



**Afonso Corrêa Mendes de Matos Lino**

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

**Argamassas de terra com sulfatos de cálcio  
Caracterização mecânica e física**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora Associada,  
Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: José Miguel Paulo de Lima Ferreira, Arquitecto,  
Faculdade de Arquitectura, Universidade de Lisboa

Júri:

Presidente:	Professor Doutor Rui A. L. B. Micaelo
Arguente:	Doutora Maria Teresa de Almeida Gouveia Gerales Freire
Vogal:	Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues



## **Argamassas de terra com sulfatos de cálcio – caracterização mecânica e física**

Copyright © Afonso Corrêa Mendes de Matos Lino, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## AGRADECIMENTO

Após finalizar mais uma etapa importante da minha vida, quero agradecer a todos as pessoas que directa ou indirectamente apoiaram-me neste longo percurso.

Em especial à minha orientadora Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues que nunca desistiu de mim, mostrou sempre total disponibilidade e apoio no que fosse preciso, transmitindo-me conhecimento ao longo do meu percurso académico.

Ao meu co-orientador José Lima que também foi incansável, ajudou-me bastante na formulação e execução das argamassas e esteve sempre disposto a esclarecer qualquer dúvida.

Um muito obrigado também à professora Teresa Freire por disponibilizar os materiais, assim como pela sabedoria e ajuda na realização dos ensaios.

Um agradecimento especial à minha família por todo o apoio e carinho demonstrado ao longo de todas as fases da minha formação académica e pessoal, pois foi um longo e demorado percurso, que sem eles não teria sido possível.

A todos os meus amigos que sempre estiveram prontos para ajudar-me em qualquer situação, em especial aos meus colegas que ao longo dos anos académicos se tornaram amigos, como o António Pereirinha, Diogo Reis e Gonçalo Pinheiro.

Agradeço também ao Eng. Vítor pela sua disponibilidade para realizar a parte experimental e tirar qualquer dúvida sobre a mesma.



## RESUMO

Nos últimos anos as argamassas de terra têm sido objecto de um renovado interesse devido às suas características técnicas, nomeadamente no âmbito da conservação e reabilitação de edifícios, pela sua compatibilidade com os materiais dos suportes antigos, da arquitectura contemporânea, devido à sua elevada higroscopicidade que permite contribuir para regular a humidade dos ambientes interiores e ambiental, devido à baixa energia incorporada, ausência de toxicidade e possibilidade de reutilização, ou reciclagem.

No entanto, as argamassas de terra apresentam vulnerabilidade em aplicações onde possa existir forte desgaste mecânico e contacto, mesmo que accidental, com água no estado líquido. Nesse sentido importa avaliar de que forma a estabilização com ligantes, preferencialmente de baixa energia incorporada, pode melhorar a resistência mecânica e a resistência à água no estado líquido, sem prejudicar de forma significativa as características mais positivas deste tipo de argamassas. Os ligantes correntes com menor energia incorporada são o gesso hemihidratado, produzido por cozedura da pedra de gesso à temperatura de 120-180 °C, e a anidrite, produzida com base na mesma matéria-prima, mas por cozedura a temperatura um pouco mais elevada, 300-400 °C, mesmo assim muito inferior à de outros ligantes correntes, como as cals, ou os cimentos.

A presente dissertação tem como objectivo a caracterização de argamassas, no estado fresco e no estado endurecido, produzidas com base numa argamassa de terra, pré-doseada e não estabilizada (não aditivada com nenhum ligante), comercializada pela empresa Embarro, considerando a adição de 0 %, 5 %, 10 % e 20 % de anidrite e também a adição de 20 % de gesso hemihidratado (quantidades expressas em volume).

Verificou-se que a adição de anidrite aumenta a retracção linear das argamassas, contrariamente ao observado com a adição de gesso hemihidratado. A resistência mecânica e a resistência à abrasão a seco das argamassas com anidrite tendem também a aumentar, embora de forma menos significativa que com adição de gesso hemihidratado. Cumulativamente, a adição de anidrite, em quantidade superior a 10%, aumenta a resistência das argamassas à erosão por gotejamento. No entanto, a adição de gesso hemihidratado afigura-se mais vantajosa em relação a esta propriedade. Observa-se ainda que a capacidade higroscópica das argamassas tende a reduzir com o incremento da adição de anidrite, embora de forma pouco expressiva e, no caso dos 20 % de adição, é inferior à redução observada com adição equivalente de gesso hemihidratado. Comparando as argamassas com adição de 20% de anidrite e de gesso também se concluiu, que a primeira é mais vantajosa em termos higrotérmicos, enquanto que a segunda é em termos mecânicos e face à água.

**Palavras-chave:** terra; reboco interior; gesso hemihidratado; anidrite; higroscopicidade; resistência à água; durabilidade



## ABSTRACT

In the last years earthen mortars have been subject of renewed interest due to their technical characteristics, namely in the context of the conservation and rehabilitation of buildings, due to their compatibility with the materials of historic and vernacular walls, of contemporary architecture, due to their high hygroscopicity that contributes to regulate the relative humidity indoors, and in terms of the environment, due to the low energy incorporated, absence of toxicity and possibility of reuse or recycling.

However, earthen mortars are vulnerable to applications where there may have mechanical wear and even accidental contact with liquid water. In this sense, it is important to evaluate how stabilization with binders, preferably with low incorporated energy, can improve mechanical strength and water resistance in the liquid state, without significantly impairing the most positive characteristics of this type of mortar. Current binders with lowest incorporated energy are the hemihydrate gypsum, produced by calcining the gypsum stone at a temperature of 120-180 ° C, and anhydrite, produced from the same raw material but by using a higher calcination temperature, 300-400 ° C, yet much lower than those used in other common binders such as limes or cement.

This dissertation aims at the characterization of fresh and hardened mortars, produced based on a pre-mixed and non-stabilized mortar (no binder added), commercialized by Embarro, company, considering the addition of 0%, 5%, 10% and 20% of anhydrite and also the addition 20% of hemihydrate plaster (volumetric proportions).

The addition of anhydrite increases the linear shrinkage of the mortars, unlike the addition of hemihydrate gypsum. The mechanical strength and dry abrasion resistance of anhydrite earth mortars also tend to increase, albeit less significantly than with the addition of hemihydrate gypsum. Cumulatively, the addition of anhydrite in more than 10% increases the resistance of mortars to drip erosion. However, the addition of hemihydrate gypsum appears to be more advantageous over this property. It is also observed that the hygroscopic capacity of mortars tends to decrease with the increase of anhydrite addition, although not much significantly and, in the case of 20%, being lower than the reduction observed with equivalent addition of hemihydrate gypsum. Comparing the mortars with the addition of 20% anhydrite and gypsum, it was also concluded that the first one is more advantageous in hygrothermal terms, while the second one is for mechanical performance and water resistance.

**Key words:** earth; plastering; hemihydrate plaster; anhydrite; hygroscopicity; resistance to water; durability



# Simbologia

## Argamassas

RM – argamassa de referência composta por uma mistura pré-doseada

RM\_A5 – argamassa com adição de 5% de anidrite em relação ao volume total de argamassa pré-doseada seca (RM)

RM\_A10 - argamassa com adição de 10% de anidrite em relação ao volume total de argamassa pré-doseada seca (RM)

RM\_A20 - argamassa com adição de 20% de anidrite em relação ao volume total de argamassa pré-doseada seca (RM)

RM\_G20\_SR - argamassa com adição de 20% de gesso hemihidratado em relação ao volume total de argamassa pré-doseada seca (RM)

A100 – massa composta por 100% de anidrite

## Abreviaturas institucionais

FCT UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

IPQ – Instituto Português da Qualidade, I.P.

EN – Norma Europeia (European Norm)

NP – Norma Portuguesa

DIN – Instituto Alemão de Normalização (Deutsches Institut für Normung)



# Índice de texto

1. Introdução.....	1
1.1. Motivação e Enquadramento.....	1
1.2. Objectivos e metodologia.....	3
1.3. Estrutura da tese.....	3
2. Argamassas e rebocos .....	5
2.1. Argamassas de terra .....	5
2.1.1. Considerações gerais .....	5
2.1.2. Características das argamassas .....	7
2.1.3. Anomalias das argamassas .....	8
2.1.4. Materiais .....	9
2.2. Rebocos de terra.....	16
2.3. Especificidades e requisitos de desempenho .....	17
3. Materiais constituintes das argamassas em estudo.....	21
3.1. Mistura pré-doseada EMBARRO .....	21
3.2. Anidrite .....	21
3.3. Gesso hemihidratado .....	22
3.4. Retardador de presa .....	22
4. Preparação e caracterização das argamassas frescas, execução e cura dos provetes.....	23
4.1. Caracterização dos constituintes .....	23
4.1.1. Baridade dos produtos/materiais em pó.....	23
4.1.2. Análise granulométrica por via seca .....	24
4.2. Produção das argamassas .....	26
4.2.1. Formulação .....	26
4.2.2. Amassaduras.....	26
4.3. Ensaio às argamassas no estado fresco.....	26
4.3.1. Consistência por espalhamento .....	26
4.3.2. Consistência por penetrómetro .....	27
4.3.3. Massa volúmica .....	28
4.4. Preparação dos provetes e condições de cura .....	28
4.4.1. Provetes prismáticos .....	28
4.4.2. Provetes de argamassa sobre suporte de tijolo .....	29
4.4.3. Provetes planares .....	30
5. Caracterização das argamassas no estado endurecido .....	31
5.1. Provetes prismáticos .....	31

5.1.1. Retraccão linear por secagem .....	31
5.1.2. Massa volúmica aparente .....	31
5.1.3. Módulo de elasticidade dinâmico .....	32
5.1.4. Resistência à tracção por flexão .....	33
5.1.5. Resistência à compressão .....	34
5.2. Provetes de argamassa sobre suporte de tijolo .....	35
5.2.1. Condutibilidade térmica .....	35
5.2.2. Dureza superficial por durómetro .....	36
5.2.3. Coesão superficial .....	36
5.2.4. Aderência ao suporte .....	37
5.2.5. Resistência à abrasão via seca .....	38
5.2.6. Absorção de água sob baixa pressão .....	39
5.3. Provetes planares .....	39
5.3.1. Retraccão linear por secagem .....	39
5.3.2. Adsorção e desadsorção de vapor de água .....	39
5.3.3. Resistência à abrasão via húmida (Geelong Test – erosão por gotejamento) .....	40
6. Resultados da caracterização das argamassas e sua discussão .....	43
6.1. Estado fresco .....	43
6.1.1. Consistência por espalhamento .....	43
6.1.2. Consistência por penetrómetro .....	44
6.1.3. Massa volúmica .....	45
6.1.4. Relação entre o teor de água e a consistência .....	45
6.2. Estado endurecido .....	45
6.2.1. Retraccão linear .....	45
6.2.2. Massa volúmica das argamassas .....	47
6.2.3. Módulo de elasticidade dinâmico .....	48
6.2.4. Resistência à tracção por flexão e à compressão .....	48
6.2.5. Condutibilidade térmica .....	50
6.2.6. Dureza superficial por durómetro .....	50
6.2.7. Coesão superficial .....	51
6.2.8. Aderência ao suporte .....	52
6.2.9. Resistência à abrasão via seca .....	53
6.2.10. Absorção de água sob baixa pressão .....	53
6.2.11. Adsorção e desadsorção de vapor de água .....	54
6.2.12. Resistência à abrasão via húmida .....	56
6.2.13. Relação entre a massa volúmica e a condutibilidade térmica .....	59
6.2.14. Relação entre o módulo de elasticidade dinâmico e as resistências mecânicas .....	59

6.2.15. Relação entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à tracção por flexão ...	60
6.2.16. Relação entre a resistência à tracção por flexão e à compressão .....	61
<b>7. Conclusões .....</b>	<b>63</b>
7.1. Considerações finais .....	63
7.2. Propostas de desenvolvimento futuro .....	64
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>67</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>73</b>
A.1 Ficha técnicas dos produtos e materiais utilizados.....	73
A.2 Resultados individuais obtidos na caracterização das argamassas no estado fresco .....	76
A.3 Resultados individuais obtidos na caracterização das argamassas no estado endurecido.....	77



## Índice de figuras

Figura 3.1 - Argamassa pré-doseada EMBARRO .....	21
Figura 3.2 - Anidrite II .....	21
Figura 3.3 - Gesso hemihidratado não aditivado .....	22
Figura 4.1 - Equipamento utilizado para o ensaio da baridade.....	23
Figura 4.2 - Material resultante em cada peneiro após o ensaio.....	24
Figura 4.3 - Curva granulométrica da argamassa pré-doseada.....	25
Figura 4.4 - Ensaio de consistência por espalhamento .....	27
Figura 4.5 - Ensaio de consistência por penetrómetro .....	27
Figura 4.6 - Molde metálico utilizado para os provetes prismáticos .....	29
Figura 4.7 - Proвете de camada de argamassa sobre o tijolo .....	29
Figura 4.8 - Provetes planares da formulação RM_A20.....	30
Figura 5.1 - Equipamento ZEUS Resonance Meter usado para o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico .....	32
Figura 5.2 - Ensaio de resistência à flexão por tracção .....	34
Figura 5.3 - Ensaio de resistência à compressão .....	35
Figura 5.4 - Ensaio de condutibilidade térmica .....	36
Figura 5.5 - a) Durómetro b) Ensaio de dureza superficial por durómetro.....	36
Figura 5.6 - a) Ensaio de coesão superficial b) Material que aderiu à fita cola.....	37
Figura 5.7 - Preparação do provete para o ensaio de aderência ao suporte .....	37
Figura 5.8 - a) Ensaio de resistência à abrasão via seca b) Proвете após o ensaio .....	38
Figura 5.9 - a) Tubos de Karsten b) Ensaio de absorção de água a baixa pressão .....	39
Figura 5.10 - Câmara climática onde decorre o ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água .....	40
Figura 5.11 - Equipamento utilizado para a realização do ensaio de erosão por gotejamento .....	41
Figura 5.12 - Provetes da formulação RM_A20 após o ensaio de erosão por gotejamento .....	42
Figura 6.1 - Resultados médios do ensaio de consistência por espalhamento e respectivo desvio padrão .....	44
Figura 6.2 - Resultados médios do ensaio de consistência por penetrómetro e respectivo desvio padrão .....	44
Figura 6.3 - Resultados médios da massa volúmica no estado fresco e respectivo desvio padrão .....	45
Figura 6.4 - Variação dos métodos de consistência com a razão água/sólido.....	45
Figura 6.5 - Resultados médios da retracção linear por secagem e respectivo desvio padrão .....	46
Figura 6.6 - Provetes da pasta de anidrite sobre suporte de tijolo após secagem .....	46
Figura 6.7 - Proвете planar da pasta de anidrite com a água à superfície antes da secagem .....	47
Figura 6.8 - Resultados médios do ensaio da massa volúmica geométrica e respectivo desvio padrão.....	47
Figura 6.9 - Resultados médios do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico e respectivo desvio padrão .....	48
Figura 6.10 - Resultados médios do ensaio de resistência à tracção por flexão e respectivo desvio padrão .....	49
Figura 6.11 - Resultados médios do ensaio de resistência à compressão e respectivo desvio padrão .....	49
Figura 6.12 - Resultados médios obtidos do ensaio de condutibilidade térmica e respectivo desvio padrão .....	50
Figura 6.13 - Resultados obtidos do ensaio de dureza superficial por durómetro e respectivo desvio padrão .....	51
Figura 6.14 - Resultados médios obtidos no ensaio de coesão superficial e respectivo desvio padrão.....	51
Figura 6.15 - Resultados médios do ensaio de aderência ao suporte e respectivo desvio padrão .....	52
Figura 6.16 - Falta de aderência ao suporte da massa A100 verificada na realização dos cortes .....	52

Figura 6.17 - Resultados obtidos do ensaio de resistência à abrasão via seca, limites definidos pela norma DIN 18947 e respectivos desvio padrão .....	53
Figura 6.18 - Resultados médios obtidos no ensaio de absorção de água a baixa pressão e respectivo desvio padrão .....	54
Figura 6.19 - Resultados obtidos no ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água .....	55
Figura 6.20 - Provetes após a realização do ensaio.....	56
Figura 6.21 - Quantidade de água absorvida média por cada formulação após o ensaio de erosão por gotejamento e respectivo desvio padrão .....	57
Figura 6.22 - Perda de massa média dos provetes após erosão por gotejamento e respectivo desvio padrão .....	57
Figura 6.23 - Área erodida média dos provetes após erosão por gotejamento e respectivo desvio padrão .....	58
Figura 6.24 - Profundidade média atingida após erosão por gotejamento e respectivo desvio padrão.....	58
Figura 6.25 - Provetes da formulação A100 após o ensaio de erosão por gotejamento .....	59
Figura 6.26 - Relação entre a condutibilidade térmica e a massa volúmica aparente .....	59
Figura 6.27 - Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico e das resistências mecânicas.....	60
Figura 6.28 - Quociente entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à tracção por flexão .....	60
Figura 6.29 - Quociente entre a resistência à tracção por flexão e compressão .....	61

## Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Classificação das argamassas consoante as seguintes propriedades de rebocos no estado endurecido, segundo a norma NP EN 998-1 (IPQ, 2010) .....	17
Tabela 4.1 - Baridade dos materiais usados nas formulações das argamassas .....	24
Tabela 4.2 - Traços volumétricos e mássicos das formulações de argamassas .....	26
Tabela 5.1 - Classes de massa volúmica aparente segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013) .....	32
Tabela 5.2 - Classes de resistência à abrasão, segundo DIN 18947 (DIN, 2013).....	38
Tabela 6.1 - Rácios volumétricos e mássicos das formulações .....	43



# 1. Introdução

## 1.1. Motivação e Enquadramento

A terra é o material de construção com maior disponibilidade e, provavelmente, o mais económico existente no planeta. Outrora muito usada para a construção pela sua simplicidade de emprego e versatilidade, foi caindo em desuso com a evolução da indústria da construção e com o surgimento de novos materiais, mais resistentes mecanicamente e de maior durabilidade à água no estado líquido.

Actualmente, a importância do conceito de construção “verde” exige uma procura crescente por materiais de construção ecológicos. Especialmente em países industrializados, é reconhecido que a razão mais importante para a escolha de materiais de construção em terra é por requisitos ambientais e para proporcionar um ambiente confortável no interior dos edifícios (Deliniere et al., 2014).

A arquitectura e a construção com terra têm um dos patrimónios mais diversificados e universais da humanidade. De referir que é possível encontrar terra que possa ser aplicada à construção um pouco por todo o mundo, mas é indispensável que o aplicador domine o seu conhecimento e as técnicas de aplicação, para obter o melhor resultado pretendido.

A introdução de ligantes artificiais, como o gesso ou a cal, pode conferir maiores resistências mecânicas e resistência à água a misturas com a terra, respectivamente, estendendo a sua utilização aos revestimentos de paredes e pavimentos e à estabilização de alvenarias. O gesso é considerado um material secundário na construção, pois apenas é usado em revestimentos interiores, moldes ou decorações artísticas. A falta de confiança para ser usado como material estrutural e no exterior vem por ser menos estável à água que a cal ou o cimento. O gesso pode ser reciclado infinitamente, exigindo apenas temperaturas de processamento moderadas (Vegas et al., 2011).

Com o desenvolvimento das tecnologias e a descoberta de novos materiais para a construção, como o cimento e o betão, a terra foi sendo deixada de parte. Esses novos materiais trouxeram vantagens que a terra não tinha, como maiores resistências mecânicas e resistência à água. No entanto, têm dois problemas principais: são bastante poluentes e podem não ser compatíveis com construções em terra. A terra é o oposto destes novos materiais e actualmente a sociedade cada vez se interessa mais pelo ciclo de vida ecológico dos materiais. Alguns países estão a começar a usar a terra para reconstruir monumentos históricos de terra, assim como em novas construções. Portanto, o material argiloso está a ganhar importância novamente (Lima et al., 2016a, 2016b, 2016c).

Nos últimos anos tem-se verificado um crescente interesse na conservação e reabilitação de edifícios antigos. Neste contexto, os revestimentos de paredes são considerados cada vez mais importantes, uma vez que deles depende a protecção e o aspecto final dos edifícios. Como tal, é fundamental fazer uma boa caracterização das argamassas de reboco utilizadas e a utilizar, de forma a garantir a compatibilidade entre os materiais, por forma a resolver as anomalias encontradas invés de as deteriorar.

Segundo Henriques e Faria, (2008), consoante diferentes requisitos e características, as argamassas podem ser aplicadas de diferentes maneiras, uma vez que podem ser utilizadas como revestimentos exteriores ou interiores de parede, refechamento de juntas ou injeções de consolidação. Cada um destes tipos de aplicação tem diferentes requisitos, pelo que cada caso deve ser considerado separadamente.

Embora os materiais adotem a mesma designação em todas estas situações – argamassas - tratam-se de situações muito distintas e, por isso, devem ser consideradas diferentes abordagens.

Quando se fala de argamassas de terra, faz sentido assumir que vão ser usadas no interior do edifício, porque têm uma grande vantagem quando comparadas com os outros tipos de argamassas. Estas argamassas são capazes de regular a humidade relativa da habitação, devido aos materiais argilosos serem altamente higroscópicos. Consequentemente, aumenta a sensação de bem-estar das pessoas dentro dos compartimentos, assim como reduz o risco de doenças. Quando estas argamassas não estão estabilizadas, o que significa que elas não têm um ligante adicionado à terra, é realmente fácil reutilizá-las; basta apenas a adição de água e respectiva amassadura e é possível reutilizá-las, o que é outra vantagem deste tipo de material (Lima et al., 2016a, 2016b).

O gesso também se revela um material importante para a Engenharia Civil, pois para além de ser um ligante mais sustentável, com gastos de energia mais baixos comparativamente a cal e cimentos, possui outras características importantes como a resistência ao fogo (Lima et al. 2016a; Freire, 2016).

Desta forma, o desafio de conseguir obter um comportamento melhorado das argamassas passa pela sua constituição. A formulação de uma argamassa para reboco não depende apenas do conhecimento das características das suas matérias-primas, mas também das diferentes combinações possíveis dos componentes, de modo a otimizar propriedades no estado fresco e endurecido (Brás et al., 2012).

Quando as argamassas são produzidas deve-se ter em conta alguns requisitos técnicos, tais como a aderência, a resistência mecânica, a deformabilidade, a permeabilidade ao vapor de água, a velocidade de secagem, a dilatação térmica ou o seu aspecto estético, dependendo da função que irão desempenhar no edifício, p.e. reboco ou argamassa de assentamento, e da sua exposição ambiental.

Hoje em dia, apesar do crescente interesse pelos rebocos de terra, ainda não existe uma norma europeia, pela qual os investigadores e os industriais se possam guiar. Apenas a Alemanha teve a iniciativa de criar a sua própria norma, DIN 18947 (Deutsches Institut für Normung DIN, 2013) para argamassas de terra não estabilizadas, o que é muito pouco para a velocidade a que a indústria está a evoluir e para a quantidade de diferentes tipos de argamassas de terra estabilizadas existentes.

Neste estudo, é usada uma argamassa de terra pré-doseada e não estabilizada (sem adição de qualquer ligante), comercializada pela empresa Embarro (EMBARRO, 2018), considerada como argamassa de referência. Com base nesta argamassa foram realizadas argamassas estabilizadas com adição de ligantes, nomeadamente a adição de 0 %, 5 %, 10 % e 20 % de anidrite e também a adição de 20 % de gesso hemihidratado (quantidades expressas em volume). As adições são realizadas no intuito de melhorar algumas propriedades da argamassa de terra de referência, tais como as resistências mecânicas e esperando não piorar a sua excelente capacidade higroscópica, já conhecida (Lima et al., 2016a, 2016b). Foi ainda produzida uma pasta apenas de anidrite para avaliar o seu comportamento e comparar com as características de outras argamassas.

Este estudo foi realizado em simultâneo com a colega Inês Carreira (Carreira, 2019), estudante do Departamento de Conservação e Restauro, e que realizou a caracterização das mesmas argamassas, mas em termos mineralógicos e químicos.

## **1.2. Objectivos e metodologia**

Esta dissertação tem como objectivo avaliar as características mecânicas e físicas de uma argamassa pré-doseada de terra com adições de sulfatos de cálcio, mais precisamente gesso hemihidratado e anidrite. Em estudos anteriores outros autores estudaram argamassas de terra com composição semelhante à argamassa de terra pré-doseada utilizada neste estudo (Lima et al., 2016a, 2016c, 2017). O gesso foi também estudado anteriormente por vários autores (Gomes et al., 2013; Freire, 2016) sendo também estudada a sua adição a argamassas de terra (Lima et al., 2016a). No entanto em relação à anidrite ainda não existe muita informação sobre o seu comportamento como material de construção.

Para tal, foram produzidos diversos provetes, prismáticos, planares e camada de argamassa sobre tijolo, de várias formulações de argamassas de terra adicionada, com diferentes percentagens de anidrite, de maneira a estudar a influência das distintas dosagens. Pretende-se melhorar as características mecânicas mais frágeis da argamassa de terra, sem prejudicar a sua capacidade higroscópica. Preparou-se uma argamassa com a adição de gesso hemihidratado para se poder comparar. Com as argamassas produzidas foram realizados vários ensaios, tanto no estado fresco como no estado endurecido, para se poder comparar os resultados obtidos com as diversas formulações. Também foi preparada uma amassadura de apenas anidrite, para analisar como se comporta o material sem influência da terra.

## **1.3. Estrutura da tese**

Como primeiro passo, foi realizado uma pesquisa bibliográfica em torno do tema em estudo, nomeadamente argamassas de terra, argamassas de terra com a adição de gesso e anidrite. A informação sobre anidrite encontrada foi muito escassa, visto ainda não ser um material muito explorado no ramo da construção civil. De seguida foram decididas as formulações a usar nas argamassas, assim como os ensaios a realizar durante o estudo. Terminada a campanha experimental iniciou-se o processo de escrita, composto por sete capítulos, referências bibliográficas e anexos.

No primeiro capítulo, Introdução, é feito um enquadramento geral, onde são apresentadas os objectivos, as razões e motivação para o estudo desenvolvido.

O segundo capítulo, estado de conhecimentos, expõe a informação recolhida durante a pesquisa bibliográfica sobre as argamassas de terra, são abordadas as propriedades da terra como material de construção e as suas exigências funcionais.

Os materiais constituintes das argamassas em estudo são apresentados no terceiro capítulo.

No quarto capítulo, é explicada como foram feitas as formulações, preparação, modo de produção e os ensaios realizados às argamassas no estado fresco.

Os ensaios realizados às argamassas no estado endurecido são abordados no quinto capítulo.

Os resultados e discussão dos valores obtidos nos ensaios realizados durante a campanha experimental são apresentados no sexto capítulo.

Por fim, no capítulo sete, é feita uma síntese do trabalho desenvolvido e são ainda propostos alguns estudos para desenvolvimento futuro a complementar esta dissertação.

A presente dissertação termina com as referências bibliográficas utilizadas ao longo do trabalho e, em anexos, as fichas técnicas dos produtos e materiais usados e tabelas com os dados recolhidos ao longo do trabalho experimental.

## **2. Argamassas e rebocos**

### **2.1. Argamassas de terra**

#### **2.1.1. Considerações gerais**

Os solos geralmente são compostos por fragmentos de rochas, resultantes de acções de agentes físicos, químicos e biológicos, e por matéria orgânica, proveniente de plantas e animais em decomposição. Quando se considera a terra como material de construção, apenas a parte mineral do solo interessa, onde estão contidos minerais como a argila, siltes e material arenoso, em diferentes quantidades e de diferentes granulometrias (Torgal et al., 2009).

A terra pode ser utilizada como material de construção de duas maneiras distintas, crua ou cozida, em que a grande diferença assenta no processo de transformação usado. No primeiro caso não é usado nenhum processo térmico na sua transformação e, regra geral, sem necessidade de transportes de longa distância, pois a terra a ser aplicada pode, em geral, ser retirada do próprio local de construção. Já no segundo caso, necessita-se de transporte para fábricas, onde se recorre a processos industriais para a cozedura da terra em fornos a altas temperaturas e novo transporte para o local onde vai ser aplicada, levando a maiores gastos energéticos e económicos. A terra quando cozida, transforma-se em material cerâmico, de forma irreversível, acabando com uma grande qualidade da terra, que é ser infinitamente reutilizável (Rocha, 2015).

A mistura entre um ligante (aglomerante) e um agregado (areia natural ou artificial), quando amassados com água, resulta numa argamassa, que pode ser aplicada no seu estado fresco de diversas formas na construção. Os rebocos compostos por argamassas apenas de terra endurecem simplesmente por processo de secagem, enquanto que os restantes sofrem uma reacção química entre os constituintes, levando à formação de uma rocha artificial.

A última metade do século XX ficou marcada por uma grande mudança no sector da construção, com o surgimento de novos materiais, novas técnicas e soluções construtivas e prazos de trabalho mais curtos. Ocorreu o desuso a utilização de argamassas de terra, cal e gesso, levando ao esquecimento das suas técnicas e conhecimento até então utilizados. Começou-se a dar importância à construção nova em detrimento da reabilitação e conservação dos edifícios existentes. Contudo, principalmente a partir dos finais da década de 80, em Portugal voltou-se de novo a ganhar interesse por estes materiais ecológicos, com o objectivo de reabilitar o património histórico existente (Rodrigues et al., 2014) e devido a preocupações ecológicas.

Actualmente países com forte poder económico e bastante industrializados, como a Alemanha, Itália, França e Grã-Bretanha, têm vindo a ter uma procura crescente por construções ecológicas de terra, em que são inúmeras as razões para esta nova atracção por materiais de construção em terra. Não menosprezando os restantes argumentos, dos mais importantes são certamente o baixo impacto ambiental destes materiais e a capacidade de regular as condições higrotérmicas do ambiente interior. Os materiais de construção de terra podem ser usados essencialmente de duas formas diferentes: como paredes de terra (principalmente como blocos de terra comprimida, adobes, taipa ou tabique) ou como rebocos. O uso de rebocos de argila com ou sem fibras vegetais, como cânhamo, palha ou outros, dentro de edifícios está a crescer consideravelmente em bastantes países, como França e Itália (Deliniere et al., 2014).

Neste contexto, os revestimentos de paredes apresentam uma grande importância porque, ao serem reabilitados com materiais incompatíveis, podem provocar novas anomalias muito graves ou piorar anomalias que já se encontravam na parede. Com isto, as argamassas de reboco são um dos componentes de protecção do edifício que importa caracterizar, por forma a garantir compatibilidade com os materiais de construção actuais, sendo importante que exista um bom conhecimento da constituição e funcionamento de revestimentos antigos. Além disso, o seu estudo torna-se relevante para que possa fornecer informações importantes sobre a história do edifício.

A deterioração dos edifícios antigos está associada à falta de manutenção e incorrecta reparação das argamassas. Quando existe a aplicação de argamassas sobre suportes antigos com propriedades muito diferentes, estes tornam-se incompatíveis, podendo resultar na fissuração e destacamento dos novos revestimentos. Para que se inicie o correcto processo de reabilitação é necessário garantir a compatibilidade físico-químico e mecânica entre as novas argamassas e as antigas, nunca esquecendo o aspecto original do edifício. Actualmente neste tipo de reabilitações têm-se vindo a verificar anomalias graves relacionadas com a aplicação de argamassas à base de cimento sobre suportes antigos (Silva et al., 2001).

Assim, quando se coloca o problema de reparar ou reabilitar uma determinada obra, torna-se indispensável obter informações sobre a natureza dos materiais que foram empregados, de forma a poder recomendar-se materiais de reparação/reabilitação que sejam compatíveis com os existentes. Sempre que possível, os materiais para a elaboração das argamassas à base de terra devem ser obtidos no mesmo local onde se realiza a obra (Gomes et al., 2011).

O comportamento mecânico das argamassas de reboco de terra é muito semelhante ao de uma parede de terra, fazendo com que este tipo de argamassa seja mais compatível com estas paredes (e com outras paredes de características semelhantes). Esta situação é contrária à das argamassas à base de cimento ou cais hidráulicas que, apesar de apresentarem melhor comportamento face à acção da água, são excessivamente rígidas para este tipo de suporte (Hamard et al., 2013; Torraca et al., 2009).

O uso da terra muitas vezes está ligado a considerações estéticas, mas acumula várias vantagens muito mais interessantes para a construção como: a terra pode desempenhar o papel de controlador de humidade do espaço interior e pode ser ainda aplicada à maioria dos diferentes tipos de suportes para renovação/reabilitação ou na construção de novos edifícios. No entanto, o desenvolvimento deste novo mercado requer um melhor enquadramento para a caracterização de rebocos de argila (Hall et al., 2009; Allinson et al., 2010; Liuzzi et al., 2013). Na Europa, não existe um padrão para isso, excepto na Alemanha, onde existe uma norma para a caracterização de reboco de terra desde agosto de 2013 (DIN 18947) (Lima et al., 2016b). Esta norma é fortemente baseada nos padrões para rebocos convencionais (rebocos à base de cimento ou cal) (séries EN 1015, diversas partes), em que foram feitas algumas adaptações para ter em conta a particularidade da terra. Além disso, existem ainda poucas referências que tratam da caracterização do reboco argiloso em revistas científicas internacionais, o que mostra a necessidade de experimentações científicas e publicações sobre este tipo de material.

### 2.1.2. Características das argamassas

Desde há muito tempo atrás, que as argamassas de terra foram utilizadas um pouco por todo o Mundo, pois é material de fácil acesso e manipulação sem se despendem muita energia, tanto física como económica. A civilização Romana teve grande importância no desenvolvimento das argamassas, por ter aproveitado as características das pozolanas naturais (cinzas vulcânicas ricas em sílica e alumina), bem como pela introdução de areias, peças cerâmicas moídas, cal hidratada e matéria orgânica na composição das argamassas, chegando a alcançar alguns resultados interessantes, como o de aumentar as suas resistências mecânicas, o que explica a sua durabilidade até aos dias de hoje (Veiga, 2009).

A aplicação de argamassas pode ser bastante extensa, pois podem ter diversas aplicações como, por exemplo, assentamento de alvenaria, fechamento de juntas, enchimento e regularização de paramentos interiores e exteriores (revestimentos). Conforme o tipo de aplicação, as exigências funcionais diferem, dependendo ainda da região do país, da exposição ambiental e da técnica de construção que vai ser usada, assim como do tipo de suporte onde vão ser aplicadas (Henriques e Faria, 2008). Requisitos técnicos tais como a aderência, a resistência, a deformabilidade, a permeabilidade ao vapor, velocidade de secagem, dilatação térmica, as suas propriedades estéticas, a sua capacidade para lidar com a contaminação de sais e os ciclos gelo-degelo podem ser quantificadas (Van Balen et al., 2010).

