



**CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DE ARGAMASSAS COLORIDAS À
BASE DE CAL SUBMETIDAS AO ENVELHECIMENTO**

Lauren Quadros Obrzut

Relatório Final de Projeto Apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia da Construção

Outubro 2019

CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DE ARGAMASSAS COLORIDAS À BASE DE CAL SUBMETIDAS AO ENVELHECIMENTO

Lauren Quadros Obrzut

Relatório Final de Projeto Apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

Para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia da Construção
No âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientadores:

Prof.^a Dra. Eduarda Cristina Pires Luso

Prof. Dr. Arthur Medeiros

Este documento inclui os comentários do júri

Outubro 2019

*Você precisa fazer aquilo que pensa que não é capaz de fazer.
A melhor maneira de prever o futuro é inventá-lo.
Nada de grande se cria de repente.
O importante é isso: Estar pronto para, a qualquer momento, sacrificar
o que somos pelo que poderíamos vir a ser.
Ria e o mundo rirá com você. Chore e você chorará sozinho.*

Eleanor Roosevelt

AGRADECIMENTOS

Este estudo e toda minha trajetória até este momento, dedico essencialmente ao meu falecido avô, Divanir Fernandes Quadros, que foi, mesmo sem um diploma, o melhor Engenheiro Civil que eu conheci.

Agradeço à Deus por permitir tantas realizações e manter-me em pé diante das situações de dificuldade.

À minha amada mãe, Marisete, por ter sido responsável pela minha educação, a maior incentivadora dos meus sonhos e a melhor amiga que eu poderia ter.

Ao meu pai, Jair, por me ensinar a trabalhar duro e com honestidade, sempre evidenciando a importância de ser uma boa pessoa além de possuir diplomas.

Ao meu irmão, Lucas, por toda inspiração, ajuda, e paciência, por ter sido meu exemplo, amparo e professor particular durante os anos de engenharia. E a minha cunhada Amanda, que seria melhor definida também como irmã, obrigada por sempre estar disposta a me ajudar.

Ao meu marido, melhor amigo e maior incentivador Thiago, que segurou a minha mão neste sonho e me incentivou a cada vez ir além. Agradeço por estar sempre presente, me ajudando em discussões das quais não percebia nada, dando-me dicas de apresentação gráfica, e sobretudo me acalmando em momentos pouco tranquilos.

À toda minha família e amigos que mesmo longe durante a execução deste trabalho, se fizeram presentes por meio de mensagens de carinho e incentivo.

De maneira especial à minha querida orientadora Prof^a Dra. Eduarda Luso, que ao mesmo tempo em que me mostrou o caminho, me ensinou e alertou as melhores decisões, soube me oferecer uma conversa amiga. Agradeço pelo grande exemplo de profissional e mulher que tive durante a execução deste trabalho.

Ao meu orientador da minha instituição de ensino, Prof^o Dr. Arthur Medeiros, por sempre se mostrar disponível, me auxiliando com muita prontidão. Agradeço a amizade que se fez presente desde quando era caloura no curso de Engenharia Civil.

Agradeço aos técnicos dos laboratórios do Instituto Politécnico de Bragança Luísa, Hermínia, João e Otávio, que me auxiliaram com muita excelência em todas as ocasiões necessárias. Também aos colegas de curso e grandes amigos Bernardo, Bruna, Isabele e Matheus, pelas valiosas discussões durante o desenvolvimento desse estudo.

Agradeço às instituições, IPB e UTFPR, e também à Brigantia-EcoPark pela disponibilização de materiais e dos laboratórios para execução deste trabalho, em especial as duas primeiras pela oportunidade magnífica de dupla diplomação oferecida a mim.

RESUMO

Os rebocos são argamassas aplicadas como camada de finalização em paredes de diferentes materiais tanto para proteção contra os agentes atmosféricos como para fins estéticos. No caso em particular de intervenções de conservação de paredes antigas, a escolha do reboco a aplicar se torna diferenciada em termos dos materiais constituintes. Comumente, estes são à base de cal e com a utilização opcional de cor através da incorporação de pigmentos na mistura ou através de pintura como camada final (caiação). Estes revestimentos coloridos aparecem com grande destaque em culturas regionais do centro, sul e ilhas de Portugal, tendo um resultado esplendoroso.

Este estudo desenvolveu três composições diferentes de argamassas à base de cal, sendo a primeira livre de aditivos, a segunda adicionada de metacaulim, um material de alta reatividade pozolânica constituído basicamente de sílica e alumina, e à terceira cimento. As três composições foram ensaiadas no estado fresco, com objetivo de se obter consistências parecidas em nível de trabalhabilidade, e no estado endurecido, com caracterização mecânica através de ensaios de resistência a flexão e compressão nas idades de 28, 60, 90, 135 e 180 dias, além de ensaio de aderência em superfícies de blocos cerâmicos nas idades de 28 e 60 dias.

Argamassas à base de cal (ligante obtido através da decomposição térmica do calcário) são constantemente utilizadas, visto que este material apresenta propriedades compatíveis com estruturas antigas. Já o cimento é um material muito recorrente, sendo relevante seu comportamento nesta utilização. De qualquer forma, todas as argamassas de reboco devem apresentar uma durabilidade considerável quando exposta às intempéries. Portanto, este estudo tem como objetivo a caracterização da durabilidade destes materiais submetidos ao envelhecimento natural e artificial. Provetes foram sujeitos à toda a estação da primavera em Bragança, uma estação com altas amplitudes térmicas e de humidade, e simultaneamente à QUV Accelerated Weathering Testers, com ciclos alternados de luz UV, humidade controlada e temperaturas elevadas, simulando, respectivamente: luz solar com lâmpadas UV específicas, orvalho, brisa e chuva com humidade de condensação e spray de água, e variação de temperatura assim como ocorre durante os dias e estações.

Os resultados obtidos mostram que 1008 horas de envelhecimento artificial podem gerar danos dobrados ao envelhecimento natural em uma única estação, assim como também pode potencializar o processo de carbonatação das argamassas estudadas, que obtiveram resultados mais expressivos de resistência mecânica quando envelhecidos artificialmente. Evidenciou-se os problemas de pigmentos artificial que se comportaram de forma heterogenia nas três composições, apresentando melhor comportamento quando em contato com metacaulim.

Palavras-chave: Argamassas; Reboco; Manutenção; Reabilitação; Cal; Cimento; Metacaulim; Pigmento; Caracterização Experimental; Envelhecimento.

ABSTRACT

Rendering mortars are applied as finishing layers in walls of different materials to provide weather and aesthetic protection. In the case of historic masonry preservation interventions, the choice of the appropriate rendering mortar is differentiated in terms of its constituent materials, commonly lime-based, where colour may be achieved by incorporating pigments into the mixture or by using limewash as a finishing layer. Such colourful coverings appear prominently in the regional cultures of the central, southern and Portuguese islands, offering a splendid result.

In this context, lime-based mortars (binder obtained by thermal decomposition of limestone) are constantly used, which particularly properties are compatible with historic structures. Furthermore, as cement is a very recurrent material, its behaviour in mortars is relevant. Regardless of the binder type, rendering mortars should have considerable durability when exposed to weathering. Therefore, the aim of this study was to characterize the durability of lime and cement-based mortars when subjected to natural and artificial ageing.

Three different compositions of lime-based mortars were tried. The first was manufactured without additives, the second used metakaolin, a high-reactive pozzolanic material consisting primarily of silica and alumina, and in the third, cement was employed. All compositions were tested in the fresh state to obtain similar workability consistency, and in the hardened state, with mechanical characterization through flexural and compression strength tests at the ages of 28, 60, 90, 135 and 180 days. Moreover, the bond strength capacity to ceramic blocks at the ages of 28 and 60 days, was also evaluated.

The test specimens were subjected to the entire spring in Bragança, a season with high thermal and humidity amplitude, and simultaneously to the QUV Accelerated Weathering Testers, with alternating cycles of UV light, controlled humidity and elevated temperatures, simulating, respectively: sunlight with specific UV lamps, dew, breeze and rain with condensation and water spray and temperature variation as it occurs during the days and seasons.

The results showed that 1008 hours of artificial ageing can produce twice as more damage when compared to natural ageing in a single season. Also, when artificially aged, the mortars studied presented increased carbonation

process and enhanced mechanical resistance. Furthermore, the common issues related to artificial pigments were noticed in the three compositions, where the pigment behaved heterogeneously and presented a better performance when in contact with metakaolin.

Key words: Mortars; Rendering; Maintenance; Rehabilitation; Lime; Cement; Metakaolin; Pigment; Experimental Characterization; Aging Tests.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	- 1 -
1.1 Contexto	- 1 -
1.2 Objetivo	- 3 -
1.2.1 Objetivos Gerais	- 3 -
1.2.2 Objetivos Específicos	- 4 -
1.3 Conteúdo e Organização do Trabalho	- 4 -
CAPÍTULO 2 – ESTADO DO CONHECIMENTO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REBOCO À BASE DE CAL COLORIDAS	- 6 -
2.1 Considerações Iniciais.....	- 6 -
2.2 Características Gerais	- 8 -
2.3 Durabilidade	- 14 -
2.4 Materiais Constituintes	- 16 -
2.4.1 Agregados	- 17 -
2.4.2 Ligantes.....	- 18 -
2.4.2.1 Cal.....	- 19 -
2.4.2.2 Cimento Portland.....	- 22 -
2.4.3 Pozolanas.....	- 23 -
2.4.4 Pigmentos	- 25 -
CAPÍTULO 3 – PROGRAMA EXPERIMENTAL: MÉTODOS, MATERIAIS E RESULTADOS.....	- 27 -
3.1 Considerações Iniciais.....	- 27 -
3.2 Materiais Utilizados	- 27 -
3.2.1 Areia.....	- 27 -
3.2.2 Cal Aérea	- 31 -
3.2.3 Cimento	- 32 -
3.2.4 Metacaulim	- 32 -

3.2.5 Pigmento	- 33 -
3.3 Desenvolvimento das Composições Estudadas.....	- 34 -
3.3.1 Ensaio de Espalhamento - Flow Table – e afinação de cor.....	- 35 -
3.3.2 Preparação das Argamassas de Teste - Provetes	- 38 -
3.4 Caracterização Física e Mecânica	- 42 -
3.4.1 Ensaio de Massa Volúmica aparente no estado endurecido.....	- 42 -
3.4.2 Avaliação da Retração	- 43 -
3.4.3 Ensaio de Flexão.....	- 46 -
3.4.4 Ensaio de Compressão	- 49 -
3.4.5 Ensaio de Aderência	- 52 -
3.5 Conclusões.....	- 55 -
CAPÍTULO 4 – PROGRAMA EXPERIMENTAL SOBRE DURABILIDADE ..	- 56 -
4.1 Considerações Iniciais.....	- 56 -
4.2 Envelhecimento Natural	- 57 -
4.2.1 Procedimento de ensaio.....	- 58 -
4.2.2 Dados Climáticos da Primavera de 2019 no Município de Bragança ..	- 58 -
4.3 Envelhecimento Artificial Acelerado	- 63 -
4.3.1 QUV Accelerated Weathering Tester	- 64 -
4.3.2 Procedimento de Ensaio	- 67 -
4.4 Resultados	- 69 -
4.4.1 Análise aparente dos provetes	- 69 -
4.4.2 Análise da variação de massa.....	- 73 -
4.4.3 Análise da variação do volume.....	- 74 -
4.4.4 Ensaio de Flexão.....	- 75 -
4.4.5 Ensaio de Compressão	- 76 -
4.5 Conclusões.....	- 77 -
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	- 80 -

5.1 Considerações Finais	- 80 -
5.2 Trabalhos Futuros	- 81 -
REFERÊNCIAS.....	- 83 -
ANEXO A – FICHA TÉCNICA DA CAL EM PASTA CALCIDRATA	- 87 -
ANEXO B – FICHA TÉCNICA DO CIMENTO BRANCO PORTLAND	- 88 -
ANEXO C – FICHA TÉCNICA DO METACAILIM BURGESS OPTIPOZZ..	- 90 -
ANEXO D – FICHA TÉCNICA DO PIGMENTO AZUL ULTRAMAR – LACRILAR	- 91 -

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das argamassas de acordo com o local de produção, concepção, propriedades e/ou utilização, aplicação e tipos de ligantes utilizados	- 9 -
Tabela 2 – Valores de Baridade e Volume de Vazios	- 29 -
Tabela 3 – Índices de Massas Volúmicas e Absorção de água	- 30 -
Tabela 4 – Composição das argamassas estudadas.....	- 35 -
Tabela 5 – Composições das argamassas estudadas e resultados do ensaio de espalhamento médio	- 37 -
Tabela 6 – Média aritmética e coeficientes de variação das massas volúmicas das amostras das três composições	- 42 -
Tabela 7 – Média aritmética e coeficientes de variação dos volumes das amostras de todas as composições	- 44 -
Tabela 8 – Variações das dimensões de comprimento e largura dos provetes das três composições	- 45 -
Tabela 9 – Média aritmética e coeficientes de variação das resistências à flexão das três composições.....	- 47 -
Tabela 10 - Média aritmética e coeficientes de variação das resistências à compressão das três composições	- 50 -
Tabela 11 - Média aritmética e coeficientes de variação das resistências ao arrancamento das duas primeiras composições	- 54 -
Tabela 12 – Ciclo estabelecido pela EN-927-6 e aplicado à este estudo.....	- 68 -
Tabela 13 – Massas médias e coeficientes de variação anteriormente e posteriormente aos ensaios de envelhecimento	- 73 -
Tabela 14 – Variações em percentagem das massas dos provetes após os ensaios de envelhecimento	- 74 -
Tabela 15 - Volumes médios e coeficientes de variação anteriormente e posteriormente aos ensaios de envelhecimento	- 74 -
Tabela 16 - Variações em percentagem dos volumes dos provetes após os ensaios de envelhecimento	- 75 -
Tabela 17 - Média aritmética e coeficientes de variação das resistências à flexão nas três condições	- 75 -

Tabela 18 - Média aritmética e coeficientes de variação das resistências à compressão nas três condições - 77 -

Tabela 19 – Comparações das situações extremas das duas metodologias- 78 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Casas na Praia da Costa Nova em Aveiro com utilização de acabamentos coloridos	- 8 -
Figura 2 – Império do Espírito Santo – Ilha Terceira, Açores com utilização de acabamentos coloridos	- 8 -
Figura 3 – Representação esquemática do funcionamento de um revestimento multicamada	- 10 -
Figura 4 – Processo construtivo de aplicação de argamassas e suas condicionantes	- 12 -
Figura 5 – Classificação dos ligantes	- 19 -
Figura 6 – Pont du Gard no sul da França construída por volta do ano 20 A.C.....	- 20 -
Figura 7 - Coliseu de Roma construído por volta 70-80 A.C.	- 20 -
Figura 8 – Ruínas com evidências da utilização da cal em Nakbé – Guatemala.	- 21 -
Figura 9 – Curva granulométrica da areia ensaiada.....	- 28 -
Figura 10 – Imagens da realização da análise granulométrica	- 29 -
Figura 11- Execução do ensaio de Baridade.....	- 29 -
Figura 12 – Execução do ensaio de Massa Volúmica -.....	- 31 -
Figura 13 – (a) Cal em Pasta Calcitrada - (b) Forma como é comercializada-	31 -
-	
Figura 14 – (a) Cimento Branco Portland da marca Secil - (b) Forma como é comercializado	- 32 -
Figura 15 – (a) Metacaulim da marca Burgess Optipozz - (b) Forma como é comercializado	- 33 -
Figura 16 – (a) Pigmento da cor Azul Ultramar da marca Lacrilar - (b) Forma como é comercializado.....	- 33 -
Figura 17 – Equipamento “Flow Table” para ensaio de espalhamento	- 36 -
Figura 18 – Ensaio de espalhamento Flow Table	- 36 -
Figura 19 – (a) Composições testadas para se afinar a consistência e a cor - (b) Composições testadas em estado seco (superiores) e frescas (inferiores) .-	37 -
Figura 20 – (a) Misturadora utilizada - (b) Argamassa no momento em que se retira da misturadora para mistura manual.....	- 39 -

Figura 21 – Formas de provetes prismáticos logo após a moldagem	- 40 -
Figura 22 – Demarcação de onde a peça para o ensaio de arrancamento será fixada.....	- 41 -
Figura 23 – Provetes armazenados na câmara climática logo após moldagem... ..	- 41 -
Figura 24 – Massa Volúmica média das três composições em todas as idades ensaiadas.....	- 43 -
Figura 25 – Evolução dos volumes médios dos provetes das três composições.. ..	- 44 -
Figura 26 – (a) Proвете submetido ao ensaio de resistência à flexão – (b) Proвете rompido no ensaio de resistência a flexão	- 47 -
Figura 27 - Evolução das resistências a flexão médias dos provetes das três composições	- 48 -
Figura 28 – Ensaio de resistência a compressão.....	- 49 -
Figura 29 - Evolução das resistências a compressão médias dos provetes das três composições	- 51 -
Figura 30 – Provetes preparados para o ensaio de arrancamento	- 52 -
Figura 31 - Ensaio de arrancamento em decurso	- 53 -
Figura 32 - Evolução das resistências ao arrancamento médias dos provetes das duas primeiras composições.....	- 54 -
Figura 33 – (a) Forma adequada que a argamassa deve ser arrancada do tijolo – (b) Descolamento completo da argamassa do tijolo constatado na composição 3	- 55 -
Figura 34 – (a) Disposição dos provetes no ensaio de envelhecimento natural - (b) Apoios utilizados inferiormente aos provetes.....	- 58 -
Figura 35 – Estação Meteorológica da ESA-IPB.....	- 59 -
Figura 36 – Temperaturas máximas e mínimas durante a primavera de 2019 de Bragança.....	- 60 -
Figura 37 – Humidade média diária durante a primavera de 2019 de Bragança	- 60 -
Figura 38 – Velocidade máxima diária do vento durante a primavera de 2019 Bragança.....	- 61 -
Figura 39 – Precipitação diária durante a primavera de 2019 de Bragança. -	- 62 -

Figura 40 – Radiação máxima diária durante a primavera de 2019 de Bragança	- 62 -
Figura 41 - QUV Accelerated Weathering Tester	- 64 -
Figura 42 – (a) Suporte padrão para amostras da QUV - (b) Lâmpadas fluorescentes UV da QUV	- 65 -
Figura 43 – Lâmpada UVA-340 vs. Luz do Sol	- 66 -
Figura 44 – Esquema representativo do funcionamento da QUV	- 66 -
Figura 45 – Dispositivo acoplável à QUV Accelerated Weathering Tester ...	- 68 -
Figura 46 – (a) Composição 1 antes de ser submetida ao envelhecimento natural - (b) Composição 1 após ser sujeita ao envelhecimento natural	- 69 -
Figura 47 – (a) Composição 1 antes de ser submetida ao envelhecimento artificial - (b) Composição 1 após ser sujeita ao envelhecimento artificial	- 70 -
Figura 48 - (a) Composição 2 antes de ser submetida ao envelhecimento natural - (b) Composição 2 após ser sujeita ao envelhecimento natural	- 71 -
Figura 49 - (a) Composição 2 antes de ser submetida ao envelhecimento artificial - (b) Composição 2 após ser sujeita ao envelhecimento artificial	- 71 -
Figura 50 - (a) Composição 3 antes de ser submetida ao envelhecimento natural - (b) Composição 3 após ser sujeita ao envelhecimento natural	- 72 -
Figura 51 - (a) Composição 3 antes de ser submetida ao envelhecimento artificial - (b) Composição 3 após ser sujeita ao envelhecimento artificial	- 72 -
Figura 52 – Face interior dos provetes submetidos ao envelhecimento das duas metodologias, sendo os três primeiros provetes respectivos a primeira composição, seguidos por três provetes da composição 2 e 3 respectivamente..	- 73 -
Figura 53 - Evolução das resistências à flexão médias dos provetes nas três condições	- 76 -
Figura 54 - Evolução das resistências à compressão médias dos provetes nas três condições	- 77 -

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

A evolução da construção civil nos últimos anos marca uma grande mudança em todo o setor. Surgiram – e continuam a surgir – novas técnicas, novos produtos e novos métodos construtivos, de forma a acompanhar a exigência do utente que se torna cada vez maior. O parque habitacional edificado, contudo, também tem a necessidade de acompanhar esta mudança e se tornar uma opção de moradia adequada, visto que é uma ótima opção socioeconômica quando comparada com construções novas.

