

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que me apoiaram e tornaram possível a realização deste trabalho.

À minha orientadora Professora Ana Paula Pinto pelos conhecimentos que me transmitiu, pelos conselhos, disponibilidade e motivação demonstradas ao longo deste estudo. Gostaria também de agradecer ao meu co-orientador Professor Augusto Gomes pela sua colaboração e disponibilidade.

Ao Sr. Leonel, funcionário do laboratório pela disponibilidade e incansável ajuda na execução dos ensaios.

À empresa Tecnoconcrete pelo fornecimento da Pozolana de Cabo Verde.

Aos meus colegas André Martins, Nuno Cruz, João Pavão e Manuel Fernandes que desenvolveram em simultâneo dissertações sobre o comportamento de argamassas pela ajuda e conselhos na realização dos ensaios.

À Ana, Raquel, Gabriel e Pedro pelo apoio e ajuda na realização deste trabalho.

Ao Bruno, Sr. Gilberto e Sr. Joaquim por todo o apoio, compreensão e disponibilidade.

Por fim, gostaria de fazer um agradecimento muito especial aos meus pais e à minha irmã por todo o apoio, compreensão, carinho que demonstraram em todas as fases importantes da minha vida. A vocês dedico todas as minhas conquistas.

RESUMO

A substituição de rebocos antigos é uma prática que tem vindo a suscitar um maior interesse pelo estudo de argamassas de cal aérea contendo adições pozolânicas. Deste modo, este estudo pretende contribuir para um melhor conhecimento da aplicação deste tipo de argamassas como reboco de substituição de edifícios antigos.

Foram estudadas um conjunto de formulações de argamassas de forma a possibilitar uma análise da influência das adições pozolânicas naturais e artificiais, da sua percentagem na formulação e, da sua evolução ao longo do tempo, comparando com uma argamassa de cal aérea tomada como argamassa de referência. As pozolanas utilizadas foram a pozolana de Cabo Verde e a cinza volante, sendo o ligante a cal aérea hidratada em pó, mantendo-se a quantidade e tipo de areias utilizadas em todas as formulações. Foram fixados dois parâmetros que definiram as relações água/ligante utilizadas na formulação das argamassas, isto é foram estudadas argamassas com consistência de aproximadamente 65%, e argamassas com uma relação água/cal de 1,62.

O estudo procedeu à caracterização mecânica e física das argamassas a diferentes idades (14, 60 e 90 dias) com o objectivo de avaliar a sua utilização como argamassas para rebocos de substituição de edifícios antigos. Para tal procedeu-se à caracterização de provetes prismáticos e das argamassas aplicadas como camadas de revestimento em tijolos através de técnicas de ensaio *in situ*,

Este estudo permitiu demonstrar a influência das pozolanas e da sua percentagem nas argamassas de cal aérea, tendo sido mais evidente para as adições de pozolana natural. A adição de Pozolana de Cabo Verde alterou as características mecânicas, físicas e o comportamento em relação à água na formulação das argamassas de cal aérea. A cinza volante, por sua vez, foi responsável pela alteração das características físicas da argamassa de cal apresentando por isso, uma acção mais evidente como filler do que como adição pozolânica.

Palavras-chave:

Rebocos de substituição
Cal aérea
Pozolana de Cabo Verde
Cinza volante
Evolução de desempenho
Adição pozolânica

ABSTRACT

The replacement of old mortars is a procedure that has become a matter of interest to the study of aerial lime mortars that contain pozzolanic additions. Therefore, this study aims at contributing to a better understanding of the use of these types of mortars as replacement mortars of old buildings.

Several formulations of mortars were studied so that an analysis of the influence of natural and artificial pozzolanic additions, its percentage in the formulation and its performance evolution through time when compared to an aerial lime mortar settled as reference mortar, could be made. The pozzolan used were the Cape Verde pozzolan and fly ash and the binder-aggregate was aerial lime, keeping the same quantity and type of sand in all formulations. Two parameters to define the relations water/binder-aggregate used in the formulation of mortars were settled, that is, mortars with a consistency of approximately 65% were studied, as well as mortars with a water/lime relation of 1.62.

This study entailed a mechanical and physical characterization of mortars at different ages (14, 60 and 90 days) with the aim of evaluating their use as mortars for replacement coatings of old buildings. Therefore, a characterization of prismatic samples and of the mortars applied as coating layers in bricks through *in situ* test techniques was done.

This study allowed to demonstrate the influence of pozzolans and their percentage in aerial lime mortars, with more evidence in the additions of natural pozzolan. The addition of the Cape Verde Pozzolan changed the mechanical and physical characteristics, as well as its behaviour in relation to water in the formulation of the aerial lime mortar. The fly ash, on its turn, was responsible for the change of the physical characteristics of the lime mortar, showing, therefore, a clearer action as filler, rather than as a pozzolanic addition.

Key Words:

Replacement mortars

Aerial lime

Pozzolan

Fly ash

Performance evolution

Pozzolanic addition

ÍNDICE GERAL

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e justificação do tema	1
1.2. Objectivos	2
1.3. Organização do texto	3
2. Argamassas de reboco	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Argamassas de reboco de edifícios antigos.....	7
2.3. Constituintes das argamassas	11
2.3.1. Considerações gerais.....	11
2.3.2. Agregados	11
2.3.3. Água de amassadura	13
2.3.4. Cal Aérea.....	14
2.3.5. Adições pozolânicas.....	17
2.3.5.1 Pozolanas naturais	19
2.3.5.2 Pozolanas Artificiais.....	22
2.3.6. Argamassas de cal aérea com adições Pozolânicas.....	25
3. Plano de trabalhos e procedimentos de ensaio	29
3.1. Considerações Gerais	29

3.2.	Formulações estudadas.....	30
3.3.	Descrição do plano de ensaios.....	31
3.4.	Procedimentos de ensaio.....	32
3.4.1.	Caracterização dos agregados finos	32
3.4.2.	Produção dos Provetes.....	36
3.4.3.	Caracterização das argamassas no estado fresco.....	38
3.4.4.	Caracterização mecânica das argamassas no estado endurecido.....	40
3.4.5.	Caracterização física das argamassas no estado endurecido	43
4.	Apresentação e análise dos resultados.....	49
4.1.	Considerações Gerais.....	49
4.2.	Caracterização dos Constituintes das Argamassas	49
4.3.	Caracterização das argamassas no estado fresco.....	51
4.4.	Caracterização das argamassas no estado endurecido.....	53
4.4.1.	Caracterização aos 14 dias	53
4.4.1.1	Caracterização mecânica das argamassas	54
4.4.1.2	Caracterização física das argamassas	57
4.4.2.	Evolução das características ao longo do tempo	65
4.4.2.1	Caracterização mecânica das argamassas - Provetes prismáticos	65
4.4.2.2	Caracterização física das argamassas - Provetes prismáticos	68
4.4.2.3	Caracterização das argamassas aplicadas como camadas de revestimento.....	76
5.	Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	85
5.1.	Considerações gerais	85

5.2. Desenvolvimentos futuros	88
6. Referências bibliográficas	89

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Cal aérea e adições pozolânicas utilizadas	31
Figura 2- Mesa Misturadora.....	36
Figura 3- Descrição de algumas etapas do processo de preparação dos provetes prismáticos.....	37
Figura 4- Esquema da calha metálica, em corte transversal.	37
Figura 5- Preparação das calhas metálicas.	37
Figura 6- Processo de preparação dos provetes de tijolo.....	38
Figura 7-Etapas do ensaio de espalhamento.....	39
Figura 8- Máquina de ensaio.	41
Figura 9- Esquema do ensaio de resistência à flexão.	41
Figura 10- Espessura carbonatada.	43
Figura 11- Ensaio de absorção de água por capilaridade.....	44
Figura 12- Método do cachimbo.....	45
Figura 13- Resina epóxi.....	46
Figura 14- Provetes para ensaio.	47
Figura 15- Exsicador ligado a bomba de vácuo.	48
Figura 16- Curva granulométrica dos agregados.....	51
Figura 17- Consistência das argamassas com diferentes quantidades de adição pozolânica e relação água/cal de 1,62.....	52
Figura 18- Relação água/cal de argamassas com diferentes quantidades de adição pozolânica e consistência de 65%	53

Figura 19- Tensão de rotura à flexão de para argamassas com diferentes quantidades de adições pozolânicas.....	55
Figura 20- Tensão de rotura à compressão para as argamassas com diferentes quantidades de adições pozolânicas.....	55
Figura 21- Análise comparativa entre a velocidade de ultra-sons e as resistências mecânicas.....	56
Figura 22- Coeficiente de capilaridade para as argamassas com diferentes percentagens de adições pozolânicas.....	60
Figura 23- Cinética de secagem de água das argamassas formuladas com e sem adições pozolânicas.....	61
Figura 24- Cinética de secagem de solução salina das argamassas formuladas com e sem adições pozolânicas.....	62
Figura 25- Índice de secagem.....	63
Figura 26- Porosidade.....	64
Figura 27- Evolução da tensão de rotura à flexão e à compressão	67
Figura 28- Evolução da velocidade de ultra-sons das argamassas em provetes prismáticos.....	68
Figura 29- Evolução da absorção capilar das argamassas.....	70
Figura 30- Evolução do teor em água às 48h.....	72
Figura 31- Evolução da cinética de secagem por imersão em água das argamassas.	72
Figura 32- Evolução da cinética de secagem das argamassas após sua imersão em solução salina	73
Figura 33-Evolução do índice de secagem das argamassas em estudo	74
Figura 34- Fissura presente no revestimento da argamassa PZ2.....	76
Figura 35- Mapeamento da fissuração nas argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos, PZ2 e PZ4.....	77

Figura 37	78
Figura 37- Fissurómetro.	78
Figura 38- Evolução da absorção de água das argamassas.	81
Figura 39- Absorção de água das diferentes argamassas aos 14 dias.	83

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1-Factores a ter em conta na formulação de argamassas de edifícios antigos.....	10
Tabela 2- Pozolanas Naturais.	20
Tabela 3-Principais características das pozolanas de Cabo Verde.....	22
Tabela 4- Pozolanas artificiais.....	23
Tabela 5- Características principais das cinzas volantes produzidas em Portugal.	24
Tabela 6- Argamassas em estudo.....	30
Tabela 7- Baridade dos materiais constituintes	49
Tabela 8- Composição química dos materiais por FRX (%)	50
Tabela 9- Massas Volúmicas e absorção de água dos agregados	50
Tabela 10- Características das argamassas no estado fresco	52
Tabela 11- Tensão de rotura à flexão e à compressão e velocidade de ultra-sons das argamassas em estudo	54
Tabela 12-Coeficiente de capilaridade, valores assintóticos e teor em água às 48h (14 dias)	57
Tabela 13- Índice de secagem	63
Tabela 14- Valores médios e desvio-padrão da massa volúmica aparente e porosidade (14 dias)	64
Tabela 15 Evolução das tensões de rotura à flexão e à compressão e velocidade ultra-sons	66
Tabela 16– Evolução dos Coeficientes de capilaridade, valores assintóticos e teor em água às 48h das argamassas com consistência de 65%.	69
Tabela 17- Evolução do teor em água inicial e final , dos tempos de secagem e do valor médio de índice de secagem para as argamassas.....	74
Tabela 18- Evolução da espessura carbonatada das argamassas para as idades de 14, 60 e 90 dias	75

Tabela 19- Velocidade de ultra-sons das argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos.....	78
Tabela 20- Evolução dos valores médios dos ressaltos.....	79
Tabela 21- Absorção de água aos 2 minutos	82

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E JUSTIFICAÇÃO DO TEMA

O património cultural sofre alterações perante a acção do tempo e tende a deteriorar-se. Os revestimentos têm um papel decisivo relativamente à durabilidade de uma construção devido à sua função protectora da estrutura. Desta forma, a compatibilidade entre os materiais de alvenaria e as argamassas de reboco é fundamental para o correcto funcionamento da parede e para a sua conservação e durabilidade.

Para se proceder a uma intervenção de conservação é necessário não só manter e preservar a integridade histórica e arquitectónica do edifício como garantir a compatibilidade das características físicas e mecânicas entre as argamassas de substituição e as antigas. A utilização das argamassas produzidas mais recentemente pode originar situações de incompatibilidade devido ao desenvolvimento de tensões, da rigidez excessiva ou da porosidade reduzida característica dos novos materiais levando ao aparecimento de fissuras e outros problemas que comprometem a função da argamassa como camada de revestimento.

Uma vez que é muito difícil a reprodução exacta dos materiais e técnicas de aplicação das argamassas utilizadas no passado, o conhecimento das características e requisitos que as formulações produzidas actualmente devem apresentar torna-se fundamental.

Diversos estudos apontam as argamassas produzidas com base em cal aérea, como a solução mais compatível e adequada para que os revestimentos resultantes da sua aplicação apresentem um desempenho adequado e que estejam em condições de cumprir as funções de protecção dos materiais, de prevenção de mecanismos de deterioração e de estética que lhes são exigidas.

CHAROLA (1) refere que *“as argamassas de cal aéreas tradicionais dado o seu lento tempo de presa, não podem ser usadas em zonas pontuais profundas ou para substituir camadas de suporte. Para este propósito as argamassas hidráulicas são requisitadas. A maioria das argamassas hidráulicas naturais são bastante variáveis, logo não fiáveis, enquanto as argamassas hidráulicas preparadas industrialmente são geralmente uma mistura de cal com cimento. Uma alternativa para este facto é o desenvolvimento de argamassas hidráulicas com formulações baseadas em adições pozolânicas.”*

As argamassas com adições pozolânicas são uma solução de grande interesse como argamassas de substituição. As adições pozolânicas conferem às argamassas de cal uma maior durabilidade, resistência mecânica e características hidráulicas, (2).

Embora exista uma vasta quantidade de materiais com características pozolânicas adequadas à utilização como adições em argamassas de cal aérea, neste estudo apenas se estudou a influência da pozolana natural de Cabo verde e da cinza volante.

Assim, foram objecto de estudo argamassas de cal aérea sem adições, e argamassas com adições de pozolana natural (pozolana de Cabo Verde) e artificial (cinza volante). As formulações estudadas foram estabelecidas de forma a se perceber a influência das adições e da sua percentagem nas argamassas de cal aérea (cal hidratada em pó).

Este estudo pretende contribuir para um melhor conhecimento das características introduzidas pelas diferentes adições pozolânicas às argamassas de cal aérea para aplicação como argamassa de reboco em edifícios antigos.

1.2.OBJECTIVOS

Com este trabalho pretende-se avaliar a influência das adições pozolânicas em argamassas de cal aérea para utilização como camada de reboco em edifícios antigos. Esta análise terá em conta diversos factores, como natureza das pozolanas, a influência da percentagem de adições e a razão água/cal na formulação. Outro aspecto em análise é a evolução das características físicas e mecânicas das argamassas com o tempo.

Para a realização deste estudo foram utilizadas como adições duas pozolanas distintas, a pozolana natural de Cabo Verde e cinza volante e como ligante cal aérea hidratada em pó, mantendo-se constante o tipo e quantidade de agregados e as condições de cura. Numa primeira abordagem foram realizadas nove argamassas distintas, uma de cal aérea sem adições e oito de cal aérea e adições pozolânicas. Das oito argamassas realizadas com adições pozolânicas quatro contêm adições de pozolana natural, sendo as restantes de cinza volante. Deste grupo de quatro argamassas, duas possuem uma percentagem de adição de 33% e as outras duas de 50%. Estes dois tipos de argamassas diferem entre si pela quantidade de água, sendo que um grupo apresenta consistência de 65% e o outro a uma relação de água/cal de 1,62. Estas argamassas foram sujeitas a ensaios de caracterização mecânica e física para se poder avaliar os factores anteriormente descritos.

Outro objectivo de grande relevância neste estudo é a análise da evolução das características físicas e mecânicas das argamassas com e sem adições pozolânicas com o

tempo. Para isso foram realizados ensaios a várias idades, nomeadamente aos 14, 60 e 90 dias, em cinco argamassas, todas elas com consistência de 65%.

Uma vez que este estudo visa estudar a adequabilidade das argamassas como reboco de edifícios foram utilizadas técnicas de ensaio em laboratório e técnicas de ensaio *in situ*. A caracterização física e mecânica das argamassas foi realizada em provetes prismáticos e em argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos cerâmicos.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos. No presente capítulo são referidos os objectivos e os assuntos abrangidos pela dissertação. No capítulo 2 é realizada uma análise teórica do conteúdo e conhecimento existente pertinente ao tema em estudo. Os capítulos 3 e 4 reportam ao desenvolvimento experimental, apresentação e análise dos resultados deste estudo. Por fim, o capítulo 5 sistematiza a análise dos resultados obtidos, apresentando-se as conclusões de todo o trabalho desenvolvido e propostas para desenvolvimentos futuros.

Após a introdução, o Capítulo 2 é relativo à descrição das argamassas e aos seus constituintes de uma forma generalizada. Neste capítulo é realizada uma descrição das argamassas, mais especificamente das argamassas de reboco, descrevendo-se os constituintes das argamassas em estudo, fazendo uma abordagem geral dos materiais pozolânicos com mais incidência nas pozolanas de Cabo Verde e na cinza volante.

No capítulo 3 são apresentadas as formulações estudadas e o plano de ensaios realizado, bem como as metodologias e técnicas de ensaio adoptados.

No capítulo 4 apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos na caracterização dos materiais utilizados, assim como das argamassas no estado fresco e no estado endurecido para as várias idades.

No último capítulo apresentam-se as conclusões de todo o trabalho desenvolvido, apresentando-se uma análise crítica aos resultados obtidos e ao cumprimento dos objectivos determinados, propondo também alguns desenvolvimentos futuros.

2. ARGAMASSAS DE REBOCO

2.1. INTRODUÇÃO

As argamassas são uma mistura de agregados finos ligados por um ou mais ligantes orgânicos ou inorgânicos. Os agregados existem em grande percentagem, tendo por isso uma influência muito importante nas características das argamassas. As razões predominantes do uso dos agregados em argamassas são a estabilidade dimensional e a sua participação para a resistência que a mistura apresenta no estado endurecido.

O ligante, geralmente cal, gesso ou cimento (*Portland*) vai garantir a aglutinação das partículas que constituem o agregado e proporcionar coesão à mistura final, preenchendo espaços vazios existentes entre as partículas. Quando intervêm dois ligantes, como por exemplo o cimento e a cal, as argamassas denominam-se “bastardas”. O recurso a uma quantidade de ligante excessiva pode levar à ocorrência de uma grande contracção da pasta durante o processo de endurecimento da argamassa, resultando uma indesejável fissuração. Por outro lado, caso o ligante não exista em quantidade suficiente para garantir a aglutinação das partículas do agregado, a argamassa resultante apresentará reduzida coesão e resistência.

Na formulação da argamassa é de grande importância ter em consideração determinados factores como as características dos agregados e dos ligantes, assim como a ligação entre estes e as características que a argamassa deve apresentar. O rácio entre o ligante e os agregados (traço) vai depender da forma, granulometria e compactação dos agregados, do tipo de ligante e da forma como este preenche os vazios e, por fim, do tipo de aplicação da argamassa. Para argamassas utilizadas em intervenções de conservação é importante ter em atenção as características dos materiais existentes, para garantir compatibilidade entre estes e as argamassas de substituição.

Na produção de argamassas podem também utilizar-se outros constituintes, nomeadamente adjuvantes e adições, com o objectivo de lhes conferirem determinadas características, como por exemplo o retardar ou acelerar o tempo de presa, e conferir hidráulidade. (3; 4).

As argamassas são utilizadas na construção desde a Antiguidade. A evolução do conhecimento dos materiais permitiu a edificação de construções cada vez mais complexas.

O homem das civilizações primitivas utilizava como material de construção o adobe. Com o passar do tempo houve uma evolução nos materiais, presume-se que devido à observação de

acazos, resultante da ocorrência de intempéries, resultando mais tarde a utilização do pó obtido da queima de determinadas rochas como ligante nomeadamente para o assentamento de tijolos e pedras. (5)

Malinowsky (6) menciona registos de construções na zona da Galileia utilizando como ligante argilas calcinadas moídas e misturadas com cal que datam do período neolítico, 7000 anos A.C.

No antigo Egipto e Médio Oriente utilizava-se como material ligante na construção de monumentos, o gesso impuro. A cal calcinada teria sido depois utilizada por Gregos e Romanos, sendo durante muito tempo, o ligante mais utilizado, (7)

Mais tarde, os Romanos utilizaram a “pozzolana” proveniente dos arredores da bacia de Nápoles. Este material revelou-se particularmente eficaz, já que ao ser adicionado a argamassas de cal lhes proporcionava um carácter hidráulico bastante forte, uma presa rápida e uma impermeabilidade adequada para o uso em argamassas de rebocos exteriores. Na ausência de pozolanas naturais provenientes de regiões vulcânicas, os Romanos começaram a utilizar partículas cerâmicas ou cinzas vulcânicas de forma a desempenharem a mesma função, sendo-lhes também atribuído o termo pozolana (8).

As argamassas de cal que possuíam partículas cerâmicas com funções pozolânicas eram denominadas pelos Romanos como “Opus cementicium” (9). Os materiais pozolânicos têm uma grande percentagem de silicatos e aluminatos, que por si só não possuem um carácter ligante, mas que na presença de humidade e à temperatura ambiente reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio, formando compostos com propriedades hidráulicas, conferindo uma elevada resistência e durabilidade à argamassa.

Os Romanos construíram edifícios como o *Pantheon* e o *Colosseo*. Existem estudos realizados em estruturas dos séculos XI-XIII, que demonstram a elevada resistência mecânica das argamassas assim como a sua longevidade, (10; 11).

Em 1793, John Smeaton descobriu que a calcinação de calcário argiloso dava origem a cais com características hidráulicas. Desenvolvendo assim a cal hidráulica durante a construção do edifício *Eddystone Lighthouse* em Cornwall, (11).

A produção de argamassas hidráulicas por recurso exclusivamente a adições com características pozolânicas ocorreu até meados do século XIX. As pozolanas foram caindo em desuso com o aparecimento do cimento Portland, patenteado em 1824 por Joseph Aspdin. Devido ao grande uso das cais e ao seu custo ser menor, o cimento Portland teve maior impacto passados alguns anos da sua descoberta (12). A partir desta fase assistiu-se a um grande

crescimento da sua utilização na construção, sendo utilizadas argamassas hidráulicas e cimentos artificiais, devido à possibilidade e facilidade da sua obtenção industrial, (13; 5).

Após a generalização do uso do cimento e durante grande parte do século XX, a conservação de edifícios de alvenaria foi efectuada tendencialmente com argamassas de cimento. No entanto, a incompatibilidade destas argamassas com os edifícios antigos é visível devido à presença de elevada quantidade de sais solúveis, sendo potencialmente perigoso para o destacamento da argamassa devido aos fenómenos de cristalização e hidratação, (14; 15; 16; 17). Esta incompatibilidade notória das argamassas de cimento com os edifícios antigos deve-se também à sua menor permeabilidade relativamente às argamassas de cal, retendo excesso de água. As argamassas de cimento possuem uma elevada resistência à compressão, não acompanhando as estruturas de alvenaria aquando da ocorrência de deformações ou efeitos causados pelas diferenças de temperatura (18; 19; 16).

Este problema veio despertar um crescente interesse pelas propriedades das pozolanas naturais e artificiais, com vista à conservação e restauro de edifícios antigos. Este interesse surge na sequência de diversos estudos que defendem a importância de garantir a compatibilidade entre os materiais existentes nas construções e os novos materiais a utilizar, sendo esta mais fácil de garantir por recurso a materiais semelhantes, (20; 2).

2.2. ARGAMASSAS DE REBOCO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

O estudo dos edifícios antigos apresenta um interesse crescente, devido à importância que tem vindo a ser atribuída à conservação do património construído.

Ao analisar-se um edifício deve-se ter em consideração vários factores, como o lugar em que este se insere, a idade de construção e o seu estado de conservação. Através de uma análise cuidada é possível identificar-se as principais características e o seu estado de manutenção. De seguida, uma análise mais aprofundada permite determinar a escolha e o método de execução de trabalhos. Após este processo, procede-se à pesquisa de dados históricos do edifício em causa com vista ao conhecimento do seu processo construtivo e das várias intervenções subsequentes.

É importante ter em consideração que é sempre preferível combater as causas de deterioração do edifício do que apenas reparar as anomalias por elas provocadas. (21; 22).

A Carta de Veneza (23) em 1964 apresenta uma evolução de ideias e dos métodos de intervenção. São apresentados, de seguida, alguns artigos oportunos para esta temática.

Artigo 3: “ *A conservação e o restauro dos monumentos têm como objectivo salvaguardar tanto a obra de arte como as respectivas evidências históricas*”.

Artigo 9: “*O restauro é um tipo de operação altamente especializado. O seu objectivo é a preservação dos valores estéticos e históricos do monumento, devendo ser baseado no respeito pelos materiais originais e pela documentação autêntica. Qualquer operação desse tipo deve terminar no ponto em que as conjecturas comecem; qualquer trabalho adicional que seja necessário efectuar deverá ser distinto da composição arquitectónica original e apresentar marcas que o reportem claramente ao tempo presente. O restauro deve ser sempre precedido e acompanhado por um estudo arqueológico e histórico do monumento.*”

Artigo 10: “*Quando as técnicas tradicionais se revelarem inadequadas, a consolidação de um monumento pode ser efectuada através do recurso a outras técnicas modernas de conservação ou de construção, cuja eficácia tenha sido demonstrada cientificamente e garantida através da experiência de uso.*”

A escolha dos materiais deve obedecer a critérios diferentes dos aplicáveis em edifícios correntes, nomeadamente no que diz respeito a questões de compatibilidade com os materiais existentes.

Nos edifícios recentes, os problemas de compatibilidade são consideravelmente mais reduzidos do que em edifícios antigos, dado que os materiais utilizados correntemente nos dias de hoje são geralmente compatíveis entre si. Nos edifícios antigos, quando se pretende utilizar materiais de concepção recente, depara-se com o problema devido às características serem distintas dos materiais originais. Quando se selecciona o material deve-se então ter em consideração diversas características, como a porosidade, a permeabilidade ao vapor de água, a massa volúmica, condutibilidade térmica, módulo de elasticidade, resistências mecânicas, estabilidade físico-química, variações higrotérmicas e afinidade química, entre outras, (22).

Os rebocos, devido à sua localização, são camadas que estão sujeitas a diversas agressões, sendo por isso as primeiras a degradarem-se. Estes para além de protegerem a estrutura, são também responsáveis pela aparência do edifício, como tal requerem uma aplicação e manutenção regulares. A Carta de Veneza refere (23):

Artigo 4: “*Para a conservação dos monumentos é essencial que estes sejam sujeitos a operações regulares de manutenção.*”

A conservação e a reparação de argamassas de reboco devem ser acompanhadas de uma compreensão e conhecimento dos materiais sujeitos a intervenção, assim como de um conhecimento dos materiais existentes na actualidade, de forma a garantir-se o máximo de compatibilidade entre os materiais e maximizar a durabilidade da solução considerada. A filosofia

de intervenção deve assentar numa conciliação entre a máxima compatibilidade e o mínimo de intervenção possível.

Sempre que a degradação dos rebocos seja superficial e que estes estejam aptos para desempenharem as suas funções de forma eficiente, deve-se tentar mantê-los, realizando apenas operações de manutenção necessárias para restaurar e recuperar as suas funções e o seu carácter estético.

Quando a degradação do reboco se encontra num nível avançado, é necessário intervir a um nível integral, substituindo os materiais por outros compatíveis com os elementos existentes. Quando se adopta esta solução devem-se utilizar revestimentos com características idênticas aos antigos, capazes de garantir um funcionamento conjunto semelhante ao original.

A reparação de revestimentos de cal exige um conhecimento considerável relativamente às técnicas da cal e uma mão-de-obra especializada com recurso, diversas vezes, a conservadores e restauradores (21; 24; 25; 26).

VEIGA (24) refere que “ *o custo deste tipo de trabalho, minucioso e lento, de consolidação de revestimentos (recolagem, colmatação de fissuras, reintegração de lacunas, restituição da coesão) nem sempre é mais elevado que a extracção de todo o revestimento antigo, às vezes difícil devido a uma dureza inesperada de cal transformada em rocha calcária, e execução de novo revestimento. Mas tem, naturalmente, que ser objecto de especificações detalhadas de caderno de encargos, para que o empreiteiro saiba a que tipo de trabalho está a concorrer, que materiais orçamentar e que equipas contratar*”.

Para se determinar a formulação das novas argamassas utilizadas em intervenções de conservação é necessário ter em consideração a compatibilidade de vários aspectos como questões filosóficas e éticas, propriedades físico-químicas e mecânicas de argamassas, interacção das argamassas com a estrutura, protecção dos materiais e prevenção dos mecanismos de deterioração. Em qualquer dos casos, o produto final deve ser durável e de fácil aplicação (27).

A Carta de Veneza (23) refere no Artigo 12 que “*Os elementos destinados a substituírem as partes que faltam devem integrar-se harmoniosamente no conjunto e, simultaneamente, serem distinguíveis do original de forma a que o restauro não falsifique o documento artístico ou histórico.*”

A replicação da formulação original, mesmo que conhecida, dificilmente será completamente apropriada se o fabrico e as condições climatéricas não forem as mesmas. (1; 28)

Para se perceber a importância das condições ambientais, VEIGA (28) desenvolveu um estudo que consiste em realizar testes de aplicação de várias argamassas *in situ*, concluindo a importância destes testes para a avaliação do desempenho das argamassas em edifícios antigos, sendo fáceis e rápidos de executar. Para se verificar a compatibilidade as argamassas utilizadas devem ser aplicadas em condições de cura e humidade semelhantes Veiga refere que *“as condições de cura são particularmente importantes para argamassas de cal com adições pozolânicas podendo fazer toda a diferença. Por isso, é necessário preparar prescrições detalhadas para as aplicações, sendo importante acompanhar os trabalhos”*.

Com vista à conciliação dos factores a considerar na formulação de uma argamassa, VEIGA (29) propõe a metodologia apresentada na Tabela 1:

Tabela 1-Factores a ter em conta na formulação de argamassas de edifícios antigos.
(adaptado de (29))

Composição das argamassas pré-existentes	<ul style="list-style-type: none"> • Quando possível, devem-se respeitar-se os constituintes e o tipo de argamassa. • Deve manter-se o tipo de ligante e a natureza e forma dos agregados. • Deve verificar-se o tipo de aditivos existentes (por exemplo pozolanas, pó de tijolo, pêlos de animais, etc.) e analisar a viabilidade e a adequabilidade de os usar, ou de os substituir por produtos modernos com funções semelhantes
Características das argamassas pré-existentes	<ul style="list-style-type: none"> • Devem reproduzir-se tanto quanto possível, as suas características funcionais mais significativas.
Compatibilidade com os materiais pré-existentes	<ul style="list-style-type: none"> • Devem ser compatíveis, dos pontos de vista mecânico, químico, físico e estético com os materiais preexistentes com os quais ficarão em contacto (suporte).

VEIGA (30), sintetiza da seguinte forma os princípios básicos para a formulação das argamassas de substituição:

- 1) As características mecânicas devem ser semelhantes às das argamassas originais e inferiores às do suporte;
- 2) A aderência nunca deve ter rotura coesiva pelo suporte;
- 3) A tensão desenvolvida por retracção restringida deve ser inferior à resistência à tracção do suporte;
- 4) A capilaridade, a permeabilidade ao vapor de água e a facilidade de secagem devem ser semelhantes às argamassas originais e superiores às do suporte;
- 5) Devem adequar-se ao papel funcional e estético das argamassas que substituem (rebocos, juntas, acabamentos etc.);
- 6) Devem possuir durabilidades e envelhecerem de forma similar e não devem alterações de cor em revestimentos adjacentes preservados.

Nos casos de reparações localizadas e de preenchimento de lacunas, os materiais a usar terão que verificar requisitos muito mais rigorosos devendo, nomeadamente: ter composições muito semelhantes aos pré-existentes, ao nível dos constituintes (tipo de cal, natureza, granulometria e cor da areia) e da técnica de preparação e aplicação. Por último, não é demais enfatizar a importância das técnicas de preparação e aplicação das argamassas, decisivas para o desempenho e a durabilidade dos revestimentos, com destaque para a quantidade de água de amassadura, o número e espessura das camadas, o “aperto da massa”, as condições de cura.

2.3.CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

Considerações gerais

As argamassas utilizadas como camada de reboco são constituídas por ligante (como o cimento, a cal hidráulica e a cal aérea), por agregados que podem ter diversas granulometrias, por água de amassadura e, podem conter adjuvantes ou adições que lhes irão conferir determinadas propriedades.

Como no seguimento da preparação das argamassas ocorre a retenção de ar formando vazios pode-se considerar o ar como constituinte das argamassas.

Agregados

O agregado é parte integrante das argamassas, podendo ser definido como o “esqueleto” das argamassas, com influência directa nas suas propriedades como a retracção, resistência mecânica, entre outras, (31).

Os agregados são constituídos por partículas de rochas que podem possuir uma vasta gama de dimensões. A natureza dos agregados, o baixo coeficiente de expansão térmica e a sua durabilidade são muito importantes, embora a sua forma e dimensão possuam uma influência determinante nas características mecânicas das argamassas. Os agregados podem ser classificados segundo a origem, as dimensões das partículas, e massa volúmica, (32).

Os agregados podem ser classificados segundo a origem como naturais ou artificiais. Os agregados naturais encontram-se com a sua forma e dimensões na natureza, como são os casos da areia e cascalho. Os agregados naturais são constituídos por partículas arredondadas e lisas.

Por sua vez, os agregados artificiais necessitam de ser trabalhados de forma a chegarem à condição necessária e apropriada para o seu uso, como as areias artificiais e as britas. Os agregados artificiais são mais angulosos.

A classificação segundo as dimensões das partículas permite distinguir um agregado como fino ou grosso, sendo geralmente considerado o que apresenta dimensões inferiores a 4mm.

Os agregados podem também ser classificados pela sua massa volúmica, sendo denominados leves no caso da massa volúmica ser inferior a 2000 kg/m^3 , médios se a massa volúmica estiver compreendida entre 2000 e 3000 kg/m^3 e pesados se a massa volúmica for superior a 3000 kg/m^3 .

Os agregados não apresentam uma reactividade significativa nas argamassas, mantendo a sua estrutura. A sua utilização nas argamassas tem como objectivos, (33).

- Diminuir a retracção da argamassa e a quantidade de ligante necessário;
- Aumentar a resistência à compressão;
- Aumentar a porosidade da argamassa (melhoria da permeabilidade ao vapor de água, do processo de carbonatação e da resistência ao gelo);
- Conferir coloração cores ao revestimento.

Do ponto de vista químico, as areias que são maioritariamente utilizadas são de natureza siliciosa (quartzosas e graníticas) ou calcária.

As areias siliciosas são geralmente areias de rio ou de areeiro, com diferentes percentagens de argila. A presença de argila nas areias confere às argamassas maior trabalhabilidade e resistências mecânicas devido à presença de finos. Caso o teor de argila seja elevado, a ligação entre os agregados e a cal pode ser reduzida, originando retracção da argamassa. A areia de rio possui grãos rolados, apresenta reduzido teor de impurezas, conferindo menor resistência às argamassas.

As areias calcárias obtêm-se da britagem da rocha calcária podendo apresentar elevado teor em finos. (34).

VEIGA (35) chegou à conclusão que o recurso a misturas de areias de areeiro e de rio, permite reduzir a absorção de água por capilaridade e aumenta o módulo de elasticidade de argamassas face ao que se obtém com argamassas produzidas apenas com areias de rio.

A granulometria dos agregados, também é um factor determinante. A granulometria deve ser a mais contínua possível, para que desta forma os espaços entre as partículas maiores se

encontrem preenchidos por partículas de menores dimensões, diminuindo os vazios entre as partículas do agregado e deste modo o consumo de ligante e de água de amassadura necessária para garantir determinada trabalhabilidade e resistência mecânica, (31; 16; 20).

PAPAYIANNI (36) verificou que o aumento da razão ligante/agregado contribui para incrementar a estabilidade volumétrica da argamassa, reduzindo as deformações ao longo do tempo, por outro lado o aumento da quantidade de agregado aumenta a resistência mecânica das argamassas. Esta contradição origina a importância da determinação de uma relação ligante/agregado que optimize os resultados. Formulações de argamassas com reduzido volume de agregado originam argamassas com maior percentagem de poros, contudo verifica-se que a resistência à compressão é maior em argamassas com quantidade de agregados superiores.

Os agregados a utilizar na formulação de argamassas, não devem conter matéria orgânica, sais minerais solúveis, partículas moles, friáveis ou muito finas. Deve-se também considerar a compatibilidade destes com os restantes constituintes das argamassas.

Água de amassadura

A água é determinante na formulação de argamassas com ligantes aéreos e hidráulicos, dado que é responsável por promover as suas capacidades aglutinantes e por conferir a consistência necessária e desejada à sua aplicação.

Nas situações em que a água é responsável pela hidratação dos compostos que constituem o ligante, a quantidade de água adequada à formulação das argamassas tem de ser superior à necessária para a hidratação do ligante, dado que também é necessária para molhar os agregados e conferir a trabalhabilidade necessária para a sua aplicação. Ao determinar-se a quantidade de água necessária à formulação de uma argamassa é necessário evitar o seu excesso, pois esta pode diminuir a resistência da argamassa.

PAPAYIANNI (36) constatou que, quanto maior a quantidade de água, menor a resistência à compressão das argamassas e maior a percentagem de porosidade existente na argamassa, sendo que a razão água/ligante seja de extrema importância para a optimização do comportamento da argamassa.

COUTINHO (5) verificou que a quantidade de água a utilizar em argamassas de cal e pozolana deverá ser de 32% do peso da cal e pozolana, sendo esta quantidade de água a necessária para hidratar os silicatos e aluminatos anidros.

VELOSA (37) citando LEO (38) refere que quanto maior a quantidade de água na mistura, mais rápida é a reacção, comparando reacções em meio aquoso com reacções em pastas e, que este fenómeno ocorre tanto nas pozolanas naturais como nas pozolanas artificiais.

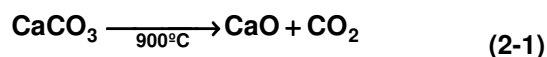
A água utilizada para a amassadura das argamassas não deve conter nenhuma substância que afecte as propriedades das argamassas. Deve-se utilizar sempre água potável de forma a não alterar os requisitos exigidos às argamassas. As águas não devem conter cloretos e sulfatos em quantidades superiores a 1% e 0,3% respectivamente, dado que podem prejudicar a resistência das argamassas, (22).

Cal Aérea

A cal aérea resulta da calcinação de pedras calcárias puras ou quase puras (calcário constituído por 5% de impurezas, no máximo), sendo designadas para o primeiro caso de cal gorda e para o segundo de cal magra. (4)

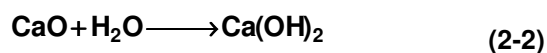
As rochas calcárias carbonatadas são constituídas maioritariamente por carbonato de cálcio e/ou carbonato de magnésio. A sílica, os óxidos de ferro e alumínio são as impurezas mais frequentes presentes na constituição de rochas carbonatadas. Estas impurezas podem alterar significativamente as propriedades da cal produzida. As cals resultantes de rochas carbonatadas puras e quase puras não possuem propriedades hidráulicas, sendo que, por este motivo, não endurecem na presença da água e são designadas por cals aéreas, (4; 3).

