



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Nilce Meire Pereira Pinho

**REABILITAÇÃO DE REVESTIMENTOS À BASE
DE CAL EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS**

REHABILITATION OF LIME-BASED COATING
FACADES OF OLD BUILDINGS

Dissertação de Mestrado em Reabilitação de Edifícios, no Ramo não Estrutural,
orientada pela Professora Doutora Maria Isabel Morais Torres e Doutora Gina
Maria Lourenço Matias e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Setembro de 2023

Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade de Coimbra

NILCE MEIRE PEREIRA PINHO

REABILITAÇÃO DE REVESTIMENTOS À BASE DE CAL EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

REHABILITATION OF LIME-BASED COATINGS IN FACADES OF OLD BUILDINGS

Dissertação de Mestrado em Reabilitação de Edifícios, no Ramo Não Estrutural,
orientada pela Professora Doutora Maria Isabel Morais Torres e pela Doutora Gina Maria Lourenço Matias.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter

Colaboração Institucional



Julho de 2023



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Esta secção é dedicada a todos aqueles que, de alguma forma ou de outra, colaboraram para a realização deste trabalho e me ajudaram a ultrapassar mais esta etapa da minha vida. Desta forma, agradeço:

Às orientadoras Professora Doutora Maria Isabel Morais Torres e Doutora Gina Maria Lourenço Matias, pelos conhecimentos transmitidos ao longo deste estudo.

Ao Itecons, pela disponibilização das instalações, equipamentos e equipas para a realização dos ensaios laboratoriais.

Aos colegas do Itecons que estiveram sempre prontos a colaborar. Agradecimentos especiais a Poliana Bellei, Deives Junior de Paula, Nuno Tinoco e Patrícia Vasconcelos.

À Secil Argamassas pela efetiva colaboração no fornecimento das argamassas utilizadas nesta investigação, bem como pela aplicação dos produtos feita por funcionário da empresa. Agradeço especialmente ao Engenheiro José Carlos Fonseca que nos atendeu prontamente.

Às famílias Quintas e Bacalhau por nos oferecerem as suas moradias para os ensaios *in situ*, pelo carinho e prontidão, em especial as irmãs Manuela, Helena, Leontina, Assunção e ao Sr. Fernando, que estiveram connosco prontos a ajudar.

À Junta de Freguesia de Vila Nova, em Miranda do Corvo, em especial ao Presidente da Junta Sr. Dr. José Alexandre Paiva, à Sra. Sandra e ao Eng.º Fernando Rodrigues por nos receberem e fornecerem informações sobre as Aldeias de Sandoeira, Favais e Zorro, onde se encontram as casas que fazem parte deste trabalho. Agradeço ainda o facto de nos colocarem em contato com os moradores Sr. António Carvalho, Sr. Manuel Pedro e Sr. Henrique Carvalho, que se dispuseram a falar connosco sobre a origem dos materiais das casas dos seus antepassados e sobre as técnicas construtivas antigas.

À minha família.

RESUMO

Este trabalho tem como foco a análise dos traços e componentes de argamassas recolhidas em paredes de edifícios antigos, construídos em diferentes épocas, em aldeias da região central de Portugal.

O resultado desta análise servirá de base para o desenvolvimento, em laboratório, de novas argamassas com características semelhantes as recolhidas “in situ”.

Serão comparadas argamassas pré-doseadas à base de cal atualmente disponíveis no mercado e uma argamassa formulada em laboratório também à base de cal hidráulica, com o resultado do material estudado.

Seguidamente, ambas as argamassas serão aplicadas nos suportes originais, analisando-se a influência que estes suportes podem ter sobre as mesmas, no que diz respeito ao seu desempenho físico e mecânico.

A opção de se adicionarem ao trabalho argamassas comerciais pré doseadas, amplia o leque de escolha para quem prefere o pré-doseado, e não pretende correr o risco de optar por uma argamassa incompatível com o suporte.

O resultado da análise comparativa e científica será útil a técnicos, proprietários, instaladores e aplicadores das argamassas à base de cal.

O objetivo deste trabalho será então divulgar o conhecimento a quem se relaciona com trabalhos de reabilitação do edificado, alertando para os benefícios que o uso adequado dos materiais poderá trazer ao imóvel antigo, como também para os malefícios que a aplicação de um produto incompatível poderá trazer.

Espera-se que esta pesquisa ajude na consciencialização dos profissionais da construção quanto à importância da conservação deste património material que são as aldeias portuguesas e a história de nossos antepassados.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa de cal; Compatibilização de materiais; Reabilitação de Edifícios; Património Material e Imaterial; Aldeias Portuguesas

ABSTRACT

This work focuses on the analysis of the components of mortars collected on the walls of buildings built in different periods of the XIX and XX centuries, in villages located in the central region of Portugal.

The result of this analysis will serve as a basis for the laboratory replication of new mortars with characteristics similar to those collected “in situ”.

Pre-dosed lime-based mortars currently available on the market will be compared with the results of the studied material.

Then, both mortars will be applied to the original substrate, and the influence that these supports can have on them, with regard to their physical and mechanical performance will be analysed.

The option of adding pre-dosed commercial mortars to the work expands the range of choice for those who prefer pre-dosed, and do not want to run the risk of opting for a mortar incompatible with the original substrate.

The result of the comparative and scientific analysis will be useful to technicians, owners and installers and applicators of lime-based mortars.

The main objective of this work will be to disseminate knowledge to those involved in building rehabilitation works, warning of the benefits that the proper use of materials can bring to the old property, as well as alerting to the harm that the application of an incompatible product may have.

It is hoped that this research will help to make construction professionals aware of the importance of conserving this material heritage that is the Portuguese villages and the history of our ancestors.

KEYWORDS: Lime mortar; Compatibility of materials; Building rehabilitation; material and intangible heritage; Portuguese Villages.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
Resumo	II
Abstract	III
Índice.....	IV
figuras e tabelas	VI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento.....	3
1.2 Objetivos e Metodologia	4
1.3 Organização do Texto.....	5
2- EsTado da Arte	7
2.1 Revestimentos de edifícios antigos	7
2.2 Argamassas de Revestimento a base de cal	8
2.3 Alvenarias em Pedra	10
2.4 Compatibilidade entre Argamassa / Suporte.....	10
2.5 A Sustentabilidade na Reabilitação do Edificado	11
2.6 Estudo de Caso - A Freguesia de Vila Nova e suas aldeias	12
2.7 Testemunho Oral - Técnicas Construtivas Vernaculares	14
3- CAMPANHA EXPERIMENTAL	17
3.1 Caracterização dos materiais.....	18
3.1.1 Determinação do traço por dissolução ácida.....	19
3.1.1.1 Resultado da Dissolução Ácida proporção ligante:agregado	20
3.1.1.1.1 Análise dos Resultados da Dissolução Ácida	20
3.1.2 Análise Granulométrica	20
3.1.2.1 Resultado da Análise Granulométrica.....	21
3.1.2.1.1 Análise dos Resultados da Granulometria das areias	21
3.1.3 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio (MIP)	22
3.1.3.1 Resultados da Porosimetria por Intrusão de Mercúrio (MIP)	23

3.2 Caracterização das Argamassas de Substituição	28
3.2.1 – Preparação dos provetes laboratoriais	29
3.3 Caracterização das Argamassas no Estado Fresco	30
3.3.1 Ensaio de Espalhamento	30
3.3.1.1 Resultado - Consistência por Espalhamento	30
3.4 Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido	31
3.4.1 Absorção de água por capilaridade	31
3.4.1.1 Resultado - Absorção de água por capilaridade	32
3.4.2 Permeabilidade ao Vapor de água.....	33
3.4.2.1 Resultado - Permeabilidade ao Vapor de água	36
3.4.2.1.1 Análise dos Resultados - Permeabilidade ao Vapor de água	37
3.4.3 Resistência à Tração por Flexão e Resistência à Compressão	38
3.4.3.1 Resultados - Resistência à Tração por flexão e Resistência à Compressão	39
3.5 – Preparação dos Suportes e Aplicação das Argamassas de Substituição.....	41
3.5.1– Resistência Adesiva – Ensaio de Pull-Off	42
3.5.1.1 Resultado - Resistência Adesiva – Pull-Off.....	44
3.5.1.1.1 Análise dos Resultados - Resistência Adesiva – Pull-Off.....	44
3.5.2 – Absorção de água sob baixa pressão – tubo de Karsten.....	45
3.5.2.1 Resultado – Absorção de água á baixa pressão – Tubos de Karsten.....	46
3.5.2.1.1 Análise dos Resultados Absorção de água á baixa pressão Tubos de Karsten.....	49
3.5.3 - Determinação da resistência superficial – Esclerómetro pendular	50
3.5.3.1 Resultado Resistência Superficial Esclerómetro Pendular.....	51
3.5.4 Resistência à penetração e resistência ao impacto (Martinet-Baronnie).....	53
3.5.4.1 Resultado - Ensaio de Martinet-Baronnie	55
3.5.4.1.1 Resultados Martinet-Baronnie - Penetração Controlada	55
3.5.4.1.1.1 Resultados Martinet-Baronnie - Impacto da Esfera	56
4 Comparação dos Resultados dos vários ensaios realizados w com outros autores.	59
4.1 Análise Granulométrica Argamassas Vila Nova vs. Centro Histórico de Coimbra	59
4.2 Permeabilidade ao Vapor de água vs. Absorção de água por capilaridade	63
5 Conclusões	65

6- Desenvolvimentos Futuros	68
Bibliografia	69

FIGURAS E TABELAS

Índice de Figuras

Figura 2.1 - a); b); c); Incompatibilidade entre materiais.	10
Figura 2.2 a) Localização; b) Miranda do Corvo; c) Vila Nova; d) Aldeias: Sandoeira, Favais e Zorro..	16
Figura 2.3 - Aldeia de Sandoeira. Na marcação os dois imóveis em estudo: a) B “Bar”; b) A “Adega”..	16
Figura 2.4 – Favais: a) “Celeiro” e Zorro; b) “Sogro”.....	16
Figura 2.5 - Paredes em Pedra: a) adega; b) bar; c) sogro; d) celeiro..	16
Figura 2.6 - a) Fornos de Cal 1928; b) Armazéns de Cal Hidráulica o do Mondego; c) Carregamento de Cimento e Cal Hidráulica 1910 - Fonte: Brandão et al. (2016) – Fotos a) e c) Reprodução de Souza 1996, Foto b) Postal Ilustrado.	16
Figura 2.7 - a) Antonio Carvalho; b) Manuel Pedro; c) Henrique de Carvalho; d) Fernando Bacalhau e Assunção Quintas ; e). José Fonseca e Carlos Ameiro; f) Nilce Pinho e. Maia; g) Manuela e Helena Quintas; h) Leontina Quintas.	16
Figura 3.1 - a) Edifício (B) Bar; b) local da retirada da amostra; c) amostra	16
Figura 3.2 - a) Edifício (A) Adega ao nível da rua; b) Adega ao nível da Cave; c) Local da retirada da amostra; d) Amostra.	16
Figura 3.3- a) Edifício (C) Celeiro; b) parede de retirada da amostra; c) amostra.	16
Figura 3.4 - a) Casa do Sogro (S); b) Parede para retirada de amostras; c) amostra.	16
Figura 3.5- a) Desagregação da amostra; b) Estufa; c) Secagem do material em estufa, a 70°C.	16
Figura 3.6 - a) Ácido clorídrico; b) Dissolução Ácida H ₂ O:HCl; / Material Desagregado; c) Agitação e efervescência (reação química); d) Material dissolvido.	16
Figura 3.7- a) Filtragem; b) Lavagem dos finos; c) Filtragem; d) Material seco em estufa.	16
Figura 3.8 a) Agregados resultantes de dissolução ácida; b) Finos retidos no peneiro de 0,063mm.....	20
Figura 3.9- Curvas granulométricas dos agregados das argamassas existentes Areia de Rio, BE, AE, CE e SE x percentual cumulativo de passados.	20

Figura 3.10- a) Amostras em estufa, antes do pré-tratamento; b) Amostras armazenadas em caixa estanque com sílica para arrefecimento; c) Porosímetro Autopore 9500.	21
Figura 3.11 - Preparação dos provetes para o ensaio de porosimetria.	21
Figura 3.12 - Equipamento Autopore a) Baixa pressão; b) Alta pressão; c) Dispensando o mercúrio.	22
Figura 3.13 - Porosimetria por Intrusão Diferencial.	22
Figura 3.14 - a) Moldes; b) Enchimento de provetes de 4x4x16cm com argamassa; c) Aplicação de óleo descofrante em placa não absorvente; d) Proвете cilíndricos.	25
Figura 3.15 - a) Disco de espalhamento limpo; b) Molde cónico centrado; c) Retirada da argamassa do molde; d) Manivela cujo giro eleva a mesa e reproduz as pancadas que simulam a “queda” da argamassa.	26
Figura 3.16 - Espalhamento: a) Argamassa de Cal NHL + Areia de rio; b) Argamassa Pré doseada Reabilita Cal CS; c) Argamassa Pré doseada Reabilita Cal RB.	27
Figura 3.17 - a) Ensaio de Absorção de água por capilaridade; b) Pesagem em balança de precisão.	28
Figura 3.18- a) Membrana plástica; b) Tina; c) União do provete com a tina; d) selagem com parafina.	30
Figura 3.19 - Ensaio de permeabilidade ao vapor de água	16
Figura 3.20 - Gráfico de permeabilidade ao vapor de água médio.	16
Figura 3.21 - Ensaio de resistência à tração; a) provetes curados; b) provete posicionado para o ensaio; c) ensaio finalizado após rotura dos provetes.	16
Figura 3.22 - Ensaio de resistência à compressão, utilizando os provetes resultantes do ensaio de tracção por flexão. a) b) e c) sequência do provete sendo ensaiado à compressão.	16
Figura 3.23- a) Retirada do Reboco; b) Limpeza dos Suportes; c) Escovação.	16
Figura 3.24 - a) Humedecendo a parede; b) Preparando a argamassa; c) Aplicando a argamassa na parede	16
Figura 3.25 - a) Pastilhas coladas ao suporte, b) Ensaio de arrancamento c) Final do ensaio – arranque das argamassas.....	16
Figura 3.26 - Padrões de rotura previstos. 1) - Pastilha metálica; 2) - cola; 3) - Argamassa de Revestimento; 4) - Suporte (CEN, 2000).	16
Figura 3.27 - a) Rotura Tipo A.	16
Figura 3.28 a) b) – Ensaio de absorção de água a baixa pressão.	43
Figura 3.29 – Imóvel CE – Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas CE, CBC e CNH.	44
Figura 3.30 – Imóvel SE – Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas SE, SBC, SNH.	44

Figura 3.31 – Imóvel BE – Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas BE, BB, BNH.	45
Figura 3.32 – Imóvel AE - Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas AE, ABC e ANH.	45
Figura 3.33 - Ensaio da resistência superficial - Esclerómetro Pendular	47
Figura 3.34 - Resistência superficial ao impacto médio f_c (N/mm ²), Esclerómetro Pendular.	48
Figura 3.35 - Resistência superficial ao impacto médio f_c (N/mm ²), Esclerómetro Pendular vs. índice esclerométrico.	49
Figura 3.36 - a) Penetrómetro e detalhe da penetração; b) Esfera de impacto com medição do diâmetro da moosa.	50
Figura 3.37- Valores médios para o ensaio de Penetração Controlada das argamassas CE, SE, AE e BE.	51
Figura 3.38 - Resistência ao impacto de penetração para as argamassas de renovação (C_R). – CBC, CNH, SBC, SNH, ABC, ANH, BB e BNH.	52
Figura 3.39 - Resistência ao impacto da Esfera – Argamassas	53
Figura 3.40 - Resistência ao Impacto da Esfera – Diâmetro da Mossa – argamassas de renovação (C_R). .53	
Figura 4.1 - Análise granulométrica dos agregados estudados - Centro Histórico de Coimbra.	56
Figura 4.2 - Análise granulométrica dos agregados estudados – Casas das aldeias de Vila Nova.	56
Figura 4.3 – Sobreposição das curvas granulométricas de Vila Nova e do Centro Histórico de Coimbra.	57
Figura 4.4 – Gráfico do Volume dos Poros versus. Diâmetro dos Poros	60
Figura 4.5 – Gráfico de Pressão versus. Volume Cumulativo Intrudido.	60
Figura 4.6- Gráfico de Barras da Pressão versus. Volume Cumulativo Intrudido.....	61
Figura 4.7- Resultados para Penetração Controlada , Choque de Esfera e Esclerometria.	62
Figura 4.8- Resultados para Vapor de Água versus Absorção de Água por Capilaridade.	64

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Traços das argamassas - Imóveis BE, AE, CE e SE.....	19
Tabela 3.2 – Informações obtidas no ensaio de MIP para as argamassas recolhidas in situ.....	23
Tabela 3.3 – Classificação dos Poros segundo Pipilikaki e Beazi-Katsioti (2009) Citada por Torres et al (2018) e Soares (2021).	23
Tabela 3.4 – Argamassas de substituição e argamassas pré-doseadas.....	24

Tabela 3.5 - Procedimentos utilizados para os ensaios laboratoriais das argamassas.....	26
Tabela 3.6 - Valores de consistência por espalhamento.	27
Tabela 3.7 - Resultados de absorção por capilaridade argamassa de uso comum e de renovação	29
Tabela 3.8 - Permeabilidade ao vapor de água das argamassas nos moldes da norma e cálculo do desvio padrão.	32
Tabela 3.9 - Resultados para a permeabilidade ao vapor de água, coeficiente de absorção capilar e espessura da camada equivalente.	33
Tabela 3.10 - Resultados dos ensaios de resistência à flexão por tração média (R_t) e resistência à compressão média (R_c), com o respetivo desvio padrão	35
Tabela 3.11 – Resultados de Veiga (2003) para Resistência à Tração (R_t) e a Compressão (R_c) valores obtidos nos ensaios executados sobre provetes laboratoriais.	36
Tabela 3.12- Resultados dos ensaios de resistência Adesiva – Pull-Off – Celeiro (CE)“in situ”.	39
Tabela 3.13- Resultados dos ensaios de resistência Adesiva – Pull-Off – Bar (BE)“in situ”.	39
Tabela 3.14- Resultados dos ensaios de resistência Adesiva – Pull-Off – Sogro (SE)“in situ”.	40
Tabela 3.15 - Resultados médios para os ensaios de Resistência Adesiva, Pull-Off.	42
Tabela 3.16 – Resultados de Absorção de Água à Baixa Pressão – argamassas CE, CBC e CNH.	44
Tabela 3.17 – Resultados de Absorção de Água à Baixa Pressão argamassas SE, SBC e SNH.	44
Tabela 3.18 – Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas BE, BB, BNH	44
Tabela 3.19 – Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas AE, ABC e ANH.	45
Tabela 3.20 - Medição da resistência superficial, através de ensaio esclerométrico das argamassas.	47
Tabela 3.21 - Resistência ao impacto de penetração médio das argamassas comum: CE, SE, AE e CE ...	51
Tabela 3.22 - Resistência ao impacto médio de penetração – Argamassas comum: CBC, CNH, SBC; SNH; ABC; ANH; BB; e BNH.	52
Tabela 3.23 - Resistência ao Impacto da Esfera – Martinet Baronnie Argamassa Comum	52
Tabela 3.24- Resistência ao Impacto da Esfera – Martinet Baronnie. Argamassa de Renovação (CR.)....	27
Tabela 4.1 - Tabela 30 (%) dos grãos passados pelos peneiros: Centro Histórico de Coimbra vs. Vila Nova.	55
Tabela 4.2- Relação existente entre a granulometria e o coeficiente de não uniformidade (Cu).	58
Tabela 4.3 resultados do Coeficiente de não Uniformidade (Cu) e Coeficiente de Curvatura (Cc)	58
Tabela 4.4 - Técnicas de ensaio aplicadas em rebocos - adaptado de Galvão (2009).	61
Tabela 4.5 – Resultados – Choque da Esfera (MB), Esclerómetro , Penetrómetro (MB).	63

I INTRODUÇÃO

Este trabalho de investigação propõe-se estudar argamassas de substituição para edifícios antigos, em casas de aldeias portuguesas, localizadas na freguesia de Vila Nova, em Miranda do Corvo, distrito de Coimbra, região central do país. A motivação para o estudo foi a procura de alternativas que conciliem a reabilitação do património construído antigo, com a falta de mão de obra especializada, onde se vê, nas argamassas pré-doseadas, uma possibilidade.

A escolha das aldeias de Vila Nova como estudo de caso, deveu-se ao fato de a maioria das aldeias portuguesas terem vindo a sofrer um processo crescente de desertificação. e ainda porque se sabe que maior parte das investigações dedicadas ao estudo das argamassas antigas, são desenvolvidas em edifícios monumentais ou com valor patrimonial declarado. Quase não se encontram estudos envolvendo a recuperação do edificado vernacular português, como casas de aldeia.

Outro ponto importante, que pesou na escolha, foi a receptividade da junta de freguesia de Vila Nova, na procura de moradores antigos que pudessem contar detalhes sobre a origem dos materiais de suas casas. E por último, aproveitou-se a oportunidade que as famílias Quintas e Bacalhau deram, de disponibilizarem os seus imóveis para a execução dos ensaios *in situ*.

As aldeias de Vila Nova, assim como muitas aldeias portuguesas, tem visto o número dos seus moradores a decrescer anualmente. Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), o censo demográfico de 1911 mostra que à época, a freguesia de Vila Nova era habitada por 2.402 pessoas. Em 2021, 110 anos depois, o mesmo instituto aponta uma redução de 2/3 desta população, contando atualmente com apenas 793 habitantes. Somente 15% deste total, são jovens até 25 anos ou crianças.

Este cenário, típico da desertificação populacional das aldeias portuguesas, tem-se tornando alvo de preocupação dos governantes, que procuram promover o desenvolvimento local, criando polos atrativos de emprego, numa tentativa de conseguir fixar jovens em zonas rurais. Ferreira, (2011).

Com ajuda do morador Sr. Fernando Bacalhau, foi possível localizar, *in situ*, as 50 casas que formam as aldeias de Favais e Zorro. Deste total, apenas 13 se encontram ocupadas, sendo que a maioria das casas vazias estão a deteriorar-se, sem expectativas futuras de recuperação. A aldeia de Sandoeira, que está localizada na beira da rodovia N 17, é a aldeia que possui maior índice de ocupação. De suas 60 casas, possui apenas 4 casas desocupadas.

“O património construído vernáculo é a expressão fundamental da identidade de uma comunidade, das suas relações com o território e, ao mesmo tempo, a expressão da diversidade cultural do mundo. O património vernáculo é o meio tradicional e natural pelo qual as comunidades criam o seu habitat. Resulta de um processo evolutivo que inclui, necessariamente, alterações e uma adaptação constante em resposta aos constrangimentos sociais e ambientais. A sobrevivência desta tradição está ameaçada, em todo o mundo, pela uniformização económica, cultural e arquitectónica. Saber resistir a esta uniformização é fundamental e é uma tarefa que envolve, não só as diferentes comunidades, mas também os governos, os urbanistas, os arquitectos, os conservadores e vários especialistas noutras áreas disciplinares.” ICOMOS (1999)

As casas de aldeia eram construídas pelas famílias dos moradores, amigos e antigos pedreiros, que, nas palavras de Moroupolou (2005), aplicavam a intuição e a fantasia à resolução de problemas, compreendendo o papel de cada um dos componentes das argamassas, incluindo a sua microestrutura. Faziam isto baseando-se no conhecimento empírico dos materiais e na experiência não científica para seleccionar e aplicar as argamassas. Instintivamente, seguiam o caminho da ecologia e da economia, utilizando materiais de baixo valor, se estes cumprissem os requisitos de desempenho, não desperdiçando os materiais mais valiosos.

Segundo Moroupolou (2005) citado por, Velosa (2006), é necessário termos um conhecimento abrangente dos materiais para conseguirmos reproduzir argamassas “compatíveis” com as tradicionais, uma vez que estas argamassas foram sofrendo, ao longo do tempo, mudanças relacionadas com diversos fenómenos como erosão, poluição atmosférica e reações químicas dos seus componentes, sendo quase impossível conseguirmos reproduzir uma argamassa “igual” à original.

Esta investigação inicia-se com uma visita de reconhecimento aos imóveis, recolha de amostras de argamassas das casas das aldeias de Sandoeira, Favais e Zorro, passando seguidamente para sua caracterização física em laboratório, obtendo dados suficientes para se conseguir reproduzir uma argamassa compatível com as amostras recolhidas.

Por serem centenárias, as argamassas destas casas não seguiam normas para a aplicação dos revestimentos, de modo que a expectativa era encontrar um material com resistências mecânicas limitadas, diferentes das argamassas utilizadas atualmente.

Durante os ensaios *in situ*, foram preparados dois painéis junto as paredes de cada um dos quatro imóveis, que receberam a seguir, as argamassas de substituição, aplicadas junto à alvenaria em pedra dos suportes originais.

Esta dissertação, pretende sensibilizar profissionais e a sociedade acerca da importância da utilização de materiais compatíveis na recuperação do nosso património edificado, fomentando o conhecimento.

“Este empréstimo vai dar mais razão, esclarecendo origens, aos resultados da presente pesquisa, voltada para o trabalho e a obra do ARTÍFICE, no momento exato em que o génio hábil da mão do homem está a ser progressiva e rapidamente substituída por toda a casta maquinaria automática, enquanto a cibernética se esforça por aliviar o cérebro do seu natural modo de trabalhar, calculando e deduzindo. Ora, isto tem todo o sentido, tratando-se como se trata a OBRA do homem, por excelência: a ARQUITECTURA condicionadora do seu ABRIGO.” Langhans (1988)

1.1 Enquadramento

As argamassas dos edifícios antigos, executadas durante milhares de anos com materiais naturais, perderam a sua popularidade a partir da segunda metade do século XX, com o surgimento do cimento Portland. Desde então, o conhecimento e as técnicas construtivas vernaculares foram progressivamente deixando de ser transmitidas através das gerações.

O desconhecimento dos materiais e técnicas utilizados na preparação das argamassas antigas, assim como a falta de mão de obra capacitada para executá-los, acabou por fazer com que a manutenção destes edifícios antigos fosse feita com materiais inadequados, causando a estes edifícios, uma série de patologias indesejáveis.

Segundo Veiga et al. (2004), o que se espera das argamassas de reparação é que elas mantenham o edificado em bom estado de funcionamento, restaurando a integridade estrutural do revestimento, fornecendo-lhe um bom acabamento final e interrompendo o processo de deterioração da estrutura como um todo. É necessário que as argamassas de revestimento cumpram ainda os requisitos de estabilidade mecânica e auxiliem na estanqueidade das paredes, cooperando para a sua durabilidade, rigidez e aparência final do imóvel.