Neste contexto, diante de deteriorações causadas pelo tempo e pela falta de políticas de manutenção, destacam-se as intervenções de reabilitação e restauro, trazendo qualidade ao que já não se apresenta funcional além de preservar o patrimônio local de cada região.

Ainda, quando se fala da necessidade de conservar e restaurar, ressalta-se que estes programas devem ser aplicados não somente a patrimônios de valor histórico, mas também o patrimônio urbano. Porém, a despromoção da reabilitação e os ritmos exigentes de trabalho atuais fizeram com que as técnicas tradicionais fossem esquecidas aos poucos e a utilização de métodos com soluções mais rápidas, cada vez mais comuns.

Dentre esta ampla área de conservação e restauro é dada muita importância a preservação de fachadas. As mesmas exprimem características de estilos arquitetônicos, épocas e situações pelas quais uma edificação passou.

É comum que edifícios antigos sejam constituídos por alvenaria de pedra argamassada com altas proporções de cal aérea no reboco, visto que este é um material de maior compatibilidade a este tipo de alvenaria. Porém, ao sofrerem degradações devido a fatores climáticos, biológicos, químicos e físicos, muitas intervenções foram realizadas com rebocos de substituição com uso recorrente de cimento ou bastardos (de pouca cal e muito cimento), já que este material dava a argamassa mais rapidez no tempo de cura, maiores níveis de resistência mecânica e aderência satisfatória. Por mais adequadas que se julgaram estas soluções, com o passar do tempo, afirmou-se não serem ideais, já que

anomalias, como fendilhações, foram constatadas originadas pelo próprio reboco de substituição (A. Rodrigues, 2016). Situações como estas não foram relatadas apenas em Portugal, mas também em outros países europeus.

Estas anomalias se constatarem principalmente pelo fato de as argamassas com cimento em sua composição possuírem sais solúveis que abaixam a permeabilidade ao vapor de água do material, dificultando a secagem da humidade provinda da alvenaria. Essas argamassas também possuem elevado módulo de elasticidade que faz com que o revestimento não se adeque às deformações normais de alvenarias antigas. Ainda pode-se citar como problemática de um reboco à base de cimento suas ótimas resistências mecânicas, já que estas são incompatíveis com paredes como as citadas (M. Veiga, 2006).

Segundo a mesma autora, ações de intervenção deste tipo apresentam três grandes desvantagens:

- i) A perda científica, já que testemunhos de técnicas antigas de construção, do estado do conhecimento e do modo de vida das populações podem ser extinguidos;
- ii) A descaracterização do edifício, pois mesmo que o revestimento de substituição seja extremamente semelhante, diferenças serão notadas se não imediatamente, ao após certo grau de envelhecimento;
- iii) E por fim, a alteração do funcionamento da parede, que pode resultar a uma degradação muito mais rápida tanto do revestimento quanto da alvenaria.

Ou seja, além de fatores como falta de mão de obra especializada, falta de conhecimento das técnicas corretas a se aplicar, prazos de execução desajustados face as necessidades de argamassas a base de cal e a pouca normalização referente a intervenções de restauro e reabilitação, a utilização do material adequado é de extrema importância.

Quando argamassas necessitam de restauro ou manutenção, deve-se principalmente ao envelhecimento dos materiais, já que os mesmos são expostos a várias intempéries, como ação da água através da chuva e humidade, raios solares, variações de temperatura, ações dos ventos entre outros. Porém, quantificar os danos causados por estes fatores é muito difícil, visto que cada localização apresenta características climáticas diferentes e cada material se

comporta de uma maneira, sendo cada composição, no caso das argamassas, única.

Este estudo, de forma específica, é a respeito de argamassas de reboco a base de cal pigmentadas, que podem ser aplicadas como rebocos de substituição em edifícios em que a cor é um fator essencial como, por exemplo, em regiões do centro, sul e ilhas de Portugal, como traço da cultura e de grande valor histórico para o país. Tem-se o intuito de colaborar para os conhecimentos científicos a respeito destas argamassas de reboco, para que se aplique este material de forma correta ao se restaurar ambientes em que estes foram utilizados previamente, sem que se ocorra, ou pelo menos de forma minimizada, as desvantagens já citadas por uma intervenção mal realizada.

Procura-se também relatar o comportamento das composições desenvolvidas submetidas ao envelhecimento artificial acelerado e natural, comparando assim ambas as metodologias com os resultados apresentados.

1.2 Objetivo

Os estudos sobre revestimentos de edifícios antigos e históricos especificamente em Portugal tornam-se cada vez mais frequentes, porém há muito campo para se descobrir, relatar e constatar. Esta pesquisa, portanto, pretende colaborar com os objetivos gerais e específicos a seguir.

1.2.1 Objetivos Gerais

- Apresentar os conhecimentos já existentes a respeito de rebocos à base de cal coloridas, suas utilizações e o papel que desempenha em intervenções de restauro e manutenção;
- Colaborar com as políticas de manutenção e conservação do patrimônio cultural;
- Desenvolver três composições de argamassas à base de cal diferentes – sendo uma sem aditivos, outra com adição de cimento e a terceira de metacaulin, mas que apresentem compatibilidade de consistência e cor;
- Avaliar propriedades físicas e mecânicas das composições desenvolvidas nas idades de 28, 60, 90, 135 e 180 dias;

- Estudar a evolução das argamassas ao serem submetidas ao envelhecimento artificial acelerado e natural na cidade de Bragança, comparando os resultados obtidos nas duas metodologias;
- Elaborar uma análise crítica quanto aos resultados encontrados com base na bibliografia existente.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização dos materiais utilizados nas composições desenvolvidas;
- Comparar as propriedades físicas dos provetes como massa, textura, fissuração e cor ao decorrer das idades e após submetê-los aos ensaios de envelhecimento;
- Apresentar os resultados de ensaios mecânicos de flexão e compressão nas idades de 28, 60, 90, 135 e 180 dias, assim como de aderência através do ensaio de arrancamento nas idades de 28 e 60 dias das argamassas estudadas;
- Estudar e apontar as principais características do equipamento de envelhecimento acelerado QUV Accelerated Tester;
- Estudar e apontar as principais características climáticas da cidade de Bragança – Portugal, relatando de forma específica a primavera do ano de 2019;

1.3 Conteúdo e Organização do Trabalho

A presente tese é dividida em 5 capítulos, sendo o primeiro introdutório ao tema.

O capítulo 2 faz uma abordagem ao conhecimento atual do tema, apresentando as características de argamassas de reboco, das utilizações de quando esta é composta por cal e pigmento, assim como uma breve caracterização de cada material utilizado.

O capítulo 3 apresenta o programa experimental realizado nesta pesquisa, de forma a se aprofundar nas características específicas dos materiais

utilizados, no desenvolvimento das três composições analisadas e na caracterização física e mecânica realizada.

O capítulo 4 é dedicado ao estudo laboratorial sobre durabilidade, com a abordagem utilizada em 2 metodologias: o envelhecimento natural e o artificial e suas particularidades, apresentando em seguida os resultados obtidos.

E por fim, o capítulo 5 menciona as principais considerações conclusivas do estudo assim como algumas perspectivas de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DO CONHECIMENTO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REBOCO À BASE DE CAL COLORIDAS

2.1 Considerações Iniciais

Rebocos são argamassas de revestimento podendo ser utilizadas como a última camada externa de uma parede, que recebe a pintura ou outro revestimento, como revestimento cerâmico.

As argamassas de reboco têm a função de proteger alvenarias e estruturas da degradação que pode ocorrer por meio da ação de agentes externos, auxiliando os mesmos no isolamento térmico e acústico, assim como na estanqueidade à água. Um reboco também deve suportar os esforços que as paredes são submetidas e conferir acabamento e estética ao edifício (Sousa, 2010).

Até o advento do betão armado, em meados do século XX, a tipologia construtiva de paredes exteriores de edifícios em Portugal e em toda a Europa, era constituída maioritariamente por alvenarias de pedras e adobe com materiais de ligação e revestimento mais porosos e deformáveis que os atuais, cujas capacidades de resistência e proteção eram asseguradas essencialmente através da espessura (M. Veiga, 2009).

E, de forma a se utilizar materiais compatíveis com estas alvenarias, o uso da cal era comum. Porém, as argamassas com utilização deste ligante podem apresentar alguns fatores peculiares, podendo ser considerados negativos ou positivos, dependendo da aplicação. As argamassas de cal tem tempo de presa mais lento, atinge menores valores de resistência mecânica, baixa coesão interna e elevada porosidade, porém garantem uma boa trabalhabilidade, impermeabilidade, durabilidade e também são economicamente mais viáveis (Sousa, 2010).

A pintura feita com uma leitada de cal é chamada de caiação, podendo ser simples ou com o incremento de pigmentos. Esta foi uma técnica muito utilizada nas edificações no sul de Portugal até meados do século XX, quando se teve a ascensão de tintas pré-fabricadas à base de polímeros. (Aguiar, 2005).

Ao se utilizar tais técnicas mais atuais – assim como o cimento como ligante ao invés da cal em argamassas – perde-se não somente as propriedades da argamassa com a incompatibilidade dos materiais aplicados a estrutura existente, como também valor histórico e cultural de uma região. O que, de fato, aconteceu em muitos lugares do país.

O mercado da construção civil, diante da necessidade cada vez maior de reabilitar o que já está edificado, exige da indústria produtos satisfatórios para essas aplicações, sendo comercializado as argamassas chamadas industriais, que podem aparecer como uma solução alternativa. A indústria responde com uma crescente apresentação de soluções que atendam esta demanda. O que torna ainda mais importante a constante pesquisa e aumento dos conhecimentos nesta área, focando essencialmente em matérias-primas e métodos sustentáveis aliados a produtos de boa qualidade, compatíveis com diversas necessidades e economicamente viáveis.

Porém, esses materiais disponíveis no mercado ainda podem resultar em incompatibilidades quando aplicados ao restauro e à reabilitação, visto que ainda é evidenciado a utilização de cimento, por exemplo. Um estudo destas argamassas industriais que aponta que as formulações apresentadas nas fichas técnicas dos produtos disponíveis no mercado português mostram a consonância da indústria com a comunidade científica em apresentar materiais sustentáveis, aponta também que os ligantes mais utilizados são a cal aérea, a cal hidráulica, ligantes hidráulicos (cimento ou cals hidráulicas) e pozolanas (A. Rodrigues, 2016).

Diante de maus resultados estéticos e não duráveis, volta-se a buscar os materiais e técnicas usados anteriormente nos edifícios antigos, buscando-se reintroduzir os acabamentos originais à base de cal. Os estudos sobre esta área, englobando não somente a utilização da cal, como também o âmbito de reabilitação, por mais que poucos, têm sido cada vez mais desenvolvidos, dando destaque aos realizados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). (Gil et al., 2006)

Evidenciando a importância cultural de aplicações coloridas, são encontrados exemplos em várias localidades de Portugal, em regiões do centro, sul e ilhas do país. A Figura 1 e a Figura 2 retratam exemplos em sítios diferentes.



Figura 1 – Casas na Praia da Costa Nova em Aveiro com utilização de acabamentos coloridos



Figura 2 – Império do Espírito Santo – Ilha Terceira, Açores com utilização de acabamentos coloridos

Na Ilha Terceira nos Açores são registrados 71 Impérios como o representado na Figura 2, que são pequenos templos de arquiteturas peculiares, onde se veneram o Espírito Santo em épocas de festividade. Muitos destes 71 apresentam pinturas com leitada de cal pigmentadas, refletindo a grande utilização da técnica na cultura portuguesa (Noé, 2012).

2.2 Características Gerais

Argamassas podem ser aplicadas de várias formas, e por isso são caracterizadas como vários tipos. A Tabela 1 exemplifica várias formas de as classificar.

Tabela 1 – Classificação das argamassas de acordo com o local de produção, concepção, propriedades e/ou utilização, aplicação e tipos de ligantes utilizados. Fonte: Adaptado de Gonçalves (2010)

Classificação das argamassas	
Local de produção	Argamassas tradicionais; argamassas industriais; argamassas industriais semi acabadas (pré-misturadas e pré-doseadas) (EMO, 2011)
Concepção	Argamassas de formulação; argamassas de desempenho ou prestação (EMO,2001; CEN, 2003)
Propriedades e/ou utilização	Argamassas de uso geral; argamassas leves; argamassas coloridas; monocamadas; argamassas de isolamento térmico; argamassas de renovação (EMO, 2001; CEN, 2003; Paulo, 2006)
Aplicação	Argamassas de revestimento; argamassas de assentamento; cimento-cola; argamassas de juntas; argamassas de regularização (betonilhas) (EMO, 2001; APFAC, 2007, referenciado por Flores-Colen, 2009; Paulo 2006)
Tipos de ligantes utilizados	Argamassas de um só ligante (argamassas de cal aérea; de cal hidráulica natural, de cal hidráulica artificial, de cimento); argamassas bastardas (Paulo, 2006; LNEC, 1996)

Dentro das classificações ainda pode-se evidenciar subdivisões. Argamassas de revestimento, por exemplo, são classificadas ainda conforme suas camadas de aplicação. Essencialmente, a aplicação de argamassas de revestimento apresenta três camadas de regularização e proteção: chapisco, emboço e reboco.

A primeira teria a função de proteger o suporte, garantir aderência para as demais camadas e corrigir imperfeições. Já a intermediária regularizava a superfície e servia como base para a terceira camada, já com a função de ser uma preparação ou o próprio acabamento (Veiga, 2009).

Em revestimentos antigos, observava-se a utilização da técnica nomeada por multicamadas, apresentada na Figura 3, onde estas eram aplicadas com intervalo de tempo relativamente superior ao atual, permitindo que a secagem e a retração de cada camada ocorressem individualmente, fendilhando em pontos diferentes da aplicação. A utilização desta técnica também apresenta como vantagem a penetração da água, que ocorre com mais obstáculos e portanto, de maneira menos agressiva ao material (Gomes, 2009).

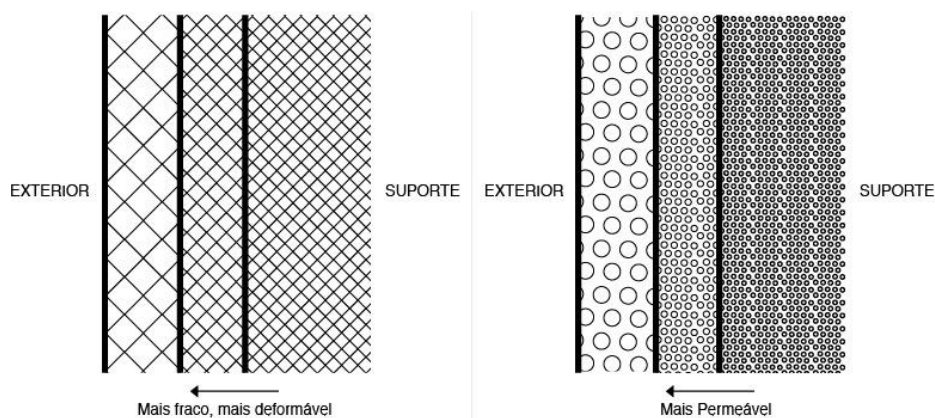


Figura 3 – Representação esquemática do funcionamento de um revestimento multicamada. Fonte: Adaptado de Veiga (2009)

As camadas possuíam, normalmente, uma granulometria decrescente das camadas internas as externas, apresentando, portanto, um comportamento de deformabilidade e porosidade crescente das camadas internas as externas. Este comportamento resulta em deformações estruturais e comportamento à água adequados aos revestimentos (Veiga, 2009).

Com o traço variante entre as camadas, observa-se referencias de traços utilizados mais comumente entre 1:2 e 1:3 (cal aérea:areia), 1:1:4 (cal aérea:pozolana:areia) e 1:1:6 (cal aérea:cal hidráulica fraca ou média:areia) (Santos & Veiga, 2007)

Veiga (2005) referencia ainda que a pintura do revestimento poderia ser através de agregados já de cor característica, assim com a utilização de terra ou pigmentos minerais na última camada ou na adição de camadas posteriores de pintura, geralmente de cal (caiação) aditivada com pigmentos ou outras adições minerais. Quando não havia este acabamento, era a última camada, o reboco, que recebia a coloração.

Há diversas nomeações para estas camadas na bibliografia. Mendonça (2007) classifica todas as camadas de revestimento como reboco, nomeando a de base como chapisco, a intermediária de emboço e a camada final de acabamento. Já Gomes (2009) as coloca como emboço, reboco e esboço, afirmando que posterior a este conjunto de camadas se aplica um segundo conjunto de camadas de acabamento, proteção e decoração. Estas diferenciações devem-se, em sua maior parte, por características culturais regionais.

Mesmo quando aplicados em projetos de reabilitação e manutenção ou se constituídas em novos projetos, argamassas de reboco devem possuir características que garantam que sua funcionalidade seja atingida de forma adequada. Revestimentos, de forma geral, devem contribuir com a estabilidade de um edifício, com a segurança contra incêndios, higiene, segurança no uso, assim como possuir características que previnam ruídos e garantam a eficiência energética do mesmo (T. Rodrigues, 2014).

Freitas & Alves (2008) também enfatizam a função de um revestimento, e por consequência uma argamassa de reboco, como a proteção contra a ação de intempéries assegurando uma boa impermeabilidade e resistência mecânica, mantendo assim a estética de uma fachada.

Para que estas funções sejam devidamente cumpridas, é necessário satisfazer regras de qualidade aplicadas a estes materiais, sendo as principais as relacionadas com os aspectos de trabalhabilidade, aderência e compatibilidade ao suporte, resistência aos choques e a fendilhação. Estas exigências são aplicadas a rebocos internos e externos, porém os externos devem, obviamente, cumprir um maior grau de exigência, visto que também são submetidos a mais agentes que possam o afetar (T. Rodrigues, 2014).

A Figura 4 exemplifica todo o processo construtivo de aplicação de argamassas de revestimento, desde o momento da sua concepção até a utilização, sintetizando fatores condicionantes ao desempenho das mesmas.