Para obtenção da cal aérea procede-se à calcinação da rocha em fornos a 900°C, quer do tipo primitivo, em que as camadas de pedra e de lenha são colocadas alternadamente, quer em fornos industriais. Desta forma, nas rochas calcárias ocorre a seguinte reacção de calcinação.



O óxido de cálcio que se obtém nesta reacção, também designado por cal viva, é um produto sólido, de cor branca, muito ávido de água, que deve ser manuseado cuidadosamente.

A cal viva não é ainda o ligante utilizado na construção devido à sua instabilidade. Esta deve ser hidratada, transformando-se em hidróxido de cálcio. A cal viva tem uma reacção exotérmica quando em contacto com a água, que se descreve de acordo com a seguinte reacção:



O produto obtido nesta reacção, a cal apagada ou extinta, é um corpo sólido, amorfo e pulverulento.

A extinção da cal viva pode ser obtida por vários métodos, nomeadamente extinção espontânea, por aspersão, por imersão, por fusão e, por fim, por autoclaves, (4; 26).

Na extinção espontânea abandonam-se os fragmentos dos calcários calcinados à acção lenta e contínua da atmosfera, cuja humidade é por eles espontaneamente absorvida. É um processo demorado e pouco eficaz, uma vez que não garante a extinção completa do hidróxido de cálcio e pode concorrer para a incorporação de dióxido de carbono na cal apagada, podendo conduzir ao endurecimento precoce.

O método de extinção por aspersão consiste em regar a cal viva com 25% a 50% de água, cobrindo a cal com areia. Este método não conduz à extinção completa da cal viva, resultando cal apagada em pó.

A extinção por imersão consiste em colocar pequenos fragmentos da cal viva em sacos de pano ou, num cesto de verga e mergulhá-los durante alguns segundos em água. Obtém-se uma pasta que se pode conservar muito tempo desde que não entre em contacto com o ar, permitindo a sua utilização em argamassas. Este método é eficaz e conduz a cal de boa qualidade.

A extinção por fusão consiste na colocação da cal viva num recipiente adequado lançando sobre ela uma quantidade de água suficiente para evitar o contacto com o ar e, conseqüentemente, a sua carbonatação. Este método é eficaz e conduz a cal de boa qualidade.

Por último, a extinção por autoclaves é um processo industrial em que a cal é introduzida em autoclaves onde é possível controlar a pressão e a temperatura, dentro de certos limites. É um método que conduz a produtos de melhor qualidade (cal hidratada), sendo muito dispendioso.

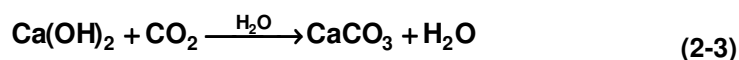
O processo de extinção da cal tem influência na qualidade da cal, pois altera a dimensão das partículas, sendo que uma extinção prolongada favorece o crescimento dos cristais de portlandite hidratados aumentando a plasticidade da cal em pasta.

Quando se deixa a pasta de cal em repouso ocorre a separação da água de cal (solução translúcida) que se encontra sobre a massa de cal em pasta espessa. A cal em pasta procede a

sua maturação absorvendo mais água. Esta deve permanecer coberta por uma película de água para não entrar em contacto com o dióxido de carbono do ar e não ocorrer carbonatação (26).

A cal hidratada endurece por recombinação do hidróxido de cálcio com o dióxido de carbono, permitindo a aglutinação dos grãos de agregado. Este endurecimento processa-se no sentido de fora para dentro, exigindo uma determinada porosidade que permita, por um lado, a evaporação da água em excesso, e por outro a penetração do dióxido de carbono. Quando se regista a carbonatação do hidróxido de cálcio ocorre um aumento de volume da ordem de 11% quando se forma calcite. No entanto o que se observa durante a secagem é a contracção da pasta de cal devido à evaporação de parte da água de amassadura que não reage com a cal, uma vez que o fenómeno de retracção é mais relevante do que expansão. Assim sendo, quanto maior a quantidade de água de amassadura, maior será a retracção na secagem, (32). O aumento da dosagem de cal hidratada nas argamassas, vai originar um aumento da trabalhabilidade, permitindo obterem-se a plasticidade e coesão pretendidas. Este factor vai também ter influência na aderência das argamassas à superfície. (39)

O processo de carbonatação ou endurecimento da cal descreve-se da seguinte forma:



O processo de carbonatação tem uma importância fundamental para a obtenção de argamassas mais resistentes e mais duráveis. Este processo depende de vários factores incluindo a humidade relativa, a temperatura e a concentração de dióxido de carbono, estrutura porosa e espessura da argamassa. A baixa velocidade de carbonatação é um dos principais factores que levou ao desuso das argamassas de cal.

Para além dos factores referidos a presença de água é outro factor fundamental na carbonatação da argamassa de cal, uma vez que funciona como veículo da reacção permitindo que o dióxido de carbono se dissolva, (40; 41; 42; 43).

CULTRANE (43) citando BALEN (44) refere que *“o processo de carbonatação depende da presença de água e ocorre rapidamente na superfície, especialmente numa atmosfera saturada de dióxido de carbono, e numa segunda fase que começa quando a argamassa se encontra suficientemente húmida”*.

SHIH (45) observou que em condições de humidade relativa inferiores a 8% não é possível a ocorrência da reacção de carbonatação.

CULTRANE (43) verificou que a importância da concentração de dióxido de carbono na velocidade da transformação da portlandite apenas se manifesta para valores de humidade relativa superiores a 50% (T=25°C).

Várias referências afirmam que é necessário muito tempo para se obter uma carbonatação completa nas argamassas de cal em condições naturais (43).

A velocidade de carbonatação da cal aérea é então influenciada por diversos factores como (26):

- Teor em água;
- Teor em cal hidratada da argamassa;
- Permeabilidade ao vapor;
- Porosidade interna;
- Temperatura;
- Concentração de CO₂;
- Espessura da argamassa;
- Humidade relativa ambiente.

Face às argamassas de ligante hidráulico, as argamassas de cal apresentam a desvantagem de apresentarem tempo de presa e endurecimento lentos, embora estas características favoreçam a sua aplicação. Este inconveniente revela-se mais em climas de elevada humidade. Outros inconvenientes são relativos às propriedades mecânicas, dado que só se obtêm a muito longo prazo, à baixa coesão e elevada porosidade, tornando as argamassas susceptíveis à cristalização de sais. (3)

O fabrico da cal é determinante para o seu desempenho como ligante, sendo importante que a cal tenha sido bem cozida, de forma a não existirem grãos de material inerte. Por outro lado, a presença de grãos de óxido de cálcio ainda por extinguir vai originar rebocos defeituosos, devido à expansão que ocorre durante a hidratação deste composto. Se o produto for armazenado ao ar durante tempo excessivo, a cal irá tornar-se não activa devido ao processo de endurecimento/carbonatação que ocorre devido à presença de dióxido de carbono, (4).

Adições pozolânicas

As pozolanas são materiais siliciosos e aluminosos que, apesar de não possuírem, por si só, propriedades aglomerantes e hidráulicas, contêm constituintes que à temperatura ambiente se combinam, em presença de água, com o hidróxido de cálcio, originando compostos que conferem estabilidade em água e propriedades aglomerantes, (5; 46).

As pozolanas podem ser divididas em três grupos, nomeadamente pozolanas naturais, artificiais e subprodutos industriais, (5; 46).

As pozolanas naturais são um material de origem vulcânica, resultante do rápido arrefecimento e solidificação do magma durante a erupção mantendo-se no seu estado amorfo. A pozolana natural é composta essencialmente por óxidos de silício reactivo e óxido de alumínio.

As pozolanas artificiais são obtidas pela criação de uma instabilidade da estrutura interna devido à saída de iões OH^- da rede cristalina dos materiais argilosos, pela acção da temperatura (500 - 900°C), aumentando assim a porosidade da partícula, e conseqüentemente a sua superfície activa.

A reactividade pozolânica dos subprodutos industriais é obtida por processos idênticos aos das pozolanas artificiais. (32)

As reacções entre a cal e as pozolanas artificiais e naturais diferem na cinética de reacção, dado que os produtos de reacção são formados em tempos diferentes e com velocidades diferentes. Vários estudos verificaram que o aparecimento de diferentes cristais em argamassas de cal e pozolanas consoante a pozolana utilizada, (47; 37).

A reactividade pozolânica é definida como a capacidade da pozolana se combinar com o hidróxido de cálcio proveniente da cal ou do cimento, por exemplo. Para que exista reactividade pozolânica é necessário que a sílica e a alumina não se encontrem com elevado grau de cristalinidade, dado que as pozolanas se encontram no estado sólido. A reactividade das pozolanas depende então da sua constituição interna, sendo que quanto mais afastado estiver o produto da estrutura cristalina, maior será a sua reactividade. Outras propriedades têm influência na actividade pozolânica, como a sua composição química, o módulo de finura e a quantidade de fase cristalizada (sílica activa).

O papel desempenhado pelo estado amorfo e pelos defeitos e excepções do arranjo cristalino é fundamental no valor de uma pozolana.

Nas pozolanas naturais é o estado amorfo que predomina, devido ao arrefecimento brusco das lavas e da alteração subsequente pelos agentes atmosféricos que tende a destruir os raros cristais que se conseguiram formar durante o arrefecimento brusco do magma. Nos restantes tipos de pozolanas, também se conseguem obter defeitos de estrutura por meio da acção da temperatura, desde que não seja demasiado alta para não ocorrer formação de novo arranjo cristalino, fundindo o material.

Outra propriedade de grande importância que as pozolanas devem possuir para serem altamente reactivas é uma grande superfície por unidade de volume, ou seja, devem estar bastante divididas. (5)

Existem diversos ensaios que permitem efectuar uma avaliação da reactividade pozolânica possibilitando uma percepção da formação de compostos que conferem à argamassa resistência. Os ensaios consistem na medição da resistência mecânica de argamassas de cal e pozolana e na medição da reacção química entre a pozolana e o hidróxido de cálcio. As exigências químicas e físicas das argamassas encontram-se definidas na norma NP 4220, (46).

Os ensaios mecânicos utilizados para avaliar a reactividade das pozolanas baseiam-se no pressuposto de que os produtos formados a partir da reacção pozolânica provocam um aumento de resistência mecânica em argamassas de cal e pozolanas. A partir da comparação das resistências mecânicas de provetes normalizados é possível verificar a capacidade de um determinado material pozolânico reagir com a cal, (37).

Existem ensaios químicos que permitem medir a actividade pozolânica. De acordo com a norma NP EN 196-5 “Métodos de ensaio de cimentos. Parte 5: Ensaio de pozolanicidade dos cimentos pozolânicos” é possível verificar-se a pozolanicidade dos cimentos através do conhecimento da concentração de hidróxido de cálcio presente após um período de oito dias de teste. Quanto menor a concentração de CaO e OH, maior será a actividade pozolânica, (48; 37). O fenómeno da condutibilidade também pode ser utilizado para medir a reactividade pozolânica através da medição da condutividade numa solução saturada em hidróxido de cálcio. A solubilidade da sílica e alumina, constituintes das pozolanas, em meio ácido ou básico é outro método de determinação da actividade pozolânica, uma vez que estes componentes quando solúveis em dado meio são responsáveis pela reacção pozolânica, (37).

2.3.5.1 Pozolanas naturais

As pozolanas naturais são provenientes de locais onde existe ou existiu actividade vulcânica sendo formadas sob diferentes condições possuindo, por isso, diferentes composições.

Na Tabela 2 encontram-se discriminadas diversas pozolanas naturais provenientes de diferentes locais do mundo.

Tabela 2- Pozolanas Naturais.
(adaptado de (37))

Designação	Origem	Composição / Origem
Pozolanas dos Açores	Açores, Portugal	Composição variada dependendo da proveniência; traquitos a limburgitos.
Pozolana de Porto Santo	Porto Santo, Madeira, Portugal	Rochas de tipo basáltico, muito alteradas.
Pozolana de Santo Antão	Ilha de Santo Antão, Cabo Verde	Tufo vulcânico, provavelmente Andesítico.
Pozolanas Italianas	Itália (Vesúvio, Roma, Nápoles)	Composição variada, dependendo da proveniência.
Terra de Santorini	Santorini, Grécia	Obsidianas (riolitos) e tufos provenientes das obsidianas.
Pozolanas dos E.U.A.	E.U.A.	Tufos riolíticos.
Trass	Alemanha (Reno)	Tufos traquíticos.
Pozolanas das Canárias/Tosca	Ilhas Canárias, Espanha / Tenerife	Existem pozolanas muito variadas desde obsidianas a limburgitos. Tosca proveniente de Tenerife é a mais conhecida.
Pozolana vólrica	França (sudeste)	Tufos traquíticos.
Furue shirasu	Japão	
Higashi Masuyama	Japão	Pozolanas vítreas de origem vulcânica, contendo minerais argilosos e zeólitos.
Areia vulcânica	Várias	Formadas a partir de rochas vulcânicas, tais como xisto ou basalto.

As pozolanas naturais geralmente contêm carbonatos, argilas, e grupos de materiais zeolíticos como materiais de enchimento (49). Devem exibir uma grande porosidade e superfície de contacto. As condições climáticas podem transformar o material vítreo em zeólitos ou em materiais argilosos, favorecendo as propriedades pozolânicas no primeiro caso e desfavorecendo no segundo.

Os zeólitos são minerais aluminosilicatados hidratados, cuja estrutura em “gaiola” proporciona uma grande superfície de contacto, sendo esta propriedade determinante na definição da reactividade (50).

Os zeólitos podem perder água com o efeito do calor, isto é, com a ajuda dos seus canais moldáveis e espaçosos, os zeólitos podem receber ou perder iões de água. Os zeólitos libertam átomos alcalinos e recebem iões de cálcio ou magnésio.

- Pozolanas de Santo Antão (Cabo Verde)

Segundo COUTINHO (5), a pozolana de Santo Antão é um tufo vulcânico muito provavelmente andesítico proveniente da deposição de cinzas vulcânicas e sua ligeira consolidação, e intensamente alterado por erosão. Tem um aspecto altamente poroso, de cor clara, sendo abundante em material vítreo, com cristais de sanidina e albite, contém magnetite, biotite, calcite e clorites.

VELOSA (51), através da norma NP EN 196-6, procedeu à caracterização das pozolanas de Cabo Verde. Através da caracterização visual descreve estas pozolanas com cor cinzento claro. As partículas passaram no peneiro com abertura de 0,500mm possuindo uma superfície específica de 3250 cm²/g, determinada pelo método de Blaine. O método de Blaine permite determinar a superfície específica através da observação do tempo que leva uma dada quantidade de ar a atravessar uma camada compactada de material com dimensões e porosidades específicas.

A análise da difracção de raios X é uma técnica de caracterização estrutural baseada no carácter cristalino dos materiais e na sua propriedade de difractar de forma específica os feixes de raios X. Através da análise de difracção de raios X, VELOSA (51) detectou a presença de material amorfo classificado como alumino-silicatos. Nos testes realizados para a determinação da reactividade pozolânica segundo a Legislação portuguesa (52), as pozolanas de Cabo Verde foram classificadas como altamente reactivas.

Noutro estudo realizado para este tipo de pozolanas VELOSA (2), refere que as pozolanas de Cabo Verde são classificadas como pozolanas do Tipo I, devido às suas resistências à flexão e à compressão serem superiores aos valores mínimos exigidos pela Legislação Portuguesa.

As pozolanas naturais podem sofrer certos tratamentos térmicos que as tornam ainda mais reactivas.

A pozolana de Cabo Verde pode ser reactivada através do seu tratamento técnico realizado a temperaturas que não excedam os 350°C, em condições que permitam que a saída das moléculas de água ocorra o mais rapidamente possível, logo o aquecimento deve ser feito com a pozolana em movimento, ou disposta em camadas muito finas, de forma a promover a saída fácil das moléculas de água para a atmosfera. De seguida, a pozolana deve ser arrefecida,

sem estar em contacto com o ar, com a finalidade de não voltar a absorver as moléculas do vapor de água da atmosfera.

As principais características das pozolanas naturais de Cabo Verde encontram-se discriminadas na Tabela 3, (32):

Tabela 3-Principais características das pozolanas de Cabo Verde.

Características principais:	Santo Antão (Cabo Verde)
Análise química (%)	
Perda de peso entre: 100°C a 500°C	10,6
500°C a 1000°C	1,7
Sílica – SiO ₂	49,8
Alumina – Al ₂ O ₃	20,3
Óxido de Ferro (III) – Fe ₂ O ₃	2,2
Óxido de Cálcio – CaO	1,8
Óxido de Magnésio – MgO	1,7
Trióxido de Enxofre – SO ₃	0,3
Óxido de sódio – Na ₂ O	6,0
Óxido de potássio – K ₂ O	5,0
Tensões de rotura em pasta normal de cal [MPa]	
Flexão, a 7 dias	2,0
Flexão, a 28 dias	3,9
Compressão, a 7 dias	4,7
Compressão, a 28 dias	10,5
Superfície específica Blaine [cm ² /g]	4270

2.3.5.2 Pozolanas Artificiais

As pozolanas artificiais obtêm-se da calcinação de materiais naturais em condições específicas, ou são subprodutos industriais. Actualmente estas são utilizadas como inibidores da reacção alcali-sílica ou como substitutos do cimento.

Na tabela seguinte encontram-se discriminadas as pozolanas artificiais.

Tabela 4- Pozolanas artificiais.
(adaptado de (37))

Designação	Observações
Argilas cozidas	Caulinite, illite, esmectite, argilas cozidas a uma temperatura próxima de 900° e finura inferior a 34 µm.
Metaucalino	Calcinação de argila caulinitica entre 650°C e 850°C e moagem a uma finura entre 700m ² /kg e 900m ² /kg
Tijolos, telhas moídas	Cozedura a baixa temperatura (menor do que 950°C) e finura entre 38 µm e 600 µm.
HTI	Porcelana finamente moída.
Gaize cozido	Rocha siliciosa contendo alguma argila cozida a cerca de 950°C.
Moler cozido	Moler (terra diatomácea contendo argila) cozida a cerca de 750°C.
Bauxite cozido	Rocha formada a partir de basalto sujeito a meteorização, cozida entre 250°C e 300°C.
Minion	Ironstone (rocha com grande conteúdo em óxido de ferro) cozida e moída. Produto utilizado na antiguidade.
Basalto calcinado	Pedra basáltica calcinada e finamente moída.
Cinzas de madeira	Com grande conteúdo em sílica, que é absorvida por muitas plantas durante o seu crescimento.
Cinzas de casca de arroz	Com grande conteúdo em sílica, que é absorvida por muitas plantas durante o seu crescimento. Cozedura entre 500°C e 700°C.
Cinzas de cana de açúcar	Com grande conteúdo em sílica, que é absorvida por muitas plantas durante o seu crescimento.
Vidro moído	Resíduo da indústria do vidro obtido em pó ou moído.
Cinzas volantes	Produto da queima de carvão em centrais termoelétricas
Sílica de Fumo/microsílica	Subproduto do fabrico de metais com ligas de silício e ferro/silício.

Dado que as adições pozolánicas artificiais utilizadas neste estudo foram as cinzas volantes, será realizada uma descrição mais detalhada deste material.

- Cinzas Volantes

As cinzas volantes são um subproduto da indústria de produção energética, nomeadamente da queima de carvão. As cinzas volantes são recuperadas através de precipitadores mecânicos ou electrostáticos, depois de o carvão ter sido queimado a temperaturas da ordem dos 530°C, sendo geralmente separadas por granulometrias e armazenadas (53).

A composição química das cinzas volantes depende da classe e da quantidade de material mineral existente no carvão utilizado, assim como das condições de combustão do carvão, dado que a quantidade de carvão por queimar existente nas cinzas também é

condicionante. As centrais de combustão actuais controlam o processo de queima, pelo que, para uma determinada fonte de carvão é de esperar que a composição das cinzas volantes seja relativamente uniforme. O conteúdo em carbono livre (teor em inqueimados) das cinzas volantes é determinado pelo grau de eficácia da combustão, sendo este um factor importante na determinação da qualidade das cinzas volantes, dado que em elevadas percentagens pode afectar negativamente o seu desempenho. Por outro lado, a finura que os inqueimados possuem, faz com que sirvam como fíler inerte.

A grande maioria das cinzas volantes apresenta como principais constituintes, compostos químicos e cristais de sílica, alumina, óxido de ferro e cal, que sofrem significativas variações consoante o tipo de cinza volante. Em menores quantidades existem outros componentes como o MgO, Na₂O, K₂O, SO₃, MnO e TiO₂ e tal como anteriormente referido, as cinzas volantes possuem também partículas de carbono não consumidas na combustão.

As cinzas volantes não podem conter substâncias prejudiciais em quantidades tais que podem afectar a durabilidade das argamassas nem causar fenómenos de corrosão (54; 3; 32; 53).

Em Portugal são produzidas cinzas volantes nas centrais de Sines e do Pego, as quais são utilizadas para fabrico de cimento e betão. Na tabela que se segue encontra-se discriminada a composição química das cinzas volantes produzidas na central de Sines.

Tabela 5- Características principais das cinzas volantes produzidas em Portugal. (Relatório de Ensaios da Central Termoeléctrica de Sines, 2004).

<i>Características principais</i>	<i>Requisitos</i>	<i>Valor (%)</i>
Perda ao fogo	≤7,0%	4,9
Sílica – SiO ₂		51
Alumina – Al ₂ O ₃		25,5
Óxido de Ferro (III) – Fe ₂ O ₃		5,5
Óxido de Cálcio livre – CaO	≤1,0%	0,54
Óxido de Magnésio – MgO		0,01
Trióxido de enxofre – SO ₃	≤3,0%	1,57
Óxido de sódio – Na ₂ O		1,17
Óxido de potássio – K ₂ O		0,41
Cloretos		<0,01
Finura (d>45µm)		14,5

As propriedades físicas determinantes para a qualidade das cinzas volantes são a sua finura, superfície específica, distribuição granulométrica e densidade. As partículas constituintes das cinzas volantes variam entre tamanhos menores que 1µm e maiores que 1mm e têm uma forma esferóide, podendo ser ocas ou opacas (53). Quanto mais finos forem os grãos das cinzas volantes, melhor será a sua reactividade pozolânica (55; 56). A sua coloração pode variar de preto ao castanho e vermelho e ao transparente ou branco.

Argamassas de cal aérea com adições Pozolânicas

A actividade pozolânica pode ser definida como a capacidade de reacção dos componentes siliciosos e aluminosos reactivos da pozolana com o Ca(OH)_2 e capacidade de endurecimento em meio húmido (49).

Vários autores que realizam investigação no domínio da reactividade pozolânica referem a extraordinária durabilidade de argamassas à base de pozolanas e cal, contudo, nenhum destes autores avança qualquer tipo de hipótese que explique essa durabilidade (57; 58; 59).

Embora a utilização de materiais pozolânicos nas argamassas antigas seja responsável pela obtenção de argamassas mais resistentes devido à formação de compostos de silicatos de cálcio (C-S-H), na verdade, alguns autores acreditam não ser esta a razão fundamental para a durabilidade dos ligantes milenares, dado que as argamassas antigas apresentam uma elevada quantidade de metais alcalinos (55).

TORGAL (55) refere que CAMPPBELL (60) mostrou que a durabilidade dos ligantes antigos se fica a dever ao alto nível de compostos zeolíticos e amorfos na sua composição.

As pesquisas no domínio dos ligantes obtidos por activação alcalina foram sujeitas a um crescimento notório devido a descobertas de Joseph Davidovits que patenteou ligantes obtidos por activação alcalina de caulino e metaulcalino, criando o termo “geopolímero”. Para este autor é uma adaptação moderna de processos utilizados por Romanos e Egípcios (55).

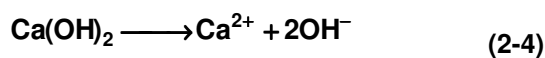
Segundo TORGAL (55), a durabilidade obtida a partir dos ligantes das construções antigas não se pode atribuir somente à utilização de cal e pozolanas, como defendem as teorias mais clássicas. Deve-se também considerar a teoria da activação alcalina, onde se defende a constituição das argamassas por um novo tipo de ligante.

A reacção entre a pozolana e a cal realiza-se com um dos componentes no estado sólido – pozolana, o estado da superfície é fundamental para o início da reacção. É conveniente que a área de contacto entre a pozolana e o hidróxido de cálcio seja a maior possível. São os átomos que se encontram à superfície da estrutura da pozolana que iniciam a reacção, uma vez que as forças de ligação entre eles não estão tão equilibradas como os átomos vizinhos que se encontram no seu interior.

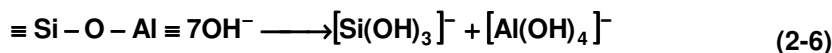
Estes átomos mais vulneráveis possuem uma estrutura em forma de tetraedro, sendo que o oxigénio ocupa os seus vértices e os iões de silício ou alumínio, o centro. Um vértice livre tem tendência a ligar-se a iões OH^- por atracção do ião central Si^{4+} ou Al^{3+} , provocando um desequilíbrio do tetraedro que fica ligado apenas por uma aresta, rodando em torno desta. A sua afinidade com a água vai causar a rotura das ligações superficiais, libertando-se assim os iões SiO_4H_3^- ou AlO_4H_4^- .

Os iões de Ca^{2+} na solução vão provocar a partir de determinado momento, uma instabilidade termodinâmica que vai por sua vez originar a cristalização dos iões de silicato e de aluminato. (32)

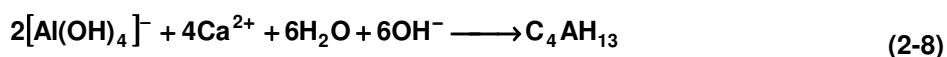
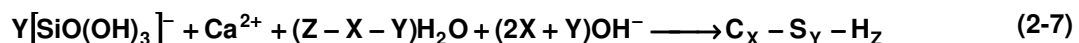
Hidrólise do hidróxido de cálcio:



Libertação dos iões SiO_4H_3^- ou AlO_4H_4^- :



Cristalização dos iões SiO_4H_3^- ou AlO_4H_4^- :



Esta cristalização tem início nas superfícies minerais presentes, cobrindo-as com uma camada ligante que é a origem do desenvolvimento da coesão, (32).

Vários estudos referem que a quantidade de Ca(OH)_2 consumido nas argamassas de cal e pozolanas é um factor que avalia a reactividade pozolânica. Este factor pode ser observado por diversos métodos como DTA (*differential thermal analysis*) e XRD (*X-ray diffraction analysis*) (47; 61).

Vários autores identificaram a ocorrência da reacção entre a cal e a pozolana através da verificação da existência de compostos de silicatos de cálcio hidratados (C-S-H).

CHINDAPRASIT (62) refere, citando ROJAS (63), que *“quanto menores as partículas C-S-H, maior a força que existe entre elas. Por outro lado, a resistência desenvolvida pelo C-S-H a baixas temperaturas é relativamente baixa quando comparada com a formação da fase amorfa. É então necessária uma elevação da temperatura para a sua re-cristalização. A resistência desenvolvida pelos produtos pozolânicos é geralmente obtida pela redução da porosidade”*.

É o teor de moléculas de água ligadas zeoliticamente entre as lamelas dos silicatos hidratados que explica grande parte da contracção das misturas de cal e pozolana e a sua variação com a temperatura e com a pressão de vapor sobre a substância, isto é, a humidade relativa ambiente. (5)

A reacção da sílica com a água vai permitir uma presa química rápida. A velocidade de reacção entre a cal e a pozolana está relacionada com a quantidade de sílica solúvel e com a sua mineralogia. A quantidade de sílica reactiva nas pozolanas, assim como a sua finura, vão influenciar a escolha das composições das argamassas, sendo que o uso de maiores quantidades de pozolanas não implica necessariamente melhores argamassas (54; 64; 65).

A adição das pozolanas numa argamassa de cal vai modificar as suas características. Os materiais pozolânicos ao combinarem-se com a cal aérea formam, como referido, compostos estáveis, reduzindo-se assim os danos como os riscos de escorrimientos iniciais ou de danos por congelamento na argamassa, aumentando potencialmente sua durabilidade.

Segundo VELOSA (2), a velocidade de carbonatação quase sempre aumenta quando são adicionadas pozolanas às argamassas. Isto é um indicador positivo, dado que os rebocos são frequentemente, e erradamente, executados com grande espessura, aumentando as dificuldades para a sua total carbonatação.

Dependendo do tipo de pozolana que se utiliza, a densidade e resistência mecânica das argamassas pode aumentar e a porosidade diminuir. (54).

PAPAYIANNI (36) verificou que a porosidade diminui com o tempo em argamassas com adições pozolânicas, sendo que as condições de cura também são decisivas para a porosidade e consequentemente para a longevidade da argamassa.

Os materiais pozolânicos mais fracos irão produzir argamassas mais permeáveis e flexíveis, enquanto os materiais fortemente aquecidos tenderão a produzir argamassas mais resistentes, idênticas às argamassas de cimento (65).

A existência de componentes hidráulicos pode ser evidenciada pela detecção de valores elevados destes componentes solúveis, assim como através da quantidade de CaO vinculado aos aluminossilicatos hidratados. Estes componentes conferem resistência às argamassas em relação à ação dos sais e agressões ambientais (27).

LANGE (66) concluiu que a inclusão de determinadas quantidades de cinzas volantes reduz a quantidade de água necessária para uma determinada trabalhabilidade. A variação da trabalhabilidade é explicada devido à esfericidade das partículas constituintes das cinzas volantes, causando uma diminuição da fricção entre as partículas. A esfericidade minimiza também a razão área/volume da partícula, resultando uma maior fluidez.

As propriedades físicas das cinzas volantes têm uma grande influência na exigência da água de amassadura, por sua vez determinante na resistência final das argamassas, (67).

3. PLANO DE TRABALHOS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A presente dissertação tem como objectivo estudar a influência de duas adições pozolânicas, Pozolana de Cabo Verde e cinza volante quando utilizadas em argamassas de cal aérea formuladas com diferentes teores de adições. O estudo teve também como objectivo analisar a evolução das características das argamassas, com e sem adições pozolânicas, com consistência aproximada de 65% para as idades de 60 e 90 dias.

A argamassa de cal aérea sem adições pozolânicas com um traço ponderal de 1:8 (cal:areia) foi tomada como argamassa de referência, dado que este traço é o mais comum na formulação de argamassas de cal aérea utilizadas como camadas de reboco. A partir de um estudo anteriormente realizado (68) para uma argamassa com este traço, o valor de consistência obtido foi de aproximadamente 65%, correspondendo a este valor uma relação água/cal de 1,62. Desta forma, foram fixados estes dois valores, sendo por isso realizadas argamassas com adições pozolânicas com consistência de aproximadamente 65%, e argamassas com uma relação água/cal de 1,62, podendo-se realizar uma análise da influência da consistência e da quantidade de água nas argamassas confrontando o seu efeito com o tipo de adições pozolânicas. Foram realizadas oito argamassas diferentes, quatro contêm adições de pozolana natural, sendo as restantes de cinza volante. Deste grupo de quatro argamassas duas possuem 33% de adição e as restantes duas 50%. Estes dois tipos de argamassas dividem-se em dois grupos, sendo que um apresenta consistência de 65% e o outro relação água/cal de 1,62.

O tipo de cal utilizada é cal hidratada em pó de classe CL90 e de origem nacional, tendo-se o cuidado de armazenar a cal convenientemente para não ocorrer o fenómeno de carbonatação.

Em todas as argamassas foram formuladas com areia amarela e areia do rio, em igual proporção, dado que, este tipo de areia é frequentemente utilizado em argamassas de reboco. As areias foram previamente secas em estufa a 100 ± 5 °C durante 48 horas com o objectivo de reduzir a influência do teor em água das areias.

As características mecânicas e físicas de todas as formulações estudadas foram avaliadas em provetes prismáticos (16x4x4 cm). As características das argamassas com consistência de aproximadamente 65% foram também avaliadas em camadas de argamassa aplicadas como camadas de revestimento de tijolos. Estas argamassas foram também aplicadas em cantoneiras com vista a avaliar o eventual desenvolvimento da retracção e fendilhação.

Todos os moldes dos provetes prismáticos e tijolos foram colocados numa sala condicionada à temperatura aproximada de 25°C e humidade relativa de 50% durante sete dias, sendo que após desmoldagem este se mantiveram nestas condições nos restantes dias de cura (14, 60 e 90 dias). As cantoneiras também foram mantidas nestas condições durante o período de observação.

3.2. FORMULAÇÕES ESTUDADAS

Neste estudo experimental foram estudadas argamassas com diferentes traços e relações água/ligante, bem como argamassas com e sem adições pozolânicas. Todas as argamassas foram produzidas com areia de rio e amarela, utilizadas em igual proporção e cal hidratada em pó.

A argamassa de cal aérea sem adições produzida denomina-se C, sendo os valores da argamassa C* obtidos num estudo anterior (68).

As argamassas com formuladas com Pozolana de Cabo Verde apresentam a nomenclatura PZ1, PZ2, PZ3, PZ4. Variando entre si no teor em pozolana e na relação água/cal. O mesmo sucede com as argamassas formuladas com cinza volante, CV1, CV2, CV3 e CV4.

As argamassas C, C*, CV1, CV3, PZ1, PZ3, foram produzidas de forma a apresentarem valores médios de consistência da ordem de 65%. A formulação das restantes argamassas foi obtida fixando a relação água/cal pretendida é de 1,62.

A tabela 6 resume as formulações das argamassas estudadas.

Tabela 6- Argamassas em estudo

Adição	Argamassa	Traço em massa	água/cal	Consistência média [%]
-	C*	cal:areia _{rio} +areia _{amarela}	1:8	65
	C	cal:areia _{rio} +areia _{amarela}	1:8	65
Cinza Volante	CV1	Cal:cinzavolante:areia _{rio} +areia _{amarela}	1:1:8	108
	CV2	Cal:cinza volante:areia _{rio} +areia _{amarela}	1:1:8	65
	CV3	Cal:cinza volante:areia _{rio} +areia _{amarela}	1:0,5:8	102
	CV4	Cal:cinza volante:areia _{rio} +areia _{amarela}	1:0,5:8	65
Pozolana de Cabo Verde	PZ1	Cal:pozolana:areia _{rio} +areia _{amarela}	1:1:8	80
	PZ2	Cal:pozolana:areia _{rio} +areia _{amarela}	1:1:8	65
	PZ3	Cal:pozolana:areia _{rio} +areia _{amarela}	1:0,5:8	72
	PZ4	Cal:pozolana:areia _{rio} +areia _{amarela}	1:0,5:8	65



Figura 1- Cal aérea e adições pozolânicas utilizadas

3.3. DESCRIÇÃO DO PLANO DE ENSAIOS

Em seguida é enunciada a caracterização efectuada aos constituintes e às argamassas no estado fresco e endurecido.

- Caracterização dos agregados: massa Volúmica, baridade e análise granulométrica.
- Caracterização do Ligante e adições pozolânicas: baridade
- Caracterização da argamassa no estado fresco: consistência e massa volúmica
- Caracterização da argamassa no estado endurecido:
 - *Características mecânicas*: velocidade de propagação de ultra-sons, resistência mecânica à tracção por flexão, resistência mecânica à compressão e, avaliação não destrutiva da resistência à compressão (Esclerómetro pendular).
 - *Características físicas*: espessura carbonatada, absorção de água por capilaridade, teor em água às 48 horas, massa volúmica aparente e porosidade aberta, retracção em cantoneiras, absorção de água sob Baixa Pressão e cinética de secagem.

A caracterização no estado fresco foi efectuada para todas as amassaduras realizadas.

Para cada argamassa foram realizados nove provetes prismáticos de dimensões 160x40x40 [mm³]. Seis provetes foram sujeitos aos ensaios de velocidade de propagação de

ultra-sons e de resistência à tração por flexão. Deste último ensaio resultaram doze metades sendo que seis metades foram ensaiadas na determinação da espessura carbonatada e resistência à compressão e as seis restantes a ensaios de avaliação cinética de secagem (três com água e três com solução salina). Dos restantes provetes, um foi utilizado na determinação da absorção de água às 48 horas e os restantes dois na determinação da absorção de água por capilaridade. Após estes ensaios, os três provetes foram utilizados para a determinação da massa volúmica aparente e porosidade aberta.

Aos 60 e 90 dias de idade, apenas foram estudadas as argamassas com consistência de 65%. Foram realizados todos os ensaios referidos nos provetes prismáticos com exceção do ensaio relativo à determinação da massa volúmica aparente e porosidade aberta devido à indisponibilidade do material de ensaio.

Foram realizados 2 provetes dos tijolos de dimensões 300x200x110 [mm³] por cada argamassa. Um dos provetes de tijolo foi utilizado para a realização dos ensaios de absorção de água sob baixa pressão, para as idades de 14 e 90 dias. O outro provete foi sujeito aos ensaios de ultra-sons e esclerómetro pendular, para as idades de 14 e 90 dias. No caso dos tijolos, apenas foram ensaiadas as argamassas com consistência de 65%, (C, PZ2, PZ4, CV2 e CV4).

Nas cantoneiras, à semelhança dos tijolos, apenas foram observadas as argamassas com consistência média de 65%.

Todos os provetes logo após a sua produção e posterior desmoldagem, até à realização dos ensaios, foram mantidos numa sala condicionada, com temperatura aproximadamente 20°C e humidade relativa de aproximadamente 50%, de forma a completarem o seu tempo de cura.

3.4. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Caracterização dos agregados finos

- **Análise granulométrica**

A análise granulométrica consiste na peneiração a seco do inerte a partir de uma série de peneiros com aberturas normalizadas, seguindo-se da pesagem das diversas parcelas de inerte obtidas para se poder proceder ao cálculo das fracções correspondentes. O ensaio

granulométrico foi conduzido segundo a NP 1379 (69), recorrendo aos seguintes aparelhos e utensílios: peneiros de rede de malha quadrada com as seguintes aberturas nominais: 9,52mm; 6,35mm; 4,76mm; 2,38mm; 1,19mm; 0,59mm; 0,297mm; 0,149mm e 0,074mm, balança com limite de erro de $\pm 0,1\%$, estufa para secagem dos agregados e agitador de peneiros,

Tendo em consideração as pequenas dimensões das partículas dos agregados, a massa do provete a ensaiar teve aproximadamente 1 Kg. Após a secagem em estufa dos agregados à temperatura de 100 ± 5 °C e, medição da sua massa, realizou-se a peneiração mecanicamente com movimentos oscilatórios de translacção e rotação acompanhados de vibrações, começando pelo peneiro de maior abertura. As partículas que passam no peneiro de menor abertura foram recebidas num recipiente que se encontra na base. Este processo foi realizado com o maior cuidado possível para não ocorrerem perdas de material. Por fim, pesaram-se as partículas retidas em cada um dos peneiros, assim como as partículas que passam no peneiro de menor aberturas e ficaram retidas no recipiente de base.