Uma das motivações para este estudo foi a procura de alternativas que conciliem a reabilitação e a falta de mão de obra especializada. Nesta procura, encontra-se nas argamassas pré-doseadas, uma proposta assertiva para a recuperação do edificado antigo, isto porque, segundo Gomes (2009), as argamassas pré-doseadas apresentam diversas vantagens sobre as argamassas tradicionais:

- Exigem uma menor especialização por parte do trabalhador,
- Há disponibilidade de assistência técnica do fabricante,
- O local das obras permanece mais limpo e organizado,
- Existe uma certificação de qualidade do produto,
- O desperdício do material é menor, entre outras.

Para se conseguir determinar as propriedades da argamassa de substituição, é necessária a realização de pesquisas prévias de compatibilidade, que levem em conta as características de suporte, o tipo de edifício e sua época construtiva, o clima da região e as condições ambientais da zona onde esta esteja inserida (Veiga, 2003).

Havendo uma grande gama de composições de argamassas pré-doseadas no mercado, a argamassa a ser escolhida deve estar condicionada às características básicas e propriedades das argamassas originais, como o tipo de ligante e a granulometria das areias.

Para determinação destas propriedades devem ser executados os devidos ensaios laboratoriais sobre provetes normatizados, seguindo as normas vigentes.

Nem sempre as amostras produzidas em laboratório refletem o comportamento real das argamassas aplicadas junto ao suporte, isto porque as argamassas mudam seu comportamento quando entram em contato com o substrato poroso do suporte. No caso dos moldes laboratoriais, esta interação não acontece, uma vez que a argamassa fica encerrada entre as paredes lisas e sem poros (Torres et al., 2020).

A vida útil do revestimento depende da interface que se forma, quando a água contida na argamassa fresca é transferida para a estrutura porosa do suporte, que por sua vez, a vai absorvendo ao longo do tempo. É durante este processo de endurecimento do ligante que são criados espaços vazios na argamassa, que acabarão por definir sua porosidade e resistência ao longo do tempo (Gomes et al., 2013).

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas uma argamassa à base de cal hidráulica natural e uma argamassa pré-doseada equivalente, que foram caracterizadas em moldes laboratoriais e aplicadas *in situ*, sobre os suportes reais das casas de aldeia, sendo possível avaliar a influência do suporte sobre a argamassa, e vice-versa.

1.2 Objetivos e Metodologia

Esta dissertação tem como objetivo analisar as características de amostras de argamassa recolhidas em edifícios antigos, com o objetivo de conhecer suas propriedades, para formular uma argamassa equivalente à base de cal hidráulica. Pretende-se ainda encontrar, no mercado de argamassas pré-doseadas, uma que apresente constituintes semelhantes às amostras analisadas inicialmente, elegendo-a também como argamassa de substituição.

Para o efeito, no desenvolvimento deste trabalho, foram analisadas argamassas existentes em vários edifícios seculares, localizados na região de Miranda do Corvo. Após caracterização destas argamassas antigas em laboratório, foram estudadas uma argamassa à base de cal hidráulica natural e uma argamassa pré-doseada equivalente, com a finalidade de serem utilizadas como argamassas de substituição das anteriores.

As argamassas de substituição foram também caracterizadas em laboratório, e foram aplicadas *in situ*, sobre os suportes reais das casas de onde foram extraídas as argamassas antigas analisadas. Esta aplicação permitiu avaliar a compatibilidade das argamassas de substituição com os suportes existentes.

As argamassas antigas existentes nos edifícios foram caracterizadas no que respeita ao traço (relação agregado/ligante), à granulometria da areia utilizada, e à porosimetria.

As argamassas de substituição (argamassa formulada em laboratório com cal hidráulica natural e argamassas pré-doseadas) foram caracterizadas em laboratório, no estado fresco, quanto à sua trabalhabilidade, e no estado endurecido quanto ao desempenho físico e mecânico. Foram determinadas a absorção de água por capilaridade, a permeabilidade ao vapor de água e também a resistência à tração e à compressão.

In situ, os suportes foram preparados para receber diversos painéis, tendo-se aplicado, sobre os mesmos, tanto a argamassa formulada com cal hidráulica natural, como as soluções pré-doseadas, de modo a analisar o comportamento das argamassas de substituição quando aplicadas em contexto real. Para o efeito, foram realizados diversos ensaios *in situ*, como a absorção de água sob baixa pressão, a resistência ao impacto, a dureza superficial e a resistência adesiva.

1.3 Organização do Texto

Capítulo 1, *Introdução*, apresentam-se considerações sobre a temática deste estudo de caso, apresentando-se os objetivos, o enquadramento teórico, os objetivos e a metodologia seguida no trabalho desenvolvido e a forma de organizar os textos apresentados.

Capítulo 2, *Estado da Arte*; apresenta-se um resumo sobre o Estado do conhecimento atual, onde fala sobre as características dos materiais que integram as argamassas antigas, alguns problemas envolvendo patologias e reabilitação do edificado e por fim contextualiza o estudo de caso, a localização das aldeias, adicionando o testemunho oral feito pelos alguns moradores

Capítulo 3, *Programa Experimental*; a organização da campanha experimental está dividida em três etapas distintas: caracterização dos constituintes das argamassas, ensaios em laboratório e ensaios *in situ*. Neste capítulo abordam-se e descrevem-se os procedimentos experimentais seguidos, materiais e equipamentos utilizados, e apresentam-se os resultados.

Capítulo 4, *Análise dos Resultados*; os resultados alcançados no Programa Experimental são discutidos e seguidamente é feita uma análise comparativa entre os mesmos, ao mesmo tempo que se faz um cruzamento entre dados obtidos por outros autores.

Capítulo 5, *Conclusão*: Faz-se um resumo das conclusões obtidas na análise dos resultados.

Capítulo 6, *Desenvolvimentos Futuros*: apresentam-se possibilidades de trabalhos a desenvolver no futuro.

2- ESTADO DA ARTE

2.1 Revestimentos de edifícios antigos

Os revestimentos à base de cal terão chegado a Portugal com a ocupação muçulmana, que durou cinco séculos, no sul do país. Vem desta época o hábito de se caiarem as paredes e muros na cor branca (como ainda se vê atualmente), e ainda a junção de outras cores na constituição das argamassas (Margalha, 1997).

No passado, as argamassas eram bastante heterogêneas em termos de distribuição granulométrica dos agregados, composição química e mineralógica, grau de mistura e proporção de componentes. Essa heterogeneidade produziu edifícios considerados “peças únicas”, portanto quando a reabilitação de um edifício antigo é pertinente, é necessário proceder a uma investigação minuciosa dos seus constituintes e propriedades (Loureiro et al., 2020).

A troca de materiais antigos por materiais novos, quando feita indiscriminadamente, pode acabar resultando em algo deficiente e comprometedor. Perde-se o testemunho estético e tecnológico, o marco de época e o contexto arquitetônico, descaracterizando-se o edifício pela modificação da cor e da textura dos novos revestimentos. Quando envelhecem, as alterações são facilmente notadas, chegando mesmo a alterar o funcionamento da parede, favorecendo a sua deterioração. Muitas vezes a deterioração faz mudar os fluxos da água e os sais que transitam entre suporte e o revestimento. Como resultado, podem-se ter revestimentos completamente comprometidos, ou em alguns casos, o colapso do próprio edifício (Abrantes, 2012).

Os rebocos das paredes de edifícios antigos são maioritariamente constituídos, por cal aérea e areia, podendo ter propriedades hidráulicas dependendo da quantidade de pozolanas adicionadas, havendo também casos de uso do saibro (argila, areia e pedras). Appleton (2003) citado por Gomes (2009).

A perda do domínio das técnicas antigas de utilização da cal, junto com a atual necessidade de reabilitar, fez com que o uso do cimento Portland se popularizasse e seu uso se tornasse corrente, afetando inúmeros edifícios com patologias que antigamente não eram comuns.

Segundo Veiga (2006), se confirmada uma inviabilidade de reparação, e o mau estado do revestimento, haverá a necessidade da substituição deste por outro semelhante, garantindo um bom comportamento do conjunto.

Margalha (1997) evidenciou nas suas pesquisas que entre as décadas de 50 e 60 eram utilizadas, predominantemente, argamassas de cimento e areia, ou de cal hidráulica e areia. Nas décadas de 70 e 80 o uso do mesmo tipo de argamassa foi mantido, no entanto com traços mais fracos de ligante. Já nos anos 90, nota-se uma tendência para o regresso das argamassas a base de cal. Estes dados referem-se a municípios no Sul do nosso país.

Durante a sua pesquisa, a mesma autora recolhe junto a pedreiros, testemunhos orais sobre as técnicas tradicionais relacionadas com o uso da cal, suas vantagens e modos de uso, no intuito de preservar a memória deste legado vivo. Os testemunhos revelam ainda que a forma de execução e de aplicação dos materiais afetavam diretamente o comportamento do revestimento, e aponta ainda para o facto de que as argamassas tradicionais deveriam ser aplicadas em camadas de pequena espessura, devendo haver intervalo de um a dois dias entre as aplicações.

Estes testemunhos confirmam que o comportamento dos revestimentos antigos, dependia do conhecimento sobre materiais e técnicas construtivas antigas.

A implementação de um programa de manutenção adequado poderia evitar a degradação das argamassas e dos respetivos suportes, e conseqüentemente a necessidade de intervenções mais profundas (Sousa, 2003).

Segundo Faria et al., (2012), citada por Lino (2013), embora a cal aérea seja considerada uma solução adequada como ligante nas argamassas de conservação, há um interesse crescente no estudo da cal hidráulica natural como ligante para a construção.

Com o intuito de atender às necessidades atuais de compatibilidade entre os materiais, surgem no mercado as argamassas pré-doseadas, trazendo melhoramentos quanto às propriedades mecânicas, estéticas e térmicas das antigas argamassas, facilitando o uso e aplicação destas argamassas no edificado, sem correr o risco de se utilizar um material incompatível.

2.2 Argamassas de Revestimento a base de cal

A Argamassa é uma mistura de agregados (areia lavada), ligante (cimento, gesso ou cal) e água. Possui aderência e endurecimento, transformando-se em um material sólido. As argamassas podem ser utilizadas como revestimento de parede, assentamento de tijolos, pedras ou blocos, ou ainda para regularização de superfícies.

Os agregados que formam o esqueleto das argamassas, são classificados de acordo com seu tamanho (finos, grossos ou arenosos), sua composição química e mineral (siliciosos, calcários ou argilosos) ou a sua origem (naturais de rio, de mar ou de mina ou ainda os artificiais) (Matias, 2014).

No que se refere ao tamanho das partículas, estas devem apresentar uma distribuição equilibrada. As partículas maiores conferem mais resistência à argamassa, enquanto partículas menores reduzem sua porosidade, sendo assim possível reduzir a quantidade de ligante e diminuir a retração, conservando suas características de compacidade e trabalhabilidade (Tomás, 2012).

A água de amassadura não deve apresentar cheiro ou sabor. Na produção de uma argamassa, deve-se adicionar à massa as quantidades necessárias de água, para que ocorra

uma boa hidratação entre ligante, aglomerados e demais constituintes, obtendo assim uma pasta com boa consistência e trabalhabilidade. Quando se acrescenta água em excesso, podem-se causar efeitos que acabarão por afetar negativamente a porosidade, permeabilidade e a consistência da argamassa, reduzindo sua resistência mecânica e aumentando a sua retração.

Ligante é uma expressão utilizada para se referir a um material que promove a união entre os grãos dos agregados, ganhando coesão e tornando-o um material sólido. Os principais ligantes para o fabrico das argamassas, são o cimento, a cal e o gesso.

Os ligantes são classificados em dois grupos, de acordo com o processo de endurecimento:

Os ligantes hidráulicos que formam uma pasta, cujo endurecimento se dá pela reação química entre o pó e a água, podendo também endurecer imersos em água;

Os ligantes aéreos ganham resistência apenas em contacto com o ar.

Segundo Gomes (2009) “*A cal aérea deriva de rochas cálcicas (originando cal cálcica) ou dolomíticas (quando existe mais de 20% em teor de magnésio na sua composição, originando a cal dolomítica), com um máximo de 5% de impurezas (argila e outras impurezas). Mediante a quantidade de impurezas, a cal cálcica pode ser: gorda, quando esse valor é igual ou inferior a 1% e deriva de calcários muito puros; magra, quando o valor de impurezas se encontra entre 1% e 5%. O seu processo de fabrico inicia-se com a calcinação a temperaturas de cozedura que rondam os 900°C, como expresso na seguinte equação:*



“Quando tratado a altas temperaturas, de cerca de 900°C, o calcário (CaCO₃) produz o óxido de cálcio (CaO), conhecido como cal viva. Este processo de decomposição que envolve a libertação de dióxido de carbono (CO₂). Quando em contacto com água, o óxido de cálcio estabiliza, e produz o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), conhecido como cal hidratada”. Matias, (2014).

Características dos Aglomerantes Hidráulicos

Conforme a NP EN 459-1, a cal hidráulica natural (NHL), deve desenvolver propriedades hidráulicas a partir da combustão de calcários mais ou menos argilosos ou siliciosos e redução a pó por extinção, com ou sem moagem. Como a hidraulicidade se deve à composição química especial do material natural, este tipo de cal não contém outros aditivos. É também o ligante mais utilizado na renovação de edifícios, devido a sua excelente permeabilidade e durabilidade, à sua capacidade de respeitar as propriedades do suporte original, à sua capacidade de absorver deformações e à sua resistência aos sais solúveis, o que reduz a probabilidade de aparecimento de fissuras.

As argamassas à base de cal hidráulica natural, ao revestirem as fachadas dos edifícios antigos, conferem-lhes as condições necessárias para garantir a habitabilidade dos locais onde se vive e trabalha, sendo por isso uma escolha adequada a ser utilizada (Pinto, 2014).

2.3 Alvenarias em Pedra

Em Coimbra, é comum encontrarmos edifícios antigos executados em alvenaria de pedra calcária de diversas espessuras e qualidades, ou seja, pedras com variados graus de carbonatação ou que possuem argila em sua composição. O tamanho e a forma com que as pedras chegam ao local da obra, a forma como a argamassa é aplicada e a sua qualidade são fatores que determinam a qualidade da alvenaria (Silva et al., 2009).

De forma geral, as alvenarias de pedra eram executadas com um material convenientemente disposto, heterogêneo e descontínuo, possuindo uma alta resistência à compressão, e uma baixa resistência à tração, dependendo exclusivamente da ação da gravidade e possuindo um baixo risco de deslizamento (Roque, 2002).

2.4 Compatibilidade entre Argamassa / Suporte

A compatibilidade entre a argamassa e o suporte só acontece quando na argamassa há uma interação do aglutinante com os elementos do suporte, conseguindo desta forma resistir aos movimentos internos de secagem, aos processos de endurecimento da argamassa e às trocas de vapor, onde a água contida nos poros da argamassa encontra um caminho para fora do edificado.

Nas argamassas a aderência processa-se por penetração capilar da água de amassadura nos poros do suporte, que transportam o ligante. Para uma boa aderência, é necessário que as partículas finas formem uma pasta capaz de, com a água, penetrar facilmente no suporte, melhorando a sua ligação mecânica e sua capacidade de cura (Veiga, 1998). As argamassas ricas em ligante e com alta quantidade de finos tem maior resistência mecânica, contudo podem levar as argamassas a uma maior fendilhação por retração.

A textura do suporte é um dos fatores mais importantes no desenvolvimento da aderência. A irregularidade (rugosidade) do substrato proporciona à argamassa aplicada, um ponto de fixação e aumento da aderência. Substratos lisos, que possuem menor aderência, requerem uma preparação adequada para receber a argamassa. Nas superfícies do substrato, a porosidade (diâmetro, estrutura, volume, distribuição e interconectividade dos poros) é um fator fundamental, especialmente porque afeta o transporte de água (sucção de água da argamassa), especialmente nas fases iniciais após a aplicação (Bauer, 2005).

Segundo Cardoso (2021), na reabilitação do edificado antigo o edifício acaba por passar por processos diferentes em cada obra, podendo por isto, ser considerado uma “obra única”.

Como, com o passar do tempo, novos materiais foram surgindo, e o domínio do modo de reabilitar destes edifícios foi sendo esquecido, os novos trabalhadores, normalmente por desconhecimento da incompatibilidade entre os materiais antigos e os novos, passaram a reabilitar com os materiais que tinham disponíveis, causando, inadvertidamente, diversas patologias no edificado, chegando a arruinar estas edificações num curto período.

Como exemplo, as Figuras 2.1a e 2.1b, mostram algumas patologias, onde as reparações feitas com argamassa de cimento, estão a destacar por incompatibilidade com as argamassas existentes e com o suporte.

Na Figura 2.1c vemos a mesma incompatibilidade de materiais causadas no momento de instalar as caixas de inspeção de diversos tipos de infraestruturas junto ao edificado antigo.

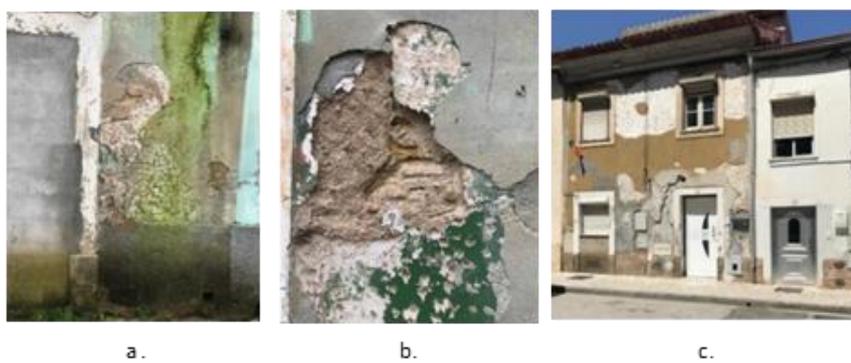


Figura 2.1 - a); b); c); Incompatibilidade entre materiais.

2.5 A Sustentabilidade na Reabilitação do Edificado

O Portal da Construção Sustentável (2022) diz que Portugal possui a menor taxa de reabilitação da Comunidade Europeia, em contrapartida, também possui um parque urbano superlotado. Neste sentido, a reabilitação de edifícios deveria ser encarada como prioridade. Reduzindo o volume de novas construções, diminuir-se-ia a extração de matérias-primas, e não seria necessário ampliar áreas urbanizadas das cidades, e consequentemente as novas áreas de solo impermeável, o consumo de energia e emissões de CO₂ do planeta.

Vista sob uma perspetiva circular, quando um imóvel antigo deixa de cumprir o seu papel, todo o material utilizado deveria voltar a ser aproveitado em novas obras, ou seja, o edificado deveria ser “desconstruído”, e todos os seus componentes reaproveitados.

2.6 Estudo de Caso - A Freguesia de Vila Nova e suas aldeias

As casas das aldeias pertencentes a freguesia de Vila Nova, foram construídas maioritariamente entre os séculos XVIII e XX. A deslocação da população para os centros urbanos foi motivada pela procura de emprego e melhores condições de vida, em meados do século XX.

Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), o censo demográfico de 1911 mostra que a freguesia era habitada por 2.402 pessoas, e 110 anos depois, em 2021, o mesmo instituto aponta ter perdido 2/3 desta população. Atualmente conta com 793 habitantes, sendo que apenas 15% deste total são jovens até 25 anos.

Fundada em 1907, Vila Nova (Figura 2.2), é uma das quatro freguesias de Miranda do Corvo. Com uma área de 27,08 km², o seu ponto mais alto situa-se a 900 m de altitude. Localizada no distrito de Coimbra, é formada por 28 aldeias dispersas pela freguesia, em torno do núcleo central que lhe dá o nome.

As aldeias que fazem parte da freguesia são: Albarrol, Barbéns, Besteiros, Cadaval, Cardeal, Carvalhoeira, Casalinho, Caseiros, Corga, Corujeira, Favais, Giestal, Gondramaz, Lomba do rei, Meroucinhos, Pisão, Quinta do Soito, Sandoeira, São Gens, Senhora da Piedade, Souravas, Supegal, Tapada do Campo do Mouro, Torno, Vialonga, Vila Flor, Vila Nova e Zorro.

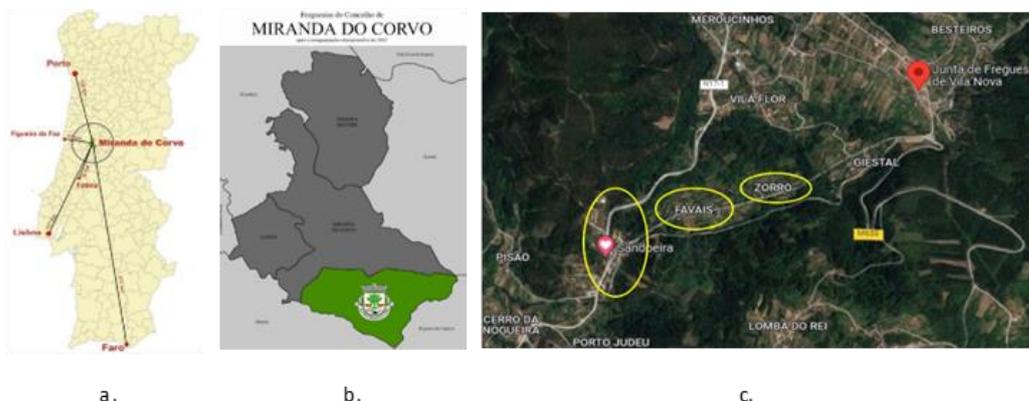


Figura 2.2 a) Localização; b) Miranda do Corvo; c) Vila Nova; d) Aldeias: Sandoeira, Favais e Zorro.

A freguesia deu as boas-vindas ao célebre escritor Miguel Torga, que ali iniciou sua carreira como médico. Os habitantes mais antigos lembram-se dos três anos que o Dr. Adolfo Correia Rocha (nome de batismo de Miguel Torga), passou a tratar a população, enfrentando as pandemias de febre tifóide, peste e lepra (Ferreira, 2020).

Da mesma forma, Vila Nova recebeu esta investigação de braços abertos. As famílias Quintas e Bacalhau, disponibilizaram não só as propriedades que fazem parte deste estudo, como fizeram “a ponte” para os moradores que compartilharam seu conhecimento empírico acerca da construção de suas casas e suas experiências particulares.

Segundo os moradores, uma das causas da desertificação está ligada ao facto de os jovens se deslocarem para os centros urbanos para trabalhar ou estudar, não mais voltando a viver nas aldeias, principalmente pela falta de emprego nas proximidades.



Figura 2.3 - Aldeia de Sandoeira. Na marcação os dois imóveis em estudo: a) B “Bar”; b) A “Adega”

Percebe-se melhor este problema ao analisar a taxa de ocupação das aldeias de Sandoeira, Favais e Zorro.

A Figura 2.3 (a e b), mostra a localização dos imóveis estudados na Aldeia de Sandoeira, que possui 93% das suas 60 casas ocupadas, havendo apenas 7% (4 casas) vazias, sendo estes imóveis mais pretendidos por estarem próximos a rodovia N 17.

O número inverte-se nas aldeias que margeiam a estrada M 556, ainda que estejam a 2 e 5 km de distância da rodovia N 17. A aldeia do Zorro, (Figura 2.4 b), tem 20 casas, estando apenas 3 casas ocupadas e 17 desocupadas, somando 85% de casas vazias. Favais, (Figura 2.4 a) que possui 30 casas, tem apenas 10 casas ocupadas e 20 casas vazias, ou seja, 74% de desocupação.



Figura 2.4 – Favais: a) “Celeiro” e Zorro; b) “Sogro”.

Apesar de as famílias gostarem de se reunir nas aldeias, a maioria dos jovens não vislumbram a possibilidade de voltar a viver no local, de modo que, não investem os seus recursos na reabilitação dos imóveis, que, sem manutenção, se vão degradando.

De acordo com o presidente da Junta da Freguesia de Vila Nova, Sr. José Alexandre Paiva, atualmente são poucas as perspectivas de reverter o quadro da falta de moradores na cidade, apesar das aldeias terem toda a infraestrutura instalada (água, luz, energia e

internet). A maior dificuldade é o facto de a freguesia não conseguir “reter as pessoas mais jovens” devido à falta de emprego.

Apesar de algumas iniciativas terem sido tomadas, como a criação de um circuito de *trail* (corridas de montanha) e de BTT (Bicicletas Todo-o-Terreno), este tipo de visitante apenas “passa” pela aldeia, ocasionalmente pernoita, mas acaba por ir embora sem consumir produtos locais. Por este motivo, os últimos artesãos estão também abandonando as aldeias.

O presidente da Junta refere ainda que a exemplo das localidades vizinhas, Lousã e Vila Nova de Poiares, uma possibilidade de fixar pessoas seria um projeto turístico, de preferência formatado em conjunto com os habitantes locais. Atrativos turísticos não faltam. Em Vila Nova, por exemplo, conhecida como “o Miradouro do Conselho”, é possível admirar, além das montanhas, a vista do mar de Figueira da Foz em dias de céu limpo.

Outra possibilidade seria pensar em implantar um entorno industrializado, como acontece em Cantanhede, pois havendo trabalho na região, poderia haver maior fixação de pessoas na freguesia.

2.7 Testemunho Oral - Técnicas Construtivas Vernaculares

Segundo Mendonça et al. (2013) o testemunho oral teve origem em meados do século XX, provocando debate entre investigadores que questionavam se esta metodologia poderia ser considerada como fonte de saber. Atualmente, este método de pesquisa já está validado, sendo possível, através de relatos de pessoas, transmitir o conhecimento da memória humana, para compreensão da história recente.

Neste sentido, foi possível o contacto com alguns moradores: Sr. António Carvalho, de 85 anos (aldeia de Meroucinhos), Sr. Henrique Carvalho, de 83 anos (aldeia de Vila Nova), Sr. Manuel Pedro, de 90 anos (aldeia de Barbéns), que relataram que na sua infância a maioria das crianças paravam de estudar para ajudar os pais, geralmente trabalhando na lavoura ou na construção civil.

O resgate do “saber-fazer tradicional” através dos relatos dos moradores, ajuda ao conhecimento sobre a origem dos materiais utilizados e técnicas construtivas, sendo este um importante meio para a construção de fontes de conhecimento, perpetuando os saberes sobre as técnicas tradicionais e suas especificidades.