Observa-se que o autor enfatizou a importância de aspectos como a avaliação prévia da adequação do material, como especificações da base que receberá o revestimento e cuidados na execução e uso da argamassa de revestimento. De maneira relevante, quando se proporciona os materiais utilizados e se obtém a argamassa, algumas propriedades são extremamente importantes no material final.

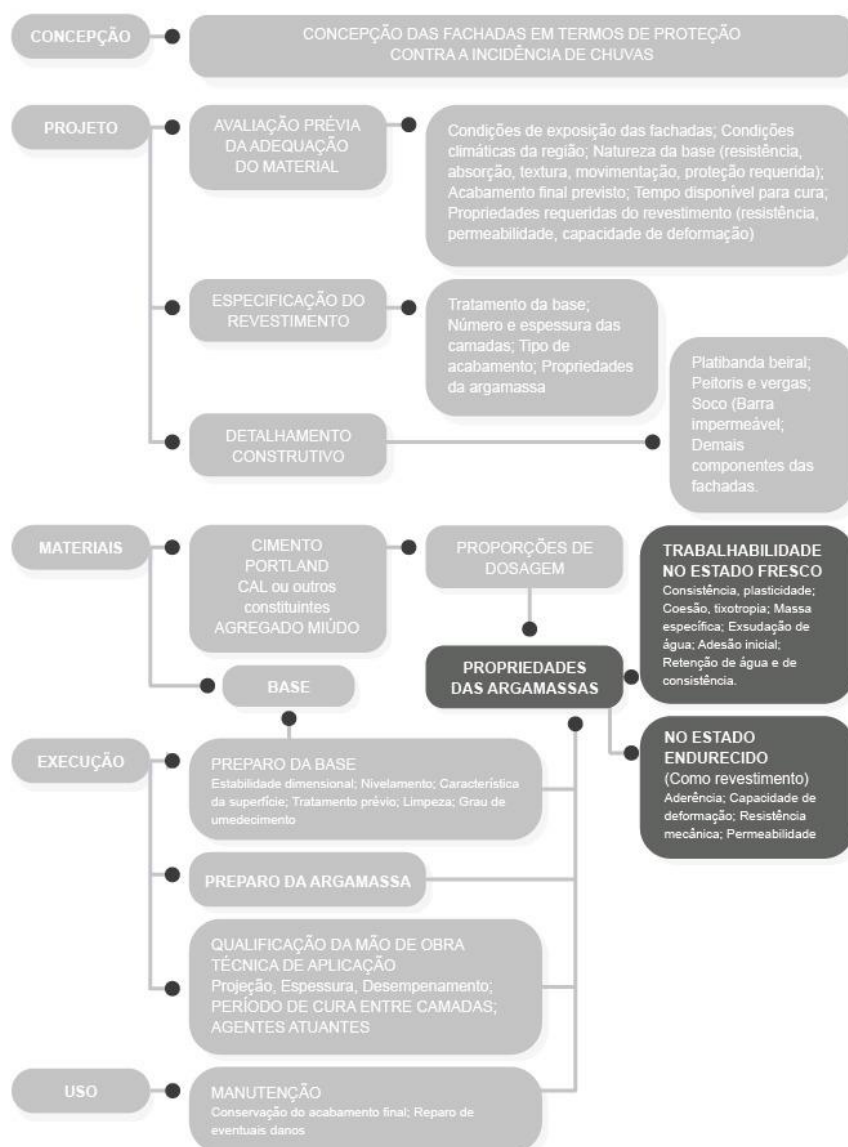


Figura 4 – Processo construtivo de aplicação de argamassas e suas condicionantes Fonte: Adaptado de Selmo (1989)

A trabalhabilidade no estado fresco é uma característica da argamassa relacionada com a facilidade de aplicação da mesma, visto que se feita de maneira correta, garante que muitos requisitos como aderência ao suporte sejam garantidos. Está diretamente ligada com a consistência, plasticidade e coesão da argamassa. O aumento da quantidade de água, do teor de ligante e do teor de finos do agregado são ferramentas para se melhorar a trabalhabilidade (Veiga, 1998).

Já no estado endurecido, Selmo (1989) ressalta 4 propriedades tratadas como requisitos essenciais para argamassas de revestimentos. As mesmas são apresentadas e definidas a seguir:

- Permeabilidade: Capacidade da argamassa de permitir ou evitar a chegada de água, por permeabilidade ou por capilaridade, proveniente do exterior até o suporte. Para rebocos exteriores a absorção capilar deve ser a menor possível (Veiga, 1998).
- Aderência ao suporte: Característica avaliada através de ensaios de arrancamento, consiste na capacidade em resistir a tensões normais ou tangenciais na superfície de interface do suporte, dependendo em grande parte do estado em que a zona de interface da argamassa com o suporte se encontra (Silva & Campiteli, 2008). É necessária para garantir uma boa impermeabilidade e influência de forma significativa as resistências à fendilhação e a durabilidade (T. Rodrigues, 2014).
- Resistência mecânica: Propriedade que traduz a capacidade de uma argamassa, no estado endurecido, suportar esforços mecânicos que atuem sobre ela, sem causar degradações ou deformações plásticas. Varia de acordo com a natureza e o consumo de ligantes e agregados assim como é influenciada pelas condições e tempo de cura (Martins & Assunção, 2004). As tensões mais relevantes para argamassas de reboco são de compressão e tração por flexão (A. Coutinho, 1988). Pode-se citar também como um fator relevante especialmente aos revestimentos externos, a resistência ao choque. Esta traduz a capacidade da argamassa em receber um impacto, sendo que as principais preocupações quanto a essa propriedade são quando a camada de reboco é relativamente fina e o suporte com pouca resistência a este impacto, como suportes isolantes (Veiga, 1998)
- Capacidade de deformação - Módulo de elasticidade: Propriedade mecânica que mede a rigidez de um material sólido capaz de estabelecer uma relação entre a tensão por uma deformação proporcional ou específica. A elasticidade em si é a capacidade de um material receber esforços sem ocorrer deformações permanentes, ou seja, o material retorna as dimensões e ao estado inicial após a submissão destes esforços. Está diretamente ligado com a durabilidade de uma

argamassa, fornecendo parâmetros importantes sobre a deformabilidade e rigidez (Silva & Campiteli, 2008). É importante que o módulo de elasticidade do revestimento seja condizente com o do suporte, visto que devem reagir de forma harmônica aos esforços a estes aplicados (Rodrigues, 2014)

Ainda pode-se citar, além destas propriedades, muitos outros requisitos desejáveis nas argamassas de revestimento. A compatibilidade com o suporte, por exemplo. Assim como o módulo de elasticidade, a argamassa de revestimento deve ser compatível ao suporte em relação aos materiais aplicados, assim como quanto a sua espessura, que deve ser suficiente para corrigir irregularidades e suprir todas as propriedades já citadas anteriormente

Nota-se também grande relevância ao estudo da retração destes materiais. Definida como a diminuição de volume aparente de um sólido, a retração é medida através do quociente entre a variação do sólido e o valor do comprimento antes de sofrer a variação (Gomes et al, 2006). A mesma é um importante fator de desempenho pois a falta de estabilidade dimensional desencadeia outros problemas como a formação de fendilhação e exposição do suporte às intempéries (Rodrigues, 2014).

As propriedades parametrizadas, exigidas para argamassas de reboco externos ou internos, são encontradas na NP EN 998-1.

É possível afirmar que todas estas características descritas anteriormente interferem na durabilidade das argamassas de revestimento, em especial as argamassas de reboco. Este importante requisito é aprofundado neste estudo no capítulo seguinte, visto que o estudo do envelhecimento é justamente o comportamento ao passar do tempo de um material, ou seja, sua durabilidade.

2.3 Durabilidade

Definida por Luso (2012) como “capacidade dos edifícios e seus componentes se manterem com as mesmas características durante a sua vida útil, sem custos imprevistos para manutenção ou reparação”, a durabilidade é

um fator essencial às argamassas de reboco, sejam aplicadas a reabilitação ou não.

A durabilidade dos materiais utilizados na construção civil é importante não somente no quesito econômico – já que constantes manutenções e renovações podem gerar altos custos – mas também no quesito sustentabilidade. A construção civil gera milhões de toneladas de entulhos por ano e quando estes materiais se mostram mais duráveis, contribuem para que este índice diminua.

Muitos fatores externos colaboram para a deterioração de argamassas de reboco, visto que estas estão expostas diretamente ao ambiente. Estas são expostas a fatores climáticos que podem apresentar reações severas, como raios UV, precipitações, ações de forças como o vento e principalmente ações de gelo-desgelo. Quando a água está próxima da saturação e a temperatura desce bruscamente a valores negativos, forma-se gelo no interior da argamassa, aumentando o volume e a pressão dos poros, podendo gerar erosão, fendilhação e rotura (Veiga, 2009).

A exposição a sais solúveis também é preocupante, pois estes podem se acumular nas argamassas vindos da poluição atmosférica, ambientes marinhos e também da própria alvenaria. Também causam o efeito de aumento de volume no interior da argamassa, introduzindo tensões nos poros (Luso, 2012).

O ideal é que as argamassas sejam resistentes aos fatores externos e a degradação natural que ocorre por questões relacionadas com a composição da mesma, das características e proporções dos constituintes, pela forma em que a presa se realiza e a interação com o suporte. Portanto, busca-se encontrar formulações que apresentem algumas propriedades em níveis ideais de retração e contração, porosidade, capilaridade e permeabilidade ao vapor (Coelho, Pacheco, & Said, 2009).

Assim sendo, a avaliação da durabilidade de argamassas torna-se extremamente útil e condizente, podendo ser realizada através de ensaios laboratoriais de aceleração de envelhecimento ou submetendo amostras à fatores climáticos reais de certa localidade e também a ensaios de resistência aos sais.

A durabilidade das argamassas é o que se busca avaliar quando se estuda o envelhecimento das mesmas. No programa experimental deste trabalho, duas metodologias de envelhecimento são aplicadas às composições de argamassas de reboco desenvolvidas, sendo, portanto, a durabilidade a conclusão destes ensaios.

2.4 Materiais Constituintes

Uma argamassa é constituída essencialmente por um agregado fino, um ou mais ligantes e água, formando uma mistura homogenia. Nesta mistura incorpora-se ar naturalmente, o que dá à argamassa a característica porosa. É possível o incremento de materiais – aditivos ou adjuvantes – que confirmam ao produto final as características desejadas, como por exemplo a adição de pigmento para se obter uma argamassa colorida (Sousa, 2010).

Usualmente, argamassas são distinguidas como argamassas de um só ligante e argamassas bastardas, que são as que apresentam mais de um ligante inorgânico (Mendonça, 2007), conforme a Tabela 1 mostra na classificação conforme o tipo de ligante.

O conhecimento dos materiais constituintes de uma argamassa é essencial para que se atinjam as propriedades necessárias do produto final, assim como pode permitir que se encontre as modificações adequadas quando os objetivos não são atingidos. Esta formulação chama-se dosagem e as proporções finais chamam-se traço, onde se expressa, em volume ou peso, a relação entre ligante e agregado.

Veiga (2009) aponta a utilização de inúmeros materiais alternativos em argamassas antigas, para se atingir a geometria e a cronologia desejadas das várias camadas e das composições de cada uma. A autora aponta que até o final do século XVIII a predominância da terra, gesso e cal como ligantes é evidente, sendo a terra de natureza argilosa o mais antigo deles, identificado em construções na Turquia que datam 6000 a.c. A adição de materiais pozolânicos também explica a durabilidade e resistência atingidas por essas argamassas antigas, tanto os naturais como rochas piroclásticas vulcânicas e terras diatomáceas como as artificiais como materiais cerâmicos pulverizados proveniente de tijolos, telhas ou artefatos cerâmicos.

Quanto à utilização de materiais alternativos ainda pode-se citar elementos curiosos, como fibras naturais como pelos de animais ou palha que conferiam a argamassa melhor resistência à fendilhação, adjuvantes orgânicos como vinho, açúcar, clara de ovo, carvão e até mesmo sangue e gorduras como azeite, óleo de baleia ou banha (Veiga, 2009).

Na sequência, definem-se e caracterizam-se os materiais constituintes de argamassas com enfoque nos materiais utilizados no desenvolvimento desta pesquisa.

2.4.1 Agregados

A Norma NP EN 13139:2005 - Agregados para argamassas - coloca o agregado na definição de um material granular utilizado na construção, classificando-os como naturais, artificiais ou reciclados. De acordo com a mesma norma, define-se o agregado natural como “agregado mineral que foi sujeito apenas a processamento mecânico”, o agregado artificial como “agregado mineral resultante do processo industrial, envolvendo tratamento térmico ou outros” e por fim o agregado reciclado como “agregado resultante do processamento de materiais inorgânicos anteriormente utilizados na construção”.

Agregados são classificados em finos ou grossos, sendo diferenciados pelos passantes e pelos retidos, respectivamente, na peneira de 4mm, sendo utilizados apenas os finos, ou seja, as areias, em argamassas.

A qualidade do produto final está diretamente relacionada com a qualidade da areia utilizada, que é o material presente em maior quantidade na mesma. Isso acontece pelo fato de a areia contribuir com a argamassa dando a ela as características de coesão que necessita. A argamassa deve conter todos os seus grãos de agregados envolvidos pela pasta do ligante para que tenha uma boa interface entre estes componentes.

Uma areia pode ser classificada de acordo com vários aspectos, além da sua origem. Estes podem ser de acordo com a sua granulometria, ou seja, a dimensão das partículas, de acordo com a sua composição ou até mesmo a massa volúmica (Mendonça, 2007; A. Rodrigues, 2016).

O quartzo, por ser um mineral frequente em muitas rochas granulares e por também apresentar características adequadas de dureza, durabilidade e insolubilidade, é um dos principais constituintes dos agregados finos. Em menores proporções encontram-se calcite, micas, feldspatos, minerais argilosos e matéria orgânica em algumas composições de areias (Mendonça, 2007).

Busca-se, através de uma areia com classificação e composição adequadas, se atingir certas propriedades de natureza geométrica, física e química, que apresentem adequada forma e dimensões proporcionais, adequada resistência aos esforços mecânicos, boas propriedades térmicas, além de adequadas propriedades químicas (Coutinho, 2002).

As especificações utilizadas em argamassas antigas variam de acordo com a região onde a mesma era aplicada, visto que a utilização do material disponível nas imediações era o que frequentemente se ocorria.

Já se encontram estudos relativos a substitutos da areia como agregado miúdo em argamassas e betões, por mais que essa ainda seja unânime na construção civil. Isto pelo fato de se buscar uma menor utilização de recursos naturais e melhor aproveitamento do que já foi retirado da natureza. Tavares de Assunção et al. (2007) apresenta resultados da utilização de resíduos da própria construção civil e autores como Canellas & Dabreu (2005) e Oliveira et al. (2013) vão além, utilizando resíduos de PET (polietileno tereftalato) e de vidro como substituição parcial da areia, respectivamente.

2.4.2 Ligantes

Um material ligante é definido como um produto com a capacidade de ganhar presa e endurecer, com a possibilidade de aglomerar com outros materiais tais como agregados, sendo chamado também de aglomerantes (J. de S. Coutinho, 2006). A Figura 5 exemplifica as classificações que os ligantes recebem.

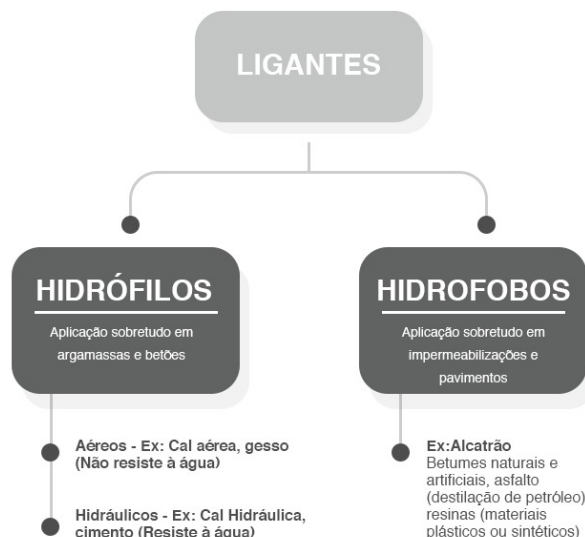


Figura 5 – Classificação dos ligantes. Fonte: Adaptado de Coutinho, 2006

Os ligantes hidrófilos apresentam afinidade com a água, sendo que misturados com a mesma endurecem. São os tipos de ligantes usados no programa experimental deste trabalho. Já os ligantes hidrófobos não necessitam de água no seu processo de endurecimento, sendo que o mesmo repele a água após o seu processo de endurecimento (J. Coutinho, 2006).

2.4.2.1 Cal

A cal é um dos materiais construtivos com registros mais antigos de utilização na humanidade. Há evidências da sua utilização em zonas da atual Turquia que indicam serem entre os anos 12000 a 5000 A.C. (Miller, 1999). Há também indícios da utilização em Pirâmides do Tibet como estabilizador do solo argiloso da região, cerca de 5000 A.C., ou seja, com inúmeras aplicações além da incorporação em argamassas (Coelho et al., 2009).

A civilização grega também foi essencial no desenvolvimento da utilização da cal, sendo que após constatarem as propriedades hidráulicas da mesma na confecção de argamassas, puderam desenvolver suas atividades portuárias expressivamente. O arquiteto romano Vitruvius (séc I A.C.), autor do tratado *De Architectura*, refere-se nesta sua obra as argamassas produzidas pelos gregos como “*nem a água as dissolve, nem as ondas as quebravam*” (Alvarez, 2007). Na mesma época edificou-se os aquedutos Pont du Gard no sul

da França (Figura 6) e no século seguinte o Coliseu de Roma (Figura 7), ambos monumentos famosos até os dias de hoje mostrando a durabilidade das argamassas de cal (Coelho et al., 2009).



Figura 6 – Pont du Gard no sul da França construída por volta do ano 20 A.C.



Figura 7 - Coliseu de Roma construído por volta 70-80 A.C.

Outra utilização da cal em um monumento notável da história do oriente é a Muralha da China, tendo mais de 3 mil km de extensão e sendo a maior barreira já construída pela humanidade.

Já no ocidente, estudos apontam que as primeiras utilizações foram feitas pelos Maias, entre 1100-600 A.C. São conhecidas as plataformas em Cuello, Belize onde a cal é evidenciada na argamassa de reboco e também um local em Nakbè, na Guatemala, onde as runíás resistentes até os dias atuais podem ser vistas na Figura 8 (Taylor et al., 2011).



Figura 8 – Ruínas com evidências da utilização da cal em Nakbé – Guatemala. Fonte: (Taylor et al., 2011)

Durante a evolução da utilização deste material, há indícios da utilização adicionada de outros materiais como gesso, pozolanas, gorduras animais e vegetais, entre outros exemplos, na busca por argamassas com desempenhos cada vez melhores. Porém, a grande descoberta que viria a declinar o uso da cal se deu apenas no século passado: o Cimento Portland. Com um tempo de pega muito inferior ao da cal, se possibilitou muita agilidade nas aplicações de argamassar e também se atingiram características mecânicas muito superiores.

Contudo, constata-se com cada vez mais frequência a incompatibilidade do cimento principalmente em obras de restauro, o que traz novamente a ascensão da cal e sua vasta utilização.