A percentagem do agregado retido em cada peneiro foi determinada utilizando a seguinte fórmula:

$$\%Agregado_{retido} = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (3-1)$$

m_1 – massa do provete seco

m_2 – massa do material retido num determinado peneiro

O material passado em cada peneiro foi calculado subtraindo de 100 a soma da percentagem de material que ficou retido nesse peneiro com o material retido nos peneiros de abertura superior.

O módulo de finura determinou-se utilizando os peneiros 3/8", 1/4", 4, 8, 16, 30, 50, 100 e 200.

$$MF = \frac{\sum RAr}{100} \quad (3-2)$$

MF – Módulo de finura;

RAr – Resíduo acumulado retido.

A máxima dimensão do agregado define-se pela menor abertura do peneiro, através do qual a percentagem de material acumulada passada é maior ou igual a 90%. A dimensão mínima de agregado é definida como a maior abertura do peneiro, através do qual a percentagem de material acumulada passada corresponde a no máximo 5% da massa do agregado.

- **Baridade**

Para a determinação da baridade dos agregados, seguiu-se a norma NP 955:19973 (70). A técnica para a realização deste ensaio consiste na determinação da massa de material seco que preenche em condições de compactação e sem compactação o recipiente com capacidade conhecida.

Para a realização deste ensaio foi necessária uma preparação prévia dos agregados que consiste no acondicionamento das amostras trás na estufa a uma temperatura de 105º, até massa constante.

Os aparelhos e utensílios utilizados foram: balança com limite de erro de ±0,1%, estufa de secagem, varão de compactação e recipiente de aço cilíndrico de 3 dm³ e 1,858 Kg.

A avaliação da baridade foi efectuada sem e com compactação da amostra.

A avaliação sem compactação consistiu no preenchimento do recipiente por completo tendo o cuidado de lançar o material a um nível de aproximadamente 5 cm da boca do recipiente, de seguida ajustou-se no nivelamento da superfície do material pelo plano da boca do recipiente. Por fim, o recipiente cheio foi pesado.

Para a avaliação da baridade com compactação preencheu-se o recipiente de aço em três fases de volume idêntico, sendo que em cada uma das fases se realizou a compactação com 25 pancadas com o varão distribuídas uniformemente. Ajustou-se o nivelamento da superfície do material pelo plano da boca do recipiente, pesando-se de seguida o recipiente cheio.

A avaliação da baridade foi também realizada de acordo com outro procedimento que visa reproduzir a prática corrente em obra para determinação da baridade dos ligantes e dos agregados da argamassa (baridade1), que consiste no preenchimento do recipiente de uma só vez, registando-se a massa do recipiente e a do conjunto.

A baridade foi determinada a partir da seguinte equação:

$$\frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000 \quad (3-3)$$

m₁ – massa do recipiente (Kg);

m₂- massa do recipiente cheio com o material (Kg);

V – capacidade do recipiente (dm³).

- **Massa volúmica e Absorção de água das areias**

Para a determinação da massa volúmica e da absorção de água de areias foi utilizada a especificação LNEC E248 – 1971 (71), para isso, foi necessária a determinação da massa da areia com as partículas saturadas sem água superficial, da massa de água por ela deslocada e da massa de areia após a secagem.

Os aparelhos e utensílios utilizados foram: balão graduado de 500 cm³, balança para pesagens com limites de erro de ±0,1%, estufa para secagem dos agregados a aproximadamente 105°C, termómetro graduado, peneiro ASTM de malha quadrada com a abertura de 0,074 mm (nº200), molde de aço tronco-cónico ($\Phi_{\text{base maior}}=89\text{mm}$; $\Phi_{\text{base menor}}=38\text{mm}$; altura=74mm) e pilão metálico.

O ensaio teve início com a secagem de 750g de areia. Após o arrefecimento da areia, esta foi imersa em água à temperatura ambiente durante 24h, remexendo algumas vezes com uma vareta. Retirou-se a água e, espalhou-se a areia sobre um tabuleiro deixando-a secar lentamente por acção de um ar aquecido, movendo a areia para que, a secagem seja homogénea. Quando a areia apresentou apenas uma ligeira humidade preencheu-se o cone de forma a permitir uma moldagem firme. Compactou-se com 25 pancadas uniformemente distribuídas e retirou-se o molde com o cuidado de evitar que este tocasse na areia. Quando a moldagem apresentou as características descritas, considera-se que a areia tem as partículas saturadas sem água superficial. Pesaram-se 500g desta areia que foram seguidamente colocadas num balão graduado de 500 cm³. Preencheu-se o balão com água e vazou-se o seu conteúdo sobre o peneiro nº 200 forrado com filtro, e introduziu-se o conjunto na estufa a 105°C.

Desta forma é possível obterem-se os seguintes valores:

$$\text{Massa Volúmica do material impermeável das partículas} = \frac{m_3}{m_3+m_4-m_2} \quad (3-4)$$

$$\text{Massa Volúmica das partículas saturadas} = \frac{m_1}{m_1+m_4-m_2} \quad (3-5)$$

$$\text{Massa Volúmica das partículas secas} = \frac{m_3}{m_1+m_4-m_2} \quad (3-6)$$

$$\text{Absorção de água da areia} = \frac{m_1-m_3}{m_3} \times 100 \quad (3-7)$$

m_1 – massa do provete com as partículas saturadas sem água superficial;

m_2 – massa do balão com o provete e água;

m_3 – massa do provete seco;
 m_4 – massa do balão com água.

Produção dos Provetes

Os procedimentos da produção e da preparação de provetes de argamassa foram realizadas de acordo com a metodologia indicada no Guia das aulas de laboratório de Materiais de Construção II (72) que é baseada de acordo com o especificado em E29-1979. A produção dos provetes recorreu ao seguinte equipamento e material: balança; misturadora mecânica com duas velocidades de rotação diferentes; raspadeira de borracha; moldes de aço com dimensões 160x40x40 [mm]; colher de pedreiro; espátulas metálicas; compactador; câmara para condicionamento dos provetes em ambiente à temperatura de $20\pm 1^\circ\text{C}$ e com pelo menos 90% de humidade relativa, provida de suporte horizontal para assentamento dos moldes; calha metálica; tijolos [30x20x11]; moldes de madeira para tijolos e talocha.

A produção da argamassa teve início com a introdução da água na misturadora, seguindo-se o ligante, ou a mistura ligante com adições. Ligou-se a misturadora mecânica nas condições normalizadas para a produção das amassaduras, introduzindo-se de seguida as areias por ordem decrescente de dimensões, após ocorrer o sinal sonoro produzido pela misturadora. Juntou-se o material que se depositou nas paredes do recipiente com a raspadeira de borracha durante o tempo em que a misturadora se encontrava parada. A amassadura é dada como concluída quando o programa da misturadora terminar.



Figura 2- Mesa Misturadora.

A produção dos provetes teve início com a preparação dos moldes, dando-se procedimento à aplicação de óleo mineral na superfície do molde. Posicionou-se o molde com a alonga na mesa do aparelho de compactação; Colocou-se uma quantidade de argamassa com uma colher, de forma a encher metade da capacidade de cada compartimento do molde. Distribuiu-se a argamassa em camada uniforme utilizando a espátula de maior comprimento, apoiando-a nos bordos do molde com um movimento de vaivém. Ligou-se o compactador,

aplicando 60 pancada, completando-se o enchimento do molde, com um ligeiro excesso, distribuindo a argamassa com a espátula de menor comprimento. Ligou-se o compactador, aplicando 60 pancadas. Retirou-se o molde do aparelho, rasando-se de seguida. Alisou-se a superfície dos provetes com auxílio de uma colher. Após os moldes estarem devidamente identificados foram levados para a câmara de condicionamento. Após 7 dias retiraram-se os moldes da câmara de forma a proceder à desmoldagem dos provetes com o auxílio do martelo de borracha. Identificou-se cada provete tendo estes sido colocados de seguida em prateleiras metálicas tendo o cuidado de deixar 1cm de altura debaixo do provete, para estar em contacto com o ar.



Figura 3- Descrição de algumas etapas do processo de preparação dos provetes prismáticos.

A preparação das cantoneiras preenchidas com argamassa consistiu na colocação de argamassa ao longo da calha, espalhando e comprimindo a argamassa com o auxílio de uma colher de pedreiro.

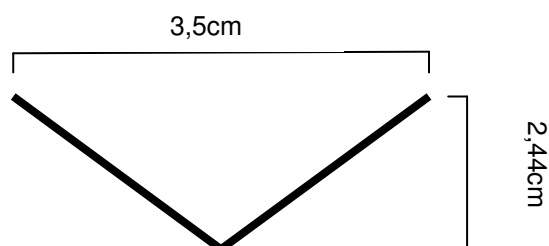


Figura 4- Esquema da calha metálica, em corte transversal.



Figura 5- Preparação das calhas metálicas.

No que se refere à preparação dos provetes constituídos pela aplicação das argamassas como camadas de revestimento de tijolo, ela teve início com a imersão dos tijolos em água durante 3 horas de forma a evitar a absorção de água proveniente das argamassas. De seguida, colocou-se o molde no tijolo, aplicando-se sobre este argamassa, compactando-a com auxílio de uma colher de pedreiro. O acabamento final foi realizado utilizando a talocha. Colocaram-se os provetes em câmara de condicionamento, tendo estes sido desmoldados ao fim de 7 dias. Os provetes foram colocados na câmara de condicionamento até ao dia do ensaio.



a) Moldagem dos tijolos. b) Aplicação da argamassa no tijolo. c) Acabamento final com talocha. d) Tijolo desmoldado.

Figura 6- Processo de preparação dos provetes de tijolo.

Caracterização das argamassas no estado fresco

- **Avaliação da consistência**

A consistência das argamassas foi avaliada através da medição do espalhamento produzido em condições de impacto pré-definido, os procedimentos foram adoptados no disposto na EN 1015-3 (73) . A consistência é uma medida da fluidez da argamassa fresca, medindo a deformação da argamassa quando sujeita a um determinado tipo de tensão. Na preparação das argamassas procurou-se obter um valor de espalhamento de aproximadamente 65%.

Os aparelhos e utensílios utilizados foram: mesa saltante; molde de aço tronco-cónico de 7 e 10 cm de diâmetro e de 5 cm de altura; colher para enchimento do molde e espátula.

Limpou-se e humedeceu-se o prato da mesa de forma a não existir qualquer material que modifique o natural espalhamento da argamassa. Logo após o fabrico da argamassa, colocou-se o material por duas camadas no interior de um molde tronco-cónico colocado no centro do prato

da mesa. Teve-se o cuidado de fazer corresponder a cada camada a metade do volume do molde a ser apiloado com 25 golpes do varão de aço, procurando que cada golpe atinja toda a espessura da camada. Alisou-se com uma espátula o topo do molde, não calcando, e limpou-se convenientemente os detritos do molde e do prato. Através de um movimento firme ascendente, retirou-se o molde de cima do prato deixando a argamassa moldada. Moveu-se o volante da mesa, levantando e deixando cair consecutivamente de metade da altura o prato, 25 vezes em cerca de 15 segundos. Mediu-se o diâmetro de espalhamento da argamassa a partir dos três diâmetros assinalados no prato da mesa, D_1 , D_2 e D_3 .

O espalhamento foi obtido através da seguinte expressão:

$$\text{Espalhamento} [\%] = \frac{D_{med}-100}{100} \times 100 \quad (3-8)$$

$$D_{med} = \frac{D_1+D_2+D_3}{3} \quad (3-9)$$

D_1, D_2, D_3 - Diâmetros de espalhamento [mm].



Figura 7-Etapas do ensaio de espalhamento.

- **Determinação da massa volúmica**

O procedimento adoptado baseou-se no disposto na EN 12350-6:2002 (74) para o betão fresco. Os aparelhos e utensílios utilizados foram: balança; recipiente com volume e massa conhecida; colher e varão de compactação.

A determinação da massa volúmica teve início com a introdução no recipiente de uma quantidade de argamassa correspondente a metade da sua capacidade, compacta-se a camada de argamassa, com o auxílio do varão de compactação, com 15 pancadas e completa-se o enchimento do recipiente com excesso, compactando a argamassa de seguida, nas mesmas condições da primeira camada. Rasou-se a superfície do recipiente limpando-se de seguida a superfície do recipiente. Pesou-se o recipiente com a argamassa e registou-se o seu valor, m_2 .

A massa volúmica aparente, MV_{apa} , é a diferença entre a massa do recipiente com a argamassa, m_2 , e a massa de volume vazio, m_1 , a dividir pelo volume do recipiente, V .

$$MV_{apa} = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [kg/m^3] \quad (3-10)$$

Caracterização mecânica das argamassas no estado endurecido

- **Velocidade de Propagação dos Ultra-Sons (72)**

A velocidade de ultra-sons foi determinada de forma directa nos provetes prismáticos, e de forma indirecta nas argamassas utilizadas como revestimento dos tijolos, por recurso à utilização de equipamento específico para o efeito.

Este ensaio foi realizado em seis provetes prismáticos de cada tipo de argamassa para cada uma das idades.

Após a calibração do equipamento, os transdutores foram posicionados sobre duas faces do provete, utilizando vaselina para melhorar o contacto. Registou-se o valor do tempo, t_i , e realizaram-se três leituras em cada provete. O valor da velocidade apresentado no estudo corresponde ao valor médio dos 3 valores v_i .

A velocidade de propagação associada a cada leitura, é calculada através da expressão

$$v_i = \frac{s_i}{t_i} \times 10^6 \quad [m/s] \quad (3-11)$$

s_i - distância percorrida pela onda entre o emissor e o receptor (0,16 m)

t_i - tempo que a onda demora a percorrer a distância s_i [μs]

Procedimento – Ensaio Indirecto:

Marcaram-se no tijolo, pontos às distâncias de 6, 7, 9, 11, 13, 15 e 17 cm, em relação ao centro do transdutor. Fixou-se o transdutor emissor, e variou-se a posição do transdutor receptor, para as diferentes distâncias anteriormente referidas.

- **Determinação da resistência mecânica da flexão**

Este ensaio foi realizado seguindo procedimentos adaptados de EN1015-11:1999 (75), em seis provetes prismáticos de cada tipo de argamassas para cada uma das idades,



Figura 8- Máquina de ensaio.

Posicionou-se o provete na máquina de ensaio, Figura 8, com uma das faces de moldagem em contacto com o prato inferior da máquina, de forma a ficar centrado e com o eixo longitudinal perpendicular aos dos apoios. Desceu-se o cutelo da máquina até estabelecer contacto com a face superior do provete. Aplicaram-se forças gradualmente crescentes, de modo contínuo e sem choques, até à rotura do provete, registando-se por fim, a força de rotura.

A tensão de rotura de cada provete, em MPa, foi calculada através da expressão

$$f_{cd} = \frac{1,5 \times F_f \times l}{d_1 \times d_2^2} \quad (3-12)$$

f_{cd} – resistência à flexão [MPa];

F_f - carga máxima aplicada de flexão [MPa];

l – distância entre os roletes inferiores de apoio [mm];

d_1 - e d_2 - dimensões laterais do provete [mm].

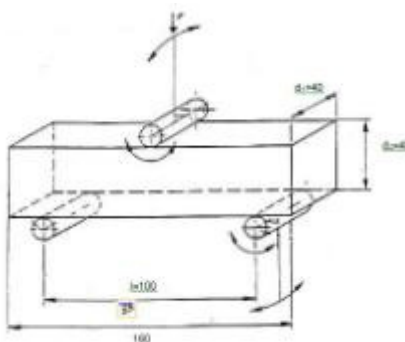


Figura 9- Esquema do ensaio de resistência à flexão.

(adaptado de (76))

A equação indicada pode ser simplificada, obtendo-se a seguinte expressão:

$$f_{cf} = 0,00234 \times F_f, \text{ [N]} \quad (3-12)$$

- **Determinação da resistência mecânica de Compressão**

A resistência mecânica de compressão foi realizada de acordo com procedimentos adaptados dos estabelecidos em EN1015-11:1999 (75). Este ensaio foi realizado imediatamente após a determinação da resistência à flexão em seis metades dos prismas deles resultantes.

Posicionou-se o provete na placa do prato inferior da máquina, Figura 8, por uma das faces laterais de moldagem, cuidadosamente centrado. Desceu-se o prato superior da máquina até estabelecer contacto com a face superior do provete. Aplicaram forças gradualmente crescentes de modo contínuo e sem choques até à rotura do provete. Por fim, registou-se a força de rotura aplicada.

A resistência à compressão do provete é dada pela equação:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3-13)$$

f_c – Resistência à compressão [MPa];

F – Carga máxima de rotura [N];

A_c – Área da secção transversa do provete na qual a força de compressão é aplicada, [mm²]

Para os provetes ensaiados, a resistência à compressão pode ser calculada por recurso à seguinte equação:

$$f_c = 0,000625 \times F \quad (3-14)$$

- **Ensaio do Esclerómetro Pendular**

O esclerómetro permite avaliar “in situ”, de forma não destrutiva, a resistência à compressão de um material. Os valores obtidos através deste ensaio, são apenas representativos de uma camada até 5cm de profundidade. O ensaio consistiu no posicionamento do esclerómetro sobre a superfície a ensaiar, seguido do accionamento do botão que solta o pêndulo contra o provete e do registo do valor do ressalto. Este procedimento foi repetido em diferentes zonas do tijolo, evitando efectuar o ensaio repetidas vezes no mesmo sítio.

Caracterização física das argamassas no estado endurecido

- **Determinação da espessura carbonatada**

A determinação da espessura carbonatada ocorre devido à alteração de cor das zonas carbonatadas e não carbonatadas quando esta contacta com uma solução de fenolftaleína. Este ensaio foi realizado em seis metades de provetes prismáticos de cada tipo de argamassa em cada idade, após o ensaio de flexão e recorreu à utilização de uma solução alcoólica de fenolftaleína a 0,2%.

Procedimento:

Para a realização deste ensaio utilizou-se um borrifador com a solução de fenolftaleína, molhando-se as superfícies. Observou-se a sua coloração e avaliou-se a zona carbonatada (zona incolor) em cada um dos lados.



Figura 10- Espessura carbonatada.

- **Avaliação da retracção e fendilhação em cantoneira**

Este ensaio tem como objectivo uma avaliação qualitativa, a partir da observação do comportamento da argamassa quando esta é colocada no interior da cantoneira, através da identificação da presença de fissuração e da avaliação da sua abertura, bem como da ocorrência de retracção perceptível visualmente.

Mede-se o número de fendas e a sua largura e a idade em que surgem. Desta forma, é possível obter-se uma noção da retracção que a argamassa poderá apresentar quando aplicada.

- **Determinação da absorção da água por capilaridade**

Os procedimentos adoptados na determinação da absorção de água por capilaridade foram adoptados dos referidos na EN 1015-18 (77), sendo realizado em dois provetes prismáticos de cada tipo de argamassa para cada idade.

Os provetes foram secos na estufa durante 48h, sendo de seguida colocados em excitador durante 24h. Colocaram-se as varetas no fundo do tabuleiro de forma a suportar e manter a face inferior do provete em contacto com a água. Marcaram-se os provetes com uma caneta uma linha $5\pm 1\text{mm}$ acima da face inferior do provete. De seguida, posicionaram-se os provetes sobre as varetas, de forma a ficar apoiado sobre a menor face. Colocou-se a água no tabuleiro até que atinja a marcação efectuada, sem que as restantes faces se molhassem. Por fim, cobriu-se o tabuleiro com uma campânula, de forma a reduzir a evaporação da água, tendo-se o cuidado de manter o nível da água durante o ensaio;

A avaliação da quantidade de água absorvida por capilaridade foi efectuada ao fim dos seguintes tempos de ensaio: 5min, 10min, 15min, 1h, 3h, 8h, 24h, 48h, 72h, tendo-se o cuidado de secar com um pano húmido os provetes antes das pesagens. Procedeu-se também à avaliação da altura de ascensão da água em cada um dos instantes mencionados.



Figura 11- Ensaio de absorção de água por capilaridade.

Em cada instante procedeu-se à avaliação da quantidade de água absorvida por unidade de superfície pela seguinte equação:

$$m_i = \frac{m_2 - m_1}{S} \quad [\text{kg}/\text{m}^2] \quad (3-15)$$

m_2 – massa do provete seco, no início do ensaio [kg];

m_1 – massa do provete após ter decorrido o intervalo correspondente t_i [kg];

S – área da face em contacto com a água ($0,4 \times 0,4$) [m^2].

A altura de ascensão capilar é obtida através da média aritmética das medições efectuadas nas quatro faces do provete.

- **Ensaio de Absorção de água sob Baixa Pressão – Método do Cachimbo**

Este ensaio foi realizado de acordo com o disposto no procedimento RILEM test nº4 (78) e recorreu aos seguintes aparelhos e utensílios: cachimbo de vidro; massa de mástique; pipeta e cronómetro.

Para a execução deste ensaio, procedeu-se à prévia marcação de uma quadrícula nas argamassas aplicadas nos tijolos, de forma a definir os locais onde serão realizadas três determinações para as idades de 14 e 90 dias. Em seguida, posicionaram-se os cachimbos e preencheu-se o seu interior com 4ml água com o auxílio da pipeta. Começou-se imediatamente a contagem do tempo necessário para serem absorvidos os 4ml de água em intervalos de tempo definidos consoante o andamento e o tipo de argamassa em ensaio.



Figura 12- Método do cachimbo.

- **Determinação do Teor em Água após 48 horas de imersão em água**

Este é ensaio foi realizado com base na especificação do LNEC E394 (79), para um provete prismático de cada tipo de argamassa para cada uma das idades.

O ensaio iniciou-se com a secagem dos provetes em estufa durante 48h. Após o arrefecimento dos provetes em excicador, a sua massa foi avaliada e em seguida imersos em água durante 48h, tendo o cuidado de evitar a formação de bolhas à superfície. Retirou-se o

provetes da água, retirando-se o excesso de água. Por fim, realizou-se a medição, obtendo-se a massa do provete saturado.

A absorção de água por imersão é expressa em percentagem, a partir da seguinte expressão:

$$A_i = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (3-16)$$

A_i – Absorção de água por imersão [%];

m_1 – Massa do provete saturado ao fim de 48h [g];

m_2 – massa do provete seco [g].

- **Avaliação da cinética de secagem**

Este ensaio foi realizado sobre os meios provetes provenientes do ensaio de flexão e baseou-se no referido em (33). As características das argamassas foram estudadas para situações relativas a evaporação de água e de solução salina (cloreto de sódio com concentração de 15%)



Figura 13- Resina epóxi.

A preparação dos provetes inclui a sua limpeza superficial e a aplicação de resina nas faces laterais que secou durante 24 horas. Aplicou-se uma segunda camada de resina e deixou-se secar durante 24 horas. Colocaram-se os provetes em estufa a $60 \pm 5^\circ$ durante 48 horas e de seguida no excicador durante 24 horas. Registou-se a massa dos provetes. De seguida, colocaram-se os provetes 48 horas imersos em água após envolver com papel aderente a base dos provetes de forma a assegurar que a secagem é unidireccional. Por fim, registou-se da massa dos provetes até se obter massa constante.



Figura 14- Provetes para ensaio.

O estudo da secagem de solução salina foi efectuado de forma idêntica à referida para o caso da cinética de secagem através da evaporação de água, sendo que a imersão é realizada com uma solução salina em vez de água.

Para a apresentação dos resultados procede-se ao traçado da curva de secagem, ao cálculo do índice de secagem e da taça inicial de secagem.

A curva de secagem corresponde à representação gráfica da evolução do teor em água do provete, W_i , ao longo do tempo, t_i .

$$W_i = \frac{m_i - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 \quad [\%] \quad (3-17)$$

m_i – massa do provete i no tempo i [g];

m_{seca} – massa do provete seco [g].

O índice de secagem, I.S. foi determinado com base nas curvas de secagem através:

$$I.S. = \frac{\int_{t_0}^{t_f} f(w_i) \times dt}{W_0 \times t_f} \quad (3-18)$$

t_f – tempo final do ensaio [h];

W_0 – quantidade de água inicial, expressa em percentagem relativamente à massa seca [%];

$f(W_i)$ – quantidade de água no interior do provete em função do tempo, expressa em percentagem relativamente à massa seca.

- **Determinação da massa volúmica e Porosidade aberta**

Este ensaio foi realizado recorrendo aos provetes provenientes da determinação do teor em água às 48h e da absorção de água por capilaridade de acordo com o estabelecido na recomendação RILEM I.2 (80). A realização deste ensaio recorreu do seguinte equipamento e

material: -estufa ventilada, regulada para uma temperatura de $60\pm 5^{\circ}\text{C}$; exsiccador; exsiccador interligado a uma bomba de vácuo; balança hidrostática e balança digital.



Figura 15- Exsiccador ligado a bomba de vácuo.

Todos os provetes foram previamente secos em estufa durante 72 horas e de seguida posicionados no interior do exsiccador durante 24 horas. Registou-se o valor da massa de cada provete, M_1 ; Colocaram-se os provetes no exsiccador que se encontra ligado a uma bomba de vácuo a uma pressão de 74, mantendo-os a esta pressão durante 24 horas. Colocou-se lentamente água no exsiccador, abrindo a torneira de água que se encontra na sua tampa, até à imersão total dos provetes (esta operação deve demorar cerca de 15 minutos). De seguida fechou-se a torneira de água e verificou-se se a pressão se mantém nos 74, deixando os provetes imersos. Após 24 horas, abriu-se a torneira de água do exsiccador e desligou-se a bomba, para que os provetes estejam à pressão atmosférica normal, durante 24 horas. Por fim pesaram-se os provetes em imersão (balança hidrostática), M_2 , limpou-se o excesso de água dos provetes e determinou-se a massa dos provetes saturados, M_3 .

A massa volúmica aparente, MV_{apa} e MV_{real} são determinadas através das seguintes fórmulas:

$$MV_{apa} = \frac{M_1}{M_3 - M_2} \times 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (3-19)$$

$$MV_{real} = \frac{M_1}{M_1 - M_2} \times 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (3-20)$$

M_1 – massa seca de cada provete [g];

M_2 – massa resultante da pesagem hidrostática [g];

M_3 – massa saturada de cada provete [g]

A porosidade aberta, P_{ab} , é obtida através da equação:

$$P_{ab} = \frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} \times 100 \text{ [\%]} \quad (3-21)$$

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

No presente capítulo procede-se à caracterização dos constituintes das argamassas, bem como à caracterização no estado fresco e no estado endurecido das formulações de argamassas estudadas.

A caracterização do estado endurecido foi efectuada aos 14, 60 e 90 dias de idade.

Os resultados obtidos neste estudo serão analisados e comparados entre si, de forma a se poder estabelecer uma análise sobre a influência das adições pozolânicas e em que medida são ou não vantajosas. É de salientar que foi produzida uma argamassa denominada C com uma relação água/cal diferente da argamassa C* produzida no estudo desenvolvido anteriormente (68) para se obter uma consistência de 65%.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

Tabela 7- Baridade dos materiais constituintes

Materiais Constituintes	Baridade 1 (kg/m ³)	Baridade segundo NP 955:1973(kg/m ³)	
		Compactada	Não compactada
Areia Amarela	1530±6	1640	1530
Areia do Rio	1490±4	1610	1500
Cal aérea	610±2	-----	-----
Cinzas Volantes	842±6	-----	-----
Pozolanas Cabo - Verde	802±5	-----	-----

Os valores de baridade obtidos relativos aos materiais constituintes são semelhantes aos apresentados em outros estudos, sendo que para as areias os valores habitualmente são da ordem de 1500 kg/m³ a 1600 kg/m³ são frequentes e para a cal aérea o valor de 584 kg/m³ também é usual, (68; 81; 28).

Verifica-se uma ligeira variação dos valores obtidos para a baridade consoante o método experimental utilizado. O procedimento para o qual resultam os valores obtidos para a baridade 1 permite obter resultados mais próximos da realidade utilizada em obra na produção de argamassas.

VELOSA (82) realizou diversos ensaios que permitiram caracterizar as pozolanas. Através da análise granulométrica em pozolanas de Cabo Verde e em cinzas volantes verificou-se que estes são naturalmente finos. Os valores obtidos na determinação da Superfície Blaine destes materiais foram de 3250 cm²/g para as pozolanas de Cabo Verde e de 2500 cm²/g para as cinzas volantes.

VELOSA (82) através da Fluorescência de Raios X obteve a composição química da Pozolana de Cabo Verde e da cinza volante que se apresenta na Tabela 8.

Tabela 8- Composição química dos materiais por FRX (%)

Análise química (%)		
	Pozolana de Cabo Verde	Cinza Volante
SiO ₂	48,81	47,91
Al ₂ O ₃	19,51	26,89
Fe ₂ O ₃	2,24	4,56
CaO	5,50	7,10
MgO	0,14	2,19
Na ₂ O	0,55	0,49
P ₂ O ₅	0,07	0,87
TiO ₂	0,01	1,33
K ₂ O	5,50	0,98
PR	6,40	6,30

Tabela 9- Massas Volúmicas e absorção de água dos agregados

		Areia Amarela	Areia do rio
LNEC E248 – 1971	Massa Volúmica do material impermeável das partículas	2,54 kg/m ³	2,48 kg/m ³
	Massa Volúmica das partículas saturadas	2,49 kg/m ³	2,44 kg/m ³
	Massa Volúmica das partículas secas	2,45 kg/m ³	2,40 kg/m ³
	Absorção de água da areia	1,4%	1,3%

Através dos valores indicados na Tabela 9, verifica-se que a areia do rio apresenta valores de massa volúmica e de absorção de água ligeiramente inferiores aos da areia amarela.

As curvas granulométricas estão representadas na Figura 16, sendo que nas ordenadas se encontram as percentagens totais acumuladas que passam em cada peneiro e nas abscissas as aberturas dos peneiros. O eixo das abscissas encontra-se em escala logarítmica para possibilitar uma melhor leitura nas zonas correspondentes aos peneiros de menores dimensões das aberturas de malhas.

Observando o gráfico verifica-se que as areias possuem granulometria relativamente semelhante, embora a areia do rio apresente uma granulometria ligeiramente mais fina. Os resultados obtidos estão de acordo com estudos realizados, que revelam uma granulometria aproximada para estes dois tipos de agregados. A Areia Amarela e Areia de Rio apresentam igual máxima e mínima dimensão do agregado, com valores de 2,38mm e 0,149mm respectivamente.

Os valores do módulo de finura das areias amarela e do rio são de 3,0 e 2,6 respectivamente

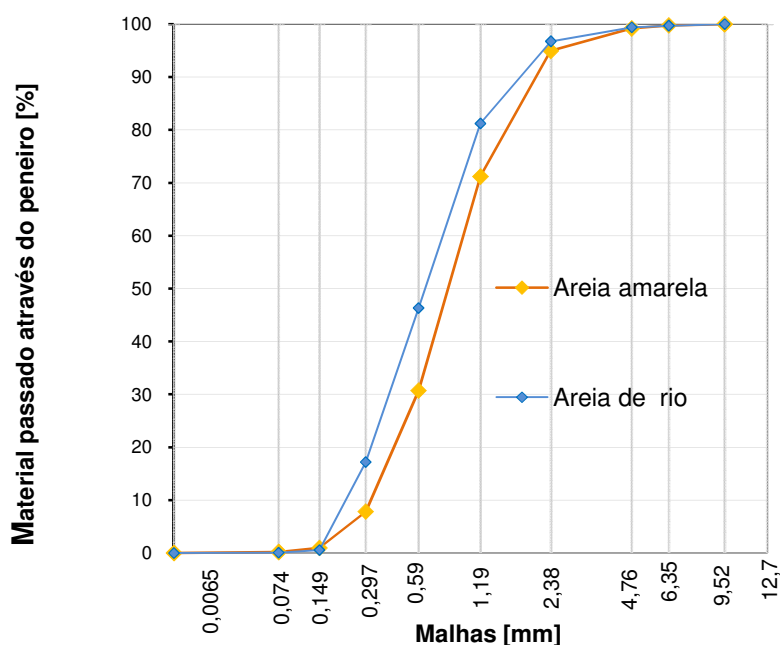


Figura 16- Curva granulométrica dos agregados

4.3. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Com vista à realização do plano de ensaios estabelecidos foram realizadas 48 amassaduras. Os resultados obtidos na caracterização das argamassas no estado fresco estão sintetizados na Tabela 10.

Tabela 10- Características das argamassas no estado fresco

Adição	Traço	Argamassa	Relação água/ligante	Consistência por Espalhamento [%]	Massa Volúmica [kg/m ³]
-	1:8	C*	1,62	65 ± 2,0	2280 ± 125
	1:8	C	1,55	65 ± 0,7	2061 ± 61
Pozolana natural	1:1:8	PZ1	1,62	80 ± 1,8	1997 ± 17
		PZ2	1,55	65 ± 1,0	1899 ± 23
	1:0,5:8	PZ3	1,62	72 ± 1,2	2001 ± 22
		PZ4	1,58	65 ± 1,0	1959 ± 12
Cinzas Volantes	1:1:8	CV1	1,62	108 ± 5,5	2055 ± 3
		CV2	1,40	66 ± 0,8	1986 ± 39
	1:0,5:8	CV3	1,62	102 ± 2,6	2040 ± 34
		CV4	1,37	65 ± 0,9	1902 ± 15

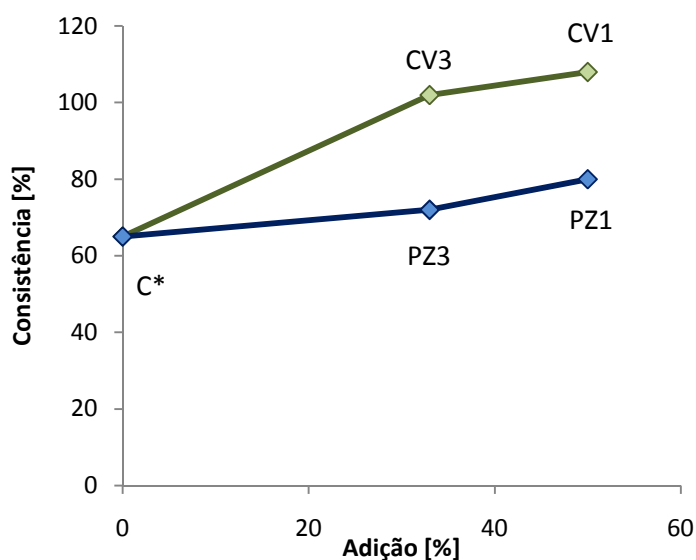


Figura 17- Consistência das argamassas com diferentes quantidades de adição pozolânica e relação água/cal de 1,62

Analisando os resultados da consistência por espalhamento, verifica-se que para igual quantidade de água de amassadura a introdução de qualquer uma das adições aumenta a fluidez e, que esta aumenta com o incremento da quantidade de adição. Verifica-se também que, as adições de cinzas volantes incrementam de modo mais significativo a fluidez das argamassas.

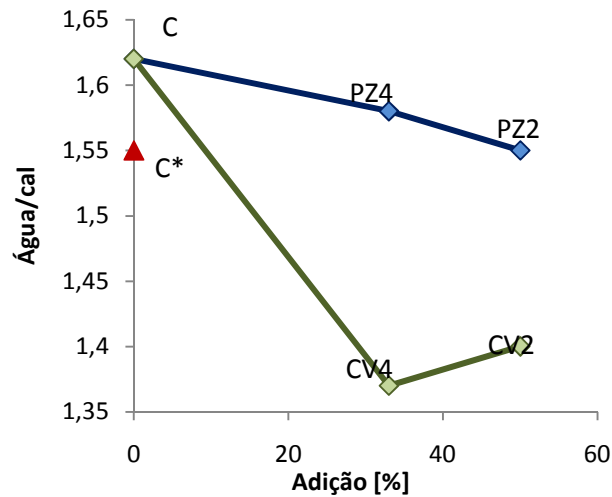


Figura 18- Relação água/cal de argamassas com diferentes quantidades de adição pozolânica e consistência de 65%

Para as argamassas com espalhamentos de aproximadamente 65%, verifica-se que os menores valores da relação água/ligante ocorrem para as argamassas que contém na sua constituição cinzas volantes. Estes valores são coerentes com estudos realizados, em que se constata que a utilização de cinzas volantes permite reduzir a quantidade de água necessária para se obter uma determinada consistência (66).

Os valores da massa volúmica podem ser considerados bastante aproximados, sendo que o valor máximo se verificou para a argamassa de cal aérea. Verifica-se também que, para as argamassas com relação água/ligante de 1,62 as massas volúmicas são superiores, possivelmente devido ao facto de serem mais fluidas e deste modo terem permitido a presença de menor volume de vazios.

4.4. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Caracterização aos 14 dias

Nesta fase da análise de resultados são apresentados e analisados os resultados obtidos para todas as argamassas constituídas por adições pozolânicas e comparados com os

valores obtidos num estudo anterior para uma argamassa de cal aérea de referência, de forma a compreender a influência das adições e as características que estas conferem às argamassas de cal aérea sem adições.

A argamassa de cal aérea, C*, possui um traço em massa de 1:8, sendo a sua consistência por espalhamento de aproximadamente 65% e a sua relação água/ligante de 1,62 (68). As formulações estudadas tiveram como base as características mencionadas, variando um destes parâmetros em cada uma das argamassas.

4.4.1.1 Caracterização mecânica das argamassas

Os valores da tensão de rotura à flexão e à compressão e os valores da velocidade ultra-sons correspondem a valores médios obtidos em seis provetes para cada argamassa.

Tabela 11- Tensão de rotura à flexão e à compressão e velocidade de ultra-sons das argamassas em estudo

Adição	Traço	Argamassa	Consistência [%] a/cal	f_{cf} médio [MPa]	f_c médio [MPa]	V médio [m/s]
-	1:8	C*	65 1,62	$0,20 \pm 0,02$	$0,40 \pm 0,04$	1460 ± 35
		C	65 1,55	$0,19 \pm 0,03$	$0,31 \pm 0,01$	1043 ± 21
Pozolana de Cabo Verde	1:1:8	PZ1	80 1,62	$0,35 \pm 0,15$	$3,85 \pm 0,09$	1380 ± 70
		PZ2	65 1,55	$0,99 \pm 0,07$	$4,68 \pm 0,15$	1874 ± 24
	1:0,5:8	PZ3	72 1,62	$0,44 \pm 0,06$	$2,1 \pm 0,08$	1336 ± 19
		PZ4	65 1,58	$0,32 \pm 0,03$	$2,01 \pm 0,22$	1139 ± 35
Cinza Volante	1:1:8	CV1	108 1,62	$0,06 \pm 0,02$	$0,63 \pm 0,05$	1341 ± 89
		CV2	65 1,40	$0,05 \pm 0,02$	$0,73 \pm 0,16$	1551 ± 62
	1:0,5:8	CV3	102 1,62	$0,24 \pm 0,07$	$0,37 \pm 0,04$	1208 ± 37
		CV4	65 1,37	$0,17 \pm 0,07$	$0,5 \pm 0,06$	1153 ± 33

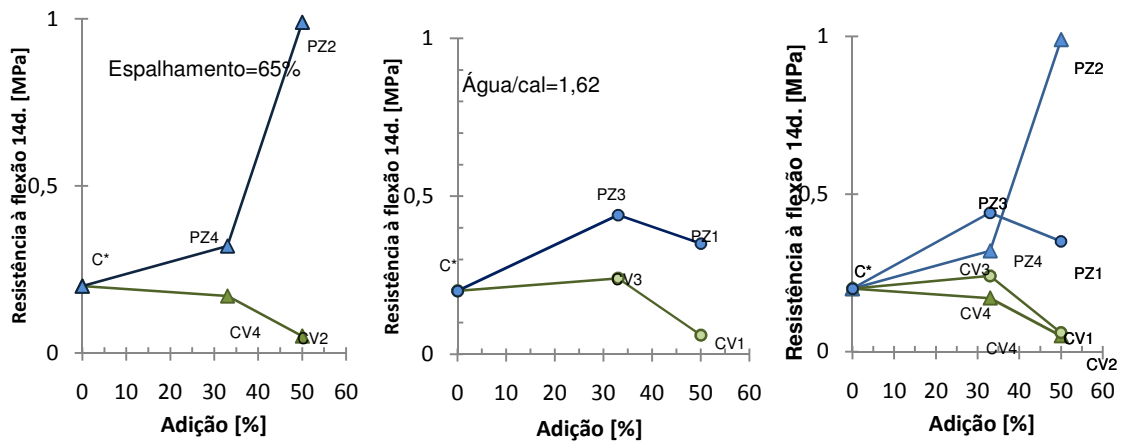


Figura 19- Tensão de rotura à flexão de para argamassas com diferentes quantidades de adições pozolânicas.