As argamassas, hoje em dia, são aplicadas maioritariamente em dois tipos de situações: argamassas para conservação e reabilitação de património edificado ou usadas em construções novas. Como tal, os requisitos estabelecidos para argamassas de reabilitação têm de ser diferentes dos estipulados para argamassas a ser usadas em edifícios novos, porque é necessário compatibilizá-las com o tipo de solução construtiva onde se vão aplicar.

As argamassas de terra devem ter em consideração diversas características para que haja uma adequada utilização das mesmas, tais como:

Regulação da humidade do ar interior: Esta é a característica das argamassas de terra que mais contribui para o bem-estar e qualidade do ar dos espaços interiores. A sua óptima capacidade higroscópica é capaz de regular a humidade presente no local, absorvendo o vapor de água quando o ambiente está mais húmido e libertando-o quando fica mais seco. Esta capacidade acaba sem dúvida por influenciar o conforto térmico e também a salubridade do ar local (Lima, 2013).

Conforto térmico: A percepção de conforto térmico não está limitada apenas às necessidades fisiológicas do ser humano, é também influenciada por condições externas, como a temperatura, humidade relativa e velocidade do ar ou por alguma fonte de energia que emita calor.

A humidade relativa presente no ar influencia a percepção da temperatura de duas diferentes maneiras: primeiro, pode intensificar ou limitar as trocas de energia do corpo com o ambiente envolvente, quanto mais baixa estiver, maior é a capacidade do corpo em libertar calor; em segundo, também altera a condutibilidade térmica do ar, tornando o ar melhor condutor quanto maior for a humidade relativa (Lima, 2013).

Contributo para a salubridade do ar interior: Um dos principais objectivos da construção ou reabilitação de edifícios é construir/desenvolver ambientes salubres e confortáveis, onde seja possível os

seres humanos coabitar e trabalhar. Para esses objectivos serem atingidos é necessário ter em atenção diversos aspectos, como a estabilidade, conforto térmico e acústico e segurança contra incêndios, e existe cada vez mais a necessidade de controlar os elementos higiénicos (Röhlen et al., 2011).

A Organização Mundial de Saúde, confirma, que hoje em dia existem investigações realizadas por diversos países com diferentes condições climatéricas, que comprovam que a permanência em espaços fechados com demasiada humidade aumenta de forma significativa o risco de contrair doenças ou infecções respiratórias, alergias ou crises asmáticas.

Grande parte do tempo da nossa vida é passado em ambientes interiores, onde a qualidade do ar é determinante para a nossa saúde e bem-estar, mas onde são encontrados inevitavelmente pó e partículas de sujidade, que juntamente com a quantidade de água disponível no ambiente interior, tanto no estado gasoso ou líquido, e a condensação superficial nos materiais de revestimento, ou assim como a própria humidade de materiais orgânicos aplicados em obra, são factores cruciais para despoletar o crescimento de colónias de microrganismos, como fungos, ácaros ou outras bactérias (Lima, 2013).

Por outro lado, a exposição prolongada a um ambiente com humidade relativa baixa, ou seja, inferior a 40%, pode provocar secagem excessiva da mucosa das vias respiratórias superiores, podendo provocar inflamações respiratórias. De modo a prevenir e a reduzir o risco da criação de doenças prejudiciais à saúde em espaços interiores a humidade relativa deve situar-se entre os 40% e 70% (Minke, 2006).

Contributo para a não toxicidade do ar interior: Hoje em dia na construção de edifícios a maioria dos materiais convencionais, têm na sua composição compostos orgânicos voláteis que libertam para o ar quantidades significativas de diversas substâncias prejudiciais para a saúde, como por exemplo o benzeno e o formaldeído, que têm efeitos cancerígenos. O uso de pastas compostas apenas por terra, sem adição de qualquer adjuvante, faz com que as pastas não libertam para o ambiente interior qualquer tipo de substâncias nocivas para a saúde, podendo também contribuir para uma redução de odores e de alguns poluentes (Lima, 2013).

Conforto acústico: os rebocos de argamassa de terra podem contribuir significativamente para o condicionamento acústico dos ambientes interiores, através da aplicação de um acabamento rugoso superficial e da plasticidade do material, que resulta na redução do tempo de reverberação do espaço interior (Lima, 2013).

Reacção ao fogo: o comportamento da terra perante o fogo não depende apenas da natureza do material, mas também das características e forma da superfície, massa volúmica, da sua formulação e das reacções com os outros materiais, incluindo quaisquer agentes de ligação ou fixadores utilizados.

As argamassas de terra contêm uma quantidade elevada de água cristalizada, que quando é exposta ao fogo, a sua estrutura não se desintegra, formando uma estrutura compacta (Röhlen et al., 2011).

### **2.1.3. Anomalias das argamassas**

Segundo Faria e Lima (2018), a deterioração das argamassas podem ocorrer através de diversos processos, que podem ser classificados em processos físicos, mecânicos, químicos e biológicos:

- Acção dos poluentes atmosféricos: nas últimas décadas o problema das chuvas ácidas tem adquirido dimensões preocupantes em grande parte da Europa e da América do Norte. Estas águas ácidas, em contacto com cimentos e argamassas, dão lugar à formação de nitratos de cálcio, sulfatos, bicarbonatos, sendo que estes sais são altamente solúveis.

- Cristalização de sais solúveis: os sais solúveis podem causar danos consideráveis em materiais porosos como as argamassas. Existem dois tipos de cristalização de sais: eflorescência e criptoflorescência. No primeiro, os sais formam-se à superfície, enquanto que no segundo, já são formados entre a superfície e o suporte, sendo de mais difícil e dispendiosa resolução.

- Variações térmicas e higrotérmicas: as variações de temperatura e humidade relativa podem produzir dilatações e contrações nos materiais, que criam tensões na argamassa e na estrutura e como cada material tem um diferente coeficiente de dilatação, estas acções podem resultar em fissuras/fendas.

- Deterioração devida a causas biológicas: a deterioração das argamassas devida a causas biológicas é um processo de destruição do material por organismos vivos ou pelos produtos do seu metabolismo. Esta deterioração é favorecida por factores como a porosidade, a composição e a rugosidade, que facilitam a acumulação de água no material e conseqüente crescimento de microrganismos.

- Fendilhação: este fenómeno está na maior parte dos casos associado a retracções, reacções químicas, assentamentos de fundações e/ou deformações do suporte, podendo vir a criar fendas ou fissuras dependendo da gravidade da acção. A uma abertura longitudinal que atravessa toda a espessura do revestimento, causando a rotura, dá-se o nome de fenda. Enquanto que a fissura, entende-se como uma abertura longitudinal fina, que apenas condiciona a parte superficial do revestimento.

## **2.1.4. Materiais**

### **2.1.4.1. Ligantes**

A terra, o gesso e a cal foram os três tipos de ligantes mais comuns até ao final do séc. XVIII. A partir dessa época, e até aos nossos dias, vários tipos de cimentos naturais e, mais tarde, o cimento Portland, começaram a tomar o lugar desses ligantes tradicionais (Mattone et al., 2017).

A introdução de ligantes artificiais, como o gesso ou a cal, conferia propriedades impermeabilizantes à mistura, estendendo a sua utilização aos revestimentos de paredes e pavimentos e à estabilização das alvenarias. Para além da areia, com uma utilização mais generalizada nas argamassas antigas, era também comum usar-se a brita ou o pó de pedra.

Os ligantes são materiais de origem natural ou artificial, que quando misturados com água ganham presa e endurecem. Servem para ligar ou unir materiais de construção, como os agregados. Os ligantes dividem-se em dois grupos principais, os ligantes hidrófilos e os ligantes hidrófobos.

Os ligantes hidrófilos são ligantes que têm relação com a água, isto é, quando misturados com ela formam uma pasta que endurece, podendo-se adicionar outros materiais. Estes apresentam-se sob a forma de pó e podem ainda ser subdivididos em aéreos ou hidráulicos. Um ligante hidrófilo aéreo quando misturado com água forma uma pasta, que endurece em contacto com o ar; a pasta depois de endurecida não é resistente à água (ex. gesso). Um ligante hidrófilo hidráulico é um ligante que, misturado com água,

forma uma pasta que endurece ao ar ou dentro de água. Neste caso, a pasta depois de endurecida tem capacidade de resistir à água (ex.cimento) (Faria 2004, Coutinho 2006).

Segundo os mesmos autores, os ligantes hidrófobos são ligantes onde a água não tem qualquer papel na sua produção e endurecimento. Estes ligantes apresentam-se sob a forma de líquidos viscosos ou soluções resinosas (ex. alcatrão) que endurecem por arrefecimento.

Os ligantes, de acordo com a sua origem, podem ser classificados de minerais ou orgânicos, com os primeiros a serem obtidos através de rochas naturais, como o mármore e o calcário, que regra geral são os mais utilizados para a produção de argamassas, e os segundos, através de substâncias vegetais ou animais. Nos ligantes minerais, o produto final obtido depende da natureza da rocha, temperatura de cozedura e das quantidades presentes de sílica, alumina e ferro (Margalha 2011).

#### **2.1.4.1.1. Argila**

A terra é um dos materiais de construção mais antigos do mundo e a sua utilização remonta a milhares de anos antes de Cristo. Existem várias versões de quando começou a ser usada, todas elas variam entre 10000-6000 a.C.. Há registo de habitações construídas em adobe na Rússia, entre 8000-6000 a.C.. Foram também identificadas no Médio Oriente as primeiras civilizações com construções erguidas com terra local, como a cidade de Jericó, na Cisjordânia e Zigurates, na Mesopotâmia, cidades totalmente construídas com adobes, que ainda hoje estão de pé. O templo de Ramsés II no Egipto foi contruído com blocos de terra há 3200 anos, bem como a Grande Muralha da China era inicialmente constituída por taipa e só mais tarde é que foi revestida com blocos de pedra. Depois da primeira e segunda guerra mundial, na Alemanha, imensas casas foram construídas com recurso a terra por não terem acesso a diversos materiais de construção (Minke, 2000; Torgal et al., 2009).

Em Portugal, a terra como material de construção surgiu na época dos Fenícios a partir do século VIII a.C. e a execução de paredes em taipa, adobe e tabique alcançaram uma distribuição generalizada. Anteriormente à entrada deste povo a terra era maioritariamente utilizada como argamassa de revestimento (Abraúl, 2010).

Toda a construção de terra com o surgimento da indústria do cimento no século XX, foi caindo em desuso e conseqüentemente perdeu o interesse por parte do sector da construção. Nos dias de hoje, a falta de confiança em construções de terra ainda é bastante evidente por uma larga percentagem dos empreiteiros envolvidos na construção, muitas vezes por ignorância das aplicações possíveis, sendo por vezes ainda vista como um material frágil e pouco durável, do qual apenas poderão resultar edifícios de fraca qualidade. Contudo, a sua durabilidade pode ser comprovada pela passagem dos séculos, através de exemplos como é o da cidade de Shibam, no Iémen, construída no século XVI, que tem vindo a resistir a qualquer tipo de intempérie, sendo possível ainda nos dias de hoje vê-la. Da mesma forma, em Portugal, muitos monumentos nacionais e de construção vernacular construídos com a terra como material de construção mantêm-se em uso há séculos, como a torre de Belém (Ponte, 2012).

A constituição da terra tem por base elementos minerais cujas características dependem da composição química e mineralógica da sua rocha de origem. No entanto, nem toda a matéria que constitui o solo é adequada à construção, neste caso, o subsolo, é caracterizado por minerais de grande dureza e estabilidade e, como tal, é onde se encontra a terra ideal para a construção. Para além disso, a terra tem de

ser rica em argila de modo a ser plástica no estado fresco e sólida quando seca, mas nunca em quantidades excessivas que promovam muita retracção.

As propriedades específicas da terra estão directamente relacionadas com as suas características de granulometria, plasticidade, compressibilidade e de coesão. A granulometria está relacionada com a natureza, dimensão e quantidade de inertes; a plasticidade tem a ver com a capacidade da terra para ser modelada; a compressibilidade é a possibilidade que a terra tem de densificação e redução de porosidade; a coesão diz respeito à intensidade da ligação dos inertes entre si e à capacidade das partículas que constituem o material se manterem unidas quando se exerce sobre este um esforço de tensão (Minke, 2011, Gomes et al., 2012).

Segundo, Faria (2007) e Ponte (2012), a terra como material de construção possui diversas vantagens, designadamente:

- Existe por todo o mundo e é considerado um material inesgotável;
- A sua utilização não necessita de processos de transformação dispendiosos, nem grandes gastos energéticos;
- Pode não ser necessário transporte entre o local de extracção e a aplicação em obra, favorecendo uma construção vernacular, tornando-se num dos materiais com menor impacto ambiental;
- Apresenta bom comportamento térmico e acústico;
- A elevada higroscopicidade da terra permite absorver e libertar vapor de água, equilibrando a humidade relativa de ambientes interiores, proporcionando um melhor conforto nos espaços interiores;
- É reciclável e reutilizável, incombustível e não tóxica;
- A terra escavada na execução de fundações poder ser reaproveitada como material de construção (blocos, rebocos ou argamassas);
- A terra utilizada na construção pode ser proveniente de terrenos menos férteis, e como tal não se retira recursos ao solo que possam prejudicar a agricultura.

No entanto, muitas vezes procura-se aumentar a durabilidade das paredes de terra, seja ao nível das resistências mecânicas e da erosão, estabilizando a terra. Isto significa que se pretende alterar um sistema terra-água-ar, a fim de melhorar as suas propriedades finais. Estas estabilizações podem ser feitas de três processos distintos, os quais actuam na textura e na estrutura da própria terra (Faria, 2007):

- Estabilização mecânica - consiste na aplicação de uma força de compressão sobre o material, resultando num material mais denso, que conseqüentemente diminui a sua porosidade. Esta prática é vulgarmente utilizada na técnica construtiva da taipa e dos blocos de terra comprimida.

- Estabilização física - é realizada a correcção da granulometria da terra, adicionando ou eliminando determinados grânulos, de forma a alterar a textura do material. Esta técnica é vulgarmente utilizada quando se adiciona areia e/ou fibras para a realização de adobes ou de argamassas de terra.

- Estabilização química - resume-se à adição de materiais que vão desenvolver reacções químicas, que modificam as propriedades da terra. A reacção da mistura da argila e gesso resulta no aparecimento de uma argamassa, que aglomera as partículas de terra. Apesar de actualmente, a cal e o cimento serem os principais agentes de estabilização em países industrializados. A adição de materiais menos agressivos,

como o gesso, vai aumentar o desempenho de cada componente, que acaba por contribuir favoravelmente no sistema e respeitando a sua natureza.

#### **2.1.4.1.2. Gesso**

A verdadeira origem da utilização de gesso não é conhecida, mas existem registos que demonstram a presença destes ligantes na construção há cerca de 12000 anos, nomeadamente em alvenarias, pavimentos e revestimentos de parede, sobretudo em zonas de climas secos como a Fenícia e o Egipto, nas zonas do Próximo e Médio Oriente, actualmente Israel, Síria, Turquia e Chipre (Philokyprou, 2012). Um exemplo da utilização ancestral deste tipo de ligante são as pirâmides do Egipto, que são constituídas por blocos de pedra assentes em argamassas de gesso.

Embora ambas as matérias-primas existissem com abundância (sulfato de cálcio dihidratado, no caso do gesso), o uso de gesso no Egipto, predominou sobre o da cal, dada a necessidade de muito menor energia para a sua transformação (120-500°C, ao invés de 800-900°C para a calcinação do calcário) numa zona onde a madeira, que consistia na principal fonte de energia, escasseava. A sua utilização na construção de pirâmides e de outros monumentos funerários data de há mais de 5000 anos. Mais tarde, os gregos, os romanos e os árabes também fizeram largo uso do gesso nas suas construções e decorações. A presença de gesso é muito mais significativa nas argamassas egípcias, do que na Europa, seja qual for o período histórico (Stark et al., 1999; Freire, 2016).

Na natureza encontra-se de formas bastante variadas em aspecto e cor, desde branco puro, amarelo, cinzento, até vermelho, dependendo das impurezas que contém, em grandes bancos de rocha compacta ou branda, ou até em camadas terrosas inconsistentes (Branco, 1981).

Em Portugal, é notória a falta de fontes de matéria-prima de gesso por oposição à imensa oferta de fontes de carbonato de cálcio, matéria-prima para obtenção de cal. Para além de existir em pequenas quantidades, o sulfato de cálcio dihidratado possui, na maioria dos casos, elevada percentagem de impurezas, tornando-se num gesso mais acinzentado. Na região de Óbidos encontram-se algumas das poucas pedreiras de gesso activas do país, mas por se tratar de um gesso menos puro e de cor cinzenta, a maior parte da produção é consumida pela indústria cimenteira, como regulador de presa. Devido à falta de fontes de matéria-prima em Portugal em quantidade e com qualidade suficientes, existiu sempre necessidade de importar matéria-prima para o fabrico de gessos mais brancos, para posterior calcinação em fábricas nacionais, nomeadamente pedras oriundas de Marrocos e de Espanha, uma vez que o gesso produzido a partir de pedra nacional possuía uma tonalidade próxima do cimento Portland, o que não é desejável quando se fala de gesso para determinados fins (Freire, 2016; Pombo Cardoso, 2010).

O gesso é uma rocha mineral natural bastante abundante na crosta terrestre, de fórmula química  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (sulfato de cálcio dihidratado) e dureza 1,5-2 na escala de Mohs. Ocorre também sob a forma de anidrite natural, a fase não hidratada, de fórmula química  $\text{CaSO}_4$  e dureza 3-4 na escala de Mohs (Pombo Cardoso, 2010). É um material importante para a Engenharia Civil, pois além de ser um material sustentável e com baixo consumo de energia, possui outras características importantes, como resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico (Mattone et al., 2012).

Segundo Freire (2016), o sistema  $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  é composto por cinco fases sólidas. Quatro delas existem à temperatura ambiente e são de interesse para a indústria, enquanto que a quinta, anidrite I, só existe acima de  $1180^\circ\text{C}$ .

O sulfato de cálcio dihidratado é o material inicial e final, antes da desidratação e após a rehidratação respectivamente. As principais diferenças entre os materiais estão na densidade e estrutura cristalina dos mesmos. No primeiro apresenta uma microestrutura densa e compacta, enquanto que no segundo, devido à evaporação do excesso de água da amassadura, tem uma estrutura mais porosa.

O sulfato de cálcio hemihidratado, pode existir de dois tipos, que apresentam dois estados limites de variedades intermédias de cristalização, com cristais de diferentes tamanhos e formas, mas com a mesma formação estrutural. Estas diferenças resultam das condições de calcinação, que pode ser executada por via húmida ou seca.

No primeiro processo, o hemihidratado é obtido pela desidratação do gesso em fornos a pressões de vapor de água acima de 1 bar através de um processo de “dissolução-recristalização”, que resulta num material com cristais transparentes, bem formados e compactos com arestas pontiagudas. Enquanto que pelo segundo processo, o hemihidratado é formado a pressões ligeiramente abaixo de 1 bar, que produz um material com partículas com alta microporosidade e cristais de dimensão extremamente pequenos, chamados cristalitos. A distinção entre os produtos só pode ser identificada por microscopia ou por análises térmica diferenciais (DTA). Ainda que o material obtido por via húmida necessitar de menos água de amassadura do que o obtido por via seca, que resulta num produto mais denso, forte e duro, ainda é considerado bastante frágil, o que deixa o seu uso muito limitado na construção civil.

A anidrite III, ou solúvel é um material instável devido à sua grande voracidade por água, mesmo quando se encontra em ambiente com baixa humidade. Industrialmente não é possível obtê-la sozinha, apenas é encontrada numa mistura de fases. A sua presença num produto de gesso, acelera o tempo de presa da pasta, o que pode ou não ser desejável, dependendo do trabalho que se vai executar.

A anidrite II, pode ser obtida de forma natural ou a partir de processos industriais, através da calcinação do sulfato de cálcio dihidratado em temperaturas mais altas ( $300-700^\circ\text{C}$ ). É também designada como “anidrite insolúvel”, quando é queimada entre  $500^\circ\text{C}$  e  $700^\circ\text{C}$ , porque normalmente precisa de um detonador para iniciar a hidratação. Nesta fase, a temperatura e o tempo de calcinação são inversamente proporcionais à cinética da hidratação.

A anidrite I, apenas é formada em temperaturas acima de  $1180^\circ\text{C}$ , transformando-se em anidrite II quando abaixo desta. É um material impossível de obter no seu estado puro, pois é sempre contaminado por elementos resultantes da separação da anidrite ( $\text{CaO}$  e  $\text{SO}_2 / \text{SO}_3$ ).

A desidratação do gesso é um processo fácil, contudo a obtenção de uma fase pura do material é bastante difícil, pois a queima do gesso depende de vários factores como: presença de impurezas, variedade de gesso, tamanho das partículas, tempo de calcinação, temperatura de calcinação, distância do calor e pressão atmosférica. É importante realçar que o gesso é um mau condutor de calor, como já foi dito anteriormente (Pombo Cardoso, 2010).

O gesso enquanto material de construção é dos mais ecológicos, devido à sua capacidade de reciclagem infinita, podendo sempre voltar a ser calcinado, desde que não seja contaminado com outro ligante. Outra das suas vantagens é a baixa energia necessária para a sua produção, com temperaturas de calcinação a partir dos 120°C. Outros materiais de construção, como por exemplo a cal aérea e o cimento, necessitam de cerca de 900°C e 1450°C respectivamente, o que revela ser mais dispendioso para a sua produção. Além disso, as propriedades relacionadas com o comportamento térmico e acústico e principalmente face à resistência ao fogo devido à percentagem de água contida na sua estrutura interna, são igualmente associadas ao gesso enquanto material de construção (Freire, 2016).

O reboco composto por pasta de gesso é um material de construção importante para ser aplicado no interior de habitações, pois é um material barato e fácil de usar, com vários atributos vantajosos. Os rebocos de gesso possuem boas propriedades térmicas, cumprem com os padrões de segurança contra incêndio e proporcionam um clima agradável no interior. Foi criada a norma europeia EN 13279, Gypsum binders and gypsum plasters (cal e gesso), onde estão estabelecidas definições e requisitos das várias propriedades do gesso, assim como os procedimentos experimentais para avaliar essas características (Schug et al., 2017).

Este material é bastante usado e interessante na indústria da construção, principalmente pela sua propriedade de resistência ao fogo, que por sua vez se deve à grande quantidade de água presente na sua estrutura (cerca de 18% do seu peso). Para além de ser incombustível, quando é aquecido, a água presente da cristalização é gradualmente libertada em forma de vapor de água, o que permite que absorva uma parte do calor desenvolvido pelo incêndio, retardando a elevação da temperatura do espaço interior (Freire, 2016; Gomes et al., 2013).

A aderência entre o gesso e o suporte onde vai ser aplicado, depende das características da pasta ou argamassa, como a trabalhabilidade e também das características do suporte, como a porosidade e a absorção de água. As pastas de gesso aderem bem a tijolos de alvenaria, pedras e ligas de ferro, em que nas últimas é preciso ter algum cuidado na sua aplicação, pois o gesso não impede a corrosão do ferro, sendo preciso utilizar primeiro um revestimento anticorrosivo. Por outro lado, o gesso adere mal às superfícies de madeira (Martins et al., 2010).

Segundo Schug et al. (2017), infelizmente, existe uma enorme desvantagem: o uso de materiais de gesso é limitado por causa da sua característica adversa no contacto com a água. As propriedades mecânicas do gesso, isto é, a sua dureza, resistência à compressão, resistência à flexão e módulo de elasticidade deterioram-se em ambientes húmidos, porque a humidade introduz água adicional ao sulfato de cálcio dihidratado que, sob carga estática, é responsável pela fluência do gesso. Em última análise, isso leva a uma deformação do material de construção, impossibilitando o seu uso.

#### **2.1.4.2. Agregados**

Agregado é um material constituído por partículas com formas e volumes diferentes, sobretudo de rochas, ou por partículas provenientes de depósitos arenosos ou ainda, por partículas artificiais. É na maioria das vezes, o elemento presente em maior percentagem nas argamassas. Tem como função diminuir a retracção, melhorar a compacidade, a impermeabilidade e a resistência mecânica das argamassas. É a componente das argamassas que confere estabilidade volumétrica e melhora o comportamento mecânico,

diminuindo também os vazios presentes na mistura, aquando da utilização de uma granulometria adequada.

Os agregados são classificados conforme a sua origem, as dimensões das partículas (maioritariamente) e a massa volúmica aparente. Segundo a sua origem, os agregados podem ser classificados como naturais, quando são utilizados com a forma com que são extraídos, areias e cascalho, ou obtidos por britagem de materiais naturais, britas. Também podem ser classificados como artificiais, quando são obtidos a partir de processos industriais, e reciclados, quando resultam do aproveitamento de materiais recuperados de outras construções (Paulo, 2006).

Os agregados também são classificados segundo as dimensões das partículas, podem ser finos, mais precisamente são designadas de areias naturais ou britadas, quando possuem maioritariamente partículas de menores dimensões, ou seja, as que passam no peneiro nº4 (4.75mm), ou grossos, quando as partículas ficam retidas maioritariamente no peneiro nº4 (4.75mm) também são chamados de godo, seixo rolado ou brita e são de origem sedimentar. Por fim, os agregados podem ser classificados segundo a massa volúmica ( $\gamma$ ), conforme a densidade do material que constitui as partículas, agregados leves  $\gamma < 2000 \text{ kg/m}^3$ ; pesados  $\gamma > 3000 \text{ kg/m}^3$ ; e normais quando os valores se situam entre os valores referidos anteriormente (Miguel, 2008).

Segundo Veiga (2003), os agregados naturais são geralmente constituídos por partículas arredondadas e lisas, enquanto os agregados gerados pela moagem de rochas são angulosos, o que produz argamassas com melhor acondicionamento entre partículas e, portanto, menor porosidade e maior resistência mecânica.

As propriedades mais importantes exigidas a um agregado são de natureza física, geométrica e química, de forma a que a argamassa apresente adequada resistência mecânica, porosidade, forma e dimensões proporcionais e propriedades químicas contra as acções exteriores. Os agregados conferem coesão à mistura através da ligação das suas partículas ao ligante (Machado, 2014).

#### **2.1.4.3. Adições**

As adições são substâncias sólidas em pó, geralmente adicionadas em quantidades superiores a 5% da massa do ligante, com o intuito de melhorar algumas propriedades das argamassas. Uma situação muito frequente é a adição de pozolanas (naturais ou artificiais), que proporcionam às argamassas um incremento na resistência e durabilidade, sem aumentar a rigidez na mesma proporção. Estes materiais não têm características de ligantes, mas quando combinados com a cal e na presença da água, formam compostos insolúveis estáveis que funcionam como ligantes (Faria, 2004; Veiga, 2009).

#### **2.1.4.4. Adjuvantes**

Os adjuvantes estão cada vez mais a ser usados na produção de argamassas e a sua utilização tem como objectivo aumentar as suas propriedades físicas, químicas ou mecânicas. Designa-se como adjuvante o material orgânico, ou inorgânico, podendo ou não ser adicionado durante a amassadura aos materiais das argamassas com o objectivo de modificar certas propriedades destes materiais, quer no estado fluido, quer no estado sólido ou ainda no momento da passagem de um estado para outro. Com a adição de adjuvantes procura-se melhorar a trabalhabilidade, acelerar ou retardar a presa da argamassa, acelerar o

endurecimento, aumentar a resistência aos ciclos de gelo-degelo, diminuir a permeabilidade aos líquidos, aumentar a aderência ao agregado, às argamassas e os betões endurecidos e produzir argamassas leves (Miguel, 2008).

Os adjuvantes são produtos químicos, que se adicionam nas argamassas em quantidades inferiores a 5% da massa do ligante. São produtos que, quando adicionados às argamassas, lhes conferem determinadas propriedades e anulam efeitos negativos no seu comportamento. No entanto, devem ser utilizados com moderação uma vez que muitos adjuvantes têm origem sintética e ainda não se conhece o seu efeito a longo prazo (Faria e Lima, 2018).

#### **2.1.4.5. Água**

A água é fundamental para a produção de argamassas, conferindo características aglomerantes aos ligantes hidrófilos, sendo responsável pela sua consistência no estado fresco e pelo processo de endurecimento. Certas características das argamassas são influenciadas pela sua quantidade, como as resistências mecânicas e a porosidade (Fontes, 2007).

Existem duas funções essenciais para a água de amassadura: a água de hidratação para os materiais que compõem a argamassa ou a pasta de terra, e a água de molhagem dos agregados que permite uma boa ligação entre as partículas do sistema. A água que é adicionada em excesso é responsável pela retracção e porosidade final das argamassas endurecidas.

A água de amassadura é fundamental para que as reacções de hidratação ocorram e para promover a ligação entre partículas dos materiais constituintes da argamassa. Por isso, é importante que a qualidade da água de amassadura seja boa e isenta de impurezas. A água que não seja potável não deve ser utilizada na água de amassadura de argamassas, pois pode afectar as características do material devido a substâncias dissolvidas e em suspensão que pode possuir, como por exemplo a água salgada que pode provocar eflorescências nas argamassas (Faria, 2004; Fontes, 2007).

## **2.2. Rebocos de terra**

O reboco é um revestimento de parede, exterior ou interior, ou de tecto. Os rebocos tradicionais são constituídos por três camadas que deverão ser mais resistentes, mecanicamente, na primeira camada e ir diminuindo a resistência à medida que se aproximam da superfície. Este requisito pode ser conseguido diminuindo a quantidade de ligante nas camadas mais exteriores ou utilizando agregados mais finos. A primeira camada é tradicionalmente chamada de salpico (emboco, chapisco, crespido ou camada de aderência) e caracteriza-se por ser bastante fluída, rugosa, com maior dosagem de ligante. Esta destina-se a homogeneizar a absorção do suporte e a estabelecer a ligação com o suporte. A camada seguinte denomina-se de base (reboco) e é uma camada mais espessa, com a função de regularização e impermeabilização, que pode ser composta por mais do que uma camada, e em que o seu acabamento não pode ser muito liso para garantir aderência à camada final de acabamento. A camada de acabamento determina o aspecto final do revestimento, como a cor e a textura) e é normalmente composto por uma granulometria mais fina da areia ou menor quantidade de ligante.

Os rebocos de terra distinguem-se dos restantes sistemas de reboco fundamentalmente devido à utilização da terra como aglomerante das argamassas. Contrariamente aos rebocos realizados com recurso

a ligantes minerais, que se caracterizam por terem um processo de endurecimento (cura, presa) baseado em reacções químicas, os rebocos de terra, sem estabilização química, ou seja, sem a adição de um ligante, apresentam um processo de endurecimento apenas associado à secagem. Esta particularidade do processo de endurecimento dos rebocos de terra é, simultaneamente, responsável pela maioria das suas vantagens construtivas, assim como por grande parte das suas principais fragilidades (Faria e Lima, 2018).

Os rebocos de terra, regra geral, são usados no interior das habitações, principalmente devido ao facto de não constituírem uma pedra artificial, mas apenas um material endurecido sendo, por vezes, necessário a aplicação de produtos de protecção superficial, que funcionam como consolidantes de superfícies e conferem alguma resistência à água (Veiga et al., 1990; Faria e Lima, 2018).

Segundo Maddison et al. (2009), as pessoas costumam gastar cerca de 90% do seu tempo em edifícios fechados, em climas moderados e frios. O conforto interior é afectado pela temperatura, movimento, poluição e humidade do ar. Uma humidade relativa inferior a 40% durante um longo período pode causar diminuição da resistência a constipações. Uma humidade relativa de até 70% tem muitas influências positivas e é ideal para a saúde humana. A elevada humidade do ar, superior a 70%, é desagradável devido às sensações quentes e húmidas e ao aumento da probabilidade da formação de fungos. O reboco de argila e areia tem a capacidade de equilibrar a humidade do ar interior ao longo do ano, adsorvendo a humidade quando esta está elevada e desadsorvendo para o ar quando fica mais baixa. A argila devido à sua estrutura de favo de mel porosa e em multicamadas, possui uma grande quantidade de espaço livre para adsorver vapor de água e com isso regular a humidade relativa do ar.

### 2.3. Especificidades e requisitos de desempenho

As argamassas desempenham um papel fundamental na conservação do património edificado, o que tem conduzido a inúmeros estudos sobre argamassas de substituição para conservação e reabilitação de edifícios. Os rebocos constituem o revestimento exterior de muitos edifícios e também dos seus espaços interiores. As suas características devem estar directamente relacionadas com as funções que desempenham, condições a que estão expostos e requisitos de desempenho correspondentes, nomeadamente de compatibilidade com o suporte e de durabilidade (Henriques e Faria, 2008).

As diferentes classes das argamassas de reboco no estado endurecido são definidas com base em valores de ensaios, como se pode ver na tabela 2.1, nomeadamente da resistência à compressão, coeficiente de absorção de água por capilaridade e/ou condutibilidade térmica.

*Tabela 2.1 - Classificação das argamassas consoante as seguintes propriedades de rebocos no estado endurecido, segundo a norma NP EN 998-1 (IPQ, 2010)*

Propriedades	Categoria	Valores
Resistência à compressão aos 28 dias	CS I	0,4 a 2,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS II	1,5 a 5,0 N/mm <sup>2</sup>
	CS III	3,5 a 7,5 N/mm <sup>2</sup>
	CS IV	≥ 6 N/mm <sup>2</sup>
Absorção de água por capilaridade	W 0	Não especificado
	W 1	CC ≤ 0,40 kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
	W 2	CC ≤ 0,20 kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Condutibilidade térmica	T 1	≤ 0,1 W/m.K
	T 2	≤ 0,2 W/m.K

Quando se está a avaliar uma argamassa de reboco, a resistência à compressão não será, na maior parte dos casos, a característica mecânica fundamental, uma vez que a compressão não é a acção a que estas argamassas são solicitadas. Talvez seja mais importante analisar a capacidade de aderência ao suporte ou a resistência à tracção, para o reboco se manter aderente ao suporte e para que não fendilhe, de forma a pôr em causa a sua função no sistema construtivo. Por outro lado, se a argamassa for para aplicação na reparação ou num reboco de substituição, p.e, a sua permeabilidade ao vapor de água será fundamental para garantir a compatibilidade e um bom funcionamento da solução construtiva. Com efeito, a água que acede a uma parede, p.e. por ascensão capilar a partir do terreno, ou o vapor de água gerado no interior dos edifícios, não devem encontrar bloqueios junto à superfície da parede. Se tal suceder (existir um revestimento que produza uma barreira), a humidade, na forma de vapor, concentra-se na face interior dessa barreira, causando danos nessa espessura da parede (Faria e Lima, 2018).

