Nome e Endereço do fabricante: SECIL MARTINGANÇA, SA Apartado 2, 2406-909 Maceira LRA, Portugal	

Produto fabricado pela Secil Martingança, SA, cujo Sistema de Gestão da Qualidade está certificado pela APCER com o nº 2003/CEP.2132

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

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

Revisão de Maio de 2007

TC.E.017/5