Observando os gráficos da resistência à flexão, Figura 19, verifica-se que o comportamento da argamassa difere consoante o tipo de adição. No caso das argamassas com pozolana natural ocorre um aumento da resistência relativamente à argamassa sem adições, sendo que, o aumento de adição influencia mais significativamente a resistência para as argamassas com espalhamento de 65%, que apresentam também menor quantidade de água na sua formulação. Verificou-se um decréscimo do incremento de resistência à flexão com o aumento do teor em adições para 50% nas argamassas com razão água/cal de 1,62. Nas argamassas formuladas com cinza volante, a presença de cinza volante revelou tendência para reduzir a resistência à flexão com excepção do registado em CV3.

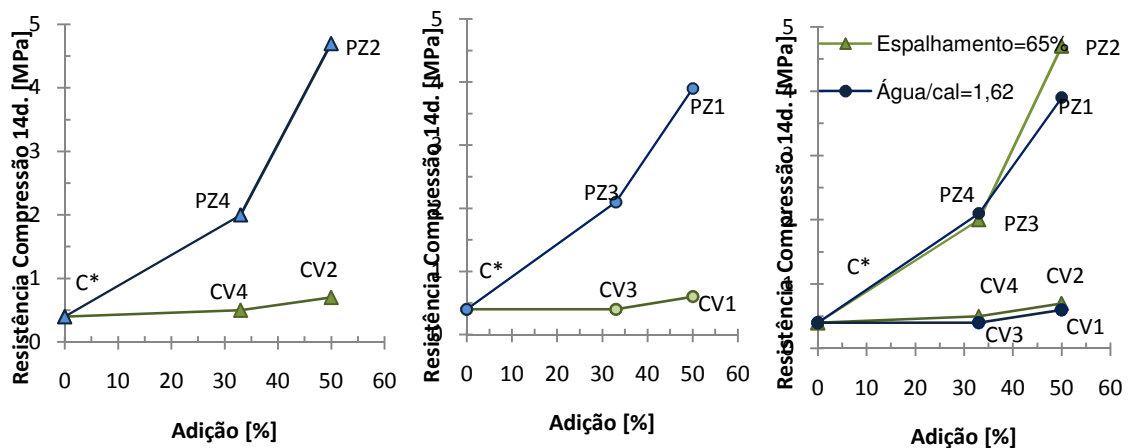


Figura 20- Tensão de rotura à compressão para as argamassas com diferentes quantidades de adições pozolânicas.

A análise das características mecânicas permite verificar que a pozolana de Cabo Verde incrementou significativamente a resistência da argamassa de cal, enquanto a cinza volante apenas foi responsável por um reduzido incremento de resistência à compressão para a situação em que a presença desta adição correspondeu a 50% da mistura ligante (cal + cinzas volantes), Figura 20. No caso das argamassas formuladas com cinza volante, a resistência mecânica revelou-se praticamente indiferente à razão água/cal utilizada nas formulações estudadas. Este comportamento foi identificado também para as argamassas formuladas com pozolana de Cabo Verde quando a sua presença corresponde a 33% da mistura ligante. Nota-se porém que, para dosagens mais elevadas de pozolana de Cabo Verde identificou-se significativo aumento de resistência mecânica e a redução da razão água/cal (PZ2).

O aumento da resistência à compressão verificado para as argamassas com adições pozolânicas é coerente com as informações obtidas através da bibliografia (54; 7) .

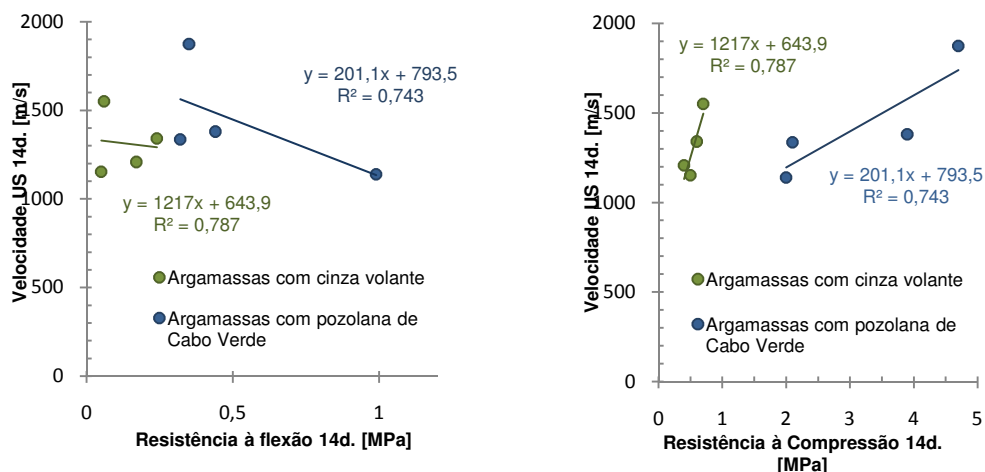


Figura 21- Análise comparativa entre a velocidade de ultra-sons e as resistências mecânicas.

Analisando os resultados da velocidade de ultra-sons e das resistências mecânicas, verifica-se no caso da resistência à flexão se obteve uma fraca correlação, Figura 21. A correlação entre a resistência mecânica à compressão e a velocidade de propagação de ultra-sons das argamassas formuladas com ambas as adições é bastante razoável, verificando-se a tendência para as argamassas com maiores resistências à compressão apresentarem uma maior velocidade de ultra-sons.

4.4.1.2 Caracterização física das argamassas

Na Figura 22 estão representadas as curvas de absorção de água por capilaridade das estudadas. Tendo em atenção que a caracterização da absorção de água por capilaridade obtida nos dois provetes ensaiados de cada uma das formulações estudadas conduziu a resultados muito semelhantes, as curvas apresentadas correspondem aos valores médios obtidos nestes provetes.

Através das curvas de absorção de água por capilaridade foram determinados os coeficientes de capilaridade e os valores assintóticos que se encontram na Tabela 12.

Os valores assintóticos obtidos através das curvas de absorção por capilaridade correspondem à quantidade máxima absorvida pela argamassa por unidade de superfície. Tendo em atenção que a taxa de absorção de água registada nos primeiros 60 minutos se pode considerar constante, o coeficiente de absorção de água por capilaridade foi calculado para todas as formulações para esta duração do ensaio.

A franja líquida atingiu o topo dos provetes decorridas 6 a 8 horas de ensaio para todas as argamassas, com excepção da argamassa PZ2 em que só após 8 a 24 horas atingiu o topo dos provetes.

Tabela 12-Coeficiente de capilaridade, valores assintóticos e teor em água às 48h (14 dias)

Adição	Traço	Argamassa	Consistência		Coef. Capilaridade [kg/m ² .s ^{1/2}]	Correlação R ²	Valor Assintótico	Teor em água às 48h [%]
			[%]	a/cal				
-	1:8	C	65	1,55	0,12	0,98	15,3	9,8
		C*	65	1,62	0,20	0,93	18,0	9,8
Pozolana de Cabo Verde	1:1:8	PZ1	108	1,62	0,17	0,98	22,0	12,3
		PZ2	65	1,40	0,11	1,00	20,2	11,0
	1:0,5:8	PZ3	102	1,62	0,29	0,99	32,8	11,6
		PZ4	65	1,37	0,36	0,98	34,2	11,6
Cinza Volante	1:1:8	CV1	80	1,62	0,14	1,00	19,5	10,5
		CV2	65	1,55	0,12	1,00	19,1	10,0
	1:0,5:8	CV3	72	1,62	0,23	1,00	30,8	10,1
		CV4	65	1,37	0,23	0,97	29,9	9,9

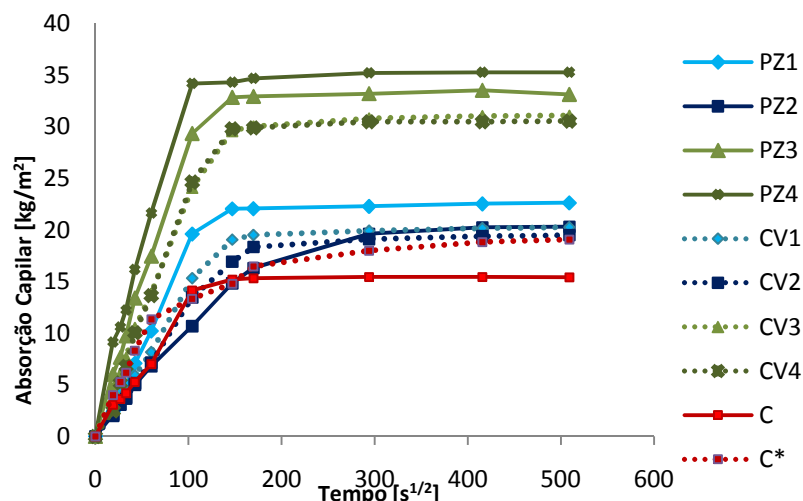


Figura 22- Curvas de absorção capilar das argamassas com e sem adições pozolânicas (14 dias).

Como se pode observar na Tabela 12, os coeficientes de correlação associados à determinação dos coeficientes de absorção de água por capilaridade são bastante elevados, o que é um bom indicador dos resultados obtidos.

O coeficiente de capilaridade depende principalmente da dimensão dos poros, aumentando o seu valor com o aumento do diâmetro médio dos capilares. O valor assintótico depende da porosidade aberta, aumentando com o aumento da porosidade aberta (83). Este facto será observado com maior detalhe aquando do estudo relativo ao ensaio da porosidade aberta.

O valor assintótico da argamassa de cal, C, é inferior às restantes argamassas, registando-se os valores mais elevados para as argamassas com menor teor de adições pozolânicas, sendo um indicador de que neste caso, as adições pozolânicas originam um aumento da porosidade aberta.

Relativamente à influência da razão água/cal constituinte da amassadura, verifica-se que no caso das argamassas com traço 1:1:8 (PZ1 e PZ2), a argamassa com maior relação água/cal, PZ1, apresenta um valor assintótico superior a PZ2, enquanto no caso das argamassas com traço 1:0,5:8 (PZ3 e PZ4), acontece o oposto, isto é, a argamassa com maior relação água/cal possui um valor assintótico inferior, no entanto da mesma ordem.

Comparando as argamassas com igual consistência (65%) verifica-se que a redução do teor de pozolanas e o aumento da relação água/cal, provocam um aumento dos poros capilares através dos quais se dá o fluxo de água. Este facto verifica-se a partir do valor assintótico superior da argamassa PZ4.

O teor em água às 48h da argamassa de cal é inferior às argamassas com adições pozolânicas naturais. O valor mais expressivo neste ensaio é relativo à argamassa PZ1 que possui maior teor de pozolanas e uma relação água/cal superior.

Observando os valores obtidos para o ensaio de capilaridade e do teor em água às 48h verifica-se que a adição de pozolanas naturais à argamassa de cal vai aumentar a capacidade de absorção de água. No entanto, verifica-se que a velocidade de absorção da água nos primeiros 60 minutos é menor nas argamassas com maior teor de adições. Das argamassas em estudo, a argamassa PZ2 apresenta menor absorção de água que as restantes argamassas com adições.

Relativamente aos resultados obtidos para as argamassas formuladas com cinzas volantes, os valores representados da argamassa CV4 para o ensaio de capilaridade foram obtidos a partir de apenas um provete, dado que um dos provetes se partiu durante o ensaio.

Verifica-se que as argamassas formuladas com cinza volante e com o mesmo traço apresentam comportamentos muito semelhantes. Este facto aponta para que a absorção de água por capilaridade de argamassas formuladas com cinza volante seja mais influenciada pela dosagem de cinza volante do que pela quantidade de água utilizada. Comportamento semelhante foi também identificado com base na caracterização mecânica apresentada.

A influência da razão água/cal nas argamassas de cinzas volantes com igual traço não é relevante, dado que os valores obtidos são muito próximos, ou mesmo coincidentes, no caso das argamassas de traço 1:0,5:8 (CV3 e CV4).

À semelhança do que acontece com a pozolana de Cabo Verde, o valor assintótico da argamassa de referência é inferior às restantes argamassas, registando-se os valores mais elevados para as argamassas com menor teor de adições. Tal como acontece nas argamassas com pozolana natural, o teor de absorção de água às 48h da argamassa de referência é inferior ao obtido nas argamassas com cinzas volantes. O valor mais expressivo neste ensaio também é relativo à argamassa que possui maior teor de pozolanas e uma relação água/cal superior, ou seja a argamassa CV1.

À semelhança do registado para as argamassas formuladas com pozolana de Cabo Verde, a argamassa com cinza volante que revelou menor capacidade de absorção de água corresponde à argamassa com maior teor de adição e menor quantidade de água, CV2.

Comparando as argamassas com pozolana de Cabo Verde com as argamassas de cinza volante, verifica-se que os valores assintóticos, os coeficientes de capilaridade e o teor de água às 48h são superiores para as argamassas formuladas com a pozolana de Cabo Verde para igual relação água/ligante, espalhamento e traço.

Na Figura 22 encontra-se representado o coeficiente de absorção por capilaridade das argamassas com igual consistência (65%), variando a dosagem e tipo de adições pozolânicas (C, PZ2,PZ4,CV2 e PZ4) e, das argamassas com igual relação água/cal (1,62) variando a dosagem e tipo de adições pozolânicas (C,PZ1,PZ3,CV1 e CV3).

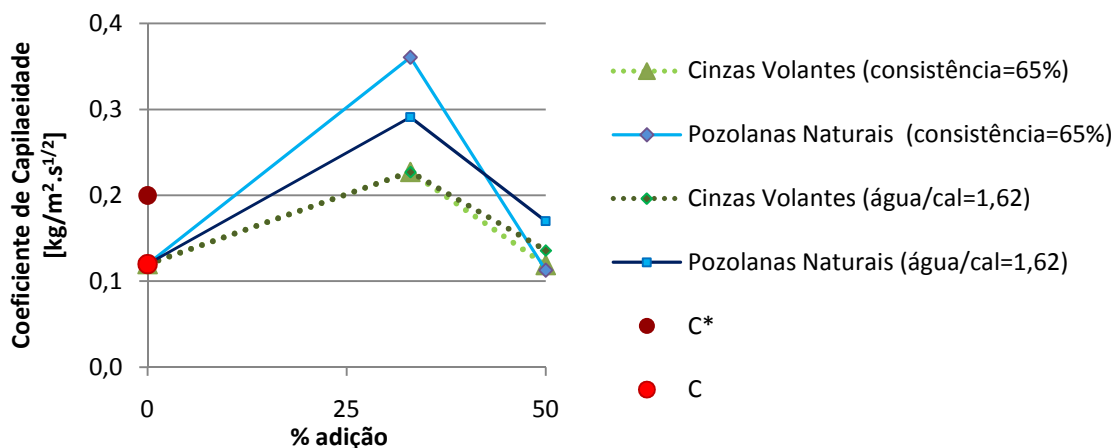


Figura 22- Coeficiente de capilaridade para as argamassas com diferentes percentagens de adições pozolânicas.

Observando a Figura 22 verifica-se que, independentemente do tipo de adição pozolânica e da relação água/cal, o valor do coeficiente de capilaridade é superior quando a adição corresponde a 33% da mistura ligante (cal aérea + adição pozolânica), ou seja para as argamassas com traço 1:0,5:8. Desta forma é expectável que estas argamassas possuam maiores dimensões dos poros. As argamassas com dosagem de 50% de adições apresentam coeficientes de capilaridade inferiores aos da argamassa de referência (0% de dosagem de adições), tanto no caso da consistência ser 65% como no caso da relação água/cal ser 1,62, sendo indicativo que estas possuam dimensões dos poros inferiores. Pode-se concluir que, o factor que mais influencia a dimensão dos poros (observada através do coeficiente de capilaridade) é a dosagem de ligante, sendo o seu efeito acrescido por uma menor quantidade de água (espalhamento 65%). Tal como se verifica em estudos realizados (82), o aumento do teor de adições vai originar uma diminuição dos coeficientes de capilaridade.

Segundo VEIGA (84), o valor do coeficiente de capilaridade adequado para argamassas de reboco deve encontrar-se entre 0,13 e 0,20 $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$. As argamassas PZ2 e CV2, apresentam valores inferiores a estes. As argamassas com valores superiores, nomeadamente PZ3, PZ4, CV3 e CV4, absorvem mais rapidamente a água do exterior, como por exemplo, no caso de argamassas de reboco, a água da chuva.

O ensaio de avaliação da cinética de secagem após imersão em água tem particular interesse, uma vez que permite caracterizar a capacidade de evaporação de água de um

revestimento. Esta característica é determinada tendo em conta a evolução do teor em água nas amostras em ensaio.

Observando os gráficos verifica-se que em todos eles, a argamassa C (sem adições pozolânicas) apresenta o menor valor de teor em água inicial, uma maior inclinação da curva de secagem e um processo de secagem mais rápido e completo face ao registado nas outras argamassas, quer sejam constituídas por pozolana natural ou cinza volante.

A pozolana natural altera de forma mais significativa a cinética de secagem, sendo esta alteração mais importante para as situações com maior percentagem de adição. A cinza volante também alterou a cinética de secagem, sendo neste caso, as alterações obtidas pouco influenciadas por diferenças na formulação das argamassas. As argamassas formuladas com cinza volante, face ao registado nas argamassas com pozolana natural perdem maior quantidade de água por evaporação que ocorre a fluxo constante.

A razão água/cal nas argamassas com menor teor de adições pozolânicas não alterou a cinética de secagem de água, independentemente do tipo de adição, uma vez que as curvas são praticamente coincidentes.

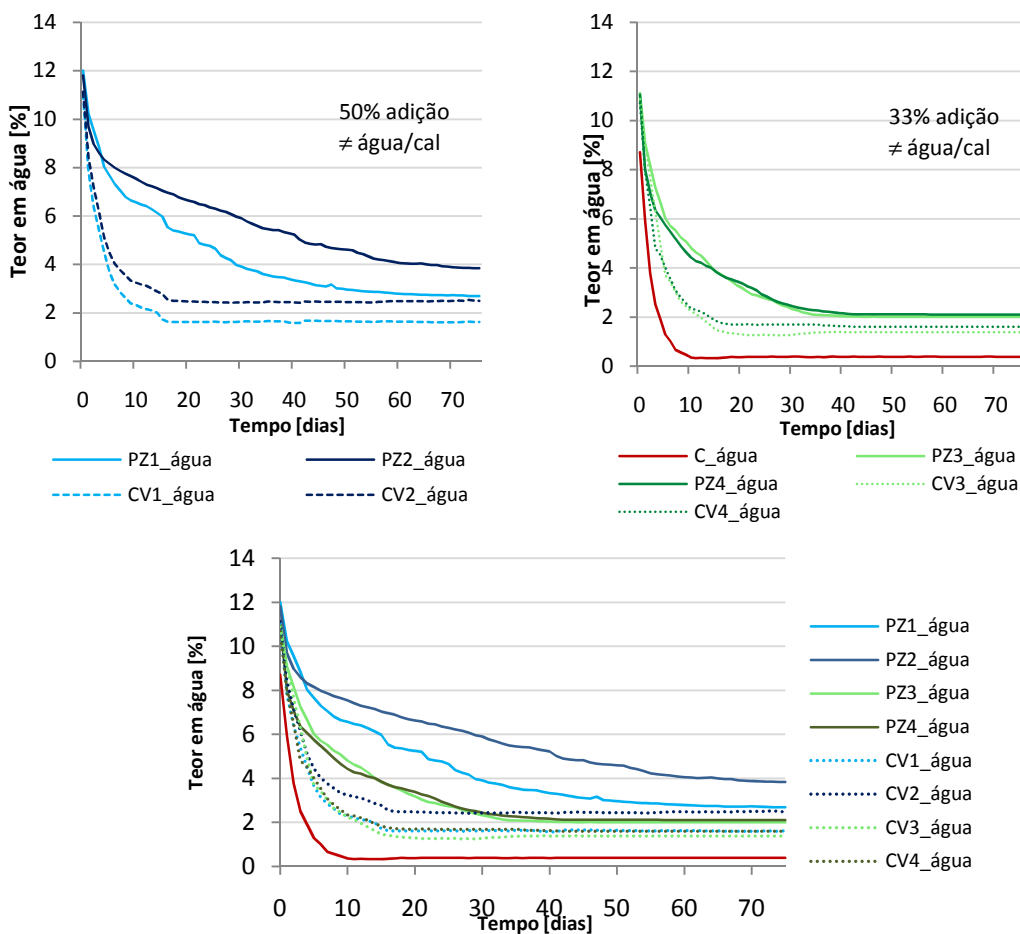


Figura 23- Cinética de secagem de água das argamassas formuladas com e sem adições pozolânicas

Na Figura 24 encontram-se representadas as curvas de secagem correspondentes à evaporação de solução salina.

Verifica-se que a influência dos sais na secagem de todas as argamassas em estudo se traduziu numa diminuição da cinética de secagem quando comparada com a de evaporação de água. Este facto deve-se à presença dos sais que bloqueiam os poros após ocorrer a sua cristalização, dificultando o processo de evaporação da água.

Relativamente à cinética de secagem de solução salina verifica-se que a diminuição da relação água/cal atrasa e dificulta o processo de secagem.

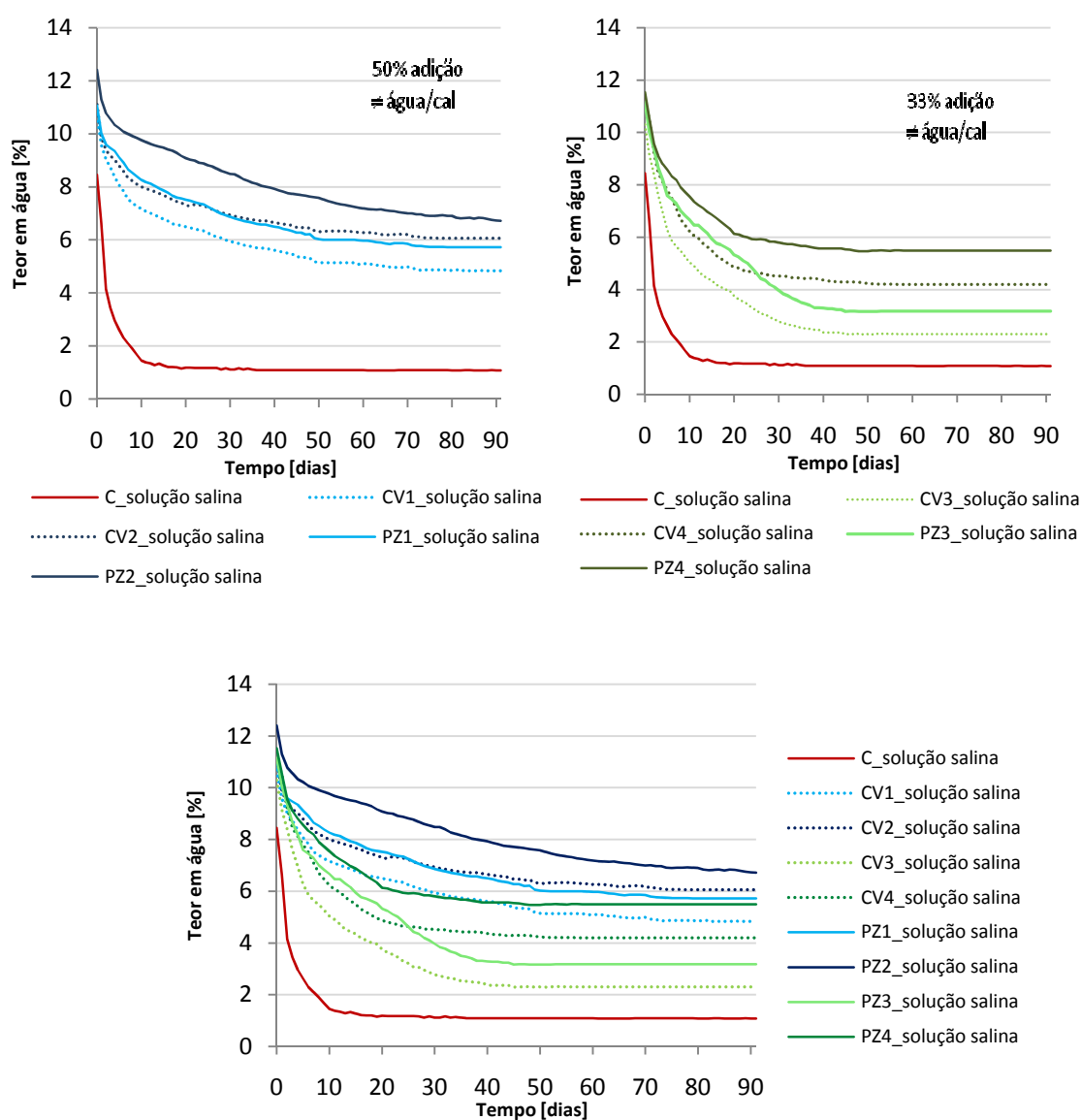


Figura 24- Cinética de secagem de solução salina das argamassas formuladas com e sem adições pozolânicas

Na Tabela 13 encontram-se os índices de secagem das várias formulações de argamassas para os ensaios de secagem realizados após imersão em água e após imersão em solução salina.

Quanto menor for o índice de secagem mais completa será a secagem da argamassa. Verifica-se que a argamassa com secagem mais completa é a argamassa sem adições. A presença de adições vai influenciar o processo de secagem, uma vez que quanto maior o seu teor maior o índice de secagem. Relativamente ao tipo de adição, observa-se que as argamassas com cinza volante têm uma secagem mais completa. Em geral, o índice de secagem obtido para as argamassas imersas em solução salina é superior, significando que a secagem é menos completa e se processa mais lentamente.

Tabela 13- Índice de secagem

Adição	Traço	Argamassa	Consistência [%]		Índice de Secagem (água)	Índice de Secagem (solução salina)
			a/cal			
-	1:8	C	65	1,55	0,07	0,16
Pozolana de Cabo Verde	1:1:8	PZ1	80	1,62	0,36	0,61
		PZ2	65	1,55	0,48	0,66
	1:0,5:8	PZ3	72	1,62	0,27	0,38
		PZ4	65	1,58	0,27	0,53
	Cinza Volante	1:1:8	CV1	108	1,62	0,19
CV2			65	1,40	0,26	0,62
1:0,5:8		CV3	102	1,62	0,17	0,31
		CV4	65	1,37	0,19	0,44

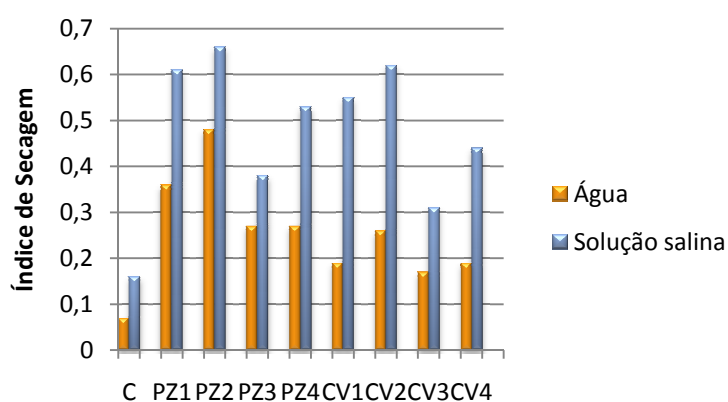


Figura 25- Índice de secagem.

Na Tabela 14 estão indicados os valores médios da massa volúmica aparente, da massa volúmica real e da porosidade aberta e os respectivos valores de desvio padrão para cada argamassa estudada aos 14 dias.

Tabela 14- Valores médios e desvio-padrão da massa volúmica aparente e porosidade (14 dias)

Adição	Traço	Argamassa	Consistência	MV_{apa} [kg/m ³]	MV_{real}	P_{ab}
			[%] a/cal			
Pozolana de Cabo Verde	1:1:8	PZ1	80 1,62	1852,5 ± 0,1	2569,6 ± 3,2	27,9 ± 0,0
		PZ2	65 1,55	1865,9 ± 0,5	2562,4 ± 9,2	27,2 ± 0,3
	1:0,5:8	PZ3	72 1,62	1868,2 ± 0,6	2590,9 ± 5,6	27,9 ± 0,4
		PZ4	65 1,58	1857,5 ± 0,5	2589,4 ± 5,1	28,3 ± 0,2
Cinza Volante	1:1:8	CV1	108 1,62	1925,4 ± 0,3	2570,4 ± 6,2	25,1 ± 0,2
		CV2	65 1,40	1932,5 ± 0,3	2556,4 ± 5,2	24,4 ± 0,2
	1:0,5:8	CV3	102 1,62	190,89 ± 0,9	2575,0 ± 12,5	25,9 ± 0,5
		CV4	65 1,37	1928,7 ± 1,0	2588,6 ± 6,0	25,5 ± 0,2

Observando os valores obtidos, verifica-se que as argamassas com pozolana de Cabo Verde revelaram valores superiores de porosidade ($\approx 24-26\%$) face ao registado nas argamassas com cinza volante, Figura 26. Este facto é coerente com os valores superiores de absorção de água, tanto por imersão às 48h como por capilaridade. Por outro lado, a existência de maior porosidade poderia implicar menores resistências mecânicas, facto que não se verifica neste estudo, provavelmente devido à maior reactividade da pozolana de Cabo Verde.

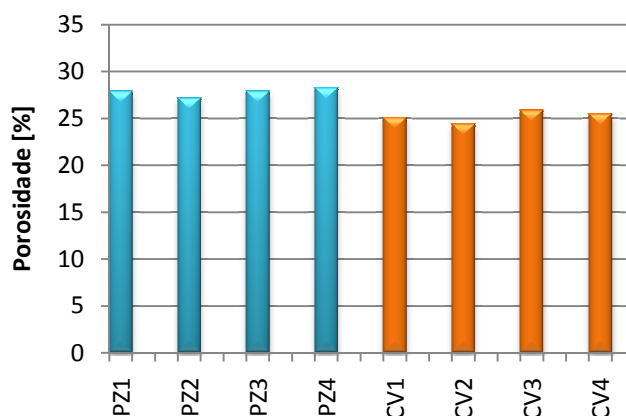


Figura 26- Porosidade

Com excepção das argamassas PZ1 e PZ3, formuladas com igual razão água/cal e diferentes dosagens de pozolana de Cabo Verde, o incremento da dosagem de adição originou menores valores de porosidade. Por outro lado, os resultados obtidos apontam para que o incremento da razão água/cal seja responsável pelo aumento da porosidade de argamassas com igual traço.

Embora no âmbito do presente estudo não tenha sido avaliada a porosidade da argamassa de cal aérea aos 14 dias, verificou-se noutro estudo consultado que a porosidade das argamassas com pozolanas naturais é semelhante à registada em argamassa de cal aérea, e que as argamassas com adições de cinzas volantes apresentavam valores de porosidade aberta inferiores aos das argamassas de cal aérea (7). É importante salientar que, segundo outros autores (54), as adições pozolânicas tendem a originar uma diminuição da porosidade.

Evolução das características ao longo do tempo

Nesta fase pretende-se cumprir um dos principais objectivos deste estudo que é compreender o desempenho de diferentes argamassas e a influência das adições pozolânicas em argamassas para utilização em rebocos de substituição. Para isso, efectua-se uma análise da evolução das características das diferentes formulações de argamassas a partir de ensaios de caracterização mecânica e física realizados aos 14, 60 e 90 dias.

A caracterização dos provetes prismáticos foi efectuada para os 14, 60 e 90 dias, e a caracterização dos provetes em que as argamassas foram aplicadas como camadas de revestimento de tijolos foi efectuada para os 14 e 90 dias de idade. Tal como anteriormente referido, nesta fase apenas serão objecto de estudo as argamassas com espalhamento de 65%, nomeadamente PZ2, PZ4, CV2, CV4, C e C*.

4.4.2.1 Caracterização mecânica das argamassas - Provetes prismáticos

Na Tabela 15 são apresentados os valores médios e respectivos valores de desvio-padrão das tensões de rotura à flexão e à compressão e da velocidade ultra-sons das argamassas com consistência de 65%, para todas as idades de ensaio.

Tabela 15 Evolução das tensões de rotura à flexão e à compressão e velocidade ultra-sons

Adição	Traço	Argamassa	a/cal	Idade	f_{cf} médio [MPa]	f_c médio [MPa]	Velocidade média de ultra-sons [m/s]
-	1:8	C*	1,62	14	0,20 ± 0,02	0,40 ± 0,04	1460 ± 35
				60	0,40 ± 0,01	1,00 ± 0,05	1630 ± 150
				90	0,40 ± 0,02	1,10 ± 0,05	1710 ± 20
-	1:8	C	1,62	14	0,19 ± 0,03	0,31 ± 0,01	1043 ± 21
				60	0,29 ± 0,02	0,66 ± 0,07	1431 ± 93
				90	0,31 ± 0,03	0,80 ± 0,05	1490 ± 47
Pozolana de Cabo Verde	1:1:8	PZ2	1,55	14	0,99 ± 0,07	4,68 ± 0,15	1874 ± 24
				60	0,47 ± 0,02	4,79 ± 0,34	1321 ± 31
				90	0,71 ± 0,02	4,84 ± 0,22	1569 ± 17
	1:0,5:8	PZ4	1,58	14	0,32 ± 0,03	2,01 ± 0,22	1139 ± 35
				60	0,37 ± 0,02	2,16 ± 0,13	1213 ± 39
				90	0,44 ± 0,02	2,59 ± 0,20	1296 ± 63
Cinza Volante	1:1:8	CV2	1,40	14	0,05 ± 0,02	0,73 ± 0,16	1551 ± 62
				60	0,36 ± 0,04	1,30 ± 0,09	1600 ± 17
				90	0,15 ± 0,07	1,44 ± 0,03	1613 ± 11
	1:0,5:8	CV4	1,37	14	0,17 ± 0,07	0,50 ± 0,06	1153 ± 33
				60	0,28 ± 0,03	0,79 ± 0,03	1414 ± 22
				90	0,31 ± 0,01	0,96 ± 0,06	1425 ± 39

Relativamente à resistência à compressão verifica-se para todas as argamassas um acréscimo da resistência ao longo do tempo, com excepção de PZ4. A resistência mecânica da argamassa PZ4 constituída por uma mistura ligante com 50% de pozolana de Cabo Verde revelou reduzida evolução ao longo do tempo, Figura 27.

Verifica-se que todas as argamassas formuladas com adições pozolânicas apresentam resistências à compressão superiores à argamassa de cal aérea (C), com excepção de CV4. Observa-se também que, as resistências são superiores para as argamassas com pozolana de Cabo Verde relativamente às argamassas constituídas por cinza volante.

O teor da adição (PZ2 e CV2) revelou bastante influência na resistência mecânica das argamassas, dado que as argamassas com maior teor de adição apresentam valores superiores de resistência.

Comparando os resultados obtidos com outro estudo (82) verifica-se que tanto a argamassa de cal aérea sem adições, como as argamassas de cal aérea com adições de cinza volante, apresentam valores de resistência à compressão aos 90 dias coerentes. Por sua vez, as argamassas com adições pozolânicas naturais apresentam valores significativamente superiores sendo que no estudo referido os valores de tensão de rotura à compressão aos 90 dias rondam os 1,12MPa.

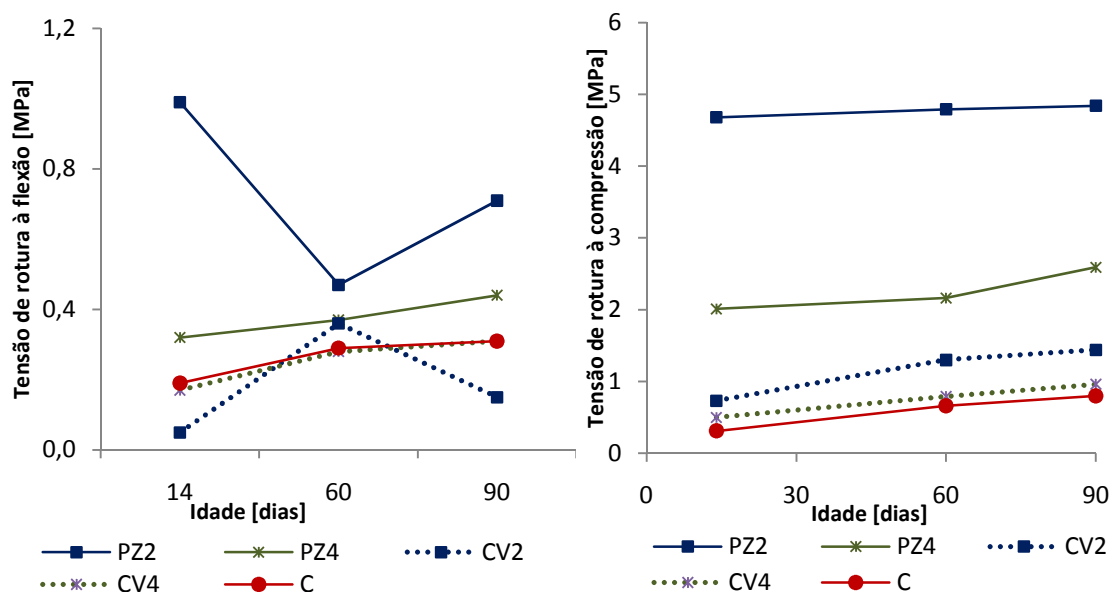


Figura 27- Evolução da tensão de rotura à flexão e à compressão

No que se refere aos valores da tensão de rotura à flexão obtidos (Figura 27), todas as argamassas formuladas com adições pozolânicas revelaram tensões de rotura da ordem de grandeza das registadas na argamassa de cal aérea, com excepção de PZ2. A argamassa formulada com uma mistura ligante constituída por 50% de pozolana de Cabo Verde (PZ2) revelou resistência à flexão claramente superior às restantes.

Outros estudos realizados (82), apresentam elevadas resistências à flexão para as argamassas com adições de cinza volante, sendo que este valor se mantém pouco variável ao longo do tempo.