A cal utilizada na construção é definida, segundo a NP EN 459-1:2011, como “um material abrangendo quaisquer formas físicas e químicas, sob as quais pode aparecer o óxido de cálcio (CaO), o óxido de magnésio (MgO) e ou hidróxidos de cálcio e magnésio (Ca(OH)₂ e Mg(OH)₂).”

A mesma norma divide a cal aplicada à construção civil em dois grupos: Cal aérea e Cal hidráulica:

Cal aérea é definida como tendo em sua composição, principalmente, óxido ou hidróxido de cálcio. Seu tempo de pega é lento conforme reage com dióxido de carbono presente na atmosfera, ganhando por este motivo o nome cal aérea. Portanto, ao contato com água, a mesma não endurece. São subdivididas em cals cálcicas ou cals dolomíticas, de acordo com a percentagem

de CaO e MgO. São comercializadas como Cal viva ou Cal hidratada, sendo a primeira produzida por calcinação de rocha calcária e ou de dolomite, tendo uma reação exotérmica quando em contato com a água, podendo apresentar-se em pedaços ou pó seco. Já a segunda deriva da primeira, sendo obtida submetendo a cal viva a um processo de extinção controlado, sendo encontrada no final sob a forma ou de pó seco ou de pasta. Esta última é mais vantajosa por ter melhor manuseio, facilidade de transporte e armazenamento, além de serem mais seguras durante a utilização (Sousa, 2010).

Cal hidráulica é definida pela norma como “cais produzidas por calcinação de calcários mais ou menos argilosos ou siliciosos com redução a pó por extinção, com ou sem moagem. Têm a propriedade de fazer presa e endurecer debaixo de água. O dióxido de carbono atmosférico contribui para o processo de endurecimento.” Suas subclassificações são de acordo com a resistência à compressão que apresentam, sendo superiores aos valores da cal aérea, porém inferiores ao cimento (Sousa, 2010).

Além da utilização da cal incorporada como aglomerante em argamassas de reboco, emboço e assentamento, este material apresenta uma vasta utilização. É comum ser utilizada na construção civil na confecção de estradas nas misturas asfálticas, na estabilização de solos, no preparo de tintas e também materiais isolantes (Scremim, 2019).

2.4.2.2 Cimento Portland

O Cimento Portland é definido pela norma NP EN 197-1 como “um ligante hidráulico, isto é, um material inorgânico finamente moído que, quando misturado com água forma uma pasta que ganha presa e endurece por reações e processos de hidratação que, depois de endurecida, conserva a sua capacidade resistente e estabilidade mesmo debaixo de água”. É o ligante mais utilizado nos dias atuais para a fabricação de argamassas e betões devido ao seu ótimo desempenho e custo-benefício (Sousa, 2010).

Leva este nome devido a uma campanha publicitária do inglês Joseph Apsdin, que registrou em 1824 uma patente de uma cal hidráulica artificial, descoberta posteriormente em 1844 por seu sócio Issac Johnson que este material tinha elevada resistência devida à cozedura das matérias primas a cerca

de 1500°C, dando origem ao silicato tricálcico, composto responsável pela resistência do cimento. “Portland” devido ao fato de se assemelhar em cor, resistência e durabilidade ao calcário de Portland, encontrado no sul da Inglaterra (Gomes et al, 2013).

O processo de fabricação do cimento Portland cinzento consiste basicamente em misturar, proporcionalmente, calcário (carbonato de cálcio), argila (silicatos de alumina e ferro) e possivelmente outros materiais ricos em sílica (areia), alumina (bauxite) ou ferro (granalha) (Martins & Paiva, 2006). Já o cimento branco, utilizado na campanha experimental deste trabalho, tem características bem próximas ao cimento cinzento, porém detalhes na sua fabricação e seleção de materiais permitem que tenha a coloração mais clara. Utilizam-se argilas, gessos e calcários com menos impurezas, evita-se incluir altas concentrações de óxidos de ferro e manganês e o processo de queima substitui o carvão por óleos ou gás natural (Klosowski, 2019).

A norma NP EN 197-1, mostra a composição dos principais tipos de cimento, porém as variações e possibilidades são muitas, de acordo com o material final desejado.

2.4.3 Pozolanas

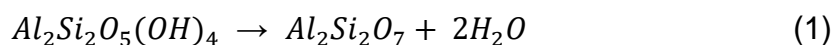
As normas NP EN 197-1 e NP 4220 definem os materiais pozolânicos como materiais que possuem composição siliciosa ou silico-aluminosa, ou a mistura destes. Possui a propriedade de reagir quando em contato com água e hidróxido de cálcio, formando assim compostos hidráulicos do tipo silicatos e aluminatos de cálcio hidratados. A pozolanas incluem materiais naturais como os de origem vulcânica, argilas e xistos e subprodutos industriais, como cinzas de biomassa ou de casca de arroz (Velosa et al., 2013).

Portanto, as características das pozolanas e giram em torno da capacidade que estas têm de reagir com água e hidróxido de cálcio, apresentando resultados diferentes quando apresentados em conjunto com cal ou com o cimento.

2.3.3.1 Metacaulim

O metacaulim é um material descoberto na região montanhosa de Jauchau Fu, na província de Jiangxi na China e por isso o termo “caulim”, visto que origina da palavra chinesa “kauling”, que tem por significado “Colina Alta” (Monte et al., 2003).

O metacaulim é um material pozolânico amorfo (Souza, 2013), de granulometria muito fina e estrutura cristalina desordenada, obtido através da calcinação de argilas ricas em caulinite a temperaturas entre 600 a 900°C, sendo que submetidos a essas temperaturas a caulinite sofre um processo chamado desidroxilação transformando-se em metacaulim (Medina, 2011; Velosa et al., 2013). A reação química é demonstrada na Equação 1.



O metacaulim de forma específica é constituído basicamente por sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), tendo uma elevada área superficial que contribui para os aspectos reológicos do produto final, contribuindo para a retenção de água, aumento da coesão, redução da exsudação e segregação (Medina, 2011). Tem suas partículas com tamanho médio de 3µm e 99% inferior a 16 µm, sendo um material muito fino e conseqüentemente com uma grande reação pozolânica, já que possui alta superfície específica (Siddique & Klaus, 2009).

A relatividade pozolânica do metacaulim irá variar de acordo com outras variáveis, dependendo não somente da quantidade de sílica e alumina reativas como a composição mineralógica influenciada pelas características químicas, mineralógicas e da matéria prima, como presença de impurezas, grau de cristalinidade e tipo de caulino, respectivamente. Também será influenciada pelo processo térmico à qual foi submetida, como foi feito a moagem e a desaglomeração (Velosa et al., 2013).

Outro aspecto muito relevante do metacaulim diz respeito ao fato de ser um material sustentável, já que podem substituir, mesmo que de forma parcial, ligantes minerais. Também se destaca que melhora o nível de durabilidade de argamassas, aplicabilidade e consumo energético (Vargas, 2013).

Por conseguinte, conclui-se que o metacaulim pode ser uma ótima alternativa, uma vez que melhora a trabalhabilidade, o arranjo microestrutural, as resistências mecânicas das argamassas, a durabilidade e reduz, ainda, a permeabilidade (Vargas, 2013).

Quando reagido com a cal aérea, tende ainda a potencializar estas qualidades, melhorando o desempenho da argamassa, a durabilidade, a resistência ao ataque químico, a trabalhabilidade, as resistências mecânicas, e ainda melhora a qualidade do acabamento (Siddique & Klaus, 2009).

O estudo de Mergulhão (2014) utiliza altas proporcionalidades de metacaulim em suas composições analisadas, sendo uma das poucas referências da bibliografia existente que utiliza o metacaulim desta forma mesmo apresentando resultados interessantes. O autor cita, por exemplo, um endurecimento mais rápido em argamassas de cal aérea, trazendo a estas uma contribuição no que se considera uma desvantagem quando comparadas com argamassas de cimento Portland.

2.4.4 Pigmentos

Pigmentos são utilizados desde a antiguidade, provenientes de fontes animais, vegetais ou minerais, com o intuito de colorir diversos objetos (Catarino & Gil, 2014). A cor, por sua vez, pode ser designada como uma percepção sensorial ou como um fenômeno físico relacionado com a radiação eletromagnética, sendo de qualquer forma um elemento essencial para a percepção de um ambiente, situação ou objeto (Carvalho, 2011).

Dos muitos tipos de pigmentos existentes, grande parte são compostos de matéria-prima mineral sem quase nenhuma modificação por processo tecnológico envolvido, podendo apenas ser submetido a moagem, por exemplo. Outra classe seriam os pigmentos sintéticos, manufaturados por processos químicos tendo um produto final essencialmente diferente da matéria-prima (Hradila et al., 2003).

O resultado obtido numa argamassa de cal com a aplicação de um pigmento dependerá de vários fatores, como o tipo de pigmento, a concentração do mesmo e a combinação com os outros materiais aplicados. Pode inclusive ser a interação entre mais de um pigmento, os instrumentos utilizados para a

aplicação e como esta é executada, as características do suporte e até mesmo a iluminação que o mesmo recebe, entre muitos outros fatores que implicam na tonalidade final (Gil, 2009).

Por estes motivos que, quando aplicados principalmente em conservação e restauro, a utilização de pigmentos é muito delicada, sendo que se aplicada sem conhecimento pode gerar resultados insatisfatórios e que influenciem na preservação cultural de um edifício, já que a cor é um fator importante na identidade visual do mesmo. Para se realizar a avaliação e caracterização da cor podem ser realizados processos visuais com escalas e catálogos de cores, medições colorimétricas e análises laboratoriais.

No que se trata de pigmentos azulados, cor utilizada no programa experimental deste trabalho, os primeiros registros referem-se ao azurite (carbonato básico de cobre $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), um mineral natural normalmente encontrado em porções oxidadas de depósitos de cobre (Catarino & Gil, 2014).

Há registros da utilização de pigmentos azuis no Mundo Antigo pelos egípcios - o azul egípcio, do azurite do azul ultramarino natural, vindo do Afeganistão, na Idade Média, e também do azul da Prússia a partir do século XVIII, o que mostra a variedade de materiais e da aplicação do mesmo em vários momentos da história da humanidade (Catarino & Gil, 2014).

Em Portugal de forma específica, (Carvalho, 2011) indica a grande utilização dos pigmentos azul da Prússia, azul ultramarino, roxo-rei.

CAPÍTULO 3 – PROGRAMA EXPERIMENTAL: MÉTODOS, MATERIAIS E RESULTADOS

3.1 Considerações Iniciais

Com o objetivo de se evidenciar as diferenças em composições de argamassas de cal pigmentadas explicitamente distintas, desenvolveram-se três composições. A primeira, referenciada neste trabalho como argamassa de referência, possuiu somente areia, cal em pasta e pigmento. A segunda e a terceira diferenciam-se pela adição de cimento e metacaulim, respectivamente.

Desenvolveu-se um programa experimental que, além de encontrar semelhança inicial de consistência e cor, submetesse as três composições aos mesmos ensaios nas mesmas idades e circunstâncias. Os mesmos ensaios foram desenvolvidos no Laboratório de Materiais de Construção e no Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança.

Este capítulo apresenta este programa experimental, as normas respeitadas para a execução do mesmo, os resultados obtidos assim como as informações necessárias no desenvolvimento deste projeto.

3.2 Materiais Utilizados

As qualidades e características obtidas nas argamassas desenvolvidas neste trabalho devem-se em parte aos materiais utilizados para as confecções das mesmas. Para se produzir as três composições desenvolvidas utilizou-se areia, cal em pasta, cimento, metacaulim, pigmento azulado e água, sendo esta última proveniente de um sistema próprio de captação da instituição de ensino. As especificações são encontradas nos sub-tópicos seguintes.

3.2.1 Areia

Nesta pesquisa, utilizou-se a areia disponibilizada pela instituição de ensino, chamada de “areia espanhola”. A mesma foi seca em estufa a uma

temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas e passada em uma peneira de 1mm com o intuito de se obter uma areia com uma granulometria inferior a essa, que confere a argamassa posteriormente, além de uma aparência melhor e menos áspera, menos porosidade.

Amostras deste material foram submetidas a alguns ensaios de caracterização seguindo as metodologias das suas respectivas normas regulamentadoras.

O primeiro destes foi a análise granulométrica - NP EN 933-1 (2000) - que consiste basicamente em submeter a areia a um conjunto de peneiras com abertura de malha em ordem crescente da base ao topo. Posteriormente determinou-se a massa total de material retido em cada uma das peneiras que permitiu a elaboração da curva granulométrica observado na Figura 9.

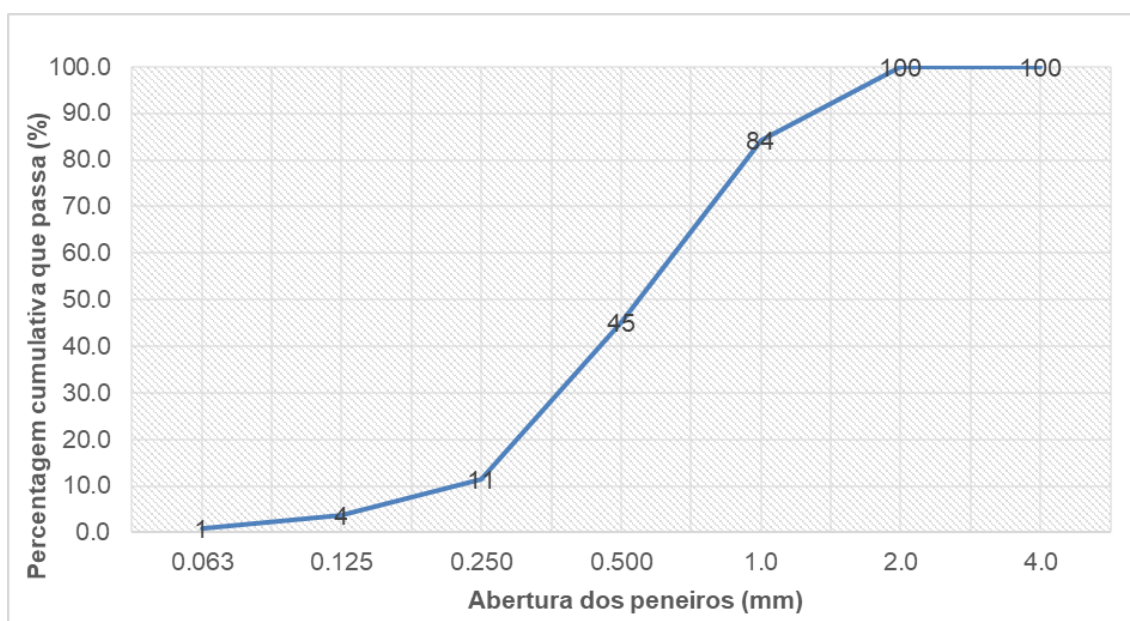


Figura 9 – Curva granulométrica da areia ensaiada

Observa-se a partir da curva obtida que a areia apresenta uma distribuição contínua, apresentando uma fração 0% de grossos (2,0 – 4,0mm), 55% de médios (0,5 – 2,0mm) e 45% de finos (inferiores a 0,5%). A Figura 10 a seguir mostra etapas do processo de realização da análise granulométrica.



Figura 10 – Imagens da realização da análise granulométrica

Em seguida, realizou-se o ensaio de determinação da baridade e do volume de vazios – NP EN 1097-3 (2002) – que define estes dois conceitos, respetivamente, como “quociente entre a massa do agregado seco preenchendo sem compactação um dado recipiente pela capacidade do recipiente” e “espaços cheios de ar entre os agregados contidos no recipiente”.

Os valores encontrados encontram-se na Tabela 2 e a Figura 11 mostra a etapa de pesagem do material na realização do ensaio.

Tabela 2 – Valores de Baridade e Volume de Vazios

Baridade (g/cm ³)	Volume de vazios (%)
1,51	39,35

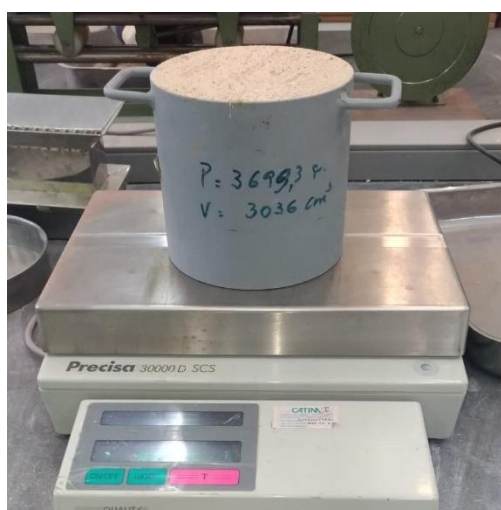


Figura 11- Execução do ensaio de Baridade

Finalmente determinou-se a massa volúmica e a absorção de água – NP EN 1097-6 (2003) – que separa massa volúmica em quatro situações diferentes e conceitua-as como:

- Massa volúmica das partículas secas em estufa - Relação entre a massa de uma amostra de agregado seca em estufa e o volume que esta amostra ocupa dentro de água incluindo quaisquer poros internos e os poros acessíveis à água;
- Massa volúmica do material impermeável das partículas - Relação entre a massa de uma amostra de agregado seca em estufa e o volume que esta amostra ocupa dentro de água incluindo quaisquer poros internos fechados, mas excluindo poros acessíveis à água;
 - Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca - Relação entre a massa da amostra do agregado incluindo a massa de água alojada nos poros acessíveis à água e o volume que a amostra ocupa na água incluindo quer os poros acessíveis à água, quer os poros internos fechados;
 - Massa volúmica das partículas secas - Massa das partículas secas por unidade de volume;
 - Absorção de água - Aumento da massa de uma amostra de agregado seco em estufa devido a penetração da água nos poros acessíveis a água.

Os valores obtidos encontram-se na Tabela 3 e a Figura 12 exemplifica as etapas do processo de realização do ensaio.

Tabela 3 – Índices de Massas Volúmicas e Absorção de água

Massa volúmica do material impermeável das partículas (g/cm ³)	Massa volúmica do material das partículas secas em estufa (g/cm ³)	Massa volúmica das partículas saturadas com superfícies seca (g/cm ³)	Absorção de água em 24 horas (%)
2,5	2,49	2,49	0,2

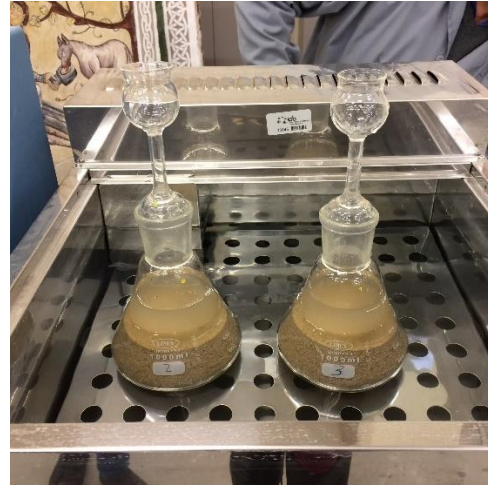
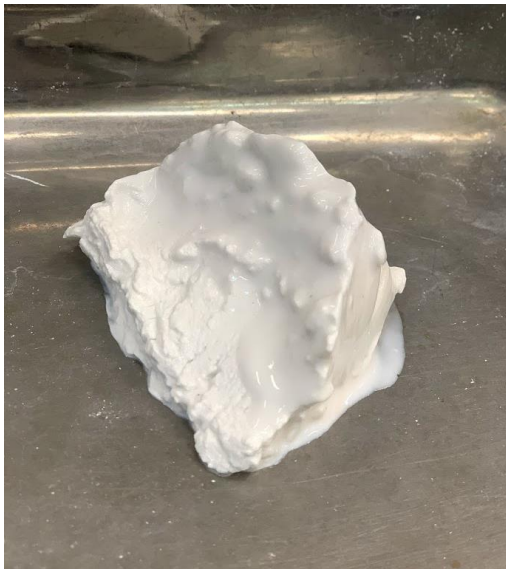


Figura 12 – Execução do ensaio de Massa Volúmica -

3.2.2 Cal Aérea

Por se tratar de um material com melhor trabalhabilidade, por dar origem a argamassas com alta plasticidade e mais homogeneia, (Agostinho, 2008) optou-se por utilizar cal aérea em pasta. A marca utilizada foi a Calcidrata S.A., uma indústria portuguesa. A ficha técnica do produto se encontra no anexo A deste trabalho e o produto pode ser visto na Figura 13.