Segundo estes moradores, o planeamento da construção da casa e a recolha dos materiais começavam a ser feitas até um ano antes da sua execução. Neste período a família e amigos juntavam os materiais necessários para a construção.

A obra iniciava-se com a escavação da fundação até se encontrar terra firme. Em seguida as paredes eram erguidas em pedra, até a altura do primeiro piso. As pedras utilizadas

eram os calcários, granitos e o xisto da região. (Evitavam utilizar o xisto vermelho, porque este manchava a parede, depois de caiada).

As paredes envolventes das casas eram feitas em pedra. Estas eram “procuradas” na envolvente da casa. As pedras menores eram recolhidas pelas mulheres e crianças em um cesto apoiado na cabeça sobre uma “rodilha”, despejados próximo a obra. Cada um pesava até de 50 kg. No feitiço das paredes, as pedras maiores estruturavam a pilha e as pedras menores serviam de calço.

Na Figura 2.5 (a, b, c, d), pode-se observar o assentamento das pedras das paredes dos imóveis que fazem parte deste estudo.

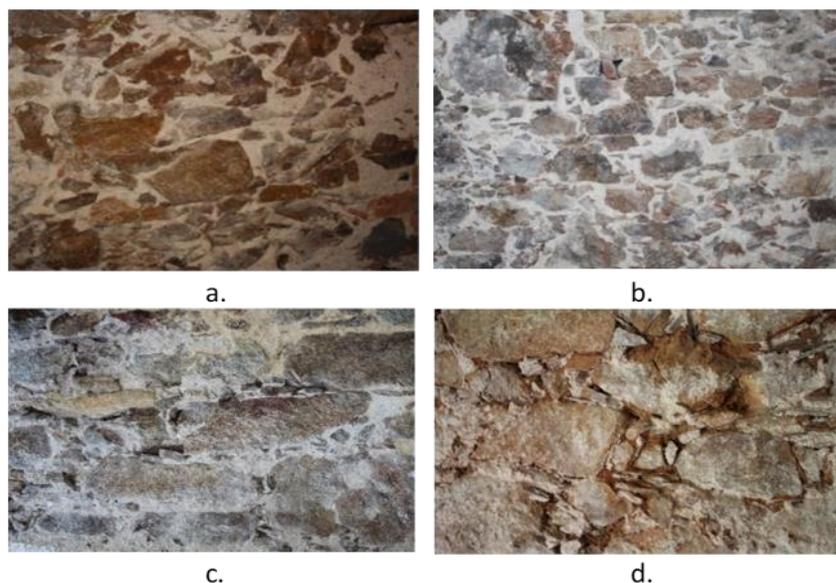


Figura 2.5 - Paredes em Pedra: a) adega; b) bar; c) sogro; d) celeiro.

Misturadas com as argamassas, as pedras pequenas podiam ainda servir de enchimento para o interior das paredes. De modo geral, os mesmos materiais utilizados na argamassa que assentava as pedras, eram utilizados para a fabricação do revestimento das paredes.

A construção das aldeias tem por característica, casas com um ou dois pisos. Quando havia um andar superior, as divisórias internas podiam ser feitas em tabiques. Normalmente havia uma cave, que servia para guardar produtos agrícolas ou os animais.

No andar superior, as paredes exteriores tanto podiam ser feitas em pedra como em placas retangulares de barro amassado, conhecidas por “Tufos”, que eram acomodadas em formas, medindo aproximadamente 30 x 50 cm, que secavam à sombra.

Os “artistas” (pedreiros) deixavam estes tufos ao pé da casa, para não se estragarem no transporte. Para transportá-los para o piso superior eram arrastados com uma prancha feita de tábua, ou de duas árvores juntas encostadas.

As areias para as argamassas eram retiradas dos ribeiros locais, mas havia quem as fosse buscar, durante as cheias do Mondego, que aconteciam no degelo da Serra da Estrela. Neste caso, eram transportadas por carros de bois.

A pedra calcária tanto podia ser encontrada nas proximidades de Vila Nova, podia ser retirada com picaretas nos morros da região, ou “explodida” com dinamite e depois queimada nos fornos caseiros que havia pela região, produzindo-se a cal. Havia a possibilidade de chegar ensacada e transportada por burros pelos vendedores locais, a partir dos fornos do Cabo do Mondego, na Figueira da Foz (Figura 2.6).

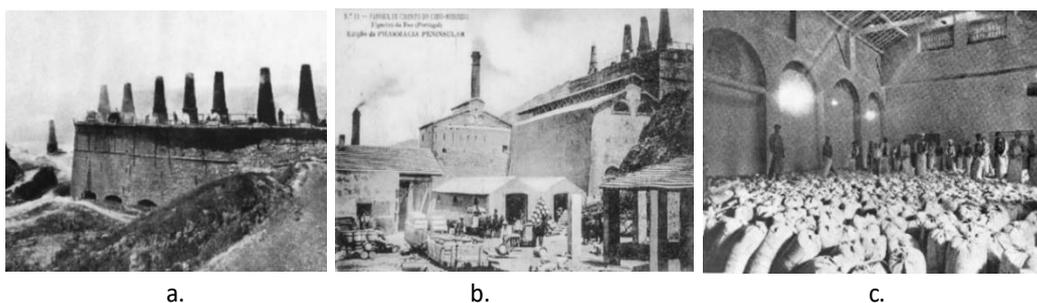


Figura 2.6 - a) Fornos de Cal 1928; b) Armazéns de Cal Hidráulica o do Mondego; c) Carregamento de Cimento e Cal Hidráulica 1910 - Fonte: Brandão et al. (2016) – Fotos a) e c) Reprodução de Souza 1996, Foto b) Postal Ilustrado.

A Figura 2.7 a, b, c, d, g e h, retrata os moradores locais, que registaram aqui, seus depoimentos, enquanto as Figuras 2.7e e f, ilustra o início dos ensaios in situ.



Figura 2.7 - a) Antonio Carvalho; b) Manuel Pedro; c) Henrique de Carvalho; d) Fernando Bacalhau e Assunção Quintas; e). José Fonseca e Carlos Ameiro; f) Nilce Pinho e Maia; g) Manuela e Helena Quintas; h) Leontina Quintas.

3- CAMPANHA EXPERIMENTAL

A campanha experimental teve início com a visita aos edifícios existentes e a recolha das amostras. A nomenclatura dada aos imóveis estudados, está relacionada com a forma como os proprietários se referem aos mesmos, sendo: 1- **(B)** Bar; 2- **(A)**Adega; 3- **(C)** Celeiro; 4 - **(S)**Sogro.

Edifício 1 - B (Bar - Figura 3.1) Edifício construído no início do século XX na aldeia de Sandoeira, era utilizado, no seu piso superior como área de habitação unifamiliar e no andar inferior como Bar / Armazém. O piso superior possui divisórias internas em tabique, piso assoalhado em madeira, sendo que todas as paredes externas são feitas em pedra. As paredes do andar inferior possuem de 60 a 80 cm de espessura. O edifício está desocupado há 10 anos, desde o falecimento da proprietária. As argamassas originais estiveram protegidas por armários altos, feitos sob medida para o estabelecimento, onde a família toda trabalhou por mais de 30 anos.

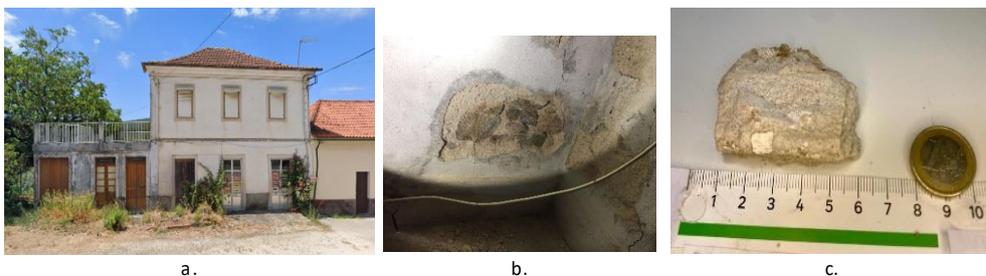


Figura 3.1 - a) Edifício (B) Bar; b) local da retirada da amostra; c) amostra.

Edifício 2 – A (Adega - Figura 3.2): Edifício construído no final do século XIX na aldeia de Sandoeira, possui dois ambientes distintos. Num guardavam-se os animais e no outro salgavam a carne dos animais abatidos, armazenada em armários de madeira (salgadeiras). A cave, que dá para os fundos do terreno, serve para guardar a colheita, vinhos e outras bebidas produzidas para consumo da família. Nota-se que o reboco do local é bastante duro, provavelmente por conta do sal que era utilizado no local.



Figura 3.2 - a) Edifício (A) Adega ao nível da rua; b) Adega ao nível da Cave; c) Local da retirada da amostra; d) Amostra.

Edifício 3 – C (Celeiro – Figura 3.3): Construído no séc. XIX, está localizado na Aldeia de Favais. A casa esteve desabitada nos últimos 10 anos. Segundo os proprietários, o andar superior sempre foi utilizado para armazenar alimentos e o inferior para abrigar os animais. Desconhece-se se em alguma época foi abrigo da família. As amostras foram recolhidas no andar inferior, na parede da esquerda.

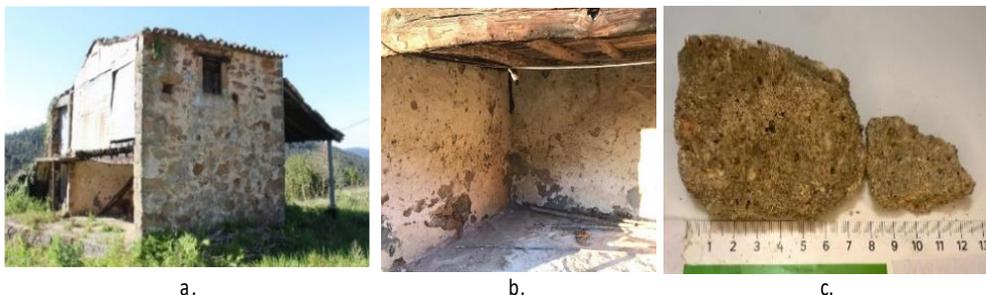


Figura 3.3- a) Edifício (C) Celeiro; b) parede de retirada da amostra; c) amostra.

Edifício 4 – S (Sogro – Figura 3.4): Localizado na aldeia do Zorro, não tem data de construção certa. Alguns dizem ser do final do séc. XIX e começo do séc. XX, no entanto, um dos vizinhos diz datar dos anos 1690, a mesma época que outras casas do bairro. Está desabitada há mais de 10 anos.

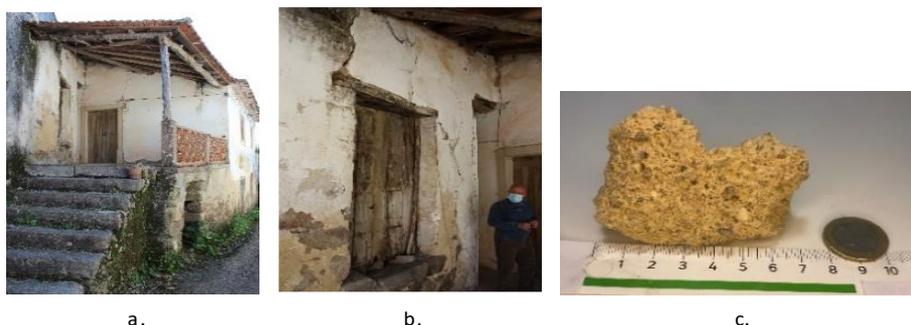


Figura 3.4 - a) Casa do Sogro (S); b) Parede para retirada de amostras; c) amostra.

3.1 Caracterização dos materiais

Para estudar a composição das argamassas existentes, nomeadamente ligante e agregado, foram cumpridas as etapas descritas nos pontos seguintes.

A 1ª fase de caracterização das argamassas existentes consistiu na determinação dos respetivos traços por dissolução ácida.

Numa 2ª fase, determinou-se a granulometria do agregado resultante do processo descrito anteriormente. Foi ainda executado o ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio de amostras das argamassas existentes.

Os ensaios de caracterização permitiram obter algum conhecimento das argamassas existentes no que respeita à sua porosidade, teor de ligante e granulometria das areias. Estas informações permitiram a determinação dos respetivos traços.

3.1.1 Determinação do traço por dissolução ácida

Este ensaio teve como objetivo separar o ligante do agregado de natureza não carbonatada, estimando a respetivas proporções entre ambos. Foi realizado de acordo com um procedimento baseado no documento RILEM TC 167-COM (Characterisation of old mortars with respect to their repair).

Nesta análise o ligante, (considerados aqui todos os materiais carbonatados) foi separado dos agregados (material não carbonatado) determinando-se a relação ligante:agregado.

No tratamento prévio (Figura 3.5), as amostras de aproximadamente 100 g foram desagregadas e separadas em 3 frações de aproximadamente 35 g. Seguiram para estufa a 70°C, sendo pesadas por 3 dias consecutivos, tendo-se registado a massa seca, em g.

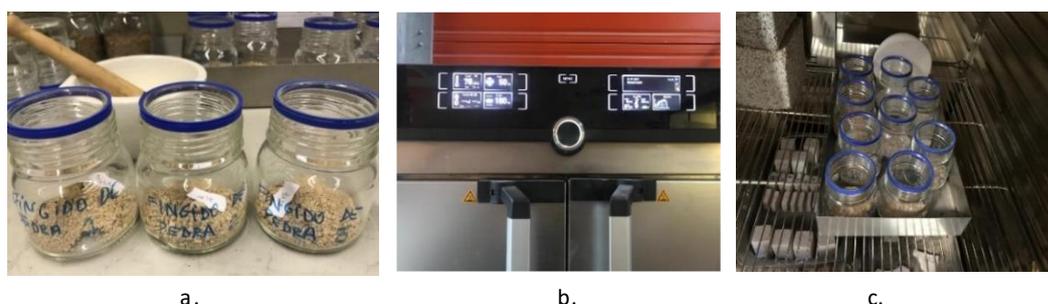


Figura 3.5- a) Desagregação da amostra; b) Estufa; c) Secagem do material em estufa, a 70°C.

Os copos com as amostras foram cobertos com uma solução de 50 ml de ácido clorídrico, que, ao serem agitadas, imediatamente efervesceram. O copo foi fechado e permaneceu em repouso por 24h (Figura 3.6).



Figura 3.6 - a) Ácido clorídrico; b) Dissolução Ácida $H_2O:HCl$; / Material Desagregado; c) Agitação e efervescência (reação química); d) Material dissolvido.

A porção insolúvel foi lavada com água desionizada, e o líquido que contém os finos foi filtrado seguindo para a estufa, até que fosse atingida massa constante (Figura 3.7), sendo posteriormente, calculada a massa das areias e de finos.

Os valores das pesagens iniciais e finais das areias e finos, por diferença dos carbonatos presentes na amostra inicial da argamassa, determinam os valores da fração em massa de areias e finos da amostra total.

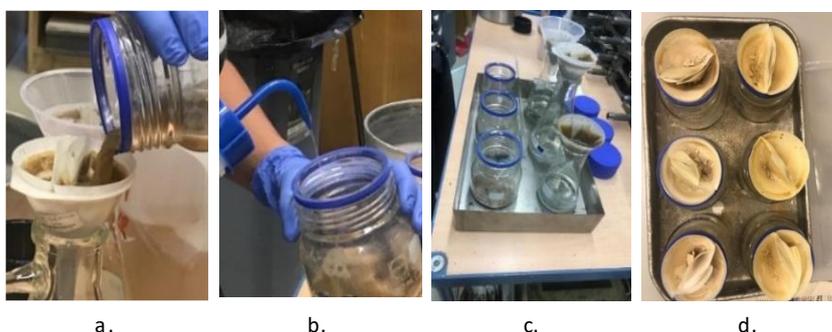


Figura 3.7- a) Filtragem; b) Lavagem dos finos; c) Filtragem; d) Material seco em estufa.

3.1.1.1 Resultado da Dissolução Ácida proporção ligante:agregado

Os traços das argamassas estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.2- Traços das argamassas - Imóveis BE, AE, CE e SE

Bar (BE)	Adega (AE)	Celeiro (CE)	Sogro (SE)
1:4,1	1:4,3	1:7,2	1:6,4

3.1.1.1.1 Análise dos Resultados da Dissolução Ácida

Neste tipo de ensaio, o ácido dissolve o ligante, deixando intactos os agregados silicosos. No entanto, caso não seja esta a situação, os resultados do ensaio podem ser imprecisos. Existem semelhanças claras entre os resultados obtidos para as argamassas BE e SE, assim como entre as argamassas AE e CE, que poderão ser justificadas pela proximidade destas edificações entre si.

Apesar dos relatos dos moradores sobre o uso predominante de cal hidráulica no início do século XX, existe a possibilidade de traços de cal aérea nas argamassas antigas que merece uma investigação mais rigorosa.

3.1.2 Análise Granulométrica

Numa segunda fase, determinou-se a granulometria do agregado resultante do processo descrito anteriormente. A análise granulométrica das areias foi realizada com os agregados secos resultante do ensaio anterior, estando em conformidade com a norma NP EN 933-1:2000. Foi realizado o método de peneiração a seco, para o qual foi determinada a massa das partículas retida nos peneiros de malha quadrada, com aberturas da malha decrescentes: 4 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,125 mm; 0,063 mm (Figura 3.8).

Foi registada a massa inicial do material e as percentagens de grãos que passaram em cada peneiro.

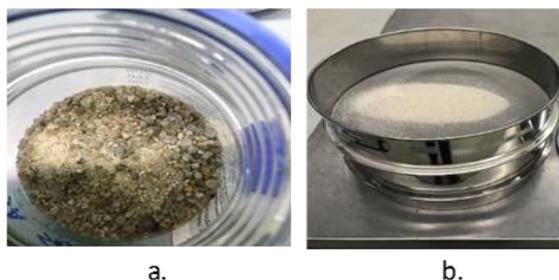


Figura 3.8 - a) Agregados resultantes de dissolução ácida; b) Finos retidos no peneiro de 0,063mm

3.1.2.1 Resultado da Análise Granulométrica

As curvas granulométricas dos agregados das argamassas analisadas (CE, SE, AE e BE) estão representadas na Figura 3.9, onde está incluída também a curva granulométrica da areia de rio utilizada para a argamassa de substituição, cuja granulometria se assemelha à granulometria das argamassas antigas recolhidas das casas de aldeia.

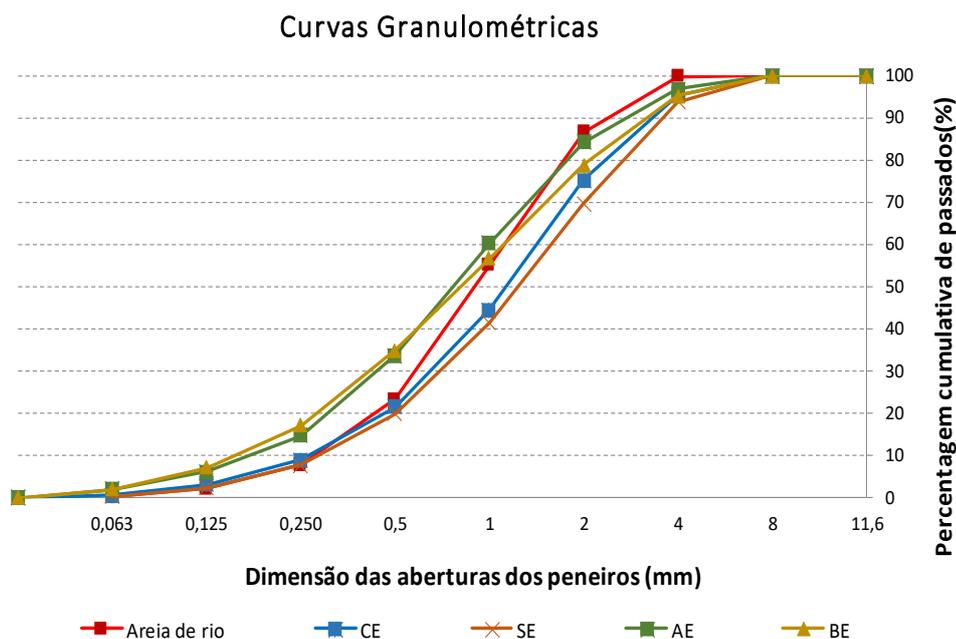


Figura 3.9 - Curvas granulométricas dos agregados das argamassas existentes Areia de Rio, BE, AE, CE e SE x percentual cumulativo de passados

3.1.2.1.1 Análise dos Resultados da Granulometria das areias

Observamos que os materiais utilizados nas amostras (BE) e (AE) apresentam alto grau de semelhança, o que é esperado, uma vez que foram coletadas a poucos metros de distância, sendo possivelmente da mesma época construtiva. Da mesma forma as areias (CE), e (SE) apresentam uma notável semelhança, indicando uma origem comum e a

utilização do mesmo método de preparação de ambas as argamassas. Estas semelhanças são compatíveis com as registadas para os traços obtidos para as quatro argamassas analisadas.

3.1.3 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio (MIP)

Os ensaios referentes à porosimetria por intrusão de mercúrio foram realizados com um porosímetro de mercúrio da marca Micromeritics, modelo Autopore IV 9500 (Figura 3.10 c), e foram executados conforme a norma ISO 15901-1:2005.

A porosimetria por intrusão de mercúrio permite analisar um conjunto de parâmetros relacionados com a porosidade aberta dos materiais e produtos, tais como a distribuição de tamanhos de poros e o diâmetro médio e volume total de poros, bem como densidade (aparente) em amostras sólidas como as argamassas, muito aplicada na avaliação da porosidade dos materiais de construção.

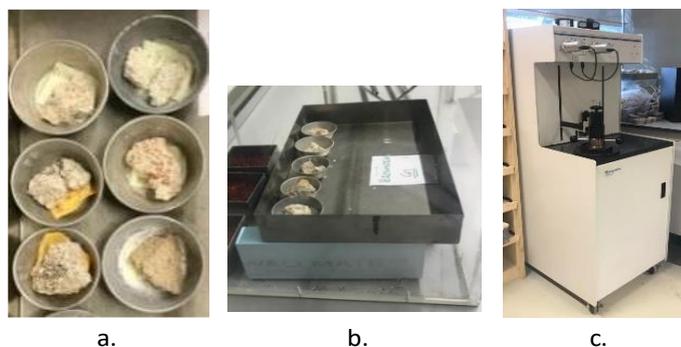


Figura 3.10 - a) Amostras em estufa, antes do pré-tratamento; b) Amostras armazenadas em caixa estanque com sílica para arrefecimento; c) Porosímetro Autopore 9500.

O Porosímetro possui duas câmaras internas, uma de alta pressão (até 33000 psi) e uma de baixa pressão (até 60 psi), que são capazes de avaliar a distribuição de tamanho dos poros na gama entre os 500 μm - 0,003 μm . O ensaio consiste em selar uma amostra porosa num porta-amostras, submergindo-a em mercúrio líquido. Ao longo do processo, a massa da amostra, do porta-amostras e do conjunto com mercúrio é determinada numa balança de precisão. A sequência de tratamento da amostra é apresentada na Figura 3.11.

A pressão é continuamente aumentada e, para cada valor de pressão, mede-se o volume de mercúrio forçado a entrar nos poros da amostra. As variações de volume são detetadas com uma variação de condutância, feita após a calibração adequada do porta-amostras, chamado penetrómetro (Mata, 1998).

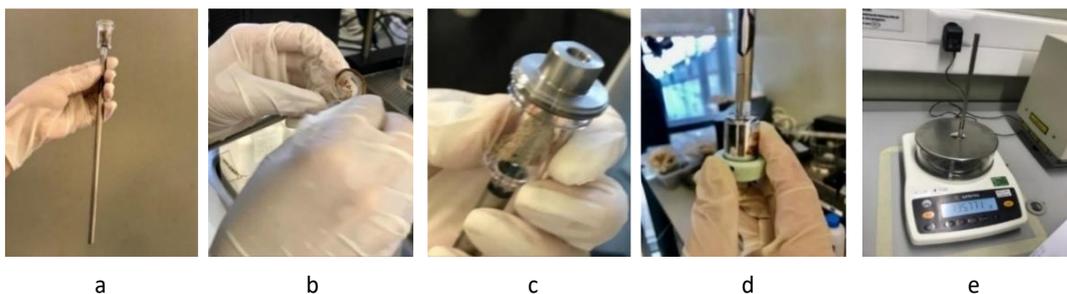


Figura 3.11 - Preparação dos provetes para o ensaio de porosimetria.

No final do ensaio de porosimetria de mercúrio, a distribuição do tamanho dos poros e o volume de vazios dos poros da argamassa fica a ser conhecido. A leitura do equipamento fornece o volume de mercúrio intrudido (cm^3/g), o diâmetro médio dos poros (μm) e o percentual de porosidade da amostra ensaiada (%).

O posicionamento dos dispositivos de baixa pressão e alta pressão apresenta-se na Figura 3.12, bem como a forma de se dispensar o mercúrio contido no penetrómetro, no final do ensaio.

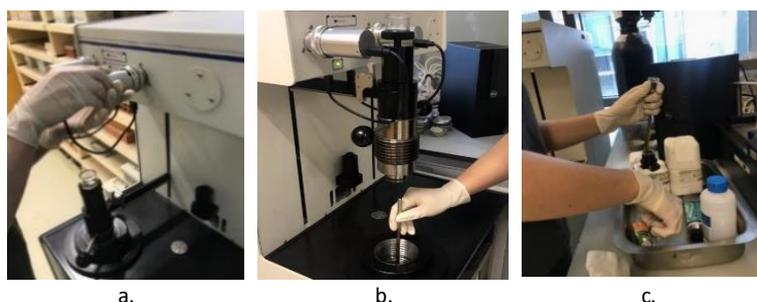


Figura 3.12 - Equipamento Autopore a) Baixa pressão; b) Alta pressão; c) Dispensando o mercúrio.

3.1.3.1 Resultados da Porosimetria por Intrusão de Mercúrio (MIP)

Na Figura 3.13 é apresentado o gráfico da porosimetria de intrusão diferencial onde o eixo x representa o diâmetro dos poros da amostra e o eixo y representa o percentual cumulativo do volume total de poros. O diâmetro dos poros está representado em (μm).