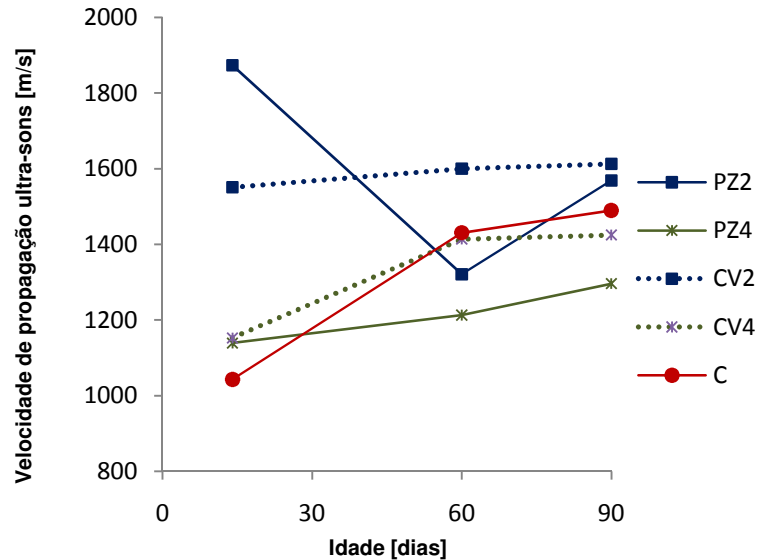


Figura 28- Evolução da velocidade de ultra-sons das argamassas em provetes prismáticos.

Na maioria das argamassas ocorre um aumento da velocidade de propagação de ultra-sons com o avançar da idade, com excepção da argamassa PZ2 que apresentou o valor máximo aos 14 dias, decrescendo significativamente aos 60 dias e voltando a aumentar aos 90 dias. Com excepção da argamassa PZ2, pode-se considerar o andamento da evolução da velocidade de propagação de ultra-sons coerente com a evolução registada para a resistência à compressão.

Contrariamente ao que se verificou nos ensaios tensão de rotura à compressão e à flexão, obtiveram-se velocidades de propagação de ultra-sons superiores para as argamassas que continham na sua formulação adições de cinza volante quando comparadas com as de pozolana natural.

Muito embora não tenham sido observadas fissuras ou descontinuidades nos provetes prismáticos é importante salientar que este ensaio é muito afectado pela presença de vazios ou fissuras.

4.4.2.2 Caracterização física das argamassas - Provetes prismáticos

A Tabela 16 apresenta os valores dos coeficientes de absorção de água por capilaridade, os valores assintóticos e o teor em água às 48h das diversas argamassas para as idades de 14, 60 e 90 dias.

Tabela 16– Evolução dos Coeficientes de capilaridade, valores assintóticos e teor em água às 48h das argamassas com consistência de 65%.

Adição	Traço	Argamassa	a/cal	Idade	Coef. Capilaridade [kg/m ² .s ^{1/2}]	R ²	Valor Assintótico	Teor em água às 48h [%]
-	1:8	C*	1,62	60	0,36	0,97	27,5	9,3
				90	0,41	0,97	29,0	9,4
-	1:8	C	1,55	14	0,12	0,98	15,3	9,1
				60	0,30	0,97	24,9	9,4
				90	0,34	0,98	27,8	12,7
Pozolana de Cabo Verde	1:1:8	PZ2	1,55	14	0,11	1,00	20,2	11,0
				60	0,16	1,00	23,4	12,5
				90	0,13	0,99	21,3	11,6
	1:0,5:8	PZ4	1,58	14	0,36	0,98	34,2	11,6
				60	0,22	1,00	22,3	11,5
				90	0,17	0,99	20,9	11,5
Cinza Volante	1:1:8	CV2	1,40	14	0,12	1,00	19,4	10,0
				60	0,12	1,00	19,4	9,9
				90	0,13	1,00	19,0	9,7
	1:0,5:8	CV4	1,37	14	0,23	0,97	29,9	9,9
				60	0,13	1,00	19,4	9,6
				90	0,12	0,99	16,9	8,6

Aos 60 e 90 dias de idade, a franja líquida atingiu o topo dos provetes após decorridas 3 a 6 horas, verificando-se uma diminuição do tempo quando comparado com o intervalo de tempo obtido aos 14 dias (6 a 8 horas).

Os gráficos que se seguem apresentam as curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas estudadas para as diferentes idades, Figura 29.

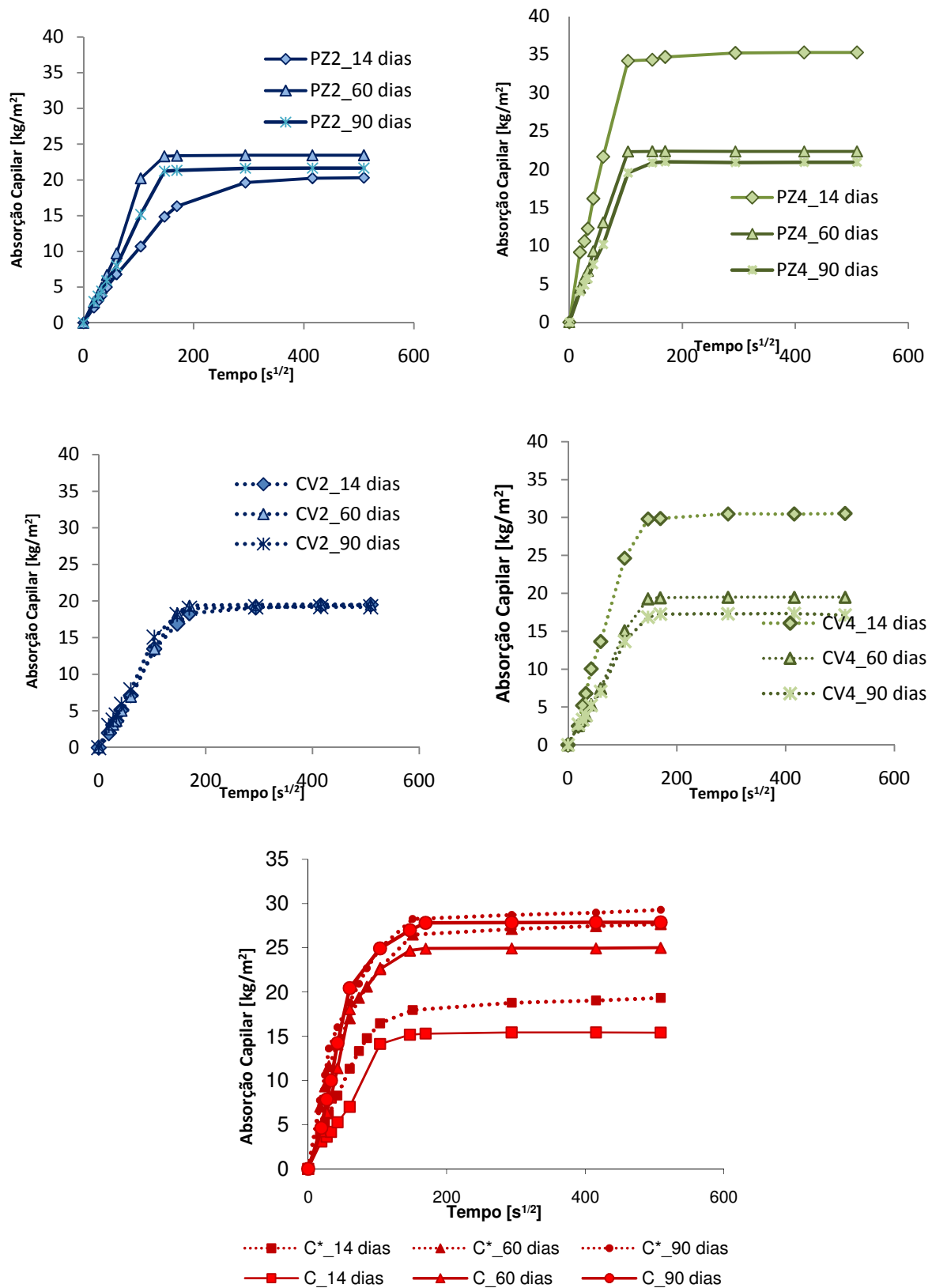


Figura 29- Evolução da absorção capilar das argamassas.

Analisando a evolução de cada argamassa ao longo do tempo, verifica-se que a argamassa de cal aérea aumentou o seu coeficiente de capilaridade assim como o valor assintótico ao longo do tempo. Esta evolução é coerente com o estudo realizado anteriormente, C^* , (68). Estes valores podem ser indicativos de um possível aumento da dimensão dos poros e da porosidade aberta com o passar do tempo.

Nas argamassas com adições de cinzas volantes, verifica-se que o teor de adições tem influência nos resultados, sendo que no caso da argamassa com maior teor não ocorrem variações significativas no valor assintótico e no coeficiente de capilaridade ao longo do tempo. No caso da argamassa de menor teor de cinzas volantes ocorre uma diminuição ao longo do tempo dos valores assintóticos e dos coeficientes de capilaridade.

Nas argamassas com adições pozolânicas naturais verifica-se que nas argamassas com maior teor de adições os valores máximos do coeficiente de capilaridade e do valor assintótico ocorrem aos 60 dias, embora os valores sejam relativamente próximos. À semelhança do que acontece com argamassas com menor teor de cinzas volantes, os valores assintóticos e os coeficientes de capilaridade das argamassas com adições de pozolanas naturais diminuem ao longo do tempo.

Pode então dizer-se que a capacidade de absorção de água das argamassas formuladas com uma mistura ligante constituída por 50% de adição não registou evolução com a idade das argamassas, enquanto nas argamassas com menor teor de adições se verifica uma redução da capacidade de absorção, o que pode significar uma redução da dimensão dos poros e da porosidade na argamassa.

Em estudos realizados (82), as argamassas com adição de pozolana de Cabo Verde apresentam coeficientes de capilaridade baixos e são as argamassas com menor absorção de água sendo que estas diminuem com a idade, facto que não se verifica nos resultados obtidos.

Tomando como referência as características de absorção das argamassas estudadas com 90 dias de idade é possível verificar que a presença das adições foi responsável pela redução da capacidade de absorção das argamassas de cal, nomeadamente através da redução dos coeficientes de absorção de água por capilaridade e do valor assintótico. Assim, pode-se dizer que as adições pozolânicas reduziram as características de absorção das argamassas.

Os resultados obtidos apontam para que ambas as adições possam ser responsáveis pelo incremento do teor em água, sendo esta tendência pelo incremento do teor em água, sendo esta tendência mais notória nas argamassas formuladas com Pozolana de Cabo Verde,

Figura 30. No que se refere à influência do desenvolvimento do processo de endurecimento, os valores do teor em água apontam para que as características de absorção das argamassas possam ser alteradas nas situações em que a mistura ligante seja constituída por 50% de adição pozolânica.

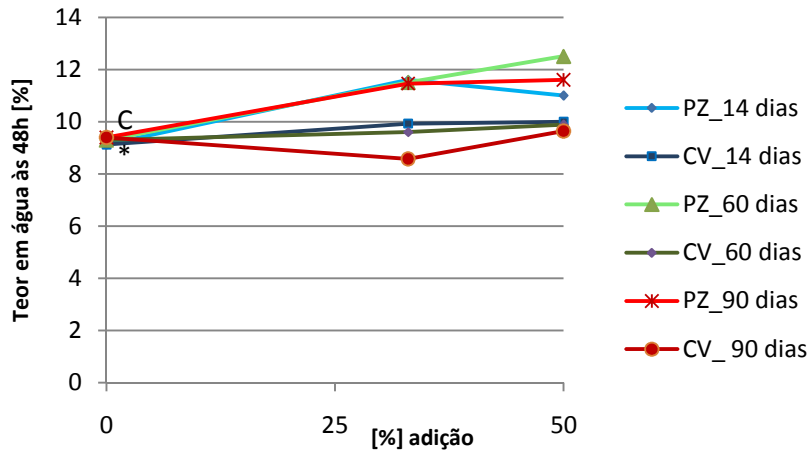


Figura 30- Evolução do teor em água às 48h

As Figura 31 e 32 e apresentam as curvas de secagem resultantes da evaporação de água e solução salina das argamassas para as idade de 14, 60 e 90 dias para cada uma das argamassas.

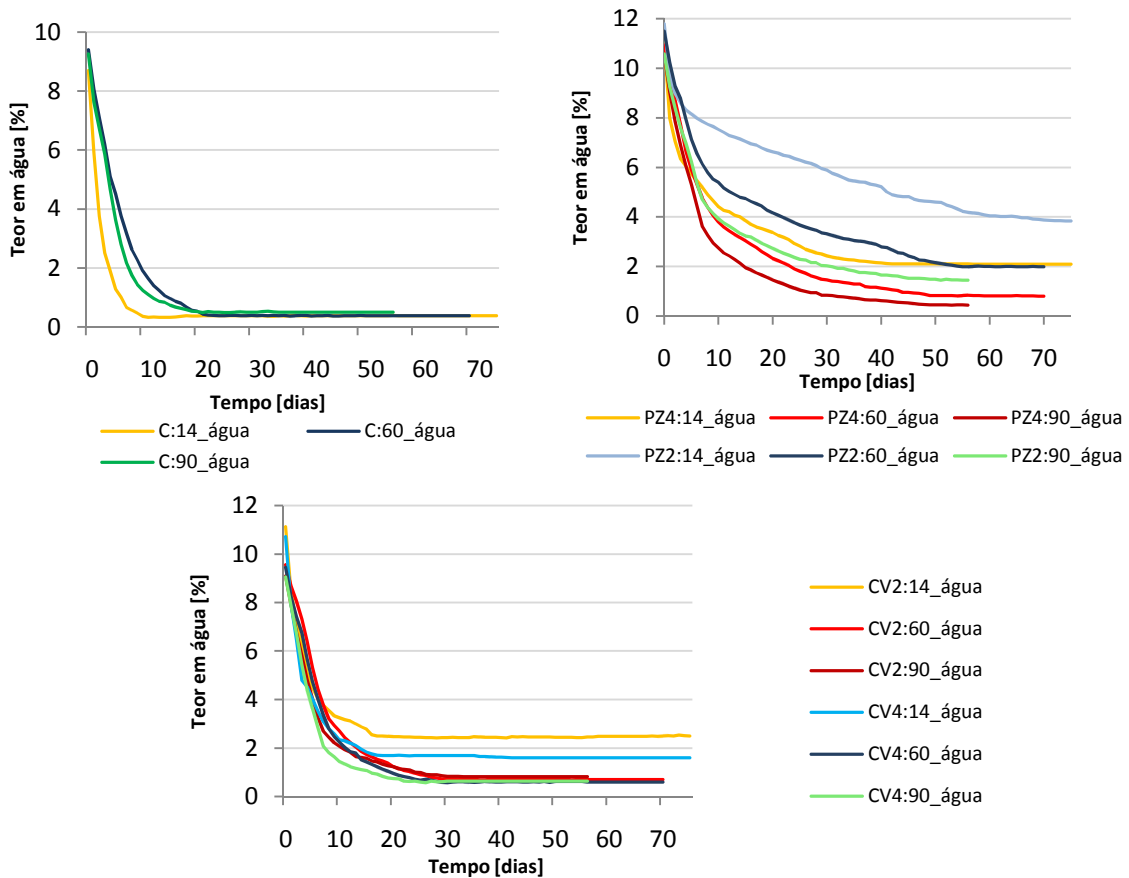


Figura 31- Evolução da cinética de secagem por imersão em água das argamassas.

As argamassas com adições apresentam uma secagem mais completa com o incremento da idade. Este facto é mais expressivo nas argamassas formuladas com Pozolana de Cabo Verde. Verifica-se também que, no caso das argamassas formuladas com cinza volante a cinética de secagem não é muito influenciada com o evoluir do tempo, sendo o seu comportamento mais próximo do revelado pela argamassa de cal aérea, C.

A análise das diversas curvas de secagem aponta para que o teor em água das argamassas formuladas com adições pozolânicas no final do ensaio se aproxime do teor em água obtido para a argamassa de cal aérea com o incremento da idade das argamassas. A argamassa PZ2 foi a que atingiu o fim do ensaio com maior teor em água, comportamento semelhante foi identificado através das curvas de secagem relativas à evaporação de solução salina,(Figura 24, Tabela 17).

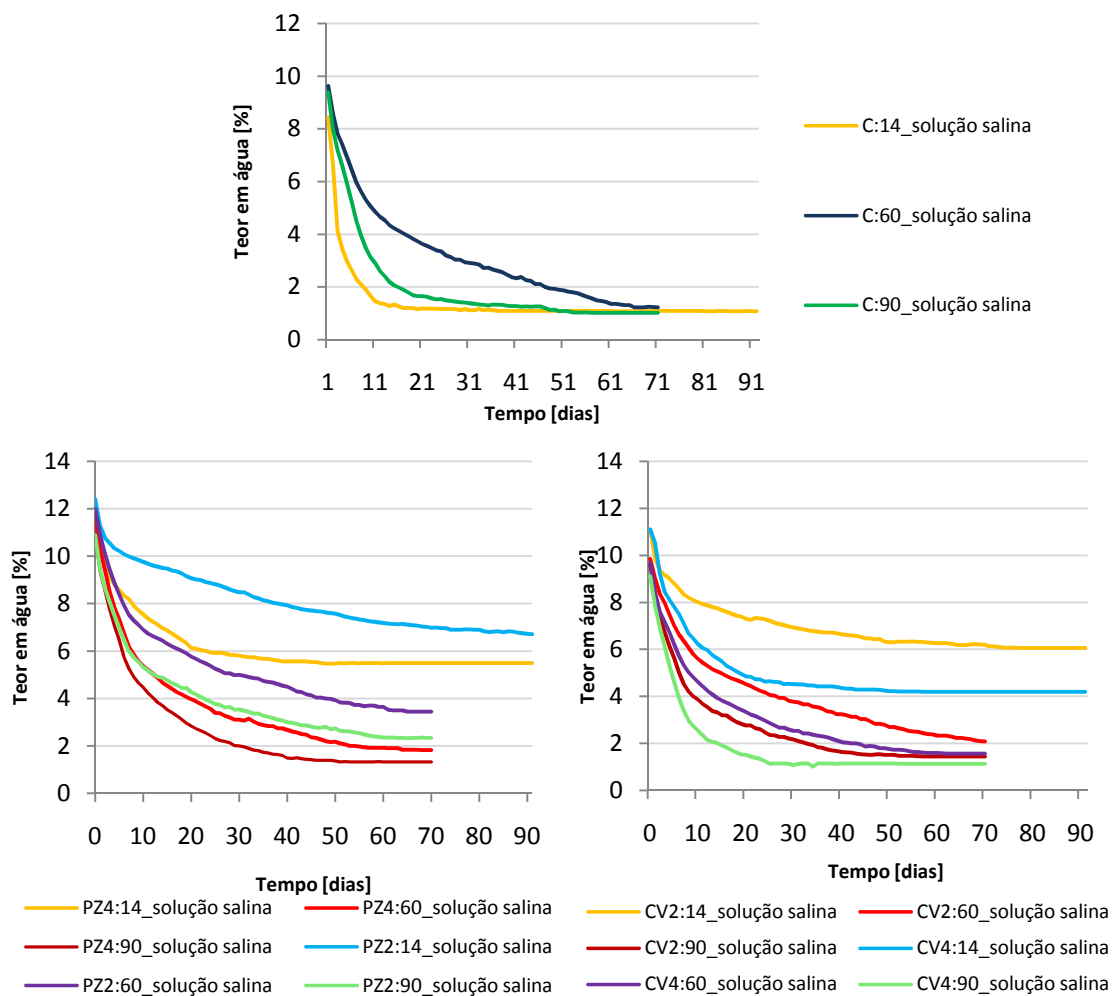


Figura 32- Evolução da cinética de secagem das argamassas após sua imersão em solução salina

Tabela 17- Evolução do teor em água inicial e final , dos tempos de secagem e do valor médio de índice de secagem para as argamassas

Adição	Traço	Argamassa	a/cal	Idade	Imersão em água					Imersão em solução salina				
					W_i [%]	W_f [%]	$W_f - W_i$ [%]	tempo de secagem [dias]	IS	W_i [%]	W_f [%]	$W_f - W_i$ [%]	tempo de secagem [dias]	IS
-	1:8	C	1,55	14	8,70	0,38	8,32	11	0,07	8,45	1,09	7,36	35	0,16
				60	9,40	0,38	9,02	23	0,12	9,64	1,23	8,41	> 65	0,32
				90	9,26	0,50	8,76	21	0,13	9,34	1,02	8,32	52	0,21
Pozolana de Cabo Verde	1:1:8	PZ2	1,55	14	11,80	3,84	7,96	70	0,48	12,42	6,72	5,70	87	1,66
				60	11,49	2,00	9,49	55	0,32	11,98	3,44	8,54	66	0,43
				90	10,58	1,45	9,13	51	0,28	10,9	2,33	8,57	59	0,35
	1:0,5:8	PZ4	1,58	14	11,06	2,10	8,96	42	0,27	11,53	5,49	6,04	47	0,53
				60	10,94	0,81	10,13	49	0,20	11,58	1,82	9,76	64	0,31
				90	10,58	0,44	10,14	49	0,17	10,95	1,33	9,62	51	0,24
Cinza Volante	1:1:8	CV2	1,4	14	11,12	2,49	8,63	26	0,26	11,1	6,06	5,04	74	0,62
				60	9,55	0,70	8,85	32	0,17	9,85	2,08	7,77	> 68	0,40
				90	9,09	0,82	8,27	30	0,15	9,59	1,44	8,15	56	0,27
	1:0,5:8	CV4	1,37	14	10,72	1,60	9,12	36	0,19	11,1	4,20	6,90	62	0,44
				60	9,46	0,60	8,86	28	0,15	9,67	1,57	8,10	58	0,31
				90	9,06	0,63	8,43	22	0,15	9,11	1,14	7,97	25	0,20

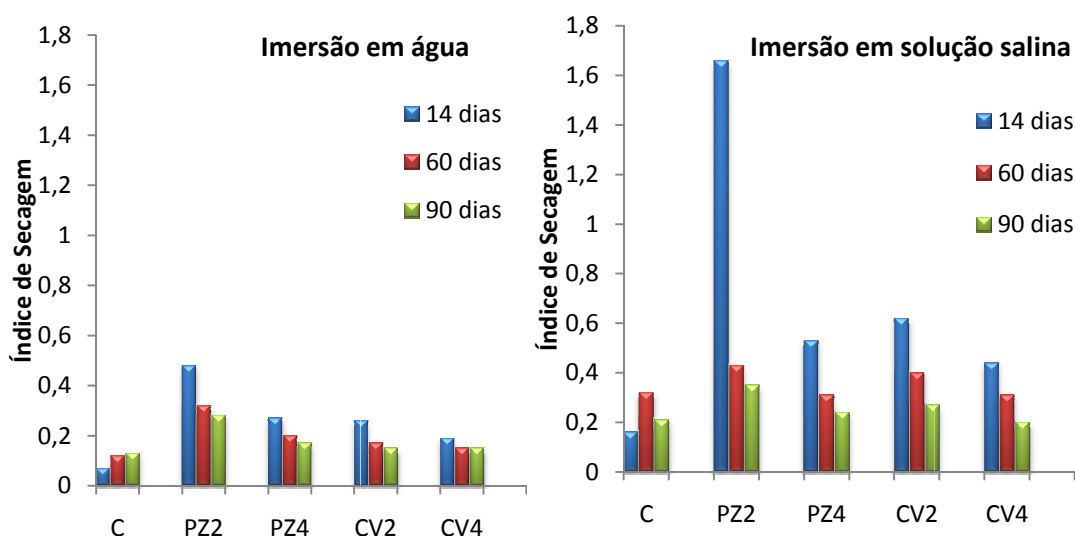


Figura 33-Evolução do índice de secagem das argamassas em estudo

Na Figura 33 encontram-se representados os valores dos índices de secagem das argamassas para as diferentes idades para a cinética de secagem em água e solução salina.

Verifica-se uma diminuição do índice de secagem ao longo do tempo para as argamassas com adições, revelando uma secagem mais completa com o avançar da idade. Os valores obtidos para o índice de secagem imersão das argamassas imersas em solução salina são superiores para todas as idades significando que a secagem é menos completa e se processa mais lentamente.

Nestes ensaios as condições atmosféricas afectam significativamente os resultados podendo explicar as pequenas oscilações que ocorrem nas curvas de secagem, dado que o aumento da humidade relativa e a diminuição da temperatura podem originar um ligeiro aumento do teor em água dos provetes, assim como influenciar o tempo de ensaio necessário até ao valor do teor em água estabilizar. Outro factor que pode também ter influência nos resultados é a presença de fissuras, que embora não tenham sido observadas visualmente, podem existir no interior dos provetes.

A velocidade de carbonatação permite avaliar o ritmo de carbonatação das argamassas. A Tabela 18 apresenta os valores médios da espessura carbonatada.

Tabela 18- Evolução da espessura carbonatada das argamassas para as idades de 14, 60 e 90 dias

Adição	Traço	Argamassa	a/cal	Idade	E.C.média [mm]
-	1:8	C*	1,62	60	14,0 ± 2,2
				90	20,0 ± 00,8
-	1:8	C	1,55	14	2,8 ± 0,3
				60	10,3 ± 0,4
				90	19,1 ± 1,4
Pozolana de Cabo Verde	1:1:8	PZ2	1,55	14	3,0 ± 0,5
				60	6,3 ± 0,4
				90	7,0 ± 1,4
	1:0,5:8	PZ4	1,58	14	3,0 ± 0,2
				60	8,1 ± 0,3
				90	13,4 ± 0,5
Cinza Volante	1:1:8	CV2	1,40	14	0,0 ± 0,0
				60	10,6 ± 4,2
				90	17,4 ± 1,2
	1:0,5:8	CV4	1,37	14	3,8 ± 0,7
				60	10,9 ± 3,1
				90	17,4 ± 1,7

Os resultados obtidos permitem verificar que para todas as situações em análise, argamassa de cal aérea e argamassas formuladas com adições pozolânicas, registou-se incremento da espessura carbonatada com o incremento da idade das argamassas.

No que se refere à evolução da carbonatação no tempo, a argamassa de cal aérea foi a que revelou maior velocidade de carbonatação.

A análise dos valores de espessura carbonatada avaliados nas argamassas formuladas com adições permite verificar que as argamassas com cinza volante foram as que revelaram maiores valores, bem como valores não influenciados pelo teor de cinza volante presente. Este facto justifica-se, possivelmente, pela reduzida reactividade manifestada pela cinza volante, que por sua vez pode ter sido responsável pelo maior teor em carbonato de cálcio presente resultante da carbonatação de maior percentagem de hidróxido de cálcio livre. A carbonatação, e sua evolução, das argamassas com pozolana de Cabo Verde originou maiores espessuras carbonatadas nas argamassas formuladas com menor teor de adição.

4.4.2.3 Caracterização das argamassas aplicadas como camada de revestimento

Relativamente à avaliação da retracção das argamassas aplicadas em cantoneiras, verificou-se a presença de uma fissura no centro da calha da argamassa PZ2, como se pode ver na Figura 34, que ocorreu logo na fase inicial do ensaio, não se tendo registado evolução ao longo do tempo. Esta fissura provavelmente ocorreu devido a uma moldagem mal executada ou mesmo devido a algum problema resultante do transporte da cantoneira do local de execução até à câmara condicionada, uma vez que ocorreu logo no início



Figura 34- Fissura presente no revestimento da argamassa PZ2.

Nas restantes argamassas aplicadas em cantoneiras não se registou a presença de fissuras ou fendilhações. Todas as argamassas, incluindo a argamassa PZ2 apresentaram um bom comportamento nos topos das respectivas calhas.

As argamassas PZ2 e PZ4 aplicadas como camadas de revestimento de tijolos registaram o desenvolvimento de fissuras mesmo antes de terminar o tempo para se efectuar a desmoldagem.

Foi realizado o mapeamento da fissuração ocorrida com identificação das fissuras e avaliação da sua largura, para verificar o eventual desenvolvimento de novas fissuras e/ou do incremento da sua abertura. Passados os 90 dias não foi verificado nenhuma alteração das fissuras, (Figura 35 e Figura 37). Muito embora se tenha tentado minimizar ao máximo este problema na caracterização efectuada destas camadas de argamassa, a fissuração veio comprometer os resultados dos ensaios nelas realizados.

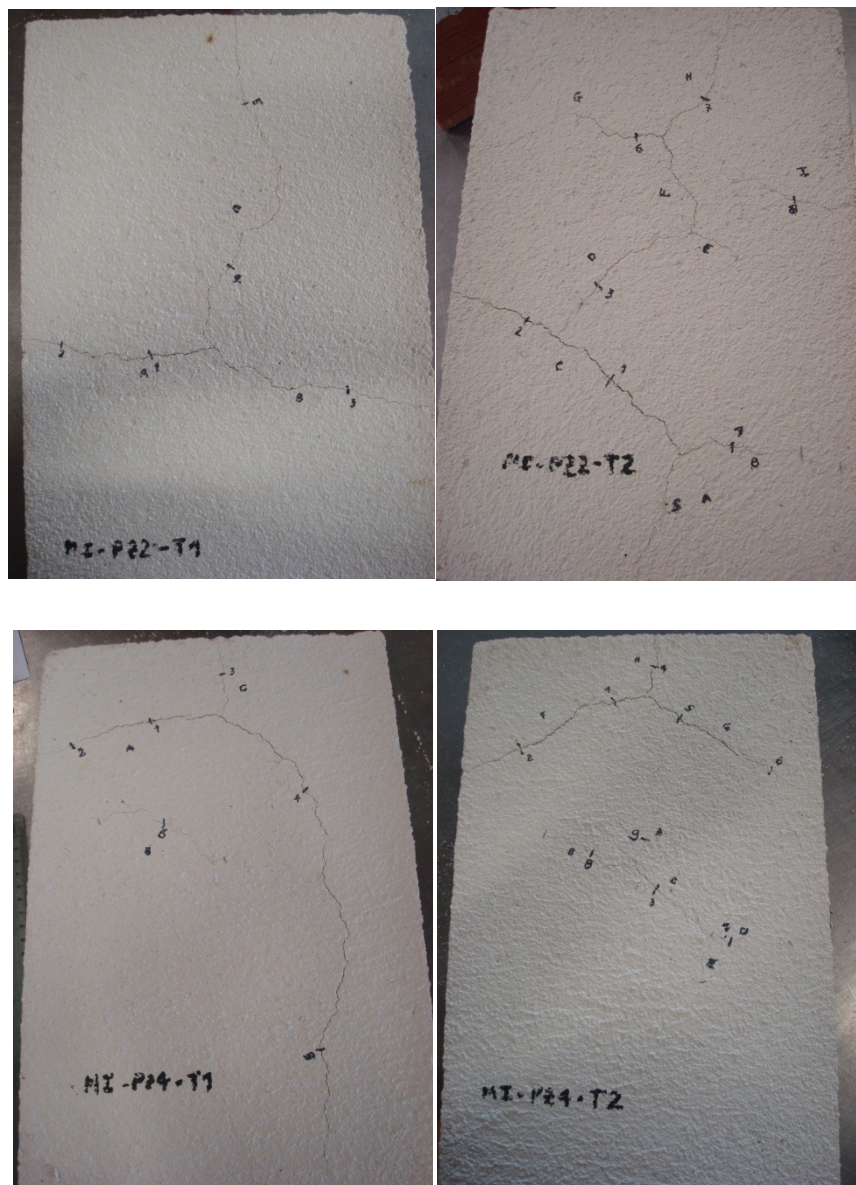


Figura 35- Mapeamento da fissuração nas argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos, PZ2 e PZ4.

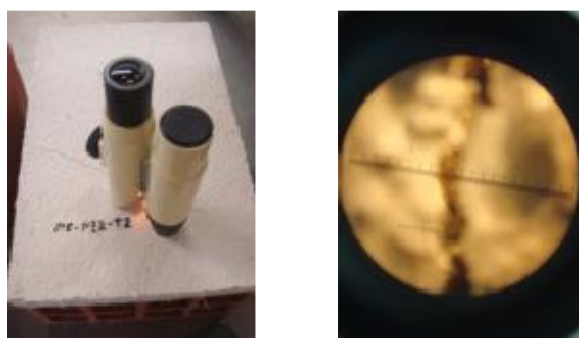


Figura 37- Fissurómetro.

A avaliação da velocidade de propagação de ultra-sons em tijolos foi realizada apenas aos 14 e 90 dias de idade das argamassas, Tabela 19.

Tabela 19- Velocidade de ultra-sons das argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos

Adição	Traço	Argamassa	a/cal	Idade	Velocidade média de ultra-sons [m/s]
-	1:8	C*	1,62	90	1970
-	1:8	C	1,55	14	2006
				90	1502
Pozolana de Cabo Verde	1:1:8	PZ2	1,55	14	240
				90	1554
	1:0,5:8	PZ4	1,58	14	<i>Inválido</i>
				90	
Cinza Volante	1:1:8	CV2	1,40	14	407
				90	1634
	1:0,5:8	CV4	1,37	14	390
				90	1112

Através da regressão linear realizada para as medições efectuadas obtiveram-se os factores de correlação que se encontram na Tabela 19. O valor da velocidade média foi obtido através da equação da recta da regressão linear efectuada, correspondendo o seu valor ao declive da recta mencionada.

Observando a evolução da velocidade de ultra-sons, verifica-se que ocorre um acréscimo deste valor para todas as argamassas com o tempo, com excepção da argamassa de cal sem adições que apresentou um valor superior aos 14 dias.

Não foi possível efectuar este ensaio para a argamassa PZ4, dado que a argamassa apresentava bastante fendilhação. No caso do tijolo com argamassa PZ2, apenas foi possível realizar as medições até aos 11cm para os 14 dias e 13 cm para os 90 dias devido também à ocorrência de fendilhação na superfície da camada de revestimento. Desta forma, os resultados de PZ2, poderão estar adulterados, visto que embora as fissuras pareçam superficiais, estas devem ter dificultado a propagação da onda, resultando um maior tempo de propagação da onda e conseqüentemente uma menor velocidade de ultra-sons. As fissuras destes dois provetes podem ser observadas adiante na Figura 35.

Os resultados obtidos aos 14 dias para as argamassas com adições pozolânicas são bastante inferiores quando comparados com a argamassa de cal aérea, facto que pode ser justificado pela possível existência de fissuração. No entanto aos 90 dias verifica-se um incremento significativo para este tipo de argamassas, facto que não era expectável.

Os valores da velocidade dos tijolos não são muito coerentes com os resultados obtidos nos provetes prismáticos, o que pode ser devido a eventuais descontinuidades nas camadas de argamassa, ou a um mau contacto entre a argamassa e os transdutores, ou até mesmo o processo de moldagem e desmoldagem do provete ter comprometido os resultados.

Deste modo, considera-se que os valores obtidos pelo método indirecto são de difícil interpretação e por isso pouco informativos.

O ensaio do esclerómetro pendular permite efectuar uma avaliação indirecta da resistência mecânica das argamassas aplicadas como revestimento em tijolo. Os resultados encontram-se na Tabela 20 assim como os respectivos valores de desvio padrão.

Tabela 20- Evolução dos valores médios dos ressaltos

Adição	Traço	Argamassa	a/cal	Idade	Ressalto
-	1:8	C	1,55	14	11 ± 6
				90	20 ± 6
Pozolanas Naturais	1:1:8	PZ2	1,55	14	24 ± 7
				90	<i>Inválido</i>
	1:0,5:8	PZ4	1,58	14	20 ± 4
				90	33 ± 3
Cinzas Volantes	1:1:8	CV2	1,40	14	19 ± 4
				90	20 ± 8
	1:0,5:8	CV4	1,37	14	10 ± 4
				90	20 ± 8

A camada de revestimento da argamassa com maior teor de pozolanas naturais, PZ2, ficou danificada quando da realização do ensaio aos 90 dias de pelo que apenas foi possível avaliar o valor do ressalto correspondente à idade de 14 dias.

As argamassas constituídas por pozolanas naturais apresentam valores superiores às restantes, verificando-se um aumento significativo do valor do ressalto da argamassa PZ4 com o tempo.

Aos 14 dias, o valor do ressalto da argamassa com maior teor de adições de cinzas volantes, CV2, é superior à argamassa sem adições pozolânicas, sendo que no caso da argamassa com menor teor de cinzas volantes apresenta um valor ligeiramente inferior.

Verifica-se um aumento do valor do ressalto com o evoluir da idade, sendo menos evidente para a argamassa com menor teor de cinzas volantes, CV2. Aos 90 dias tanto as argamassas com adições de cinzas volantes, como a argamassa sem adições pozolânicas apresentam valores muito aproximados.

De um modo geral, quanto maior o valor do ressalto, maior será a resistência à compressão. Comparando os resultados obtidos neste ensaio com os valores de tensão de rotura à compressão, verifica-se que os resultados obtidos para a argamassa sem adições pozolânicas e as argamassas com adições pozolânicas são coerentes, embora no caso da argamassa com maior teor em adições pozolânicas naturais, PZ2, não seja possível estabelecer comparações aos 90 dias devido à falta de resultados do ressalto.

É importante referir que os valores do desvio-padrão são elevados, denunciando a diferença de resultados consoante a zona onde a pancada foi efectuada. As leituras realizadas com o esclerómetro dependem da forma como este é posicionado no revestimento, dado que este apresenta irregularidades, aspecto que pode influenciar os resultados devido a um mau contacto entre o batente do esclerómetro e o revestimento. Outro factor que pode influenciar negativamente os resultados é a forma como se realiza a compactação da argamassa aquando da realização do molde, dado que pode originar fissuras, e estas afectarem os resultados.

Os valores obtidos para cada argamassa no caso de absorção de água sob baixa pressão, utilizando o método do cachimbo, encontram-se nos gráficos que se seguem.

Foram realizados três cachimbos por formulação, sendo que os resultados obtidos para cada um deles variaram bastante. Desta forma em vez de se utilizarem valores médios, foi realizada uma aproximação dos vários pontos a uma função potencial. A expressão de regressão, assim como o respectivo coeficiente de correlação encontram-se apresentados nos gráficos que se seguem.