(a)

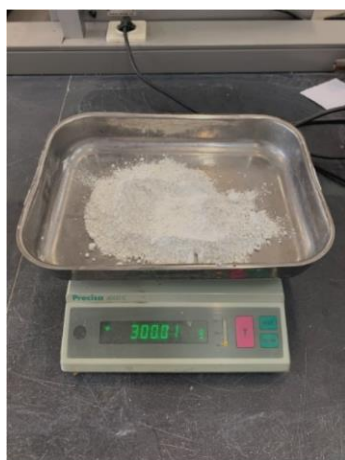


(b)

Figura 13 – (a) Cal em Pasta Calcitrada - (b) Forma como é comercializada

3.2.3 Cimento

Utilizou-se, na segunda composição, cimento Portland branco da marca Secil. A cor branca dá à argamassa um aspecto final mais procurado esteticamente, já que permite que o pigmento ganhe mais destaque. É um material com controle de qualidade e, portanto, é possível caracteriza-lo com a ficha técnica disponibilizada pela indústria. A mesma se encontra no anexo B deste trabalho e o produto pode ser visto na Figura 14.



(a)

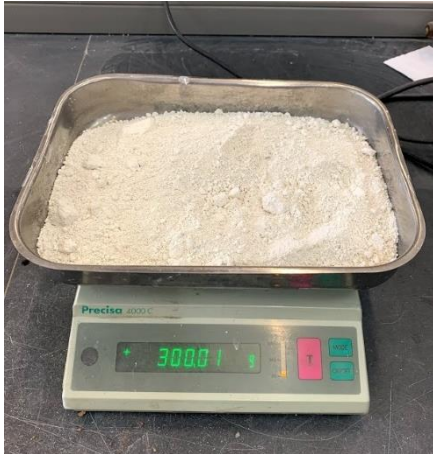


(b)

Figura 14 – (a) Cimento Branco Portland da marca Secil - (b) Forma como é comercializado

3.2.4 Metacaulim

Utilizou-se, na terceira composição, metacaulim da marca Burgess Optipozz, fabricado na Georgia – EUA. É um material com controle de qualidade e, portanto, é possível caracteriza-lo com a ficha técnica disponibilizada pela indústria. A mesma se encontra no anexo C deste trabalho e o produto pode ser visto na Figura 15.



(a)

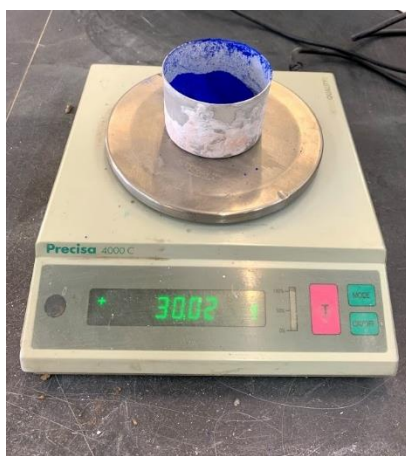


(b)

Figura 15 – (a) Metacaulim da marca Burgess Optipozz - (b) Forma como é comercializado

3.2.5 Pigmento

Optou-se a utilização do pigmento da cor azul para o desenvolvimento das argamassas, visto que a cor é frequentemente utilizada neste tipo de aplicação em Portugal. Utilizou-se, portanto, o pigmento da cor Azul Ultramar da marca Lacrilar, uma empresa nacional e que comercializa este produto em todo o país. O mesmo produto, visto na Figura 16 apresenta fabricação com controle de qualidade e forneceu a ficha técnica do produto, que se encontra no anexo D deste trabalho.



(a)



(b)

Figura 16 – (a) Pigmento da cor Azul Ultramar da marca Lacrilar - (b) Forma como é comercializado

3.3 Desenvolvimento das Composições Estudadas

Para se estabelecerem as principais diferenças entre argamassas de cal com adições de cimento e metacaulim, três composições foram desenvolvidas. Buscou-se algumas semelhanças, como a trabalhabilidade e cor, considerando-as comparáveis a partir disso.

Definiu-se a primeira composição como a composição de referência, seguindo um traço volumétrico 1:2 - traço escolhido por ser frequentemente utilizado em argamassas de cal e apresentar bons resultados - sendo esta constituída por cal em pasta, areia, pigmento e água. A segunda e a terceira são caracterizadas pela substituição de 50% da massa da cal por cimento e metacaulim, respectivamente. Justificou-se estes teores com a intenção de evidenciar explicitamente as consequências destas adições e pelo fato de ser difícil a utilização de argamassas exclusivamente à base de cal em obras em que não existe mão de obra especializada, onde é comum a utilização de traços de 1:1 com utilização de cal e cimento. As quantidades de pigmento e água foram reguladas experimentalmente, buscando encontrar um nivelamento entre a trabalhabilidade e a intensidade de cor das três composições.

A cal em pasta, por estar inserida em água, pode apresentar diferenças no volume. Procurou-se então transformar o traço volumétrico para um traço em massa, utilizando um recipiente metálico onde se inseria a cal em pasta buscando-se preenche-lo completamente eliminando a presença excessiva de água, relatando em seguida a quantidade de massa apontada pela balança digital. Destaca-se que este é um modo empírico e que, mesmo que pequenas, pode haver variações da quantidade de cal em pasta devido ao teor de água presente. Com a areia realizou-se o mesmo processo, completando o mesmo recipiente com o agregado duas vezes. Ao final, a composição de referência possuía 300g de cal em pasta e 700g de areia, ou seja, um traço em massa de 1:2,33 - seguido para as execuções em maior escala de argamassa.

A segunda e terceira composições mantiveram a mesma quantidade de areia, reduzindo a massa de cal para 150g e acrescentando 150g de cimento e metacaulim, apresentando, portanto, traço de 1:1:4,66. Na Tabela 4 encontra-se um resumo do traço das três composições, ainda sem a definição da quantidade de água e pigmento.

Tabela 4 – Composição das argamassas estudadas

Composição	Cal em pasta	Cimento	Metacaulim	Areia
1	300g	-	-	700g
2	300g	150g	-	700g
3	300g	-	150g	700g

Posteriormente a esta definição, realizou-se, em paralelo, o ensaio de consistência e a análise das tonalidades descritos na sequência.

Para o processo de amassadura das argamassas de teste, utilizou-se a norma EN 1015-2 (1999), seguindo suas instruções quanto a forma correta de se misturar os materiais e o tempo necessário de cada processo.

3.3.1 Ensaio de Espalhamento – Flow Table – e afinação de cor

O ensaio de espalhamento é definido pela norma EN 1015-3 (1999) e tem por objetivo determinar a consistência da argamassa fresca. Esta pode fornecer também, através de análise visual, algumas características quanto à capacidade de resistência à segregação e exsudação da argamassa (Frazão & Gonçalves, 2014).

O ensaio consiste em centralizar um molde troncocônico de medidas de 11cm de base e 7 de altura em uma mesa de formato circular, como visto na Figura 17. Limpa-se e lubrifica-se o molde e o disco da mesa, preenchendo-o em seguida com duas camadas de material, aplicando-se 10 golpes com um pilão em cada uma destas para as compactar e assegurar um preenchimento uniforme do molde. Alisa-se o topo retirando o excesso de material e após 15 segundos retira-se, de forma vertical e lenta, o molde. Submete o disco da mesa a 15 golpes, através da rotação manual do manípulo, buscando-se uma frequência de um golpe por segundo. Os resultados são obtidos então a partir de duas medidas perpendiculares realizadas do diâmetro da argamassa. A média dos valores corresponde ao valor de espalhamento. A Figura 18 exemplifica o processo de realização do ensaio.

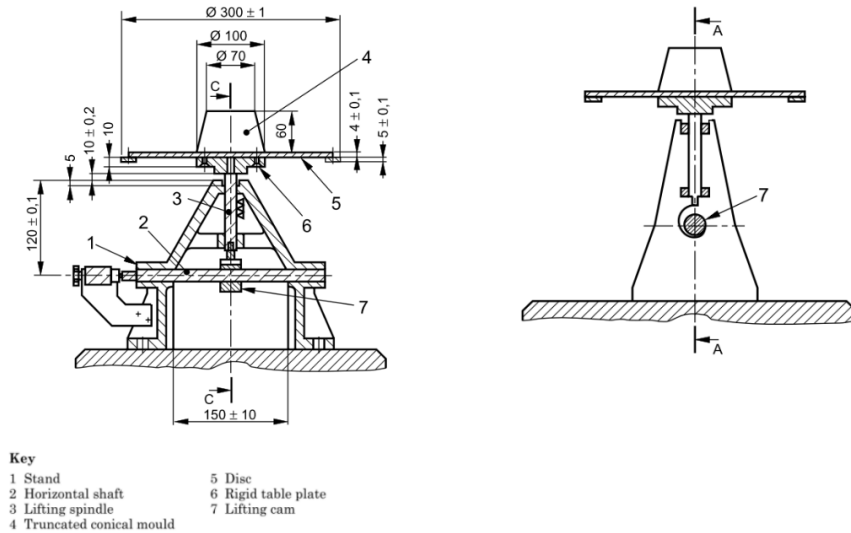


Figura 17 – Equipamento “Flow Table” para ensaio de espalhamento – Fonte: EN 1015-3



(a)



(b)

Figura 18 – Ensaio de espalhamento Flow Table

Foram realizadas 18 composições para se buscar o ideal não somente dos resultados de espalhamento como também a quantidade equivalente para cada composição de pigmento, sendo analisadas visualmente para que chegassem na mesma coloração. Essas composições foram aplicadas em tijolos conforme a Figura 19.

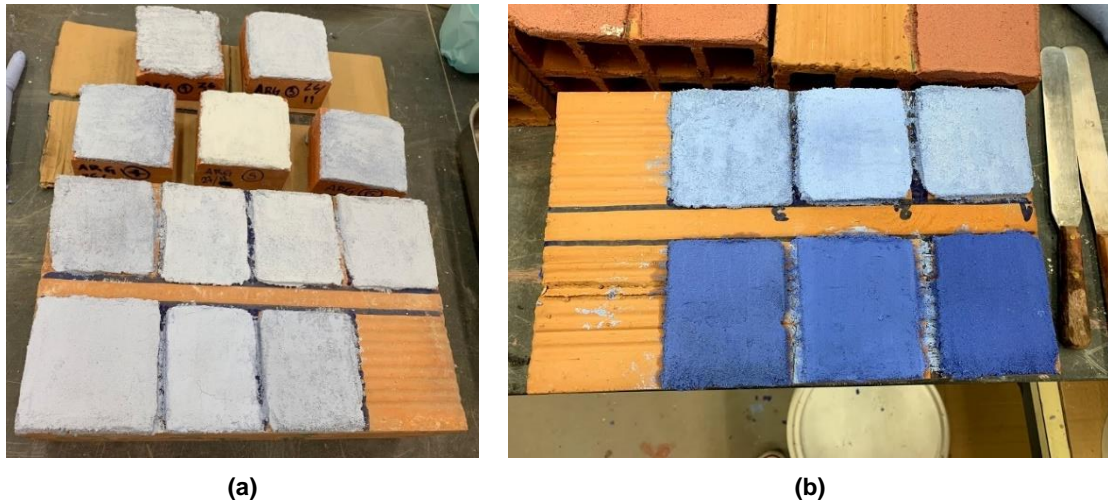


Figura 19 – (a) Composições testadas para se afinar a consistência e a cor - (b) Composições testadas em estado seco (superiores) e frescas (inferiores)

Manualmente, através desta aplicação, percebeu-se que resultados em torno dos 165mm para o ensaio de espalhamento foram valores adequados para trabalhabilidade, buscando-se, portanto, esta aproximação para as três composições. O resultado encontrado no trabalho é condizente com o que Haach et al (2010) apontam como uma boa trabalhabilidade para argamassas de reboco.

As composições finais adotadas e seus resultados médios no ensaio de espalhamento se encontram Tabela 5.

Tabela 5 – Composições das argamassas estudadas e resultados do ensaio de espalhamento médio

Composição	Cal em pasta [g]	Cimento [g]	Metacaulim [g]	Pigmento [g]	Água [ml]	Espalhamento [mm]
1	300	-	-	15	45	166,2
2	150	150	-	12	90	165.52
3	150	-	150	30	230	167.52

Observa-se, já a partir destes resultados, que o cimento faz com que a argamassa incorpore melhor a quantidade de pigmento, sendo necessário 20% a menos em massa do mesmo, enquanto o metacaulim faz o processo inverso, consumindo 100% a mais para se chegar em tonalidades parecidas. Ambas as

composições 2 e 3 apresentaram uma necessidade maior de água, sendo o dobro para a com cimento e mais de 5 vezes mais para com metacaulim.

3.3.2 Preparação das Argamassas de Teste - Provetes

Utilizou-se a norma EN1015-2 (1999) para se realizar a amassadura de todos os provetes, sendo eles de dois tipos: prismáticos de 40 x 40 x 160mm e aplicados em uma das faces de um tijolo com espessura média de 10mm.

Em um primeiro momento se adequou as quantidades dos materiais, seguindo o traço, para o suporte máximo da misturadora utilizada e sem desperdício, já que se buscou que cada molde fosse preenchido totalmente sem a mistura de amassaduras diferentes. Quando se triplicou as quantidades usadas para teste, estas foram suficientes para preencher 2 moldes de 3 provetes cada ou para dois tijolos.

Com as quantidades estabelecidas, realizou-se, no mesmo dia de moldagem, a separação e pesagem de todos os constituintes, com o auxílio de uma balança digital e provetas graduadas de 100ml e 500ml para a água.

O processo de mistura foi realizado em uma misturadora apropriada da marca Matest com duas velocidades. Inicialmente misturou-se manualmente com o auxílio de uma espátula os materiais secos: areia, pigmento, cimento (composição 2) e metacaulim (composição 3), em uma cuba metálica adequada para o misturador. Posteriormente foi adicionada a cal em pasta e se ativava o misturador, em velocidade baixa, por 15 segundos. Adicionou-se então a água e se prosseguia com a misturadora, na velocidade lenta, por mais 1 minuto e 15 segundos. Realizou-se então uma mistura manual dos materiais da cuba retirando-a da misturadora, com a intenção de que todo o material fosse misturado uniformemente sem acúmulos nas bordas, assim como mostra a Figura 20. Prosseguiu-se com a misturadora, sempre em velocidade baixa, por mais 1 minuto e 30 segundos, podendo seguir com o processo de moldagem.



(a)



(b)

Figura 20 – (a) Misturadora utilizada - (b) Argamassa no momento em que se retira da misturadora para mistura manual

Para os provetes de 40 x 40 x 160mm, utilizou-se uma forma na qual moldava-se três provetes em cada, de acordo com a norma EN 1015-11 (2006). Foram moldados, ao todo, 39 provetes de cada composição, sempre se realizando a moldagem logo após a amassadura, evitando assim variações das características das argamassas e discordância entre resultados.

Na forma aplicava-se um óleo desmoldante em toda a superfície que entra em contato com a argamassa, facilitando o processo de desmoldagem posteriormente. Preencheu-se até a metade dos moldes com a argamassa, submetendo a forma a um equipamento compactador que, seguindo a NP EN 196-1 (IPQ, 2006), aplicou 60 golpes de compactação, seguido do preenchimento total da forma e submissão a mais 60 golpes.

As formas eram então armazenadas em uma bancada nivelada e os excessos de materiais retirados, alisando-se a superfície e limpando-se as bordas. Após um período de 4 a 7 dias, desformavam-se os mesmos, indicando os com um pincel uma nomeação e um código de identificação. Os mesmos foram armazenados então em tabuleiros e destinados a uma câmara para o processo de cura, como mostra a Figura 21.

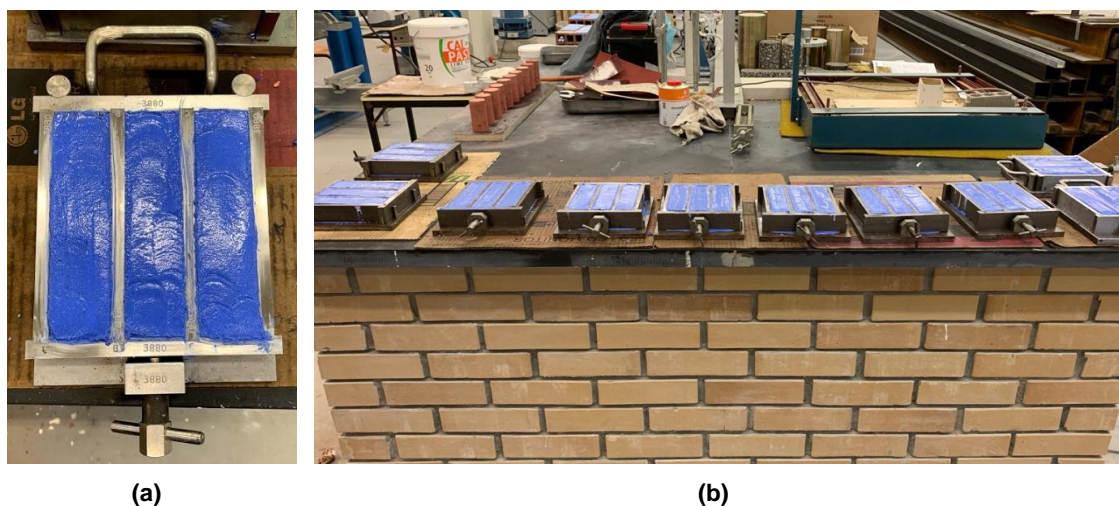


Figura 21 – Formas de provetes prismáticos logo após a moldagem

Realizou-se também a moldagem de provetes em tijolos maciços de 70 x 110 x 230mm, visto a grande utilização dos mesmos em alvenarias e a facilidade de acesso a este material. Foram confeccionados três moldes de cada composição, totalizando 9 tijolos, já seguindo as orientações da norma EN 1015-12 (2000) de ensaios de aderência – que são a finalidade destes provetes.

Os tijolos de utilizados foram todos jateados com areia a fim de que apresentassem maior aspereza e por consequência maior superfície de contato com a argamassa posteriormente. Estes eram lavados no dia anterior a moldagem para se retirar possíveis sujeiras e pó, saturados em água e armazenados em câmara húmida até sua utilização.