Atendendo à vulnerabilidade da terra quando em contacto com a água no estado líquido, é desaconselhada a aplicação de rebocos de argamassa de terra sem estabilização química, adição de ligantes, como revestimento de paramentos exteriores directamente expostos a condições climáticas adversas. A aplicação de rebocos de terra é recomendada para o interior dos edifícios, contribuindo assim para o conforto e a higiene dos espaços onde são aplicados.

Segundo Henriques e Faria-Rodrigues (2006), os rebocos exteriores devem possuir certas características, de modo a poderem desempenhar as suas funções, de maneira a não comprometer a protecção do suporte, assim como prevenir a sua rápida degradação:

- A absorção capilar deve ser a menor possível, quer em termos de velocidade de absorção (coeficiente de capilaridade), quer em quantidade de água absorvida;

- Resistência aos sais solúveis, para isso é necessária uma boa permeabilidade ao vapor de água para garantir que a água infiltrada consiga evaporar. No entanto, não deve ser tão elevada que ao ocorrer a evaporação provocam a ocorrência de criptoflorescências, ou seja, a cristalização de sais sob os revestimentos de parede (Henriques, 1994);

- Estabilidade dimensional;

- Boa aderência ao suporte;

- Resistência ao ciclo gelo/degelo;

- As suas resistências mecânicas devem ser mais fracas e mais deformáveis que o suporte. Se o revestimento for aplicado em camadas, as propriedades mecânicas devem decrescer do interior para o exterior;

- As argamassas não devem libertar sais solúveis. No entanto, devido aos sais que inevitavelmente existem em alvenarias, as argamassas devem apresentar resistências mecânicas altas e/ou porosidades elevadas, ou seja, poros suficientemente grandes para os sais cristalizarem no seu interior sem produzirem tensões excessivas;

- As resistências mecânicas devem conseguir suportar choques intencionais e acidentais;

- As argamassas devem fazer presa num curto período, por forma a impedir a sua degradação, devido às fracas resistências mecânicas iniciais;

Para os revestimentos interiores de edifícios antigos estes parâmetros são todos igualmente importantes, à excepção da capacidade de impermeabilização, que não é necessária em espaços interiores.



### 3. Materiais constituintes das argamassas em estudo

#### 3.1. Mistura pré-doseada EMBARRO

Esta argamassa pré-doseada da empresa EMBARRO (figura 3.1) é composta principalmente por argila, que actua como ligante natural, areia (0-2 mm) e fibras vegetais (comprimento menor que 10 mm) (Ficha técnica EMBARRO). Foi peneirado, passado pelo peneiro 4,75 mm para retirar os agregados grosseiros presentes na mistura, a fim de possibilitar a execução dos provetes planares. A terra argilosa da mistura pré-doseada vem da pedreira Barrocal no Algarve, situada no Sul de Portugal, é principalmente ilite (Lima et al., 2016c). As argamassas de terra com este tipo de minerais de argila são conhecidas por possuírem alta capacidade de adsorção e desadsorção, bem como baixa retracção quando em contacto com a água, propriedades altamente apreciadas para rebocos (Lima et al., 2016a, 2017).



*Figura 3.1 - Argamassa pré-doseada EMBARRO*

Determinou-se a baridade da mistura pré-doseada segundo a norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2000), para de seguida se proceder à formulação das argamassas.

#### 3.2. Anidrite

A anidrite usada para as formulações é do tipo anidrite II (figura 3.2), composta por sulfato de cálcio anidro de cor branca, obtida através da desidratação total da pedra natural de gesso a 400-700 ° C, produzido pela Gypsum Plus (ficha técnica Gypsum-plus) e comercializado pela PERFISA. A sua baridade também foi determinada, segundo a norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2000), para uso posterior na formulação das argamassas.



*Figura 3.2 - Anidrite II*

### 3.3. Gesso hemihidratado

O gesso hemihidratado não aditivado produzido e comercializado pela empresa SIVAL, também tem um aspecto muito parecido com a anidrite II usada como se pode ver nas figuras 3.2 e 3.3, não se conseguindo mesmo distinguir uma da outra a olho nu. Está em condições de ser aplicado manualmente após amassadura mecânica com água na proporção de 1 litro para 1,45 kg de gesso. É de cor branca e em forma de um pó muito fino (os resíduos ficaram retidos nos peneiros  $500 \mu\text{m} \leq 0,100\%$  e  $300 \mu\text{m} \leq 0,650\%$ ) e é recomendado para ser aplicado como estuque nas paredes e nos tectos pelo método tradicional (ficha técnica SIVAL). Também se procedeu ao cálculo da sua baridade, segundo a norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2000), para a formulação das argamassas a usar no presente estudo.



*Figura 3.3 - Gesso hemihidratado não aditivado*

### 3.4. Retardador de presa

Foi usado um retardador de presa na formulação com adição de gesso, para evitar perder a sua trabalhabilidade, devido ao rápido endurecimento do gesso hemihidratado, que normalmente demora entre 5 a 10 minutos, o que é muito curto para se poder trabalhar e para evitar desperdícios dos materiais.

## 4. Preparação e caracterização das argamassas frescas, execução e cura dos provetes

### 4.1. Caracterização dos constituintes

#### 4.1.1. Baridade dos produtos/materiais em pó

A determinação da baridade dos materiais é necessária para se poder medir rigorosamente o traço das argamassas em massa, correspondendo-o com o traço volumétrico, para isso seguiu-se a norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2000). Foram determinadas para a mistura pré-doseada da EMBARRO, anidrite e gesso hemihidratado.

O ensaio consiste na determinação de material seco que preenche um recipiente com volume conhecido. Para isso foi usado um funil, aproximadamente a 50mm de altura, do recipiente. O primeiro passo foi pesar o recipiente numa balança digital com precisão 0,1g. De seguida preencheu-se o funil, com a base tapada, com o material até ficar cheio, posteriormente destapou-se a sua base para o material cair por gravidade para dentro do recipiente, alisou-se a sua superfície, sem que seja feita pressão sobre o material, para não haver compactação, como se pode ver na figura 4.1. Por fim foi pesado o recipiente cheio. Este processo foi repetido seis vezes para cada material.



Figura 4.1 - Equipamento utilizado para o ensaio da baridade

Depois a baridade do material foi calculada com base na equação 4.1:

$$B = \frac{m_{r+m} - m_r}{V_r} \times 1000 \quad (4.1)$$

Onde,

B – baridade do material [kg/m<sup>3</sup>]

$m_{r+m}$  – massa do recipiente com o material [g]

$m_r$  – massa do recipiente [g]

$V_r$  – volume do recipiente [cm<sup>3</sup>]

Os valores obtidos para cada material estão representados na tabela 4.1, os quais são a média de cinco medições para diferentes amostras dos materiais.

Tabela 4.1 - Baridade dos materiais usados nas formulações das argamassas

Materiais usados nas formulações das argamassas	Baridade	
	Média [ $\text{kg/m}^3$ ]	Desvio padrão [ $\text{kg/m}^3$ ]
Mistura pré-doseada [RM]	1414,0	2,8
Anidrite [A]	970,6	9,4
Gesso hemihidratado [G]	667,4	3,7

#### 4.1.2 Análise granulométrica por via seca

A análise granulométrica foi realizada por via seca, baseada na norma EN 1015-1 (CEN, 1998). O ensaio de granulometria é um processo utilizado para determinar a distribuição das partículas constituintes da amostra de solo ensaiada, expressa em massa, com base na sua dimensão. A granulometria tem grande influência em determinadas propriedades das argamassas, como é o caso da compacidade, ou seja, o modo como as partículas se organizam, quanto mais bem organizadas, melhor é a compacidade da argamassa, assim como as suas resistências mecânicas; bem como a trabalhabilidade, que é avaliada pela facilidade ou não com que a argamassa é amassada, transportada, aplicada e compactada, sem que aconteça a sua segregação durante estes processos.

Este ensaio consiste na peneiração, por meio de um conjunto de peneiros, de uma amostra do solo, em que o agregado que fica retido em cada peneiro, como se pode observar na figura 4.2, é pesado. Através dos resultados obtidos em cada peneiro, é possível construir a curva de distribuição granulométrica, bem como a análise da percentagem de finos que passaram pelo peneiro 0,063mm.



Figura 4.2 - Material resultante em cada peneiro após o ensaio

O procedimento realizado foi o seguinte:

- Retirada uma amostra do lote da argamassa pré-doseada;
- Secagem ( $60 \pm 5^\circ\text{C}$ ) da amostra durante 24 horas, até atingir uma massa constante e de seguida é efectuada a sua pesagem;
- Posicionamento dos peneiros no agitador mecânico, com a seguinte bateria de peneiros 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,19 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, ou seja, ordem decrescente da

abertura de malha, de cima para baixo, e no final é colocada uma base para evitar a perda do material após o ensaio;

- Colocação da amostra no peneiro com a malha de maior dimensão e de seguida é iniciada a peneiração, através da vibração durante 5 minutos;

- No final é efectuada a pesagem do material retido em cada peneiro, registando as massas correspondentes a cada peneiro.

A percentagem de material retida em cada peneiro é calculada através da expressão da equação 4.2:

$$\%_{retida} = \frac{m_{peneiro}}{m_{amostra}} \times 100 \quad (4.2)$$

Onde,

$\%_{retida}$  – percentagem retida num determinado peneiro [%]

$m_{peneiro}$  - massa do material retida no peneiro [g]

$m_{amostra}$  - massa total da amostra [g]

Através das percentagens de material retido, obtêm-se as percentagens de material acumulado e de seguida é possível traçar a curva granulométrica da argamassa pré-doseada, como se pode ver na figura 4.3. Esta análise foi efectuada por Tânia Santos para o artigo Santos et al. (2019), sendo que a mistura pré-doseada usada no artigo é a mesma que para esta dissertação, logo foi possível utilizar a curva granulométrica.

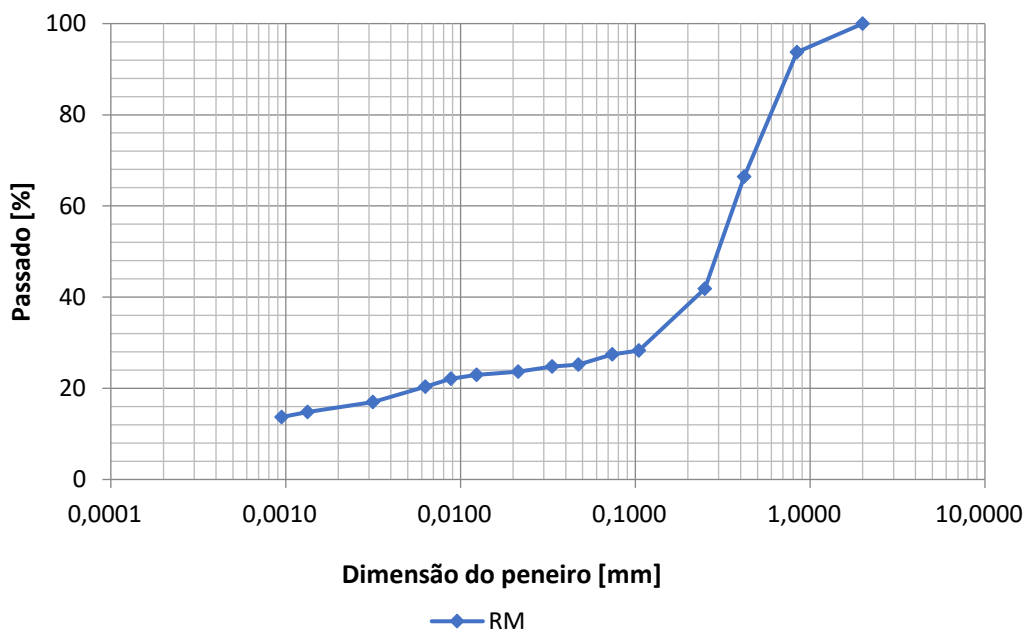


Figura 4.3 - Curva granulométrica da argamassa pré-doseada

## 4.2. Produção das argamassas

### 4.2.1. Formulação

Após obter os valores da baridade para cada material, foram feitas as formulações das argamassas tendo em conta o traço volumétrico da tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Traços volumétricos e mássicos das formulações de argamassas

Designação das argamassas	Traço volumétrico				Traço mássico			
	RM	Anidrite	Gesso	Água	RM	Anidrite	Gesso	Água
RM	1	-	-	0,263	1	-	-	0,185
RM_A5	1	0,05	-	0,263	1	0,03	-	0,179
RM_A10	1	0,1	-	0,267	1	0,07	-	0,176
RM_A20	1	0,2	-	0,288	1	0,14	-	0,178
RM_G20_SR	1	-	0,2	0,281	1	-	0,09	0,181
A100	-	1	-	0,292	-	1	-	0,30

### 4.2.2. Amassaduras

Para a realização das amassaduras seguiu-se o procedimento da norma europeia EN 1015-2 (CEN, 1998b), com algumas adaptações da norma alemã DIN 18947 (DIN, 2013), que foi o seguinte:

- colocação dos materiais na cuba com a água, para amassadura mecânica durante 60 segundos
- repouso da argamassa por 5 minutos
- seguido de mais 30 segundos de amassadura mecânica

Após este processo, são realizados os ensaios no estado fresco das argamassas que posteriormente são colocadas nos respectivos moldes, para se proceder à cura e mais tarde realizar os ensaios no estado endurecido.

## 4.3. Ensaios às argamassas no estado fresco

### 4.3.1. Consistência por espalhamento

A medição do espalhamento quantifica a consistência da argamassa no estado fresco e também permite ter uma ideia da influência da água na sua trabalhabilidade. Os ensaios foram realizados com base na norma EN 1015-3 (CEN, 1999a).

Para a realização do ensaio, começou-se por humedecer a mesa de espalhamento e o molde cónico truncado. O molde foi colocado no centro da mesa e imediatamente após a amassadura da argamassa, foi colocada em duas camadas com a ajuda de uma colher de pedreiro. A primeira camada foi colocada até meio do molde e a segunda preencheu o restante espaço livre. Entre cada camada foram realizadas 10 inserções de um varão metálico, de forma a compactar a argamassa. Nivelou-se a superfície do molde com a ajuda da colher de pedreiro e retirou-se o molde. De seguida, foram executadas 15 pancadas em 15 segundos, a ritmo constante, através da rotação da manivela da mesa, como se pode ver na figura 4.4. Por último, foram medidos 3 diâmetros da argamassa, segundo os eixos da mesa, com recurso a uma craveira e calculada a sua média. Este processo foi repetido 3 vezes para cada tipo de argamassa e da pasta.



*Figura 4.4 - Ensaio de consistência por espalhamento*

As argamassas de terra foram preparadas considerando o mínimo de água necessário de forma a apresentarem boa trabalhabilidade e valores de consistência por espalhamento de acordo com o artigo Gomes et al. (2012), que indica que, num intervalo entre 160 a 176 mm apresentam uma excelente trabalhabilidade.

#### **4.3.2. Consistência por penetrômetro**

Para este ensaio seguiu-se o procedimento descrito na norma EN 1015-4 (CEN, 1998c). Após a amassadura, a argamassa também foi colocada, com recurso a uma colher de pedreiro, num recipiente cilíndrico em duas camadas, em que a compactação foi feita com a oscilação do recipiente. Este fica sob o penetrômetro, que é deixado cair de uma altura de 760 mm e é medida a profundidade da penetração sofrida na argamassa, como se verifica na figura 4.5. Este ensaio foi repetido 3 vezes para cada argamassa e feita a sua média.



*Figura 4.5 - Ensaio de consistência por penetrômetro*

### 4.3.3. Massa volúmica

O ensaio foi realizado com base na norma EN 1015-6 (CEN, 1998d), que pretende avaliar o efeito da introdução de diferentes quantidades de anidrite e gesso na massa volúmica da argamassa no estado fresco.

A realização deste ensaio seguiu o seguinte procedimento. Começou-se por pesar e tarar um recipiente cilíndrico, com capacidade de 1L (1000cm<sup>3</sup>), numa balança digital com precisão de 0,1g. Depois da argamassa estar devidamente preparada é colocada com uma colher de pedreiro até meio de recipiente. A compactação foi feita com a oscilação do recipiente. Preencheu-se o restante e procedeu-se ao mesmo método de compactação. A superfície da argamassa foi nivelada, com a finalidade de retirar o excesso e manter o volume constante. Por último, foi pesado o conjunto.

A massa volúmica da argamassa no estado fresco foi determinada através da equação 4.3:

$$\rho = \frac{M_{r+a} - M_r}{V} \quad (4.3)$$

Onde,

$\rho$  – Massa volúmica da argamassa no estado fresco [kg/m<sup>3</sup>]

$M_{r+a}$  - Massa do recipiente cilíndrico preenchido com a argamassa [kg]

$M_r$  – Massa do recipiente cilíndrico [kg]

V – Volume do recipiente cilíndrico [m<sup>3</sup>]

Para cada argamassa este processo foi repetido 3 vezes e depois feita a sua média. De acordo com a norma DIN 18947 (DIN, 2013), as argamassas de terra devem apresentar massa volúmica superior a 1,2 kg/m<sup>3</sup>.

## 4.4. Preparação dos provetes e condições de cura

### 4.4.1. Provetes prismáticos

Para a realização dos provetes prismáticos, segundo a norma EN 1015-2 (CEN, 1998b), foram utilizados 2 moldes metálicos, como se pode ver na figura 4.6, de onde resultam 6 provetes de cada argamassa com as dimensões aproximadas de 40 x 40 x 160 mm. Os moldes foram previamente pincelados com óleo descofrante, para ser possível a remoção dos provetes após o período de cura. A argamassa foi colocada no molde em 2 camadas, a primeira foi colocada até meio e a segunda preencheu o restante. Cada camada foi compactada mecanicamente com 20 pancadas por um compactador mecânico, com o objectivo de remover os vazios do provete. Após a compactação, os moldes foram nivelados, com movimento em serra, através do uso de uma talocha metálica.



Figura 4.6 - Molde metálico utilizado para os provetes prismáticos

Os moldes foram guardados numa sala condicionada com temperatura de  $20 \pm 2$  °C e humidade relativa de  $60 \pm 5$  %, e ao fim de 15 dias foram desmoldados.

Ao fim de 247 e 248 dias de tempo de cura começaram a ser ensaiados, usados nos ensaios de retracção linear, massa volúmica aparente, módulo de elasticidade dinâmico, de resistência à compressão e à tracção por flexão.

#### 4.4.2. Provetes de argamassa sobre suporte de tijolo

Foram produzidos 2 provetes de argamassa sobre suporte de tijolo de 7cm para cada argamassa. O procedimento para a sua realização segue os seguintes passos: primeiro foi necessário humedecer bem a superfície do tijolo que vai estar em contacto com a argamassa, para que este não absorva água em demasia da argamassa e provoque retracção no provete. O segundo passo passou por colocar uma cofragem à volta do tijolo, que vai permitir criar a camada de argamassa com 2cm. De seguida, é colocado mais uma cofragem com altura de 70cm, de onde vai ser deixado cair a argamassa para cima do tijolo, afim de simular as condições in situ. Após a remoção da cofragem, foi feito o nivelamento do provete, com recurso a uma talocha metálica em movimento de serra. Retirada a última cofragem, são eliminadas as arestas vivas com uma colher de pedreiro. Por fim, são colocados numa sala condicionada com temperatura de  $20 \pm 2$  °C e humidade relativa de  $60 \pm 5$  %. O resultado final, como se pode ver na figura 4.7, é uma camada de argamassa, que simula ser um reboco aplicado em alvenaria.



Figura 4.7 - Provede de camada de argamassa sobre o tijolo

Estes provetes começaram a ser ensaiados a partir dos 37 e 38 dias de cura para o ensaio de coesão superficial, dureza superficial por durómetro foram aos 40 e 41 dias, resistência à abrasão via seca aos 41

dias, absorção de água sob baixa pressão aos 49 e 50 dias, condutibilidade térmica aos 96 e 97 dias e aderência ao suporte aos 247 e 248 dias.

#### 4.4.3. Provetes planares

Foram ainda realizados provetes planares em moldes metálicos com dimensões aproximadas de 500 x 200 mm e espessura 15 mm, como se pode ver na figura 4.8, previamente forrados com película aderente de polietileno. Os moldes foram preenchidos com o auxílio de uma colher de pedreiro e uma talocha metálica. Por último, os provetes foram nivelados pela talocha metálica em movimento de serra. Estes também foram guardados na sala condicionada com as mesmas condições já anteriormente descritas nos pontos 4.3.1 e 4.3.2.



*Figura 4.8 - Provetes planares da formulação RM\_A20*

Os provetes foram testados no ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água aos 98, 101 e 102 dias de cura, enquanto que para a retracção linear foram aos 96 e 97 dias e para o Geelong test foram aos 261 e 262 dias.

## 5. Caracterização das argamassas no estado endurecido

### 5.1. Provetes prismáticos

#### 5.1.1. Retracção linear por secagem

Este ensaio tem o intuito de medir a diminuição de volume da argamassa durante o tempo de cura. Neste estudo é apenas tido em conta a variação de comprimento do provete prismático, apesar de terem sido medidas todas as dimensões, após a desmoldagem aos 247 dias. Na realização deste ensaio foi usada uma craveira digital, a qual foi usada para medir as dimensões dos moldes e dos provetes. A retracção linear é calculada através da equação 5.1:

$$R_l = \frac{D_{molde} - D_{proвете}}{D_{molde}} \times 100 \quad (5.1)$$

Onde,

$R_l$  – retracção linear [%]

$D_{molde}$  – comprimento do molde [mm]

$D_{proвете}$  – comprimento do provete [mm]

A retracção linear por secagem, segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013), para argamassas de terra não estabilizadas sem fibras naturais não pode ultrapassar os 2%, e os 3% para as que tiverem adições de fibras. Os respectivos valores devem estar arredondados a uma casa decimal.

#### 5.1.2. Massa volúmica aparente

A determinação da massa volúmica aparente seguiu o procedimento da norma EN 1015-10/A1 (CEN, 1999b), e foi calculada através da medição das dimensões (comprimento, largura e altura) e da massa dos provetes prismáticos. Para isso, foram usadas uma craveira digital com precisão 0.01mm e uma balança digital com precisão de 0.001g. Para cada dimensão medida no provete, foram retiradas duas medidas em pontos distintos e feita a sua média. Como as superfícies dos provetes não são totalmente regulares e lisas, estas medições estão associadas a alguns erros, mas apesar disso, os resultados são credíveis. A massa volúmica foi determinada segundo a equação 5.2:

$$M_v = \frac{m \times 10^{-3}}{(l_{média} \times c_{medio} \times h_{média}) \times 10^{-6}} \quad (5.2)$$

Onde,

$M_v$ - massa volúmica aparente [kg/m<sup>3</sup>]

$m$  – massa do provete [g]

$l_{média}$  – média da largura do provete [mm]

$c_{medio}$  – média do comprimento do provete [mm]

$h_{média}$  – média da altura do provete [mm]

As argamassas foram classificadas de acordo com as classes definidas na tabela 5.1, segundo a norma alemã DIN 18947 (DIN, 2013).

Tabela 5.1 - Classes de massa volúmica aparente segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013)

Classe de massa volúmica	Massa volúmica aparente [kg/dm <sup>3</sup> ]
0.9	0,81 a 0,90 *
1.0	0,91 a 1,00 *
1.2	1,01 a 1,20 **
1.4	1,21 a 1,40 **
1.6	1,41 a 1,60 **
1.8	1,61 a 1,80 **
2.0	1,81 a 2,00 **
2.2	2,01 a 2,20 **
* os valores individuais podem exceder os limites em $\pm 0,05$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	
** os valores individuais podem exceder os limites em $\pm 0,10$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	

### 5.1.3. Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico permite avaliar a rigidez do material, quanto menor for, mais deformável é o material, conseguindo acompanhar os movimentos do suporte sem fendilhar. A qualidade e a durabilidade de um revestimento de argamassa estão directamente ligadas à sua capacidade de absorver deformações. (Martinho, 2017).

Este ensaio foi realizado com base na norma NP EN 14146 (IPQ, 2006a), com recurso ao equipamento “ZEUS Resonance Meter”, como se pode ver na figura 5.1, tendo em conta os dados geométricos e a massa de cada provete prismático. O módulo de elasticidade dinâmico é determinado através de vibrações emitidas pela máquina e respectiva medição da frequência de ressonância longitudinal em quatro pontos de cada provete.

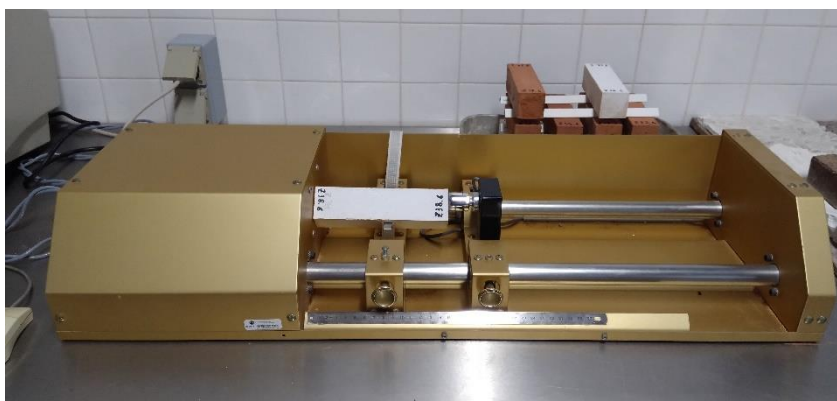


Figura 5.1 - Equipamento ZEUS Resonance Meter usado para o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio inicia-se com os provetes a serem retirados da sala condicionada, de seguida a serem colocados no equipamento, onde um dos topos fica em contacto com o emissor e o outro com o receptor. São colocados os parâmetros geométricos, em milímetros, e a massa, em gramas, no equipamento para que se possa dar início ao programa de software do equipamento. Após este procedimento são registados os valores do módulo de elasticidade, em quatro pontos distintos do provete.

Os resultados obtidos pelo equipamento seguem a equação 5.3:

$$Ed = (2 \times L \times f_0)^2 \times \frac{\rho}{g} \times 10^{-6} \quad (5.3)$$

Onde,

$E_d$  – módulo de elasticidade dinâmico [MPa]

$L$  – comprimento do provete [m]

$f_0$  - frequência de ressonância longitudinal [Hz]

$\rho$  – peso específico [ $N/mm^3$ ]

$g$  – aceleração gravítica [ $\approx 9.80665 m/s^2$ ]

Após este ensaio, foram realizados dois ensaios destrutivos: o ensaio de resistência à tracção por flexão e o ensaio de resistência à compressão, com os mesmos provetes.

#### 5.1.4. Resistência à tracção por flexão

Com base na norma EN 1015-11 (CEN, 1999b), realizou-se o ensaio de resistência à tracção por flexão com auxílio da máquina universal Zwick/Rowell Z050, equipada com uma célula de carga de 2kN a meio vão e dois apoios, para ensaio de flexão por três pontos, como se pode ver na figura 5.2. O provete foi colocado sobre os apoios, distanciados entre si 100 mm, deixando uma das superfícies lisas virada para cima, para que a carga actuasse sem interferências. O início do ensaio começa com a aplicação da carga a uma velocidade de 0,7 mm/min até à rotura do provete. O programa no final do ensaio apresenta um gráfico com um pico, a força máxima de tracção por flexão [N], valor retirado do eixo das ordenadas.

A resistência à tracção por flexão é obtida através da equação 5.4:

$$R_t = 1,5 \times \frac{F_f \times l}{b \times d^2} \quad (5.4)$$

Onde,

$R_t$  – resistência à tracção por flexão [MPa]

$F_f$  – força máxima [N]

$l$  – distância entre apoios, 100 [mm]

$b$  – largura da secção quadrada do provete [mm]

$d$  – altura da secção quadrada do provete [mm]



Figura 5.2 - Ensaio de resistência à flexão por tracção

### 5.1.5. Resistência à compressão

No final do ensaio de resistência à tracção por flexão resultaram duas partes do provete, em que uma parte foi utilizada para o ensaio de resistência à compressão, segundo a norma EN 1015-11 (CEN, 1999b).

Para este ensaio seguiu-se o seguinte procedimento: foi também utilizada a máquina universal Zwick/Rowell, mas desta vez equipada com uma célula de carga de 50 kN e um dispositivo para compressão de provetes como se pode verificar na figura 5.3. O provete foi colocado no dispositivo, deixando outra vez, uma das superfícies lisas voltada para cima, para que a carga actue sem interferir nos resultados finais. De seguida, começa-se o ensaio com o início da aplicação de carga a uma velocidade de 3 mm/min. Tal como acontece no ensaio de resistência à flexão por tracção, após a rotura do provete, o software produz um gráfico onde é registada a força máxima de compressão [N].

A resistência à compressão é depois calculada através da equação 5.5:

$$R_c = \frac{F_c}{S} \quad (5.5)$$

Onde,

$R_c$  – resistência à compressão [ $N/mm^2$ ]

$F_c$  – força máxima de compressão [N]

$S$  – secção de aplicação da carga [ $mm^2$ ]



Figura 5.3 - Ensaio de resistência à compressão

## 5.2. Provetes de argamassa sobre suporte de tijolo

### 5.2.1. Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) pode ser definida como a quantidade de calor que atravessa a unidade de espessura do material, por unidade de área, por unidade de diferença de temperatura, W/(m.K). É uma característica que traduz a forma como um material se deixa atravessar pelo calor (Henriques 2007).

Para a realização deste ensaio, segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013), foi necessário o equipamento ISOMET 2104 equipado com uma sonda de contacto API 210412 ( $\phi = 60\text{mm}$ ), a qual emite um fluxo térmico e o equipamento analisa a resposta do material a esse impulso. Para a determinação da condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) do material, foram realizadas 6 medidas em pontos distintos do provete.

O procedimento para este ensaio consistiu em colocar a sonda em contacto com a camada de argamassa sobre o tijolo, seleccionou-se a opção “thermal conductivity” do equipamento e foi iniciado o ensaio com a emissão de um fluxo de calor para o provete (figura 5.4). Passados cerca de 10 minutos é obtido o valor de condutibilidade térmica da argamassa. Para garantir as condições de fronteira homogéneas, o provete é colocado sobre uma placa de XPS, para evitar que o calor se dissipe para a mesa de apoio, como se pode ver na figura 5.4.

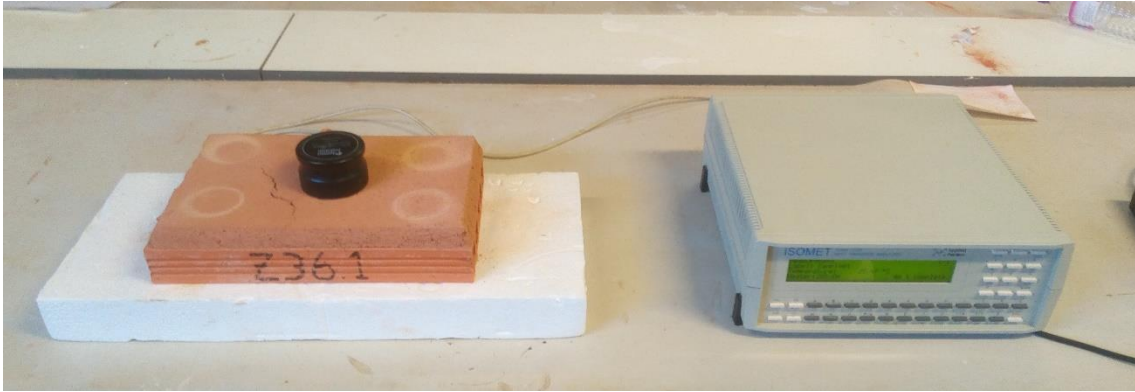


Figura 5.4 - Ensaio de condutibilidade térmica

### 5.2.2. Dureza superficial por durómetro

O ensaio da dureza superficial seguiu o procedimento da norma ASTM (ASTM, 2015). Para a sua realização foi necessário um durómetro. Existem durómetros de diferentes escalas de dureza, de Shore A a Shore D, do mais macio para o mais duro. Neste estudo foi usado um de dureza Shore A, devido à experiência já adquirida pelos professores orientadores em trabalhos anteriormente desenvolvidos. Este ensaio por vezes pode não ser considerado muito preciso, se as superfícies dos provetes não forem lisas.

O ensaio começa por passar uma escova sobre os provetes, de forma a remover partículas soltas sobre a superfície. De seguida, a punção do aparelho é pressionado contra a amostra, medindo a resistência à penetração da superfície da argamassa. Neste caso, foram retiradas 6 medições em pontos distintos da amostra (figura 5.5).



Figura 5.5 - a) Durómetro b) Ensaio de dureza superficial por durómetro

### 5.2.3. Coesão superficial

Para este ensaio, o procedimento seguido foi proposto por Drdácý et al. (2014) e adaptado por Faria et al. (2004) para argamassas de terra, que consiste em colocar uma tira de fita adesiva, com 50 x 50 mm de tamanho, no topo da camada de argamassa sobre o tijolo, que é mantida durante 30 minutos a uma intensidade constante de 5 kg no topo de uma faixa de neoprene, e consequentemente ajuda a distribuir uniformemente a força. Após a remoção, a massa da fita adesiva é pesada numa balança digital com precisão de 0,001g para determinar a massa de argamassa que aderiu à fita (figura 5.6).

A falta de coesão superficial é avaliada através do incremento da massa da fita cola face à sua massa inicial.



Figura 5.6 - a) Ensaio de coesão superficial b) Material que aderiu à fita cola

#### 5.2.4. Aderência ao suporte

Este ensaio é importante para avaliar se as formulações preparadas são adequadas para ser utilizadas como rebocos. Seguiu-se a norma EN 1015-12 (CEN, 2000) para a realização do mesmo, que define três tipos de rotura para este ensaio. A rotura do tipo “a”, é também designada de rotura adesiva e ocorre com a perda de aderência ao suporte. As roturas do tipo “b” e “c” são chamadas de roturas coesivas, e acontecem, respectivamente, na camada de reboco e no suporte. Se acontecer uma rotura do tipo <sup>a)</sup>, o resultado é igual à tensão de aderência, enquanto que se for do tipo “b” ou “c”, o resultado do ensaio é considerado um limite inferior da tensão de aderência, sendo utilizado no cálculo da sua média. Quando ocorre a rotura pela cola entre a argamassa e a pastilha, o ensaio é considerado nulo.

Para a realização deste ensaio foi utilizado a máquina universal Zwick/Rowell Z050 e pastilhas metálicas com 50mm de diâmetro. O método utilizado foi o seguinte, foram executados manualmente três cortes, com 50 mm de diâmetro, com a ajuda de uma caroteadora, como se pode ver na figura 5.7, apesar da norma referir um mínimo de cinco cortes. De seguida, foram coladas as pastilhas ao provete, utilizando uma cola epoxi bi-componente e deixado a secar durante 24 horas na sala condicionada. Posteriormente procedeu-se à extracção das pastilhas, ao iniciar o software de arrancamento da Zwick com uma velocidade de 2mm/min. Após a extracção, foram medidas em três direcções ortogonais o diâmetro, de forma a determinar a área real de actuação. No fim, o programa apresenta a força de rotura [N].