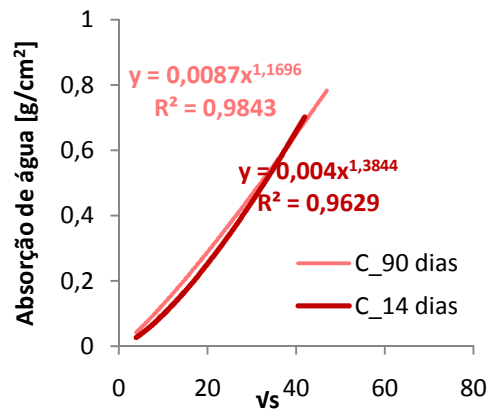
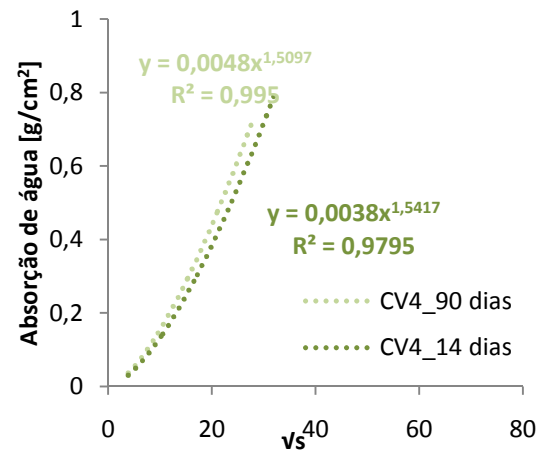
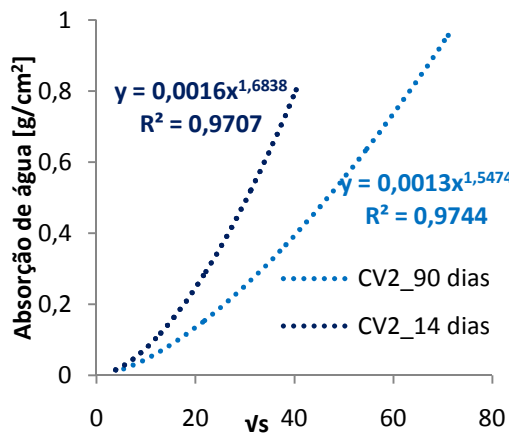
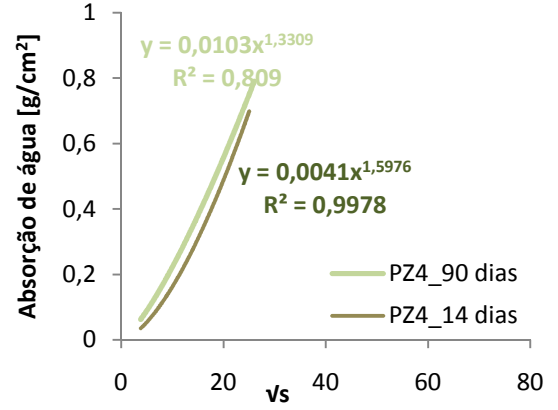
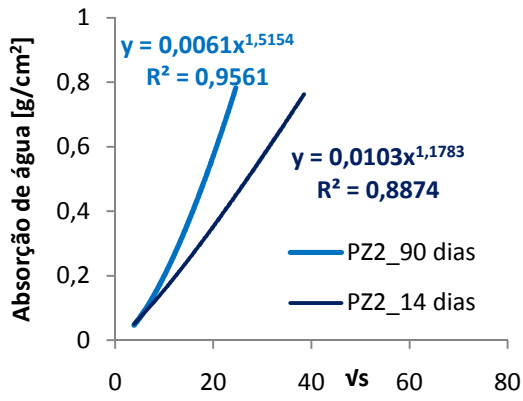


Figura 38- Evolução da absorção de água das argamassas.

Tabela 21- Absorção de água aos 2 minutos

Adição	Traço	Argamassa	a/cal	Idade	Absorção de água	Absorção de água
					aos 2min [g/cm ²]	aos 2min [ml]
-	1:8	C	1,55	14	0,14 ± 0,03	0,62 ± 0,18
				90	0,15 ± 0,01	1,77 ± 0,64
Pozolana de Cabo Verde	1:1:8	PZ2	1,55	14	0,20 ± 0,09	1,12 ± 0,51
				90	0,25 ± 0,07	0,88 ± 0,08
Cabo Verde	1:0,5:8	PZ4	1,58	14	0,19 ± 0,00	1,10 ± 0,00
				90	0,31 ± 0,11	0,88 ± 0,08
Cinza Volante	1:1:8	CV2	1,40	14	0,09 ± 0,01	0,53 ± 0,08
				90	0,06 ± 0,01	1,40 ± 0,42
Volante	1:0,5:8	CV4	1,37	14	0,15 ± 0,02	1,40 ± 0,42
				90	0,18 ± 0,01	1,05 ± 0,07

Antes de se iniciar a análise do comportamento das argamassas neste ensaio, é importante voltar a referir a existência de fissuração visível à superfície, das argamassas PZ2 e PZ4. Muito embora se tenha tentado minimizar a influência desta fissuração através do posicionamento dos cachimbos em zonas não fissuradas, as características de absorção avaliadas pelo método do cachimbo podem ser afectadas pela presença de fissuração.

Observando os gráficos verifica-se que as argamassas com maiores percentagens de adições, PZ2 e CV2, apresentam comportamentos diferentes ao longo do tempo. No caso da argamassa com adições de pozolana natural ocorre um aumento da absorção de água, ocorrendo o inverso para a argamassa com cinza volante. Verifica-se também que as argamassas com menor percentagem de adições apresentam um comportamento semelhante à argamassa de cal, não ocorrendo alterações significativas a nível da absorção de água com o evoluir do tempo. Este comportamento não é coerente com a evolução obtida pela determinação de absorção de água por capilaridade.

Comparando a quantidade de água absorvida aos 2 minutos, verifica-se uma maior quantidade de água absorvida das argamassas com adição de pozolana natural aumentando com a idade. A este tempo verifica-se uma quantidade de água semelhante na argamassa com menor teor de cinza volante e na argamassa de cal aérea. Por sua vez, a argamassa com menor teor em cinza volante apresenta valores de absorção de água inferiores aos restantes.

A Figura 39, apresenta a quantidade de água absorvida pelo método do cachimbo de todas as argamassas aos 14 dias de idade. A análise desta figura permite verificar que a presença de adições pozolânicas, independentemente de seu teor, foi responsável pelo incremento da capacidade de absorção da argamassa de cal avaliada por recurso a esta

metodologia. Comportamento semelhante foi identificado através da análise dos valores do teor em água. Note-se porém que a absorção de água por capilaridade facultou informação contrária, isto é, a presença de adições foi responsável pela redução da capacidade de absorção de água revelada pela argamassa de cal aérea.

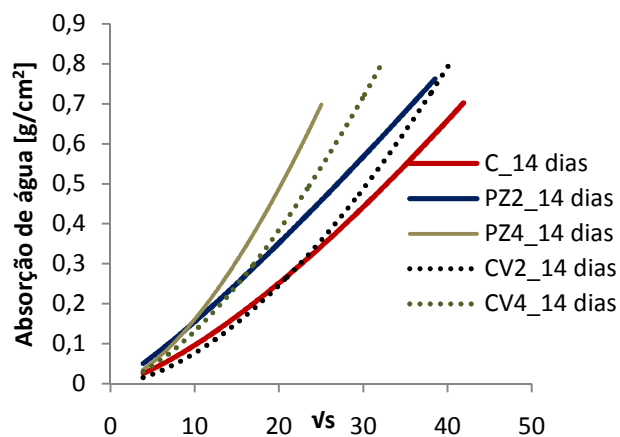


Figura 39- Absorção de água das diferentes argamassas aos 14 dias.

O estudo permitiu verificar que o teor de adições pozolânicas tem influência na absorção de água dado que as argamassas com maior teor de adição, PZ2 e CV2, apresentam menor capacidade de absorção de água comparativamente com as características das argamassas com menor teor de adição, PZ4 e CV4. O tipo de adição também se reflecte nos resultados, uma vez que comparando as argamassas com igual teor de adições, PZ2 e CV2, e, PZ4 e CV4, verifica-se que as argamassas formuladas com pozolana de Cabo Verde (PZ2 e PZ4) apresentam maior capacidade de absorção de água.

5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para dar resposta aos objectivos definidos, e indicados no capítulo 1, foram estudadas diversas argamassas formuladas com pozolana de Cabo Verde e cinza volante com diferentes percentagens destas adições de forma a se avaliar a influência da natureza da pozolana e do seu teor nas características das argamassas de cal aérea.

A caracterização das argamassas efectuadas teve como objectivo estudar o seu comportamento mecânico e físico bem como a susceptibilidade das argamassas á fissuração.

Todas as argamassas estudadas foram formuladas com areia amarela e areia de rio, em iguais proporções. A argamassa de cal aérea tomada como referência apresenta um traço em massa de 1:8. A partir deste traço são adicionadas pozolanas numa percentagem de 33% (traço em massa = 1:0,5:8) e de 50% (traço em massa = 1:1:8).

As condições de produção e cura foram mantidas constantes ao longo deste estudo.

Tal como esperado, as argamassas com consistência de aproximadamente 65% apresentam uma trabalhabilidade adequada à preparação dos provetes, verificando-se que as argamassas de consistência mais fluida, principalmente as argamassas de cinza volante, revelaram-se bastante fluidas.

O estudo efectuado permitiu verificar que para igual razão água/cal a presença de ambas as adições foi responsável pelo incremento da fluidez das argamassas, e que esta aumenta com o incremento da quantidade de adição presente. Para igual razão água/cal e teor de ambas as adições, a cinza volante incrementou de forma mais significativa a fluidez das argamassas.

A pozolana de Cabo Verde revelou-se determinante nas características mecânicas das argamassas com ela formuladas. Verificou-se também a influência relevante do teor de adição na mistura ligante, dado que do teor de pozolana de Cabo Verde foi responsável pelo incremento das tensões de rotura à compressão e flexão das argamassas. O incremento da razão água/cal nas argamassas formuladas com pozolana de Cabo Verde foi responsável pelo decréscimo da resistência mecânica.

No que se refere à evolução no tempo das características mecânicas das argamassas formuladas com pozolana de Cabo Verde, os resultados obtidos apontam para o incremento da resistência das argamassas formuladas com 33% de pozolana com a idade e a tendência de reduzida evolução das características mecânicas para as argamassas formuladas com teor mais elevado de pozolana (50%).

O estudo das características mecânicas das argamassas formuladas com cinza volante apontou para uma reduzida reactividade desta adição, dado que para ambos os teores estudados registou-se um reduzido incremento de resistência mecânica face ao manifestado pela argamassa de cal aérea tomada como referência. A influência da presença da cinza volante nas características mecânicas apenas foi clara quando esta foi incluída numa percentagem correspondente a 50% da mistura ligante. Esta reduzida reactividade possivelmente justifica o facto de se ter registado incremento das características mecânicas ao longo do tempo nestas argamassas, dada a importância que o desenvolvimento da carbonatação apresenta nestes casos para a evolução da resistência mecânica.

A presença das adições alterou as características físicas da argamassa de cal aérea. Tomando as características avaliadas aos 90 dias de idade, os resultados obtidos apontam para que as adições originem redução da capacidade de absorção de água da argamassa de cal, nomeadamente reduzindo o coeficiente de absorção de água por capilaridade e o valor assintótico.

No que se refere às características de secagem, a presença das adições alterou a cinética de secagem da argamassa de cal reduzindo a sua facilidade de secagem. A pozolana de Cabo Verde alterou de forma mais significativa as características de secagem da argamassa de cal, face ao registado nas argamassas formuladas com cinza volante, tendo-se registado a alteração mais significativa na argamassa formulada com maior teor de pozolana natural (50%). Muito embora a presença de cinza volante tenha reduzido a facilidade de secagem da argamassa de cal, as alterações registadas revelaram reduzida dependência do teor em cinza volante presente na mistura ligante.

As argamassas de cal com adições pozolânicas apresentam uma velocidade de secagem mais lenta que a argamassa de cal, verificando-se que todas as argamassas tendem a ter uma secagem mais completa com o evoluir do tempo, aproximando-se do comportamento da argamassa de cal. Verifica-se que as argamassas que apresentam um maior coeficiente de capilaridade, indicativo de uma absorção de água mais rápida, apresentam uma cinética de secagem mais rápida.

Todas as argamassas revelaram maior dificuldade de secagem associada à evaporação da solução salina face à registada para a água obtendo-se para todas as argamassas uma velocidade de secagem mais lenta.

A observação das argamassas aplicadas em cantoneiras e como camada de revestimento de tijolo, permitiu identificar a ocorrência de fissuração nas argamassas formuladas com pozolana de Cabo Verde.

Os valores de porosidade obtidos aos 14 dias de idade apontam para que as argamassas com igual percentagem de adição formuladas com a Pozolana de Cabo Verde apresentem maior porosidade face à que se obtêm por recurso à utilização de cinza volante

No que se refere à evolução das características de absorção de água no tempo, a caracterização da absorção de água por capilaridade efectuada aponta para a redução da capacidade de absorção das argamassas formuladas com um teor de 33% de adição e à tendência para a estabilização das características avaliadas aos 14 dias para as argamassas com 50% de adição.

Aos 90 dias o valor do coeficiente de capilaridade registado em todas as argamassas formuladas com ambas as adições é inferior a $0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$, que se constituem como um limite recomendado por (84), dado que não é recomendada a utilização de argamassas demasiado absorventes em rebocos. É desejável que a absorção de água das argamassas não seja elevada, sendo o valor máximo do coeficiente de capilaridade para argamassas de reboco verificando-se que todas as argamassas satisfazem esta condição. Ambas as adições incrementaram a absorção de água às 48h da argamassa de cal, não se verificando alterações significativas desta característica com a idade, contrariamente à argamassa de cal que regista incremento de absorção com a idade. O ensaio de absorção de água sob baixa pressão também revelou incremento da capacidade de absorção de água para as argamassas de cal com adições pozolânicas.

Os valores obtidos para a velocidade de propagação de ultra-sons em provetes prismáticos foram coerentes com os valores da resistência mecânica à compressão, obtendo-se uma boa correlação entre estas características.

A caracterização das argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolo permitiu identificar, através do recurso ao esclerómetro pendular, um incremento de resistência mecânica das argamassas devido à presença das adições, bem como a sua evolução no tempo. A avaliação da resistência mecânica por recurso à velocidade de US não se revelou sensível às variações de resistência mecânica observadas entre as argamassas, embora tenha sido registada uma evolução desta característica com o tempo.

O estudo efectuada demonstrou a influência da Pozolana de Cabo Verde e do seu teor na formulação das argamassas de cal aérea, dado que esta adição foi responsável por alterações das características mecânicas, físicas e do seu comportamento em relação à água. As cinzas volantes, por sua vez manifestaram reduzida reactividade pozolânica dada a reduzida

influência que manifestaram nas características da argamassa de cal. Porém a presença de cinza volante foi responsável pela alteração das características físicas da argamassa de cal, nomeadamente redução de porosidade, da capacidade de absorção de água e de secagem, apontando para que as alterações introduzidas tenham correspondido mais à sua acção como filler do que como adição pozolânica.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Tendo como objectivo aprofundar e desenvolver alguns aspectos relacionados com o estudo da influência das adições pozolânicas na formulação de argamassas de cal aérea destinadas a rebocos de substituição de edifícios, seria interessante o desenvolvimento dos seguintes estudos:

- Aprofundar o conhecimento das características e, em particular a reactividade, dos materiais pozolânicos;
- Estudar a influência das condições de cura no comportamento das argamassas de cal com adições pozolânicas;
- Estudo do comportamento de rebocos constituídos por argamassas de cal aérea com adições pozolânicas em casos reais de obra;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **CHAROLA, A.E., et al.** Pozzolanic Components in Lime Mortars: Correlating Behavior, Composition and Microstruture. *Restoration of Buildings and Monuments*. 2005, Vol. 11, pp. 111-118.
2. **VELOSA, A.L. e VEIGA, M.R.** The use of pozzolans as additives im lime mortars for employment in building rehabilitation. [ed.] P.B. Lourenço e P. Roca. *Historical Constructions*. 2001, pp. 373-380.
3. **PAULO, Raquel S. V. M. N.** *Caracterização de Argamassas Industriais*. Universidade de Aveiro. Aveiro : s.n., 2005. Dissertação de Mestrado.
4. **PINTO, A.P. e GOMES, A.** *Materiais de Construção I 2003/2004 - Volume 4 Ligantes Aéreos: Gesso e Cal hidratada*. Lisboa : AEIST- Secção de Folhas, 2003.
5. **COUTINHO, A. de Sousa.** Pozolanas, betões com pozolanas e cimentos pozolânicos. *LNEC*. 1958, Vol. Memória n.136.
6. **MALINOWSKY, R.** Prehistory of concrete. *Concrete International*. 1991, Vol. 13, pp. 62-68.
7. *The effects of hidraulic components on lime mortars.* **RODRIGUES, Paulina F. e HENRIQUES, Fernando M. A.** Coimbra, Portugal : s.n., 2002, XXX IAHS- World Congress on Housing., pp. 9-13.
8. **VELOSA, A.L., et al.** Characterisation of roman mortars from Conimbriga with respect to their repair. *Materials Characterization*. Junho de 2007, Vol. 58, pp. 1208-1216.
9. **ARIOGLU, N. e ACUN, S.** A resourch about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A starting system approach. *Building an Environment*. 2006, Vol. 41, pp. 1223-1230.
10. **MOROPOULOU, A., CAKMAK, A.S. e LOHVYN, N.** Earthquake resistant construction techniques and materials on Byzantine monuments in Kiev. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2000, Vol. 19, pp. 603-615.
11. **BARBISAN, U. e GUARDINI, M.** Short History of concret. *Cultura e Técnica*. s.l. : Edizioni Tecnologos, 2003. Vol. 10. www.tecnologos.it.

12. **BOWLES, O.** Rock Quarrying for Cement Manufacture. *Mineral Technology*. s.l. : U.S. Dept of the Interior as Bulletin 160, 1918. Vol. 22, p. 4. www.todayinsci.com.
13. **CERNY, R., et al.** Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal and hygric properties of lime plasters. *Construction and Building Materials*. 2006, Vol. 20, pp. 859-857.
14. **DEGRYSE, P., ELSEN, J. e WAELKENS, M.** Study of ancient mortars from Salassos (Turkey) in view of their conservation. *Cement and Concrete Research*. 2002, Vol. 32, pp. 1457-1463.
15. **MOROPOULOU, A., et al.** Advanced Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: the crushed brick/lime mortars of Justinian's Hagia Sophia. *Construction Building materials*. 2002, Vol. 16, pp. 543-552.
16. **LANAS, J. e ALVAREZ, J.I.** Masonry repair lime-based mortars: factors affecting the mechanical behavior. *Cement and Concrete Research*. 2003, Vol. 33, pp. 1867-1876.
17. **BINDA, L., SAISI, A. e TIRABOSCHI.** Investigation procedures for the diagnosis of history masonries. *Construction and Building Materials*. 2000, Vol. 14, pp. 199-233.
18. **MOSQUERA, M.J., BENITEZ, D. e PERRY, S.H.** Pore structure in mortars applied on restoration. Effect on properties relevant to decay of granite buildings. *Cement and Concrete Research*. 2002, Vol. 32, pp. 1883-1888.
19. **HENDRY, A.W.** Masonry walls: materials and construction. *Construction Building Materials*. 2001, Vol. 15, pp. 323-330.
20. **LANAS, J., et al.** Mechanical properties of natural hydraulic lime-based mortars. *Cement and Concrete Research*. 2004, Vol. 34, pp. 2191-2201.
21. **APPLETON, João.** *Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e tecnologias de intervenção*. 1ª Edição. s.l. : Edições ORION, Setembro 2003.
22. **BOTELHO, P.C.** *Argamassas tradicionais em suportes de alvenaria antiga: o comportamento em termos de aderência e durabilidade*. IST - UTL. 2003. Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em Construção.
23. The Venice Charter, International Charter for the conservation and restoration of monuments and sites. 1964. http://www.icomos.org/docs/venice_charter.html.
24. **VEIGA, M.R.** Intervenções em Revestimentos Antigos: Conservar, Substituir ou... Destruir. *Materiais de Construção*. 2006, Vol. 126, pp. 34-40.

25. **VEIGA, M.R. e CARVALHO, F.** Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos. Requisitos e características a respeitar. *Cadernos de Edifícios nº2 - Revestimentos de Paredes em Edifícios Antigos*. 2002, pp. 39-55.

26. **GUERREIRO, Carlos M.B.A.** *Estudo e caracterização de argamassas de cal aérea, medianamente hidráulicas e de ligantes mistos para rebocos de edifícios antigos*. Instituto Superior Técnico - UTL. Lisboa : s.n., 2007. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em recuperação e conservação do património construído.

27. **MARAVELAKI-KALAITZAKI, P., BAKOLAS, A. e MOROPOULOU, A.** Physico-chemical study of Cretan ancient mortars. *Cement and Concrete Research*. 2003, Vol. 33, pp. 651-661.

28. **VEIGA, M.R., VELOSA, A. e MAGALHÃES, A.** Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: Characterization and performance evaluation. *Construction and Building Materials* . 2008. Article in Press .

29. **VEIGA, M.R., CARVALHO, F. e AGUIAR, J.** Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. *Colecção Edifícios nº9, Série Conservação e Reabilitação*. 2004.

30. **VEIGA, M.R. e AGUIAR, J.** Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos. disponível em <http://mestrado-reabilitacao.fa.utl.pt/disciplinas/jaguiar/>.

31. **BAUER, Elton e SOUSA, J.G.G.** Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades- Cap2. *www.abcp.org.br*. [Online]

32. **COUTINHO, A. de Sousa.** *Fabrico e Propriedades do Betão, Volume I - Propriedades das matérias-primas; Volume II- Fabrico*. Lisboa : s.n., 1988.

33. **CAVACO, Luís.** Técnicas de aplicação de argamassas de revestimento em edifícios antigos. Influência no desempenho. *Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Construção*. 2005.

34. **RODRIGUES, Paulina.** *Argamassas de Revestimento para Alvenarias Antigas, Contribuição para o estudo da influência dos ligantes*. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa : s.n., 2004. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil.

35. **VEIGA, M. R e CARVALHO, F.** Argamassas de revestimento na reabilitação do património urbano. *2ºENCORE - Encontro sobre a Conservação e Reabilitação de Edifícios*. 1994, Vol. 1, pp. 195-206.
36. *Strength- porosity relation-ships in lime-pozzolan mortars.* **PAPAYIANNI, Ioanna e STEFANIDOU, Maria.** 2006, *Construction and Building Materials*, Vol. 20, pp. 700-705.
37. **VELOSA, Ana Luísa Pinheiro Lomelino.** *Argamassas de cal com pozolanas para revestimento de paredes antigas.* Secção autónoma de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. 2006. Tese de Doutoramento.
38. **LEA, F. M.** *The chemistry of cements and concrete.* Glasgow : Edward Arnold Publishers, Ltd, 1970.
39. **TAVARES, A.M.D.** Utilização da cal hidratada (cal aérea) na construção civil. *Materiais e Tecnologias na construção de edifícios.*
40. **MOOREHEAD, D.R.** Cementation by the carbonation of hydrated lime. *Cement and Concrete Research*. 1986, Vol. 16, pp. 700-708.
41. **DHEILLY, R.M., et al.** Influence of storage conditions on the carbonation of powdered Ca(OH)₂. *Construction and Building Materials*. 2002, Vol. 16, pp. 155-161.
42. **RAMIREZ, S.M., et al.** Micro-Raman spectroscopy applied to depth profiles of carbonates forms in lime mortar. *Cement and Concrete Research*. 2003, Vol. 33, pp. 2063-2068.
43. **CULTRONE, G., SEBASTIÁN, E. e HUERTAS, M.O.** Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural changes. *Cement and Concrete Research*. 2005, Vol. 35, pp. 2278-2289.
44. **BALEN, K.V. e GEMERT, D.V.** Modelling lime mortar carbonation. *Mater Struct.* 1994, Vol. 27, pp. 393-398.
45. **SHIH, S.M., et al.** Kinetics of the reaction of Ca(OH)₂ with CO₂ at low temperature. *Industrial Engineering Chemistry*. 1999, Vol. 38, pp. 1316-1322.
46. **NP4220.** *Pozolanas para betão.* s.l. : IPQ, 1993.
47. **MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A. e AGGELAKOPOULOU.** Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis. *Thermochimica acta*. 2004, Vol. 420, pp. 135-140.

48. **WILD, L., et al.** Pozzolanic properties of a variety of European Clay Bricks. 1997, Vol. 25, pp. 170-176.

49. **ÇAVDAR, A e YETGIN, S.** Availability of tuffs from northeast of Turkey as natural pozzolan on cement, some chemical and mechanical relationships. *Construction and Building Materials*. 2007, Vol. 21, pp. 2066-2071.

50. **RAMIREZ, S.M. e VARELA, M.T.** Pozzolanic reactivity of zeolitic rocks from two different Cuban deposits: Characterization of reaction products. *Applied Clay Science*. 2006, Vol. 32, pp. 40-52.

51. **VELOSA, A.L. e VEIGA, M.R.** Pozzolanic Materials - Evolution of mechanical properties. *International Building Lime Symposium*. Março de 2005.

52. República Portuguesa 1960. Cadernos de Encargos para o fornecimento e recepção de pozolanas, Decreto nº42999 de 4 de Junho de 1960. Lisboa : Imprensa Nacional de Lisboa.

53. **COELHO, A. D. V.S.** *Betão com incorporação de elevadas percentagens de cinza volante*. Lisboa : IST- UTL, 2007. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil.

54. **AZEVEDO, A. F. L. C.** *Betões de elevado desempenho com incorporações de cinzas volantes*. Escola de Engenharia, Universidade do Minho. Julho de 2002. Tese de Doutoramento.

55. **TORGAL, F.P., GOMES, J.P. e JALALI, S.** Argamassas Antigas: Reacção Pozzolânica ou Activação Alcalina? *2º Congresso Nacional de argamassas de construção*. 2007.

56. **RAVINA, D.** Optimized determination of PFA (fly ash) fineness with reference to pozzolanic activity. *Cement Concrete Research*. 1980, Vol. 10, pp. 573-580.

57. **BARONIO, G e BINDA, L.** Study of the pozzolanicity of some bricks and clays. *Construction and Building Materials*. 1997, Vol. 11, pp. 41-46.

58. **SHI, C e DAY, R.** Chemical activation of blended cements made with lime and natural pozzolans. *Cement and Concrete Research*. 1993, Vol. 23, pp. 1389-1396.

59. **SABIR, B, WILD, B e BAI, J.** Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. *Cement and Concrete Composites*. 2001, Vol. 23, pp. 441-454.

60. **CAMPBELL, D.H. e FOLK, R.L.** The ancient Egyptian pyramids-concrete or rock. *Concrete International*. 1991, pp. 29-44.

61. **CARA, S., et al.** Assessment of pozzolanic potential in lime-water system of raw and calcined kaolinic clays from the Donnigazza Mine. 2006, Vol. 33, pp. 66-72.
62. **CHINDAPRASIRT, P. e PIMRASKA, K.** A study of fly-ash-lime granule unfire brick. *Powder Technology*. 2008, Vol. 182, pp. 33-41.
63. **ROJAS, M.F.** Study of hydrated phases present in MK-lime system cured at 60°C and 60 months of the reaction. *Cement and Concrete Research*. 2006, Vol. 36, pp. 827-831.
64. **VARELA, M.T., et al.** Characterization and pozzolanicity of zeolitic rocks from two Cuban deposits. *Applied clay science*. 2006, Vol. 33, pp. 149-159.
65. **GIBBS, P.** Pozzolans for lime mortars. *The building Conservation*. 1997. www.buildingconservation.com.
66. **LANGE, F., MORTEL, N. e RUDERT, V.** Dense packing of cement pastes and resulting consequences on mortar properties. *Cement and Concrete Research*. 1997, Vol. 27, pp. 1481-1488.
67. **FELEKOGLU, B, et al.** The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars. *Cement and Concrete Research*. 2006, Vol. 36, pp. 1719-1726.
68. **AGOSTINHO, Cláudia Sofia Araújo.** *Estudo da Evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea*. Instituto Superior Técnico. 2008. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.
69. **IPQ.** NP 1379- *Inertes para argamassas e betões. Análise Granulométrica*. Ed.1. Lisboa : s.n., 1976.
70. **IPQ.** NP 955- *Inertes para argamassas e betões. Determinação da Baridade*. Ed.1. Lisboa : s.n., 1973.
71. **Especificação do LNEC.** E 248 *Inertes para argamassas e betões. Determinação das massas volúmicas e da absorção de água de areias*. Lisboa : s.n., 1971.
72. **PINTO, A.P.F e GOMES, A.** Aulas de Laboratório MCII 07/08 - Módulo2. Lisboa : s.n., 2007.
73. **European Committee for Standardization.** Methods of test for mortar masonry. Part3 Determination of consistence os fresh mortar. *EN 1015-3:1999*. Brussels : s.n., 1999.

74. **IPQ.** NP EN 12350 - 6 Ensaios do betão fresco. Parte 6: Massa volúmica. Lisboa : s.n., 2002.

75. **European Committee for Standardization (CEN).** Methods of test for mortar masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. *EN 1015-11:1999. European Committee for Standardization.* Brussels : s.n., 1999.

76. **Coutinho, Joana Sousa.** *Materiais de Construção II.* Porto : Universidade do Porto, 2002.

77. **European Committee for Standardization.** Methods of test for mortar masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. *EN 1015-18:2002.* Brussels : s.n., 2002.

78. **RILEM test nº 4 II.4. Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux (RILEM).** Water absorption under low pressure. Pipe method. Test nº4 II.4. Paris : Recommendations provisoires RILEM, 1980.

79. **Especificação LNEC.** E 394- Betões. Determinação da absorção de água por imersão. Ensaio à pressão atmosférica. Lisboa : s.n.

80. **RILEM I.2 .** Bulk densities and real densities. RILEM 25-PEM 10980- Recommendations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement. s.l. : Matériaux et Construction. Vol. Vol 13 N°75.

81. **MENDONÇA, Bruno de Viveiros.** *Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas. Influência do Ligante.* Instituto Superior Técnico. 2007. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

82. **VELOSA, A. L. P. L.** *Argamassas de cal com pozolanas para revestimentos de paredes antigas.* Secção autónoma de engenharia civil, Universidade de Aveiro. 2006. Tese de Douturamento.

83. **Rato, Vasco N.P.** *Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas.* Universidade Nova de Lisboa. Lisboa : s.n., 2006. Tese de Douturamento em Engenharia Civil.

84. **VEIGA, Maria do Rosário.** *As argamassas na conservação.* Lisboa : LNEC, 1^{as} Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Avaliação e Reabilitação das Construções existentes, Colecção Comunicações, pp. 1-26.

85. **RODRIGUES, P.F e HENRIQUES, F.M.A.** Avaliação comparativa de cais aéreas correntes. *3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC.* 2003, pp. 503-510.

86. **VEIGA, M.R.** *Comportamento de revestimentos de fachadas com base em ligante mineral. Exigências funcionais e avaliação do desempenho.* Lisboa : 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção , 2005.

87. Transposição para a legislação portuguesa da directiva nº89/106/CEE, de 21 de Dezembro de 1989, do Conselho das Comunidades Europeias, Directiva dos Produtos da Construção (CPD) (Decreto-Lei nº113/93 de 10 de Abril e Portaria nº 566/93). Lisboa : Diário da República - Directiva dos Produtos da Construção, 1993.

88. **YUDHBIR, S.** A simplified model for prediction of pozzolanic characteristics of fly ash, based on chemical composition. *Cement and Concret Research.* 2006, Vol. 36, pp. 1827-1832.

89. **SIVAPULLAIAH, P.V., et al.** Reactive silica and strength of fly ashes. *Geotech. Geolog. Eng.* 1998, Vol. 16, pp. 239-504.

90. **MARQUES, S.** *Estudo de Argamassas de Reabilitação de Edifícios Antigos.* Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro. 2005. Dissertação de Mestrado.

91. Oz - Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda. <http://www.oz-diagnostico.pt>. [Online] <http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20043.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A1- Caracterização dos constituintes das argamassas

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS

Tabela A1-1- Análise granulométrica da areia amarela e da areia do rio

		Areia Amarela (m _{amostra} =1000,5 g)				Areia do Rio (m _{amostra} =1000,4 g)			
Peneiro	Malha [mm]	Resíduo		Resíduo Acumulado		Resíduo		Resíduo Acumulado	
				Passado	Retido			Passado	Retido
		[g]	[%]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[%]
3/8"	9,52			100,0				100,0	
1/4"	6,35	2,2	0,2	99,8	—	2,9	0,3	99,7	—
Nº4	4,76	5,9	0,6	99,2	0,8	3,1	0,3	99,4	0,6
Nº8	2,38	42,2	4,2	95,0	5,0	26,5	2,7	96,7	3,3
Nº16	1,19	237	23,8	71,2	28,8	155,2	15,5	81,2	18,8
Nº30	0,59	403,6	40,5	30,7	69,3	348,7	34,9	46,3	53,7
Nº50	0,297	228,2	22,9	7,8	92,2	290,9	29,1	17,2	82,8
Nº100	0,149	68,6	6,9	1,0	99,0	166,2	16,6	0,6	99,4
Nº200	0,074	7,8	0,8	0,2	-	4,9	0,5	0,1	-
Refugo		1,7	0,2	0,0	-	0,8	0,1	0,0	-
		Módulo de Finura [mm]			3,0	Módulo de Finura [mm]			2,6

ANEXO A 2 – Caracterização das argamassas no estado fresco

CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Argamassa		água/ cal	Nº de amassadura	D [mm]	Consistência	Consistência Média [%]	Desvio padrão [%]	MV [g/cm3]	MVmédio [g/cm3]	Desvio padrão [%]
PZ1	14 dias 9provetes	1,62	1	180	80	80	1,8	2009	1997	17
				177	77					
				180	80					
			2	182	82					
				180	80					
				182	82					
PZ2	14 dias 9provetes	1,55	1	165	65	65	1,0	1879	1899	23
				167	67					
				166	66					
			2	167	67					
				166	66					
				165	65					
	90 dias 9provetes		1	165	65					
				164	64					
				165	65					
			2	165	65					
				163	63					
				165	65					
	60 dias 9provetes + calha		1	165	65					
				165	65					
				166	66					
			2	166	66					
				165	65					
				164	64					
	tijolo 1		1	166	66					
				165	65					
				165	65					
	tijolo 2		1	165	65					
				166	66					
				165	67					

Argamassa		água/ cal	Nº de amassadura	D [mm]	Consistência	Consistência Média [%]	Desvio padrão [%]	MV [g/cm3]	MVmédio [g/cm3]	Desvio padrão [%]
PZ3	14 dias 9provetes	1,62	1	173	73	72	1,8	1985	2001	22
				170	70					
				172	72					
			2	175	75					
				172	72					
				174	74					
PZ4	14 dias 9provetes	1,55	1	163	63	65	1,0	1942	1959	12
				166	66					
				165	65					
			2	167	67					
				165	65					
				165	65					
	90 dias 9provetes		1	165	65					
				164	64					
				163	63					
			2	165	65					
				164	64					
				164	64					
	60 dias 9provetes + calha		1	165	65					
				165	65					
				166	66					
			2	165	65					
				164	64					
				164	64					
	tijolo 1		1	166	66					
				165	65					
				165	65					
	tijolo 2		1	165	65					
				166	66					
				165	67					
CV1	14 dias 9provetes	1,62	1	200	100	108	5,5	2052	2055	3
				210	110					
				215	115					
			2	215	115					
				210	110					
				210	110					

Argamassa		água/ cal	Nº de amassadura	D [mm]	Consistência	Consistência Média [%]	Desvio padrão [%]	MV [g/cm3]	MVmédio [g/cm3]	Desvio padrão [%]
CV2	14 dias 9provetes	1,4	1	165	65	66	0,8	1906	1986	39
				164	64					
				165	65					
			2	166	66					
				165	65					
				166	66					
	60 dias 9provetes		1	165	65					
				167	67					
				166	66					
			2	165	65					
				166	66					
				166	66					
	60 dias 9provetes + calha		1	165	65					
				165	65					
				166	66					
			2	165	65					
				165	65					
				164	64					
	tijolo 1		1	166	66					
				165	65					
				167	67					
tijolo 2	1	166	66							
		166	66							
		165	67							
CV3	14 dias 9provetes	1,62	1	200	100	102	2,6	2016	2040	34
				200	100					
				200	100					
			2	205	105					
				205	105					
				205	105					
				200	100					

Argamassa		água/ cal	Nº de amassadura	D [mm]	Consistência	Consistência Média [%]	Desvio padrão [%]	MV [g/cm3]	MVmédio [g/cm3]	Desvio padrão [%]
CV4	14 dias 9provetes	1,37	1	163	63	65	0,9	1907	1902	15
				164	64					
				165	65					
			2	163	63					
				164	64					
				164	64					
	90 dias 9provetes		1	165	65					
				165	65					
				164	64					
			2	165	65					
				165	65					
				165	65					
	60 dias 9provetes + calha		1	165	65					
				165	65					
				166	66					
			2	165	65					
				165	65					
				164	64					
	tijolo 1		1	166	66					
				165	65					
				164	64					
tijolo 2	1	166	66							
		163	63							
		165	65							

Argamassa		água/ cal	Nº de amassadura	D [mm]	Consistência	Consistência Média [%]	Desvio padrão [%]	MV [g/cm3]	MVmédio [g/cm3]	Desvio padrão [%]
C	14 dias 9provetes	1,55	1	165	65	65	0,7	1987	2061	61
				165	65					
				164	64					
			2	164	64					
				163	63					
				165	65					
	90 dias 9provetes		1	165	65					
				164	64					
				165	65					
			2	165	65					
				165	65					
				163	63					
	60 dias 9provetes + calha		1	165	65					
				165	65					
				164	64					
			2	166	66					
				165	65					
				164	64					
	tijolo 1		1	164	64					
				165	65					
				165	65					
	tijolo 2		1	165	65					
				165	65					
				164	64					

ANEXO A 3 – Caracterização das argamassas no estado endurecimento

VELOCIDADE DE ULTRA-SONS - ENSAIO INDIRECTO

Distância [m]	Tempo de Propagação [s]							
	14 dias				90 dias			
	C	CV2	CV4	PZ2	C	CV2	CV4	PZ2
0,06	8,74E-05	1,39E-04	8,40E-05	7,31E-05	2,3E-05	2,4E-05	1,7E-05	4,5E-05
	8,76E-05	1,38E-04	8,34E-05	7,24E-05	2,2E-05	2,3E-05	1,7E-05	4,5E-05
	8,72E-05	1,37E-04	8,39E-05	7,29E-05	2,3E-05	2,3E-05	1,7E-05	4,5E-05
0,07	9,19E-05	1,92E-04	8,95E-05	1,63E-04	3,1E-05	2,9E-05	3,3E-05	4,2E-05
	9,16E-05	1,93E-04	8,77E-05	1,63E-04	3,2E-05	3,0E-05	3,3E-05	4,1E-05
	9,11E-05	1,92E-04	8,72E-05	1,63E-04	3,0E-05	3,0E-05	3,3E-05	4,1E-05
0,09	1,01E-04	2,06E-04	1,67E-04	2,01E-04	5,2E-05	4,4E-05	5,2E-05	5,5E-05
	1,00E-04	2,04E-04	1,68E-04	2,03E-04	5,2E-05	4,3E-05	5,2E-05	5,5E-05
	1,01E-04	2,05E-04	1,68E-04	2,03E-04	5,1E-05	4,3E-05	5,2E-05	5,5E-05
0,11	1,12E-04	3,08E-04	2,24E-04	2,89E-04	6,6E-05	6,2E-05	6,0E-05	6,8E-05
	1,13E-04	3,09E-04	2,25E-04	2,89E-04	6,5E-05	6,2E-05	6,0E-05	6,9E-05
	1,13E-04	3,08E-04	2,25E-04	2,89E-04	6,6E-05	6,2E-05	6,0E-05	6,8E-05
0,13	2,27E-04	3,12E-04	2,81E-04	-	7,4E-05	7,5E-05	6,7E-05	8,4E-05
	2,26E-04	3,13E-04	2,81E-04	-	7,4E-05	7,5E-05	6,6E-05	8,5E-05
	2,26E-04	3,14E-04	2,81E-04	-	7,4E-05	7,4E-05	6,7E-05	8,5E-05
0,15	2,78E-04	3,42E-04	3,10E-04	-	8,1E-05	7,9E-05	7,3E-05	-
	2,76E-04	3,42E-04	3,12E-04	-	9,0E-05	7,9E-05	7,3E-05	-
	2,81E-04	3,41E-04	3,10E-04	-	9,0E-05	7,9E-05	7,3E-05	-
0,17	3,02E-04	3,60E-04	3,40E-04	-	9,1E-05	8,5E-05	8,1E-05	-
	3,04E-04	3,61E-04	3,40E-04	-	9,2E-05	8,5E-05	8,1E-05	-
	3,03E-04	3,61E-04	3,39E-04	-	9,2E-05	8,5E-05	8,1E-05	-