Utilizaram-se moldes de madeira confeccionados no próprio laboratório de Materiais de Construção do IPB, a fim de envolver as laterais do tijolo formando uma barreira para a aplicação da argamassa e também um parâmetro de nivelamento, visto que se buscou a mesma espessura de 10cm em todos os provetes. Esta guia foi lubrificada com óleo descofrante, sendo aplicada a argamassa com muitos movimentos a fim de que a mesma seja bem pressionada e se adira ao tijolo. Quando completos, a argamassa foi rasada e alisada. O processo de desmoldagem foi imediato, visto que não se faz necessário manter os moldes. Posteriormente, para facilitar o ensaio de aderência que seria realizado com estes tijolos com argamassa, utilizou-se um molde metálico quadrado de dimensões de 50 x 50mm demarcando dois centros no tijolo - cada um é dividido em dois provetes posteriormente - e o afundando até que o mesmo

atingisse o substrato. A demarcação está mostrada na Figura 22. O quadrado metálico é onde a peça para arrancamento seria colada posteriormente.



Figura 22 – Demarcação de onde a peça para o ensaio de arrancamento será fixada

Todos os tijolos foram então destinados diretamente a cura, na mesma câmara onde os provetes prismáticos foram destinados. Esta câmara é um ambiente climatizado, com temperatura constante de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade de $65 \pm 5 \%$, onde os provetes foram mantidos até serem submetidos a ensaios, como mostra a Figura 23.



Figura 23 – Provetes armazenados na câmara climática logo após moldagem

3.4 Caracterização Física e Mecânica

3.4.1 Ensaio de Massa Volúmica aparente no estado endurecido

Utilizou-se um conjunto de três provetes de cada uma das argamassas e em cada uma das idades de 28, 60, 90, 135 e 180 dias para a realização deste ensaio, baseado na Norma norma EN 1015-10 (, 1999).

Primeiramente os provetes foram medidos com o auxílio de um paquímetro digital em suas três dimensões e em seguida suas massas foram aferidas em uma balança digital com precisão de 0,1 g. Em seguida, através da equação 2 abaixo, calculou-se os valores de massa volúmica aparente no estado endurecido.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Onde:

ρ – Massa volúmica em kg/m³;

m - Massa do corpo de prova em kg;

v – Volume do corpo de prova em m³.

Os resultados médios são apresentados na Tabela 6, assim como os coeficientes de variação das massas volúmicas respectivas.

Tabela 6 – Média aritmética e coeficientes de variação das massas volúmicas das amostras das três composições

Idade [dias]	Composição 1		Composição 2		Composição 3	
	Massa volúmica média [g/cm ³]	Coefficiente de Variação [%]	Massa volúmica média [g/cm ³]	Coefficiente de Variação [%]	Massa volúmica média [g/cm ³]	Coefficiente de Variação [%]
28	1.724	1.184	1.884	0.708	1.591	1.503
60	1.738	0.607	1.872	0.580	1.601	1.661
90	1.633	1.190	1.889	0.458	1.543	0.671
135	1.662	0.587	1.866	0.347	1.496	1.660
180	1.677	0.175	1.856	1.735	1.484	0.830

Todos os provetes foram aferidos em pontos demarcados, evitando assim, erros muito grandes. Porém, os mesmos podem ocorrer devido a pequenas irregularidades nas faces dos provetes e possíveis degradações nas arestas. A Figura 24 mostra a evolução das três composições, assim como as diferenças entre as composições.

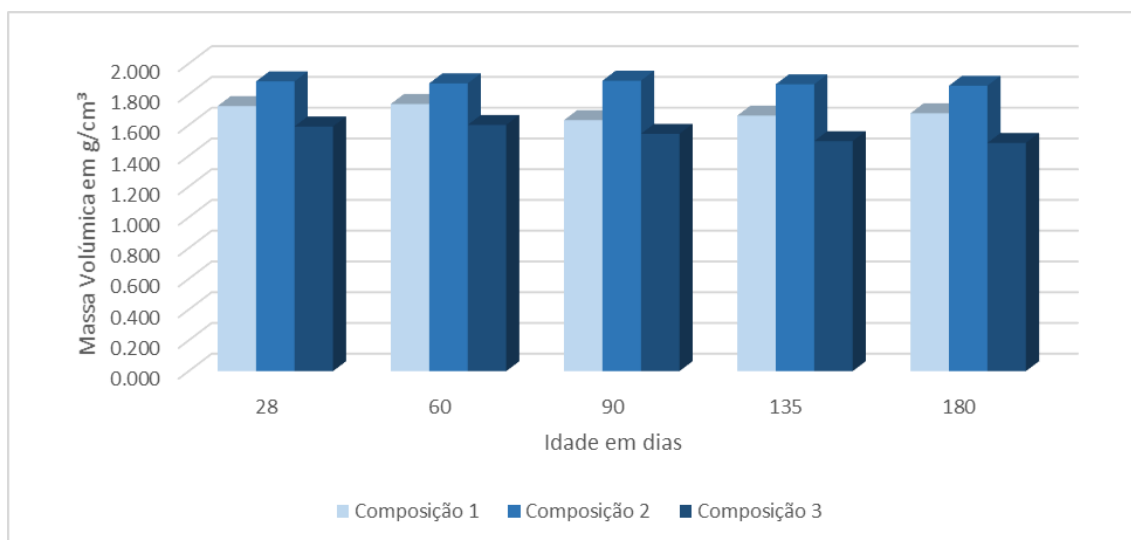


Figura 24 – Massa Volúmica média das três composições em todas as idades ensaiadas

É possível observar valores constantes que não evidenciam variações significativas durante a cura. A composição 2, composta por cimento, apresenta maior densidade, assim como esperado, sendo 11% mais densa que a argamassa de referência. Da mesma forma esperava-se que a composição 3 com metacaulim apresentasse menor valor de massa volúmica, sendo por volta de 9% inferior que a argamassa de referência.

Quando comparados com bibliografias existentes, percebe-se compatibilidade dos resultados encontrados. Moropoulou et al. (2005) encontraram, para argamassas de cal, massas volúmicas entre 1,5 e 1,8 g/cm³, assim como Vargas (2013), que encontra valores próximos a 1,6 g/cm³.

3.4.2 Avaliação da Retração

Com os mesmos provetes utilizados no ensaio de massa volúmica e as mesmas medidas obtidas com o paquímetro digital para as dimensões dos provetes em todas as idades ensaiadas – 28, 60, 90, 135 e 180 –, foi possível

realizar a projeção dos volumes e o comportamento de retração dos mesmos. A Tabela 7 mostra os resultados médios obtidos assim como os coeficientes de variação encontrados, sendo a evolução observada na Figura 25.

Tabela 7 – Média aritmética e coeficientes de variação dos volumes das amostras de todas as composições

Idade [dias]	Composição 1		Composição 2		Composição 3	
	Volume médio [cm ³]	Coeficiente de Variação [%]	Volume médio [cm ³]	Coeficiente de Variação [%]	Volume médio [cm ³]	Coeficiente de Variação [%]
28	250.084	0.596	260.099	0.971	254.399	0.716
60	250.109	0.858	263.387	1.256	252.565	1.962
90	250.420	1.180	261.326	1.326	250.729	0.840
135	252.625	0.965	267.991	0.932	252.457	1.061
180	246.674	0.693	260.586	0.509	253.900	0.692

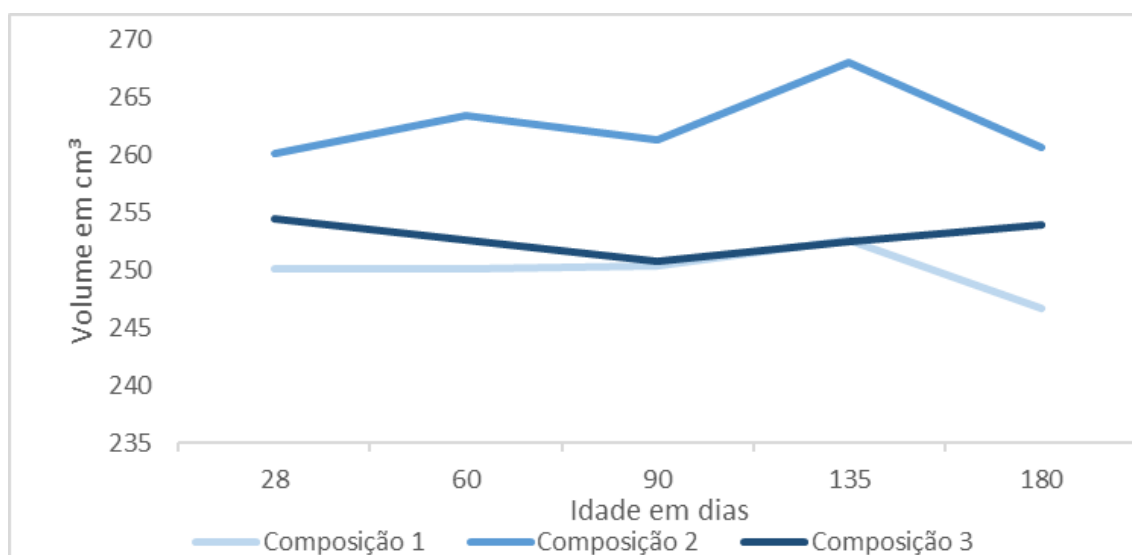


Figura 25 – Evolução dos volumes médios dos provetes das três composições

Os resultados não apresentam linearidade e não são conclusivos em relação a retração das argamassas. Esta irregularidade se deve a possíveis falhas humanas na execução da moldagem, resultando em provetes eventualmente com dimensões milimetricamente diferentes.

Não há uma faixa de retração considerada ideal, segura ou indicada, visto que este parâmetro depende diretamente da solicitação e do tipo de aplicação de cada argamassa. Estudos mostram que retrações ocorrem principalmente nas primeiras horas de secagem, devido à perda de água da

mistura para o ambiente, o que não seria possível identificar somente (Rocha, 2005).

Evidencia-se que a superfície superior dos provetes pode apresentar variações, e por consequência, estas variações são refletidas na dimensão da altura do mesmo. Buscou-se, portanto, a comparação entre as dimensões de comprimento e largura particularmente. Essas comparações foram realizadas entre o tamanho do provete no dia 0 e aos 28 dias, visto que se espera um ligeiro decréscimo por secagem, carbonatação e hidratação principalmente nas idades iniciais. É suposto que o provete adquira as dimensões do molde, sendo estas as dimensões consideradas inicialmente. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Variações das dimensões de comprimento e largura dos provetes das três composições

Idade [dias]		0	28	Variação [%]
Composição 1	Comprimento médio [mm]	160	158.13	1.17
	Largura média [mm]	40	39.54	1.14
Composição 2	Comprimento médio [mm]	160	159.70	0.19
	Largura média [mm]	40	39.88	0.30
Composição 3	Comprimento médio [mm]	160	158.63	0.86
	Largura média [mm]	40	39.52	1.20

Os resultados encontrados mostram a argamassa de composição 1, apenas com cal como ligante, com maior variação, como esperado. A composição 3 apresentou valores inferiores, mostrando ainda um benefício mostrado pelo metacaulim, porém ainda relativamente altos, quando comparados com a composição 2. Isto pode ter ocorrido, segundo Veiga (1998), pelo fato do metacaulim ser um material com alto teor de finos.

Quando comparados com valores de Mendonça (2007) e Oliveira et al. (2013), os valores mostram-se muito altos, sendo indicado pelos autores, nos primeiros 28 dias, variações entre 0.05 e 0.07% em argamassas de reboco.

Portando, estes resultados permitem apenas a comparação entre eles, já que, possivelmente, os moldes já não apresentavam, no momento da moldagem, dimensões perfeitas, tendo conseqüentemente estes valores acima do que a bibliografia apresenta.

3.4.3 Ensaio de Flexão

Realizado com o objetivo de encontrar a resistência mecânica máxima suportada pelos provetes quando submetidos, perpendicularmente, a forças de flexão, este ensaio destrutivo foi realizado seguindo a norma EN 1015-11 (1999). Utilizaram-se três provetes de cada uma das composições nas idades de 28, 60, 90, 135 e 180.

Os provetes foram primeiramente retirados da câmara onde foram armazenados, sendo posteriormente demarcados nas posições corretas para os apoios com o auxílio de um esquadro e um lápis de carpinteiro. A distância entre os apoios foi de 100mm de acordo com a norma referida. Finalmente os provetes ensaiados numa prensa universal do modelo Shimadzu Autograph AGS-X com capacidade máxima de 10 kN, onde eram colocados cuidadosamente na posição correta, como se observa na Figura 26-a. Aplicou-se uma carga com velocidade de 3mm/min até que a mesma provocasse o rompimento, como indicado na Figura 26-b.

O próprio equipamento faz a leitura da máxima carga suportada, e com a mesma é possível se calcular a resistência a flexão em MPa através da Equação 3.

$$R_f = 1,5 \frac{F * l}{b * d^2} \quad (3)$$

Onde:

R_f - Resistência a flexão em MPa;

F - Carga máxima de flexão suportada em N;

l - Distância entre os apoios em mm;

b e d - Dimensões da seção quadrada do provete.

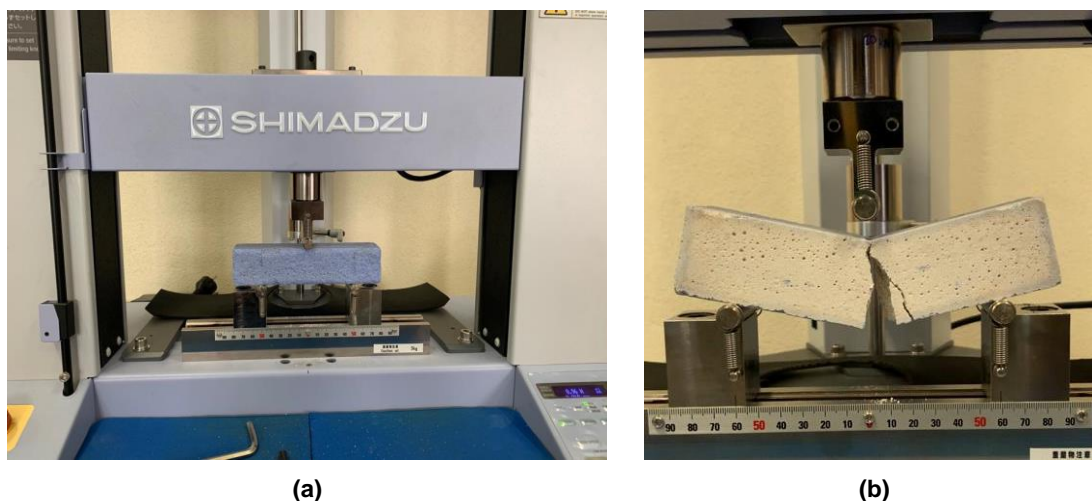


Figura 26 – (a) Provete submetido ao ensaio de resistência à flexão – (b) Provete rompido no ensaio de resistência a flexão

As médias aritméticas dos resultados e os coeficientes de variação, assim como a evolução dos resultados durante as idades, são expostos na Tabela 9 e na Figura 27.

Tabela 9 – Média aritmética e coeficientes de variação das resistências à flexão das três composições

Idade [dias]	Composição 1		Composição 2		Composição 3	
	R _f [Mpa]	Coef. de Variação [%]	R _f [Mpa]	Coef. de Variação [%]	R _f [Mpa]	Coef. de Variação [%]
28	0.473	12.991	2.248	16.089	1.242	2.573
60	0.486	12.508	2.378	7.714	1.495	11.288
90	0.390	6.845	2.580	7.571	1.047	7.797
135	0.377	3.571	2.667	16.048	0.796	3.931
180	0.336	10.809	2.678	10.222	0.630	12.471

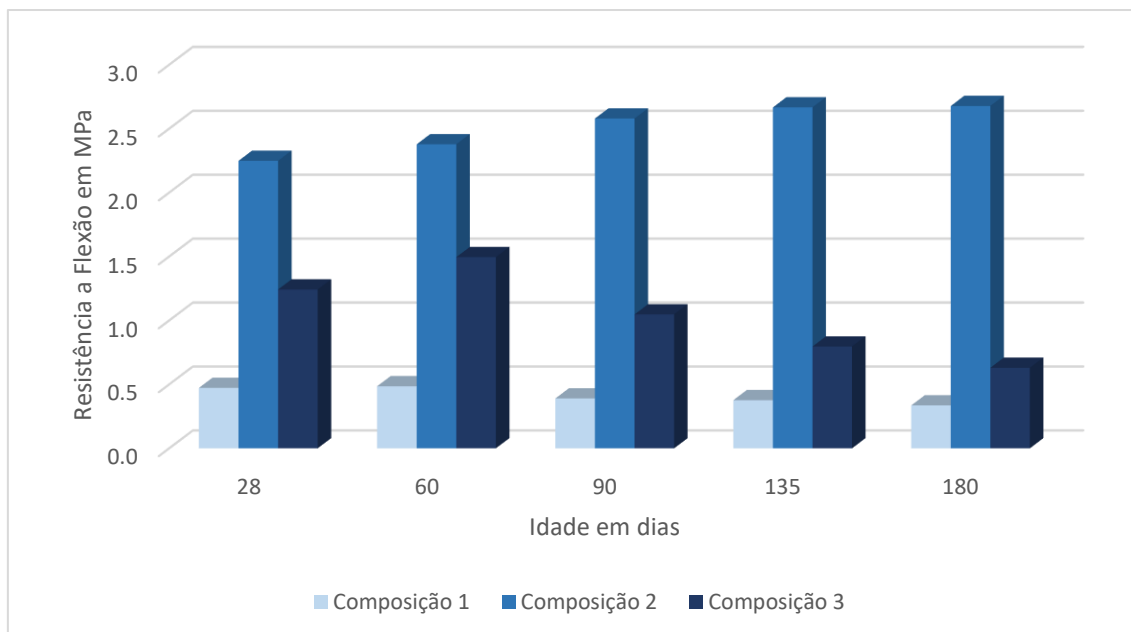


Figura 27 - Evolução das resistências a flexão médias dos provetes das três composições

Os resultados mostram linhas de tendência semelhantes para as composições 1 e 3, ou seja, a primeira, somente à base de cal, e a terceira, com adição de metacaulim, têm um decréscimo nas suas resistências já a partir dos 90 dias, sendo mais acentuado nesta última, que entre os 28 e 180 dias chega a perder quase 50% da sua resistência. A composição 2, com adição de cimento, teve os maiores resultados, como esperado, com pouca variação a partir dos 90 dias, mas sempre com resultados crescentes.

Vargas (2013) constatou a diminuição da resistência à flexão em argamassas de cal principalmente após os 90 dias, sendo esta uma característica já evidenciada na bibliografia existente. Quando o mesmo autor faz a análise com argamassa com adição de metacaulim e substitui em 10% a massa de cal, não há perda de resistência, mas teores acima de 20% já voltam a apresentar esta tendência.

Mergulhão (2014) encontrou, para argamassas de cal e metacaulim na mesma proporção de massa, diminuição das resistências e valores cerca de 38% inferiores aos 180 dias, porém estes podem estar associados ao traço, já que o mesmo utiliza 1:3 de areia e este estudo utiliza 1:2.