Figura 5.7 - Preparação do provete para o ensaio de aderência ao suporte

A tensão de aderência depois é obtida através da equação 5.6:

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad (5.6)$$

Onde,

$f_u$  – tensão de aderência [ $N/mm^2$ ]

$F_u$  – força de rotura [N]

A – secção da superfície de rotura [ $mm^2$ ]

### 5.2.5. Resistência à abrasão via seca

De acordo com a norma DIN 18947 (DIN, 2013), o procedimento para este ensaio consiste em avaliar a perda de massa da superfície da camada sobre o tijolo, utilizando uma balança digital com precisão de 0,1 g. A resistência à abrasão corresponde ao desgaste causado pela escova sobre a superfície do provete e os resultados não podem exceder os valores indicados na tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Classes de resistência à abrasão, segundo DIN 18947 (DIN, 2013)

Classe de resistência	Ensaio
S I	$\leq 1,5$
S II	$\leq 0,7$

Para a realização deste processo, a norma define o uso de uma escova de plástico, mas não a dureza da mesma, o que torna este ensaio pouco preciso. Neste estudo foi utilizada uma escova de polietileno de dureza média, de 65 mm de diâmetro, a qual sofre 20 rotações com pressão constante de 2 kg na superfície da argamassa entre 15 a 25 segundos. Na figura 5.8 é possível ver o equipamento utilizado para a realização do ensaio, assim como o estado final do provete após o ensaio.

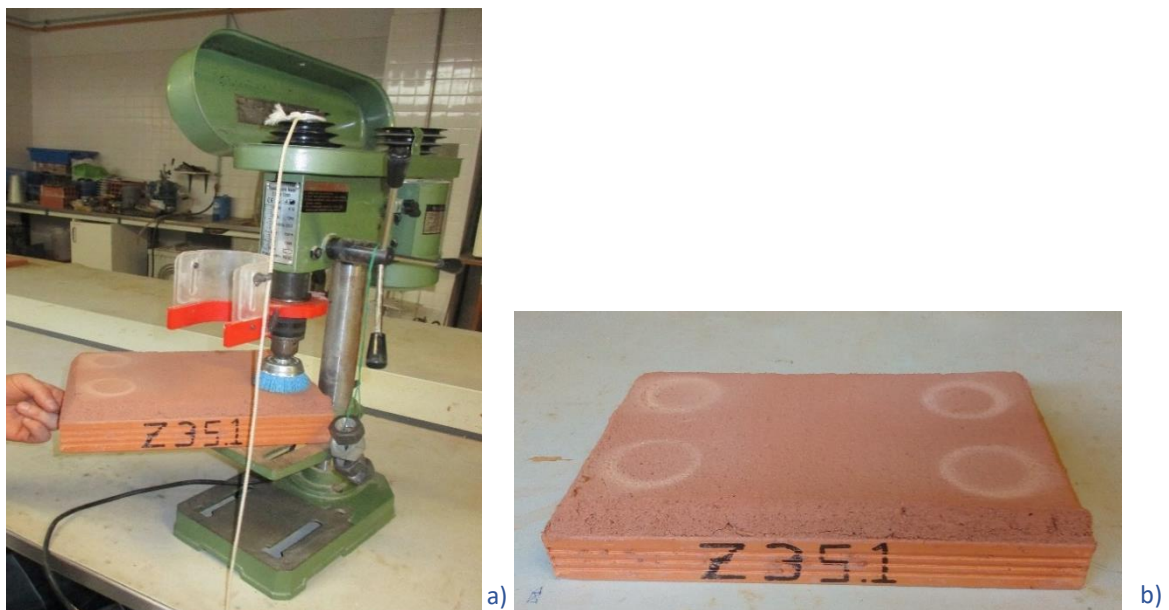


Figura 5.8 - a) Ensaio de resistência à abrasão via seca b) Provete após o ensaio

### 5.2.6. Absorção de água sob baixa pressão

Este teste é realizado utilizando tubos Karsten com uma escala de 0,0 a 4,0 ml, seguindo a norma EN 16302 (CEN, 2013). O teste deve ser realizado com a camada de argamassa na vertical, mas como são argamassas à base de terra, não foi possível que os tubos de Karsten fossem fixados à amostra devido à solubilidade da terra quando em contacto com a água. Como consequência, foi necessário colocar as amostras horizontalmente e a fixação dos tubos foi feita com recurso a plasticina, como se pode ver na figura 5.9. Os tubos de Karsten simulam uma pressão de 1314.5 Pa sobre a superfície, correspondendo a uma pressão dinâmica do vento de 166,8 km/h. A água absorvida pelas argamassas foi medida nos intervalos de tempo de 5, 10, 15, 30, 45 e 60 minutos e sempre que o nível da água atingia os 0 ml, voltava-se a pôr água até ao nível inicial de 4ml. De seguida, foram medidas em três direcções ortogonais o diâmetro dos tubos de Karsten em contacto com o provete.

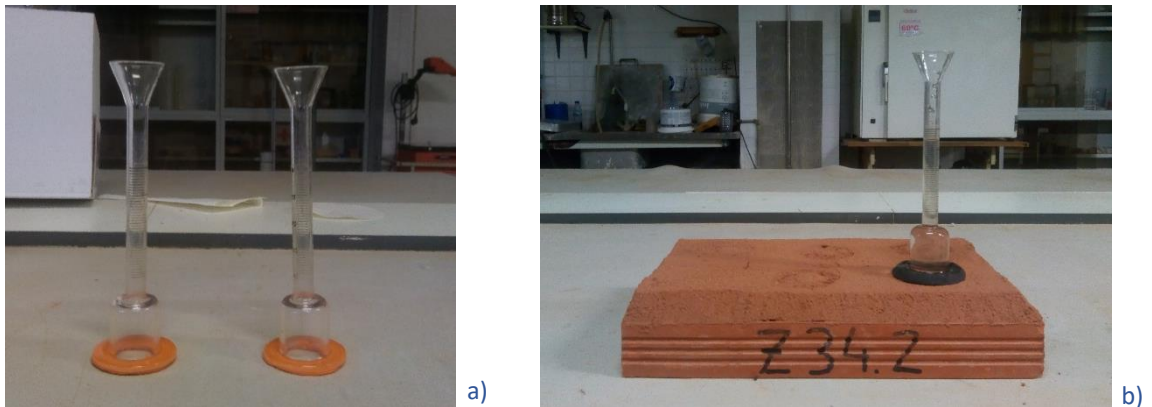


Figura 5.9 - a) Tubos de Karsten b) Ensaio de absorção de água a baixa pressão

A quantidade de água absorvida sob baixa pressão é obtida pela equação 5.7:

$$W_i = \frac{Q_i}{S_m} \quad (5.7)$$

Onde,

$W_i$  – absorção de água a baixa pressão [ml/cm<sup>2</sup>]

$Q_i$  – quantidade de água absorvida até ao instante de tempo  $i$  [ml]

$S_m$  – área média do tubo de Karsten em contacto com a superfície do provete [cm<sup>2</sup>]

## 5.3. Provetes planares

### 5.3.1. Retracção linear por secagem

O procedimento de ensaio adoptado está descrito no capítulo 5.1.1. para os provetes prismáticos; de forma análoga foi utilizada para os provetes planares.

### 5.3.2. Adsorção e desadsorção de vapor de água

Para este teste, foram utilizadas amostras rectangulares em moldes metálicos, onde apenas o lado superior é exposto, de modo que a adsorção e a desadsorção são feitas apenas pela mesma face, como se pode ver na figura 5.10. Para a realização deste teste, o procedimento seguido foi o da norma DIN 18947 (DIN, 2013). Como primeiro passo, as amostras foram deixadas 24 horas na câmara climática para

estabilizar, a uma temperatura de 23°C e 50% de humidade relativa. Após estabilização, a humidade relativa foi alterada para 80%, iniciando a fase de adsorção do vapor de água. As amostras foram pesadas nos intervalos de tempo 1h, 3h, 6h, 12h e uma pesagem extra às 24h foi adicionada para auxiliar no melhor entendimento do comportamento das argamassas. Após as 24 horas, a humidade relativa é alterada para 50%, iniciando a fase de desadsorção. Pesou-se novamente nos mesmos intervalos de tempo que haviam sido usados na adsorção. Neste ensaio, foi optado por dispensar a pesagem de meia hora porque a câmara climática leva cerca de 10 minutos para estabilizar as condições internas e isso influenciaria as medidas restantes durante o teste. Este método também foi adoptado pelo co-orientador no artigo Lima et al. (2020).



*Figura 5.10 - Câmara climática onde decorre o ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água*

### **5.3.3. Resistência à abrasão via húmida (Geelong Test – erosão por gotejamento)**

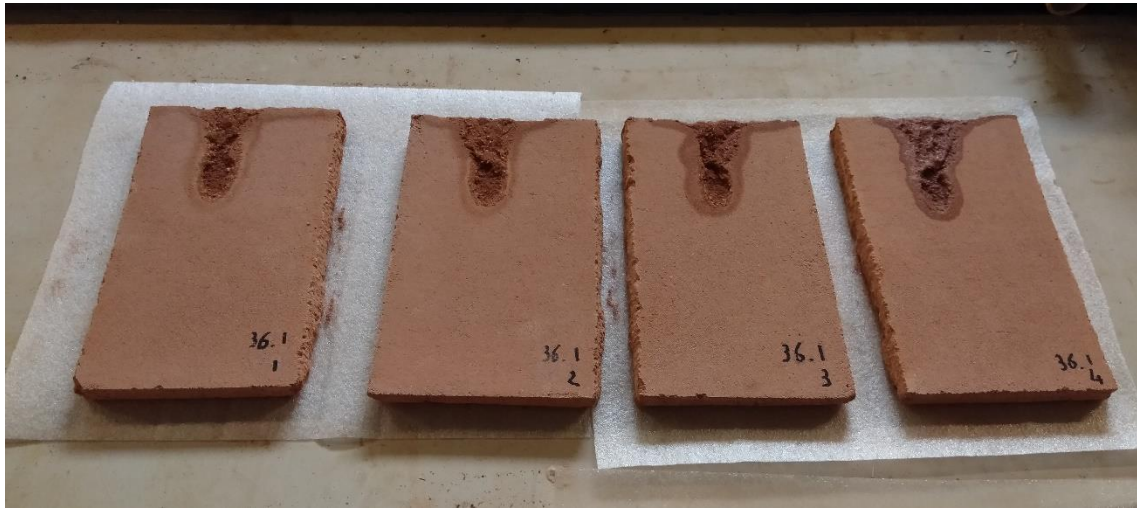
Este ensaio foi realizado segundo a norma da Nova Zelândia, NZS 4298 (NZS, 1998), com algumas adaptações, que também foram adoptadas no artigo Lima et al. (2020), por este teste estar direccionado para adobes ou tijolos de terra, e tem como objectivo avaliar a resistência da superfície à acção da chuva. Para a realização deste teste foi necessário ter alguns cuidados, como estar num local protegido do vento e da incidência directa de luz solar.

O procedimento deste teste consiste em deixar cair 100ml de água em gotas sobre um provete assente numa superfície com inclinação de 30°; neste caso foi adoptado um ângulo de 60°, devido a este estudo estar focado em rebocos, como se pode verificar na figura 5.11. A água é gotejada a uma altura de 400 mm do provete, durante um período de tempo compreendido entre 20 e 60 minutos.



*Figura 5.11 - Equipamento utilizado para a realização do ensaio de erosão por gotejamento*

Previamente à realização do ensaio, os provetes planares foram divididos em 4 partes, com dimensões geométricas aproximadas. Os quais foram secos numa estufa a 60°C durante 48 horas até atingirem massa constante. Começou-se o ensaio pesando os provetes secos e colocando-os no cesto. Abriu-se a torneira e deixou-se gotejar, a velocidade constante aproximada, 12 ml de água durante 150 a 180 segundos, garantido um caudal entre 4 a 5 ml/min para todos os provetes. Após o ensaio (figura 5.12) os provetes foram pesados para aferir a quantidade de massa de água absorvida. De seguida foram colocados na estufa a 60°C e pesados até estarem secos, ou seja, massa constante, às 48h, 96h e 144h. Quando atingiram a estabilização de massa, foram medidos os eixos da elipse provocada pela erosão da água na superfície, assim como a sua profundidade, com recurso a uma craveira digital.



*Figura 5.12 - Provetes da formulação RM\_A20 após o ensaio de erosão por gotejamento*

## 6. Resultados da caracterização das argamassas e sua discussão

### 6.1. Estado fresco

#### 6.1.1. Consistência por espalhamento

A tabela 6.1 apresenta os rácios volumétricos e mássicos dos constituintes das argamassas. Na figura 6.1, podem-se observar os resultados médios obtidos após a realiza o do ensaio de consistência por **espalhamento**. A formula o A100 apresentou o maior espalhamento, considerado excessivo segundo o artigo Gomes et al. (2012). Analisando os resultados do ensaio de espalhamento com base nos rácios mássicos (tabela 6.1), pode-se verificar que a adi o de anidrite   argamassa pré-doseada tem um efeito positivo na trabalhabilidade, aumentando a fluidez da argamassa, o que permite que seja um material mais fácil de trabalhar. A quantidade de água introduzida em cada formula o também acaba por influenciar a consistência. De referir que as baridades dos materiais constituintes e a quantidade de água usada na argamassa de referência tiveram por base trabalhos experimentais anteriores executados pelo co-orientador (Lima et al., 2016a, 2016b, 2016c, 2017). entre outros, o que pode também interferir com os resultados obtidos.

Tabela 6.1 - Rácios volumétricos e mássicos das formula es

Referência argamassa publica�o	Rácios volumétricos				Rácios mássicos			
	RM [%]	Anidrite [%]	Gesso [%]	�gua <sup>(a)</sup> [%]	RM [%]	Anidrite [%]	Gesso [%]	�gua <sup>(b)</sup> [%]
A100	0	100	0	29,2	0	100	0	30,0
RM	100	0	0	26,3	100	0	0	18,5
RM_A5	100	5	0	26,3	96,7	3,3	0	17,9
RM_A10	100	10	0	26,7	93,6	6,4	0	17,6
RM_A20	100	20	0	28,8	87,9	12,1	0	17,8
RM_G20_SR	100	0	20	28,1	91,4	0	8,6	18,1

(a) – Percentagem de volume de água adicionado em rela o ao volume total de RM

(b) – Percentagem de massa de água adicionada em rela o   massa total dos restantes materiais constituintes

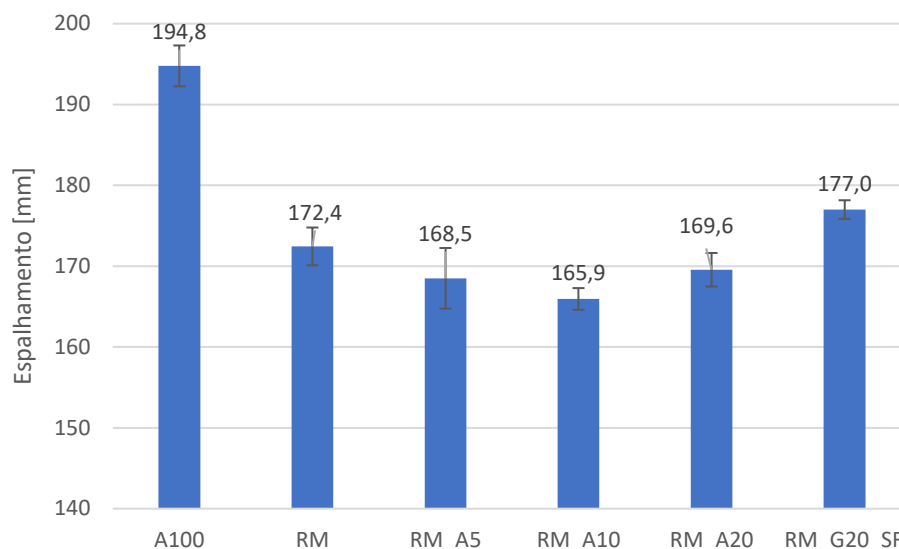


Figura 6.1 - Resultados médios do ensaio de consistência por espalhamento e respectivo desvio padrão

A argamassa de referência de Faria et al. (2015), também uma argamassa pré-doseada, mas em que foi introduzido maior quantidade de água (19,4%), apresentou maior espalhamento do que a argamassa R, o que faz todo o sentido visto que o rácio mássico de água é maior. Pelo contrário, quando se compara a argamassa RM com a argamassa de referência de Delinière et al. (2014), que tem rácio mássico de água menor (16.8%), observa-se que apresenta um espalhamento superior (185 mm). Devia-se verificar o contrário, porque a quantidade de água introduzida é menor, que normalmente é o que influencia a consistência da argamassa, isto talvez se deva às diferentes composições químicas das argamassas pré-doseadas.

### 6.1.2. Consistência por penetrómetro

Os resultados obtidos para a **penetração** estão representados na figura 6.2 e verifica-se que a pasta de anidrite é a que apresenta menor consistência. A adição de anidrite à argamassa de terra pré-doseada, torna a argamassa mais consistente, reduzindo a penetração, o mesmo não acontecendo com a com adição de gesso na mesma quantidade (20%).

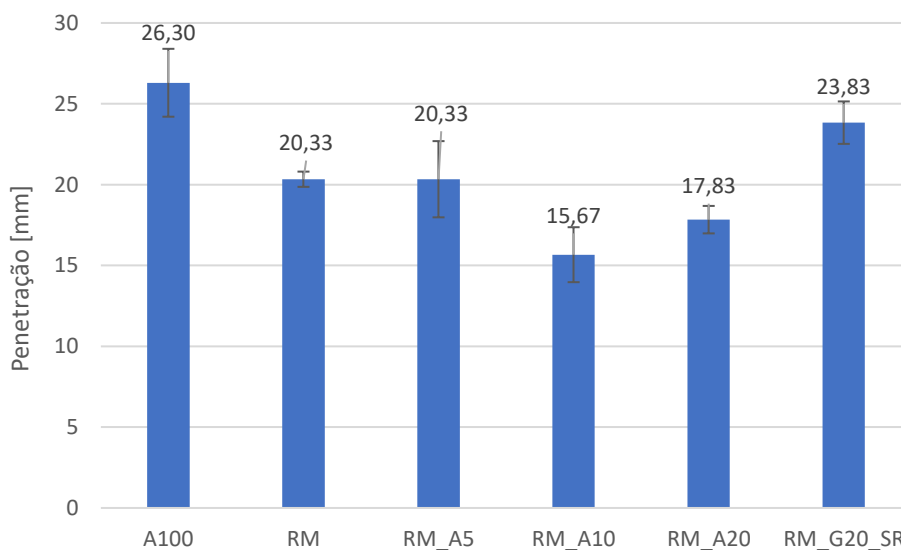


Figura 6.2 - Resultados médios do ensaio de consistência por penetrómetro e respectivo desvio padrão

### 6.1.3. Massa volúmica

Os valores obtidos na determinação da **massa volúmica** no estado fresco estão representados na figura 6.3. Os valores mais altos encontram-se nas argamassas com adição de anidrite de 10 e 20% à mistura pré-doseada, enquanto que o mais baixo é a da formulação de apenas anidrite. Encontram todos acima do valor limite definido pela norma DIN 18947 (DIN, 2013),  $1,2 \text{ kg/m}^3$ .

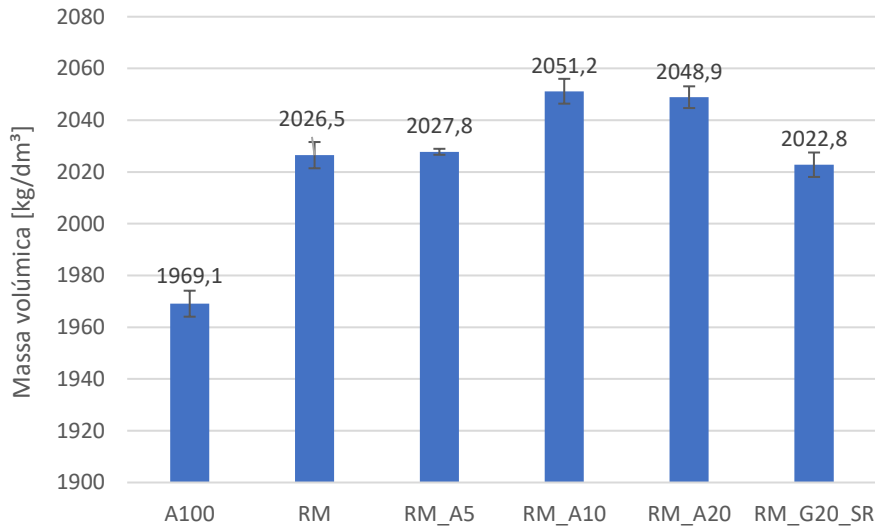


Figura 6.3 - Resultados médios da massa volúmica no estado fresco e respectivo desvio padrão

### 6.1.4. Relação entre o teor de água e a consistência

Relacionando dois parâmetros das argamassas no estado fresco, como se pode verificar na figura 6.4, os dois métodos de medição de **consistência** apontam para um aumento da fluidez com o aumento de **teor de água** nas argamassas. A formulação A100 foi a que apresentou maior fluidez, mas também é a que apresenta maior quantidade de relação água/sólido. O coeficiente de correlação entre o espalhamento e a penetração com a relação água/sólido são bastante próximos.

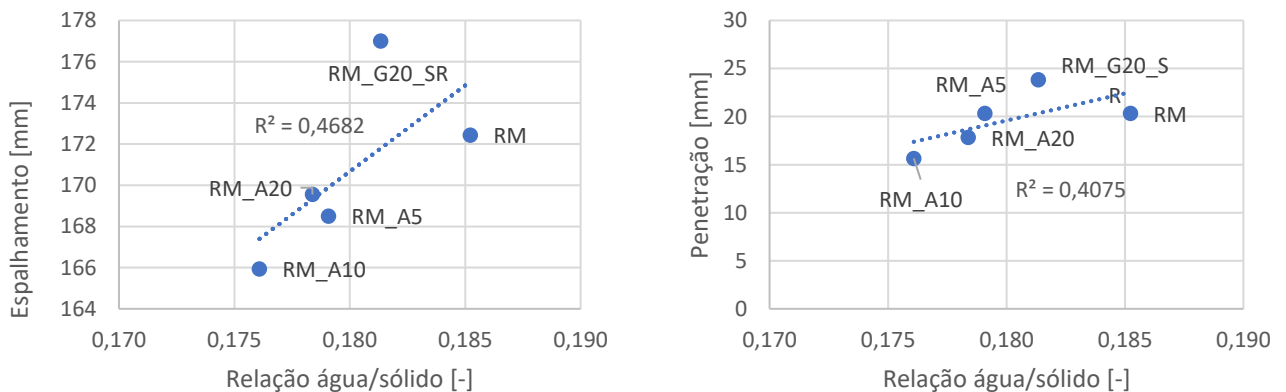


Figura 6.4 - Variação dos métodos de consistência com a razão água/sólido

## 6.2. Estado endurecido

### 6.2.1. Retracção linear

Como se pode verificar na figura 6.5, o ensaio de **retracção** por secagem, todos os provetes prismáticos estão dentro dos limites imposto pela norma DIN 18947 (DIN, 2013), enquanto que nos

provetes planares as argamassas RM\_A10 e RM\_A20 ultrapassam o limite. O aumento da quantidade de adição de anidrite promove o aumento da retracção linear, sendo a argamassa RM\_A20 a que apresenta maior retracção. O que já era de esperar, visto que nos provetes de anidrite sobre o tijolo detectou-se a ocorrência de algumas fissuras aquando da sua secagem, como se pode ver na figura 6.6. O gesso pelo contrário, quando adicionado à argamassa de referência diminui a retracção; isto acontece porque a expansão das partículas de gesso adicionado conseguem compensar a retracção da terra argilosa. Nos provetes planares, contrariamente ao que aconteceu nos provetes prismáticos, a formulação A100 é a que apresenta a menor retracção linear, isto pode ter acontecido porque nos provetes prismáticos quando da sua moldagem, verificou-se alguma perda de água o que não ocorreu nos provetes planares devido ao molde ser estanque, como se pode ver figura 6.7, levando a uma menor retracção do provete.

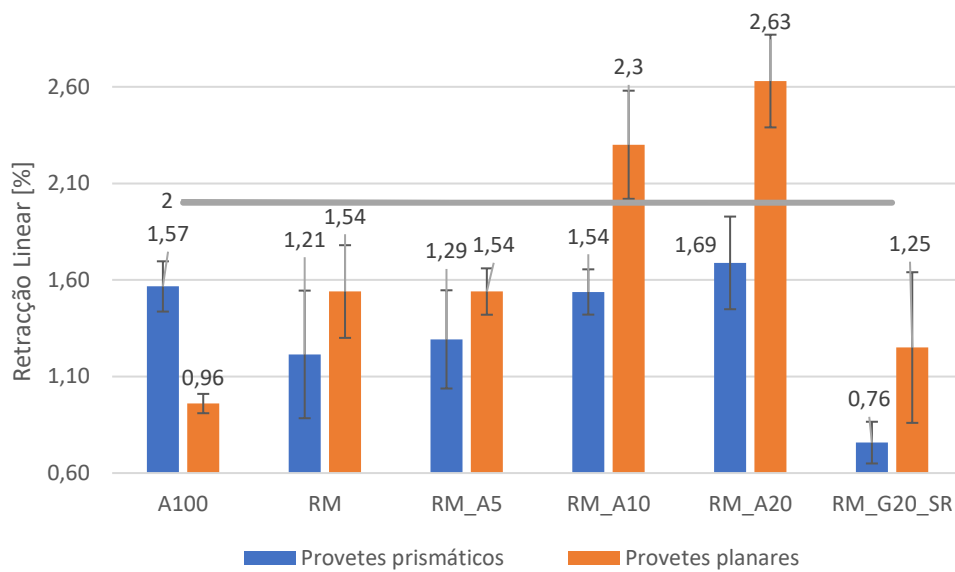


Figura 6.5 - Resultados médios da retracção linear por secagem e respectivo desvio padrão



Figura 6.6 - Provetes da pasta de anidrite sobre suporte de tijolo após secagem

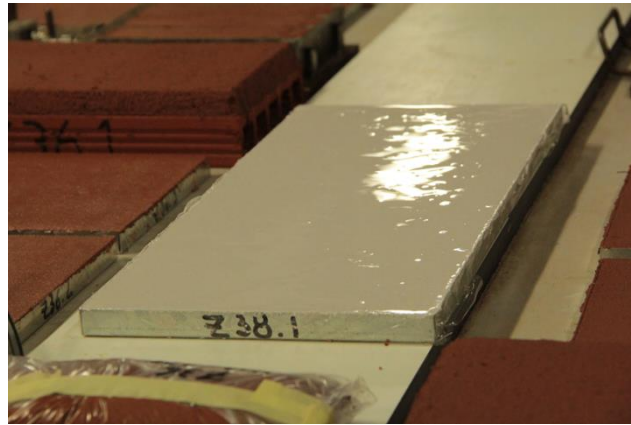


Figura 6.7 - Provetes planar da pasta de anidrite com a água à superfície antes da secagem

É possível comparar os resultados da retracção linear dos provetes prismáticos deste estudo com os de Lima et al. (2016a) onde as argamassas de referência têm valores muito próximos, bem como as argamassas com adição de gesso. Também é possível comparar com o estudo Gomes et al. (2018), onde a argamassa de referência apresenta retracção ligeiramente menor (1,1%). Enquanto que nos estudos de Faria et al. (2015) e Lima et al. (2016b) as retracções são muito mais pequenas, 0,21% e 0,08% respectivamente. No caso de Delinière et al. (2014) as retracções são maiores, valores em média de 1,6%, isto talvez aconteça devido ao tipo de terra utilizado.

### 6.2.2. Massa volúmica das argamassas

Na figura 6.8, é possível analisar as médias das massas volúmicas dos provetes segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013), que a argamassa RM, pertence à classe de massa volúmica 1,8, enquanto que a argamassa A100 pertence à classe 1,6. Quando a anidrite é adicionada em 5% e 10% à argamassa de referência não altera a sua classificação. Enquanto que com a adição de 20% de anidrite e gesso já se verifica a descida da sua classe.

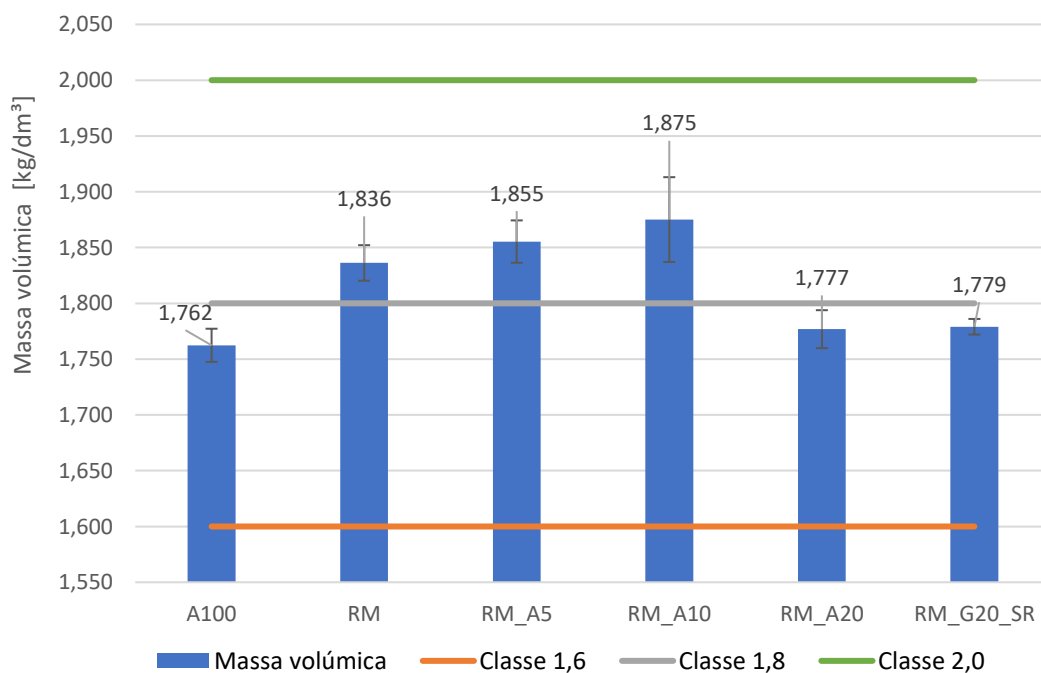


Figura 6.8 - Resultados médios do ensaio da massa volúmica geométrica e respectivo desvio padrão

Ao comparar estes resultados com outros de casos diferentes, é possível afirmar que a argamassa de referência possui a mesma classe dos estudos de Lima et al. (2016a) e de Deliniere et al. (2014). No entanto, é superior aos de Lima et al. (2016b), Faria et al. (2015) e Gomes et al. (2018). A argamassa com gesso (RM\_G20\_SR) é da mesma classe do caso de Lima et al. (2016b).

### 6.2.3. Módulo de elasticidade dinâmico

Com os resultados obtidos e apresentados na figura 6.9 da pasta de anidrite e da argamassa RM, quando foi adicionado anidrite em diferentes proporções à argamassa pré-doseada era esperado que o **módulo de elasticidade dinâmico** aumentasse proporcionalmente com a quantidade de anidrite adicionada. O que não acontece com os provetes RM\_A10, isto pode ter acontecido devido a algum erro na preparação desta formulação, como compactação dos moldes ou tempos de mistura errados. Quanto à adição de gesso, se for comparada a mesma quantidade de adição de anidrite, a formulação com adição de gesso apresenta maior módulo de elasticidade.

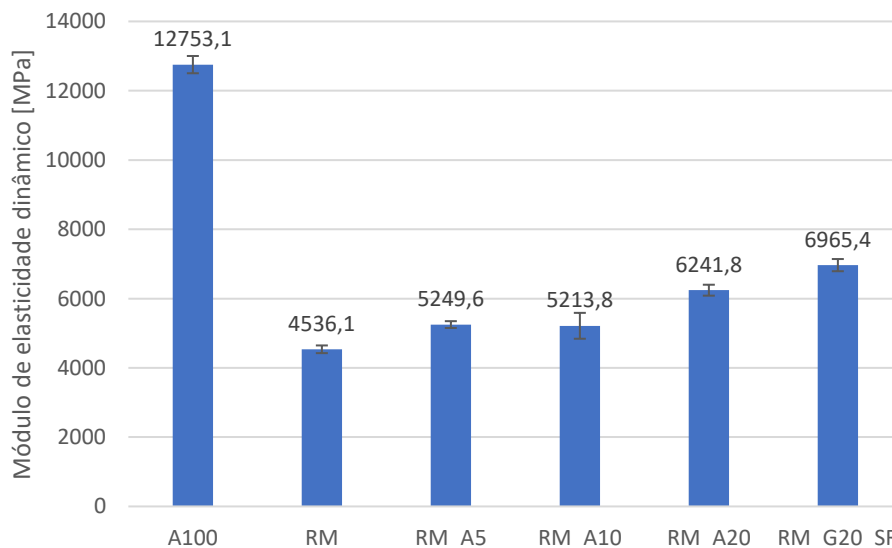


Figura 6.9 - Resultados médios do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico e respectivo desvio padrão

Comparando o valor do módulo de elasticidade dinâmico da argamassa de referência RM com a do estudo de Faria et al. (2015), observa-se que este é inferior (3610 MPa), embora tenha sido usado menor quantidade de água (19,4%). Não esperava que houvesse uma diferença tão grande porque apesar de ter sido utilizada mistura pré-doseada de lotes diferentes, eram do mesmo tipo, isto é a sua composição química devia ser semelhante. Esta diferença, também pode ter acontecido devido ao modo como foi feita a amassadura da argamassa, assim como da compactação dos provetes.

### 6.2.4. Resistência à tração por flexão e à compressão

Na figura 6.10 estão expressos os resultados do ensaio de **resistência à tração por flexão**, onde é possível observar que a formulação A100 tem uma resistência bastante maior que as restantes. Ao adicionar diferentes quantidades de anidrite à argamassa de referência verifica-se um aumento da resistência proporcional à quantidade adicionada, excepto na formulação com adição de 10% de anidrite. Tal como já tinha acontecido no ensaio anterior, a argamassa RM\_A10 apresentou resistência menor do que a argamassa RM\_A5, seria de esperar que fosse maior, isto pode ter acontecido por algum erro cometido durante a preparação da argamassa. A mesma quantidade de gesso adicionada comparada com a de

anidrite, verifica-se ser mais benéfica para a mistura pré-doseada, apresentando valores aproximadamente do dobro da resistência.