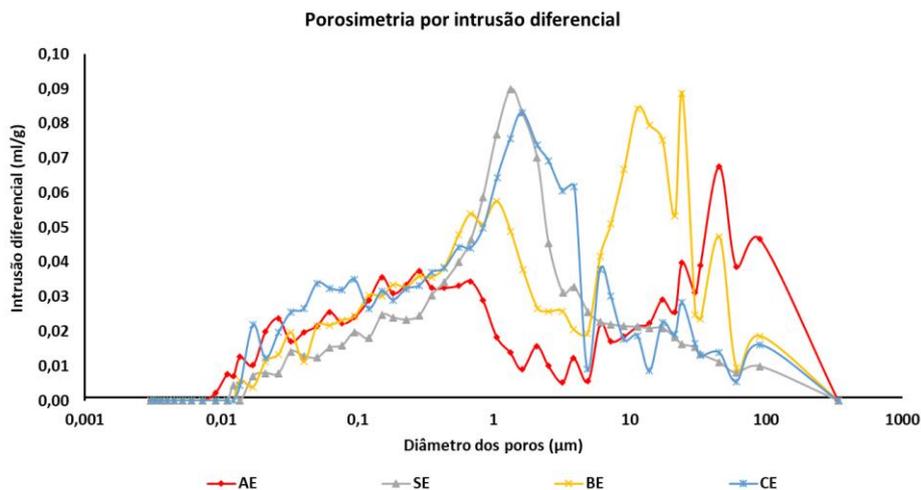


Figura 3.13 - Porosimetria por Intrusão Diferencial.

Na Tabela 3.2 são apresentados os resultados do MIP para as quatro argamassas estudadas.

Tabela 3.2 – Informações obtidas no ensaio de MIP para as argamassas recolhidas in situ.

Dados Obtidos no Porosímetro	Adega (AE)	Sogro (SE)	Bar (BE)	Celeiro (CE)
Massa da Amostra, m_s (g)	2,599	2,234	2,204	2,414
Volume específico intrudido (cm^3/g)	0,1245	0,1105	0,1469	0,1352
Diâmetro médio dos poros (μm)	0,1863	0,3100	0,3219	0,2053
Porosidade (%)	24,38	22,11	27,48	25,53

3.1.3.1.1 Análise dos Resultados da Porosimetria de Mercúrio.

No gráfico apresentado na Figura 3.13, duas das quatro argamassas estudadas, a BE e a AE, apresentam uma distribuição porosimétrica assimétrica com dois picos distintos, enquanto que as outras duas exibem uma distribuição com um único pico. Na pesquisa de Rato (2006), citada por Soares (2021), foi observado que as argamassas de cal aérea tendem a apresentar poros de maiores dimensões e uma distribuição bimodal das dimensões dos poros.

Com base nestas descobertas, é plausível considerar a presença de cal aérea em parte das argamassas antigas, o que pode fazer sentido tendo em conta que algumas das casas estudadas têm entre 200 e 300 anos de idade. Neste sentido, apesar dos relatos dos moradores sobre o uso predominante de cal hidráulica no início do século XX, a possibilidade de traços de cal aérea nas argamassas antigas merece uma investigação mais rigorosa.

A classificação de poros adotada como padrão estabelecido de Pipiliaki e Beazi-Katsioti (2009) foi citada por Torres et al. (2018) e Soares (2021), conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Classificação dos poros atribuída por Pipiliaki e Beazi-Katsioti (2009).

Dimensão dos poros	Classificação dos poros segundo Pipilikaki e Beazi-Katsioti (2009)
$\varnothing > 10 \mu\text{m}$	frequentemente fechados
$0,0025 < \varnothing < 0,010 \mu\text{m}$	Microporos
$0,010 < \varnothing < 0,050 \mu\text{m}$	Mesoporos
$0,050 < \varnothing < 10 \mu\text{m}$	Macroporos

No ensaio de porosimetria de mercúrio, quando há uma interligação entre dois poros, uma pressão é aplicada, para que o mercúrio vença o efeito capilar e consiga ocupar o segundo poro, fazendo com que o mercúrio ocupe um volume maior.

No entanto, como observado por Campos et al. (2012), poros interconectados, podem levar a interpretações erradas, interpretados como poros múltiplos, do tamanho das interconexões. Isso pode resultar em valores de distribuição de poros imprecisos, que não refletem com precisão a morfologia da amostra. No entanto, o MIP oferece uma aproximação valiosa da estrutura dos poros, que auxilia na caracterização dos materiais em estudo.

A interpretação dos resultados do método MIP pode apresentar desafios devido a vários fatores de incerteza, conforme relatado por Brown et al. (1991) e Diamond (2009), e referenciados por Picanço (2005). Esses incluem principalmente:

- A existência de "ink-bottle pores". Este termo descreve poros grandes que só são acessíveis através de uma abertura significativamente menor do que o tamanho real do poro.
- A possibilidade de poros inicialmente fechados, desconectados da rede porosa, serem atingidos pelo mercúrio após a destruição de paredes dos poros durante o processo de intrusão.
- Incertezas associadas à determinação do valor do ângulo de contato utilizado.

Com base na Tabela 3.2, apresentada anteriormente, as argamassas analisadas estão todas nas faixas de macroporos (entre $0,18 \mu\text{m}$ aos $0,32 \mu\text{m}$), de alto efeito capilar. Sendo esta uma das características apontadas por Rato (2006), existe a possibilidade do uso da cal aérea em algumas das quatro casas, questionamento este que deve ser analisado com maior rigor.

Na Figura 4.4, que apresenta o Volume de Poros versus o Diâmetro dos Poros das argamassas estudadas, existe uma relação inversa entre o tamanho médio dos poros e o volume total de poros. Isso significa que nas argamassas com um maior volume total de

poros, a tendência será encontrarmos poros de menor dimensão. Essa relação se torna perceptível onde observamos que cada ponto da curva, representa uma intrusão de mercúrio junto ao poro da argamassa.

Assim sendo, a curva apresenta um aumento abrupto em baixas pressões, indicando a entrada de líquido em poros pequenos. À medida que a pressão aumenta, a curva se torna mais plana, sugerindo que o líquido está entrando em poros maiores.

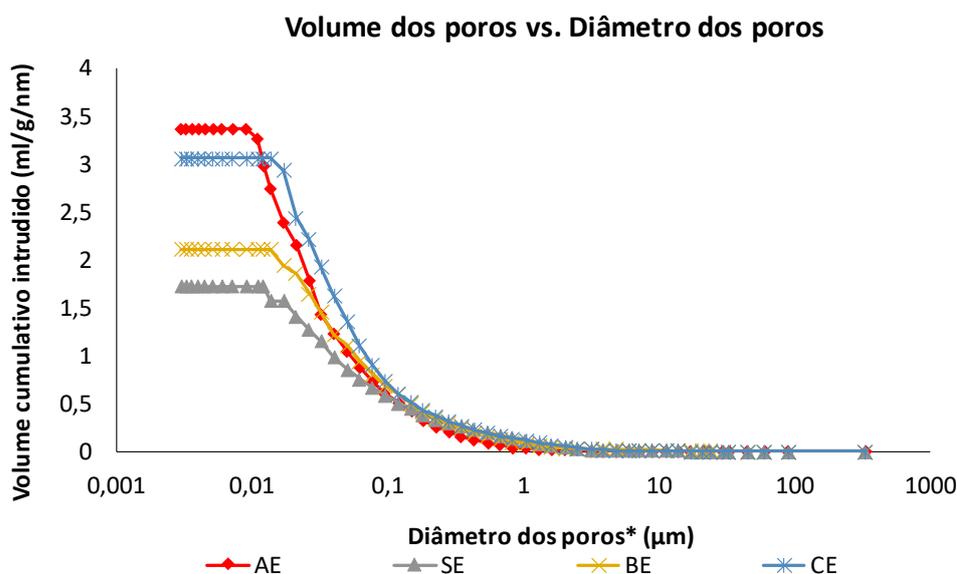


Figura 4.4 – Gráfico do Volume dos Poros versus. Diâmetro dos Poros.

4.2.2 -Pressão versus volume cumulativo intrudido

Mudanças na inclinação ou pontos de inflexão no gráfico da pressão versus volume cumulativo intrudido, podem indicar a presença de tipos específicos de poros. Essa representação gráfica é amplamente empregue para analisar e caracterizar a porosidade de materiais, e contribui para a compreensão da estrutura dos poros, porosidade e permeabilidade dos materiais. Essas informações são cruciais para otimizar o desempenho do material em várias aplicações.

A Figura 4.5 exibe a curva de volume acumulado de intrusão em relação à pressão aplicada em pascal (Psia), comparada com o volume de mercúrio intrudido acumulado (ml/g).

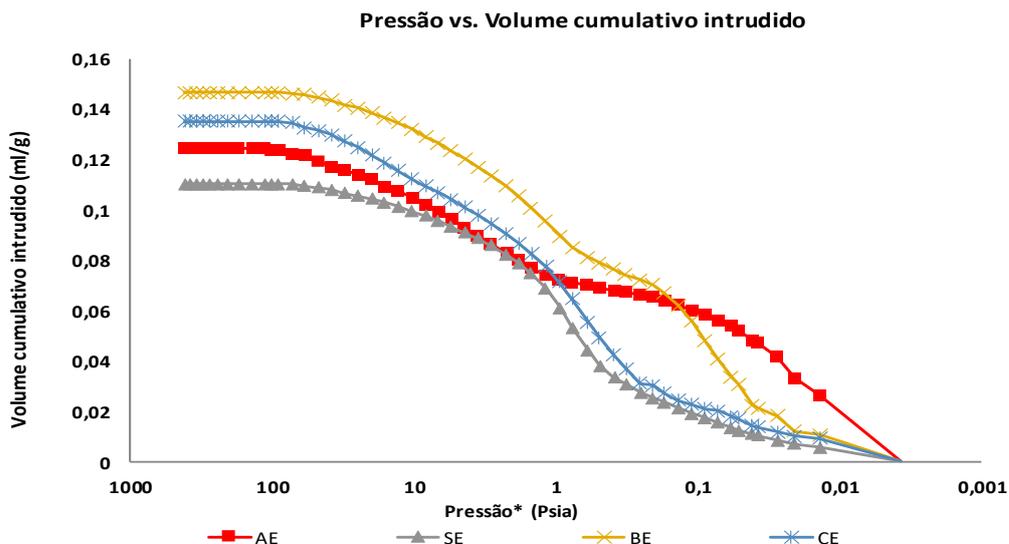


Figura 4.5 – Gráfico de Pressão versus. Volume Cumulativo Intrudido.

A Figura 4.6 fornece uma representação clara deste processo, evidenciando que nas argamassas ensaiadas, predominam macroporos na faixa de 0,18 a 0,32 μm , e um diâmetro médio dos poros de cerca de 0,25 μm .

As argamassas antigas SE e BE se destacam por exibirem os maiores tamanhos de poros, com diâmetros médios de 0,31 e 0,32 μm , e volumes de poros, com diâmetros médios de entre 0,11 e 0,14 μm . Em contraste, as argamassas AE e CE apresentam volumes de poros semelhantes de 0,12 e 0,13 cm^3/g e diâmetros médios de 0,18 e 0,20 μm .

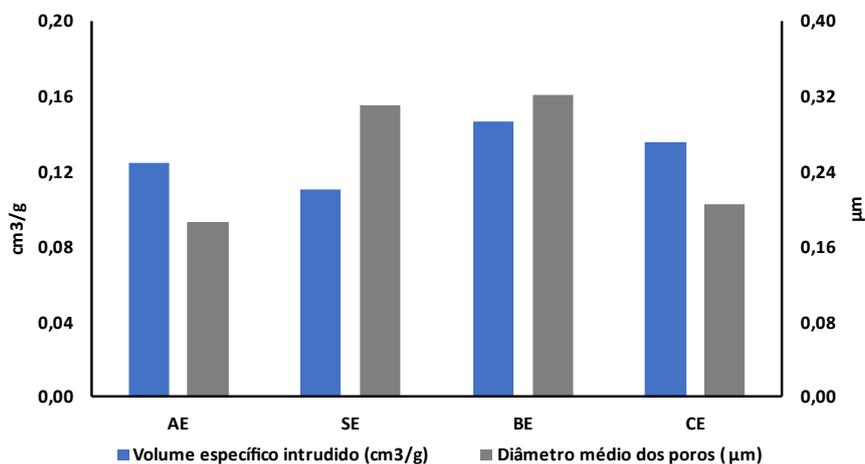


Figura 4.6- Gráfico da Pressão versus. Volume Cumulativo Intrudido

3.2 Caracterização das Argamassas de Substituição

As informações obtidas na caracterização das argamassas existentes, descrita no capítulo anterior, permitiram definir as argamassas de substituição. Foram analisadas duas soluções distintas: uma solução composta por uma argamassa formulada em laboratório com cal hidráulica natural NHL e areia do rio, com traço 1:4, e uma solução constituída por argamassas pré-doseadas, específicas para reabilitação, com uma camada de regularização (RB) e uma camada de acabamento (CS), conforme apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Argamassas de substituição e argamassas pré-doseadas

Argamassas	Identificação	Norma de produto
Cal hidráulica Natural NHL +Areia de rio	Cal NHL	NP EN 459-1
Cal Hidráulica RB	Cal RB	NP EN 998-1
Cal hidráulica CS	Cal CS	NP EN 998-1

Para a produção da argamassa de substituição formulada em laboratório foram utilizadas cal hidráulica natural NHL, areia de rio (com granulometria variando entre 0,063 mm a 4 mm) e água da rede pública. A seleção da areia do rio a ser incorporada nesta argamassa teve em consideração a maior proximidade possível com as areias existentes. Foi utilizado um traço 1:4 e uma relação água:ligante de 1:1.

As argamassas pré-doseadas Cal RB e Cal CS, que contém na sua composição ligante à base de cal hidráulica natural, foram misturados nas proporções e condições indicadas pelo fabricante.

Todas as argamassas foram misturadas mecanicamente em laboratório, com uma misturadora que cumpre os requisitos da EN 196-1, destinada à produção de argamassas, com tempo de mistura controlado.

As argamassas Reabilita Cal RB e Cal CS foram preparadas com uma quantidade de água de 4,0 a 4,5 litros por saco de 25 kg. A amassadura realizou-se com misturadora de vareta helicoidal, até obtenção de uma mistura homogénea.

Foram preparados provetes laboratoriais prismáticos com (4x4x16) cm e provetes circulares com 10 cm de diâmetro e 1,5 cm de espessura, de acordo com a indicação das respetivas normas de ensaio.

Após a amassadura, foram executados os ensaios das argamassas no estado fresco, nomeadamente o ensaio de espalhamento.

3.2.1 – Preparação dos provetes laboratoriais

A preparação dos provetes prismáticos para a realização dos ensaios de caracterização foi executada segundo a norma NP EN 1015-11, utilizando 2 moldes triplos para cada argamassa, que deram origem a 6 provetes prismáticos com dimensões de (40x40x160) mm, usados nos ensaios de absorção de água por capilaridade, resistência à compressão e resistência à tração por flexão (Figura 3.14 a), b) e c)).

Foram também moldados 3 discos com espessura de, aproximadamente 15 mm e 100 mm de diâmetro, que foram utilizados para o ensaio de permeabilidade ao vapor de água (Figura 3.14 d).

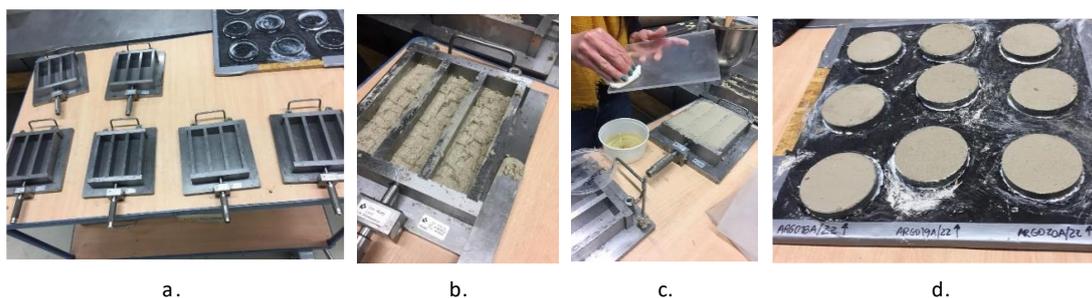


Figura 3.14 - a) Moldes; b) Enchimento de provetes de 4x4x16cm com argamassa; c) Aplicação de óleo descofrante em placa não absorvente; d) Provetes cilíndricos.

No início da preparação, o interior dos moldes foi revestido com óleo descofrante. A argamassa introduzida nos moldes foi compactada manualmente, com aproximadamente 25 pancadas de um pilão metálico por camada, num total de 2 camadas. Uma placa não absorvente foi aplicada na superfície, após nivelamento final da argamassa com rasoira. Os provetes foram mantidos em sacos bem vedados, durante 7 dias, para assegurar uma humidade relativa superior a 95%, e permaneceram durante os 21 dias subsequentes a uma humidade relativa de 65%. Os provetes foram mantidos, durante os 28 dias de cura, a uma temperatura de 20°C.

Os ensaios realizados sobre as argamassas de substituição e as normas seguidas estão apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Procedimentos utilizados para os ensaios laboratoriais das argamassas.

Ensaio	Norma
Consistência por espalhamento	EN 1015-3:1999
Absorção por capilaridade	EN 1015-18:2002
Permeabilidade ao vapor de água	EN 1015-19:2008
Resistência à flexão e resistência à compressão	EN 1015-11:2019

3.3 Caracterização das Argamassas no Estado Fresco

3.3.1 Ensaio de Espalhamento

A norma NP EN 1015-3:1999 especifica o método para determinar a consistência das argamassas no seu estado fresco.

O ensaio foi executado utilizando um molde cônico sobre a mesa de espalhamento, sendo preenchido com duas camadas de argamassa, onde em cada camada são aplicadas 10 pancadas com um pilão. A seguir o molde cônico é retirado e o espalhamento é medido após aferimos 15 pancadas na mesa de elevação. O espalhamento é medido com um paquímetro, em duas direções perpendiculares. Na Figura 3.15 é ilustrado o procedimento de enchimento e retirada do molde.



Figura 3.15 - a) Disco de espalhamento limpo; b) Molde cônico centrado; c) Retirada da argamassa do molde; d) Manivela cujo giro eleva a mesa e reproduz as pancadas que simulam a “queda” da argamassa.

Na Figura 3.16 o espalhamento é medido após aplicação das pancadas.

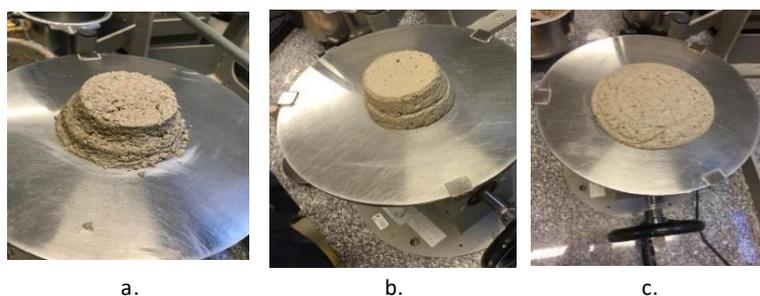


Figura 3.16 - Espalhamento: a) Argamassa de Cal NHL + Areia de rio; b) Argamassa Pré doseada Reabilita Cal CS; c) Argamassa Pré doseada Reabilita Cal RB.

O valor de espalhamento é apresentado em mm, sendo determinado a partir da média do diâmetro medido no final do ensaio, em duas direções perpendiculares entre si.

3.3.1.1 Resultados - Consistência por Espalhamento

Os valores obtidos para a consistência de cada argamassa encontram-se na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Valores de consistência por espalhamento.

Argamassas	Traço (volume)			Consistência por espalhamento (mm)
	ligante	areia	água	
Cal NHL	1	4	1	121,6
Cal CS	pré-doseada			163,0
Cal RB	pré-doseada			136,6

3.3.1.1.1 Análise dos Resultados - Consistência por Espalhamento

Considera-se que os valores obtidos para as três argamassas são indicadores de boas condições de trabalhabilidade.

3.4 Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido

3.4.1 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade é uma propriedade física que define a capacidade que os materiais, no estado endurecido, possuem de absorver água por capilaridade.

A Norma EN 1015-18 (2002) estabelece um método de ensaio para argamassas e destina-se a avaliar a quantidade de água que ascende por capilaridade pela superfície de um provete, quando em contacto com a água, provocando um aumento de massa.

O ensaio de capilaridade consiste em colocar a amostra de um material poroso, impermeabilizado nas suas faces laterais (com parafina, antes da realização do ensaio) em imersão parcial, fazendo com que a água seja absorvida por capilaridade através da sua base (Azevedo, 2013).

O coeficiente de absorção de água da argamassa é determinado quantificando a massa de água absorvida por área da amostra, quando esta entra em contacto com a água.

Para cada argamassa, foram utilizadas as metades de 3 prismas com (40x40x160) mm, ou seja, 6 provetes com medidas aproximadas de (40x40x80) mm.

Os provetes foram inseridos numa tina com água, com uma altura de aproximadamente 5 mm (Figura 3.17 a). Ao fim de 10 minutos os provetes foram removidos e pesados (Figura 3.17 b)), tendo sido determinada a massa M_1 , em g. O mesmo procedimento repetiu-se aos 90 min, determinando a massa M_2 , em g, e 24 h após início do ensaio determinando a massa M_3 , em g, obtendo-se desta forma, os valores da absorção por capilaridade para argamassas de uso geral, e para argamassas de renovação, conforme indicado pela norma de ensaio. A massa seca de cada provete, M_0 , em g, foi determinada previamente ao início das pesagens.

Com os dados obtidos, calculou-se o coeficiente de absorção de água por capilaridade para argamassas de uso geral (C), em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$, conforme a Equação 1, e o coeficiente de absorção de água para argamassas de renovação (C_R) em kg/m^2 , segundo Equação 2, de acordo com as indicações da norma.

$$C = 0,1(M_2 - M_1) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$C_R = 0,625(M_3 - M_0) \quad (\text{Eq. 2})$$



Figura 3.17 - a) Ensaio de Absorção de água por capilaridade; b) Pesagem em balança de precisão

3.4.1.1 Resultado - Absorção de água por capilaridade

Os resultados obtidos, para o coeficiente de absorção capilar de argamassas de uso geral, ($C = \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$), e para o coeficiente de absorção capilar de argamassas de Renovação ($C_R = \text{kg}/\text{m}^2$) são apresentados os resultados da Tabela 6.

Os valores apresentados na Tabela 3.7, são a média de três testes realizados. Desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) também são apresentados.

Tabela 3.7 - Resultados de absorção por capilaridade para argamassa de uso geral e de renovação.

	$C_{\text{médio}}$ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$	Desvio Padrão $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$	CV %	$C_{R,\text{médio}}$ kg/m^2	Desvio Padrão kg/m^2	CV %
CAL NHL	1,147	0,1726	15,0%	163,891	8,252	5,0%
CAL CS	0,094	0,0209	22,2%	134,478	4,172	3,1%
Cal RB	1,279	0,0371	2,9%	178,385	14,416	8,1%

3.4.1.1.1 Análise dos Resultados - Absorção de água por capilaridade

Na Tabela 3.7 são apresentados os resultados obtidos para o coeficiente de absorção capilar de água para as argamassas de uso geral (C) e de renovação (C_R).

O coeficiente de absorção capilar foi determinado com base na quantidade de água absorvida pela área de contato da base dos provetes laboratoriais em função do tempo. As

medições foram feitas em quatro intervalos de tempo diferentes: 0 minutos, 10 minutos, 90 minutos e 24 horas.

Rato (2006) diz em seus estudos que o coeficiente de absorção das argamassas está fundamentalmente relacionado com as dimensões dos poros e a conectividade da rede porosa. Nesse contexto, ele observa que as argamassas à base de cal tendem a exibir uma maior conectividade e, conseqüentemente, uma maior absorção capilar em comparação com as argamassas de base de cimentícea.

Pode-se concluir que a quantidade total de água absorvida depende principalmente da porosidade aberta, sendo naturalmente mais elevada em argamassas mais porosas.

Sobre os resultados apresentados, podemos dizer que:

- A argamassa de Cal CS apresenta maior variabilidade nos valores de absorção de água para argamassas de uso geral.
- A argamassa Cal CS apresenta uma baixa absorção de água por capilaridade. Um baixo $C_{médio}$ indica que esta argamassa tem boa resistência a penetração de água.
- A argamassa Cal RB apresenta um valor médio de absorção de água superior ao da cal NHL e da Cal CS.

Revestimentos com valores baixos para este parâmetro, protegem as paredes contra infiltrações de água.

3.4.2 Permeabilidade ao Vapor de água

A determinação da permeabilidade ao vapor de água foi realizada com base nas normas ISO 12572:2016 e NP EN 1015-19:2008. O ensaio indica a capacidade que a argamassa consolidada tem de ser atravessada por vapor de água por tempo e área.

Neste ensaio foi utilizado o método da tina húmida, para o qual as condições de humidade no interior das amostras foram asseguradas pela presença de água.

Após o período de cura de 28 dias, os provetes foram preparados de forma a serem ensaiados. Para cada argamassa foram utilizados 3 provetes circulares, com 100 mm de diâmetro e espessura aproximada de 15 mm, que tiveram a sua face lateral isolada com uma camada de membrana plástica impermeabilizante. Os provetes foram posteriormente dispostos sobre a superfície da tina, com água no interior, até uma altura de 1,5 cm abaixo da superfície do provete. O conjunto foi selado com fita crepe e duas camadas de parafina, que impediram a passagem de vapor pelas faces laterais dos provetes (Figura 3.18).

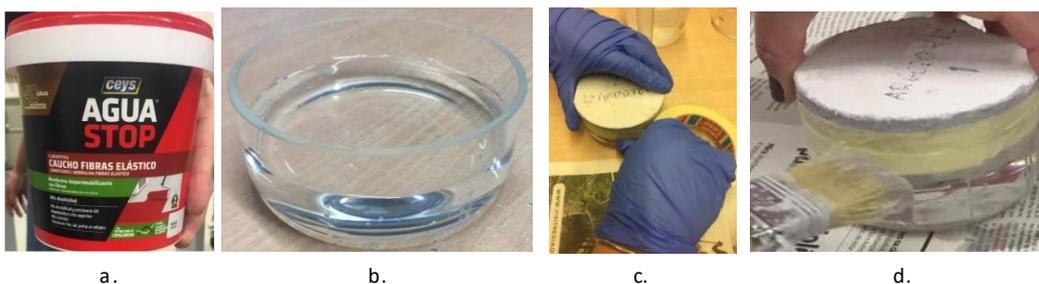


Figura 3.18 - a) Membrana plástica; b) Tina; c) União do provete com a tina; d) selagem com parafina.