Quando aplicadas a alvenarias antigas como rebocos, Veiga (2009) classificou que argamassas com mais de 0,9 MPa de resistência a flexão são inadequadas a esta aplicação, por serem muito rígidas. Portanto, considerando

os valores finais aos 180 dias, apenas as argamassas 1 e 3 são adequadas para esta aplicação, desqualificando a argamassa dois com cimento na composição, assim como esperado.

3.4.4 Ensaio de Compressão

O ensaio de compressão é um ensaio destrutivo, sendo regulamentado pela mesma norma EN 1015-11 (1999). Os provetes utilizados são os mesmos submetidos ao ensaio de resistência à flexão, e, como neste ensaio os provetes são rompidos em duas partes, é possível realizar o dobro de ensaios, portanto, foram realizados 6 ensaios de cada composição nas idades de 28, 60, 90, 135 e 180 dias.

O ensaio consistiu basicamente em inserir o corpo de prova em um equipamento de prensa hidráulica automática do modelo Matest - Mod S212 Multi-Speed Tester com capacidade máxima de 30 kN, com uma das faces laterais para cima, ilustrado na Figura 28.



Figura 28 – Ensaio de resistência à compressão

O equipamento faz a leitura da máxima carga suportada no momento do rompimento e com a mesma é possível calcular a resistência à compressão utilizando a Equação 4.

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Onde:

R_c - Resistência a compressão em MPa;

F - Carga máxima de flexão suportada em N;

A - Área de aplicação da carga em mm²;

As médias aritméticas dos resultados e os coeficientes de variação, assim como a evolução dos resultados durante as idades, são expostos na Tabela 10 e na Figura 29.

Tabela 10 - Média aritmética e coeficientes de variação das resistências à compressão das três composições

Idade [dias]	Composição 1		Composição 2		Composição 3	
	R_c [MPa]	Coef. de Variação [%]	R_c [MPa]	Coef. de Variação [%]	R_c [MPa]	Coef. de Variação [%]
28	0.850	6.739	9.040	6.774	7.394	4.274
60	1.050	9.449	10.557	5.779	9.251	2.087
90	0.975	3.846	10.854	2.616	7.775	6.942
135	0.825	10.497	11.100	1.226	4.116	2.709
180	0.806	7.105	11.307	3.899	3.906	8.028

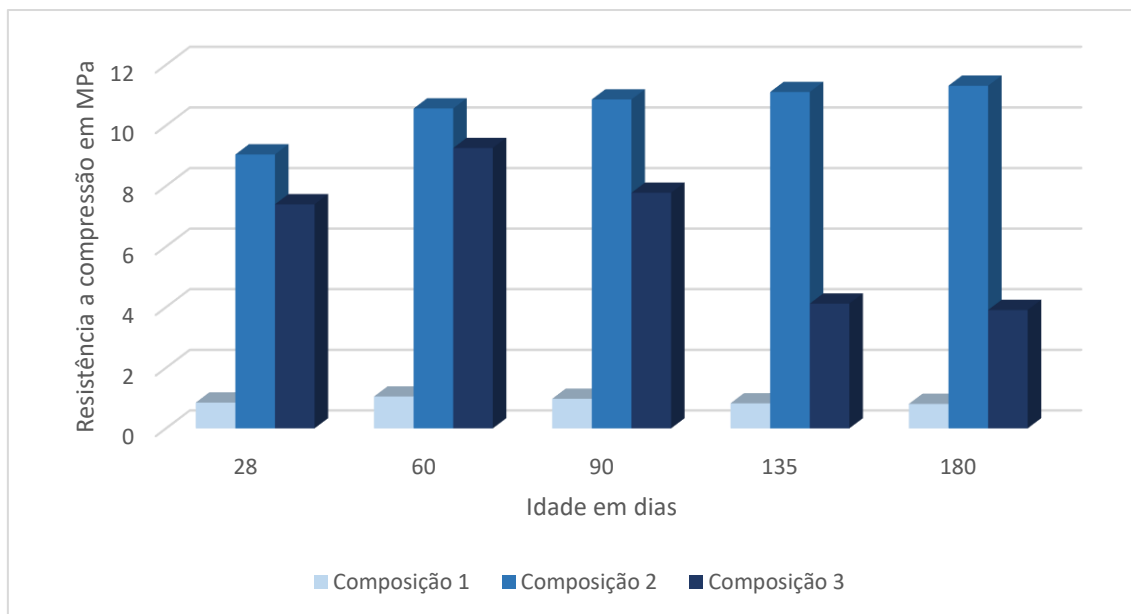


Figura 29 - Evolução das resistências a compressão médias dos provetes das três composições

Novamente o comportamento das composições 1 e 3 são semelhantes, de forma mais acentuada na terceira, porém as duas tendo diminuição no valor de resistência à compressão já aos 90 dias. Entre os 60 (onde atingiram os maiores valores) e 180 dias, a primeira e a terceira argamassas perderam cerca de 23% e 57% das suas resistências à flexão, respectivamente. A segunda argamassa, com cimento, mostra a mesma tendência da resistência à flexão, sendo seus valores acrescidos em cada uma das idades. Entre as idades de 28 e 180 dias, esta teve um aumento de 25% de resistência a compressão.

A argamassa 1, de composição mais comum, é facilmente comparável, e quando confrontada com estudos como o de Agostinho (2008) está na faixa esperada de resistência, com valores próximos de 0.8 MPa. Porém, as outras duas apresentam as tendências esperadas, como por exemplo a argamassa 3 que quando comparada com uma argamassa de proporções iguais de cal e matacaulim no estudo de Mergulhão (2014) diminui quase 50% da sua resistência à compressão entre os 28 e 180 dias.

Novamente cogitando aplicações a alvenarias antigas como rebocos, Veiga (2009) classifica que argamassas com mais de 2,6 MPa de resistência à compressão são inadequadas. Considerando os valores obtidos, apenas a composição 1 é indicada. A adição de cimento e metacaulim pode ser

interessante nessas aplicações quando em teores inferiores, trazendo melhorias mais sutis às argamassas de reboco.

3.4.5 Ensaio de Aderência

Com o objetivo de medir a capacidade das argamassas em estudo em aderirem a um substrato, realizou-se, com baseamento na norma EN 1015-12 (2000), o ensaio de aderência. O mesmo foi realizado com três provetes de cada composição nas idades de 28 e 60 dias, em tijolos cerâmicos, devido a disponibilidade deste material em laboratório.

Cada tijolo com argamassa foi submetido à uma serra hidráulica para ser dividido ao meio, assim como citado anteriormente. A superfície foi então lixada buscando eliminar irregularidades e aumentar a superfície de contato que, posteriormente, iria receber a cola e a placa metálica para realização do ensaio. Após o lixamento, o provete era limpo completamente para se evitar a permanência de partículas prejudiciais a esta colagem. Após seco, utilizou-se a cola Nural 27 da marca Pattex, indicada para materiais como os utilizados, para fixar a placa metálica de 50 x 50mm, sendo a mesma pressionada por alguns segundos e posteriormente submetida a um peso por 24 horas até sua completa secagem e fixação, sendo possível ver os resultados na Figura 30.

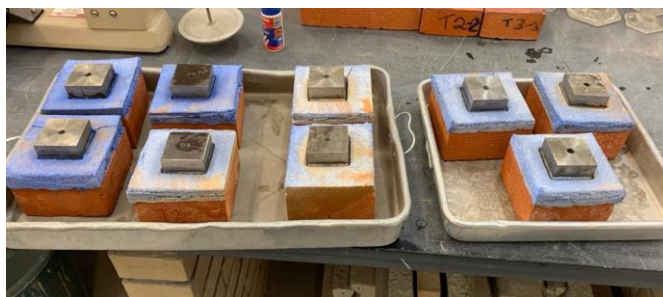


Figura 30 – Provetes preparados para o ensaio de arrancamento

Os provetes foram então submetidos a prensa hidráulica do modelo Shimadzu Autograph AGS-X com capacidade máxima de 10 kN, fixados com pinças próprias para este ensaio. A placa metálica é fixada a máquina através de uma espécie de parafuso, para que a mesma transfira a força aplicada pela máquina, sendo esta uma carga com velocidade de 1mm/min, respeitando assim

o tempo indicado pela norma até que se relate o arrancamento da argamassa do substrato. A Figura 31 exemplifica o ensaio em decurso.



Figura 31 - Ensaio de arrancamento em decurso

O próprio equipamento indica o resultado da carga máxima aplicada, sendo utilizada a Equação 5 para se calcular a resistência ao arrancamento de casa composição.

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad (5)$$

Sendo:

f_u - Resistência ao arrancamento em MPa;

F_u - Carga máxima aplicada em N;

A - Área da placa metálica em mm.

Os resultados obtidos para as médias aritméticas e os coeficientes de variação das resistências, assim como a evolução dos valores, são apresentados na Tabela 11 e na Figura 32.

Tabela 11 - Média aritmética e coeficientes de variação das resistências ao arrancamento das duas primeiras composições

	28 dias		60 dias	
	f_u [MPa]	Coef. de Variação [%]	f_u [MPa]	Coef. de Variação [%]
Composição 1	0.091	6.292	0.199	10.720
Composição 2	0.412	6.714	0.669	11.812
Composição 3	-	-	-	-

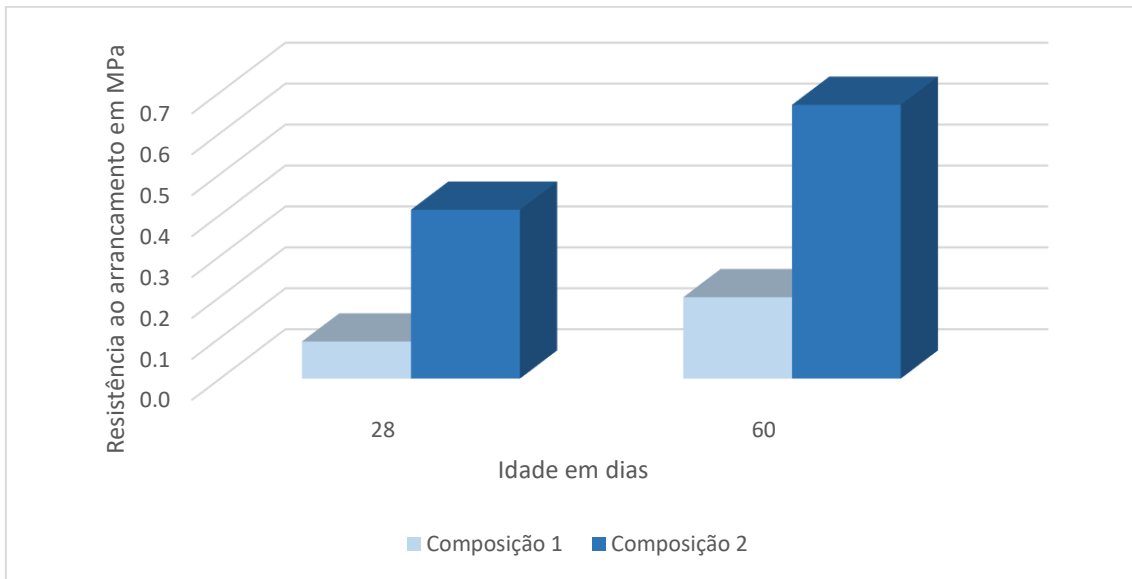


Figura 32 - Evolução das resistências ao arrancamento médias dos provetes das duas primeiras composições

A composição 3 apresentou uma ruptura completa da argamassa ao substrato em metade dos provetes quando submetidas ao ensaio, não sendo possível chegar a resultados conclusivos. A Figura 33 exemplifica o ocorrido.

Este fato pode ter ocorrido evidenciando que altos teores de metacaulim prejudicam na aderência às superfícies cerâmicas, porém este fenômeno não pode ser concluído com este estudo, afinal outros fatores como falhas humanas na aplicação podem ter colaborado.



(a)



(b)

Figura 33 – (a) Forma adequada que a argamassa deve ser arrancada do tijolo – (b) Descolamento completo da argamassa do tijolo constatado na composição 3

Em análise as argamassas 1 e 2, foi possível observar evolução das duas composições nas duas idades, sendo a composição 2, com cimento, mais aderente ao substrato cerâmico, assim como esperado. Ambas aparecem em intervalos adequados para este ensaio. Mendes (2017), por exemplo, encontra o mesmo resultado para resistência ao arrancamento em argamassa semelhante de cal em pasta.

3.5 Conclusões

Após a avaliação dos resultados consegue-se perceber a evidente falta de compatibilidade de argamassas com altos teores de outro ligante como a composição 2 ou uma pozolana, como a composição 3, com aplicações em alvenarias antigas. Essas adições em altos teores fazem com que as características positivas da cal neste tipo de aplicação se percam, tendo, como visto, valores inadequados para as resistências de flexão, compressão e arrancamento. Destaca-se que estes resultados não descartam a possibilidade de utilização destas argamassas em outras aplicações, já que pode haver situações condizentes com as mesmas.

4.1 Considerações Iniciais

As causas de degradação de argamassas de reboco podem ser consideradas exógenas – quando provenientes de fatores externos – e endógenas – quando provenientes de processos de envelhecimento do próprio material. O mais comum é a combinação destes fatores em causas mistas (Veiga, 2009).

Quando se trata do estudo da durabilidade do material, pode-se considerar vários fatores e inúmeras combinações para se avaliar como o mesmo irá se comportar. A própria caracterização comumente realizada em argamassas com ensaios de comportamento mecânico pode indicar alguns comportamentos que geram causas endógenas de degradação. Porém, quando se procura estabelecer os parâmetros das causas exógenas, várias dificuldades são encontradas. A medição de causas exógenas pode ser considerada empírica, se aplicando a situações particulares.

Neste estudo buscou-se caracterizar as consequências das principais causas exógenas climáticas, tais como a precipitação, a variação de temperatura e humidade e a influência de raios ultravioleta. Estes parâmetros foram observados em duas metodologias: a natural e a artificial. Sendo possível, desta forma, relacionar qual o tempo real em que uma máquina de envelhecimento acelerado – utilizado na metodologia artificial – simula em determinado ciclo. E quando se busca essa relação que se encontra tamanha particularidade, já que cada região apresenta características climáticas diferentes e havendo variações na própria região quando comparadas as mesmas estações de anos diferentes. Há também a falta de linearidade entre os parâmetros observados, observando-se que certos aspectos variam com maior intensidade.

Esta relação permite um estudo do comportamento de materiais não aplicados a edificações, visto que em intervenções de manutenção e reabilitação, quando a argamassa já está aplicada, são necessários alguns processos de identificação diferentes para se diagnosticar possíveis anomalias e se caracterizar o estado de manutenção de uma argamassa, obtendo assim

conclusões sobre a sua durabilidade. Utiliza-se então o conceito de severidade da anomalia.

4.2 Envelhecimento Natural

Bragança é um município localizado ao extremo nordeste de Portugal, semi-cercada pela Serra de Montesinho a norte e pela Serra da Nogueira a Oeste. A cidade possui uma altimetria complexa e variante, podendo-se notar, no seu interior, diferenças de 200m de altitude em pequenas distâncias (Menezes, 2017). O espaço urbano é constituído, basicamente, por bairros residenciais de edifícios plurifamiliares e outros com moradias unifamiliares, contendo grandes áreas verdes.

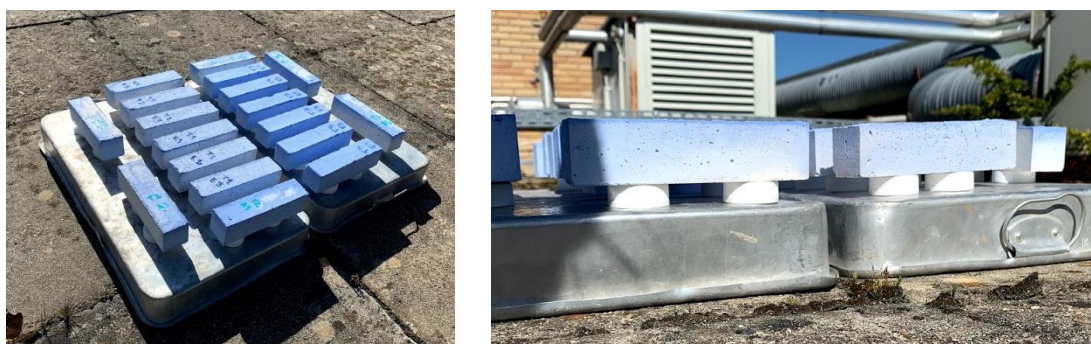
A região não sofre influências marítimas devido as regiões montanhosas que a cercam. A radiação solar é mais intensa no mês de julho e menos intensa no mês de dezembro, assim como a temperatura que atinge Bragança. Os níveis de precipitação são mais concentrados nas estações frias e mais escassos nas estações quentes, caracterizando a cidade com um clima mediterrâneo (Menezes, 2017).

Destaca-se que, mesmo envolvida por regiões agrícolas e florestais, as diferenças climáticas entre a região urbana e rurais são expressivas. Menezes (2017) evidenciou diferenças médias de 1,27°C e máxima de 7,57°C nos verões entre 2012 e 2016. Portanto, a particularidade de dados climáticos, evidenciada entre as fronteiras de um mesmo município, deve ser considerada de forma maximizada quando se trata de regiões ainda mais distantes.

A metodologia de envelhecimento natural de provetes das argamassas desenvolvidas neste estudo consistiu em submeter os mesmos à estação da primavera de 2019, tendo início no dia 21 de março e final no dia 20 de junho, visto que esta estação do ano apresenta grandes variações climáticas. A metodologia optada neste procedimento, assim como os dados climáticos deste período, são apresentados a seguir.

4.2.1 Procedimento de ensaio

Seis provetes prismáticos de 40 x 40 x 160mm de cada uma das três composições foram alocados, na idade de 90 dias, no terraço da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do IPB. Estes foram colocados em posição horizontal, sob pequenos apoios circulares, que permitissem que a face inferior fosse atingida, mesmo que em menor grau, pelas intempéries, além de evitar o acúmulo de água nesta região. A Figura 34 (a) mostra a disposição dos provetes e a Figura 34 (b) mostra os apoios utilizados.



(a) (b)
Figura 34 – (a) Disposição dos provetes no ensaio de envelhecimento natural - (b) Apoios utilizados inferiormente aos provetes

Os provetes não foram rotacionados, com o objetivo de se atingir a maior degradação possível à face superior exposta diretamente às intempéries.

Durante o período da primavera do ano de 2019, de 21 de março a 20 de junho, os provetes permaneceram expostos. Escolheu-se esta estação pelo fato de apresentar, normalmente, grandes variações climáticas no seu decorrer, sendo possível expor os provetes a situações diferentes. Ao final, os três deles de cada composição foram retirados e submetidos a ensaios de flexão e compressão, assim como à análise de algumas propriedades, através de fotografias digitais.

Os outros três provetes de cada composição permanecem expostos com o intuito de possibilitar futuros estudos com idades mais avançadas.

4.2.2 Dados Climáticos da Primavera de 2019 no Município de Bragança

Com o auxílio da Estação meteorológica da Escola Superior Agrária do IPB (Figura 35), localizada próxima ao local de ensaio deste trabalho, foi possível analisar dados climáticos de temperatura, humidade, velocidade do vento, precipitação e radiação incidentes na região urbana do Município de Bragança. Estes dados foram fornecidos pelo Departamento de Ambiente e Recursos Naturais na ESA.