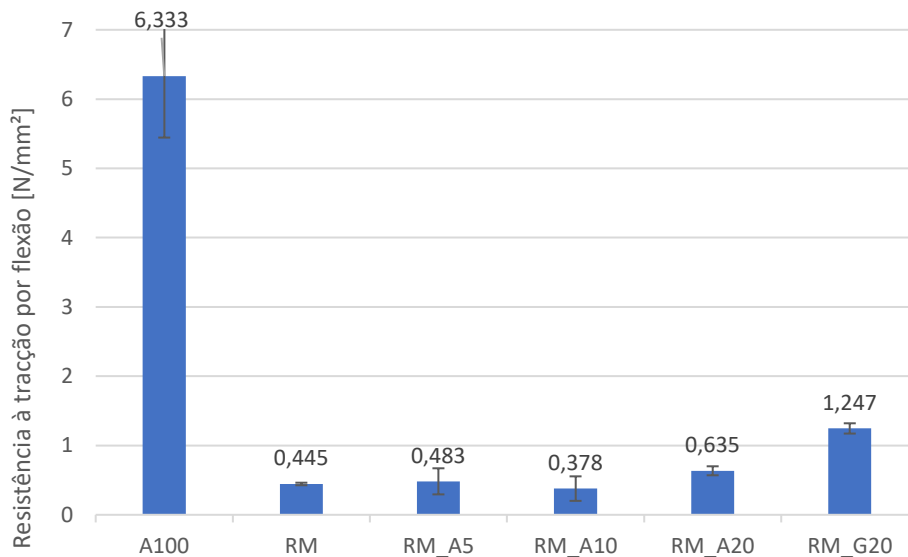


Figura 6.10 - Resultados médios do ensaio de resistência à tracção por flexão e respectivo desvio padrão

A argamassa de referência apresenta um ligeiro aumento da resistência à tracção por flexão, quando comparada com a do estudo de Faria et al. (2015), 0,3 N/mm<sup>2</sup>, mas pelo contrário, tem menor resistência do que as de Delinière et al. (2014), 0,6 N/mm<sup>2</sup>.

Como já se tem vindo a verificar nos ensaios de módulo de elasticidade dinâmico e resistência à tracção por flexão, os resultados do ensaio de **resistência à compressão** (figura 6.11), acompanham a tendência dos ensaios anteriores. Com isto quer dizer que, a anidrite continua a melhorar a resistência mecânica da terra à excepção da formulação RM\_A10, que continua a apresentar valores mais baixo do que a RM\_A5, mas que acaba por ser coerente, visto que os provetes aparentemente poderão ter tido algum defeito. A argamassa RM\_G20\_SR também continua a ter aproximadamente o dobro da resistência à compressão da RM\_A20.

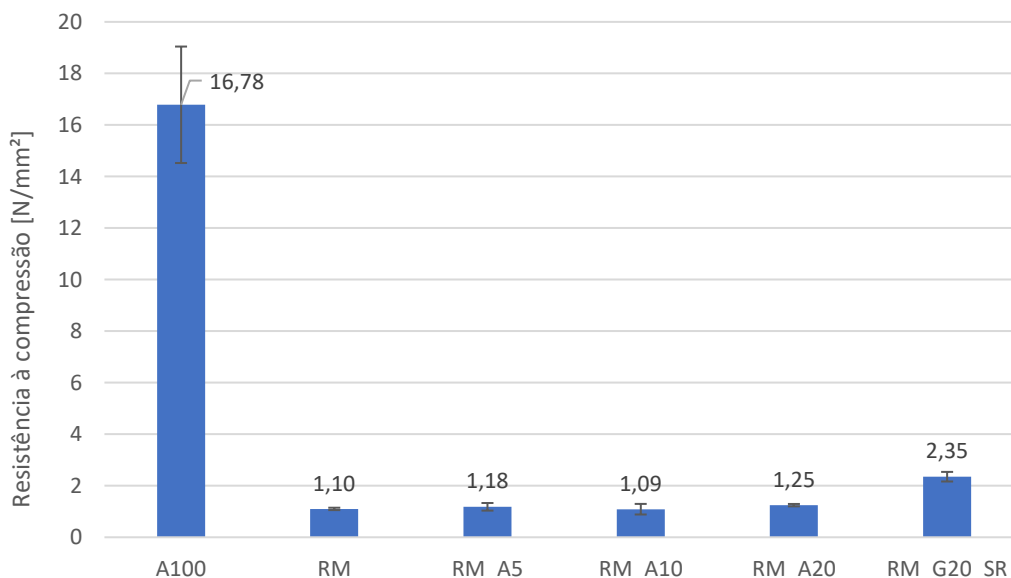


Figura 6.11 - Resultados médios do ensaio de resistência à compressão e respectivo desvio padrão

Comparando com o caso de Faria et al. (2015), as argamassas apresentam os mesmo valores e apenas neste ensaio das resistências mecânicas foi de encontro ao esperado de argamassas do mesmo tipo de mistura pré-doseada, visto que nos dois ensaios anteriores a argamassa RM teve sempre valores superiores. Enquanto que no estudo de Delinière et al. (2014), a argamassa tem resistência à compressão maior, 2,1 N/mm<sup>2</sup>, isto poderá acontecer devido à composição química da terra argilosa apresentar valores do mineral de montmorillonite mais elevados, o que poderá favorecer a resistência mecânica.

### 6.2.5. Condutibilidade térmica

Para materiais de construção, quanto menor a **condutibilidade térmica**, melhor é o seu comportamento térmico, levando à economia de energia nos edifícios. Os resultados do ensaio de condutibilidade térmica estão na Figura 6.12 e mostram que a condutibilidade térmica da argamassa pré-doseada aumenta de forma pouco significativa com a adição de anidrite ou gesso. O reboco é uma camada da parede com espessura muito pequena, não sendo este ensaio um parâmetro fundamental de avaliação, pois não irá ter influência significativa na resistência térmica da parede. Os resultados apresentados para cada tipo de argamassas corresponde à média dos 6 valores obtidos pelo equipamento, expressos em W/(m.K).

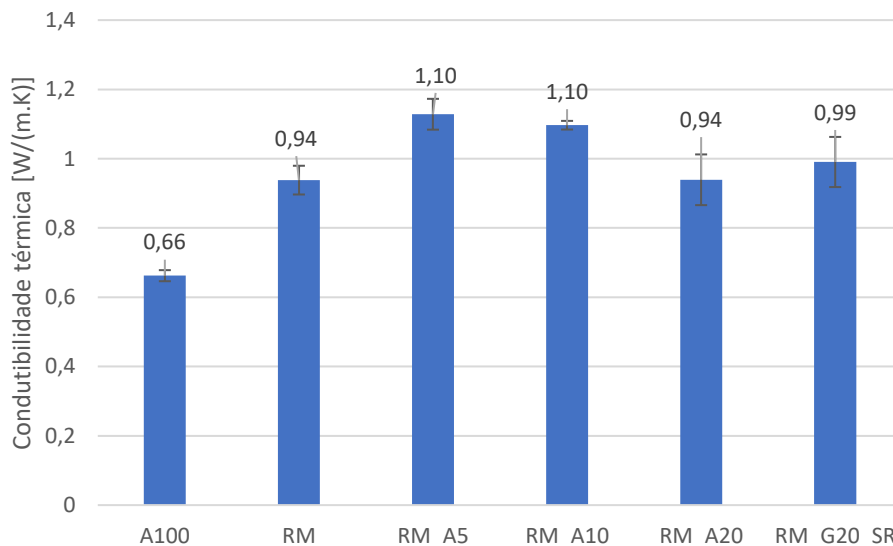


Figura 6.12 - Resultados médios obtidos do ensaio de condutibilidade térmica e respectivo desvio padrão

Nos resultados observados no estudo de Lima et al. (2016a) é possível comparar a argamassa de referência e a adição de gesso em 20% com os deste trabalho. Conclui-se que ambos possuem valores mais altos ( $\lambda_{ref} = 1,34 \text{ W / (m.K)}$  e  $\lambda_{G20} = 1,27 \text{ W / (m.K)}$ ), bem como a argamassa de referência no estudo de Lima et al. (2016b) ( $\lambda = 1,18 \text{ W / (m.K)}$ ). Enquanto a argamassa de referência no estudo de Faria et al. (2015) é muito semelhante ( $\lambda = 0,9 \text{ W / (m.K)}$ ), em Gomes et al. (2018) o valor é um pouco menor ( $\lambda = 0,78 \text{ W / (m.K)}$ ).

### 6.2.6. Dureza superficial por durómetro

Os valores médios de **dureza superficial** obtidos pelo durómetro são mostrados na Figura 6.13. Como pode ser visto, a argamassa RM possui uma menor dureza superficial quando comparada à argamassa A100. Também é notado que quando a anidrite quando é misturada em diferentes proporções à terra, melhora a sua dureza superficial, mas não devido às diferentes quantidades adicionadas à terra, pois a sua dureza

aumenta e estabiliza, mas sim devido ao material que estará a actuar como um agregado e não como um ligante (Carreira, 2019).

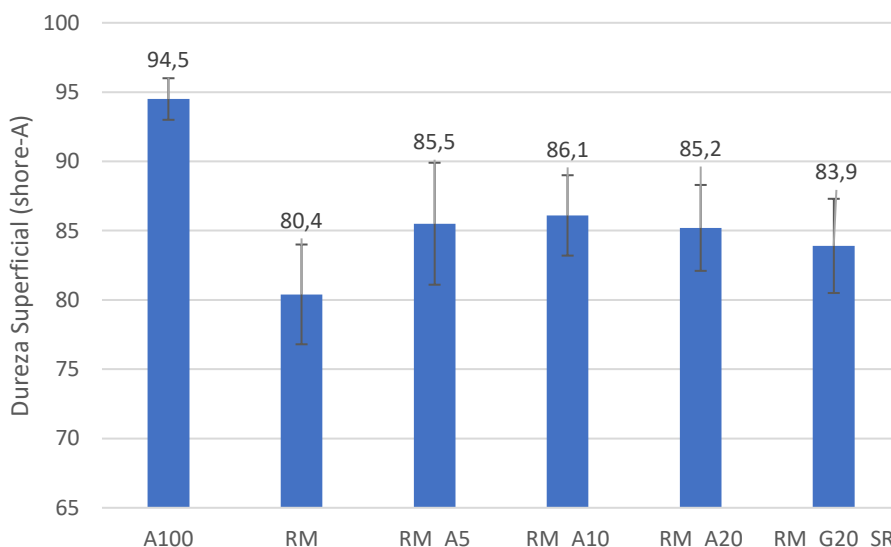


Figura 6.13 - Resultados obtidos do ensaio de dureza superficial por durómetro e respectivo desvio padrão

No estudo de Santos et al. (2017), as argamassas com as referências E\_WS e E\_UWS, compostas por terra e areia lavada e não lavada, respectivamente, apresentam dureza superficial aproximadamente de 79 e 69 respectivamente, que são inferiores à dureza superficial da argamassa RM.

### 6.2.7. Coesão superficial

A Figura 6.14 mostra os valores médios de perda de massa das amostras após o teste de **coesão superficial**. As argamassas apenas de terra, neste caso RM, geralmente apresentam os maiores valores de perda de massa, o que é verificado neste estudo. Quando comparado à argamassa A100, verifica-se que possui menor coesão superficial. Houve resultados muito positivos para a adição de anidrite à terra, mas não tão bons quando comparados com a adição de gesso na mesma quantidade, neste caso 20%.

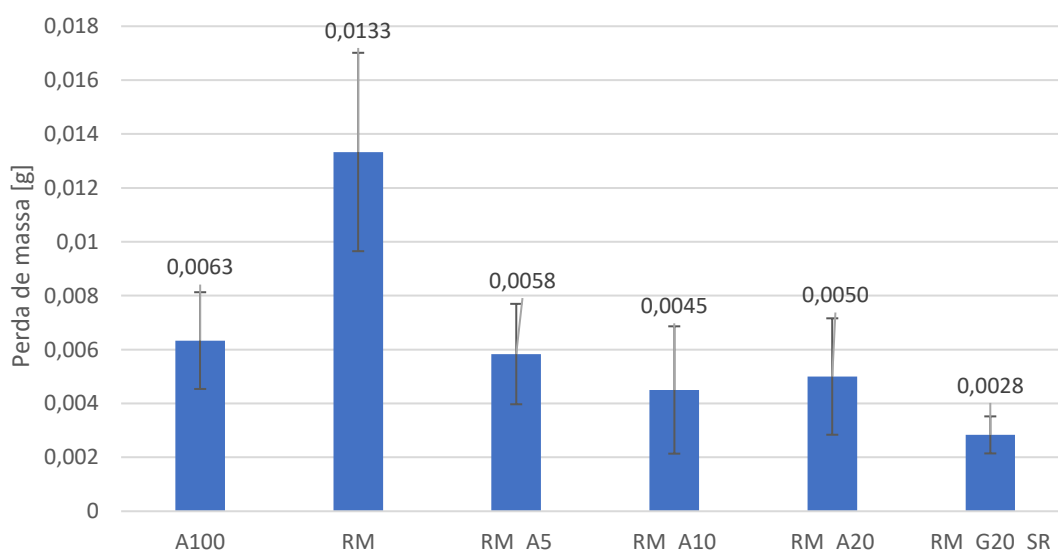


Figura 6.14 - Resultados médios obtidos no ensaio de coesão superficial e respectivo desvio padrão

É possível comparar os resultados obtidos com os observados nas argamassas de referência nos estudos de Santos et al. (2017, 2019) e Faria et al. (2015), com perdas de massa de 0,05g, 0,1g e 0,1g respectivamente, concluindo-se que a adição de anidrite à terra se mostra muito vantajosa na coesão superficial das argamassas, apresentando sempre valores muito mais baixos. Também se pode comparar as argamassas RM e RM\_G20\_SR, com as argamassas de referência e E1S3\_G20 do estudo de Lima et al. (2016a), com perdas de massa menores (0,009g) e maiores (0,004g) respectivamente.

### 6.2.8. Aderência ao suporte

Os resultados médios do ensaio de **aderência ao suporte** estão representados na figura 6.15. Verifica-se que a adição de anidrite à argamassa de referência contribui para uma melhor aderência ao suporte. É um facto interessante, visto que, quando se estava a fazer os cortes no provete de A100, nunca foi possível terminá-los, perdendo este a aderência ao suporte. Como se pode confirmar na figura 6.15, a formulação de cem por cento de anidrite não apresenta valores, porque não foi possível realizar os cortes nos provetes por falta de aderência da argamassa ao suporte (figura 6.16). A adição de gesso à mistura pré-doseada revelou-se ainda mais vantajosa que a mesma quantidade de anidrite.

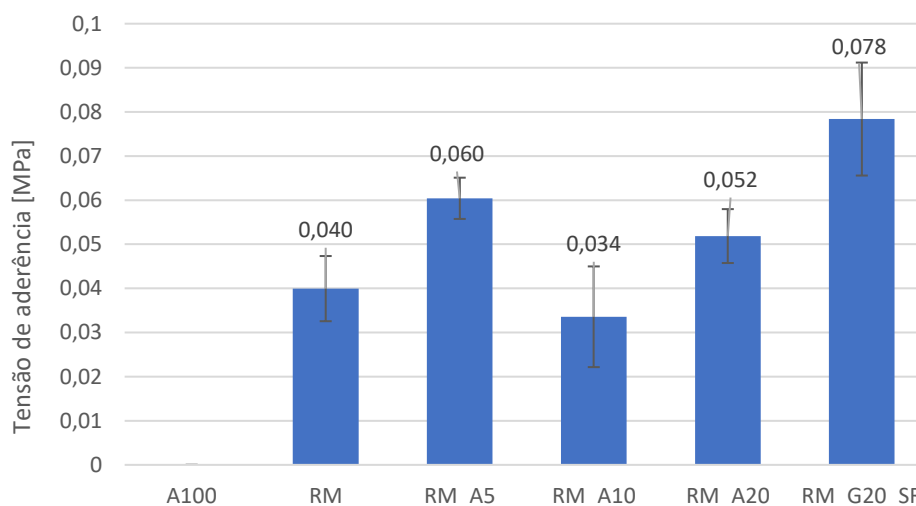


Figura 6.15 - Resultados médios do ensaio de aderência ao suporte e respectivo desvio padrão



Figura 6.16 - Falta de aderência ao suporte da massa A100 verificada na realização dos cortes

### 6.2.9. Resistência à abrasão via seca

No ensaio de **resistência à abrasão via seca**, cujos resultados médios estão representados na figura 6.17 e como já era expectável, a argamassa composta apenas pela mistura pré-doseada apresenta o maior valor de massa perdida por abrasão, sendo a única argamassa deste estudo que pertence à classe de resistência mecânica S II definida na norma DIN 18947 (DIN, 2013). A argamassa composta apenas por anidrite foi a que apresentou o resultado mais positivo, ou seja, quase não teve perda de massa. Este resultado trouxe vantagens quando misturada à argamassa de referência, pois qualquer que seja a quantidade de anidrite adicionada baixou a classe de resistência mecânica para S I, logo havendo menores perdas de massa.

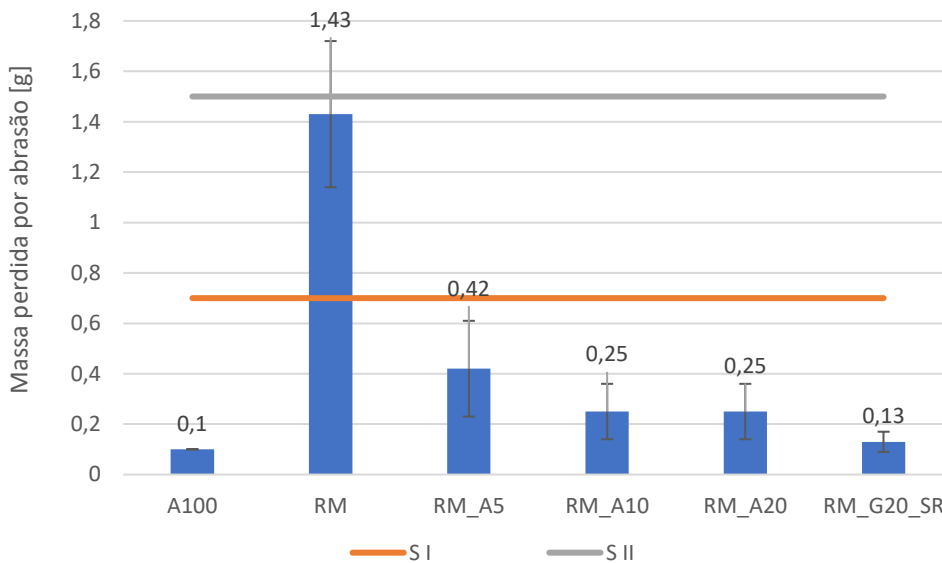


Figura 6.17 - Resultados obtidos do ensaio de resistência à abrasão via seca, limites definidos pela norma DIN 18947 e respectivos desvio padrão

Comparando a argamassa de referência com a do estudo de Faria et al. (2015), há uma grande diferença entre perdas de massa, enquanto no caso de Lima et al. (2016a) o valor é ligeiramente mais baixo, 4,5g e 1,05g respectivamente. Seria de esperar maior semelhança de resultados, pois o tipo de terra usada em ambas as argamassas é a mesma da utilizada neste estudo.

### 6.2.10. Absorção de água sob baixa pressão

Com respeito ao ensaio de **absorção de água sob baixa pressão**, a Figura 6.18 mostra que a anidrite, quando aplicada sem qualquer adição, tem uma grande capacidade de absorção de água, mas quando misturada com a mistura pré-doseada tem efeitos positivos, diminuindo a capacidade de absorção da mistura. O que foi inesperado, visto que a pasta de anidrite revelou ter um poder muito de alto de absorção de água, apresentou um valor muito superior às restantes argamassas e que acabou por ter um efeito positivo quando adicionado à mistura. Pelo contrário, a adição de gesso à terra aumenta ligeiramente a absorção de água da terra.

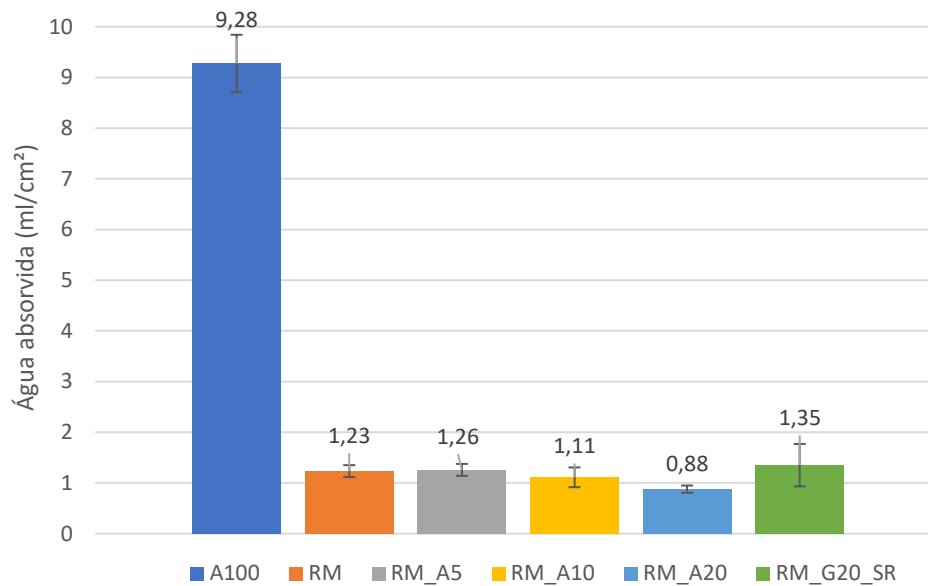


Figura 6.18 - Resultados médios obtidos no ensaio de absorção de água a baixa pressão e respectivo desvio padrão

Os resultados deste teste são possíveis de comparar com os resultados obtidos no estudo de Lima et al. (2017), onde é verificado que a argamassa de referência E1S3, composta por terra íltica e areia siliciosa, tem uma capacidade de absorção de água (0,9 ml/cm<sup>2</sup>) menor que a deste estudo. Pelo contrário, a argamassa E1S3\_G20 do estudo de Lima et al. (2017) comparada com a argamassa RM\_G20\_SR absorve muito mais água (4,5 ml/cm<sup>2</sup>), que não é o que se procura numa argamassa. A adição de anidrite em 20% à mistura pré-doseada provou ser vantajosa quando comparada às restantes argamassas.

### 6.2.11. Adsorção e desadsorção de vapor de água

Como pode ser analisado na Figura 6.19, onde estão representados os resultados do ensaio de **adsorção e desadsorção** de vapor de água, os provetes de argamassa que contêm apenas a mistura pré-doseada de EMBARRO são as que apresentam os maiores valores de adsorção e desadsorção de água, o que faz todo o sentido, uma vez que a terra é um material altamente higroscópico. Também se verifica que à medida que as quantidades de anidrite são adicionadas em ordem crescente e gesso, as argamassas diminuem sua capacidade de adsorção. Comparando a argamassa RM\_A20 com a RM\_G20\_SR, é possível concluir que o gesso tem maior influência na redução da capacidade de adsorção da terra do que a anidrite.

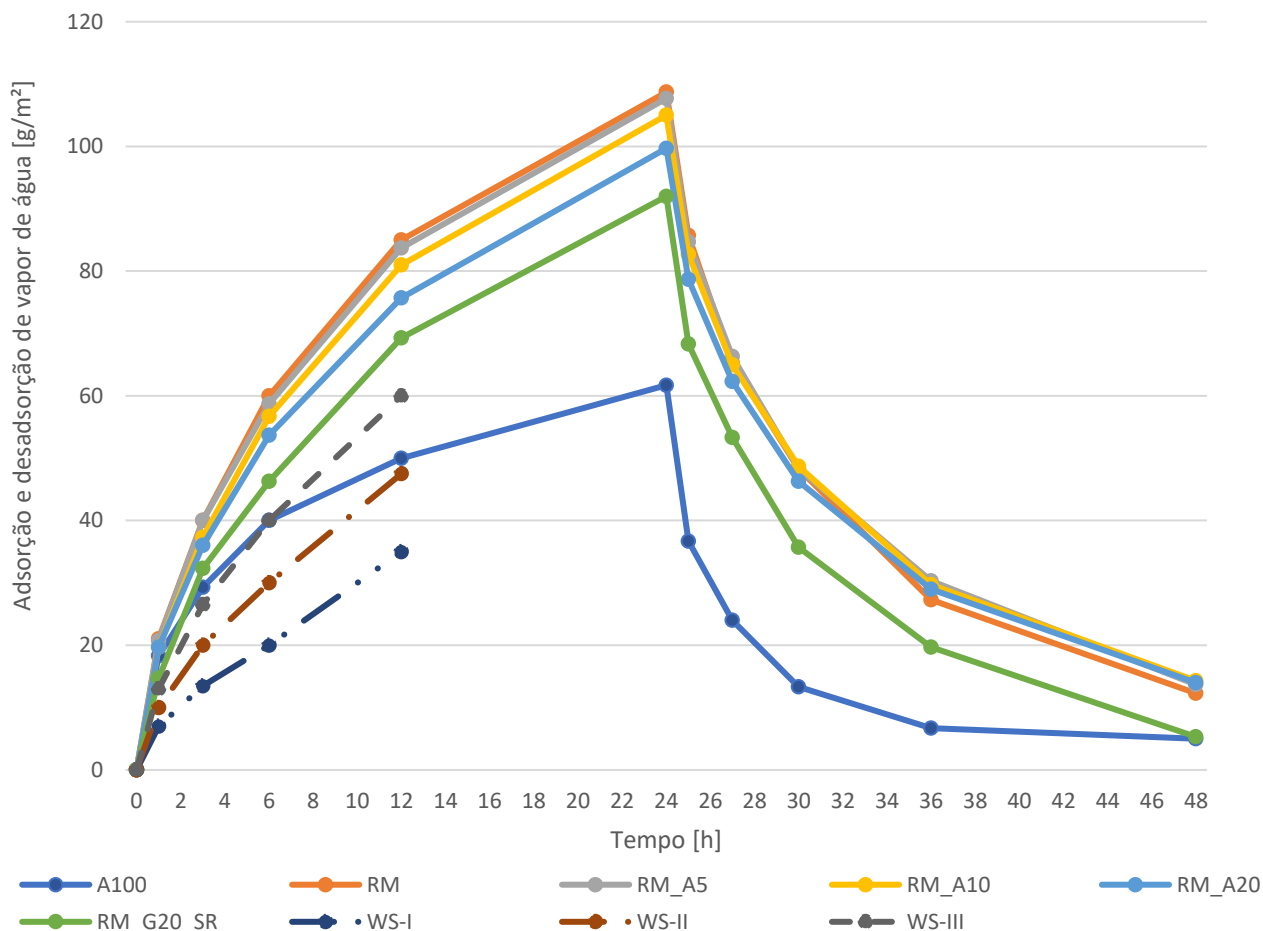


Figura 6.19 - Resultados obtidos no ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água

A adsorção de vapor de água foi máxima na argamassa de referência RM ( $85 \text{ g / m}^2$ ) às 12h, conforme esperado. Enquanto a amostra feita apenas de anidrite tem o menor valor de  $50 \text{ g / m}^2$ .

De acordo com a norma DIN 18947 (DIN, 2013), todas as argamassas, com exceção da argamassa A100, pertencem à terceira classe de adsorção de vapor de água (WS-III, adsorção às 12h >  $60 \text{ g / m}^2$ ), enquanto a A100 pertence à segunda classe (WS- II, adsorção às 12h  $\geq 47,5 \text{ g / m}^2$ ).

Comparando as argamassas de referência dos estudos, Faria et al. (2015) e Lima et al. (2016a), com a argamassa RM, estão todas inseridas na classe de adsorção SIII segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013). A argamassa do estudo Lima et al. (2016a) tem um valor bastante mais abaixo, aproximadamente de  $63 \text{ g / m}^2$ , comparado com a RM ( $85 \text{ g / m}^2$ ) e a argamassa do caso Faria et al. (2015), em que são usados o mesmo tipo de mistura pré-doseada, esta diferença pode estar na origem do tipo de terra utilizada para a produção das argamassas. Estes resultados vêm comprovar que a terra independentemente da sua origem, continua a ser um material altamente higroscópico. Também é possível comparar a argamassa com adição de gesso com a argamassa E1S3\_G20 do caso de Lima et al. (2016a), que está classificada como uma classe II e é inferior à deste estudo. Como já referido anteriormente, o tipo de terra utilizada no caso Lima et al. (2016a) tem uma capacidade higroscópica mais baixa do que a terra deste estudo, e quando lhe é adicionado gesso, que não é material tão higroscópico como a terra, deteriora ainda mais esta capacidade da terra, chegando mesmo a baixar uma classe segundo a DIN 18947 (DIN, 2013).

### 6.2.12. Resistência à abrasão via húmida

O ensaio de **resistência à abrasão via húmida** foi avaliado em quatro parâmetros, a quantidade de água absorvida, a perda de massa após a erosão provocada pela água, assim como a área afectada e a profundidade que atingiu os provetes após a realização do ensaio como se pode ver na figura 6.20. De seguida, na figura 6.21 é possível verificar a quantidade de água absorvida por cada uma das formulações.

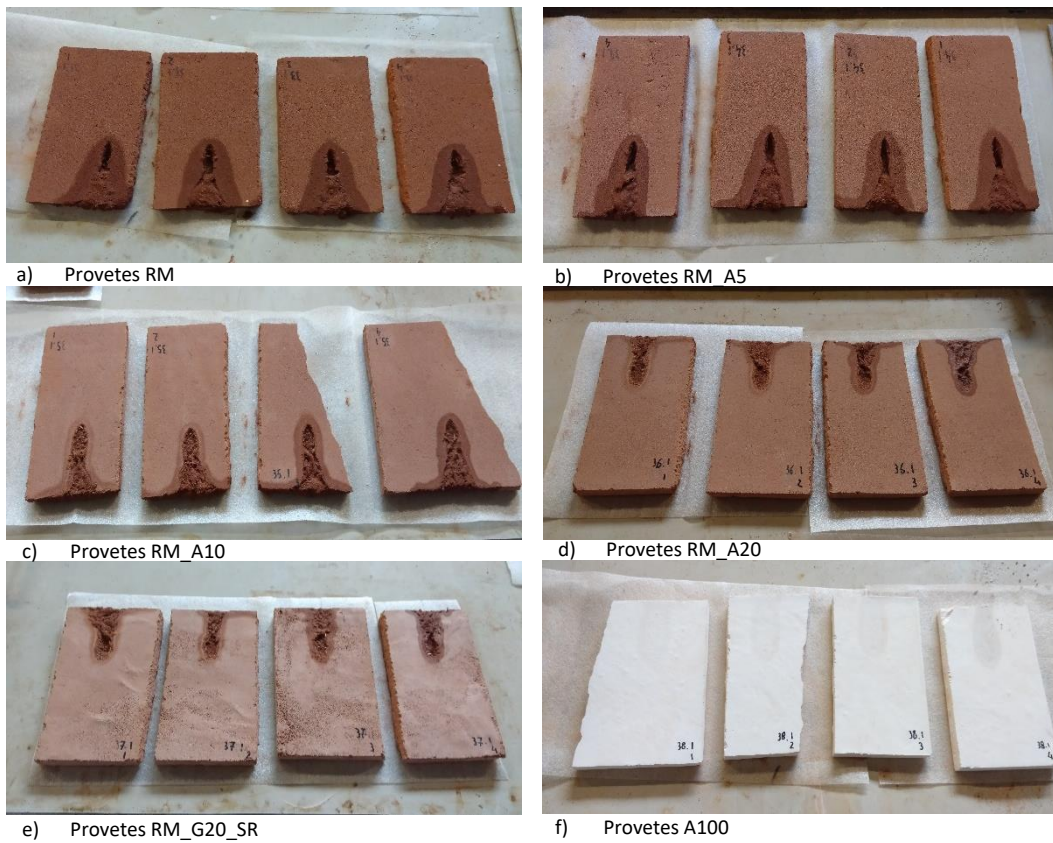


Figura 6.20 - Provetes após a realização do ensaio

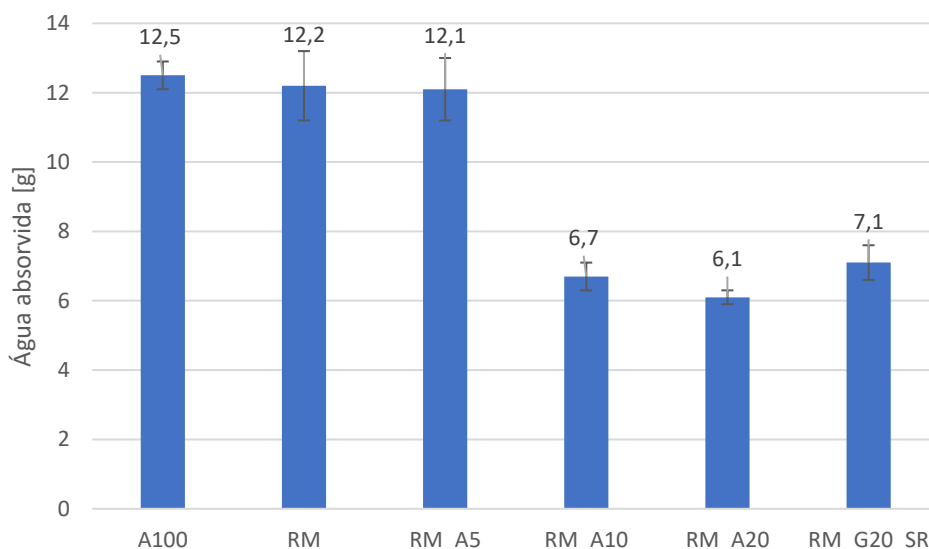


Figura 6.21 - Quantidade de água absorvida média por cada formulação após o ensaio de erosão por gotejamento e respectivo desvio padrão

Após análise da figura 6.21, é possível concluir que a formulação de apenas anidrite tem um grande poder de absorção, como já se tinha verificado no ensaio de absorção de água sob baixa pressão. A sua adição em 5% à argamassa de referência pouco influencia o grande poder de absorção que a terra tem em absorver água. A adição de anidrite em 10% e 20% já apresenta resultados bastante interessantes, com uma redução substancial de absorção de água por parte das respectivas formulações. Comparando-as com a formulação com 20% de gesso adicionado também apresentam resultados mais vantajosos.

Quanto aos parâmetros que descrevem a erosão dos provetes, sendo estes: a perda de massa após o ensaio (figura 6.22), a área erodida (figura 6.23) e a profundidade provocada pelo gotejamento (figura 6.24) são apresentados de seguida.