Os recipientes foram colocados numa câmara climática que foi mantida a 23 °C e 50 % de Humidade Relativa (HR). O ensaio terminou quando foi verificada a estabilização dos fluxos de vapor.

Os resultados obtidos da transferência de vapor dos provetes, são quantificados pela perda de massa do conjunto, analisados em função do tempo (kg/s). O registo da massa do conjunto foi realizado diariamente, até estabilização do fluxo de vapor de água.

Com os registos das pesagens, foi realizada uma representação gráfica da variação do peso em função do tempo, em kg/s, de cada conjunto, de modo a obter três pontos alinhados numa reta. O fluxo de difusão de vapor de água (G), que passa pelo provete, por unidade de tempo é constante, e é calculado através da Equação 3.

$$G = (m_2 - m_1) / (t_2 - t_1) \quad (\text{Eq. 3})$$

Conhecendo este valor, obtemos a densidade do fluxo de difusão do vapor de água, g , conforme a Equação 4.

$$g = G/A \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde,

g é a densidade do fluxo de difusão de vapor em $kg/s.m^2$

G é o fluxo de difusão de água, em kg/s

A é a área de exposição do provete (abertura da tina) em m^2

O cálculo da permeância média ao vapor de água, a partir dos valores obtidos para os três provetes individuais de cada tipo de argamassa, é dado pela Equação 5.

$$\Lambda = \frac{1}{\frac{A\Delta p}{G} - R_a} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde,

Λ permanência do vapor de água $kg/m^2.s.Pa$

A área de exposição do provete (abertura da tina) em m^2

Δ_p diferença na pressão do vapor de água, o ar ambiente e solução de água em Pa

G fluxo de difusão de água, em kg/s

R_a resistência do vapor de água da folga de ar entre o provete e a solução de água.

A pressão de vapor de água Δ_p entre os dois lados do corpo de provas é composto pela diferença de pressão de cada um dos ambientes (P) e é dado pela Eq. 6:

$$P = P_{sat} \frac{\theta_1 - \theta_2}{100} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde,

P_{sat} pressão de saturação à temperatura que decorreu o ensaio (23°C), em Pa

$\theta_1 - \theta_2$ diferença entre a humidade relativa existente no interior e no exterior da tina, em %.

A permeabilidade ao vapor de água é calculada a partir do valor médio para a permeância ao vapor de água, multiplicado pela espessura média dos provetes, conforme a Equação 7.

$$\delta_{médio} = \Lambda \cdot t \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde,

$\delta_{médio}$ permeabilidade ao vapor de água em $kg/m \cdot s \cdot Pa$

Λ permeância ao vapor de água em $kg/m^2 \cdot s \cdot Pa$

t espessura média dos provetes, em m .

A resistência à difusão de vapor de água (μ) é um parâmetro adimensional associado a cada argamassa, e indica quantas vezes a resistência à difusão do material é maior do que a de uma camada de ar em repouso de igual espessura e sujeito às mesmas condições (Oliveira, 1996).

Este parâmetro relaciona o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar (valor aproximado de $1,94 \times 10^{-10} kg/m \cdot s \cdot Pa$) e o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água da argamassa ($\delta_{médio}$), obtido a partir da Equação 8.

$$\mu = \frac{1,94 \times 10^{-10}}{\delta_{médio}} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde,

μ resistência à difusão do vapor de água (adimensional)

$\delta_{médio}$ permeabilidade ao vapor de água em $kg/m \cdot s \cdot Pa$

A espessura da camada de ar equivalente (S_d), em metros, indica a resistência oferecida por uma camada de material à difusão do vapor de água. A determinação do valor de S_d é indicada na Equação 9.

$$Sd = \mu \cdot d \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde,

- Sd espessura da camada de ar equivalente (m)
 μ resistência à difusão do vapor de água (adimensional)
 d espessura do material (m)

Na Figura 3.19, estão ilustrados o condicionamento dos provetes e a realização das pesagens.



Figura 3.19 - Ensaio de permeabilidade ao vapor de água.

3.4.2.1 Resultado - Permeabilidade ao Vapor de água

Na Tabela 3.8, são apresentados os resultados obtidos da permeabilidade ao vapor de água para as distintas argamassas ensaiadas. Os valores apresentados são a média de três ensaiados para cada tipo de argamassa.

Tabela 3.8 - Permeabilidade ao vapor de água das argamassas nos moldes da norma e o desvio padrão.

Argamassa	Nº Provetes	$\delta_{\text{médio}}$ (kg/(m.s.Pa))	Desv. Pad. (kg/(m.s.Pa))	CV (%)
Cal NHL	3	1,75E ⁻¹¹	1,10E ⁻¹²	6,29%
Cal CS	3	1,77E ⁻¹¹	1,17E ⁻¹²	6,61%
Cal RB	3	1,17E ⁻¹¹	1,27E ⁻¹²	10,85%

Na Figura 3.20, apresenta-se o gráfico da permeabilidade ao vapor de água médio.

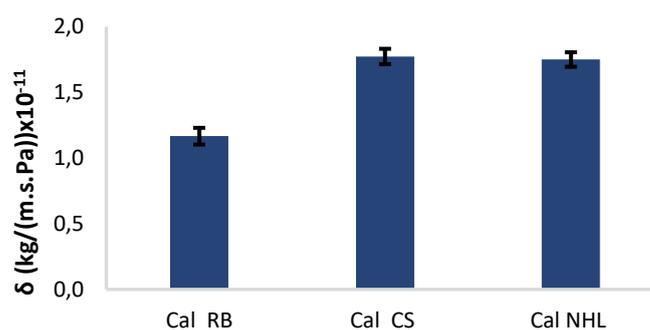


Figura 3.20 - Gráfico de permeabilidade ao vapor de água ($\delta_{\text{médio}}$)

Na Tabela 3.9 são apresentados os resultados da resistência à difusão do vapor de água (μ) e da espessura da camada de ar equivalente (S_D).

Tabela 3.9 - Resultados para a resistência à difusão de vapor de água (μ) e para a espessura da camada de ar equivalente S_D (m).

Provetes	μ (-)	S_D (m)
Cal NHL	11,1	0,18
Cal CS	10,9	0,18
Cal RB	16,6	0,27

Para que o vapor de água possa migrar através de uma parede, o valor S_d da argamassa dentro do imóvel, deve ser maior do que o valor S_d da última camada de reboco que reveste a fachada.

3.4.2.1.1 Análise dos Resultados - Permeabilidade ao Vapor de água

Os resultados do coeficiente de permeabilidade ao vapor de água das argamassas Cal CS e Cal NHL foram maiores que os da Cal RB, e a cal CS é a argamassa com maior permeabilidade ao vapor.

Verifica-se que os valores obtidos para a resistência à difusão do vapor de água (μ) e para a espessura da camada de ar equivalente S_D (m) da Cal NHL e Cal CS, são muito parecidos, como seria de esperar face aos resultados obtidos para a permeabilidade ao vapor.

Nos resultados da resistência a difusão de vapor de água (μ), a argamassa Cal CS apresentou um valor de 10,9, inferior às demais argamassas ensaiadas. Assim, tal como expectável, e tendo em conta o resultado do coeficiente de permeabilidade ao vapor, esta a argamassa que apresenta menor resistência à passagem do vapor.

3.4.3 Resistência à Tração por Flexão e Resistência à Compressão

Os ensaios de determinação da resistência à tração por flexão e a resistência à compressão foram executados de acordo com a Norma EN 1015-11:2019.

O ensaio de resistência à tração por flexão foi realizado aos 28 dias de cura, com 3 provetes prismáticos por argamassa, com dimensões de (160x40x40) mm, permitindo determinar a tensão de rotura induzida na parte central da argamassa, com o provete apoiado em 2 pontos. A carga foi aplicada centralmente, por um rolete semelhante aos dois apoios inferiores, a uma velocidade constante.

Na Figura 3.21 estão ilustrados os provetes e a execução do ensaio.

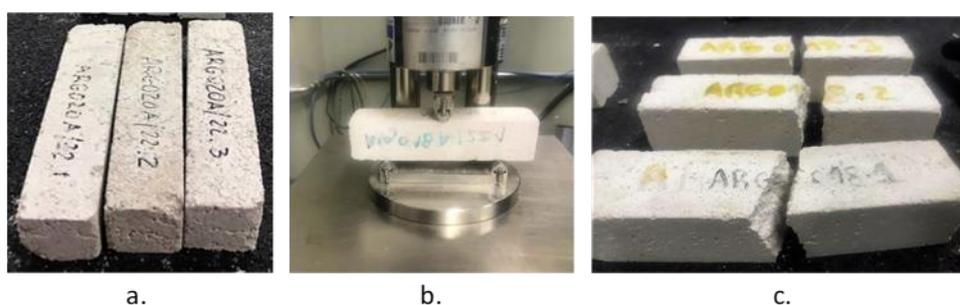


Figura 3.21 - Ensaio de resistência à tração; a) provetes curados; b) provete posicionado para o ensaio; c) ensaio finalizado após rotura dos provetes.

A resistência à tração por flexão (R_t), é determinada pela Equação 8:

$$R_t = 1,5 \times \frac{F_f \cdot l}{b^3} \quad (\text{Eq. 8})$$

R_t resistência a tração por flexão, em *MPa*

F_f carga de rotura à tração por flexão, em N

l distância entre os apoios inferiores, em mm

b largura da base do provete, em mm.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados com as duas metades dos provetes resultantes do teste de resistência à flexão, ou seja, para cada argamassa, foram ensaiados 6 provetes com, aproximadamente, 40x40x80 mm.

Os ensaios de resistência à tração por flexão e resistência à compressão foram realizados no mesmo equipamento, tendo sido alteradas apenas as condições de apoio dos provetes, mudando a peça central do equipamento, como podemos ver na Figura 3.22.

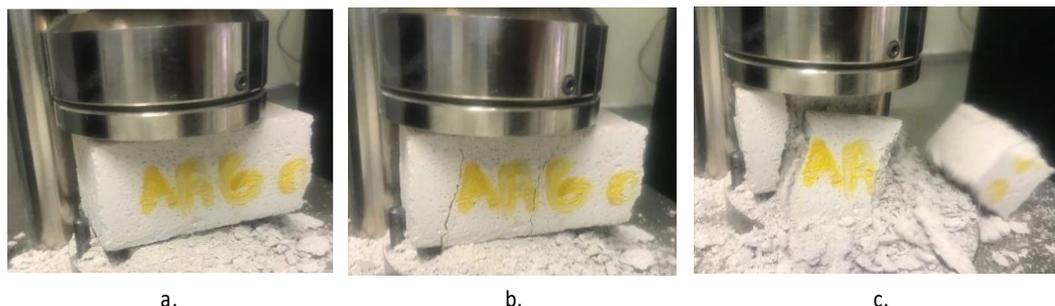


Figura 3.22 - Ensaio de resistência à compressão, utilizando os provetes resultantes do ensaio de tração por flexão. a) b) e c) sequência do provete sendo ensaiado à compressão.

A resistência à compressão (R_c), foi determinada segundo a Equação 9:

$$R_c = \frac{F_c}{S} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde,

R_c resistência a compressão, em *MPa*

F_c carga de rotura à compressão, em N

S área de aplicação de carga, em mm^2 .

3.4.3.1 Resultados - Resistência à Tração por flexão e Resistência à Compressão

A Tabela 3.10 apresenta os resultados obtidos do valor médio resistência à tração por flexão (R_t), e à compressão (R_c) obtidos para as argamassas ensaiadas em laboratório. Os valores apresentados são a média dos três ensaios realizados.

Tabela 3.10 - Resultados dos ensaios de resistência à flexão por tração média (R_t) e resistência à compressão média (R_c), com o respetivo desvio padrão.

Provete	Resistência à tração (R_t) médio (N/mm ²)	Desvio Padrão (N/mm ²)	Resistência à compressão (R_c) médio (N/mm ²)	Desvio Padrão (N/mm ²)
Cal NHL	0,38	0,04	1,12	0,08
Cal CS	0,96	0,01	2,13	0,08
Cal RB	0,76	0,15	3,90	0,17

3.4.3.1.1 Análise dos Resultados - Resistência à tração por flexão e Resistência à Compressão

No que diz respeito as características mecânicas das argamassas para rebocos exteriores e interiores, os valores para resistência a tração (R_t) variaram entre 0,38 e 0,96 N/mm^2 , tendo o desvio padrão variando de 0,01 a 0,15 N/mm^2 .

Em termos de resistência à compressão (R_c), os resultados variaram de 1,12 N/mm^2 a 3,9 N/mm^2 , tendo o desvio padrão variado de 0,08 a 0,17 N/mm^2 .

Para a análise dos resultados, utilizamos como referência a investigação feita por Veiga (2003). Na Tabela 3.11 são apresentados valores recomendados pela autora no que diz respeito à resistência à tração (R_t) e à resistência à compressão (R_c), e os resultados obtidos neste estudo.

Numa primeira análise, podemos dizer que a argamassa formulada em laboratório para substituição da argamassa tradicional CAL NHL obteve um bom comportamento, dentro do recomendado por Veiga (2003), tanto para os resultados da resistência à tração por flexão (R_t), como para a resistência à compressão (R_c).

Tabela 3.11 – Comparação dos resultados obtidos para a resistência à tração (R_t) e para a resistência à Compressão (R_c) com os recomendados por Veiga (2003)

Provetes Cal Hidráulica	Resistência à flexão por tração- (R_t) (N/mm^2)	Valor recomendado (R_t) Reboco (N/mm^2)	Resistência à compressão - (R_c) (N/mm^2)	Valor recomendado (R_c) Reboco (N/mm^2)
Cal NHL Natural Formulada traço 1:4 + areia de rio	0,38	0,20 - 0,70	1,12	0,40 - 2,50
Cal CS - Pré-dosada	0,96 Forte demais		2,13	
Cal RB - Pré-dosada	0,76 Forte demais		3,90 Forte demais	

A argamassa pré doseada a Cal CS foi a que apresentou a maior resistência à tração (R_t), seguida da argamassa Cal RB, estando ambas argamassas consideradas “fortes demais” para os edifícios antigos. Quanto à resistência à compressão (R_c), apenas a argamassa Cal RB apresenta valores acima dos recomendados para os dois parâmetros.

No entanto, é importante observar que os resultados das argamassas de substituição em laboratório diferem dos resultados *in situ*. As argamassas pré doseadas foram utilizadas *in situ* de forma conjunta (Cal CS + Cal RB), aparentando compatibilidade com os respetivos suportes antigos que as receberam.

3.5 – Preparação dos Suportes e Aplicação das Argamassas de Substituição

Nos suportes reais houve uma remoção da argamassa existente, seguida de uma limpeza com escova de aço para remoção de grãos soltos e molhagem com água, sendo aplicadas as duas soluções de argamassas, que ficaram sujeitas às condições de cura em ambiente exterior. Após preparação do suporte, foram preparados dois painéis com 1 m² para cada imóvel (Figura 3.23 a) b) c)).



Figura 3.23- a) Retirada do Reboco; b) Limpeza dos Suportes; c) Escovagem.

Na Figura 3.24 a) b) e c), o preparo e aplicação manual das argamassas *in situ*.



Figura 3.24 - a) Humedecendo a parede; b) Preparando a argamassa; c) Aplicando a argamassa na parede

As argamassas foram produzidas manualmente *in situ* e aplicadas com colher de pedreiro. A finalização foi feita alisando a argamassa com uma talocha.

Os ensaios foram separados por imóvel estudado (A) Adega, (B) Bar, (C) Celeiro e (S) Sogro, conforme descrito no início da campanha experimental. A nomenclatura utilizada a partir do Capítulo 3.5 utiliza a letra do imóvel + adicionado a letra (E) de Existente, (AE), (BE), (CE) e (SE).

As argamassas de substituição à base de Cal NHL 3,5 + areia de rio estão identificadas por (ANH), (BNH), (CNH) e (SNH).

A argamassas de consolidação pré-doseadas Cal RB adotam, após a identificação do imóvel, a letra (B), e a argamassa de regularização Cal CS adota a letra (C), ficando esta

série composta de duas camadas (consolidação e regularização) chamada de série “BC”, ficando configuradas da seguinte forma: (ABC), (CBC) e (SBC).

A argamassa denominada (BB) foi a única que recebeu apenas uma camada de regularização utilizando a Cal RB.

De todas as argamassas, a argamassa CBC foi a única onde se observaram fissuras em um período de 2 horas, entre uma aplicação e outra, devido a incidência direta do sol. A correção foi feita com um barramento armado com rede de fibra de vidro, utilizando uma camada de Reabilita Cal AC, assegurando a homogeneidade e durabilidade da intervenção, não mais fissurando.

3.5.1— Resistência Adesiva — Ensaio de Pull-Off

Os ensaios “*pull-off*” *in situ*, serviram para avaliar a resistência adesiva das argamassas aos suportes aos 28 dias de cura.

Lopes (2012) diz que este ensaio pode ser compreendido, “*no conceito de que, a força de tração necessária para arrancar um disco de metal juntamente com uma camada de argamassa, a partir do substrato a que está ligado, está relacionada empiricamente com a resistência de aderência à tração da argamassa.*”. Neste sentido, é preciso executar um corte até ao suporte, colando uma pastilha metálica na superfície a ensaiar, de modo que as tensões de tração se concentrem unicamente na área em que a pastilha está colada.

O ensaio foi executado de acordo com a Norma EN 1015-12:2000, medindo-se a resistência adesiva, e avaliando a tipologia de rotura (adesiva ou coesiva).

O ensaio inicia-se com a marcação do posicionamento das pastilhas de secção quadrada (50x50) mm nos diversos revestimentos. Após a marcação, são executados os cortes com uma rebarbadora e fixadas as pastilhas com epóxi rápido. Antes da fixação das pastilhas, deve-se garantir que a área da argamassa esteja limpa, sem poeira. Na Figura 3.25 a), vemos as pastilhas posicionadas.

Com o equipamento de ensaio, Figura 3.25 b), procede-se a realização do mesmo, aplicando-se carga lenta, até ao destaque das pastilhas.

Na Figura 3.25 c), observam-se as paredes de um dos imóveis estudados, cujos ensaios efetuados foram realizados nas argamassas existentes, na argamassa formulada em laboratório e na solução pré-doseada de substituição.



Figura 3.25 - a) Pastilhas coladas ao suporte, b) Ensaio de arrancamento c) Final do ensaio – arranque das argamassas

Para obtenção da resistência de aderência à tração (f_u), é necessário dividir a carga de rutura pela área da pastilha, conforme a Equação 10.

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde,

f_u é a resistência de aderência à tração, em MPa

F_u é a carga de rutura, em N

A é a área da pastilha, em mm^2 .

Existem três tipologias de rutura em revestimentos de argamassa, esquematizadas na Figura 3.26, conforme descrito na norma de ensaio:

A - Rutura Coesiva da argamassa (RC-A) – o valor da resistência de aderência ao suporte é superior ao valor obtido;

B - Rutura Coesiva do suporte (RC-sup.) – o valor da resistência de aderência ao suporte é superior ao valor obtido;

C - Rutura Adesiva entre a argamassa e o suporte (RA-A-sup.) – o valor da resistência de aderência ao suporte é o valor obtido.

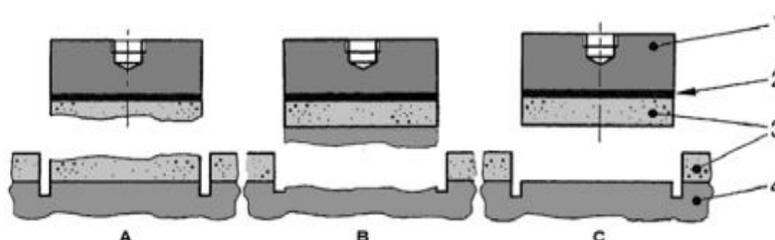


Figura 3.26 - Padrões de rutura previstos. 1) - Pastilha metálica; 2) - cola; 3) - Argamassa de revestimento; 4) - Suporte (CEN, 2000).



Figura 3.27 - a) Rotura Tipo A.

3.5.1.1 Resultado - Resistência Adesiva – Pull-Off

Neste ensaio foram comparados os resultados efetuados diretamente sobre argamassas centenárias e sobre as argamassas de reabilitação/substituição, num total de 45 ensaios de aderência Pull-Off, sendo 15 ensaios por imóvel (CE, BE, SE), que avaliaram a resistência dos revestimentos à separação do substrato, a partir de uma força de tração perpendicular, necessária para arrancar um disco metálico colado a argamassas ensaiadas.

Na Tabela 3.12 são apresentados o $f_{u, \text{médio}}$ (N/mm²) das argamassas ensaiadas

Tabela 3.12 - Resultados médios para os ensaios de Resistência Adesiva, Pull-Off.

Argamassa		$f_{u, \text{médio}}$ (N/mm ²)
Celeiro (CE)	CE	0,03
	CNH	0,00
	CBC	0,05
Bar (BE)	BE	0,00
	BNH	0,04
	BB	0,13
Sogro (SE)	SE	0,03
	SNH	0,00
	SBC	0,00

Optou-se por não se realizar o ensaio com a argamassa (ABC) porque o espaço da Adega estava sendo utilizado com os pertences do proprietário, e o corte da argamassa iria empoeirar e comprometer os equipamentos existentes no local.

3.5.1.1.1 Análise dos Resultados - Resistência Adesiva – Pull-Off

Nos ensaios de Pull Off, *in situ*, a aderência dos diversos revestimentos junto aos suportes antigos foi testada, e os resultados médios podem ser observados na Tabela 3.12.

Nos ensaios de Pull Off, foi considerada a idade avançada das argamassas CE, BE e SE, que se situam na faixa dos 100 aos 300 anos. Essa longevidade contribui para que as argamassas apresentem uma quantidade reduzida de ligante, resultando assim, em um resultado limitado, quando as argamassas são submetidas a forças de arrancamento.

Outros fatores que influenciam os resultados do ensaio de Pull-Off, incluem os agregados utilizados na argamassa, a profundidade e a resistência do substrato, a espessura da camada complementar, a aderência da interface e a taxa de carregamento aplicada, (Bonaldo, 2005 citado por Figueiredo, 2020).

Segundo Veiga *et al.*, (LNEC 2004), citada por Lino (2013), quando os ensaio de Pull Off estão voltados para analisar argamassas para a conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos, os parâmetros técnicos adotados nos ensaios serão: $f_u \geq 0,10$ a $0,30 \text{ N/mm}^2$, ou rotura coesiva pelo reboco.

Casos excepcionais são aqui colocados aqui, como as argamassas pré-doseadas (CBC), que levaram uma tela em fibra de vidro entre a camada de base cal RB e cal CS, por este motivo conseguiu se agarrar mais ao substrato. Já a argamassa BB foi a única monocamada, sendo a mais resistente dentre todas as argamassas, atingindo $0,13 \text{ N/mm}^2$. No entanto, este valor foi inferior a $0,30 \text{ N/mm}^2$, estando dentro da faixa de valores preconizados por Veiga.

Os testes de resistência adesiva Pull-Off, revelam que a força de resistência necessária para remover o disco de metal com argamassa do substrato, resultou consistentemente em rupturas coesivas do tipo A, tendo a argamassa fraturado quando ocorria a acoplagem do equipamento ao parafuso, tornando os resultados inválidos. Desta forma, os valores desses ensaios não deverão ser considerados.

3.5.2 — Absorção de água sob baixa pressão — tubos de Karsten

Este ensaio não destrutivo mede a quantidade de água absorvida a baixa pressão, por uma determinada superfície de argamassa. Para isto, é contabilizado o volume de água absorvida pela superfície da argamassa, numa área definida, durante um período de tempo. O método padrão para medir a penetração de água através da alvenaria é descrito pela norma ASTM E 514.

O ensaio foi realizado sobre as argamassas originais dos edifícios antigos AE, CE, BE, SE, bem como sobre a argamassa de Cal Hidráulica NHL e a argamassas de substituição Cal RB e Cal CS.

Foram utilizados 3 tubos de Karsten, em simultâneo, para cada painel experimental. O local de fixação dos tubos foi previamente limpo com pincel, aplicando-se a seguir um material vedante no bordo interior do tubo, para que este fosse fixado contra a parede. A seguir, o tubo foi cheio com água até ao seu nível máximo de 4 ml, que foi absorvida durante um determinado período. Neste ensaio, o abaixamento do nível de água foi medido aos 5, 10, 15, 20, 30 e 60 min.

Os casos testados na campanha experimental incluem um total de 27 ensaios de permeabilidade de água a baixa pressão, exemplificados na (Figura 3.28 a) e b)). Os testes foram realizados em julho de 2022, em condições de tempo seco.

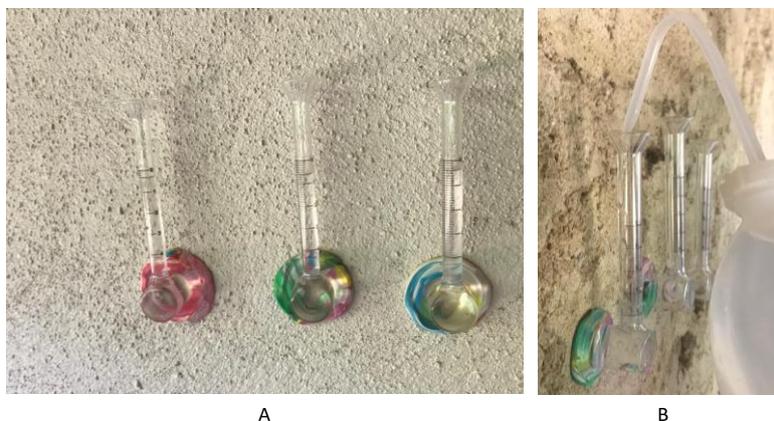


Figura 3.28 a) b) – Ensaio de absorção de água a baixa pressão.

O coeficiente de absorção foi calculado utilizando a Equação 11.

$$C_{abs} = \frac{x \times 10^{-3}}{d^2 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \times \sqrt{t}\right)} \quad \text{Eq. 11}$$

Em que:

C_{abs} – Coeficiente de absorção de água sob baixa pressão ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{t}^{1/2})$)

x – Quantidade de água absorvida (ml)

d – Diâmetro da superfície de contato do tubo de Karsten (mm)

t – Tempo decorrido desde o início do ensaio (min).

3.5.2.1 Resultados – Absorção de água á baixa pressão – tubos de Karsten

As campanhas experimentais realizadas *in-situ*, descritas no capítulo anterior, permitiram recolher informações relevantes no ensaio de absorção à água líquida à baixa pressão até aos 60 minutos, utilizando os tubos de Karsten, cujos resultados estão divididos a seguir, por imóvel (Tabelas (3.13, 3.14, 3.15 e 3.16)).