ENSAIO DO ESCLERÓMETRO PENDULAR

	14 dias					90 dias				
	C	CV2	CV4	PZ2	PZ4	C	CV2	CV4	PZ2	PZ4
Ressalto	15	19	4	20	20	12	10	15	15	30
	4	15	11	30	25	20	25	25	8	35
	15	15	15	30	22	20	27	23	destacou-se	37
	15	20	9	25	20	30	25	25		35
	4	25	11	15	14	20	12	13		30
Valor médio	11	19	10	24	20	20	20	20	12	33
D.P.	6	4	4	7	4	6	8	6	5	3

CINÉTICA DE SECAGEM APÓS IMERSÃO EM ÁGUA

Dia	14 dias								
	C	PZ2	CV1	CV2	PZ1	PZ3	CV3	PZ4	CV4
0	8,70	11,80	11,05	11,12	12,01	11,11	10,87	11,06	10,72
1	5,93	9,68	7,80	8,42	10,21	9,09	9,06	8,00	7,92
2	3,76	8,97	6,38	7,18	9,54	8,16	7,64	7,06	6,47
3	2,51	8,59	5,40	6,16	8,84	7,26	6,31	6,35	4,79
4	1,90	8,32	4,48	5,10	8,03	6,65	4,95	6,05	4,52
5	1,29	8,15	3,67	4,46	7,67	6,01	3,71	5,75	4,01
6	1,01	7,99	3,16	4,02	7,32	5,71	3,44	5,47	3,54
7	0,66	7,86	2,85	3,77	7,06	5,52	3,03	5,20	3,08
8	0,57	7,74	2,62	3,54	6,80	5,25	2,63	4,91	2,80
9	0,47	7,65	2,38	3,33	6,65	5,07	2,45	4,65	2,57
10	0,35	7,54	2,32	3,24	6,57	4,81	2,24	4,43	2,34
11	0,33	7,42	2,21	3,17	6,47	4,62	2,12	4,27	2,29
12	0,34	7,29	2,14	3,12	6,41	4,48	1,97	4,21	2,21
13	0,33	7,22	2,09	3,00	6,28	4,27	1,80	4,08	2,10
14	0,33	7,15	1,99	2,87	6,13	4,03	1,64	4,00	1,95
15	0,33	7,04	1,72	2,77	5,97	3,82	1,46	3,85	1,83
16	0,34	6,96	1,63	2,55	5,54	3,72	1,43	3,70	1,76
17	0,36	6,90	1,61	2,50	5,40	3,58	1,36	3,60	1,71
18	0,38	6,78	1,61	2,49	5,36	3,45	1,34	3,53	1,69
19	0,37	6,69	1,62	2,48	5,30	3,29	1,32	3,46	1,69
20	0,37	6,63	1,61	2,47	5,25	3,18	1,29	3,37	1,69
21	0,38	6,58	1,62	2,47	5,20	3,04	1,27	3,26	1,70
22	0,38	6,48	1,62	2,45	4,87	2,91	1,27	3,18	1,69
23	0,38	6,45	1,61	2,45	4,82	2,87	1,27	3,08	1,68
24	0,39	6,36	1,61	2,44	4,77	2,79	1,28	2,93	1,69
25	0,39	6,30	1,63	2,44	4,66	2,73	1,27	2,83	1,69
26	0,39	6,22	1,62	2,43	4,38	2,68	1,29	2,71	1,69
27	0,38	6,17	1,61	2,42	4,26	2,57	1,25	2,62	1,69
28	0,38	6,08	1,63	2,42	4,17	2,47	1,27	2,56	1,69
29	0,38	5,96	1,62	2,42	3,98	2,40	1,26	2,51	1,69
30	0,39	5,90	1,63	2,43	3,91	2,32	1,28	2,44	1,69
31	0,39	5,76	1,64	2,44	3,82	2,26	1,31	2,38	1,69
32	0,38	5,68	1,63	2,43	3,77	2,19	1,33	2,34	1,69
33	0,37	5,58	1,63	2,43	3,70	2,14	1,33	2,31	1,69
34	0,37	5,49	1,62	2,43	3,60	2,09	1,37	2,28	1,69
35	0,38	5,46	1,65	2,47	3,55	2,08	1,38	2,26	1,69
36	0,37	5,42	1,64	2,45	3,50	2,07	1,38	2,23	1,65

Dia	C	PZ2	CV1	CV2	PZ1	PZ3	CV3	PZ4	CV4
37	0,38	5,41	1,64	2,43	3,48	2,07	1,39	2,21	1,65
38	0,39	5,33	1,64	2,45	3,47	2,05	1,39	2,19	1,64
39	0,38	5,28	1,58	2,44	3,39	2,04	1,39	2,17	1,63
40	0,38	5,23	1,57	2,43	3,34	2,02	1,39	2,15	1,63
41	0,39	5,01	1,58	2,41	3,30	2,01	1,39	2,13	1,61
42	0,39	4,90	1,67	2,46	3,26	2,01	1,39	2,12	1,60
43	0,38	4,85	1,67	2,46	3,20	2,01	1,39	2,12	1,60
44	0,38	4,82	1,66	2,47	3,14	2,00	1,39	2,11	1,60
45	0,38	4,83	1,66	2,46	3,12	2,00	1,39	2,12	1,60
46	0,38	4,72	1,66	2,46	3,08	2,01	1,39	2,11	1,60
47	0,39	4,67	1,65	2,45	3,17	2,00	1,39	2,12	1,60
48	0,39	4,64	1,65	2,45	3,02	2,00	1,39	2,11	1,60
49	0,38	4,62	1,65	2,45	3,00	2,00	1,39	2,11	1,60
50	0,38	4,60	1,64	2,44	2,96	2,00	1,39	2,11	1,60
51	0,39	4,59	1,64	2,44	2,94	2,00	1,39	2,11	1,60
52	0,38	4,48	1,63	2,44	2,92	2,00	1,39	2,11	1,60
53	0,39	4,42	1,63	2,44	2,90	2,00	1,39	2,11	1,60
54	0,38	4,33	1,62	2,43	2,88	2,00	1,39	2,11	1,60
55	0,38	4,23	1,62	2,43	2,86	2,00	1,39	2,11	1,60
56	0,39	4,20	1,62	2,46	2,86	2,00	1,39	2,11	1,60
57	0,39	4,17	1,64	2,46	2,83	2,00	1,39	2,10	1,60
58	0,39	4,13	1,64	2,48	2,82	2,00	1,39	2,10	1,60
59	0,38	4,09	1,63	2,48	2,80	2,00	1,39	2,10	1,60
60	0,38	4,05	1,63	2,48	2,79	2,00	1,39	2,10	1,60
61	0,38	4,04	1,63	2,48	2,78	2,00	1,39	2,10	1,60
62	0,38	4,02	1,63	2,48	2,77	2,00	1,39	2,10	1,60
63	0,39	4,03	1,62	2,48	2,75	2,00	1,39	2,10	1,60
64	0,38	4,04	1,62	2,48	2,75	2,00	1,39	2,10	1,60
65	0,38	4,00	1,61	2,47	2,74	2,00	1,39	2,10	1,60
66	0,38	3,98	1,60	2,48	2,73	2,00	1,39	2,10	1,60
67	0,39	3,97	1,60	2,48	2,73	2,00	1,39	2,10	1,60
68	0,39	3,92	1,60	2,50	2,73	2,00	1,39	2,10	1,60
69	0,39	3,90	1,60	2,49	2,72	2,00	1,39	2,10	1,60
70	0,38	3,88	1,60	2,49	2,73	2,00	1,39	2,10	1,60
71	0,38	3,87	1,61	2,50	2,72	2,00	1,39	2,10	1,60
72	0,38	3,86	1,61	2,50	2,71	2,00	1,39	2,10	1,60
73	0,39	3,85	1,62	2,53	2,70	2,00	1,39	2,10	1,60
74	0,38	3,84	1,61	2,50	2,69	2,00	1,39	2,10	1,60
75	0,38	3,84	1,62	2,49	2,69	2,00	1,39	2,10	1,60

Dia	60 dias					90 dias				
	C	PZ2	PZ4	CV2	CV4	C	PZ2	PZ4	CV2	CV4
0	9,40	11,49	10,94	9,55	9,46	9,26	10,58	10,58	9,09	9,06
1	8,07	10,23	9,70	8,69	8,25	7,63	9,27	9,05	7,91	7,87
2	7,10	9,27	8,70	8,05	7,43	6,73	8,40	7,85	6,77	6,73
3	6,19	8,77	7,72	7,32	6,76	5,87	7,60	6,89	5,79	5,42
4	5,10	7,93	6,63	6,42	5,70	4,67	6,97	6,05	4,83	4,42
5	4,50	7,13	5,90	5,32	4,75	3,62	6,23	5,32	4,03	3,63
6	3,77	6,57	5,33	4,43	4,03	2,80	5,37	4,45	3,27	2,84
7	3,17	6,13	4,77	3,77	3,36	2,17	4,71	3,61	2,70	2,07
8	2,61	5,79	4,38	3,20	2,80	1,74	4,39	3,25	2,44	1,81
9	2,27	5,53	4,07	2,93	2,48	1,43	4,13	2,95	2,21	1,63
10	1,90	5,40	3,80	2,70	2,25	1,23	3,93	2,75	2,07	1,43
11	1,63	5,17	3,60	2,43	2,03	1,10	3,77	2,55	1,93	1,33
12	1,40	5,03	3,43	2,23	1,85	0,97	3,63	2,43	1,82	1,23
13	1,24	4,91	3,30	2,05	1,80	0,87	3,49	2,29	1,65	1,16
14	1,07	4,80	3,17	1,87	1,53	0,83	3,33	2,14	1,62	1,11
15	0,97	4,75	3,03	1,73	1,43	0,73	3,23	1,96	1,57	1,06
16	0,87	4,62	2,90	1,63	1,33	0,67	3,20	1,86	1,47	0,97
17	0,80	4,54	2,77	1,53	1,23	0,63	3,07	1,75	1,43	0,92
18	0,67	4,43	2,60	1,47	1,13	0,59	2,93	1,65	1,33	0,83
19	0,57	4,27	2,47	1,37	1,05	0,53	2,83	1,55	1,27	0,77
20	0,53	4,17	2,33	1,23	0,95	0,52	2,73	1,45	1,23	0,73
21	0,43	4,07	2,23	1,17	0,88	0,49	2,63	1,37	1,13	0,73
22	0,40	3,97	2,13	1,07	0,83	0,51	2,53	1,30	1,13	0,63
23	0,39	3,87	2,03	1,03	0,78	0,50	2,47	1,21	1,09	0,62
24	0,38	3,77	1,90	0,97	0,73	0,49	2,37	1,13	1,00	0,63
25	0,38	3,68	1,82	0,90	0,68	0,49	2,29	1,04	0,99	0,59
26	0,39	3,60	1,73	0,87	0,71	0,49	2,27	1,00	0,92	0,57
27	0,38	3,53	1,63	0,79	0,68	0,50	2,17	0,95	0,90	0,63
28	0,38	3,47	1,57	0,77	0,63	0,51	2,17	0,94	0,90	0,60
29	0,38	3,36	1,48	0,73	0,58	0,49	2,05	0,85	0,86	0,61
30	0,38	3,33	1,47	0,73	0,58	0,50	2,03	0,85	0,83	0,63
31	0,38	3,26	1,42	0,72	0,60	0,49	1,99	0,83	0,83	0,63
32	0,39	3,20	1,40	0,71	0,61	0,52	1,93	0,80	0,83	0,63
33	0,38	3,14	1,37	0,71	0,61	0,53	1,93	0,78	0,82	0,63
34	0,38	3,10	1,33	0,73	0,60	0,51	1,87	0,75	0,82	0,63
35	0,38	3,05	1,30	0,71	0,59	0,50	1,83	0,73	0,82	0,63
36	0,38	3,03	1,30	0,69	0,61	0,50	1,77	0,70	0,82	0,63
37	0,37	3,00	1,20	0,69	0,63	0,50	1,77	0,66	0,82	0,63

Dia	60 dias					90 dias				
	C	PZ2	PZ4	CV2	CV4	C	PZ2	PZ4	CV2	CV4
38	0,38	2,95	1,17	0,72	0,62	0,50	1,73	0,65	0,82	0,63
39	0,38	2,90	1,17	0,71	0,61	0,50	1,73	0,65	0,82	0,63
40	0,38	2,80	1,13	0,71	0,60	0,50	1,67	0,63	0,82	0,63
41	0,37	2,77	1,10	0,71	0,62	0,50	1,65	0,62	0,82	0,63
42	0,38	2,67	1,07	0,70	0,61	0,50	1,63	0,59	0,82	0,63
43	0,38	2,57	1,03	0,70	0,62	0,50	1,62	0,56	0,82	0,63
44	0,38	2,53	0,97	0,71	0,60	0,50	1,57	0,55	0,82	0,63
45	0,37	2,43	0,97	0,70	0,60	0,50	1,54	0,53	0,82	0,63
46	0,37	2,37	0,93	0,71	0,62	0,50	1,53	0,50	0,82	0,63
47	0,38	2,27	0,92	0,70	0,60	0,50	1,53	0,48	0,82	0,63
48	0,37	2,25	0,88	0,71	0,62	0,50	1,52	0,47	0,82	0,63
49	0,38	2,20	0,83	0,71	0,59	0,50	1,50	0,45	0,82	0,63
50	0,39	2,17	0,83	0,72	0,63	0,50	1,49	0,45	0,82	0,63
51	0,38	2,12	0,83	0,70	0,63	0,50	1,46	0,45	0,82	0,63
52	0,38	2,09	0,83	0,71	0,63	0,50	1,49	0,45	0,82	0,63
53	0,38	2,07	0,83	0,69	0,62	0,50	1,47	0,44	0,82	0,63
54	0,38	2,02	0,83	0,70	0,63	0,50	1,47	0,45	0,82	0,63
55	0,38	2,00	0,83	0,71	0,63	0,50	1,46	0,45	0,82	0,63
56	0,38	2,00	0,84	0,70	0,61	0,50	1,45	0,44	0,82	0,63
57	0,38	2,01	0,84	0,70	0,60					
58	0,38	2,02	0,83	0,70	0,60					
59	0,38	2,01	0,82	0,70	0,60					
60	0,38	2,01	0,82	0,70	0,60					
61	0,38	2,00	0,82	0,70	0,60					
62	0,38	2,00	0,82	0,70	0,60					
63	0,38	2,01	0,82	0,70	0,60					
64	0,38	2,01	0,82	0,70	0,60					
65	0,38	2,00	0,83	0,70	0,60					
66	0,38	2,00	0,82	0,70	0,60					
67	0,38	2,00	0,82	0,70	0,60					
68	0,38	2,01	0,82	0,70	0,60					
69	0,38	2,00	0,81	0,70	0,60					
70	0,38	2,00	0,81	0,70	0,60					

CINÉTICA DE SECAGEM APÓS IMERSÃO EM SOLUÇÃO SALINA

	14 dias								
Dia	C	PZ2	CV1	CV2	PZ1	PZ3	CV3	PZ4	CV4
0	8,45	12,41	10,69	11,10	11,06	11,16	10,30	11,53	11,10
1	6,62	11,29	9,57	9,89	10,01	10,04	9,14	10,53	10,53
2	4,15	10,79	9,02	9,37	9,59	9,36	8,41	9,56	9,22
3	3,44	10,56	8,74	9,17	9,47	8,65	7,60	9,11	8,45
4	2,96	10,34	8,36	9,02	9,35	8,20	6,96	8,80	8,13
5	2,63	10,22	8,07	8,80	9,12	7,58	6,27	8,57	7,81
6	2,30	10,08	7,83	8,58	8,91	7,45	5,88	8,33	7,51
7	2,10	9,99	7,52	8,33	8,65	7,28	5,64	8,20	7,10
8	1,90	9,91	7,39	8,22	8,53	7,00	5,48	7,91	6,69
9	1,67	9,84	7,26	8,10	8,39	6,82	5,26	7,72	6,47
10	1,46	9,76	7,17	8,00	8,27	6,66	5,04	7,55	6,22
11	1,38	9,69	7,07	7,93	8,18	6,46	4,91	7,37	6,07
12	1,35	9,62	7,00	7,87	8,13	6,46	4,72	7,23	5,97
13	1,28	9,57	6,93	7,81	8,03	6,29	4,53	7,12	5,77
14	1,33	9,51	6,87	7,75	7,93	6,15	4,43	6,97	5,63
15	1,27	9,48	6,78	7,67	7,86	5,94	4,35	6,87	5,50
16	1,21	9,41	6,70	7,60	7,77	5,77	4,19	6,73	5,30
17	1,21	9,36	6,60	7,51	7,66	5,71	4,10	6,60	5,20
18	1,20	9,29	6,57	7,44	7,60	5,62	4,00	6,47	5,07
19	1,15	9,16	6,53	7,40	7,56	5,52	3,96	6,33	4,97
20	1,19	9,08	6,49	7,30	7,52	5,32	3,76	6,13	4,86
21	1,18	9,03	6,46	7,26	7,48	5,23	3,63	6,10	4,83
22	1,18	8,99	6,40	7,34	7,42	5,10	3,55	6,03	4,73
23	1,17	8,91	6,37	7,32	7,37	5,01	3,45	6,00	4,73
24	1,17	8,88	6,34	7,29	7,34	4,83	3,30	5,93	4,63
25	1,17	8,82	6,25	7,22	7,24	4,63	3,22	5,91	4,64
26	1,17	8,77	6,18	7,14	7,15	4,42	3,07	5,93	4,62
27	1,17	8,69	6,11	7,08	7,07	4,35	3,06	5,90	4,60
28	1,12	8,61	6,07	7,03	6,98	4,20	2,95	5,83	4,53
29	1,17	8,54	5,99	6,97	6,92	4,10	2,87	5,83	4,54
30	1,12	8,49	5,94	6,94	6,87	3,97	2,77	5,80	4,52
31	1,12	8,48	5,90	6,89	6,81	3,83	2,73	5,77	4,51
32	1,17	8,39	5,86	6,85	6,77	3,77	2,67	5,73	4,51
33	1,11	8,28	5,80	6,81	6,71	3,67	2,63	5,73	4,47
34	1,15	8,22	5,77	6,78	6,68	3,60	2,60	5,70	4,47
35	1,11	8,15	5,74	6,76	6,64	3,50	2,53	5,67	4,43
36	1,09	8,11	5,70	6,73	6,60	3,46	2,52	5,67	4,43
37	1,09	8,04	5,69	6,72	6,58	3,40	2,50	5,63	4,43
38	1,09	8,01	5,68	6,72	6,57	3,30	2,47	5,60	4,43

Dia	C	PZ2	CV1	CV2	PZ1	PZ3	CV3	PZ4	CV4
39	1,09	7,97	5,63	6,68	6,53	3,30	2,47	5,57	4,40
40	1,10	7,93	5,60	6,65	6,49	3,28	2,36	5,57	4,37
41	1,10	7,87	5,59	6,62	6,46	3,27	2,37	5,57	4,33
42	1,09	7,82	5,53	6,59	6,41	3,27	2,37	5,57	4,33
43	1,09	7,76	5,50	6,57	6,37	3,23	2,37	5,57	4,29
44	1,09	7,74	5,46	6,53	6,33	3,23	2,37	5,57	4,29
45	1,10	7,71	5,37	6,47	6,27	3,16	2,29	5,53	4,30
46	1,09	7,69	5,33	6,47	6,27	3,17	2,30	5,53	4,30
47	1,09	7,67	5,33	6,43	6,20	3,17	2,31	5,49	4,30
48	1,09	7,63	5,32	6,45	6,21	3,16	2,31	5,47	4,28
49	1,09	7,61	5,18	6,34	6,06	3,16	2,30	5,47	4,26
50	1,09	7,59	5,15	6,31	6,02	3,16	2,30	5,47	4,23
51	1,09	7,53	5,13	6,30	6,00	3,16	2,29	5,49	4,23
52	1,09	7,46	5,13	6,33	6,00	3,16	2,31	5,49	4,22
53	1,09	7,42	5,13	6,32	6,00	3,17	2,32	5,50	4,21
54	1,09	7,38	5,13	6,33	6,00	3,17	2,31	5,49	4,22
55	1,10	7,34	5,13	6,33	6,00	3,17	2,30	5,48	4,22
56	1,10	7,31	5,13	6,32	6,00	3,17	2,31	5,50	4,21
57	1,10	7,27	5,13	6,31	6,00	3,17	2,30	5,50	4,20
58	1,10	7,24	5,13	6,29	6,00	3,17	2,30	5,49	4,20
59	1,09	7,21	5,08	6,28	5,98	3,17	2,30	5,49	4,20
60	1,09	7,19	5,10	6,27	5,97	3,17	2,30	5,49	4,20
61	1,09	7,16	5,10	6,27	5,97	3,17	2,30	5,49	4,20
62	1,09	7,14	5,08	6,26	5,95	3,17	2,30	5,49	4,20
63	1,08	7,14	5,04	6,23	5,91	3,17	2,30	5,49	4,20
64	1,08	7,15	5,03	6,20	5,90	3,17	2,30	5,49	4,20
65	1,09	7,11	5,00	6,18	5,86	3,17	2,30	5,49	4,20
66	1,09	7,09	4,98	6,18	5,84	3,17	2,30	5,49	4,20
67	1,09	7,08	4,97	6,20	5,87	3,17	2,30	5,49	4,20
68	1,09	7,04	4,97	6,22	5,87	3,17	2,30	5,49	4,20
69	1,09	7,02	4,97	6,20	5,87	3,17	2,30	5,49	4,20
70	1,09	6,99	4,98	6,19	5,85	3,17	2,30	5,49	4,20
71	1,09	7,00	4,92	6,13	5,79	3,17	2,30	5,49	4,20
72	1,09	6,97	4,90	6,13	5,77	3,17	2,30	5,49	4,20
73	1,09	6,97	4,84	6,09	5,76	3,17	2,30	5,49	4,20
74	1,10	6,91	4,87	6,07	5,75	3,17	2,30	5,49	4,20
75	1,10	6,90	4,86	6,07	5,73	3,17	2,30	5,49	4,20
76	1,09	6,90	4,86	6,07	5,74	3,17	2,30	5,49	4,20
77	1,10	6,91	4,87	6,06	5,73	3,17	2,30	5,49	4,20
78	1,10	6,92	4,86	6,06	5,73	3,17	2,30	5,49	4,20

Dia	C	PZ2	CV1	CV2	PZ1	PZ3	CV3	PZ4	CV4
79	1,09	6,90	4,87	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
80	1,09	6,90	4,85	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
81	1,08	6,84	4,87	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
82	1,08	6,81	4,87	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
83	1,09	6,82	4,82	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
84	1,09	6,83	4,83	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
85	1,08	6,79	4,83	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
86	1,08	6,84	4,83	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
87	1,08	6,82	4,84	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
88	1,09	6,79	4,83	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
89	1,09	6,75	4,83	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
90	1,09	6,73	4,83	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20
91	1,09	6,72	4,83	6,06	5,72	3,17	2,30	5,49	4,20

Dia	60 dias					90 dias				
	C	PZ2	PZ4	CV2	CV4	C	PZ2	PZ4	CV2	CV4
0	9,64	11,98	11,58	9,85	9,67	9,39	10,90	10,95	9,59	9,11
1	8,57	10,90	10,27	9,03	8,43	7,97	9,47	9,37	8,32	7,85
2	7,83	10,10	9,43	8,37	7,60	7,20	8,67	8,57	7,42	6,95
3	7,42	9,44	8,52	7,98	7,18	6,59	8,07	7,77	6,74	6,13
4	6,93	8,87	7,83	7,50	6,72	5,90	7,50	7,07	6,13	5,31
5	6,43	8,40	7,33	7,03	6,22	5,20	6,97	6,47	5,62	4,62
6	5,97	7,93	6,73	6,63	5,72	4,50	6,47	5,73	5,01	3,92
7	5,61	7,53	6,18	6,34	5,33	3,94	6,00	5,27	4,52	3,40
8	5,30	7,29	5,86	6,06	5,02	3,45	5,73	4,91	4,20	2,98
9	5,07	7,10	5,57	5,80	4,83	3,13	5,53	4,67	4,00	2,75
10	4,87	6,90	5,37	5,60	4,62	2,90	5,32	4,47	3,87	2,55
11	4,67	6,73	5,20	5,43	4,43	2,60	5,17	4,23	3,67	2,35
12	4,54	6,63	5,03	5,30	4,23	2,40	5,03	4,03	3,53	2,15
13	4,35	6,54	4,87	5,16	4,09	2,20	4,91	3,84	3,38	2,08
14	4,23	6,43	4,67	5,07	3,93	2,06	4,87	3,70	3,31	2,02
15	4,13	6,30	4,53	4,97	3,83	1,98	4,77	3,53	3,20	1,92
16	4,03	6,20	4,40	4,87	3,73	1,89	4,64	3,40	3,19	1,84
17	3,93	6,10	4,27	4,77	3,63	1,80	4,57	3,27	3,03	1,73
18	3,83	6,00	4,17	4,70	3,53	1,69	4,44	3,13	2,91	1,63
19	3,73	5,90	4,07	4,61	3,43	1,65	4,44	2,97	2,83	1,53
20	3,63	5,77	3,97	4,52	3,33	1,65	4,27	2,83	2,77	1,51
21	3,57	5,67	3,87	4,43	3,23	1,63	4,17	2,73	2,77	1,44
22	3,48	5,57	3,77	4,33	3,17	1,57	4,07	2,63	2,63	1,40
23	3,39	5,49	3,65	4,23	3,06	1,53	3,96	2,55	2,59	1,35

Dia	C	PZ2	PZ4	CV2	CV4	C	PZ2	PZ4	CV2	CV4
24	3,35	5,37	3,57	4,17	2,97	1,54	3,87	2,43	2,47	1,25
25	3,20	5,25	3,39	4,06	2,86	1,49	3,77	2,31	2,36	1,14
26	3,13	5,17	3,37	4,03	2,77	1,47	3,73	2,23	2,33	1,15
27	3,03	5,07	3,27	3,93	2,67	1,45	3,61	2,20	2,27	1,15
28	3,03	5,07	3,20	3,93	2,67	1,42	3,64	2,13	2,27	1,15
29	2,95	4,98	3,10	3,81	2,59	1,40	3,53	2,02	2,21	1,13
30	2,91	5,00	3,10	3,77	2,53	1,38	3,53	2,00	2,17	1,09
31	2,89	4,95	3,06	3,75	2,54	1,36	3,49	1,96	2,09	1,14
32	2,85	4,90	3,14	3,67	2,43	1,33	3,43	1,90	2,03	1,15
33	2,72	4,87	3,02	3,67	2,43	1,32	3,37	1,83	1,97	1,15
34	2,73	4,83	2,93	3,57	2,37	1,30	3,36	1,79	1,93	1,01
35	2,67	4,73	2,87	3,53	2,33	1,33	3,27	1,73	1,83	1,15
36	2,61	4,70	2,83	3,47	2,30	1,33	3,23	1,70	1,81	1,15
37	2,57	4,67	2,83	3,37	2,27	1,32	3,17	1,65	1,73	1,15
38	2,47	4,60	2,73	3,33	2,20	1,28	3,10	1,63	1,70	1,15
39	2,37	4,53	2,73	3,23	2,13	1,27	3,07	1,60	1,67	1,14
40	2,33	4,50	2,67	3,23	2,07	1,27	3,00	1,49	1,62	1,14
41	2,39	4,40	2,60	3,20	2,03	1,25	2,97	1,48	1,62	1,15
42	2,27	4,30	2,57	3,13	2,00	1,26	2,93	1,50	1,61	1,15
43	2,23	4,27	2,50	3,13	2,00	1,24	2,87	1,47	1,57	1,15
44	2,12	4,17	2,47	3,03	1,97	1,26	2,87	1,43	1,53	1,15
45	2,11	4,13	2,37	3,03	1,87	1,27	2,80	1,42	1,52	1,15
46	2,01	4,03	2,33	2,93	1,90	1,21	2,77	1,39	1,51	1,15
47	1,95	4,03	2,27	2,83	1,87	1,13	2,77	1,40	1,52	1,15
48	1,93	4,00	2,20	2,83	1,80	1,14	2,81	1,39	1,53	1,15
49	1,90	3,98	2,16	2,78	1,79	1,08	2,70	1,39	1,51	1,15
50	1,88	3,93	2,17	2,70	1,77	1,09	2,73	1,37	1,50	1,15
51	1,82	3,83	2,10	2,70	1,73	1,08	2,63	1,33	1,50	1,15
52	1,80	3,82	2,07	2,63	1,73	1,03	2,61	1,34	1,47	1,14
53	1,77	3,80	2,00	2,60	1,72	1,03	2,60	1,33	1,47	1,14
54	1,68	3,73	2,00	2,53	1,68	1,02	2,57	1,33	1,47	1,14
55	1,63	3,72	1,97	2,50	1,63	1,03	2,53	1,33	1,47	1,14
56	1,57	3,67	1,95	2,48	1,64	1,02	2,49	1,33	1,45	1,14
57	1,50	3,70	1,92	2,43	1,62	1,02	2,43	1,33	1,44	1,14
58	1,47	3,70	1,92	2,40	1,60	1,02	2,40	1,33	1,44	1,14
59	1,43	3,65	1,92	2,38	1,60	1,02	2,37	1,34	1,44	1,14
60	1,37	3,64	1,92	2,33	1,60	1,02	2,35	1,33	1,44	1,14
61	1,37	3,52	1,90	2,33	1,58	1,02	2,34	1,33	1,44	1,14
62	1,33	3,50	1,90	2,33	1,57	1,02	2,34	1,33	1,44	1,14
63	1,31	3,50	1,90	2,28	1,57	1,02	2,33	1,33	1,44	1,14
64	1,31	3,50	1,84	2,23	1,57	1,02	2,33	1,33	1,44	1,14

65	1,23	3,44	1,84	2,23	1,57	1,02	2,32	1,33	1,44	1,14
66	1,23	3,44	1,84	2,20	1,57	1,02	2,33	1,33	1,44	1,14
67	1,23	3,44	1,84	2,18	1,57	1,02	2,33	1,33	1,44	1,14
68	1,25	3,44	1,82	2,12	1,57	1,02	2,34	1,33	1,44	1,14
69	1,24	3,44	1,82	2,10	1,57	1,02	2,33	1,33	1,44	1,14
70	1,23	3,44	1,82	2,08	1,57	1,02	2,33	1,33	1,44	1,14

ENSAIO DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

14 DIAS

	$s^{1/2}$	h médio [cm]	m médio	m médio [kg/m ²]	Coef. Cap ⁰⁻⁶⁰	Valor assintótico
PZ2	0,0	0,0	0,00	0,00	0,11	20,15
	19,0	2,1	3,39	2,12		
	26,8	2,8	4,93	3,08		
	32,9	3,4	5,99	3,75		
	42,4	4,4	7,98	4,99		
	60,0	6,0	10,85	6,78		
	103,9	9,4	17,08	10,68		
	147,0	12,9	23,73	14,83		
	169,7	13,9	26,10	16,31		
	293,9	16,0	31,38	19,61		
	415,7	16,0	32,37	20,23		
509,1	16,0	32,48	20,30			
PZ1	0,0	0,0	0,00	0,00	0,17	22,04
	19,0	2,1	3,82	2,38		
	26,8	3,2	6,36	3,98		
	32,9	4,0	7,67	4,79		
	42,4	5,5	11,31	7,07		
	60,0	7,9	16,33	10,21		
	103,9	15,0	31,38	19,61		
	147,0	16,0	35,27	22,04		
	169,7	16,0	35,30	22,06		
	293,9	16,0	35,65	22,28		
	415,7	16,0	36,04	22,53		
509,1	16,0	36,20	22,62			
CV1	0,0	0,0	0,00	0,00	0,14	19,5
	19,0	2,6	3,89	2,43		
	26,8	3,5	5,87	3,67		
	32,9	4,2	6,83	4,27		
	42,4	5,6	9,45	5,90		
	60,0	7,5	13,05	8,15		
	103,9	14,3	24,50	15,31		
	147,0	15,9	30,47	19,04		
	169,7	16,0	31,21	19,50		
	293,9	16,0	31,83	19,89		
	415,7	16,0	32,24	20,15		
509,1	16,0	32,40	20,25			

	$s^{1/2}$	h médio [cm]	$m_{\text{médio}}$	$m_{\text{médio}}$ [kg/m ²]	Coef. Cap ₀₋₆₀	Valor assintótico
CV2	0,0	0,0	0,00	0,00	0,12	19,11
	19,0	2,2	3,18	1,99		
	26,8	3,2	4,96	3,10		
	32,9	3,9	5,85	3,66		
	42,4	5,1	8,24	5,15		
	60,0	7,1	11,42	7,14		
	103,9	12,8	21,55	13,47		
	147,0	16,0	27,08	16,92		
	169,7	16,0	29,35	18,35		
	293,9	16,0	30,57	19,11		
	415,7	16,0	31,02	19,39		
	509,1	16,0	31,18	19,49		
PZ3	0,0	0,0	0,00	0,00	0,29	32,84
	19,0	3,5	9,62	6,01		
	26,8	4,2	12,27	7,67		
	32,9	4,9	15,60	9,75		
	42,4	6,9	21,44	13,40		
	60,0	9,1	27,95	17,47		
	103,9	15,5	46,96	29,35		
	147,0	16,0	52,55	32,84		
	169,7	16,0	52,71	32,94		
	293,9	16,0	53,12	33,20		
	415,7	16,0	53,65	33,53		
	509,1	16,0	53,00	33,13		
CV3	0,0	0,0	0,00	0,00	0,23	30,78
	19,0	2,9	7,39	4,62		
	26,8	3,6	9,64	6,03		
	32,9	4,8	12,16	7,60		
	42,4	6,3	16,80	10,50		
	60,0	8,3	22,11	13,82		
	103,9	14,8	38,52	24,08		
	147,0	16,0	47,34	29,59		
	169,7	16,0	48,02	30,01		
	293,9	16,0	49,26	30,78		
	415,7	16,0	49,62	31,01		
	509,1	16,0	49,69	31,05		

	$s^{1/2}$	h médio [cm]	$m_{\text{médio}}$	$m_{\text{i médio}}$ [kg/m ²]	Coef. Cap ⁰⁻⁶⁰	Valor assintótico
PZ4	0,0	0,0	0,00	0,00	0,36	34,67
	19,0	3,4	14,63	9,14		
	26,8	3,9	16,93	10,58		
	32,9	4,8	19,58	12,23		
	42,4	6,1	25,85	16,16		
	60,0	8,1	34,62	21,64		
	103,9	12,9	54,67	34,17		
	147,0	16,0	54,89	34,31		
	169,7	16,0	55,48	34,67		
	293,9	16,0	56,32	35,20		
	415,7	16,0	56,41	35,25		
	509,1	16,0	56,41	35,25		
CV4	0,0	0,0	0,00	0,00	0,23	29,88
	19,0	2,9	3,99	2,49		
	26,8	3,8	8,29	5,18		
	32,9	5,0	10,85	6,78		
	42,4	6,3	16,05	10,03		
	60,0	8,3	21,81	13,63		
	103,9	14,8	39,41	24,63		
	147,0	16,0	47,68	29,80		
	169,7	16,0	47,81	29,88		
	293,9	16,0	48,77	30,48		
	415,7	16,0	48,76	30,48		
	509,1	16,0	48,85	30,53		
C	0,0	0,0	0,00	0,00	0,12	15,3
	19,0	2,8	4,93	3,08		
	26,8	3,8	5,79	3,62		
	32,9	5,0	6,70	4,19		
	42,4	6,3	8,42	5,26		
	60,0	8,3	11,22	7,01		
	103,9	14,8	22,59	14,12		
	147,0	16,0	24,27	15,17		
	169,7	16,0	24,48	15,30		
	293,9	16,0	24,67	15,42		
	415,7	16,0	24,69	15,43		
	509,1	16,0	24,66	15,41		

		60 dias					90 dias				
	$s^{1/2}$	h médio [cm]	m médio	m médio [kg/m ²]	Coef. Cap ₀₋₆₀	Valor assintótico	h médio [cm]	m médio	m médio [kg/m ²]	Coef. Cap ₀₋₆₀	Valor assintótico
CV4	0,0	0,0	0,00	0,00	0,12	9,64	0,0	0,00	0,00	0,12	16,88
	19,0	2,3	4,06	2,54			2,3	4,33	2,71		
	26,8	3,0	5,34	3,34			3,0	5,35	3,34		
	32,9	3,5	6,21	3,88			3,5	6,27	3,92		
	42,4	4,7	8,49	5,31			4,7	8,31	5,20		
	60,0	6,5	11,89	7,43			6,5	11,25	7,03		
	103,9	14,0	24,10	15,06			14,0	21,85	13,66		
	147,0	16,0	30,86	19,29			16,0	27,00	16,88		
	169,7	16,0	31,05	19,41			16,0	27,62	17,26		
	293,9	16,0	31,16	19,48			16,0	27,70	17,31		
	415,7	16,0	31,15	19,47			16,0	27,73	17,33		
	509,1	16,0	31,18	19,48			16,0	27,42	17,13		
	C	0,0	0,0	0,00			0,00	0,30	24,9		
19,0		3,0	6,80	4,25	3,0	7,40	4,63				
26,8		4,1	10,20	6,38	3,6	12,56	7,85				
32,9		4,6	12,90	8,06	4,3	15,97	9,98				
42,4		5,8	18,22	11,39	5,3	22,78	14,24				
60,0		7,7	28,90	18,06	7,6	32,70	20,44				
103,9		15,1	36,12	22,58	14,1	39,9	24,94				
147,0		16,0	39,50	24,69	16,0	43,20	27,00				
169,7		16,0	39,84	24,90	16,0	44,52	27,83				
293,9		16,0	39,89	24,93	16,0	44,57	27,86				
415,7		16,0	39,91	24,94	16,0	44,59	27,87				
509,1		16,0	40,00	25,00	16,0	44,60	27,88				