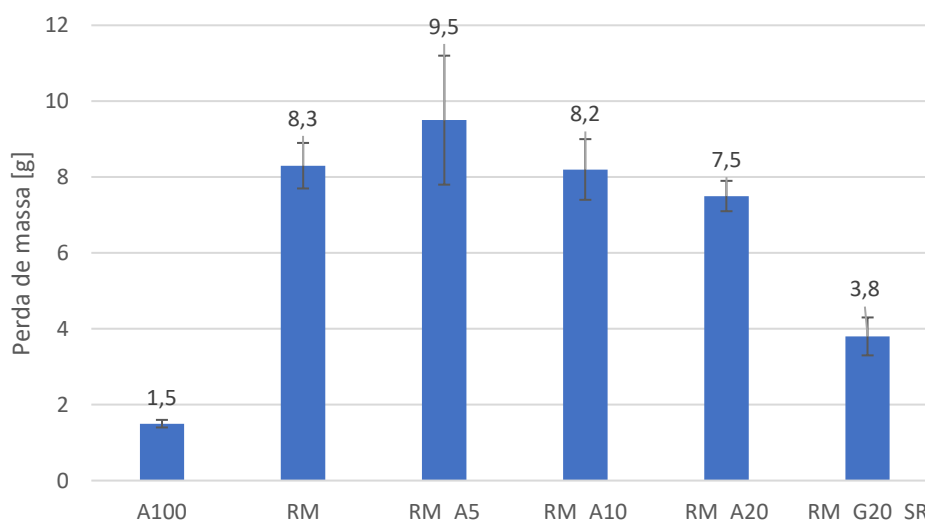


Figura 6.22 - Perda de massa média dos provetes após erosão por gotejamento e respectivo desvio padrão

Após análise da figura 6.22, verifica-se que a formulação de A100 não sofre quase perda nenhuma de massa, enquanto que as restantes formulações com adição de anidrite apresentam perdas similares à de

referência RM. Há que ter atenção ao resultado da formulação RM\_A5 que pode induzir em erro, visto ter um desvio padrão bastante elevado. A formulação com adição de gesso RM\_G20\_SR apresenta resultados bastantes positivos quando comparado com as formulações com adição de anidrite.

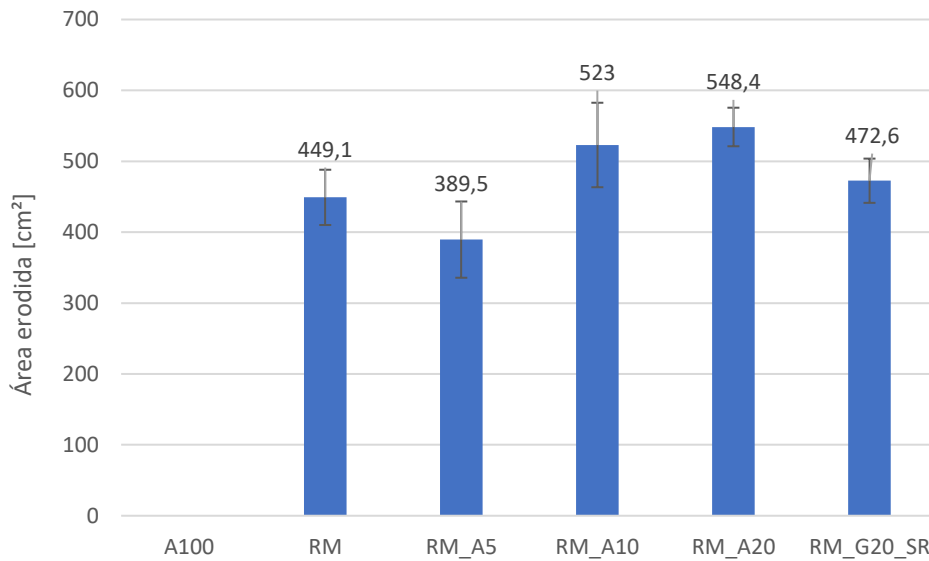


Figura 6.23 - Área erodida média dos provetes após erosão por gotejamento e respectivo desvio padrão

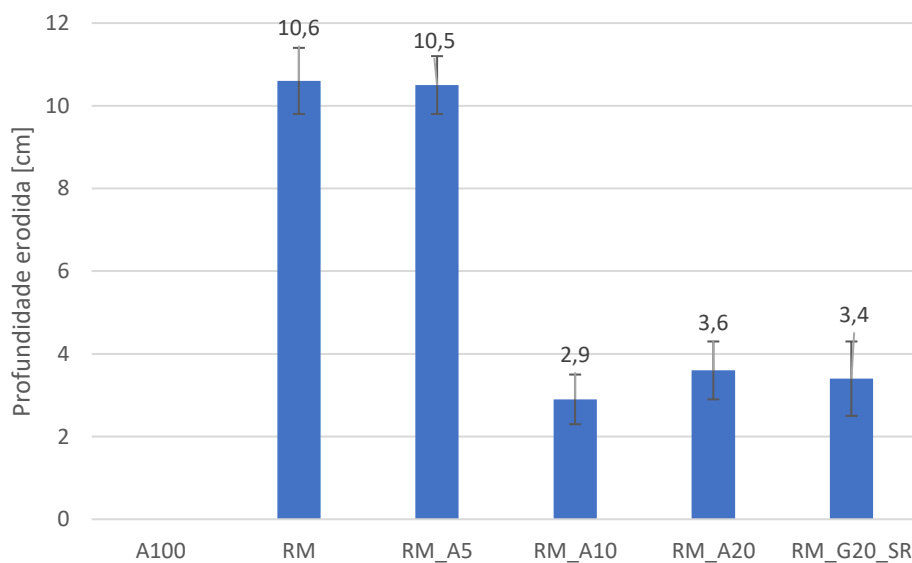


Figura 6.24 - Profundidade média atingida após erosão por gotejamento e respectivo desvio padrão

Nas figuras 6.23 e 6.24, verifica-se que a formulação de A100 não apresenta resultados mensuráveis, como se pode verificar na figura 6.25, apenas verificando-se uma ligeira lixiviação de finos. Quanto às restantes formulações é possível verificar uma relação inversa, as que têm maior área erodida apresentam uma menor profundidade afectada e vice-versa, sugerindo que nas argamassas em que o gotejamento tem maior dificuldade em penetrar em profundidade ocorre maior efeito de escorrência na superfície do provete.

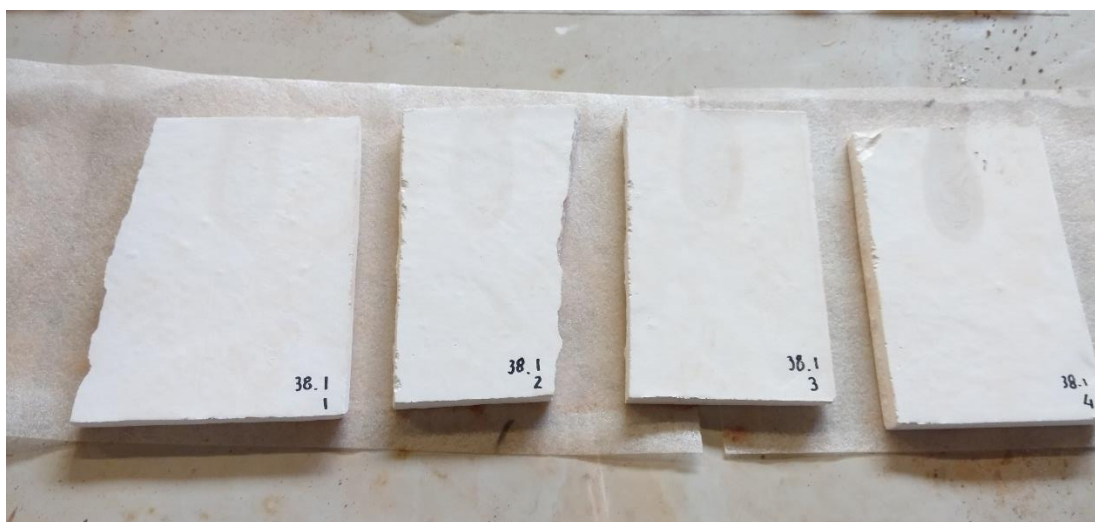


Figura 6.25 - Provetes da formulação A100 após o ensaio de erosão por gotejamento

### 6.2.13. Relação entre a massa volúmica e a condutibilidade térmica

Analisou-se também a relação entre a massa volúmica aparente e o coeficiente de condutibilidade térmica, e como esperado, os valores de condutibilidade térmica tendem a aumentar para as argamassas com massas volúmicas superiores, embora não ocorra uma correlação forte, como se pode verificar na figura 6.26.

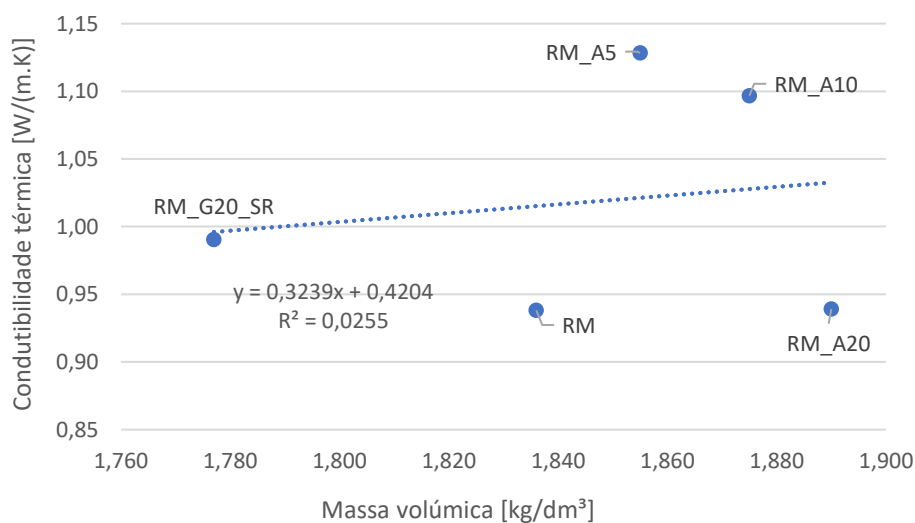


Figura 6.26 - Relação entre a condutibilidade térmica e a massa volúmica aparente

### 6.2.14. Relação entre o módulo de elasticidade dinâmico e as resistências mecânicas

Na figura 6.27 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios mecânicos, ou seja, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tracção por flexão e compressão. Pode observar-se que quanto maior o módulo de elasticidade dinâmico, maiores são as resistências mecânicas das argamassas. Ao compararmos as argamassas com 20% de adição de anidrite e gesso, é possível verificar que o gesso tem maiores resistências, o que não era esperado, visto que o módulo de elasticidade dinâmico da anidrite é mais alto do que o do gesso. Isto acontece, porque apesar de ter sido usada maior quantidade de água na amassadura da argamassa de anidrite do que a de gesso, apenas alguma da água presente participou na hidratação da anidrite, enquanto que a restante conferiu maior porosidade à argamassa, que

consequentemente diminuiu a sua compactidade e respectivas resistências mecânicas. Por outro lado, o gesso hemihidratado capta mais rapidamente a água para a sua hidratação do que a anidrite, acabando por formar uma rede de cristais mais e resistente, com menor porosidade (Carreira, 2019).

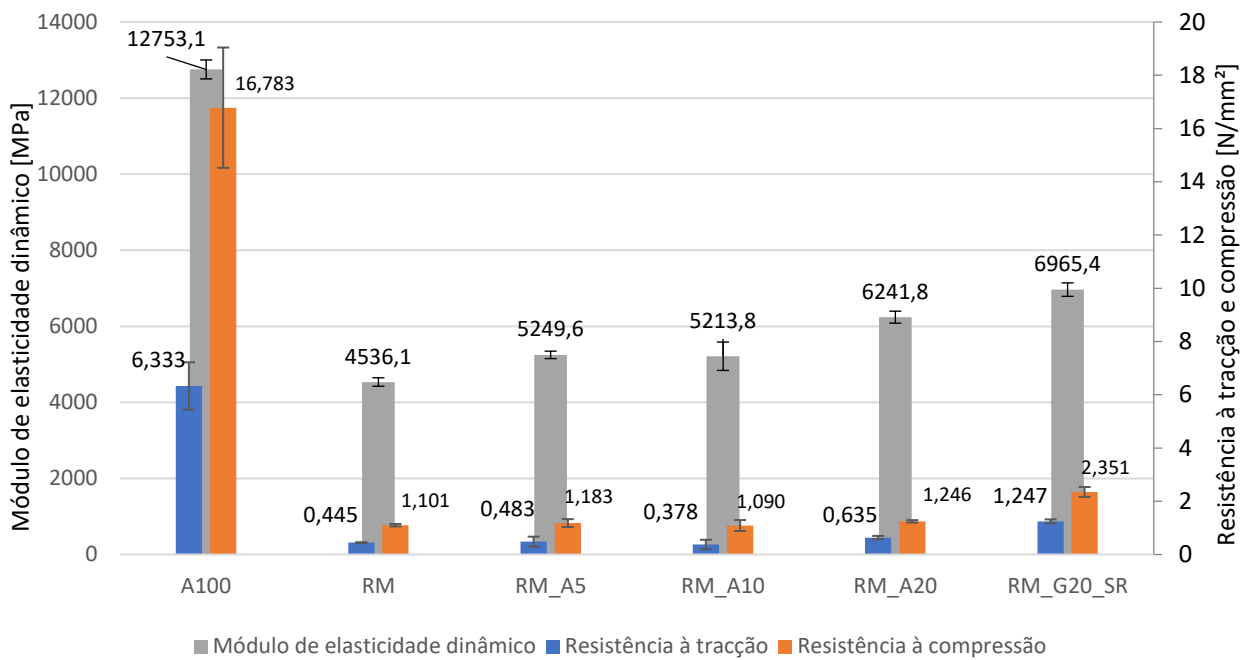


Figura 6.27 - Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico e das resistências mecânicas

### 6.2.15. Relação entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à tracção por flexão

O quociente entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à tracção por flexão, permite avaliar a susceptibilidade da argamassa fendilhar. Quanto maior o seu rácio maior vai ser a probabilidade de surgirem fendas na argamassa. Na figura 6.28, a formulação RM\_A10 é a que tem o maior valor, enquanto que a argamassa A100 o menor valor. Quando se produzem argamassas é importante que sejam capazes de absorver deformações, quando solicitadas por tensões, ou seja, que tenham pouco susceptibilidade de fendilhar (Veiga, 2005).

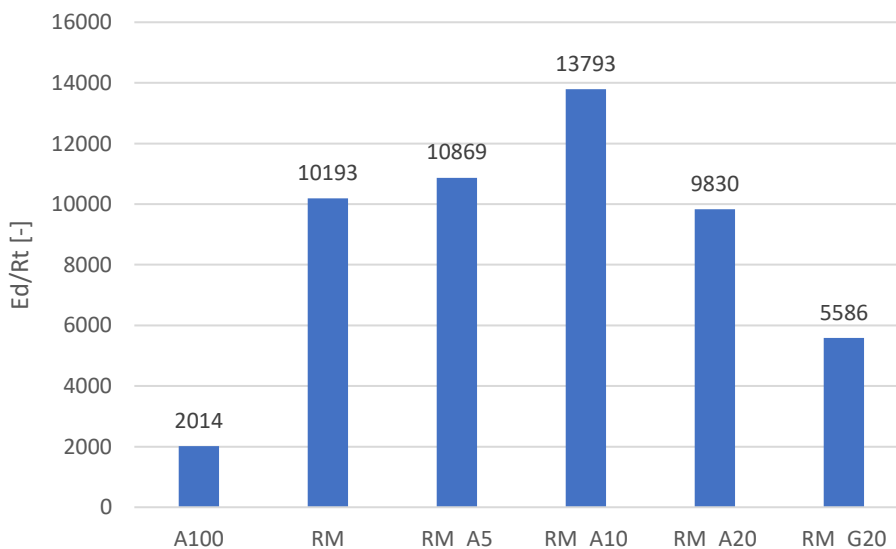


Figura 6.28 - Quociente entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à tracção por flexão

### 6.2.16. Relação entre a resistência à tracção por flexão e à compressão

A relação entre a resistência à tracção por flexão e à compressão permite afirmar que quanto maior o seu rácio, melhor vai ser o comportamento das argamassas às tensões sofridas, tornando-a mais deformável (Faria, 2004). Como se pode ver na figura 6.29, a formulação com gesso é a que apresenta melhor deformabilidade, com um resultado muito próximo da argamassa com 20% de adição de anidrite. A argamassa com 10% de anidrite é a que apresenta menor valor, mas está de acordo com a figura 6.28, onde é a que apresenta o maior valor, ou seja, é a menos deformável e com maior probabilidade de fendilhar.

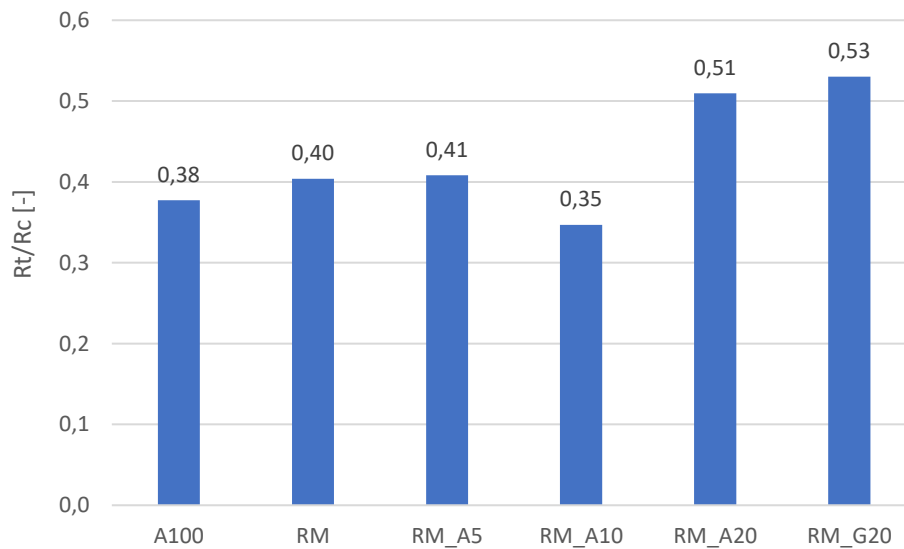


Figura 6.29 - Quociente entre a resistência à tracção por flexão e compressão



## 7. Conclusões

### 7.1. Considerações finais

A presente dissertação teve como principal objectivo contribuir para aprofundar os conhecimentos relativos a argamassas de reboco de terra, com a introdução de um material ainda muito pouco explorado no contexto da construção, a anidrite. Iniciou-se com uma breve abordagem sobre o uso da terra como material de construção, onde foi feita uma descrição das suas características, bem como os seus impactos energéticos, ambientais e económicos. A utilização de novos materiais e processos construtivos mais actuais, nem sempre têm contribuído para o melhorar o estado de conservação das argamassas antigas, sendo mesmo frequentemente responsável pela aceleração de diversos mecanismos de degradação. Para ser executada uma intervenção eficiente sobre revestimentos de paredes e argamassas de edifícios antigos exige-se um conhecimento minucioso dos materiais existentes, da sua composição e do seu estado de degradação. Mesmo em construção nova, a compatibilidade entre os substratos e os rebocos é também fundamental.

A campanha experimental levada a cabo permitiu avaliar as características físicas e mecânicas das argamassas de terra com a adição de anidrite no estado fresco e endurecido, incluindo uma análise da higroscopicidade das argamassas. Para isso foram utilizadas algumas normas europeias e internacionais, assim como procedimentos de ensaio previamente definidos e ainda a norma alemã DIN 18947 (DIN, 2013), específica para rebocos de terra. Para o estudo foram executados seis tipos de argamassas diferentes, formuladas em laboratório: uma de terra, apenas consistindo uma mistura pré-doseada, da EMBARRO, considerada como a argamassa de referência deste estudo, três com adição de anidrite em diferentes percentagens relativas ao volume total da mistura pré-doseada, assim como uma com adição de gesso hemihidratado, e por último, uma apenas de anidrite. Foram realizados e ensaiados três tipos de provetes diferentes: prismáticos, planares e constituídos pela aplicação de uma camada de argamassa sobre tijolo, simulando um reboco.

Relativamente ao ensaio realizado às argamassas no estado fresco é possível verificar que apenas as argamassas sem adição de anidrite, RM e RM\_G20\_SR, apresentam uma consistência por espalhamento dentro do limite definido pela norma DIN 18947 (DIN, 2013), na ordem dos  $175 \pm 5$ mm, enquanto que a pasta de anidrite apresentou um espalhamento muito superior, associado também a uma maior quantidade de água adicionada na produção para que apresentasse uma boa trabalhabilidade. No entanto, a avaliação efectuada seguiu a norma alemã que é referente a argamassas de terra não estabilizadas, pelo que sobre as argamassas RM; é assim natural que as outras não respeitem o limite imposto pela norma.

Relativamente aos ensaios realizados no estado endurecido, a adição de diferentes quantidades de anidrite à formulação de terra revelou-se, na maior parte, favorável para aplicação em rebocos.

No ensaio de retracção linear a adição de anidrite revelou-se um pouco penalizadora, aumentando a retracção das argamassas, o que já era esperado, porque os provetes produzidos com pasta de anidrite obtiveram os valores mais altos de retracção e também apresentaram algumas fissuras durante a secagem. Quanto à massa volúmica, a adição em 20% de anidrite e de 20% de gesso baixou a classe da argamassa de referência segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013), enquanto que as restantes mantiveram-se na mesma classe. Não sendo esta norma aplicável às argamassas com ligantes, foi possível classificar as formulações

quanto à resistência à compressão segundo a norma EN 998-1 (IPQ, 2010), verificando-se que as argamassas estão inseridas na classe CS I ( $0,4 \text{ N/mm}^2$  a  $2,5 \text{ N/mm}^2$ ) e a pasta de anidrite inserida na categoria CS IV ( $\geq 6 \text{ N/mm}^2$ ).

No que diz respeito à condutibilidade térmica, registou-se um aumento nas argamassas RM\_A5 e RM\_A10, e um ligeiro aumento na RM\_G20\_SR. Apesar de ter sido avaliado este parâmetro, acaba por não ser uma característica muito importante para avaliação de rebocos, devido à sua reduzida espessura.

A adição de anidrite verificou-se vantajosa à excepção da formulação com adição de 10% de anidrite, verificando-se aumento de todas as características mecânicas da argamassa de terra, como o módulo de elasticidade dinâmico, a resistência à tracção por flexão e compressão, dureza e coesão superficial, abrasão via seca e húmida e aderência ao suporte.

É também possível concluir que a adição de anidrite revelou ser pouco prejudicial relativamente à capacidade de adsorção e desadsorção de vapor de água. Este é um factor bastante importante, uma vez que permite que as argamassas de terra aditivadas com anidrite continuem a possuir uma elevada higroscopicidade, contribuindo de forma crucial para o equilíbrio termo-higrométrico dos espaços interiores dos edifícios. Pelo contrário, conseguiu ter efeito positivo na absorção de água por baixa pressão.

Quando comparadas as argamassas com adição de 20% de anidrite e adição de 20% de gesso, é possível concluir que cada uma traz vantagens e desvantagens diferentes entre si. A adição de anidrite verificou ser mais vantajosa em termos higrotérmicos e na dureza superficial, enquanto que a adição de gesso revelou ser mais eficiente em termos mecânicos.

Encontrar uma solução que promova a melhoria das características mecânicas de argamassas formuladas com terras ílíticas, mas que em simultâneo preserve a sua elevada capacidade de adsorção de vapor de água, é bastante importante, pois esta é uma característica fundamental para o interesse neste tipo de argamassas. Simultaneamente, apresentam benefícios a níveis económicos, com baixo custos de materiais e de produção, fácil acesso dos constituintes e a sua sustentabilidade.

Após o final desta investigação, consideram-se alcançados os objectivos de contribuir para um maior conhecimento sobre o comportamento mecânico e higroscópico de argamassas de terra com adição de sulfatos de cálcio, com especial atenção à anidrite, visto ser um material menos estudado. Em suma, foram encontrados resultados positivos a níveis mecânicos e também a nível de resistência à água, com a diminuição de absorção de água a baixa pressão, embora se tenha verificado uma ligeira diminuição do poder de adsorção das argamassas de terra aditivadas.

## **7.2. Propostas de desenvolvimento futuro**

Os resultados obtidos nesta dissertação podem ter bastante interesse para entidades ligadas à construção civil. De forma a ainda serem mais úteis e precisos futuramente deviam ser realizados ensaios de avaliação da resistência aos cloretos e aos sulfatos e do seu comportamento acústico. Seria também vantajoso avaliar argamassas produzidas em ambientes menos controlados (mais realistas), como os praticados em obra, assim como usar amostras e suportes de edifícios existentes.

Propõe-se o desenvolvimento da investigação, no sentido de avaliar qual a influência da adição de maiores percentagens de anidrite, de forma a permitir conhecer se haverá um limite máximo de adição

tolerado pelas argamassas de terra, isto é, conhecer o limite em o que o incremento da adição deixa de ser benéfico para as propriedades mecânicas ou começa a prejudicar, de forma significativa, outras propriedades das argamassas, como a capacidade de adsorção de vapor.

Incentiva-se o estudo de argamassas de terra com outros tipos de acabamentos, de adições, de diferentes óleos e fibras, individualmente ou em simultâneo com a adição de anidrite, que possam igualmente incrementar as características mecânicas das argamassas e colmatar alguns pontos fracos registados apenas com a adição de anidrite. Também é recomendado um estudo mais aprofundado, incluindo a utilização de diferentes tipos de suportes, desde os mais antigos aos mais recentes, como terra, madeiras, alvenarias de pedras e betão.



## Referências bibliográficas

- Abraúl F. (2010), *Arquitectura de terra em Portugal: Viabilidade contemporânea*. Dissertação de mestrado de arquitectura, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto
- Allinson D., Hall M. (2010), *Hygrothermal analysis of a stabilised rammed earth test building in the UK*, *Energy Build*, 42, p.845-852
- ASTM (2015), *ASTM D2240-15, Standard test method for rubber property – durometer hardness*, ASTM, United States
- Branco J. (1981), *Manual do pedreiro*. LNEC Lisboa
- Brás A., Leal M., Faria P. (2012), *Argamassas com comportamento térmico melhorado com materiais sustentáveis*. 2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono, p.1-5
- CEN (1998a), *EN 1015-1:1998 – Methods of test for mortars for masonry. Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis)*. Brussels
- CEN (1998b), *EN 1015-2: 1998 – Methods of test for mortars for masonry. Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars*. Brussels
- CEN (1998c), *EN 1015-4: 1998 – Methods of test for mortars for masonry. Part 4: Determination of consistence of fresh mortar (by Plinger Penetration)*. Brussels
- CEN (1998d), *EN 1015-6: 1998 – Methods of test for mortars for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar*. Brussels
- CEN (1999a), *EN 1015-3: 1999 – Methods of test for mortars for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Brussels
- CEN (1999b), *EN 1015-10: 1999 – Methods of test for mortar for masonry; Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar*. Brussels
- CEN (1999c), *EN 1015-11: 1999 – Methods of test for mortars for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels
- CEN (2000), *EN 1015-12: 2000 – Methods of test for mortars for masonry. Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates*. Brussels
- CEN (2002), *EN 1015-18: 2002 – Methods of test for mortars for masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. Brussels
- CEN (2008), *EN 13279-1: 2008 – Gypsum binders and gypsum plasters. Part 1: Definitions and requirements*.
- CEN (2004), *EN 13279-2:2004 – Gypsum binders and gypsum plasters. Part 2: Test methods*.
- CEN (2009), *EN 15803: 2009 – Conservation of cultural property. Test methods. Determination of water vapour permeability*. Brussels

CEN (2013), EN 16302, 2013. *Conservation of Cultural Heritage. Test Methods – Measurement of Water Absorption by Pipe Method*.

Coutinho J.S. (2006), *Materiais de construção 2 -1ª parte: ligantes e caldas*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Delinière R., Aubert J. E., Rojat F., Gasc-Barbier M. (2014), Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plaster. *Building and Environmental*, 80, p.11-17

DIN (2013), DIN 18947 - Earth plasters – Terms and definitions, requirements, test methods (em alemão). Berlin.

Drdácký M., Lesák J., Niedoba K., Valach J. (2014), Peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of morta rand render surfaces. *Materials and Structures*, 48, p.1947-1963

EMBARRO, disponível em <https://www.embarro.com/category/embarro-portugal-pt-pt/>. Consultado em Outubro de 2018

Faria P. (2004), *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas: Contributo para o estudo da influência dos ligantes*. Tese de Doutoramento, FCT UNL

Faria P. (2007), *Construção em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias*. MUSA, nº2, p.149-155

Faria P., Santos T., Aubert J. (2016), Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar. *JMCE*, 28, 04015085

Faria P., Lima J. (2018), *Rebocos de Terra, Cadernos de Construção com Terra*. Editora Argumentum.

Faria P., Henriques F., Rato V. (2008), Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation, *Journal of Cultural Heritage*, 9, p.338–346.

Fontes A.C.B. (2007), *Influência das condições de cura na carbonatação de argamassas tradicionais com ligante à base de cal aérea – métodos de análise*. Dissertação para obtenção de grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico

Freire M.T. (2016), *Restoration of ancient Portuguese interior plaster coatings: Characterization and development of compatible gypsum-based products*, Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Gomes M.I., Gonçalves T.D., Faria P. (2012), Evaluación de la influencia del contenido de agua en la trabajabilidad del mortero de tierra (Avaliação da influência do teor de água na trabalhabilidade de argamassas de terra). *Apuntes – Journal of Cultural Heritage Studies*, 25 (2), p. 258-277.

Gomes M. I., Faria P. (2011), Repair mortars for rammed earth constructions. In proceedings of the XII DBMC – 12<sup>th</sup> International Conference on durability of building materials and components, vol.2, V.P Freitas, H. Corvacho, M. Lacasse (eds.), Porto, FEUP, p.689-696

Gomes M.I., Faria P., Gonçalves T.D. (2018), Earth-based mortars for repair and protection of rammed earth walls. Stabilization with mineral binders and fibers, *Journal of Cleaner Production*, 172, p.2401-2414

Gomes A., Pinto A.P.F., Pinto J.B. (2013), Gesso e cal de construção, Materiais de Construção I, Instituto Superior Técnico

Gypsum-plus 2017, Ficha dados técnicos: Anidrita II. Navarra, Espana: Gypsum Plus, 2017, Consultado em 2018-12-10, Disponível em: <http://www.gypsumplus.es/>.

Hall M., Allinson D. (2009), Analysis of the hygrothermal functional properties of stabilised rammed earth materials. *Building and Environment*, 44, p.1935-1942

Hamard E., Morel J.C., Salgado F., Marcom A., Meunier N. (2013), A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture. *Journal of Cultural Heritage*, 14, p.109-115

Henriques F., Faria P. (2006), Argamassas de substituição na conservação do património. *Construção Magazine*, 16, p.38-45.

Henriques F. (2007), Humidade em paredes. Edifícios – Conservação e reabilitação, 4ª edição Lisboa, LNEC

Henriques F., Faria P. (2008), O papel da investigação no estudo das argamassas de substituição na conservação do património; *Revista Engenharia Civil – Universidade do Minho*, 31, p.29-37.

Carreira I. (2019), Caracterização de argamassas de terra estabilizadas com sulfatos de cálcio para aplicação em Património Edificado e Arqueológico, Dissertação de mestrado, FCT UNL

IPQ (2010), NP EN 998-1:2010 – *Especificação de argamassas para alvenarias. Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores*. Caparica.

IPQ (2002), NP EN 1015-19:2002 – *Métodos de ensaio de argamassas para alvenaria. Parte 19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas*. Caparica

IPQ (2000), NP EN 1097-3:2000 – *Ensaio para determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Método para determinação da massa volúmica e dos vazios*. Caparica.

IPQ (2008), NP EN 1936:2008 – *Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta*. Caparica.

IPQ (2005), NP EN 13055-1:2005 - *Agregados leves. Parte 1: Agregados leves para betão, argamassas e caldas de injeção*. Caparica.

IPQ (2007), NP EN 14146:2006 – *Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental)*. Caparica.

ISO (2001), ISO 12572:2001 – *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties*. Switzerland

Lima J. (2013) – O contributo das argamassas de barro para a qualidade do ambiente interior dos edifícios: o caso das argilas do sotavento algarvio. 2º Congresso internacional da habitação no espaço lusófono, Lisboa, LNEC

Lima J., Correia D., Faria P. (2016a), Rebocos de Terra: Influência da adição de gesso e da granulometria da areia, Argamassas 2016 - II Simpósio de argamassas e soluções térmicas de revestimento, Coimbra, p.12

- Lima J., Silva S., Faria P. (2016b), Rebocos de terra: Influência da adição de óleo de linhaça e comparação com rebocos convencionais, Teste 2016
- Lima J., Faria P., Silva A. (2016c), Earthen Plasters Based on Illitic Soils from Barrocal Region of Algarve: Contributions for Building Performance and Sustainability, *Key Engineering Materials*, p.64-78
- Lima J., Ferreira M., Faria P. (2017), Rebocos de terra: caracterização higroscópico e face à presença de água líquida, *CREPAT*, p.21-29
- Lima J., Faria P., Santos Silva A. (2020), Earth plasters: the influence of clay mineralogy in the plasters properties. *International Journal of Architectural Heritage* (February 2020)
- Liuzzi S., Hall M.R., Stefanizzi P., Casey S.P. (2013), Hygrothermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in a Mediterranean climate. *Building and Environment*, 61, p.82-92
- Machado S.F.A. (2014), Influência de agregados provenientes de RCD e cinzas volantes não-uniformes no desempenho de argamassas de cimento. Dissertação para obtenção de grau de mestre em Engenharia Civil. FCT-UNL
- Maddison M., Mairing T., Kirsimae K., Mander U. (2009), The humidity buffer capacity of clay sand plaster filled with phytomass for treatment wetlands. *Building and Environment*, 44, p.1864-1868
- Margalha M. (2011), Argamassas, Documentos de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património, Universidade de Évora
- Martins J.G., Paiva P.A. (2010), *Materiais de Construção I – Ligantes*, 3ª ed. Universidade Fernando Pessoa, Lisboa, Portugal, 2010
- Martinho P. (2017), Análise do comportamento de argamassas com incorporação de “pellets” de madeira. Dissertação de mestrado, FCT UNL
- Mattone M., Bignamini E. (2012), Conservation of earthen constructions: Earth-gypsum plasters, *Restaipa* 2012, p.687-691
- Mattone M., Rescic S., Fratini F., Fá R. (2017), Experimentation of Earth-Gypsum Plasters for the Conservation of Earthen Constructions, *International Journal of Architectural Heritage* 11 (6), p.763-772
- Miguel P. (2008), Desenvolvimento de argamassas de reabilitação de edifícios em adobe, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro
- Minke G. (2000), *Earth construction handbook; The building material earth in modern architecture*; p.39-52 e p.109-111
- Minke G. (2006), *Building with earth. Design and technology of a sustainable architecture*, WITpress
- Minke G. (2011), Shrinkage, abrasion, erosion and sorption of clay plasters, *Informes de la Construcción*, 532 (63), p.153-158.