Tabela 3.13 – Resultados de Absorção de Água à Baixa Pressão – argamassas CE, CBC e CNH.

tempo (min)	$\Delta t(\text{min}^{0,5})$	CE	CBC	CNH
		Δm (kg/m^2)	Δm (kg/m^2)	Δm (kg/m^2)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	2,2	7,13	0,41	5,77
10	3,2	8,15	0,61	8,15
15	3,9	8,15	0,88	8,15
20	4,5	8,15	1,09	8,15
30	5,5	8,15	1,49	8,15
60	7,7	8,15	2,38	8,15

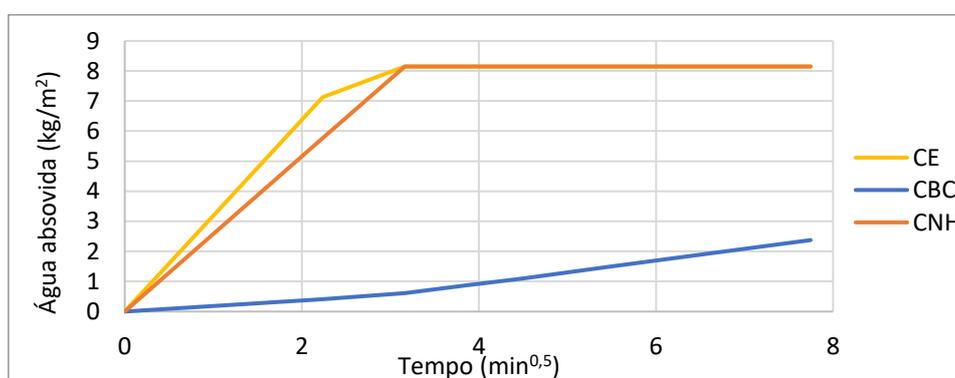


Figura 3.29 – Imóvel CE – Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas CE, CBC e CNH.

Tabela 3.14 – Resultados de Absorção de Água à Baixa Pressão argamassas SE, SBC e SNH.

tempo (min)	$\Delta t(\text{min}^{0,5})$	SE	SBC	SNH
		Δm (kg/m^2)	Δm (kg/m^2)	Δm (kg/m^2)
0	0,0	0,00	0,00	0,00
5	2,2	6,25	2,44	1,77
10	3,2	8,15	4,96	2,85
15	3,9	8,15	6,65	3,67
20	4,5	8,15	7,33	4,48
30	5,5	8,15	8,15	5,84
60	7,7	8,15	8,15	7,13

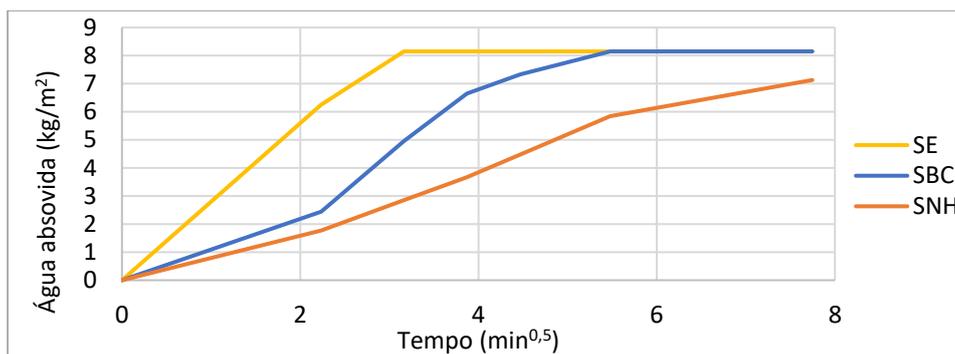


Figura 3.30 – Imóvel SE – Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas SE, SBC, SNH.

Tabela 3.15 – Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas BE, BB, BNH

tempo (min)	Δt (min ^{0,5})	BE	BB	BNH
		Δm (kg/m ²)	Δm (kg/m ²)	Δm (kg/m ²)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	2,2	8,08	2,85	2,78
10	3,2	8,15	4,14	5,84
15	3,9	8,15	5,03	6,79
20	4,5	8,15	6,32	8,15
30	5,5	8,15	7,20	8,15
60	7,7	8,15	8,15	8,15

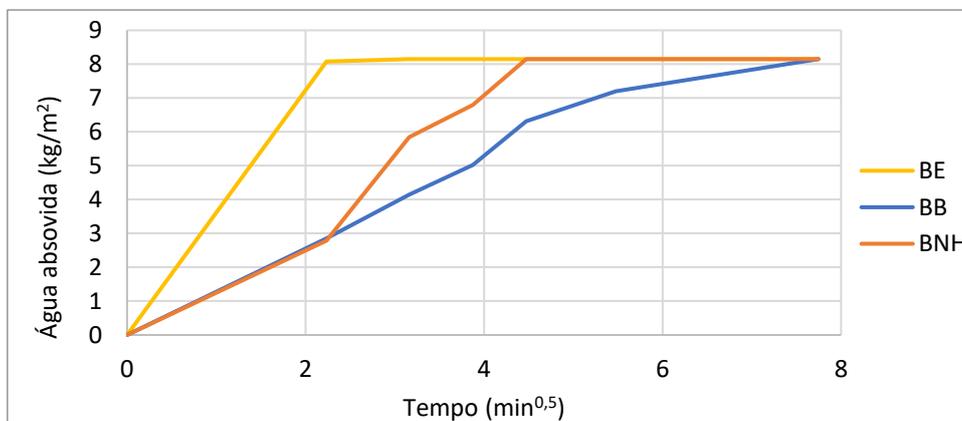


Figura 3.31 – Imóvel BE – Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas BE, BB, BNH.

Tabela 3.16 – Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas AE, ABC e ANH.

tempo (min)	$\Delta t(\text{min}^{0,5})$	AE	ABC	ANH
		Δm (kg/m ²)	Δm (kg/m ²)	Δm (kg/m ²)
0	0,0	0,00	0,00	0,00
5	2,2	8,15	0,88	1,29
10	3,2	8,15	1,83	2,11
15	3,9	8,15	2,78	2,65
20	4,5	8,15	3,60	3,06
30	5,5	8,15	4,41	3,60
60	7,7	8,15	7,06	4,28

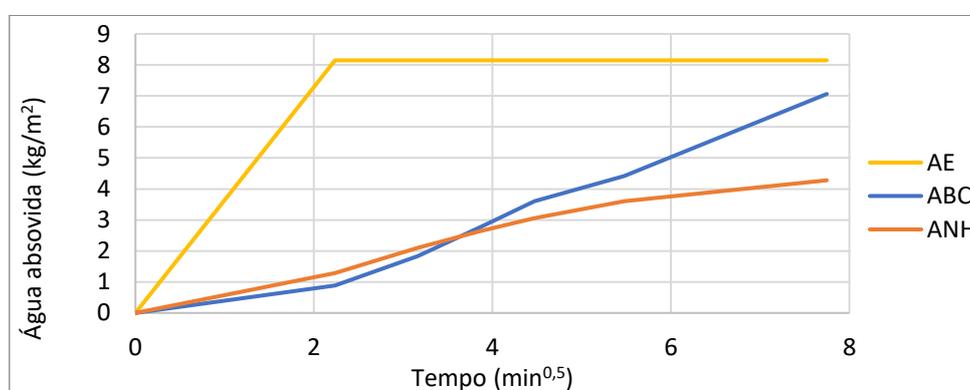


Figura 3.32 – Imóvel AE - Volume de água absorvida vs. Tempo Argamassas AE, ABC e ANH.

3.5.2.1.1 Análise dos Resultados Absorção de água á baixa pressão Tubos de Karsten

A avaliação do comportamento dos rebocos face à presença de água foi conduzida através do ensaio de permeabilidade sob baixa pressão, utilizando os tubos de Karsten. Esses tubos foram fixados em zona não fissurada, e o teste se estendeu até aos 60 min. O objetivo do ensaio será avaliar a permeabilidade água das argamassas ensaiadas, e o resultado desejado, é que estas argamassas apresentem absorção mínima de água.

As Tabelas 3.13, 3.14, 3.15 e 3.16, seguidas das Figuras 3.29, 3.30, 3.31 e 3.32 apresentam os resultados dos 12 ensaios realizados no âmbito dos quatro edifícios estudados, ou seja, 3 ensaios por imóvel.

Analisando os resultados obtidos para as argamassas existentes, em condições de baixa pressão, o valor mais elevado de absorção foi o da argamassa AE, que absorveu o total do volume ensaiado em 5 minutos, sendo acompanhada pelas argamassas CE, SE e BE, que absorvem a mesma quantidade do volume de água em menos de 10 minutos.

O expectável seria que todas as argamassas NHL, estivessem na sequência das argamassas com maior volume de água absorvida, no entanto este padrão só é observado nas argamassas de renovação CNH, e BNH, que absorveram o total de água em 10 minutos e 20 minutos, respetivamente. As restantes não absorveram a totalidade da água nos 60 minutos de ensaio.

No sentido contrário ao expectável, temos as argamassas SBC e BB, que absorveram o total de água aos 30 e aos 60 minutos, respetivamente, e as demais (CBC, SNH e ANH) foram as que demoraram mais tempo a absorver a mesma quantidade de água.

Rato (2006), afirma que o coeficiente de absorção de água está relacionado com a dimensão dos poros e com a conectividade da rede porosa. Numa argamassa à base de cal coeficiente de absorção dependerá da dimensão dos grandes poros, apresentando valores mais elevados nas argamassas com poros de maiores dimensões.

O mesmo autor coloca o fato de que, em uma argamassa com uma quantidade maior de finos, (como por exemplo, uma argamassa de base cimentícia), o coeficiente de absorção estará relacionado com a porosidade aberta. Nesse cenário, a água só consegue penetrar nos grandes poros por meio das frações de matriz simples. Como a dimensão dos pequenos poros é uniforme, a quantidade de água absorvida depende do volume de poros disponíveis, tornando o coeficiente de absorção maior, em argamassas mais porosas.

3.5.3 - Determinação da resistência superficial — Esclerómetro pendular

Os ensaios feitos com esclerómetro pendular, tiveram como base a Norma EN 12504-2 (CEN 2001), cujo objetivo foi avaliar a dureza superficial dos rebocos ensaiados, tendo como princípio o método do ressalto de um bloco de impacto, cuja base teórica consiste na geração de uma reação elástica, causada pelo impulso de uma peça de massa conhecida ao chocar contra a superfície a analisar. O resultado, que corresponde à quantidade de energia recuperada no ressalto da massa do bloco de impacto, é expresso através do índice esclerométrico (IE), e pode ser lido na escala graduada incluída no manual do aparelho (Lino, 2013).

Segundo Magalhães et al. (2003), citada por Galvão (2009), o índice esclerométrico (IE) é uma medida arbitrária que depende da massa e da energia armazenada pela mola do equipamento de ensaio. Quanto mais maleável for o material, maior será a quantidade de energia que ele absorve e, conseqüentemente, menor será a altura do ressalto.

O equipamento utilizado neste ensaio foi o Esclerómetro Pendular Schmidt OS-120 da PROCEQ (Figura 3.33). Os ensaios foram realizados, tanto nas argamassas existentes, quanto nas argamassas de reabilitação, aos 28 dias de cura, permitindo obter, *in situ*, a medição da resistência superficial dos oito painéis produzidos, e das quatro argamassas existentes.



Figura 3.33 - Ensaio da resistência superficial - Esclerómetro Pendular

Utilizando um esclerómetro pendular tipo PT, é possível avaliar materiais com resistência inferiores a 30 N/mm².

Para realização do ensaio, o aparelho foi encostado verticalmente à parede, e a seguir o pêndulo foi libertado através do botão de disparo. Foi registado o valor obtido com o ressalto do bloco de impacto, por leitura direta no aparelho, conforme exemplificado na Figura 3.33.

Tendo por base os ábacos disponíveis no manual do equipamento, foi determinada a resistência à compressão estimada do reboco. Segundo o manual, o valor obtido através do ábaco é equiparável à resistência de um provete cúbico com 150 mm de aresta.

3.5.3.1 Resultado Resistência Superficial Esclerómetro Pendular

Cada argamassa investigada foi submetida a medições em três regiões distintas dos painéis ensaiados. Os resultados da avaliação da dureza superficial dessas argamassas estão contidos na Tabela 3.17, que fornece os valores médios de cada argamassa, juntamente com os respetivos Desvios Padrão.

Tabela 3.17 - Medição da resistência superficial, através de ensaio esclerométrico das argamassas

Argamassa	Argamassa existente				Argamassa de Reabilitação							
	CE	SE	AE	BE	CBC	CNH	SBC	SNH	ABC	ANH	BB	BNH
Rc médio (N/mm ²)	2,3	1,0	2,0	0,7	2,0	2,8	2,1	1,7	2,0	1,4	1,7	1,9
Desvio Padrão (N/mm ²)	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,1	0,1	0,2

3.5.3.1.1 Análise dos Resultados - Resistência Superficial Esclerómetro Pendular

Utilizando um esclerómetro pendular de Schmidt tipo PT, foram obtidos os resultados de resistência superficial das argamassas, através do ensaio do choque da esfera, sendo aferidos sobre as argamassas ensaiadas um total de 12 medições sobre as argamassas

antigas e 24 medições sobre as argamassas de reabilitação, contabilizando um total de 36 medições, cujos resultados médios se encontram na Tabela 3.17.

O ensaio pretendeu, além de avaliar o comportamento das argamassas existentes, (CE, SE, AE e BE), obter os resultados após sua substituição pelas argamassas de reabilitação quanto as suas características mecânicas. Como resultado do ensaio, os menores valores de ensaio foram registados, nas argamassas BE 0,7 N/mm² e SE 1,0 N/mm², seguidos das argamassas ANH, BB, SNH e BNH, que variaram entre 1,4 e 1,9 N/mm².

Na sequência encontramos as argamassas AE, CBC e ABC com resultados de 2,0 N/mm² cada. E por fim as argamassas SBC 2,1 N/mm², CE, 2,3 N/mm² e CNH 2,8 N/mm².

Os ensaios realizados permitiram quantificar as resistências superficiais obtidas com o esclerómetro pendular, onde se observa que os resultados para as argamassas existentes não obedecem a um único padrão.

Dentre as argamassas à base de cal NHL, os valores dos resultados foram os que mais se assemelharam entre si, com exceção da argamassa CNH.

As argamassas compostas de duas camadas na série “BC”, foram as que tiveram resultados mais semelhantes dentre todas as argamassas ensaiadas

Os valores ensaiados são apresentados graficamente na Figura 3.34, com os respectivos desvios padrão.

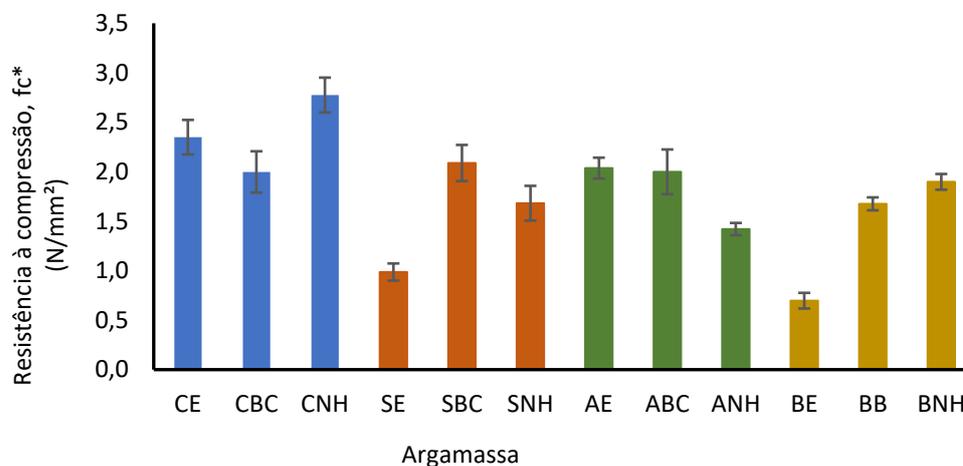


Figura 3.34 - Resistência superficial ao impacto médio f_c (N/mm²), Esclerómetro Pendular.

(*) Resistência correspondente a um provete cúbico com 150 mm de aresta.

Segundo Mendonça (2007), citado por Galvão (2009), os resultados obtidos a partir desses ensaios são considerados representativos para camadas de reboco com profundidade de até 5 cm, implicando que a natureza do substrato, pode influenciar os resultados.

Flores-Colen (2009) refere que o índice esclerométrico (IE) tem uma correlação elevada com a resistência interna e com a resistência superficial das argamassas, possuindo uma correlação média com a capacidade de deformação e a aderência ao suporte. Neste sentido, na Figura 3.35 é apresentado um gráfico onde se apresenta a resistência à compressão em N/mm^2 , e o respetivo índice esclerométrico das argamassas ensaiadas, onde valores mais elevados indicam a dureza da superfície da argamassa. (Figura 3.35).

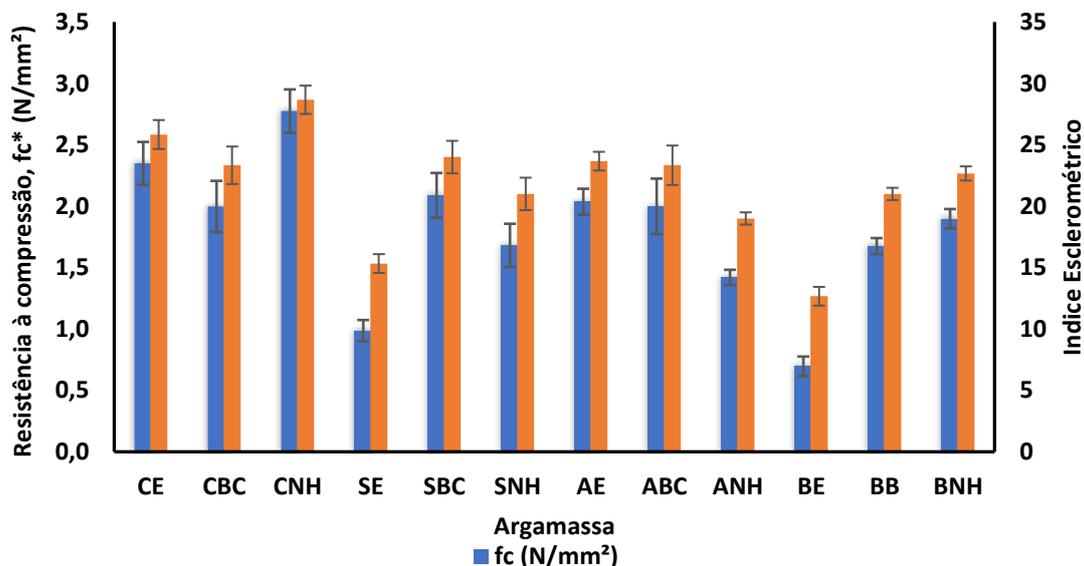


Figura 3.35 - Resistência superficial ao impacto médio f_c (N/mm^2), Esclerómetro Pendular vs. índice esclerométrico.

3.5.4 Resistência à penetração e resistência ao impacto (Martinet-Baronnie)

Os ensaios executados utilizando o equipamento Martinet-Baronnie permitem medir a resistência ao impacto dos rebocos e avaliar a resistência à penetração de cada camada de argamassa. Este processo é útil na recolha de dados sobre a resistência mecânica das camadas internas do reboco, e conseqüentemente, permite uma avaliação mais eficaz do seu estado de conservação. Na Figura 3.36 as imagens retratam os dois ensaios, realizados sobre os rebocos antigos e sobre os painéis novos, utilizando argamassa de renovação.

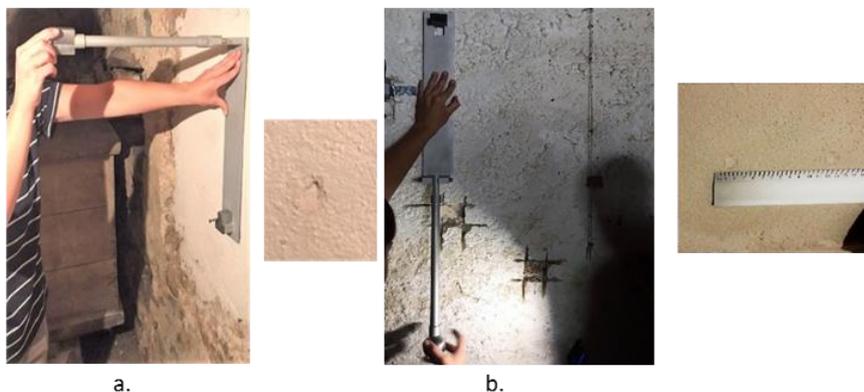


Figura 3.36 - a) Penetrómetro e detalhe da penetração; b) Esfera de impacto com medição do diâmetro da mocha.

O “choque de esfera” traduz-se na realização de um ensaio que submete o impacto de corpo duro de 3 joules, utilizando uma esfera de aço de cerca de 50 mm de diâmetro. Este ensaio dá informação acerca da deformabilidade do revestimento.

A resistência ao impacto é avaliada a partir do diâmetro da mocha e do tipo de dano infligido à argamassa (existência ou não de fendas e de perfuração). Esta abordagem de avaliação, discutida por Veiga, et al. (2004), e citado por Ferreira (2010), pode ser assim resumida: “Quanto menor o diâmetro da mocha, maior a resistência do reboco”. No entanto, um diâmetro relativamente maior, pode significar resultados favoráveis, desde que não seja acompanhado de fissuras. A presença de uma grande deformabilidade é, de facto, uma característica muito vantajosa numa argamassa de substituição, Veiga e Carvalho (2000).

Segundo Magalhães et al. (2010), citado por Ferreira (2010), o ensaio de penetração controlada, equivale a provocar a penetração de um prego de aço orientado por um acessório acoplado ao aparelho Martinet-Baronnie. Este acessório garante a perpendicularidade do impacto. Ao registar a penetração alcançada após impactos sucessivos, conseguimos avaliar a resistência mecânica de cada camada. Esta abordagem auxilia na obtenção de dados sobre a resistência mecânica das camadas internas. O ensaio de penetração envolve a medição de três impactos individuais, permitindo assim a avaliação do estado da argamassa em cada profundidade.

O impacto da esfera de aço contra a superfície da argamassa ensaiada, produz uma energia de 3J, cujo valor pode ser calculado através da Equação 12:

Eq. 12

$$E_{imp} = g \times h \times m$$

Onde,

E_{imp} é a energia de impacto [3J]

g é a aceleração da gravidade [9,8 m/s²]

h é a altura da queda do corpo [0,6 m]

m é a massa do corpo [500 g].

Os resultados do ensaio são expressos através da medição do diâmetro da mocha provocada pela esfera no reboco e da profundidade de penetração registada após os três impactos do prego de aço.

3.5.4.1 Resultado - Ensaio de Martinet-Baronnie

3.5.4.1.1 Resultados Martinet-Baronnie - Penetração controlada

Os resultados para os ensaios de penetração controlada de Martinet-Baronnie, para argamassa existente, dos imóveis estudados, são apresentados na Tabela 3.21.

Tabela 3.21 - Resistência ao impacto médio de penetração – Argamassas comum: CE, SE, AE e BE.

Argamassa	CE	SE	AE	BE
Penetração Média (mm)	15,0	8,0	9,7	14,0

A Figura 3.37 ilustra os valores médios obtidos, referentes ao ensaio de penetração controlada para as argamassas existentes. permite avaliar a resistência das camadas mais interiores dos rebocos.

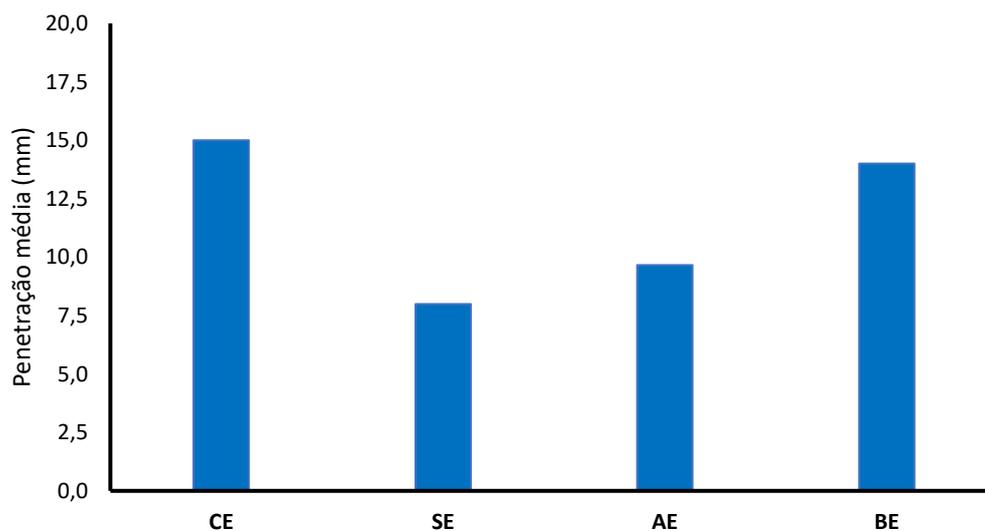


Figura 3.37- Valores médios para o ensaio de penetração controlada das argamassas CE, SE, AE e BE.

Na Tabela 3.22 ensaios de Penetração Controlada média de Martinet-Baronnie, para as argamassas de substituição:

Tabela 3.22 - Resistência ao impacto médio de penetração – Argamassas *de substituição*: CBC, CNH, SBC, SNH, ABC, ANH, BB e BNH.

Argamassa	CBC	CNH	SBC	SNH	ABC	ANH	BB	BNH
Penetração Média (mm)	5,7	7,3	5,0	8,3	7,3	11,3	8	7,3

Na Figura 3.38, apresenta-se o valor médio de penetração controlada para as argamassas de substituição.