	$s^{1/2}$	60 dias				90 dias					
		h médio [cm]	m médio	m _i médio [kg/m ²]	Coef. Cap ₀₋₆₀	Valor assintótico	h médio [cm]	m médio	m _i médio [kg/m ²]	Coef. Cap ₀₋₆₀	Valor assintótico
PZ2	0,0	0,0	0,00	0,00	0,16	23,35	0,0	0,00	0,00	0,13	21,32
	19,0	2,1	4,66	2,91			2,2	4,76	2,97		
	26,8	2,9	6,28	3,93			2,7	5,99	3,74		
	32,9	3,2	7,80	4,88			3,5	7,12	4,45		
	42,4	4,9	10,71	6,69			4,5	9,46	5,91		
	60,0	6,9	15,53	9,71			6,3	12,77	7,98		
	103,9	14,8	32,31	20,19			12,3	24,28	15,18		
	147,0	16,0	37,27	23,29			16,0	33,95	21,22		
	169,7	16,0	37,36	23,35			16,0	34,12	21,32		
	293,9	16,0	37,49	23,43			16,0	34,62	21,63		
	415,7	16,0	37,48	23,43			16,0	34,66	21,66		
509,1	16,0	37,50	23,44	16,0	34,64	21,65					
CV2	0,0	0,0	0,00	0,00	0,12	19,38	0,0	0,00	0,00	0,13	19,01
	19,0	2,3	3,91	2,45			2,6	4,83	3,02		
	26,8	3,1	4,98	3,11			3,3	6,02	3,76		
	32,9	3,5	5,82	3,64			4,0	7,11	4,44		
	42,4	4,6	8,00	5,00			5,1	9,48	5,92		
	60,0	6,1	11,08	6,92			7,2	12,65	7,90		
	103,9	12,5	21,53	13,46			13,9	24,11	15,07		
	147,0	16,0	29,37	18,36			16,0	29,05	18,15		
	169,7	16,0	31,01	19,38			16,0	30,42	19,01		
	293,9	16,0	31,18	19,48			16,0	30,73	19,20		
	415,7	16,0	31,24	19,53			16,0	30,73	19,21		
509,1	16,0	31,20	19,50	16,0	30,72	19,20					
PZ4	0,0	0,0	0,00	0,00	0,22	22,3	0,0	0,00	0,00	0,17	20,85
	19,0	3,2	7,17	4,48			3,2	6,38	3,99		
	26,8	4,5	9,25	5,78			4,5	7,75	4,84		
	32,9	5,3	10,71	6,70			5,3	9,11	5,70		
	42,4	7,0	14,81	9,26			7,0	12,05	7,53		
	60,0	10,0	20,86	13,04			10,0	16,24	10,15		
	103,9	16,0	35,68	22,30			16,0	31,25	19,53		
	147,0	16,0	35,75	22,34			16,0	33,36	20,85		
	169,7	16,0	35,78	22,36			16,0	33,57	20,98		
	293,9	16,0	35,71	22,32			16,0	33,43	20,90		
	415,7	16,0	35,70	22,31			16,0	33,48	20,93		
509,1	16,0	35,72	22,33	16,0	33,47	20,92					

FRANJA CAPILAR AO FIM DE 72 HORAS

14 dias									
s1/2	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	CV1	CV2	CV3	CV4	C
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19,0	2,1	2,1	3,5	3,4	2,6	2,2	2,8	3,0	2,9
26,8	3,2	2,8	4,2	3,9	3,5	3,2	3,6	3,5	3,8
32,9	4,0	3,4	4,9	4,8	4,2	3,9	4,8	4,5	5,0
42,4	5,5	4,4	6,9	6,1	5,6	5,1	6,3	6,5	6,3
60,0	7,9	6,0	9,1	8,1	7,5	7,1	8,3	8,2	8,3
103,9	15,0	9,4	15,5	12,9	14,3	12,8	14,8	15,0	14,8
147,0	16,0	12,9	16,0	16,0	15,9	16,0	16,0	16,0	16,0
169,7	16,0	13,9	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
293,9	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
415,7	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
509,1	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0

FRANJA CAPILAR AO FIM DE 72 HORAS

s1/2	60 dias					90 dias				
	PZ2	PZ4	CV2	CV4	C	PZ2	PZ4	CV2	CV4	C
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19,0	2,1	3,2	2,3	2,3	3,0	2,2	3,2	2,6	2,3	3,0
26,8	2,9	4,5	3,1	3,0	4,1	2,7	4,5	3,3	3,0	3,6
32,9	3,2	5,3	3,5	3,5	4,6	3,5	5,3	4,0	3,5	4,3
42,4	4,9	7,0	4,6	4,7	5,8	4,5	7,0	5,1	4,7	5,3
60,0	6,9	10,0	6,1	6,5	7,7	6,3	10,0	7,2	6,5	7,6
103,9	14,8	16,0	12,5	14,0	15,1	12,3	16,0	13,9	14,0	14,1
147,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
169,7	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
293,9	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
415,7	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
509,1	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0

TEOR EM ÁGUA ÀS 48 HORAS

14 dias		PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	CV1	CV2	CV3	CV4	C
	m1 [g]	465,80	468,12	467,90	274,08	493,03	491,87	361,91	491,28	494,11
	m2 [g]	522,84	519,66	522,24	305,89	544,92	541,07	398,46	540,07	539,20
	Δm [%]	12,25	11,01	11,61	11,61	10,52	10,00	10,10	9,93	9,13

60 dias		PZ2	PZ4	CV2	CV4	C
	m1 [g]	472,58	475,11	503,14	496,16	273,94
	m2 [g]	531,70	529,8	552,90	543,8	299,8
	Δm [%]	12,51	11,51	9,89	9,60	9,44

90 dias		PZ2	PZ4	CV2	CV4	C
	m1 [g]	470,65	465,07	494,94	497,42	283,51
	m2 [g]	525,30	518,4	542,70	540,07	319,4
	Δm [%]	11,61	11,47	9,65	8,57	12,66

ENSAIO DE ABSORÇÃO SOB BAIXA PRESSÃO

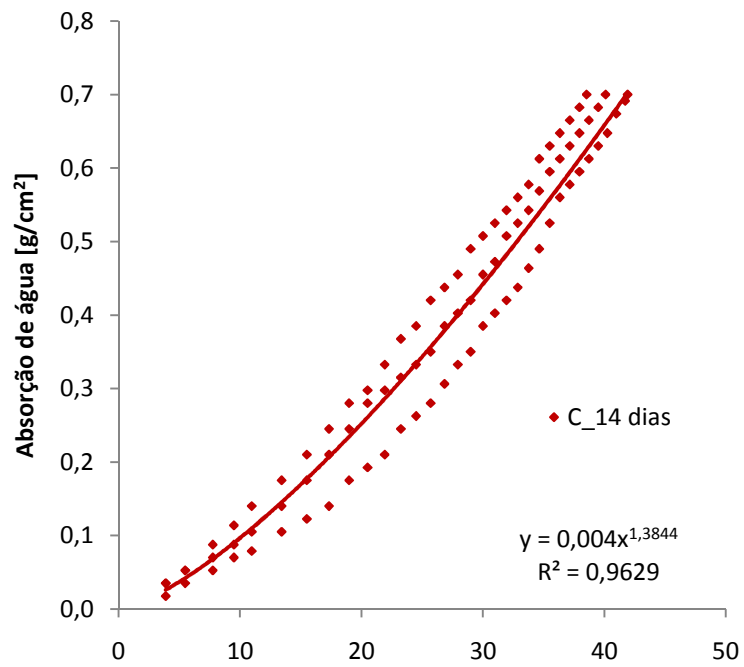
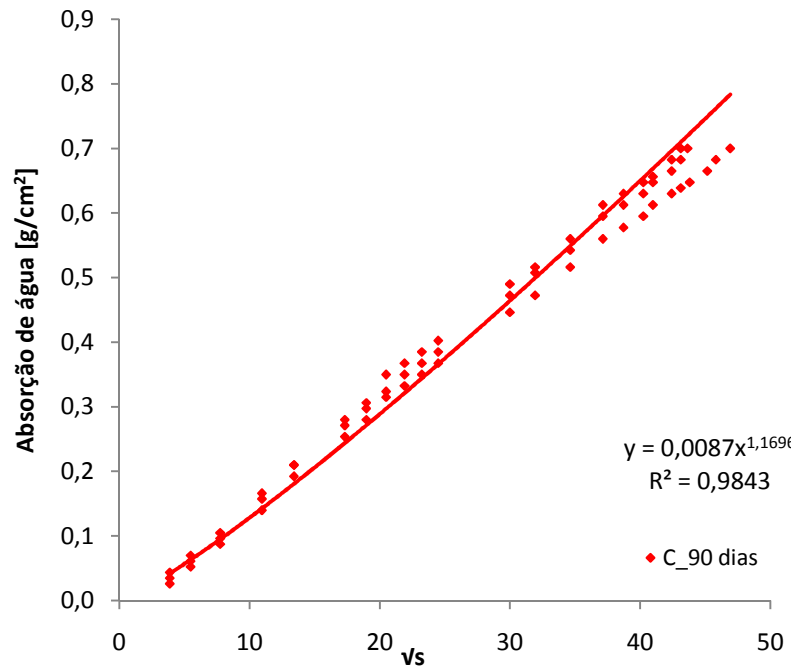
14 dias

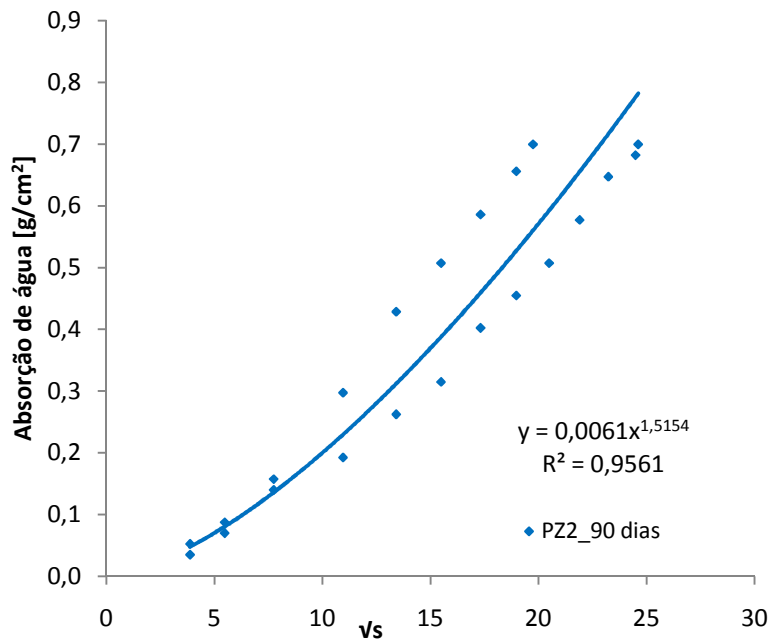
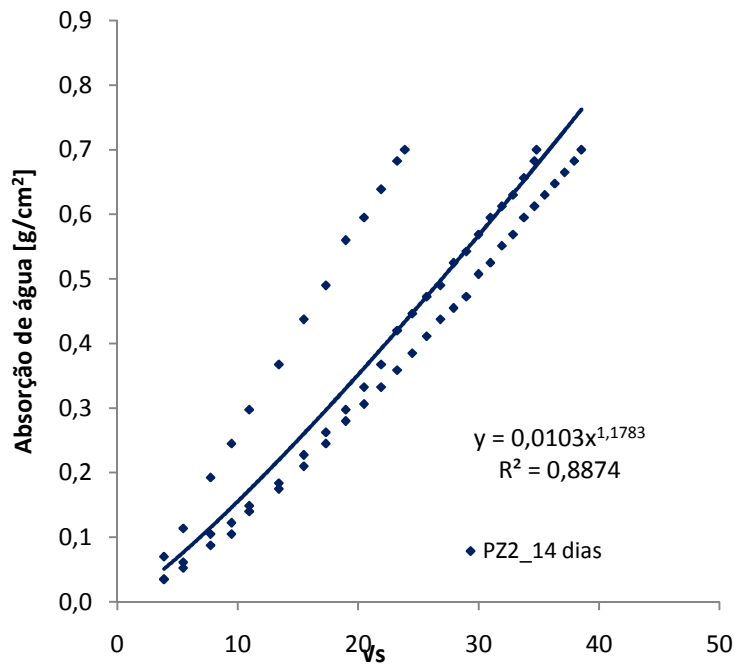
Tempo [min]	Água absorvida [ml]														
	C			CV2			CV4			P22			P24		
0,25	0,2	0,1	0,2	0,1	0,05	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
0,5	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,3	0,65	0,3	0,35	0,35	0,35	0,4
1	0,5	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,6	0,5	0,5	1,1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,55
1,5	0,65	0,4	0,5	0,5	0,35	0,45	0,8	0,7	0,7	1,4	0,6	0,7	0,85	0,85	0,8
2	0,8	0,45	0,6	0,6	0,45	0,55	1	0,8	0,8	1,7	0,8	0,85	1,1	1,1	1,1
3	1	0,6	0,8	0,9	0,6	0,7	1,5	1,1	1,2	2,1	1	1,05	1,5	1,5	1,55
4	1,2	0,7	1	1,1	0,9	0,85	1,7	1,4	1,5	2,5	1,2	1,3	1,9	1,8	1,85
5	1,4	0,8	1,2	1,4	1	1	2	1,7	1,7	2,8	1,4	1,5	2,1	2,3	2,2
6	1,6	1	1,4	1,6	1,2	1,2	2,3	2	2	3,2	1,6	1,7	2,25	2,6	2,5
7	1,7	1,1	1,6	1,8	1,35	1,4	2,6	2,2	2,3	3,4	1,75	1,9	3	3	2,8
8	1,9	1,2	1,7	2	1,5	1,6	2,8	2,4	2,5	3,65	1,9	2,1	3,3	3,3	3,1
9	2,1	1,4	1,8	2,3	1,65	1,9	3,1	2,7	2,7	3,9	2,05	2,4	3,6	3,6	3,4
9,5										4					
10	2,2	1,5	1,9	2,45	1,8	2,1	3,3	2,9	3		2,2	2,55	3,9	3,9	3,7
10,1													4		
10,2														4	
10,45															4
11	2,4	1,6	2	2,65	1,9	2,3	3,5	3	3,2		2,35	2,7			
12	2,5	1,75	2,2	2,9	2	2,5	3,7	3,2	3,4		2,5	2,8			
13	2,6	1,9	2,3	3,05	2,1	2,75	4	3,4	3,65		2,6	3			
14	2,8	2	2,4	3,2	2,25	2,9		3,6	3,8		2,7	3,1			
15	2,9	2,2	2,6	3,4	2,4	3,1		3,7	4		2,9	3,25			
16	3	2,3	2,7	3,6	2,5	3,3		3,8			3	3,4			
17	3,1	2,4	2,9	3,75	2,55	3,4		3,9			3,15	3,5			
17,1								4							
18	3,2	2,5	3	3,9	2,7	3,5					3,25	3,6			
19	3,3	2,65	3,1	4	2,8	3,7					3,4	3,75			
20	3,5	2,8	3,25		2,9	3,9					3,5	3,9			
20,2						4						4			
21	3,6	3	3,4		3						3,6				
22	3,7	3,2	3,5		3,1						3,7				
23	3,8	3,3	3,6		3,3						3,8				
24	3,9	3,4	3,7		3,4						3,9				
24,75	4				3,5						4				
25		3,5	3,8		3,65										
26		3,6	3,9		3,8										
26,8			4												
27		3,7			3,9										
27,4					4										
28		3,85													
29		3,95													
29,28		4													

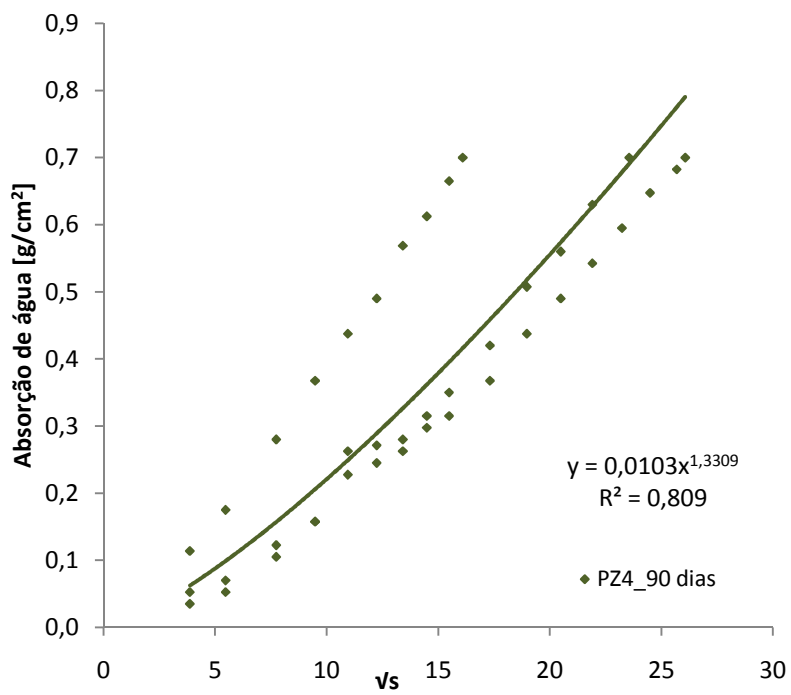
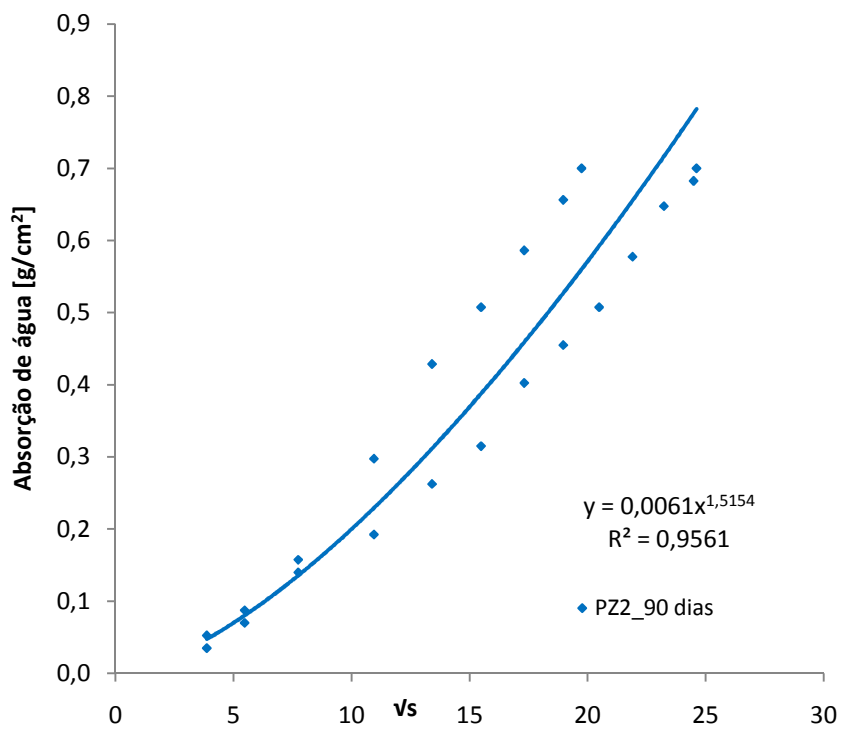
		90 dias														
Tempo [min]	Água absorvida [ml]															
	PZ4			PZ2			CV4			CV2			C			
0,25	0,65	0,2	0,3	0,3	0,2	INVÁLIDO	0,25	0,2	INVÁLIDO	-	-	-	0,15	0,25	0,2	
0,5	1	0,3	0,4	0,5	0,4		0,3	0,35		0,1	0,05	0,1	0,3	0,4	0,35	
1	1,6	0,6	0,7	0,9	0,8		0,6	0,6		0,2	0,1	0,2	0,5	0,6	0,55	
1,5	2,1	0,9	0,9	-	-		-	-		-	-	-	-	-	-	
2	2,5	1,5	1,3	1,7	1,1		1	1,1		0,3	0,3	0,35	0,8	0,95	0,9	
2,5	2,8	1,55	1,4	-	-		-	-		-	-	-	-	-	-	
3	3,25	1,6	1,5	2,45	1,5		1,3	1,35		0,4	0,5	0,5	1,1	1,2	1,2	
3,5	3,5	1,8	1,7	-	-		-	-		-	-	-	-	-	-	
4	3,8	2	1,8	2,9	1,8		1,7	1,8		0,5	0,6	0,6	-	-	-	
4,32	4	-	-	-	-		-	-		-	-	-	-	-	-	
5	-	2,4	2,1	3,35	2,3		2	2,1		0,6	0,7	0,7	1,45	1,55	1,6	
6	-	2,9	2,5	3,75	2,6		2,2	2,4		0,7	0,8	0,85	1,6	1,7	1,75	
6,5	-	-	-	4	-		-	-		-	-	-	-	-	-	
7	-	3,2	2,8	-	2,9		2,4	2,7		0,8	0,9	1	1,8	1,85	2	
8	-	3,6	3,1	-	3,3		2,7	3		-	-	-	1,9	2	2,1	
9,25	-	4	-	-	-		-	-		-	-	-	-	-	-	
9	-	-	3,4	-	3,7		3	3,3		-	-	-	2	2,1	2,2	
10	-	-	3,7	-	3,9		3,3	3,65		1	1,2	1,3	2,1	2,2	2,3	
10,1	-	-	-	-	4		-	-		-	-	-	-	-	-	
11	-	-	3,9	-	-		3,6	3,8		-	-	-	-	-	-	
11,33	-	-	4	-	-		-	4		-	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-		3,8	-		-	-	-	-	-	-	
13,2	-	-	-	-	-		4	-		-	-	-	-	-	-	
15	-	-	-	-	-		-	-		1,4	1,6	1,7	2,55	2,7	2,8	
17	-	-	-	-	-		-	-		-	-	-	2,7	2,9	2,95	
20	-	-	-	-	-		-	-		1,7	2	2	2,95	3,1	3,2	
23	-	-	-	-	-		-	-		-	-	-	3,2	3,4	3,5	
25	-	-	-	-	-		-	-		2	2,3	2,3	3,3	3,5	3,6	
27	-	-	-	-	-		-	-		-	-	-	3,4	3,6	3,7	
28	-	-	-	-	-		-	-		-	-	-	3,5	3,7	3,75	
30	-	-	-	-	-		-	-		2,2	2,6	2,5	3,6	3,8	3,9	
31	-	-	-	-	-		-	-		-	-	-	3,65	3,9	4	
31,75	-	-	-	-	-		-	-		-	-	-	-	4	-	
32	-	-	-	-	-		-	-		-	-	-	3,7	-	-	
34	-	-	-	-	-		-	-		-	-	-	3,8	-	-	
35	-	-	-	-	-		-	-		2,4	2,9	2,75	3,9	-	-	
36,7	-	-	-	-	-		-	-		-	-	-	4	-	-	
40	-	-	-	-	-		-	-		2,7	3,1	3	-	-	-	

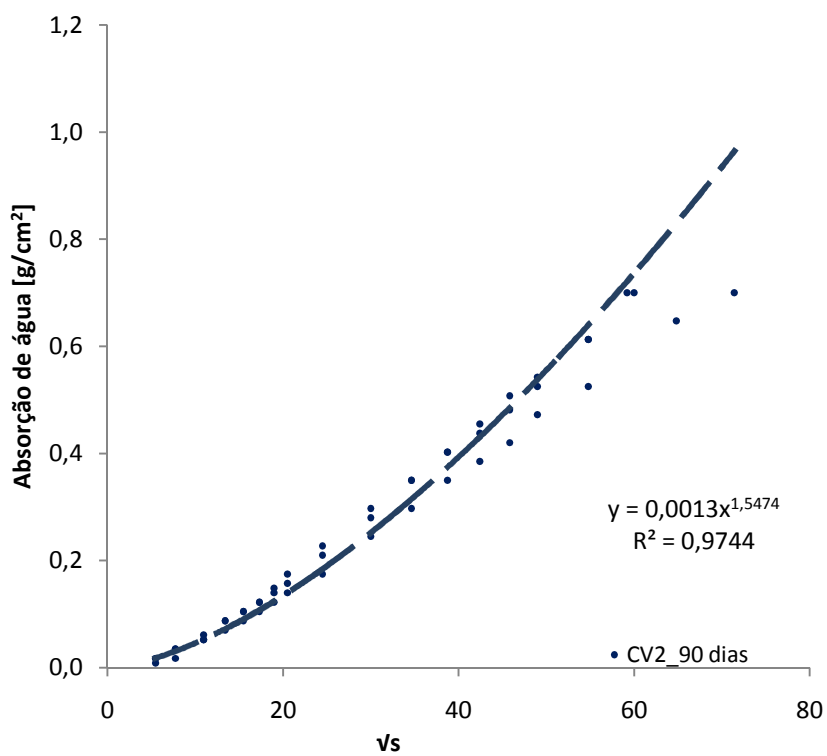
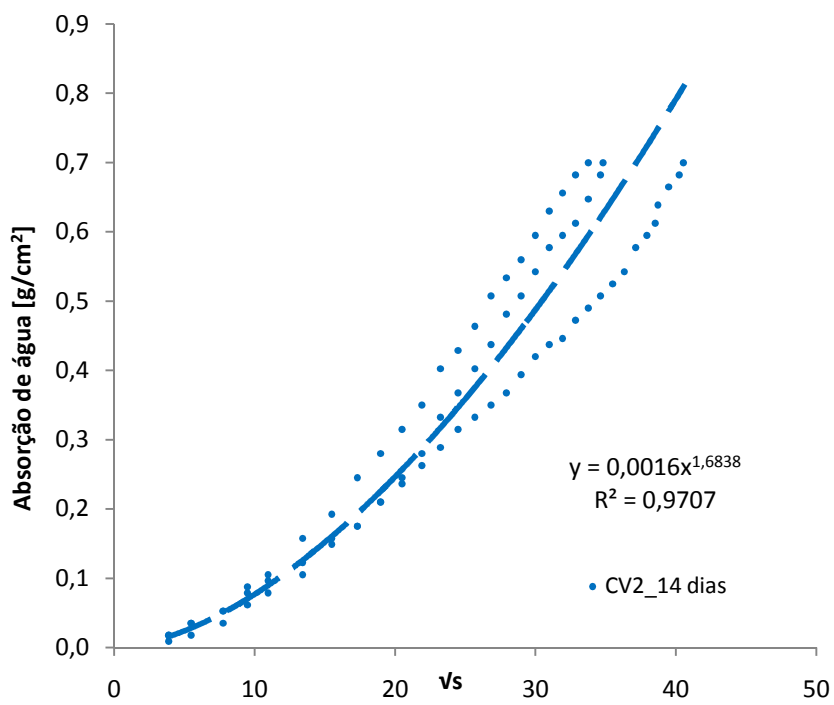
50	-	-	-	-	-	-	-	3	3,5	3,5			
58,4	-	-	-	-	-	-	-		4				
60	-	-	-	-	-	-	-	3,4		4			
70	-	-	-	-	-	-	-	3,7					
85	-	-	-	-	-	-	-	4					

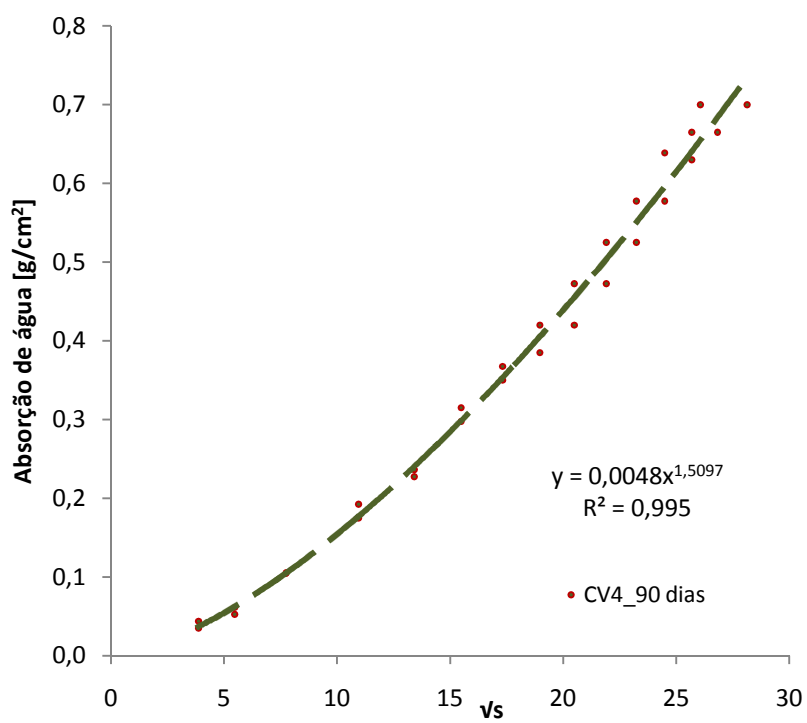
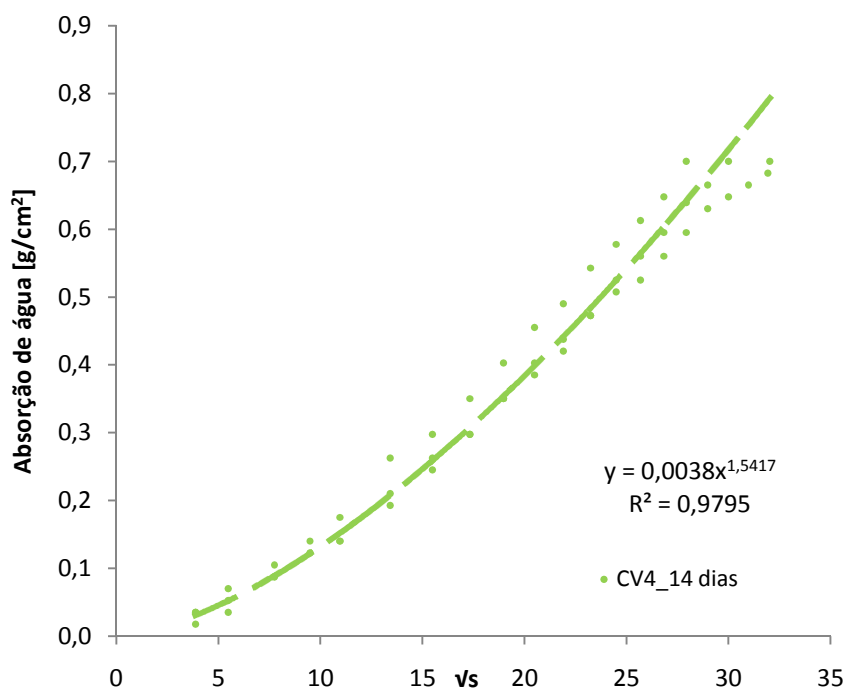
ENSAIO DE ABSORÇÃO SOB BAIXA PRESSÃO











Anexo A 3- Fichas técnicas dos materiais utilizados

Sikadur® 32 N**Cola estrutural de resinas de epoxi**

Descrição do produto	Sikadur 32 N é uma cola em dois componentes à base de resinas de epoxi, sem solventes, que aplicado sobre superfícies de betão endurecido proporciona a ligação perfeita com betão fresco.
Utilizações	Utiliza-se geralmente na união monolítica de betão endurecido com betão fresco e em juntas de betonagem, proporcionando resistências mecânicas superiores às do próprio betão. Indicado especialmente para trabalhos realizados a temperaturas médias e baixas, sobre paramentos verticais e muito inclinados.
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> ■ Muito boa aderência sobre a maioria de bases: betão, argamassa, pedra, ladrilho, fibrocimento, aço e metais, vidro e materiais sintéticos. ■ Bom comportamento a baixas temperaturas. ■ Alta tixotropia (não escorre). ■ Impermeável a líquidos e a vapor de água. ■ Endurece sem retração. ■ Não é afectado pela humidade. ■ Grande eficácia, inclusive sobre superfícies húmidas.

Dados do produto

Cor	Cinzento claro.
Fornecimento	Caixas com 8 kits de 1,2 kg.
Armazenagem	O produto deve estar armazenado em local seco e fresco, nas embalagens de origem não encetadas, a temperaturas entre +5°C e +25°C.
Conservação	Conserva-se 18 meses após data de fabrico.

Dados técnicos

Base	Resina de epoxi em dois componentes.
Proporções de mistura	Componente A: 2 partes em peso. Componente B: 1 parte em peso.
Massa volúmica	1,4 kg/litro.
Aderência ao betão	2,5 a 3 N/mm ² (rotura no betão).
Aderência ao aço	18 a 20 N/mm ² (aos 10 dias, cura a 20°C, H.R. 65%).
Resistências mecânicas	Compressão: aprox. 60 a 70 N/mm ² . Flexão: aprox. 30 a 35 N/mm ² . Tração: aprox. 18 a 20 N/mm ² .

Vida da mistura (pot-life) Aprox. 25 minutos, a 20°C.

Tempo aberto a 20°C Após aplicação, mantém-se adesivo até aprox. 3 horas, dependendo da temperatura.

Temperatura da base Mínimo +5°C.

Modo de emprego

Preparação da base A base deve estar limpa, sem água estagnada, isenta de gordura e óleos, sem partículas em desagregação, leitança de cimento superficial e quaisquer contaminações. Preparar a base por meios mecânicos: picagem, jacto de areia, granalha, fresagem, escovas de aço, ar comprimido, etc., até conseguir uma superfície bem sã e suficientemente rugosa. Antes da aplicação de Sikadur 32 N deve-se remover o pó e partículas depositadas, com ar comprimido limpo e sem contaminação de óleo.

Mistura Mexer em separado os dois componentes, depois misturá-los manualmente ou, se possível, com um misturador eléctrico de baixa rotação (máx. 600 rpm) até conseguir uma massa homogénea.

Aplicação Aplicar a cola com brocha, rolo, espátula de borracha, etc. É necessário impregnar bem a base, sobretudo se estiver húmida.

Consumo 0,300-0,800 kg/m², dependendo da natureza e porosidade da base e também da temperatura.

Limpeza de ferramentas Limpar imediatamente com Solutol de Limpeza Colma. Após endurecimento, o produto só pode ser removido por meios mecânicos.

Indicações importantes O betão ou argamassa fresca só devem colocar-se enquanto Sikadur 32 N se mantém pegajoso. Esse prazo não pode ultrapassar o "tempo aberto", conforme as temperaturas:

Temperatura	+5°C	+10°C	+20°C	+30°C
Tempo aberto	7 horas	5 horas	3 horas	1 hora

A vida da mistura reduz-se com temperaturas mais altas e/ou quantidades misturadas maiores.

A viscosidade e o consumo aumentam quando a temperatura diminui.

A temperatura ideal de trabalho situa-se entre +10° e +20°C.

A base não poderá estar a menos de +5°C.

Se os componentes, ou um deles, se apresentarem cristalizados devido a baixas temperaturas de armazenagem, isso não significa que o produto esteja estragado, bastará amornar separadamente cada um dos componentes cristalizados, em banho-maria (nunca com chama directa!). Deixar arrefecer antes de proceder à mistura dos dois componentes.

Risco e segurança

Medidas de segurança Deve evitar-se o contacto com a pele. Usar equipamento de protecção, luvas e óculos. Em caso de contacto accidental com os olhos, lavar com muito água e consultar um médico. Não lançar resíduos nas canalizações, cursos de água ou terrenos. Para mais informações, consultar as respectivas fichas de segurança, disponíveis a pedido.

FICHA DE DADOS DE SEGURANÇA
EM CONFORMIDADE COM A DIRECTIVA 91/155/CEE
(Última revisão: 22.01.1996)

1.	IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DO FABRICANTE			
1.1.	Identificação do produto			
	Nome do produto.....	Cal Hidratada		
	Nome químico.....	Hidróxido de cálcio - Ca(OH) ₂		
	N.º CAS.....	1305-62-0		
	N.º Eines.....	215-137-3		
1.2.	Identificação do fabricante			
1.2.1.	Nome.....	Calcedra - Indústrias de Cal, S.A.		
	Endereço.....	Pé da Pedreira - 2025 161 Alcanede		
	Telefone.....	243 40 51 79; Telefax.....	243 40 51 18	
1.2.2.	Pessoa responsável.....	António Manuel Piedade Batista		
	Telefones.....	917505 887; 243 409 030; 243 405 179		
2.	COMPOSIÇÃO/INFORMAÇÃO SOBRE OS COMPONENTES			
2.1.	Caracterização química			
2.1.1.	N.º CAS	Nome (Ref. directiva CEE)	<i>Símbolo</i>	<i>Frase R</i>
	1305-62-0	Hidróxido de Cálcio	Xi	36 = 38
2.1.2.	N.º Eines.....	215-137-3		
3.	IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS			
3.1.	Identificação do perigo.....	"Xi", Irritante		
3.2.	Perigos críticos para o Homem.....	R 36 - Irritante para os olhos		
		R38 - Irritante para a pele		
		A cal hidratada dissolve-se em água, formando uma base (elevação do pH)		
4.	PRIMEIROS SOCORROS			
4.1.	Olhos.....	Lavar com muita água. Consultar rapidamente um especialista		
4.2.	Inalação.....	Lavar o nariz e a garganta com água		
4.3.	Ingestão.....	Lavar a boca com água e beber grandes quantidades de água.		
4.4.	Pele.....	Lavar a zona afectada com água.		
5.	MEDIDAS DE PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS			
5.1.	Procedimento de combate ao fogo.....	O produto não é inflamável.		
6.	MEDIDAS A TOMAR EM CASO DE DERRAME ACIDENTAL			
6.1.	Precauções pessoais.....	Tomar medidas de protecção individual. Ver 8.		
6.2.	Precauções ambientais.....	Evitar o derrame sobre águas superficiais		
		Pequenas quantidades podem ser lançadas em esgotos, desde que muito diluída.		

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DAS EMPRESAS DE BETÃO ARMADO



AV. CONSELHEIRO BARJONA DE FREITAS, 10 A
 1500 LISBOA
 TELEFONES: (01) 774 19 25
 (01) 774 19 32
 (01) 778 53 65
 (01) 778 58 39
 FAX: (01) 778 58 39



LABORATÓRIO
 ACREDITADO
 CERTIFICADO Nº. 90/L. 52
 emitido pelo
 INSTITUTO PORTUGUÊS
 DA QUALIDADE

Processo: D3249/98 Amostra: 2202/00085 Relatório: 21923/98 Data: 16/12/98

**CIMENTOS
 PERMEABILIDADE AO AR (BLAINE)**

S.T.A.P., REAB. MOD. E PROTEC. ESTRUTURAS
 A/C SR. ENG.º M. BRAZÃO FARINHA
 R. PEDRO NUNES, 27, 1.º
 1050 LISBOA

Marca: -- Classe: --

Requerente: S.T.A.P.
 Obra: --

Identificação: POZOLANA DE ST.º ANTÃO
 MOÍDA LOTE 001/98
 Pedido: V/FAX Nº: DM912 DE 12/11/98
 Data de entrada: 13/11/98
 Ensaio pago por: REQUERENTE

O DIRECTOR TÉCNICO

O CHEFE DO LABORATÓRIO

Jorge Santos Pato

João André

PROVETE	DATA DE ENSAIO	SUPERFÍCIE MÁSSICA (cm ² /g)
POZOLANA DE ST.º ANTÃO MOÍDA	98/12/15	7580

OBSERVAÇÕES:

- Ensaio realizado de acordo com a norma NP EN 196-6 (1990);
- Os resultados de ensaio referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.
- Este relatório só pode ser reproduzido na Integra.