- NZS (1998), NZS 4298-1998: Materials and workmanship for earth buildings (Building Code Compliance Document E2 (AS2)). New Zealand
- Paulo R. (2006), Caracterização de argamassas industriais, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro
- Pombo Cardoso I. (2010), Gesso layers on Portuguese Baroque altarpieces: materials, practices and durability. Doctoral thesis, UCL (University College London)
- Ponte M. (2012), Arquitectura de Terra: o desenho para a durabilidade das construções, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
- Rocha M. (2015), Técnicas de Construção com Terra, Cadernos de Construção com Terra
- Rodrigues A., Faria P., Flores-Colen I. (2014), Argamassa industrial para reabilitação de rebocos antigos. Argamassas 2014 – Simpósio de argamassas e soluções térmicas de revestimento, Coimbra, 5-6 junho 2014, p.1-11
- Röhlen U., Ziegert C. (2011), Earth building practice, Bauwerk, Beuth Verlag GmbH
- Santos T., Faria P., Silva A.S. (2017), Avaliação in situ do comportamento de rebocos exteriores de argamassas de terra com baixas adições de cais, Conservar Património, p.1-11
- Santos T., Faria P., Silva V. (2019), Can an earth plaster be efficient when applied on different masonries?, Journal of Building Engineering, p.314-323
- Schug B., Mandel K., Schottner G., Shmeliov A., Nicolosi V., Baese R., Pietschmann B., Biebl M., Sextal G. (2017), A mechanism to explain the creep behavior of gypsum plaster, Cement and Concrete Research, 98, p.122-129
- Silva A., Reis M. (2001), Caracterização de argamassas antigas, 2ª ed. Lisboa, LNEC
- SIVAL “Ficha técnica de produto: Gesso estuque”, ficheiro PDF, Consultado em 2018-12-10, Disponível em: <https://sival.pt/pt/gessos-tradicionais/45-gesso-estuque-saco-3-kgs.html>
- Stark J., Wicht B. (1999), The history of gypsum and gypsum plaster. ZKG International, 52(10), p.527-533
- Torgal F., Eires R., Jalali S. (2009), A construção em terra- Guimarães: TecMinho, ISBN 978-972-8692-40-7, p.179
- Torraca G. (2009), Mortars, Bricks and Concretes: Earth, Gypsum, Lime and Cements. Lectures on Materials Science for Architectural Conservation. Part 2. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, p.38-58.
- Van Balen K., Bicer-Simsir B., Binda L., Bläuer C., Elsen J., Groot C., Veiga R. (2010), The role of mortar in masonry: an introduction to requirements for the design of repair mortars. In Repair Mortars for Historic Masonry, Final Workshop, p.1323-1329
- Vegas F., Mileto C., Ivorra S., Baeza J. (2011), Checking Gypsum as Structural Material, Applied Mechanics and Materials Vols. 117-119(2012) p.1576-1579

Veiga M., Faria P. (1990), Revestimentos de ligantes minerais e mistos com base em cimento, cal e resina sintética, LNEC, 1990, cap.2 p.40-173

Veiga M. (2003), Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes. Atas do 3º ENCORE, Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios. Lisboa, LNEC (2003) p.1-10

Veiga M. (2005), As argamassas na conservação 2ª ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Veiga M. R. (2005), Comportamento de revestimentos de fachadas com base em ligante mineral. Exigências funcionais e avaliação do desempenho. APFAC, Congresso 2005, paper 2020

Veiga M. (2009), Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos: métodos e materiais. Série TPI 58, Teses e Programas de Investigação LNEC, LNEC, Lisboa, 2009

Yilmaz I. (2001), Gypsum/anhydrite: engineering problems, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 60(3), p.227-230

## Anexos

### A.1 Ficha técnicas dos produtos e materiais utilizados

# ARGAMASSA EMBARRO UNIVERSAL



Informação do produto

2018-08

#### PROPRIEDADES

Argamassa à base de argila, pronta a aplicar, para interiores. Aplicada manualmente ou com máquina de projetar. A densidade é de aproximadamente 1800 kg/ m<sup>3</sup>.

#### COMPOSIÇÃO (DECLARAÇÃO COMPLETA)

Barro granulado, areia mista 0-2 mm e palha <10mm.

#### TAMANHO DOS RECIPIENTES

Disponível em Big bags de 1.000 kg (Art. EMB01) e baldes reutilizáveis de 25kg (Art. EMB02).

#### RENDIMENTO

100 kg de EMBARRO Universal seco rendem aprox. 62 l de argamassa pronta a usar. Com este material é possível cobrir uma superfície de aprox. 6 m<sup>2</sup> com uma espessura de 1 cm.

#### UTILIZAÇÃO

Reboco de interior de camada única ou de várias camadas. É adequado para aplicar sobre qualquer tipo de construção sólida, eventualmente é necessário preparar uma ponte de aderência com GekkoSOL Fino KREIDEZEIT (Art. K133). Pode ser misturado com uma betoneira, misturadora ou máquina de projetar, adicionar aprox. 20% de água.

#### PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE

A superfície deve estar firme, limpa, sem restos de películas oleosas e suficientemente rugosa para proporcionar uma boa base uma vez que o reboco EMBARRO Universal, como todos os rebocos de barro, adere apenas mecanicamente. Rebocos de barro velhos devem ser molhados antes de aplicar uma capa nova de EMBARRO Universal. Outras superfícies só precisam de ser molhadas para prolongar o tempo de trabalho do material. O reboco é aplicado com uma colher de pedreiro ou com uma máquina de projetar. O modo de aplicação é o mesmo que com uma argamassa convencional. No caso de aplicar uma só camada, esta pode ter até 30mm de espessura.

Para evitar fissuras e gretas, a argamassa deve ser aplicada em várias camadas, sempre que tenha uma espessura superior a 30mm, ou quando é necessário regularizar grandes irregularidades na superfície ou

quando se usa rede. Antes de aplicar uma camada adicional, a camada anterior deve estar completamente seca. A rede usa-se como um reforço do reboco que se posiciona entre os primeiros dois terços e o último terço do revestimento e pode ser de fibra de vidro ou de juta por exemplo, e com malhas não superiores a 7mm x 7mm. Dependendo do momento em que é trabalhada a superfície, é possível obter estruturas diferentes. Em geral, a textura será mais fina quanto mais tarde se passar a talocha para alisar. É possível obter uma superfície mais lisa mediante um trabalho posterior com uma espátula de metal.

#### TEMPO DE TRABALHO/SECAGEM

A argamassa pode ser usada durante vários dias. Pode ser necessário adicionar mais água. Como os rebocos de barro contêm materiais orgânicos (palha) e são aplicados molhados, má ventilação pode levar a criação de bolor. Se for este o caso pode ser considerado o uso de ventilação forçada. Uma vez totalmente seco o reboco não é suscetível de criar bolor.

#### ACABAMENTO

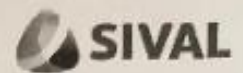
O reboco EMBARRO Universal pode ser revestido com Tintas de Barro, Caseína e Silicato de Dois Componentes de KREIDEZEIT para manter a sua capacidade de absorção. Também o DECOFINO EMBARRO mantém perfeitamente as propriedades do EMBARRO Universal.

#### ARMAZENAMENTO

Guardar em local seco. Se for mantido seco pode ser guardado por tempo ilimitado.

*As presentes informações foram reunidas com base na nossa experiência e conhecimentos. Devido aos métodos de aplicação e às influências ambientais, bem como às diversas características das superfícies, não podem ser assumidas responsabilidades ou obrigações legais relativamente às recomendações individuais. A validade do texto termina com revisões ou modificações do produto. As informações atualizadas sobre o produto podem ser obtidas diretamente em [www.embarro.com](http://www.embarro.com) ou pode entrar em contacto connosco diretamente através do nosso e-mail [info@embarro.com](mailto:info@embarro.com).*

# GESSO ESTUQUE



## DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O GESSO ESTUQUE é um gesso hemihidratado não aditivado, de cor branca.

É comercializado em forma de pó muito fino, pronto a amassar mecanicamente com água, para aplicação manual.

## EMBALAGEM

Sacos de papel de 30 kg, sacos de 5 kg, *big bags* ou a granel.

## UTILIZAÇÃO

Gesso de aplicação manual, recomendado para estucar paredes e tetos pelo método tradicional.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Relação Gesso/Água: 1:50 kg/l

Tempo de Início de Presa: 12min ± 3min

Tempo de Fim de Presa: 28min ± 5min

Expansão linear (1 hora): máx. 0,20%

Resistência à Flexão (seco): > 52 kg/cm<sup>2</sup>

Resíduo:

Peneiro 500 micron: ≤ 0,100%

Peneiro 300 micron: ≤ 0,050%

## ANHIDITA II

### Sulfato de Calcio anhidro

#### DESCRIPCIÓN

Sulfato de Calcio anhidro obtenido por la deshidratación total a 400 - 700°C de la piedra molida de yeso natural (Aljez).

#### APLICACIONES

- Uso directo.
- En mezclas con cemento (tipo I Clinker o tipo II Portland) para solados, muros de contención, soportes de techos en galerías mineras, pastas y morteros autonivelantes.
- Como materia prima en yesos para la construcción.
- En la agroindustria como carga de fertilizantes, aglomerante de abonos y aporte de Calcio y Azufre para suelos cultivables.

#### NORMATIVA OFICIAL

La Anhidrita II está clasificada A "Conglomerante a base de yeso para su uso directo o transformación" (UNE-en 13279-1).

#### ALMACENAJE Y CONSERVACION

Mantener el producto protegido de la intemperie y ambientes húmedos.

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

<b>Fórmula</b>	CaSO <sub>4</sub>
<b>Nº CAS</b>	7778-18-9
<b>Aspecto</b>	Sólido granulado
<b>Color</b>	blanco
<b>Índice de pureza</b>	> 80%
<b>% Humedad</b>	< 1 %
<b>pH</b>	> 10
<b>Reacción al fuego</b>	A1

#### GRANULOMETRÍA

Tamiz (µm)	% retención
1250	<0,5
1000	<1,0
800	<2,0
400	<10,0
200	<30,0
100	<50,0
75	<90

#### PRESENTACIÓN

Big bags; cisternas.

*La información suministrada se refiere a ensayos de laboratorio; los datos pueden variar según las condiciones de aplicación. Cualquier otro uso no especificado del producto, incluida su utilización junto con otros productos o en otros procesos, se hará bajo la exclusiva responsabilidad del usuario.*

## A.2 Resultados individuais obtidos na caracterização das argamassas no estado fresco

### Cálculo das baridades dos constituintes

ref. mat. pub.	descrição material publicação	volume referência [cm <sup>3</sup> ]	massa						baridade	
			aferição 1 [g]	aferição 2 [g]	aferição 3 [g]	aferição 4 [g]	aferição 5 [g]	aferição 6 [g]	média [kg/m <sup>3</sup> ]	d.p. [kg/m <sup>3</sup> ]
RM	EMBARRO	1000,0	1409,4	1410,9	1415,1	1416,2	1417,0	1415,3	1414,0	2,8
A	Anidrite	1000,0	981,3	966,2	958,8	978,3	967,5	971,7	970,6	9,4
G	Gesso	1000,0	680,0	674,5	671,1	662,3	654,7	661,6	667,4	3,7

### Formulações

referência argamassa publicação	baridade constituintes			rácios volumétricos				cálculo volumes para amassaduras				cálculo massas para amassaduras				rácios mássicos				retardador		
	RM [kg/m <sup>3</sup> ]	anidrite [kg/m <sup>3</sup> ]	gesso [kg/m <sup>3</sup> ]	RM [%]	anidrite <sup>(1)</sup> [%]	gesso <sup>(1)</sup> [%]	água <sup>(1)</sup> [%]	betoneira [cm <sup>3</sup> ]	RM [cm <sup>3</sup> ]	anidrite <sup>(1)</sup> [cm <sup>3</sup> ]	gesso <sup>(1)</sup> [cm <sup>3</sup> ]	água <sup>(1)</sup> [cm <sup>3</sup> ]	RM [g]	anidrite <sup>(1)</sup> [g]	gesso <sup>(1)</sup> [g]	água <sup>(2)</sup> [g]	RM [%]	anidrite [%]	gesso [%]	água <sup>(3)</sup> [%]	racio [%]	massa [g]
RM	1414,0	970,6	667,4	100,0	0,0	0,0	26,3	2400	2400	0	0	630	3393,6	0,0	0,0	628,6	100,0	0,0	0,0	18,5	-	-
RM_A5	1414,0	970,6	667,4	100,0	5,0	0,0	26,3	2400	2400	120	0	630	3393,6	116,5	0,0	628,6	96,7	3,3	0,0	17,9	-	-
RM_A10	1414,0	970,6	667,4	100,0	10,0	0,0	26,7	2400	2400	240	0	640	3393,6	233,0	0,0	638,6	93,6	6,4	0,0	17,6	-	-
RM_A20	1414,0	970,6	667,4	100,0	20,0	0,0	28,8	2400	2400	480	0	690	3393,6	465,9	0,0	688,5	87,9	12,1	0,0	17,8	-	-
RM_G20_SR	1414,0	970,6	667,4	100,0	0,0	20,0	28,1	2400	2400	0	480	675	3393,6	0,0	320,3	673,5	91,4	0,0	8,6	18,1	0,02	0,064
A100	1414,0	970,6	667,4	0,0	100,0	0,0	29,2	3000	0	3000	0	875	0,0	2911,9	0,0	873,1	0,0	100,0	0,0	30,0	-	-

Nota: (1) – Percentagem de volume adicionado em relação ao volume total de argamassa pronta seca (RM) ou ligante.

Nota: (2) – Para o cálculo da massa de água foi considerada a temperatura ambiente de 22°C à qual a água tem densidade de 997.7735 kg/m<sup>3</sup>

Nota: (3) – Percentagem de massa adicionada em relação à massa total dos restantes materiais constituintes

### Consistência por espalhamento

ref. arg. lab.	referência argamassa publicação	espalhamento amassadura 1			espalhamento amassadura 2			espalhamento amassadura 3			espalhamento	
		medição 1 [mm]	medição 2 [mm]	medição 3 [mm]	medição 1 [mm]	medição 2 [mm]	medição 3 [mm]	medição 1 [mm]	medição 2 [mm]	medição 3 [mm]	média [mm]	d.p. [mm]
Z33	RM	173,0	171,5	172,5	169,0	171,0	172,5	178,0	173,5	171,0	172,4	2,3
Z34	RM_A5	165,0	170,0	165,5	164,0	168,0	164,5	173,0	172,5	174,0	168,5	3,7
Z35	RM_A10	165,0	167,0	167,0	164,0	168,0	166,0	167,0	165,5	164,0	165,9	1,3
Z36	RM_A20	170,0	170,5	171,5	168,0	168,0	165,0	172,0	171,0	170,0	169,6	2,1
Z37	RM_G20_SR	177,0	177,0	178,0	178,0	175,0	176,0	177,0	179,0	176,0	177,0	1,2
Z38	A100	193,0	190,0	191,5	197,0	195,0	195,5	197,0	196,5	197,5	194,8	2,5

### Consistência por penetrómetro

ref. arg. lab.	referência argamassa publicação	penetração amassaduras			penetração	
		amassadura 1 [mm]	amassadura 2 [mm]	amassadura 3 [mm]	média [mm]	d.p. [mm]
Z33	RM	20,0	21,0	20,0	20,3	0,5
Z34	RM_A5	22,0	17,0	22,0	20,3	2,4
Z35	RM_A10	14,0	15,0	18,0	15,7	1,7
Z36	RM_A20	17,0	19,0	17,5	17,8	0,8
Z37	RM_G20_SR	25,0	22,0	24,5	23,8	1,3
Z38	A100	24,0	26,0	29,0	26,3	2,1

### Massa volúmica

ref. arg. lab.	referência argamassa publicação	volume referência [cm <sup>3</sup> ]	massas produto/pasta			massas volúmicas			massa volúmica	
			amassadura 1 [g]	amassadura 2 [g]	amassadura 3 [g]	amassadura 1 [g/cm <sup>3</sup> ]	amassadura 2 [g/cm <sup>3</sup> ]	amassadura 3 [g/cm <sup>3</sup> ]	média SI [kg/dm <sup>3</sup> ]	d.p. [kg/m <sup>3</sup> ]
Z33	RM	1000,0	2024,6	2033,4	2021,4	2,025	2,033	2,021	2,026	0,005
Z34	RM_A5	1000,0	2026,7	2029,4	2027,3	2,027	2,029	2,027	2,028	0,001
Z35	RM_A10	1000,0	2057,5	2050,1	2045,9	2,058	2,050	2,046	2,051	0,005
Z36	RM_A20	1000,0	2044,4	2054,5	2047,7	2,044	2,055	2,048	2,049	0,004
Z37	RM_G20_SR	1000,0	2019,2	2029,5	2019,8	2,019	2,030	2,020	2,023	0,005
Z38	A100	1000,0	1972,8	1972,5	1962,0	1,973	1,973	1,962	1,969	0,005

### A.3 Resultados individuais obtidos na caracterização das argamassas no estado endurecido

Massa volúmica aparente

ref. arg. lab.	ref. arg. pub.	data prov.	data ensaio	idade prov.	operador	provete ref <sup>a</sup>	dimensões médias provete <sup>(1)</sup>			volume provete [dm <sup>3</sup> ]	massa provete [g]	massa volúmica [kg/dm <sup>3</sup> ]	massa vol. média [kg/dm <sup>3</sup> ]	massa vol. d.p. [kg/dm <sup>3</sup> ]
							largura [mm]	altura [mm]	comp. [mm]					
Z33	RM	30/10/2018	05/07/2019	248		Z33.1	-	-	-	-	-	-	1,836	0,016
						Z33.2	39,56	38,86	159,14	0,245	448,423	1,833		
						Z33.3	39,41	39,21	159,06	0,246	446,490	1,817		
						Z33.4	39,42	39,10	158,22	0,244	453,795	1,861		
						Z33.5	39,54	39,12	158,36	0,245	452,220	1,846		
						Z33.6	39,63	39,54	158,15	0,248	451,770	1,824		
Z34	RM_A5	30/10/2018	05/07/2019	248		Z34.1	39,61	38,85	159,06	0,245	449,266	1,835	1,855	0,019
						Z34.2	39,52	38,72	159,04	0,243	448,746	1,844		
						Z34.3	39,43	38,87	158,81	0,243	445,391	1,830		
						Z34.4	39,39	38,91	158,29	0,243	456,075	1,880		
						Z34.5	39,38	39,17	157,86	0,243	455,571	1,871		
						Z34.6	39,33	39,11	157,69	0,243	453,683	1,871		
Z35	RM_A10	30/10/2018	05/07/2019	248		Z35.1	39,33	39,46	158,92	0,247	457,257	1,854	1,875	0,038
						Z35.2	39,31	39,35	158,28	0,245	452,707	1,849		
						Z35.3	39,28	39,73	158,26	0,247	448,343	1,816		
						Z35.4	39,68	38,49	159,78	0,244	469,725	1,925		
						Z35.5	39,58	38,78	160,15	0,246	467,243	1,901		
						Z35.6	39,68	38,71	160,07	0,246	468,221	1,905		
Z36	RM_A20	31/10/2018	05/07/2019	247		Z36.1	39,32	38,48	157,48	0,238	450,903	1,893	1,890	0,017
						Z36.2	-	-	-	-	-	-		
						Z36.3	39,27	38,70	157,19	0,239	457,815	1,917		
						Z36.4	39,19	39,45	158,11	0,244	457,530	1,872		
						Z36.5	39,38	39,07	158,22	0,243	455,820	1,873		
						Z36.6	39,16	39,27	157,76	0,243	460,440	1,898		
Z37	RM_G20_SR	31/10/2018	05/07/2019	247		Z37.1	39,71	40,50	159,49	0,256	459,141	1,791	1,777	0,007
						Z37.2	39,70	40,62	159,51	0,257	458,019	1,781		
						Z37.3	39,82	40,64	159,63	0,258	456,879	1,769		
						Z37.4	39,70	40,11	159,55	0,254	451,054	1,776		
						Z37.5	39,77	40,14	159,22	0,254	450,850	1,774		
						Z37.6	39,77	40,32	159,35	0,255	452,595	1,772		
Z38	A100	31/10/2018	05/07/2019	247		Z38.1	39,35	40,35	157,97	0,251	442,914	1,766	1,762	0,015
						Z38.2	39,76	39,86	157,78	0,250	447,750	1,791		
						Z38.3	39,65	40,65	158,00	0,255	449,023	1,763		
						Z38.4	39,63	39,51	157,80	0,247	433,244	1,753		
						Z38.5	39,56	39,51	158,25	0,247	430,972	1,743		
						Z38.6	39,55	39,47	157,80	0,246	432,799	1,757		

Retracção linear por secagem dos provetes prismáticos

ref. arg. lat	ref. arg. pul	data prov.	data ensaio	idade prov.	provete ref <sup>a</sup>	dim. molde <sup>(1)</sup> [mm]	dimensões provete [mm]	variação dim. [mm]	retracção [%]		
						comp.	Comp.	comp.	comprimento		
						média	cen.	Δ	provete	média	d.p.
Z33	RM	30/10/2018	05/07/2019	248 dias	Z33.1	161,12				1,21	0,33
					Z33.2	160,66	159,14	1,52	0,94		
					Z33.3	160,22	159,06	1,16	0,72		
					Z33.4	160,53	158,22	2,31	1,44		
					Z33.5	160,54	158,36	2,18	1,36		
					Z33.6	160,74	158,15	2,59	1,61		
Z34	RM_A5	30/10/2018	05/07/2019	248 dias	Z34.1	160,88	159,06	1,82	1,13	1,29	0,25
					Z34.2	160,41	159,04	1,37	0,85		
					Z34.3	160,76	158,81	1,95	1,21		
					Z34.4	160,59	158,29	2,31	1,44		
					Z34.5	160,36	157,86	2,50	1,56		
					Z34.6	160,20	157,69	2,51	1,56		
Z35	RM_A10	30/10/2018	05/07/2019	248 dias	Z35.1	161,08	158,92	2,15	1,34	1,54	0,12
					Z35.2	160,58	158,28	2,30	1,43		
					Z35.3	160,90	158,26	2,64	1,64		
					Z35.4	162,50	159,78	2,72	1,67		
					Z35.5	162,69	160,15	2,55	1,56		
					Z35.6	162,64	160,07	2,57	1,58		
Z36	RM_A20	31/10/2018	05/07/2019	247 dias	Z36.1	160,45	157,48	2,97	1,85	1,69	0,24
					Z36.2	160,54					
					Z36.3	160,45	157,19	3,26	2,03		
					Z36.4	160,35	158,11	2,24	1,40		
					Z36.5	160,55	158,22	2,33	1,45		
					Z36.6	160,50	157,76	2,74	1,71		
Z37	RM_G20_SR	31/10/2018	05/07/2019	247 dias	Z37.1	160,63	159,49	1,14	0,71	0,76	0,11
					Z37.2	160,63	159,51	1,12	0,70		
					Z37.3	160,68	159,63	1,05	0,65		
					Z37.4	160,66	159,55	1,10	0,69		
					Z37.5	160,55	159,22	1,33	0,83		
					Z37.6	160,90	159,35	1,56	0,97		
Z38	A100	31/10/2018	05/07/2019	247 dias	Z38.1	160,57	157,97	2,60	1,62	1,57	0,13
					Z38.2	160,33	157,78	2,55	1,59		
					Z38.3	160,16	158,00	2,16	1,35		
					Z38.4	160,50	157,80	2,70	1,68		
					Z38.5	160,56	158,25	2,32	1,44		
					Z38.6	160,55	157,80	2,75	1,71		

Módulo de elasticidade dinâmico

ref. arg. lab	ref. arg. pu	data prov.	data ensaio	idade prov.	provete refª	gamas aferidas				gama seleccionada		MED provele		MED argamassa										
						A [MPa]	B [MPa]	C [MPa]	D [MPa]	gama [ABCD]	MED [MPa]	média [MPa]	d.p. [MPa]	média [MPa]	d.p. [MPa]									
Z33	RM	30/10/2018	05/07/2019	248	Z33.1					-	-					4536,1	110,7							
										-	-													
										-	-													
										-	-													
					Z33.2	4419				A	4419							4361,8	44,8					
						4392				A	4392													
						4318				A	4318													
						4318				A	4318													
					Z33.3	4434				A	4434							4598,8	253,9					
						4512				A	4512													
						5034				A	5034													
					Z33.4	4415				A	4415													
						5032				A	5032							4684,8	202,8					
						4547				A	4547													
						4541				A	4541													
					Z33.5	4619				A	4619													
						4457				A	4457							4472,0	15,1					
						4457				A	4457													
					Z33.6	4490				A	4490													
						4484				A	4484													
						4503				A	4503							4563,3	35,1					
						4587				A	4587													
					Z34	RM_A5	30/10/2018	05/07/2019	248	Z34.1	5297				A			5297			5156,8	83,9	5249,6	98,1
											5125				A			5125						
5074				A							5074													
5131				A							5131													
Z34.2	5127									A	5127					5108,8	43,7							
	5083									A	5083													
	5170									A	5170													
Z34.3	5055									A	5055													
										-	-													
										-	-													
Z34.4	5266									A	5266					5300,5	38,8							
	5357									A	5357													
	5316				A	5316																		
	5263				A	5263																		
Z34.5	5304				A	5304					5327,0	18,3												
	5354				A	5354																		
	5331				A	5331																		
Z34.6	5319				A	5319					5354,8	48,7												
	5397				A	5397																		
	5364				A	5364																		
	5385				A	5385																		
Z35	RM_A10	30/10/2018	05/07/2019	248	Z35.1			5645		C	5645	5707,5	89,4	5213,8	373,5									
								5639		C	5639													
								5687	5979	C	5687													
								5859		C	5859													
					Z35.2		4320			B	4320	4597,5	281,5											
							4952			B	4952													
							4795			B	4795													
					Z35.3		4323			B	4323													
						482	803	1020	1420	-	-													
						719	759	919		-	-													
						401	437	656		-	-													
					Z35.4	602	623	847		-	-													
1277		5340		C		5340	5424,5	51,6																
		5472		C		5472																		
		5426		C		5426																		
		5460		C	5460																			
Z35.5			5453		C	5453	5282,5	104,1																
			5277		C	5277																		
			5218		C	5218																		
Z35.6			5182		C	5182																		
	1038	4867	5081		C	5081	5056,8	56,6																
			5131		C	5131																		
	1115		5038		C	5038																		
	4783	4977		C	4977																			

Z36	RM_A20	31/10/2018	05/07/2019	247	Z36.1	6272				A	6272	6217,3	33,6	6241,8	157,7																
						6215				A	6215																				
						6183				A	6183																				
						6199				A	6199																				
					Z36.2																										
					Z36.3	6486										A	6486	6483,3	40,8	6241,8	157,7										
						6548										A	6548														
						6440										A	6440														
						6459										A	6459														
					Z36.4	6271										A	6271	6350,8	70,1			6241,8	157,7								
						6297										A	6297														
						6445										A	6445														
					Z36.5	6390										A	6390	6094,8	57,9					6241,8	157,7						
						5996										A	5996														
						6140										A	6140														
					Z36.6	6112										A	6112	6063,0	26,6							6241,8	157,7				
						6131										A	6131														
						6038										A	6038														
						6069										A	6069														
					Z36.7	6104										A	6104	6063,0	26,6									6241,8	157,7		
						6041										A	6041														
					Z37	RM_G20_SR	31/10/2018	05/07/2019	247	Z37.1	7290						A	7290	7303,0											47,7	6965,4
7311				A							7311																				
7372				A							7372																				
7239				A							7239																				
Z37.2	6831													A	6831	6828,3	91,9	6965,4	175,9												
	6704													A	6704																
	6963													A	6963																
	6815													A	6815																
Z37.3	6678													A	6678	6740,0	91,0			6965,4	175,9										
	6808													A	6808																
	6626													A	6626																
	6848													A	6848																
Z37.4	6895													A	6895	6941,0	68,6					6965,4	175,9								
	6958													A	6958																
	6866													A	6866																
	7045													A	7045																
Z37.5	6993													A	6993	6979,0	37,0							6965,4	175,9						
	7033													A	7033																
	6940													A	6940																
Z37.6	6950													A	6950	7001,0	102,8									6965,4	175,9				
	6901													A	6901																
	7173													A	7173																
	6957													A	6957																
Z38	A.100	31/10/2018	05/07/2019	247						Z38.1		12672			C	12672	12806,8											107,1	12753,1	249,3	
					2076		12746				C	12746																			
					755		12855				C	12855																			
					1952		12954				C	12954																			
					Z38.2		12636							C	12636	12797,8	109,7											12753,1			249,3
						2100		12892			C	12892																			
						2383	5165	12905			C	12905																			
						2391		12758			C	12758																			
					Z38.3	2187		12856						C	12856	13019,8	114,4	12753,1	249,3												
						1708		13075			C	13075																			
						2478		13165			C	13165																			
						2157		12983			C	12983																			
					Z38.4	1790		12860						C	12860	12879,3	77,6			12753,1	249,3										
						2096		12769			C	12769																			
							4491	12984			C	12984																			
						2390		12904			C	12904																			
					Z38.5		12130							C	12130	12224,3	220,4					12753,1	249,3								
						1190		12054			C	12054																			
						2016		12603			C	12603																			
						1757		12110			C	12110																			
					Z38.6	1891		12755						C	12755	12790,8	25,5							12753,1	249,3						
						2327		12827			C	12827																			
						1961	2280	12793			C	12793																			
						2652		12788			C	12788																			

Ensaio de resistência à tracção por flexão

ref. arg. lab.	ref. arg. pub.	data prov.	data ensaio	idade prov.	provetes ref <sup>a</sup>	secção provete <sup>(1)</sup>		tracção			
						largura [mm]	altura [mm]	força [N]	resistência [N/mm <sup>2</sup> ]	média [N/mm <sup>2</sup> ]	d.p. [N/mm <sup>2</sup> ]
Z33	RM	30/10/2018	05/07/2019	248	Z33.1	-	-	-	-	0,445	0,018
					Z33.2	39,56	38,86	175,160	0,432		
					Z33.3	39,41	39,21	174,320	0,429		
					Z33.4	39,42	39,10	184,140	0,455		
					Z33.5	39,54	39,12	194,250	0,477		
					Z33.6	39,63	39,54	178,530	0,431		
Z34	RM_A5	30/10/2018	05/07/2019	248	Z34.1	39,61	38,85	206,880	0,509	0,483	0,188
					Z34.2	39,52	38,72	220,630	0,547		
					Z34.3	39,43	38,87	27,790	0,069		
					Z34.4	39,39	38,91	225,120	0,559		
					Z34.5	39,38	39,17	247,300	0,611		
					Z34.6	39,33	39,11	242,810	0,602		
Z35	RM_A10	30/10/2018	05/07/2019	248	Z35.1	39,33	39,46	241,120	0,593	0,378	0,177
					Z35.2	39,31	39,35	131,930	0,326		
					Z35.3	39,28	39,73	14,920	0,037		
					Z35.4	39,68	38,49	206,040	0,510		
					Z35.5	39,58	38,78	179,930	0,444		
					Z35.6	39,68	38,71	145,970	0,359		
Z36	RM_A20	31/10/2018	05/07/2019	247	Z36.1	39,32	38,48	213,050	0,537	0,635	0,065
					Z36.2	-	-	-	-		
					Z36.3	39,27	38,70	255,160	0,641		
					Z36.4	39,19	39,45	299,510	0,742		
					Z36.5	39,38	39,07	254,040	0,629		
					Z36.6	39,16	39,27	251,790	0,627		
Z37	RM_G20_SR	31/10/2018	05/07/2019	247	Z37.1	39,71	40,50	571,510	1,343	1,247	0,074
					Z37.2	39,70	40,62	567,020	1,329		
					Z37.3	39,82	40,64	478,320	1,114		
					Z37.4	39,70	40,11	517,610	1,228		
					Z37.5	39,77	40,14	528,560	1,249		
					Z37.6	39,77	40,32	517,610	1,218		
Z38	A100	31/10/2018	05/07/2019	247	Z38.1	39,35	40,35	3042,810	7,307	6,333	0,888
					Z38.2	39,76	39,86	2920,140	6,954		
					Z38.3	39,65	40,65	2895,720	6,797		
					Z38.4	39,63	39,51	2583,800	6,246		
					Z38.5	39,56	39,51	1879,580	4,561		
					Z38.6	39,55	39,47	2523,510	6,133		

Ensaio de resistência à compressão

ref. arg. lab.	ref. arg. pub.	data prov.	data ensaio	idade prov.	provetes ref <sup>a</sup>	secção provete <sup>(1)</sup>		compressão			
						largura apoio [mm]	altura provete [mm]	força [N]	resistência [N/mm <sup>2</sup> ]	média [N/mm <sup>2</sup> ]	d.p. [N/mm <sup>2</sup> ]
Z33	RM	30/10/2018	05/07/2019	248	Z33.1	40,00	-	-	-	1,101	0,046
					Z33.2	40,00	38,86	1694,300	1,090		
					Z33.3	40,00	39,21	1792,450	1,143		
					Z33.4	40,00	39,10	1588,020	1,015		
					Z33.5	40,00	39,12	1768,050	1,130		
					Z33.6	40,00	39,54	1784,880	1,129		
Z34	RM_A5	30/10/2018	05/07/2019	248	Z34.1	40,00	38,85	1688,970	1,087	1,183	0,147
					Z34.2	40,00	38,72	2218,130	1,432		
					Z34.3	40,00	38,87	1736,920	1,117		
					Z34.4	40,00	38,91	1939,670	1,246		
					Z34.5	40,00	39,17	1517,080	0,968		
					Z34.6	40,00	39,11	1953,410	1,249		
Z35	RM_A10	30/10/2018	05/07/2019	248	Z35.1	40,00	39,46	2202,140	1,395	1,090	0,206
					Z35.2	40,00	39,35	2088,290	1,327		
					Z35.3	40,00	39,73	1537,270	0,967		
					Z35.4	40,00	38,49	1405,750	0,913		
					Z35.5	40,00	38,78	1315,170	0,848		
					Z35.6	40,00	38,71	1684,770	1,088		
Z36	RM_A20	31/10/2018	05/07/2019	247	Z36.1	40,00	38,48	1855,820	1,206	1,246	0,047
					Z36.2	40,00	-	-	-		
					Z36.3	40,00	38,70	1998,000	1,291		
					Z36.4	40,00	39,45	2013,980	1,276		
					Z36.5	40,00	39,07	2005,570	1,283		
					Z36.6	40,00	39,27	1846,570	1,176		
Z37	RM_G20_SR	31/10/2018	05/07/2019	247	Z37.1	40,00	40,50	3516,470	2,171	2,351	0,186
					Z37.2	40,00	40,62	3984,220	2,452		
					Z37.3	40,00	40,64	3740,530	2,301		
					Z37.4	40,00	40,11	3822,410	2,382		
					Z37.5	40,00	40,14	4304,740	2,681		
					Z37.6	40,00	40,32	3419,730	2,120		
Z38	A100	31/10/2018	05/07/2019	247	Z38.1	40,00	40,35	26606,300	16,485	16,783	2,260
					Z38.2	40,00	39,86	31568,340	19,802		
					Z38.3	40,00	40,65	31169,020	19,169		
					Z38.4	40,00	39,51	26747,910	16,925		
					Z38.5	40,00	39,51	20812,810	13,171		
					Z38.6	40,00	39,47	23909,500	15,146		