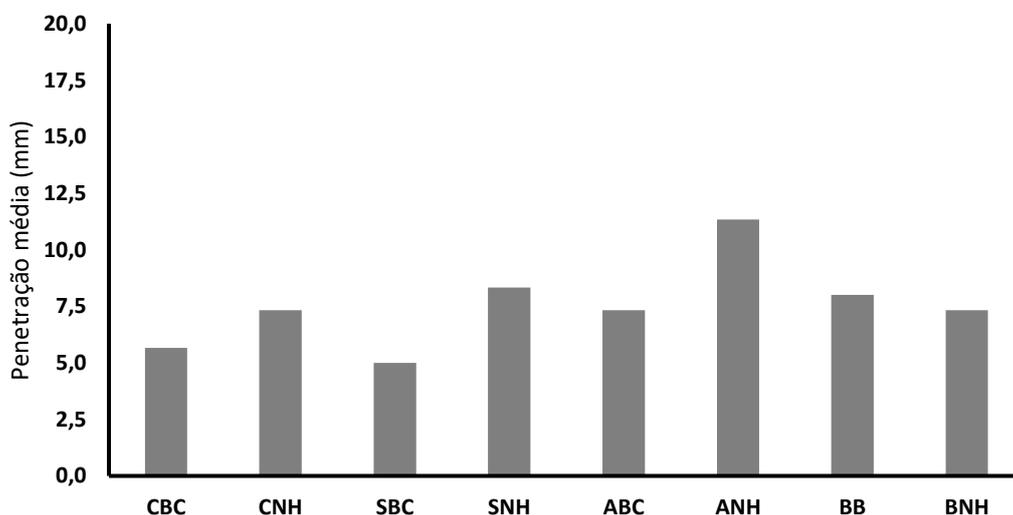


Figura 3.38 - Resistência ao impacto de penetração para as argamassas de renovação (C_R). – CBC, CNH, SBC, SNH, ABC, ANH, BB e BNH.

3.5.4.1.1.1 Resultados Martinet-Baronnie - Impacto da esfera

Os resultados para os ensaios do impacto da esfera de Martinet-Baronnie, para as argamassas existentes CE, SE, AE e BE, são apresentados nas Tabelas 3.23.

Tabela 3.23 - Resistência ao impacto da esfera – Martinet-Baronnie – Argamassas existentes

Argamassa	CE	SE	SE	BE
Ø Mossa (mm)	16,7	13,7	8,3	18,7

Os resultados para os ensaios do impacto da esfera de Martinet-Baronnie, para as argamassas existentes, CE, SE, AE e BE, são apresentados na Figura 3.39.

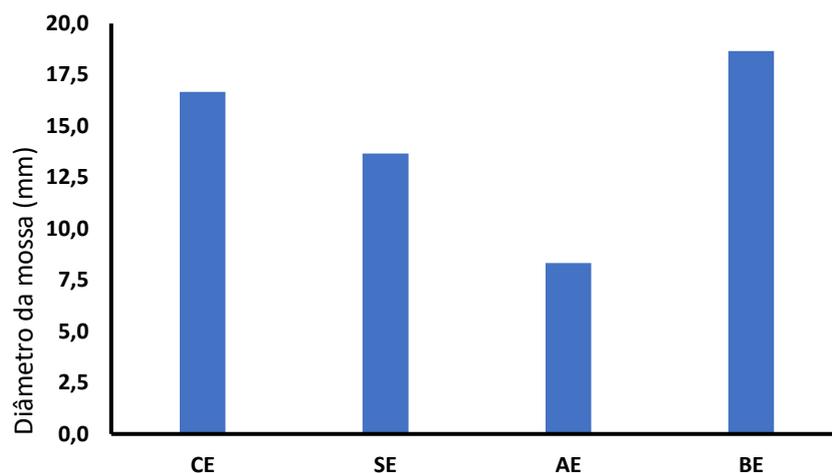


Figura 3.39 - Resistência ao impacto da esfera – Argamassas existentes.

Na Tabela 3.24 são apresentados os resultados para os ensaios do impacto da esfera de Martinet-Baronnie, para as argamassas de substituição.

Tabela 3.24 - Resistência ao impacto da esfera – Martinet-Baronnie.- Argamassas de substituição

ARGAMASSA	CBC	CNH	SBC	SNH	ABC	ANH	BB	BNH
Ø Mossa (mm)	10	11,3	13,7	14,3	14,7	17	11,7	14,3

Os resultados para os ensaios do impacto da esfera de Martinet-Baronnie, para as argamassas de substituição são apresentados na Figura 3.40.

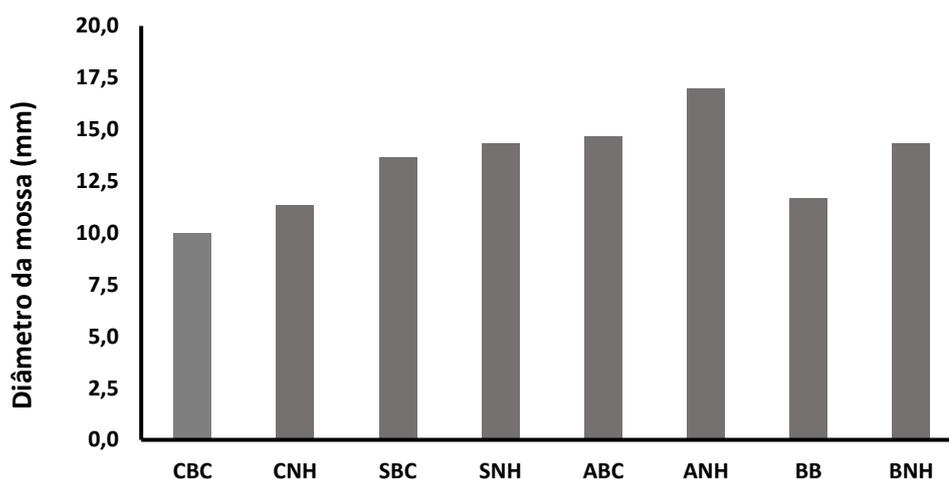


Figura 3.40 - Resistência ao impacto da esfera – Diâmetro da Mossa – Argamassas de substituição.

3.5.4.1.1.1 Análise dos Resultados de Martinet-Baronnie - Penetração controlada e Choque da Esfera

Os resultados obtidos nos ensaios de Martinet-Baronnie, resumidos na Tabela 3.25, foram comparados com a classificação de reparabilidade em revestimentos antigos, e a classificação de adequabilidade de argamassas novas para argamassas de substituição, LNEC (2002), conforme apresentado nas Tabelas 3.26 e 3.27.

Tabela 3.25 – Resultados – Choque da Esfera (MB) vs. Penetrómetro (MB)

Ensaio	Argamassa Existente				Argamassa de Reabilitação							
	AE	BE	CE	SE	CBC	CNH	SBC	SNH	ABC	ANH	BB	BNH
Choque da Esfera MB (mossa - mm)	8,3	18,7	16,7	13,7	10,0	11,3	13,7	14,3	14,7	17	11,7	14,3
Penetrómetro- MB (Penetração mm)	9,7	14,0	15,0	8,0	5,7	7,3	5,0	8,3	14,7	11,3	8,0	7,3

Tabela 3.26 - Classificação da reparabilidade para revestimentos antigos. LNEC (2002)

REVESTIMENTOS ANTIGOS - Classificação da reparabilidade			
Classe	Reparabilidade	Choque de Esfera (\emptyset ,mm)	Penetração controlada (mm)
1	Impossibilidade de reparação : extração parcial ou total	≥ 15	> 5
2	Possibilidade usando técnicas de consolidação	> 13	> 3
3	Possibilidade de Conservação : manutenção (limpeza, uso de biocidas, etc.) e reparação pontual (se necessária)	≤ 13	≤ 5

Tabela 3.27 - Adequabilidade de argamassas novas para argamassas de substituição. LNEC (2002)

ARGAMASSAS DE SUBSTITUIÇÃO - Adequabilidade de argamassas novas com base em cal			
Classe	Adequabilidade	Choque de Esfera (\emptyset ,mm)	Penetração controlada (mm)
3 meses a 1 ano	Aceitável	≤ 18	≤ 7
≤ 3 anos	Aceitável	≤ 14	≤ 6

*1 a 3 - da menor à maior reparabilidade

A classificação da reparabilidade para revestimentos antigos, apresentada pelo LNEC (2002), nos mostra, através dos resultados dos ensaios de profundidade média de penetração, que as argamassas antigas CE, BE, AE e SE, com resultados superiores a 5 mm, sugerem que o revestimento possui pouca coesão, havendo indicação de sua substituição de forma parcial ou total.

De forma geral, os resultados de reparabilidade das argamassas estão dentro dos parâmetros aceitáveis, no entanto é recomendado que as argamassas antigas sejam sujeitas a técnicas de consolidação para garantir a proteção do edificado.

4 Comparação dos resultados dos vários ensaios realizados e com outros autores.

4.1 Análise Granulométrica Argamassas Vila Nova vs. Centro Histórico de Coimbra

Neste estudo, foram analisados os resultados do projeto de investigação, intitulado, “Os revestimentos e acabamentos nos centros históricos entre tradição e modernidade”, com o objetivo de desenvolver um plano de ação e salvaguarda para o Centro Histórico de Coimbra. Os resultados desse projeto foram publicados no livro “Os revestimentos e os acabamentos do Centro Histórico de Coimbra - Um Contributo para o seu estudo”, escrito por Gil e Catarino (2017).

A motivação para comparar a granulometria das areias de Vila Nova com as do Centro Histórico de Coimbra surge das observações feitas no referido estudo, que destacam os materiais constituintes nas argamassas estudadas, como por exemplo, o uso inicial da cal produzida localmente em fornos caseiros e, a partir do início do século XX, a produção passar a ser industrializada, na região do Cabo do Mondego, Figueira da Foz. Coincidentemente, relatos semelhantes foram obtidos em entrevistas feitas com moradores das aldeias de Vila Nova, reforçando o aspeto comparativo do estudo ao ressaltar o uso de materiais locais.

Ao analisar a distribuição granulométrica dos agregados do Centro Histórico de Coimbra (após a remoção dos ligantes), observou-se uma semelhança com a granulometria obtida nos ensaios realizados nas argamassas das casas de aldeia de Vila Nova. Essa semelhança é evidenciada nas representações gráficas que comparam os agregados de Vila Nova, (SE), (BE), (AE), (CE) com os agregados estudados por Gil e Catarino (2017) no Centro Histórico de Coimbra, coletados da Casa Sub-Ripas (CS1 e CS2), da Casa Paroquial do Colégio de Jesus (CJ Casa Paroquial) e da Rua do Colégio Novo (RCN/P04).

Na Tabela 4.1 são apresentados o percentual de grãos passados em ambos estudos.

Tabela 4.1- Tabela 30 (%) dos grãos passados pelos peneiros: Centro Histórico de Coimbra vs. Vila Nova.

Percentual (%) dos grãos passados pelos peneiros									
Diâmetro (mm)	CS Reboco 2	CS Reboco 1	CJ Casa Paroquial	RCN/P04 reboco	Areia de rio	SE	BE	CE	AE
0,063	2,900	1,501	1,200	1,500	0,074	0,311	1,961	1,867	0,501
0,125	5,580	2,848	2,848	2,110	2,170	2,307	7,104	6,080	3,020
0,250	10,810	6,891	7,993	5,540	7,656	7,777	17,102	14,680	8,910
0,500	29,180	22,573	23,430	19,870	23,360	19,870	34,810	33,620	21,390
1,000	61,800	50,995	55,405	46,330	55,020	41,480	56,630	60,305	44,500
2,000	82,160	73,538	79,050	73,530	86,590	69,730	78,890	84,340	75,330
4,000	96,181	88,484	92,890	91,670	99,880	93,927	95,222	96,770	95,370
8,000	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

As curvas granulométricas dos agregados do Centro Histórico de Coimbra são apresentadas na Figura 4.1.

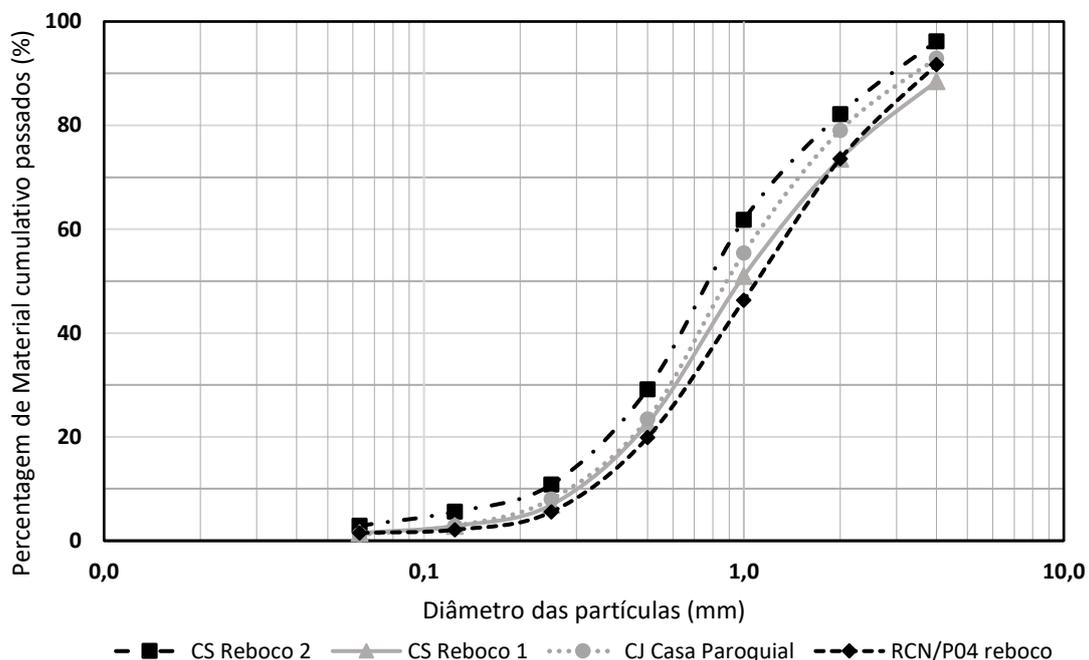


Figura 4.1 - Análise granulométrica dos agregados estudados - Centro Histórico de Coimbra.

As curvas granulométricas dos agregados das casas da aldeia de Vila Nova são ilustradas na Figura 4.2.

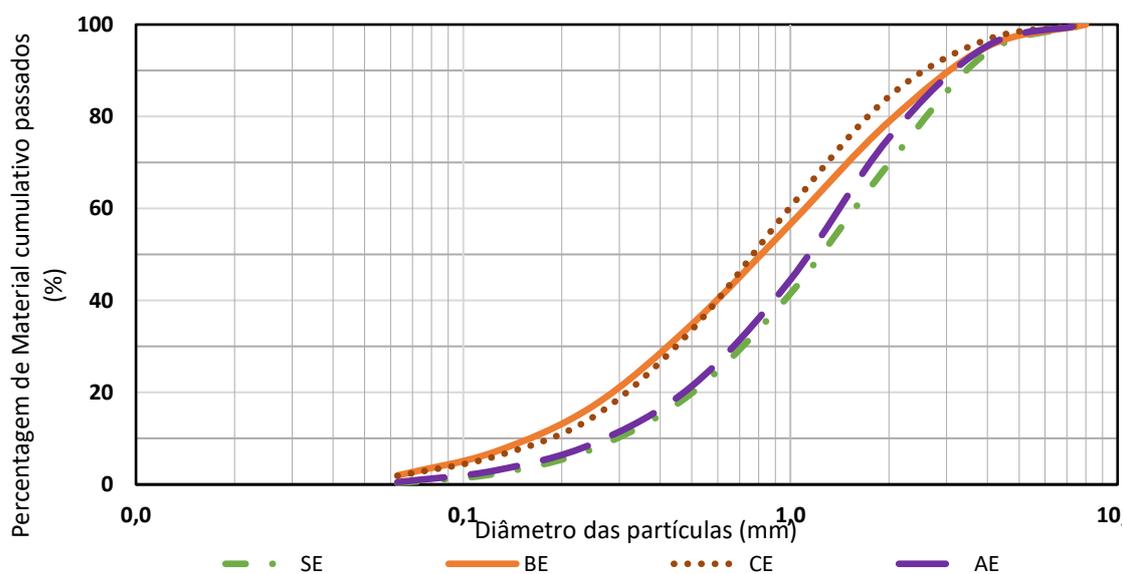


Figura 4.2 - Análise granulométrica dos agregados estudados - Casas das aldeias de Vila Nova.

A Figura 4.3 apresenta a comparação das curvas granulométricas investigadas: as de Vila Nova são sobrepostas às do Centro Histórico de Coimbra.

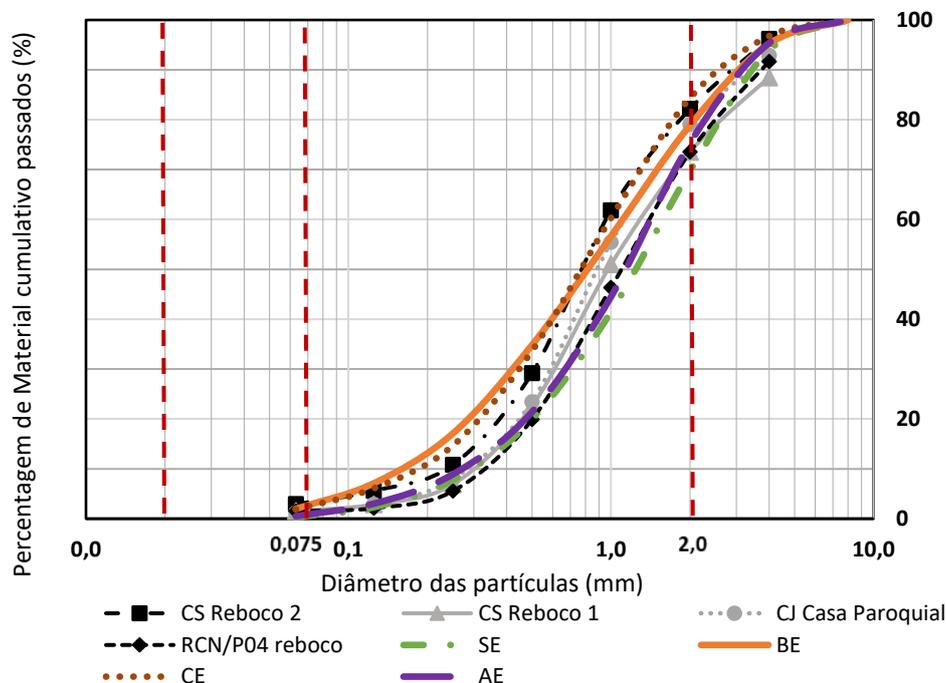


Figura 4.3 – Sobreposição das curvas granulométricas de Vila Nova e do Centro Histórico de Coimbra.

Na Figura 4.3, a sobreposição da análise granulométrica dos agregados das duas localidades estudadas, revelam uma significativa semelhança de suas partículas na faixa granulométrica entre os 0,075 a 2,0 mm, que correspondem de 70 a 75% do material passado pelos peneiros em ambos os ensaios.

O grau de uniformidade na granulometria das areias é considerado por Viana (2016), que define o, coeficiente de não uniformidade (C_u), como indicador desta variação . O sistema unificado classifica areias “bem graduadas” quando (C_u) é maior que 5. Agregados com partículas uniformes, são classificados como “mal graduados”.

De acordo com Pinto (2006), citado por Viana (2016), agregados com (C_u) menor que 5 são uniformes, valores acima de 15 indicam não uniformidade e valores entre 5 e 15 são moderadamente uniformes.

O Coeficiente de não uniformidade dos agregados (C_u) é calculado pela equação:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Eq. 13}$$

C_u = coeficiente de não uniformidade;

D_{60} = diâmetro tal que 60% do agregado, em peso, têm diâmetros menores que ele (mm);

D_{10} = diâmetro tal que 10% do agregado, em peso, têm diâmetros menores que ele (mm).

Já o coeficiente de curvatura dos agregados (C_c) é definido pela seguinte equação:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}} \quad \text{Eq. 14}$$

Em que:

c) C_c = Coeficiente de curvatura dos agregados (C_c).

D_{60} = diâmetro tal que 60% do agregado, em peso, têm diâmetros menores que ele (mm);

D_{30} = diâmetro tal que que 30% do agregado, em peso, têm diâmetros menores que ele (mm).

D_{10} = diâmetro tal que 10% do agregado, em peso, têm diâmetros menores que ele (mm).

Na Tabela 4.2 ilustra os parâmetros relacionados ao coeficiente de não uniformidade (C_u).

Tabela 4.2- Relação existente entre a granulometria e o coeficiente de não uniformidade (C_u).

Granulometria	Coeficiente de não Uniformidade (C_u)
Muito Uniforme	$C_u < 5$
Uniformidade Média	$5 < C_u < 15$
Não Uniforme	$C_u > 15$

Na Tabela 4.3, são apresentados os resultados do Coeficiente de não Uniformidade (C_u) e Curvatura (C_c), para os diferentes materiais.

Tabela 4.3 resultados do Coeficiente de não Uniformidade (C_u) e Coeficiente de Curvatura (C_c)

Material	D60	D30	D10	CU	CC
CS Reboco 2	0,95	0,50	0,23	4,13	0,06
CS Reboco 1	1,40	0,60	0,30	4,67	0,08
CJ Casa Paroquial	1,20	0,60	0,29	4,14	0,09
RCN/P04 reboco	1,50	0,65	0,34	4,41	0,10
Média C.H.Coimbra	1,26	0,59	0,29	4,34	0,08
Areia de rio	1,20	0,60	0,30	4,00	0,09
SE	1,65	0,70	0,30	5,50	0,09
BE	1,20	0,41	0,17	7,06	0,02
CE	1,00	0,44	0,19	5,26	0,04
AE	1,60	0,65	0,28	5,71	0,07
Média Aldeias	1,33	0,56	0,25	5,51	0,06

Os dados indicam que os agregados encontrados no Centro Histórico de Coimbra exibem uma distribuição granulométrica mais uniforme quando comparados com os agregados provenientes das aldeias de Vila Nova. Essa observação é evidenciada pelos coeficientes de uniformidade (Cu) e de curvatura (Cc).

Os coeficientes de uniformidade (Cu) foram calculados para avaliar a dispersão dos tamanhos das partículas em uma amostra de agregados. No caso dos agregados do Centro Histórico de Coimbra, o valor médio de (Cu) é igual a 4,34, enquadrando-se na categoria "Muito Uniforme". Por outro lado, os agregados das aldeias de Vila Nova possuem um valor médio de (Cu) igual a 5,51, colocando-os na categoria de "Uniformidade Média". Isso sugere que os agregados de Coimbra têm uma distribuição mais consistente e uniforme de tamanhos de partículas, em comparação com os agregados de Vila Nova. Para os agregados do Centro Histórico de Coimbra, $Cu = 4,34$ (Muito Uniforme).

O coeficiente de curvatura (Cc) oferece informações sobre a forma da curva de distribuição do tamanho das partículas. Os agregados de Coimbra apresentaram um valor médio de (Cc) igual a 0,08, e os agregados de Vila Nova possuem um valor médio de 0,06.

Em resumo, os resultados indicam uma distribuição granulométrica mais uniforme nos agregados do Centro Histórico de Coimbra, sugerindo maior consistência nos tamanhos das partículas e uma transição mais gradual entre diferentes tamanhos em comparação com os agregados de Vila Nova. Além disso, a confirmação do uso de materiais locais, reforçada tanto pelos relatos dos moradores das aldeias de Vila Nova quanto pelas pesquisas de Gil e Catarino, reforçam essa semelhança nas características dos materiais utilizados serem compatíveis. Vale notar que essas semelhanças podem se estender para além da granulometria dos agregados e abranger outras propriedades das argamassas.

4.2 Permeabilidade ao Vapor de água vs. Absorção de água por capilaridade

No que diz respeito à importância das características no controlo de humidade das argamassas de reabilitação, os dados sobre a permeabilidade ao vapor de água e o ensaio de absorção de água por capilaridade ajudam a atender parte das exigências da marcação CE, quanto aos critérios de desempenho e durabilidade dos materiais empregues na reabilitação de edifícios.

Sendo os revestimentos materiais porosos, os ensaios de permeabilidade ao vapor de água e o ensaio de absorção de água por capilaridade foram comparados na Tabela 4.8, no sentido de verificar os mecanismos de absorção e de evaporação de água das argamassas utilizadas.

Tabela 4.8 – Permeabilidade ao vapor de água versus Absorção de água por capilaridade.

Argamassa	Permeabilidade ao vapor de água $\delta_{\text{médio}}$ (kg/(m.s.Pa))	Desv. Pad. (kg/(m.s.Pa))	Absorção de água por capilaridade ($A_{w,\text{médio}}$)	Desv. Pad $A_{w,\text{med}}$ - kg/(m ² .s ^{0,5})
Cal NHL	1,75E ⁻¹¹	1,10E ⁻¹²	1,15	0,19
Cal CS	1,77E ⁻¹¹	1,17E ⁻¹²	0,09	0,02
Cal RB	1,17E ⁻¹¹	1,27E ⁻¹²	1,28	0,04

Os coeficientes de capilaridade recomendados para as argamassas convencionais situam-se na faixa de 1,0 a 1,5 kg/(m².min^{0,5}), sendo que as argamassas antigas ensaiadas (AB, BE, CE e SE) estão dentro dessa faixa de valores.

Verificou-se que as propriedades das argamassas são distintas entre as amostras em função dos resultados obtidos nos valores de $\delta_{\text{médio}}$ e de $A_{w,\text{médio}}$. Nota-se que a Cal CS tem a capacidade de ser mais permeável ao vapor de água (maior valor de $\delta_{\text{médio}}$), entretanto tem a menor capacidade de absorver água (menor valor de $A_{w,\text{médio}}$).

A Cal NHL, pela natureza do material, sendo mais higroscópico, absorve mais água do que a Cal CS. Apesar disso, a Cal RB, utilizada como camada de regularização do substrato, apresenta o maior valor de absorção de água, mas permite que ocorra a permeabilidade da camada interna para exterior em termos satisfatórios.

5 Conclusões

Indo ao encontro dos objetivos propostos, esta dissertação teve início com os trabalhos *in situ*, coletando dados, buscando amostras de argamassas e fazendo entrevistas com moradores das aldeias estudadas, passando para a caracterização laboratorial das argamassas existentes, posterior desenvolvimento e caracterização em laboratório de possíveis argamassas de substituição e aplicação destas argamassas nos edifícios existentes, para caracterização *in situ*.

Com os traços obtidos, confirmaram-se as semelhanças entre as argamassas (BE e AE), com traço de 1:4, e as argamassas CE e SE, com proporção de traço de 1:7., passando então para a determinação da granulometria dos agregados e seguida aos ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio.

Relatos dos moradores de Vila Nova indicam que as areias utilizadas nas argamassas eram obtidas, tanto dos ribeiros locais, quanto nas cheias do Rio Mondego, que aconteciam na época do degelo da Serra da Estrela. Nas aldeias estudadas, entre 70 e 80% dos imóveis seguem com os rebocos feitos a partir de areia de rio. Vicente (2008), em sua pesquisa sobre os revestimentos das paredes da Baixa de Coimbra, diz que em 2008, apenas 9% dos imóveis estudados mantinham os rebocos originais feitos com areia do rio. O mesmo autor diz que no estudo para o metro ligeiro de superfície na zona da Baixa de Coimbra, sondagens identificaram depósitos aluvionares característicos de uma planície de enchimento, causadas pela ação semi-torrencial do Rio Mondego, gerando inundações intensas.

Os ensaios de granulometria das areias, do Centro Histórico de Coimbra, apresentado por Gil e Catarino (2017) é comparado com os ensaios das curvas granulométricas das argamassas de Vila Nova. No estudo a sobreposição da análise encontramos o mesmo padrão das areias de Vila Nova.

A análise granulométrica revelou semelhanças entre as areias extraídas após a determinação do teor de ligante/agregado, em que o diâmetro dos grãos esteve na faixa de 0,063 a 4,0 mm, representando 75% do material passado pelos peneiros e observou-se, ao analisar a distribuição granulométrica dos agregados do Centro Histórico de Coimbra, semelhança com a granulometria obtida nos ensaios realizados nas argamassas das casas de aldeia de Vila Nova, a qual está apresentada no item 4.1.

Os ensaios de determinação do traço e da porosimetria de mercúrio revelaram semelhanças entre as argamassas BE e AE, e entre as argamassas CE e SE, tanto em relação às proporções de traços quanto aos tamanhos de poros. As argamassas antigas SE e BE possuem tamanhos de poros maiores com diâmetros médios entre 0,31 e 0,3219 μm e volumes de poros entre 0,1105 e 0,1469 cm^3/g ; as argamassas AE e CE apresentaram volumes de poros entre 0,1245 e 0,1352 cm^3/g e os diâmetros médios entre 0,1863 e 0,2053 μm . Segundo Rato (2006), um comportamento típico de argamassas à base de cal

aérea seria o fato do gráfico de porosimetria por intrusão de mercúrio apresentar uma distribuição assimétrica bimodal, contendo dois picos distintos, que é o que se verifica para as argamassa AE e BE, já anteriormente referidas como tendo algumas semelhanças entre si, nomeadamente no que respeita ao traço.

A partir destes resultados formulou-se a argamassa matriz à base de cal hidráulica natural (Cal NHL) e com areia de rio. Posteriormente, foram eleitas as argamassas de substituição pré-doseadas, denominadas Cal CS e Cal RB, por serem argamassas disponíveis no mercado da construção em Portugal e com características declaradas pelos fabricantes para uso em reabilitação de edifícios antigos.

As três argamassas (Cal NHL, Cal CS e Cal RB) foram caracterizadas em laboratório e, no estado fresco, apresentaram boas condições de trabalhabilidade.

No que respeita à caracterização no estado endurecido, em relação ao coeficiente de permeabilidade ao valor de água, a Cal RB apresentou o menor valor entre as três argamassas ($1,17 \times 10^{-11}$ kg/m.s.Pa), no entanto apresentou maior CV (10,85%). Nas argamassas Cal NHL e Cal CS os valores de $\delta_{\text{médio}}$ e do CV foram semelhantes.

Relativamente à absorção por capilaridade, é desejável que as argamassas possuam menor coeficiente capilar, em termos de velocidade de absorção e ainda que possuam boa permeabilidade ao vapor de água. Um baixo coeficiente de capilaridade indica que a argamassa tem boa resistência a penetração de água. Neste estudo, verificou-se que a argamassa Cal CS apresentou o menor coeficiente capilar, indicando ter boa resistência à absorção de água. A argamassa Cal RB apresenta um valor médio de absorção de água superior ao da cal NHL e da Cal CS.

Quanto aos resultados obtidos na resistência à tração e resistência à compressão, a argamassa Cal NHL apresentou valores dentro da faixa recomendada. Entretanto, as argamassas Cal CS e Cal RB, segundo Veiga (2003), apresentaram valores superiores aos da faixa recomendada, sendo enquadradas como argamassas em termos de resistência mecânica como “fortes demais”.

Os ensaios *In-Situ* realizados nas argamassas de substituição abrangeram as seguintes determinações: arrancamento (pull-off), absorção de água sob baixa pressão (tubos de Karsten), resistência superficial (esclerómetro pendular), resistência à penetração e resistência ao impacto (Martinet-Baronnie).

No caso dos ensaios de resistência adesiva *Pull-Off*, os resultados obtidos foram, consistentemente, ruturas coesivas do tipo A. Desta forma, os valores desses ensaios não foram analisados.

Nos ensaios de absorção de água sob baixa pressão, com os tubos de Karsten, a argamassa AE absorveu o maior volume de água, seguida das argamassas CE, SE e BE. As argamassas CNH e BNH apresentam absorções intermédias, com a totalidade da água utilizada a ser absorvida entre os 10 e os 20 min. As argamassas SBC e BB absorveram

o total de água aos 30 e aos 60 min, respetivamente, e as demais (CBC, SNH e ANH) demoraram mais que 60 min para absorver a quantidade de água.

No ensaio do choque da esfera com o esclerómetro pendular, os valores obtidos de resistência superficial à compressão ($R_{C_{\text{médio}}}$) nas argamassas BE e SE foram 0,7 N/mm² e 1,0 N/mm², respetivamente, seguidos das argamassas ANH, BB, SNH e BNH, com valores entre 1,4 e 1,9 N/mm². As argamassas AE, CBC, ABC, SBC, CE e CNH apresentaram valores superiores a 2,0 N/mm². Observou-se que os resultados nas argamassas existentes não obedecem a um único padrão. Os valores de $R_{C_{\text{médio}}}$ nas argamassas de reabilitação compostas de duas camadas na série “BC” são os que apresentam os resultados com a menor variação, sendo 2,0 + 0,1 N/mm².

Com o equipamento de Martinet-Baronnie, no ensaio de penetração com o equipamento de Martinet-Baronnie, as argamassas existentes apresentaram valores de penetração média entre 8,0 e 15 mm e nas argamassas de substituição, os valores ficaram entre 5,0 e 11,3 mm. Observou-se que as argamassas AE (existente) e SBC (substituição) foram as mais resistentes, pois registaram o menor avanço desta penetração. No ensaio de resistência ao impacto da esfera, as argamassas existentes apresentaram valores de penetração média entre 8,3 e 18,7 mm e nas argamassas de substituição, entre 10,0 e 14,3 mm. Observou-se que as argamassas SE (existente) e CBC (substituição) foram as resistentes ao impacto da esfera, por apresentarem os menores valores de diâmetro.

Após o conjunto de ensaios realizados em laboratório e em *In situ*, pode verificar-se que as argamassas ensaiadas nas condições de substituição da argamassa existente apresentaram, de um modo geral, propriedades adequadas para a finalidade proposta, no caso, a reabilitação do revestimento de parede em edifícios antigos. Contudo, esta análise carece de um estudo mais aprofundado, destacando-se a necessidade de solução para o problema da falta de coesão com os suportes existentes identificado com o ensaio de resistência adesiva.

Na campanha experimental levada a cabo ficaram por realizar alguns ensaios importantes que podem fazer parte de uma nova ronda de ensaios, nomeadamente os ensaios de massa volúmica aparente, de porosidade aberta e a porosimetria das argamassas endurecidas sobre os provetes.

6 Desenvolvimentos Futuros

Quanto às direções que poderiam ser exploradas como desenvolvimentos futuros:

- Análise aprofundada das propriedades químicas: Realizar análises das propriedades químicas das argamassas existentes, como a composição mineralógica e a interação entre os componentes, compreendendo melhor como esses fatores afetam o desempenho das argamassas correntes e as de reabilitação.
- Estudo de durabilidade: Realizar ensaios de longa duração para avaliar a durabilidade das argamassas de substituição ao longo do tempo, com envelhecimento acelerado, de acordo com normas de ensaio laboratoriais e/ou exposição a ambiente natural.
- Avaliação de técnicas de aplicação: Investigar diferentes técnicas de aplicação das argamassas, considerando aspetos como espessura, método de aplicação e cuidados específicos durante o processo de instalação para otimizar a aderência e a durabilidade dos revestimentos.

Cada uma dessas direções de pesquisa pode contribuir para um entendimento mais completo e aprimorado das argamassas antigas e de substituição, bem como para o desenvolvimento de soluções mais eficazes e sustentáveis para a renovação de edifícios antigos.

Podemos dizer que as tendências futuras relacionadas a construção de novos edifícios ou a reabilitação de edifícios antigos, estarão cada vez mais relacionadas com a meta europeia da neutralidade carbónica até 2050.

BIBLIOGRAFIA

- Abrantes, Rute N.C (2012) “Caldas de Injeção para revestimentos com perda de aderência” ,
Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade de Aveiro, p-1
- Apps,C.A.C.P., (2011) “Avaliação da Viabilidade Técnica de ensaio do tubo de karsten na
medição da permeabilidade à água líquida e, revestimentos de ladrilhos cerâmicos de
argamassas”. Dissertação para o grau de Mestre em Engenharia Civil - Instituto Superior
Técnico – Lisboa. P. 53
- Appleton, João – *Reabilitação de Edifícios Antigos. Patologias e tecnologias de intervenção.*
Edições Orion, 1ª Edição. Lisboa, Setembro 2003.
- Azevedo, Joana M. C. B., (2013). "Absorção por Capilaridade de Soluções Aquosas Salinas em
Materiais Porosos". Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil,
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto.
- Brito et al 2005
- Bauer, E. *Sistemas de revestimento de argamassa – generalidades. In: Revestimentos de
argamassa: características e peculiaridades. Brasília: LEM-UNB; Sinduscon, 2005. p. 07-13.*
- Bellei, P. (2021) "Influence of brick and concrete substrates on the performance of renders using
in-situ testing techniques" Elsevier - *Journal of Building Engineering*
- Brandão, J.M., Callaoez, .M.; Pinto, J.M.S., (2016) "O Couto Mineiro do Cabo do Mondego" *Revista de
História da Sociedade e da Cultura - Imprensa da Universidade de Coimbra* p- 352,354 e 355 .
https://doi.org/10.14195/1645-2259_16_15
- Campos, J.V.,: Lavagnini, I.R, Ferreira, J.A.; Montrazi, T.E,Bonagamba, T.J; Pallone,E.M.J.A(2017)
“Análise comparativa entre diferentes ensaios porosimétricos em alumina macroporosa), *Revista
Matéria* ISSN 1517-7076 e-11929.
- Carasek, Helena (2017). “Argamassas. In: Geraldo C. Isaia. *Materiais de Construção Civil e Princípios
de Ciência e Engenharia de Materiais*”, (3ª Ed.). São Paulo: IBRACON, v. 2, cap. 28, p. 922-966
- Cardoso, Igor F.G. (2021) “O levantamento de um edifício antigo em Coimbra, tendo em vista a sua
reabilitação.” Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização de
Estruturas. Departamento de Engenharia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de
Coimbra. p-6
- Cavaco, L. S. (2005). “Técnicas de aplicação de argamassas de revestimento em edifícios antigos.
Influência no desempenho”. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil:
Lisboa, IST.
- Costa, Fábio B., (2017) “ Estudo do comportamento de argamassas de cal com diferentes agregados.”
Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Instituto Técnico de Lisboa p-50

Coutinho, Joana S., (1999) “Agregados para argamassas e betões” *Materiais de Construção I – sobre curva granulométrica* *

EN 1015-2. 1998, Methods of test for mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. Brussels: CEN.

EN 1015-3. 1999, Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Brussels: CEN.

EN 1015-6. 1999, Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. Brussels: CEN.

EN 998-1:2010, Specification for Mortar for Masonry - Part 1: Rendering and Plastering Mortar". Bruxelas, Bélgica: CEN.

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

NP EN 15148. 2002, Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water absorption coefficient by partial immersion. Brussels: ISO.

EN 16322. 2013, Conservation of Cultural Heritage; Test methods; Determination of drying properties. Brussels: CEN.

NP EN 1015-19. 2008, Methods of test for mortar for masonry – Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars. Brussels: IPQ. [13] NP EN ISO 12572. 2016, Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapor transmission properties. Brussels: ISO. [14] EN 1015-11. 2019, Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels: CEN.

CEN (2008). “Methods of test for mortar for masonry - Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars. Brussels: NP EN 1015-19.

Coelho, A. (2010) “Desenvolvimento de argamassas à base de cal e pozolanas. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho - Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.

Faria, J.; Torgal P.; Jalali S.(2011) “ Desenvolvimento de argamassas para reabilitação de edifícios antigos. Parte 1 – Trabalhabilidade e Comportamento Mecânico”. *Revista de Engenharia Civil da Universidade do Minho* n° 39, p.47- 58. Minho.

Faria, J.; Torgal P.; Jalali S.(2011) “ Desenvolvimento de argamassas para reabilitação de edifícios antigos. Parte 2 – Comportamento à água”. *Revista de Engenharia Civil da Universidade do Minho* n° 39, p.47- 58. Minho. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/18485/1/Artigo%202.pdf>

Faria, P.; Silva, V.; Flores-Colen, I. (2012a) – *Argamassas de cal hidráulica natural e pozolanas artificiais: avaliação laboratorial. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Coimbra (CD). BIBLIOGRAFIA 89*

FARIA, P.; SILVA, V.; GRILO, J.; CARNEIRO, J.; BRANCO, T.; MERGULHÃO, D.; ANTUNES, R. (2012b) – *Argamassas compatíveis com alvenarias históricas com base em cal hidráulica natural. CIREa - Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas de Antigas de Alvenaria, Lisboa, UNL, 31-40.*

- Ferreira, Joana A.A., (2010) “*Técnicas de Diagnóstico de Patologias em Edifício*” *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil- Especialização em Construções. Universidade do Porto p. 49*
- Ferreira, José R. (2020) “*Miguel Torga em Vila Nova: Opções e Circunstâncias. Degrau na carreira do médico e do escritor. Junta da Freguesia de Vila Nova*” – *Miranda do Corvo 2020, ISBN 978-989-33-1170-7 p. 67*
- Ferreira, Pedro N. (2011) *Programa de recuperação de aldeias históricas. Um balanço*” *Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura – Departamento de Arquitetura e Tecnologia da Universidade de Coimbra. p-11*
- Flores-Colen, I.; Brito, J.; Franco, F. (2009) – *In situ adherence evaluation of coating materials. Experimental Techniques. 33 (3): pp. 51-60*
- Flores-Colen, I. (2009) - *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 487 p.*
- Flores-Colen, I.; Brito, J.; Freitas, V.P (2010), “*Ensaio in-situ e em laboratório para caracterização do desempenho em serviço de rebocos pré-doseados aplicados em fachadas de edifícios correntes*”
- Figueiredo, P. S. P.(2020). “*Avaliação de concretos com agregados leves na resistência à aderência de interfaces concreto-concreto*”. *Dissertação de Pós- Graduação em Engenharia Civil, como exigência para obtenção do título de Doutora. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. UENF, Campos de Coytacazes – Rio de Janeiro.*
- Francisco, Vera A.G., (2015). “*Durabilidade de argamassas de revestimento a base de cal hidráulica natural*” *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade do Porto*
- Galvão, Jorge M.P., (2009). *Técnicas de ensaio in-situ para a avaliação do comportamento mecânico dos rebocos em fachadas – Esclerometro e ultra-sons*” *Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa*
- Gil, F.P.S.C.; Catarino, Lúcia, et al. (2017); *Os revestimentos e os acabamentos do Centro Histórico de Coimbra – Um contributo para o seu estudo*” *Edições Almedina , S.A ISBN 978-972-40-7105-3 p.*
- Gomes, Augusto; Pinto, Ana Paula; Pinto, João B. (2013). *Materiais de Construção I - Ligantes Inorgânicos Parte 1 - Gesso e Cal. Instituto Superior Técnico. P.2*
- Gomes, Francisco.A.C.M. (2009) “*Argamassas pré-doseadas para rebocos de edifícios antigos*” *Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil _ Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica do Porto. P.II , p. 50*
- Grilo, J.,Faria, P.,Veiga, R.,Santos Silva, A.,Silva, V.,Velosa, A. (2014). “*New natural hydraulic lime mortars – Physical and microstructural properties in different curing conditions. Construction and Building Materials*” , 54:0. 378-384. ISSN 0950-0618.
- Kanan, M.Isabel (2008) “*Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal*” , Brasília DF : Iphan / Programa Monumenta – *Cadernos Técnicos - 8 ISBN 978-85-7334-077-8 ; p-18*
- Langhans, F.P.de Almeida, (1988).” *Ofícios antigos subsistentes na ilhas dos Açores- Graciosa*” - *Secretaria Regional de Educação e Cultura - Angra do Heroísmo – Gráfica Maiadouro – Depósito Legal nº 22.975 /88, p.23*

- Lino, Gonçalo A.L.(2013) “ *Caracterização in situ de rebocos com base em cal e metacaulino aplicados em muretes experimentais*” *Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa ; p.18,44, 46*
- LNEC (2006). *Guia técnico de reabilitação habitacional*. Lisboa: Instituto Nacional de Habitação. ISBN 972-49-2081-X.
- Loureiro, Alexandre M. S.; Paz, Simone P.A.; Angélica, Romulo S. (2020) “*How to estimate the binder: Agregate ratio from lime-based historic for Restoration ?* *Frontiers in Materials* Dez. 2020 Volume 7, artigo 597411 p-1
- Luís, Mauro P.C., (2017) *Permeabilidade ao vapor de argamassas com agregados isolantes leves*. *Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil - Instituto Técnico de Lisboa, p.34, 64*
- Magalhães, A.; Veiga, M. do R.; Costa, D. (2003) - *Diagnóstico de anomalias de revestimentos de paredes com técnicas de ensaio in situ. Avaliação da resistência mecânica*. In: 3º ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Lisboa, 26-30 Maio, pp. 419-427.
- Magalhães, A., Veiga, M^a, Costa, D. (2010) *Caracterização do Estado de Conservação de Revestimentos de Paredes Antigas através de Ensaio "In Situ". Dois Casos de Estudo*. <http://www.icvbc.cnr.it/drilling/publications/DOC%204%20VI%20SBTA.pdf>.
- Mata, V.L.G. (1998) *Caracterização de Meios Porosos – Porosimetria, Modelização #D e Tomografia Seriada Aplicação de Suportes Catalíticos*. *Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto p.52*
- Marques, Sofia.M.F.(2005) *Estudo de Argamassas de Reabilitação de Edifícios Antigos* *Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil_ Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro - Universidade de Aveiro*
- Martins, Nuno M.F,(2010) “*Reabilitação de Edifícios para Turismo Rural. Estudo de Casos de Sucesso*. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Especialidade em Construções Cívicas - Universidade do Porto. P-8*
6. Martins C, Paiva, H., Ferreira, V.M, Tavares M., Veiga, R., Velosa A - *Preliminary studies on a lime grout for built heritage conservation, in: Historical Mortars Conference, HMC 08 Lisboa, LNEC, September 2008.*
- Margalha, M. (2011). “*Conservação e Recuperação do Património*”, <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4969/1/Argamassas.pdf>, - *Documento de apoio às aulas de conservação e recuperação do património, Engenharia Civil - Universidade de Évora p. 19*
- Matias, G. M. (2014). “*Argamassas de reabilitação com resíduos de cerâmica*”. *Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Portugal.p-2*
- Melo, K., A.; Andrade A. F. L.; Lira, E. M.; França, M. S.; Queiroz, M. M.; Carneiro, A. M. P. *A influência do teor de cal hidratada nas propriedades de argamassas de cimento, cal e areia*. In: 2º Congresso Nepomuceno (1999) - *Ensaio não destrutivo em betão. Trabalho de Síntese, Covilhã: Universidade da Beira Interior, 428 p.*
- Nacional de Argamassas de Construção – APFAC Lisboa 2007 – *site acessado em 04/10/2009 - www.apfac.pt/congresso2007* Mendonça, B.V.(2007). “*Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas Influência do Ligante*” *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Instituto Técnico Superior do Porto. p 1, 25, 51*

- Mendonça, M. Emilia B.M., França, Ana P.S.J.M. (2013) “Historia Oral, em busca de uma ferramenta para a investigação em enfermagem” Artigo – *Pensar Enfermagem* – vol. 17 n° 2 p9
- Menezes, Marlucci (2015) Conferência: *Património Industrial – Tradição/ Conservação - Jornadas Europeias do Património - Projeto: DB-Heritage: Banco de dados de materiais de construção com interesse histórico patrimonial- LNEC DOI:10.13140/RG.2.1.1872.7129 p.07*
- Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K. (2000). *Physico-chemical adhesion and cohesion bonds in joint mortars imparting durability to the historic structures. Construction and Building Materials*, v. 14
- Moropoulou, A. et al.(2003) Correlation of physico-chemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics. *Cement and Concrete Research* 33, p. 891-898.
- MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; MOUNDOULAS, P.; AGGELAKOPOULOU, E. (2009) – *Reverse engineering: A proper methodology for compatible restoration mortars, RILEM Workshop Repair Mortars for Historic Masonry, Delft, 278-291.*
- Oliveira, C. (1996). “Permeabilidade ao vapor de pinturas exteriores - influência na secagem das paredes”. *Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto*
- Pinto, Tomás M.S.R.(2014) “Influência do suporte nas características da argamassa” ” *Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções, Universidade de Coimbra p.*
- Portal da Construção Sustentável. (21 de 04 de 2022). Obtido de <https://www.csustentavel.com/>
- RAGAĬ, J.; POYET, T.; BEURROIES, I.; ROUQUEROL, F.; LIEWELLYN, P. (2002) *Characterising the porous structure of Egyptian mortars using thermoporometry, mercury intrusion porometry and gas adsorption manometry. Studies in Surface Science and Catalysis*, v.144, p. 435-441, 2002.
- Rato, V. N. (2006). “Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas”. *Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.*
- Rodrigues, M. P.(2004). “Argamassas de Revestimento para Alvenarias Antigas - Contribuição para o estudo da influência dos ligantes”. *Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade Nova Lisboa - Departamento de Engenharia Civil, Lisboa.*
- Roque, João C.A., (2002) “Reabilitação estrutural de paredes antigas de alvenaria” *Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil – Universidade do Minho p.5*
- <https://www.seciltek.com/artigos/a-cal-hidraulica-natural-nhl/>
- Santos, Rita A., Veiga, M. R., (2012). “Argamassas compatíveis para edificios antigos “ *Cidades e desenvolvimento - Jornada LNEC . junho 2012.*
- Soares, Kátia M.P., (2021) “A influencia dos suportes tradicionais no comportamento das argamassas de cal” *Dissertação de Mestrado em Reabilitação de Edifícios, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. p- 17,*

- Tomás, A. (2012). "Análise do comportamento de argamassas de cal aérea com resíduos cerâmicos em substituição de parte do agregado". Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.
- Torres, I. (2014). *Influência da absorção do suporte na argamassa de revestimento. Relatório (Pós-doutoramento em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, p. 87.*
- Torres, I.; Flores-Colen, I., Braz, J. (2020). *Comportamento de argamassas de cal aplicadas sobre tijolo maciço e pedra calcária. ENCORE 2020 4.º Encontro de conservação e reabilitação de edifícios. Lisboa e LNEC.*
- Torres et al. (2020) *Interface argamassa-suporte: análise das características físicas com base em várias campanhas experimentais. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 331*
- ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300432>
- Veiga, M.R. (1998). "Comportamento de Argamassas de Revestimento de Paredes - Contribuição Para o Estudo da Sua Resistência à Fendilhação". Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Porto, Porto, 1 vol.
- Veiga M. (2003). "Argamassas para Revestimento de Paredes de Edifícios Antigos. Características e Campo de Aplicação de Algumas Formulações Correntes". *Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Lisboa.*
- Veiga, M.R.; Faria, P. (2018) *O Papel das argamassas na durabilidade das alvenarias antigas - "Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria" – CIRea, Ordem dos Engenheiros, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa p-3*
- VEIGA, M. R.; CARVALHO, F. (2000) – *Experimental characterization of lime based rendering and repointing mortars. Definition of relevant laboratorial and "in situ" tests. Proceedings of the workshop Compatible Materials Recommendations for the Preservation of European Cultural Heritage. Atenas (Grécia): National Technical University of Athens (CD)*
- Veiga, M. R, Aguiar, J., Silva, A.S., Carvalho F., (2001) "Methodologies for characterization and repair of mortars of ancient buildings". *Historical Constructions, P.B. Lourenço, P. Roca (Eds.), Guimarães, Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, p.*
- Veiga, M. Rosário, Tavares, Martha. (2002) *Características das paredes antigas. Requisitos dos revestimentos por pintura. Actas do Encontro A indústria das tintas no início do século XXI. Lisboa, APTETI,*
- Veiga, M. (2003). "Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes". *Actas do 3o ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa.*
- Veiga, M. Rosário; Souza, Regina H.F., (2004) "Metodologia de avaliação da retração livre das argamassas desde a sua moldagem" Universidade do Minho, ISSN 0873c-1152 - Revista Engenharia Civil Número 20 p.45
- Veiga, M. Rosário et al.(2004) *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Lisboa: LNEC., Coleção Edifícios, CED 9.*

de ligante mineral com base em cimento para paredes, Relatório LNEC 427/05 – NRI, Lisboa, 2005.

Veiga, M. Rosário, (2006) “*Intervenções em Revestimentos Antigos: Conservar, Substituir ou ... Destruir*”, *Materiais de Construção*, 126, pp. 45-50

Veiga, M. R, (2012) “*Argamassa de alvenarias históricas. Funções e Características*”, *Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria – CIRea. LNEC, Lisboa - Portugal, p.1 e p.25*

Velosa, Ana Luísa L., (2006) “*Argamassas de Cal com Pozolanas para Revestimento de Paredes Antigas*” *Dissertação de Doutoramento, Universidade de Aveiro p. 1*

Vilas Boas, Hugo A.D.F.(2012) “*Estudo de Betões com substituição de areia por saibro.*” – *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções – Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto p-30*

MEASUREMENT OF WATER ABSORPTION UNDER LOW PRESSURE RILEM TEST METHOD NO. 11.4

Silva, J. A R.M (2009) “*Patologia do Edificado Antigo - Anomalias dos Edifícios Antigos da Baixa de Coimbra . Patorreb . 691-696*

<https://www.campeaoprovincias.pt/noticia/censos-2021-distrito-de-coimbra-perde-5-da-populacao-em-10-anos>

ISO 12572: 2016 - Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties - Cup method