Condutibilidade térmica

Referência argamassa laboratório	Referência argamassa publicação	Data provete	Data ensaio	Idade do provete	Provete referência	Condutibilidade térmica [W/(m.K)]		
						$\Delta$	Média	d.p
Z33	RM	30/10/2018	04/02/2019	97	Z33.1.1	0,90	0,94	0,041
					Z33.1.2	0,94		
					Z33.1.3	0,91		
					Z33.2.1	0,97		
					Z33.2.2	0,90		
					Z33.2.3	1,0		
Z34	RM_A5	30/10/2018	04/02/2019	97	Z34.1.1	1,2	1,1	0,045
					Z34.1.2	1,2		
					Z34.1.3	1,0		
					Z34.2.1	1,1		
					Z34.2.2	1,1		
					Z34.2.3	1,2		
Z35	RM_A10	30/10/2018	04/02/2019	97	Z35.1.1	1,1	1,1	0,012
					Z35.1.2	1,1		
					Z35.1.3	1,1		
					Z35.2.1	1,1		
					Z35.2.2	1,1		
					Z35.2.3	1,1		
Z36	RM_A20	31/10/2018	04/02/2019	96	Z36.1.1	1,1	0,94	0,073
					Z36.1.2	0,88		
					Z36.1.3	0,91		
					Z36.2.1	0,98		
					Z36.2.2	0,95		
					Z36.2.3	0,85		
Z37	RM_G20_SR	31/10/2018	04/02/2019	96	Z37.1.1	1,0	1,0	0,072
					Z37.1.2	0,95		
					Z37.1.3	0,92		
					Z37.2.1	1,0		
					Z37.2.2	0,91		
					Z37.2.3	1,1		
Z38	A100	31/10/2018	04/02/2019	96	Z38.1.1	0,67	0,66	0,016
					Z38.1.2	0,64		
					Z38.1.3	0,66		
					Z38.2.1	0,64		
					Z38.2.2	0,69		
					Z38.2.3	0,68		

Dureza superficial

Referência argamassa laboratório	Referência argamassa publicação	Data provete	Data ensaio	Idade do provete	Provete referência	Dureza superficial	Média	d.p	coef de variação	Média total (shore-A)	d.p. total (shore-A)
Z33	RM	30/10/2018	10/12/2018	41	Z33.1.1		79,2	2,7	3,4	80,4	3,6
					Z33.1.2	79					
					Z33.1.3	81					
					Z33.1.4	75					
					Z33.1.5	83					
					Z33.1.6	78					
					Z33.2.1	85	81,3	4,0	5,0		
					Z33.2.2	77					
					Z33.2.3	83					
					Z33.2.4	82					
					Z33.2.5	75					
					Z33.2.6	86					
Z34	RM_A5	30/10/2018	10/12/2018	41	Z34.1.1	89	87,3	2,4	2,7	85,5	4,4
					Z34.1.2	90					
					Z34.1.3	87					
					Z34.1.4	89					
					Z34.1.5	83					
					Z34.1.6	86					
					Z34.2.1	89	83,7	5,1	6,1		
					Z34.2.2	82					
					Z34.2.3	76					
					Z34.2.4	90					
					Z34.2.5	86					
					Z34.2.6	79					
Z35	RM_A10	30/10/2018	10/12/2018	41	Z35.1.1	82	86,0	3,1	3,6	86,1	2,9
					Z35.1.2	87					
					Z35.1.3	91					
					Z35.1.4	83					
					Z35.1.5	85					
					Z35.1.6	88					
					Z35.2.1	83	86,2	2,7	3,1		
					Z35.2.2	89					
					Z35.2.3	84					
					Z35.2.4	84					
					Z35.2.5	90					
					Z35.2.6	87					
Z36	RM_A20	31/10/2018	10/12/2018	40	Z36.1.1	87	85,5	3,5	4,0	85,2	3,1
					Z36.1.2	82					
					Z36.1.3	82					
					Z36.1.4	92					
					Z36.1.5	86					
					Z36.1.6	84					
					Z36.2.1	87	84,8	2,6	3,1		
					Z36.2.2	87					
					Z36.2.3	83					
					Z36.2.4	85					
					Z36.2.5	87					
					Z36.2.6	80					
Z37	RM_G20_SR	31/10/2018	10/12/2018	40	Z37.1.1	88	85,7	3,3	3,9	83,9	3,4
					Z37.1.2	90					
					Z37.1.3	86					
					Z37.1.4	80					
					Z37.1.5	87					
					Z37.1.6	83					
					Z37.2.1	80	82,2	2,3	2,8		
					Z37.2.2	81					
					Z37.2.3	81					
					Z37.2.4	83					
					Z37.2.5	81					
					Z37.2.6	87					
Z38	A100	31/10/2018	10/12/2018	40	Z38.1.1	95	95,5	0,5	0,5	94,5	1,5
					Z38.1.2	96					
					Z38.1.3	96					
					Z38.1.4	95					
					Z38.1.5	96					
					Z38.1.6	95					
					Z38.2.1	94	93,5	1,5	1,6		
					Z38.2.2	96					
					Z38.2.3	93					
					Z38.2.4	91					
					Z38.2.5	94					
					Z38.2.6	93					

Coesão superficial

Referência argamassa laboratório	Referência argamassa publicação	Data provete	Data ensaio	Idade do provete	Provete referência	Massa da fita [g]				
						Antes	Depois	$\Delta$	Média	d.p
Z33	RM	30/10/2018	07/12/2018	38	Z33.1.1	0,315	0,322	0,007	0,0133	0,0037
					Z33.1.2	0,302	0,319	0,017		
					Z33.1.3	0,318	0,329	0,011		
					Z33.2.1	0,314	0,328	0,014		
					Z33.2.2	0,342	0,36	0,018		
					Z33.2.3	0,307	0,32	0,013		
Z34	RM_A5	30/10/2018	07/12/2018	38	Z34.1.1	0,31	0,313	0,003	0,0058	0,0019
					Z34.1.2	0,342	0,35	0,008		
					Z34.1.3	0,303	0,311	0,008		
					Z34.2.1	0,312	0,318	0,006		
					Z34.2.2	0,324	0,328	0,004		
					Z34.2.3	0,33	0,336	0,006		
Z35	RM_A10	30/10/2018	07/12/2018	38	Z35.1.1	0,317	0,326	0,009	0,0045	0,0024
					Z35.1.2	0,334	0,337	0,003		
					Z35.1.3	0,334	0,336	0,002		
					Z35.2.1	0,329	0,335	0,006		
					Z35.2.2	0,338	0,341	0,003		
					Z35.2.3	0,314	0,318	0,004		
Z36	RM_A20	31/10/2018	07/12/2018	37	Z36.1.1	0,341	0,345	0,004	0,0050	0,0022
					Z36.1.2	0,323	0,331	0,008		
					Z36.1.3	0,332	0,339	0,007		
					Z36.2.1	0,305	0,307	0,002		
					Z36.2.2	0,338	0,344	0,006		
					Z36.2.3	0,341	0,344	0,003		
Z37	RM_G20_SR	31/10/2018	07/12/2018	37	Z37.1.1	0,319	0,323	0,004	0,0028	0,0007
					Z37.1.2	0,329	0,332	0,003		
					Z37.1.3	0,347	0,35	0,003		
					Z37.2.1	0,337	0,339	0,002		
					Z37.2.2	0,329	0,332	0,003		
					Z37.2.3	0,334	0,336	0,002		
Z38	A100	31/10/2018	07/12/2018	37	Z38.1.1	0,337	0,345	0,008	0,0063	0,0018
					Z38.1.2	0,338	0,347	0,009		
					Z38.1.3	0,338	0,343	0,005		
					Z38.2.1	0,32	0,325	0,005		
					Z38.2.2	0,326	0,333	0,007		
					Z38.2.3	0,347	0,351	0,004		

## Aderência ao suporte

ref.arg. Laboratório	ref. Arg. Publicação	data provete	data ensaio	idade provete	provete	tipo de rotura [a, b, c]	força de rotura [N]	diâmetro (mm)				área da secção [mm²]	tensão [Mpa]	tensão média [Mpa]	tensão d.p. [MPa]		
								aterição 1	aterição 2	aterição 3	média						
Z38	A100	30/10/2018	23/07/2019	266			0	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000		
							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
Z33	RM	30/10/2018	23/07/2019	266	33.1	a	59,13	44,76	46,81	45,67	45,75	1643,65	0,036	0,040	0,007		
					33.1	a	87,45	47,21	46,79	47,14	47,05	1738,39	0,050				
					33.1	a	57,74	46,48	46,01	47,89	46,79	1719,72	0,034				
Z34	RM_A5	30/10/2018	23/07/2019	266	34.1	a	114,33	48,79	48,68	48,91	48,79	1869,87	0,061	0,060	0,005		
					34.1	a	100,32	48,7	48,42	48,28	48,47	1844,91	0,054				
					34.1	a	119,65	48,38	47,8	48,22	48,13	1819,62	0,066				
Z35	RM_A10	31/10/2018	23/07/2019	265	35.1	a	87,73	47,3	48,22	49,26	48,26	1829,21	0,048	0,034	0,011		
					35.1	a	36,99	48,91	47,92	48,6	48,48	1845,68	0,020				
					35.1	a	60,26	47,97	48,92	48,4	48,43	1842,12	0,033				
Z36	RM_A20	31/10/2018	23/07/2019	265	36.1	a	92,21	48,41	48,21	48,1	48,24	1827,70	0,050	0,052	0,006		
					36.1	a	111,12	48,84	47,97	48,93	48,58	1853,55	0,060				
					36.2	a	82,1	47,95	48,23	48,11	48,10	1816,85	0,045				
Z37	RM_G20_SR	31/10/2018	23/07/2019	265	37.1	a	135,1	47,8	48,1	48,15	48,02	1810,81	0,075	0,078	0,013		
					37.1	a	121,85	49,16	48,66	48,81	48,88	1876,26	0,065				
					37.2	a	169,55	47,26	47,73	47,56	47,52	1773,30	0,096				

## Resistência à abrasão via seca

ref.arg. Laboratório	ref. Arg. Publicação	Massa (g)			média	d.p
		Antes	Depois	$\Delta$		
Z33.1	RM	4261,1	4259,3	1,80	1,43	0,29
		4259,3	4257,7	1,60		
		4257,7	4256,6	1,10		
		4256,6	4255,4	1,20		
Z34.1	RM_A5	4314,5	4313,8	0,70	0,42	0,19
		4313,8	4313,6	0,20		
		4313,6	4313,3	0,30		
		4313,3	4312,8	0,50		
Z35.1	RM_A10	4104,0	4103,8	0,20	0,25	0,11
		4103,8	4103,5	0,30		
		4103,5	4103,1	0,40		
		4103,1	4103,0	0,10		
Z36.1	RM_A20	4075,8	4075,7	0,10	0,25	0,11
		4075,7	4075,5	0,20		
		4075,5	4075,2	0,30		
		4075,2	4074,8	0,40		
Z37.1	RM_G20_SR	4304,2	4304,1	0,10	0,13	0,04
		4304,1	4304,0	0,10		
		4304,0	4303,8	0,20		
		4303,8	4303,7	0,10		
Z38.1	A100	3891,0	3890,9	0,10	0,10	0,00
		3890,9	3890,8	0,10		
		3890,8	3890,7	0,10		
		3890,7	3890,6	0,10		

### Absorção de água sob baixa pressão (tubos de Karsten)

Referência argamassa publicação	tempo (min)	água absorvida (ml)	água absorvida acumulada (ml)	água absorvida total (ml)	média total da água absorvida (ml)	coef variação (%)	diâmetro interno [mm]			Área (cm²)	Água absorvida (ml/cm²)	desvio padrão	Água absorvida média (ml/cm²)		
							diâmetro 1	diâmetro 2	média						
A100	0	0	0	45	40,5	6,10	23,89	23,81	23,85	4,47	10,07	0,57	9,28		
	5	5,9	5,9												
	10	3,3	9,2												
	15	4,2	13,4												
	30	10,7	24,1												
	45	10,2	34,3												
	60	10,7	45												
	0	0	0	37,9			40,5	6,10	23,27	23,19	23,23	4,24	8,94	0,57	9,28
	5	5,3	5,3												
	10	4,4	9,7												
	15	3,9	13,6												
	30	9,6	23,2												
	45	8	31,2												
	60	6,7	37,9												
	0	0	0	38,5			40,5	6,10	23,56	23,61	23,59	4,37	8,81	0,57	9,28
	5	5,4	5,4												
	10	4	9,4												
	15	3,9	13,3												
30	9,9	23,2													
45	8,2	31,4													
60	7,1	38,5													
RM	0	0	0	6,1	5,50	9,54	23,78	23,89	23,84	4,46	1,37	0,12	1,23		
	5	1,9	1,9												
	10	0,8	2,7												
	15	0,5	3,2												
	30	1,1	4,3												
	45	0,9	5,2												
	60	0,9	6,1												
	0	0	0	4,7			5,50	9,54	23,51	23,55	23,53	4,35	1,08	0,12	1,23
	5	1,6	1,6												
	10	0,5	2,1												
	15	0,4	2,5												
	30	0,8	3,3												
	45	0,7	4												
	60	0,7	4,7												
	0	0	0	5,7			5,50	9,54	24,02	24,09	24,06	4,54	1,25	0,12	1,23
	5	1,8	1,8												
	10	0,6	2,4												
	15	0,5	2,9												
30	1	3,9													
45	1	4,9													
60	0,8	5,7													
RM_A5	0	0	0	6,3	5,57	9,38	23,92	24,03	23,98	4,51	1,40	0,12	1,26		
	5	1,6	1,6												
	10	0,7	2,3												
	15	0,5	2,8												
	30	1,1	3,9												
	45	1,1	5												
	60	1,3	6,3												
	0	0	0	5,5			5,57	9,38	23,48	23,42	23,45	4,32	1,27	0,12	1,26
	5	1,6	1,6												
	10	0,6	2,2												
	15	0,5	2,7												
	30	1	3,7												
	45	0,9	4,6												
	60	0,9	5,5												
	0	0	0	4,9			5,57	9,38	23,74	23,73	23,74	4,42	1,11	0,12	1,26
	5	1,3	1,3												
	10	0,5	1,8												
	15	0,4	2,2												
30	1	3,2													
45	0,8	4													
60	0,9	4,9													
RM_A10	0	0	0	3,6	4,83	17,55	23,39	23,42	23,41	4,30	0,84	0,20	1,11		
	5	0,9	0,9												
	10	0,4	1,3												
	15	0,3	1,6												
	30	0,8	2,4												
	45	0,6	3												
	60	0,6	3,6												
	0	0	0	5,4			4,83	17,55	23,26	23,32	23,29	4,26	1,27	0,20	1,11
	5	1,1	1,1												
	10	0,7	1,8												
	15	0,5	2,3												
	30	1,2	3,5												
	45	1	4,5												
	60	0,9	5,4												
	0	0	0	5,5			4,83	17,55	23,88	23,81	23,85	4,47	1,23	0,20	1,11
	5	1,6	1,6												
	10	0,7	2,3												
	15	0,4	2,7												
30	1	3,7													
45	0,9	4,6													
60	0,9	5,5													
RM_A20	0	0	0	3,5	3,90	8,18	23,74	23,8	23,77	4,44	0,79	0,07	0,88		
	5	0,7	0,7												
	10	0,4	1,1												
	15	0,3	1,4												
	30	0,8	2,2												
	45	0,7	2,9												
	60	0,6	3,5												
	0	0	0	4,4			3,90	8,18	24,12	24,08	24,10	4,56	0,96	0,07	0,88
	5	1,1	1,1												
	10	0,5	1,6												
	15	0,4	2												
	30	0,9	2,9												
	45	0,8	3,7												
	60	0,7	4,4												
	0	0	0	3,8			3,90	8,18	23,41	23,45	23,43	4,31	0,88	0,07	0,88
	5	0,8	0,8												
	10	0,5	1,3												
	15	0,3	1,6												
30	0,8	2,4													
45	0,7	3,1													
60	0,7	3,8													
RM_G20_SR	0	0	0	3,4	5,87	30,96	23,15	23,18	23,17	4,21	0,81	0,42	1,35		
	5	0,5	0,5												
	10	0,3	0,8												
	15	0,3	1,1												
	30	0,8	1,9												
	45	0,8	2,7												
	60	0,7	3,4												
	0	0	0	6,2			5,87	30,96	23,52	23,55	23,54	4,35	1,43	0,42	1,35
	5	0,9	0,9												
	10	0,6	1,5												
	15	0,6	2,1												
	30	1,4	3,5												
	45	1,3	4,8												
	60	1,4	6,2												
	0	0	0	8			5,87	30,96	23,62	23,64	23,63	4,39	1,82	0,42	1,35
	5	1,3	1,3												
	10	0,8	2,1												
	15	0,7	2,8												
30	1,8	4,6													
45	1,7	6,3													
60	1,7	8													

Retracção linear por secagem dos provetes planares

ref. arg. lab.	ref. arg. pub.	data prov.	data ensaio	idade prov.	operador	proвете ref <sup>a</sup>	dimensões molde [mm]			dimensões provete [mm]			retracção [%]		
							comprimento			comprimento			comprimento		
							esq.	dir.	média	esq.	dir.	média	proвете	média	d.p.
Z33	RM	30/10/2018	04/02/2019	97 dias	AL	Z33.1	50,0	49,9	49,90	49,0	49,1	49,05	1,70	1,54	0,24
						Z33.2	50,0	50,0	49,95	49,1	49,1	49,10	1,70		
						Z33.3	49,9	49,9	49,90	49,3	49,3	49,30	1,20		
Z34	RM_A5	30/10/2018	04/02/2019	97 dias	AL	Z34.1	50,0	50,0	49,95	49,2	49,3	49,23	1,45	1,54	0,12
						Z34.2	50,0	50,0	49,98	49,3	49,2	49,25	1,45		
						Z34.3	49,9	49,9	49,90	49,0	49,1	49,05	1,70		
Z35	RM_A10	30/10/2018	04/02/2019	97 dias	AL	Z35.1	50,0	50,0	50,00	48,7	48,8	48,75	2,50	2,30	0,28
						Z35.2	50,0	50,0	50,00	49,0	49,1	49,05	1,90		
						Z35.3	50,0	50,1	50,05	48,9	48,7	48,80	2,50		
Z36	RM_A20	31/10/2018	04/02/2019	96 dias	AL	Z36.1	50,1	50,0	50,05	48,6	48,7	48,65	2,80	2,63	0,24
						Z36.2	50,0	50,0	50,00	48,7	49,0	48,85	2,30		
						Z36.3	50,0	50,0	50,00	48,7	48,5	48,60	2,80		
Z37	RM_G20_SR	31/10/2018	04/02/2019	96 dias	AL	Z37.1	50,0	50,0	50,00	49,1	49,2	49,15	1,70	1,25	0,39
						Z37.2	50,0	50,0	50,00	49,3	49,4	49,35	1,30		
						Z37.3	50,0	50,0	50,00	49,7	49,6	49,63	0,75		
Z38	A100	31/10/2018	04/02/2019	96 dias	AL	Z38.1	50,1	50,1	50,10	49,6	49,6	49,60	1,00	0,96	0,05
						Z38.2	50,1	50,1	50,10	49,7	49,6	49,65	0,90		
						Z38.3	50,1	50,1	50,10	49,6	49,6	49,60	1,00		

Ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água

Dados gerais										Massa			Δ massa – massa inicial					
ref. arg. lab.	ref. arg. plu	data prov.	data ensaio	idade prov.	Fase	Condição	Duração	tempo			ambiente da sala		massa provetes			adsorção vapor [g/m <sup>2</sup> ]	adsorção d.p [g/m <sup>2</sup> ]	
								intervalo (h)	data (aaaa-mm-dd)	hora (hh:mm)	temp. [°C]	humidade [%HR]	provet 1 [kg]	provet 2 [kg]	provet 3 [kg]			
Z33	RM	30/10/2018	09/02/2019	102	adsorção	23°C 80%RH	24,0 h	0,0	09/02/2019	9h15	18,8°	57%	3,3818	3,3066	3,3832	0,0	0,0	
								0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
								1,00	09/02/2019	10h15	18,7°	58%	3,3839	3,3089	3,3851	21,0	1,6	
								3,0	09/02/2019	12h15	18,9°	57%	3,3861	3,3106	3,3869	40,0	2,4	
								6,0	09/02/2019	15h15	19,3°	54%	3,3881	3,3126	3,3889	60,0	2,4	
								12,0	09/02/2019	21h15	19,4°	56%	3,3907	3,3150	3,3914	85,0	2,9	
								24,0	10/02/2019	9h15	18,9°	65%	3,3933	3,3172	3,3937	108,7	4,5	
								24,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
								25,0	10/02/2019	10h15	19,0°	66%	3,3910	3,3148	3,3915	85,7	4,5	
								27,0	10/02/2019	12h15	19,2°	66%	3,3889	3,3129	3,3894	65,3	4,0	
								30,0	10/02/2019	15h15	18,8°	69%	3,3871	3,3111	3,3879	48,3	3,4	
								36,0	10/02/2019	21h15	19,6°	68%	3,3850	3,3091	3,3857	27,3	3,3	
								48,0	11/02/2019	9h15	18,1°	59%	3,3831	3,3076	3,3846	12,3	1,7	
								Z34	RM_A5	30/10/2018	09/02/2019	102	adsorção	23°C 80%RH	24,0 h	0,0	09/02/2019	9h15
0,50	-	-	-	-	-	-	-									-	-	
1,00	09/02/2019	10h15	18,7°	58%	3,4646	3,4707	3,4278									20,7	0,9	
3,0	09/02/2019	12h15	18,9°	57%	3,4666	3,4725	3,4298									40,0	0,0	
6,0	09/02/2019	15h15	19,3°	54%	3,4685	3,4744	3,4316									58,7	0,5	
12,0	09/02/2019	21h15	19,4°	56%	3,4709	3,4770	3,4341									83,7	0,9	
24,0	10/02/2019	9h15	18,9°	65%	3,4733	3,4794	3,4365									107,7	0,9	
24,5	-	-	-	-	-	-	-									-	-	
25,0	10/02/2019	10h15	19,0°	66%	3,4708	3,4772	3,4343									84,7	2,1	
27,0	10/02/2019	12h15	19,2°	66%	3,4690	3,4753	3,4325									66,3	1,7	
30,0	10/02/2019	15h15	18,8°	69%	3,4673	3,4735	3,4306									48,3	1,2	
36,0	10/02/2019	21h15	19,6°	68%	3,4655	3,4717	3,4288									30,3	1,2	
48,0	11/02/2019	9h15	18,1°	59%	3,4638	3,4700	3,4272									13,7	1,2	
Z35	RM_A10	30/10/2018	09/02/2019	102	adsorção	23°C 80%RH	24,0 h									0,0	09/02/2019	9h15
								0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
								1,00	09/02/2019	10h15	18,7°	58%	3,5116	3,3883	3,4771	19,7	1,2	
								3,0	09/02/2019	12h15	18,9°	57%	3,5135	3,3901	3,4787	37,3	1,2	
								6,0	09/02/2019	15h15	19,3°	54%	3,5155	3,3919	3,4807	56,7	2,1	
								12,0	09/02/2019	21h15	19,4°	56%	3,5179	3,3943	3,4832	81,0	2,2	
								24,0	10/02/2019	9h15	18,9°	65%	3,5207	3,3964	3,4855	105,0	4,9	
								24,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
								25,0	10/02/2019	10h15	19,0°	66%	3,5183	3,3944	3,4832	82,7	3,3	
								27,0	10/02/2019	12h15	19,2°	66%	3,5165	3,3926	3,4815	65,0	3,3	
								30,0	10/02/2019	15h15	18,8°	69%	3,5148	3,3911	3,4798	48,7	2,5	
								36,0	10/02/2019	21h15	19,6°	68%	3,5129	3,3893	3,4778	29,7	2,4	
								48,0	11/02/2019	9h15	18,1°	59%	3,5112	3,3877	3,4765	14,3	1,7	
								Z36	RM_A20	31/10/2018	09/02/2019	101	adsorção	23°C 80%RH	24,0 h	0,0	09/02/2019	9h15
0,50	-	-	-	-	-	-	-									-	-	
1,00	09/02/2019	10h15	18,7°	58%	3,4612	3,5355	3,5149									19,7	1,7	
3,0	09/02/2019	12h15	18,9°	57%	3,4630	3,5370	3,5165									36,0	2,2	
6,0	09/02/2019	15h15	19,3°	54%	3,4647	3,5388	3,5183									53,7	2,1	
12,0	09/02/2019	21h15	19,4°	56%	3,4666	3,5411	3,5207									75,7	3,1	
24,0	10/02/2019	9h15	18,9°	65%	3,4691	3,5436	3,5229									99,7	1,7	
24,5	-	-	-	-	-	-	-									-	-	
25,0	10/02/2019	10h15	19,0°	66%	3,4669	3,5416	3,5208									78,7	2,1	
27,0	10/02/2019	12h15	19,2°	66%	3,4652	3,5401	3,5191									62,3	2,4	
30,0	10/02/2019	15h15	18,8°	69%	3,4635	3,5386	3,5175									46,3	3,1	
36,0	10/02/2019	21h15	19,6°	68%	3,4621	3,5367	3,5156									29,0	0,8	
48,0	11/02/2019	9h15	18,1°	59%	3,4606	3,5352	3,5141									14,0	0,8	

Nota 1: Não foram realizadas as pesagem das 0.5h para minimizar interferência do processo de abertura da câmara.

Dados gerais										Massa			massa – massa ini							
ref. arg. lab.	ref. arg. put	data prov.	data ensaio	idade prov.	Fase	Condição	tempo			ambiente da sala		massa provetes			adsorção vapor [g/m2]	adsorção d.p [g/m2]				
							intervalo (h)	data (aaaa-mm-dd)	hora (hh:mm)	temp. [°C]	humidade [% HR]	provetes 1 [kg]	provetes 2 [kg]	provetes 3 [kg]						
Z37	RM G70 SR	31/10/2018	06/02/2019	98	desadsorção	23°C 50%RH	24,0 h	0,0		9h	17,4°	56%	3,5076	3,3325	3,4536	0,0	0,0			
								1,00	06/02/2019	10h	20,7°	46%	3,5094	3,3338	3,4549	14,7	2,4			
								3,0	06/02/2019	12h	19,8°	49%	3,5112	3,3357	3,4565	32,3	2,9			
								6,0	06/02/2019	15h	18,4°	51%	3,5126	3,3371	3,4579	46,3	2,9			
								12,0	06/02/2019	21h	17,8°	54%	3,5148	3,3393	3,4604	69,3	1,9			
								24,0	07/02/2019	9h	18,6°	54%	3,5172	3,3413	3,4628	92,0	3,3			
								24,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
								25,0	07/02/2019	10h			3,5148	3,3392	3,4602	68,3	2,6			
								27,0	07/02/2019	12h			3,5133	3,3377	3,4587	53,3	2,6			
								30,0	07/02/2019	15h	18,3°	54%	3,5114	3,3360	3,4570	35,7	1,7			
36,0	07/02/2019	21h	18,7°	52%	3,5100	3,3344	3,4552	19,7	3,3											
48,0	08/02/2019	9h	17,1°	56%	3,5085	3,3330	3,4538	5,3	2,9											
Z38	A100	31/10/2018	06/02/2019	98	adsorção	23°C 80%RH	24,0 h	0,0			17,4°	56%	3,2865	3,2203	3,2385	0,0	0,0			
								0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
								1,00	06/02/2019		20,7°	46%	3,2881	3,2220	3,2407	18,3	2,6			
								3,0	06/02/2019		19,8°	49%	3,2892	3,2232	3,2417	29,3	2,1			
								6,0	06/02/2019		18,4°	51%	3,2903	3,2243	3,2427	40,0	1,6			
								12,0	06/02/2019		17,8°	54%	3,2911	3,2252	3,2440	50,0	3,7			
								24,0	07/02/2019		18,6°	54%	3,2921	3,2266	3,2451	61,7	4,2			
					desadsorção	23°C 50%RH	24,0 h	24,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
								25,0	07/02/2019				3,2894	3,2242	3,2427	36,7	5,6			
								27,0	07/02/2019				3,2885	3,2228	3,2412	24,0	2,9			
								30,0	07/02/2019		18,3°	54%	3,2876	3,2217	3,2400	13,3	1,7			
								36,0	07/02/2019		18,7°	52%	3,2870	3,2210	3,2393	6,7	1,2			
								48,0	08/02/2019		17,1°	56%	3,2869	3,2209	3,2390	5,0	0,8			

### Resistência à abrasão via húmida (Geelong test)

ref. arg. lab.	ref. arg. put	data prov.	data ensaio	idade prov.	Provetes ref.	tempo ensaio (min:seg)	seca inicial		húmda		seca 48h		massa		perda massa [g]	água absorvida [g]	erosão superficial				perda de massa		água absorvida		área erodida		profundidade					
							[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	Δ [%]	[g]	Δ [%]			[g]	Δ [%]	exco V [mm]	exco H [mm]	área E [cm²]	profund. [mm]	média [g]	d.p. [g]	média [g]	d.p. [g]	média [cm²]	d.p. [cm²]	média [mm]	d.p. [mm]		
33	RM	30/10/2018	19/07/2019	262	33.1	2,54	613,1	616,9	605,3	1,88	604,6	0,12	604,1	0,08	603,8	8,2	13,1	38,8	14,4	430,9	11,96	8,3	0,6	12,2	1,0	449,1	39,0	10,6	0,8			
					33.2	2,52	658,8	661,8	652,1	1,47	651,5	0,09	651,2	0,05	650,6	8,2	11,2	38,8	16,8	511,3	10,20											
					33.3	2,56	642,7	648,2	636,3	1,84	636,0	0,05	635,4	0,09	635,0	7,7	13,2	33,5	15,4	405,8	10,17											
					33.4	2,55	647,8	650,9	641,0	1,52	641,0	0,00	640,4	0,09	639,8	8,0	11,1	34,0	16,8	448,3	9,95											
34	RM A5	30/10/2018	19/07/2019	262	34.1	2,56	647,2	652,2	640,7	1,76	640,6	0,02	640,0	0,09	639,3	7,9	12,9	37,3	11,8	345,4	11,47	9,5	1,7	12,1	0,9	389,5	53,8	10,5	0,7			
					34.2	2,55	643,5	642,8	633,5	1,45	633,4	0,02	632,9	0,08	632,1	11,4	10,7	42,1	14,4	477,2	10,32											
					34.3	2,54	673,2	675,1	664,3	1,60	663,5	0,12	663,1	0,06	662,4	10,8	12,7	34,7	14,3	389,6	9,40											
					34.4	2,57	676,0	680,5	669,5	1,62	669,0	0,07	668,9	0,01	668,3	7,7	12,2	33,2	13,3	345,8	10,67											
35	RM A10	30/10/2018	19/07/2019	262	35.1	2,57	688,0	687,0	681,6	0,79	681,6	0,00	681,3	0,04	680,7	7,3	6,3	32,8	19,6	505,1	2,07	8,2	0,8	6,7	0,4	523,0	59,6	2,9	0,6			
					35.2	2,56	660,0	657,2	651,7	0,84	651,5	0,03	651,3	0,03	650,7	9,3	6,5	37,4	20,2	592,4	3,12											
					35.3	2,57	507,7	506,2	500,0	1,22	499,8	0,04	499,5	0,06	498,9	8,8	7,3	32,9	16,9	435,1	3,65											
					35.4	2,58	852,6	851,6	845,7	0,69	845,7	0,00	846,1	0,05	845,0	7,6	6,6	36,2	19,7	599,5	2,83											
36	RM A20	31/10/2018	19/07/2019	261	36.1	3,00	660,7	659,1	653,6	0,83	653,3	0,05	653,7	0,06	652,9	7,8	6,2	39,3	18,9	584,4	3,11	7,5	0,4	6,1	0,2	548,4	27,2	3,6	0,7			
					36.2	2,59	694,5	693,5	678,5	0,73	678,4	0,01	678,3	0,01	677,7	6,8	5,8	35,2	20,0	554,1	2,75											
					36.3	3,00	637,5	635,7	630,4	0,83	629,8	0,10	630,5	0,11	629,6	7,9	6,1	36,7	17,6	508,0	4,67											
					36.4	2,59	655,2	654,2	648,7	0,84	648,4	0,05	648,8	0,06	647,9	7,3	6,3	34,8	20,0	547,0	3,73											
37	RM G00 SR	31/10/2018	19/07/2019	261	37.1	2,59	673,8	677,4	670,6	1,00	670,3	0,04	670,5	0,03	669,5	4,3	7,9	34,3	17,7	475,9	3,87	3,8	0,5	7,1	0,5	472,6	31,2	3,4	0,9			
					37.2	2,58	616,9	619,7	614,0	0,92	613,6	0,07	614,2	0,10	613,2	3,7	6,5	33,6	18,6	490,2	2,47											
					37.3	3,00	695,1	699,0	692,9	0,87	692,8	0,01	693,3	0,07	692,0	3,1	7,0	35,4	18,1	503,2	2,60											
					37.4	2,57	663,9	666,7	661,8	0,73	660,3	0,23	660,9	0,09	659,6	4,3	7,1	35,1	15,3	421,2	4,57											
38	A100	31/10/2018	19/07/2019	261	38.1	2,58	681,8	692,4	681,2	1,62	681,2	0,00	681,5	0,04	680,2	1,6	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
					38.2	2,57	499,1	510,1	499,4	2,10	498,6	0,16	498,6	0,00	497,6	1,5	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
					38.3	2,56	570,9	581,6	571,8	1,69	570,4	0,24	570,9	0,09	569,6	1,3	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
					38.4	2,56	610,8	620,6	611,3	1,50	609,8	0,25	610,1	0,05	609,1	1,7	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0