Figura 35 – Estação Meteorológica da ESA-IPB

Os dados recolhidos foram analisados de modo a se considerar as situações mais agressivas e são apresentados a seguir.

A análise das temperaturas médias consistiu em buscar a máxima e mínima de cada dia, gerando a evolução vista na Figura 36. A temperatura máxima registrada foi de 32°C e a mínima de -1°C, mostrando uma amplitude alta em uma mesma estação, caracterizando grande agressividade à argamassa. As linhas de tendência apresentam um aumento esperado, com a aproximação da estação do verão.

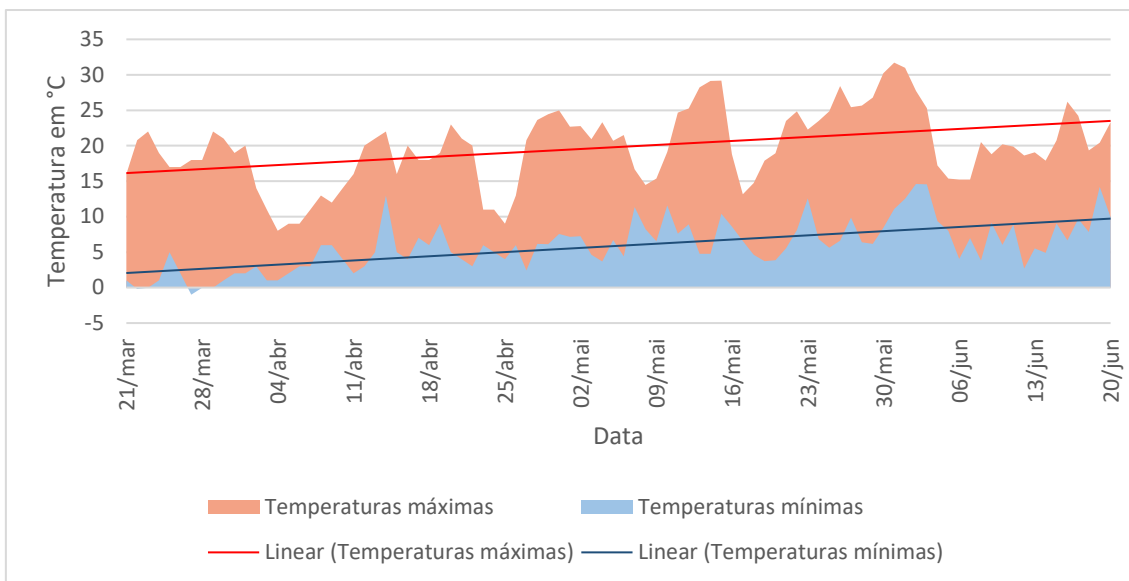


Figura 36 – Temperaturas máximas e mínimas durante a primavera de 2019 de Bragança

A análise e evolução da humidade do ar são apresentadas na Figura 37, sendo possível observar uma média diária máxima de aproximadamente 90.5% e mínima de 25%, sendo novamente observadas situações com grande amplitude.

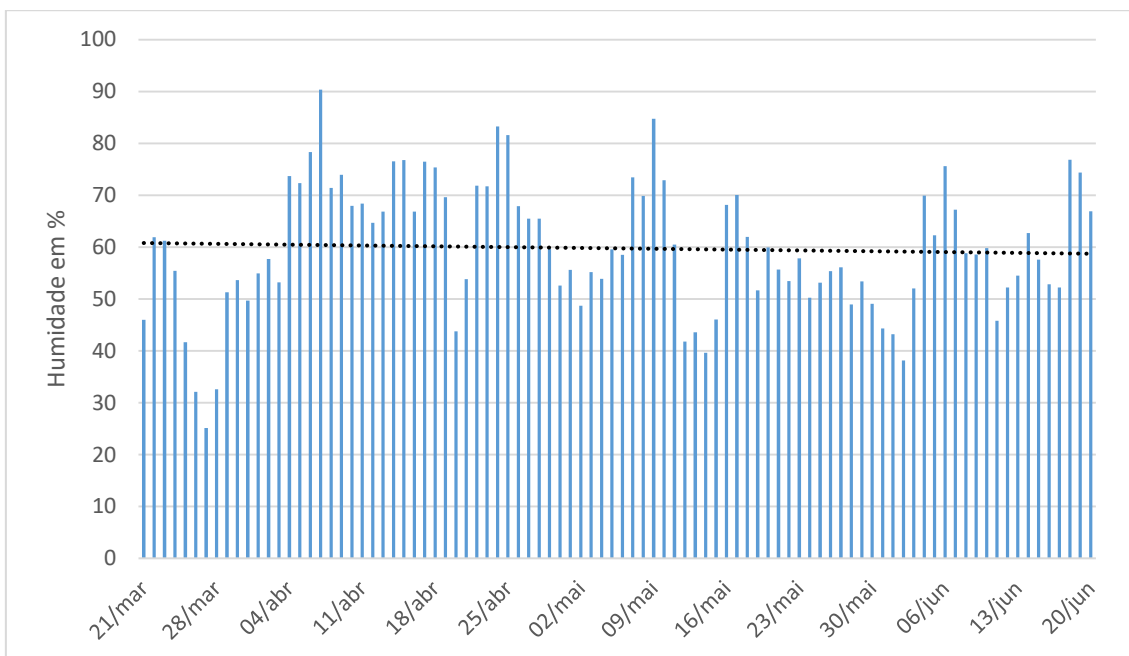


Figura 37 – Humidade média diária durante a primavera de 2019 de Bragança

A análise e evolução da velocidade máxima do vento diária são observadas na Figura 38. Sendo o valor máximo registrado de 8.22 m/s. A linha de tendência apresenta linearidade durante todo o período.

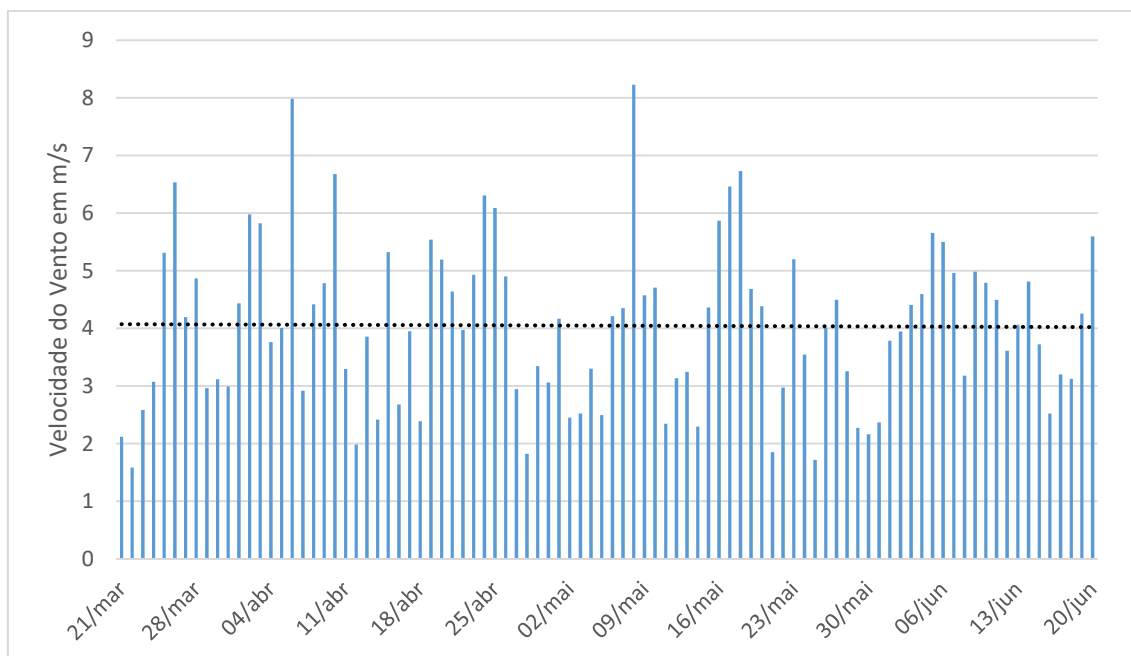


Figura 38 – Velocidade máxima diária do vento durante a primavera de 2019 Bragança

A precipitação ou nível de chuva diário é apresentado na Figura 39. São observados alguns picos chegando ao extremo de 23.4 mm. Porém, é possível observar mais períodos secos durante a estação analisada.

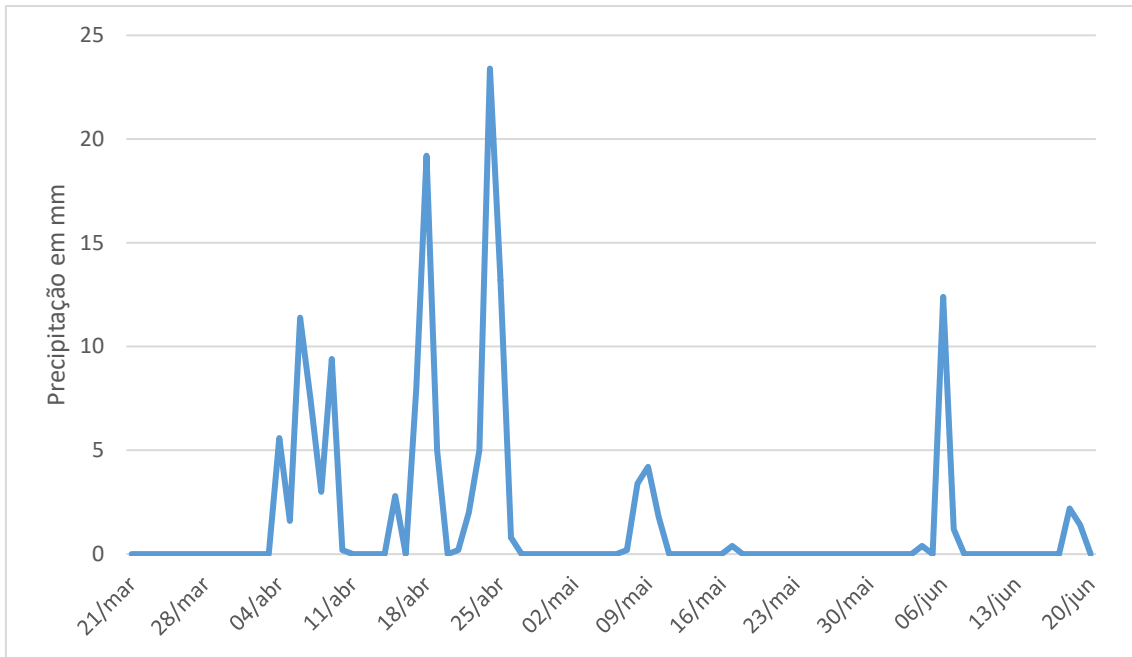


Figura 39 – Precipitação diária durante a primavera de 2019 de Bragança

A radiação máxima diária é apresentada na Figura 40, tendo seu máximo de 943 W/m^2 . A linha de tendência mostra uma incidência crescente, conforme se aproxima a estação do verão.

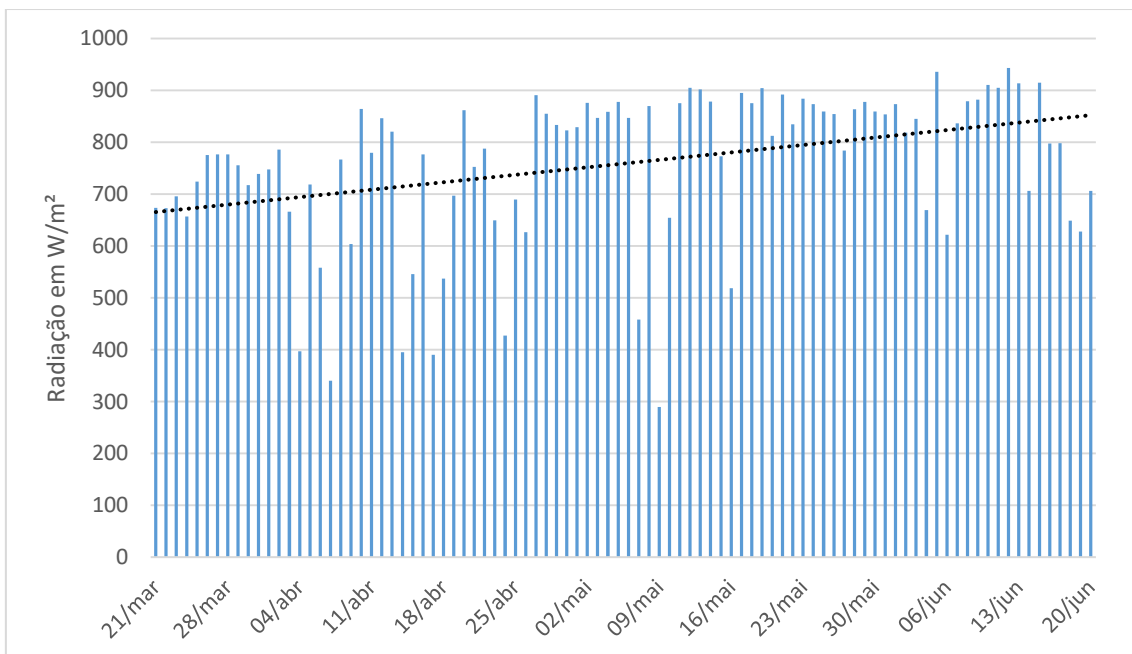


Figura 40 – Radiação máxima diária durante a primavera de 2019 de Bragança

Todos estes dados são conclusivos para evidenciar a variação desta estação, sendo possível perceber amplitudes grandes e máximas elevadas, ou seja, situações críticas aos materiais expostos a essas intempéries. Destaca-se, inclusive, que a primavera de 2019 registrou três situações de neve na região urbana, todos em torno de 1mm de precipitação.

4.3 Envelhecimento Artificial Acelerado

As vantagens de se realizar simulações de envelhecimento artificial acelerada são muitas. Em termos comerciais, produtos testados podem atender aos requisitos do mercado de forma mais eficaz, já que os resultados poderão possibilitar uma melhora do produto quanto a sua qualidade e durabilidade, melhorando a reputação do fabricante e o tornando competitivo. Além disso, essas simulações permitem garantir o desempenho do produto evitando falhas em campo e economia nos custos de materiais.

Por mais singular que possa ser a degradação causada em um material em diferentes lugares com diferentes climas e condições geográficas, os fatores que agredem um material exposto ao ar livre são a luz solar, altas temperaturas e humidade. Quando combinados, podem gerar um dano ainda superior a qualquer um deles isolados. São estes, portanto, os intemperismos principais que se deve aplicar à uma simulação de envelhecimento artificial (Q-Lab Corporation, 2016b). Estes fatores atuam no envelhecimento de um material da seguinte forma:

- Luz Solar: Atinge os materiais de maneiras diferentes, pois cada um pode ter uma sensibilidade espectral diferente. Revestimentos e polímeros tendem a ser mais duráveis e sofrerem maiores danos com ondas de comprimento curto. Materiais menos duráveis, como pigmentos e corantes, podem sofrer danos mais significativos com ondas de comprimento mais longo.
- Alta temperatura: A alta temperatura potencializa os efeitos degradantes da luz solar, já que a temperatura afeta as reações fotoquímicas secundárias. Desta forma, ensaios de intemperismo devem envolver sistema de controle e aumento da temperatura, acelerando o envelhecimento.

- **Humidade:** Humidade relativa do ar, chuva e orvalho são as causas de danos causados por humidade, sendo o último o mais agressivo. Isto pelo fato de um material ao ar livre ficar exposto entre 8 a 12 horas por dia ao orvalho, gerando condensação e absorvendo quantidades relativamente altas de humidade. Já a chuva pode causar choques térmicos aos materiais e erosão mecânica, sendo também muito prejudicial.

4.3.1 QUV Accelerated Weathering Tester

A QUV Accelerated Weathering Tester (Figura 41) é fabricada pelo Q-Lab, empresa fundada em 1956 e especialista em intemperismo simulado. A sede se localiza em Cleveland, Ohio – EUA, porém os equipamentos são fabricados e distribuídos em vários países (Q-Lab Corporation, 2019).



Figura 41 - QUV Accelerated Weathering Tester

Este equipamento é, atualmente, o mais utilizado para ensaios de envelhecimento acelerado. Isso deve-se à sua fácil instalação e utilização, baixo custo de operação e baixa manutenção, além de bons resultados quando comparados com as outras alternativas no mercado. A câmara de intemperismo acelerado QUV é capaz de reproduzir os efeitos causados pela chuva, orvalho e a luz solar, atingindo os materiais ensaiados em poucos dias ou semanas com

as agressões registradas em anos de exposição ao ar livre (Q-Lab Corporation, 2019).

De maneira simplificada, a luz solar é simulada através de lâmpadas especiais UV fluorescentes e a chuva e orvalho são simulados através da condensação de umidade e spray de água.

A máquina possui um suporte padrão de amostras de espessuras de até 20mm (Figura 42 - a), sendo possível a fixação através de anéis metálicos que se adequam a diversas formas de amostras.

O modelo utilizado neste estudo é o QUV/Spray, que possui o sistema *Solar Eye* que faz um preciso e automático controle da intensidade da luz UV, através de um ciclo de realimentação compensando o envelhecimento da lâmpada. Este sistema proporciona irradiância controlada, maior tempo de vida da lâmpada, resultados mais rápidos, maior repetibilidade e reprodutibilidade nos testes.

As lâmpadas fluorescentes UV (Figura 42 - b) são mais estáveis que outros tipos de lâmpada, além de possuírem um espectro consistente e estável, já que este não se altera ao longo da vida útil da lâmpada.



(a)



(b)

Figura 42 – (a) Suporte padrão para amostras da QUV - (b) Lâmpadas fluorescentes UV da QUV

O modelo utilizado foi a lâmpada UVA-340, que possui a melhor simulação da luz solar, com ondas de comprimento curtos de 365nm a 295nm, sendo estes os comprimentos considerados críticos. A Figura 43 apresenta a comparação entre a irradiância e o comprimento de onda entre a lâmpada UVA-340 e a luz solar (Q-Lab Corporation, 2016a).

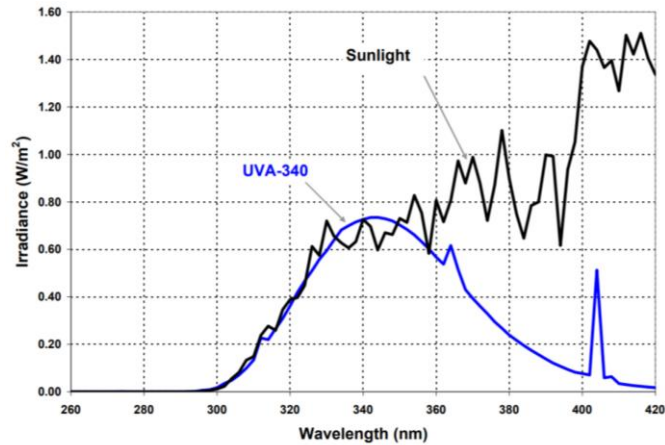


Figura 43 – Lâmpada UVA-340 vs. Luz do Sol – Fonte: (Q-Lab Corporation, 2016a)

A câmara também possui um mecanismo de condensação para simular as agressões da umidade ao ar livre. Ele funciona a partir de um reservatório no fundo da câmara de teste que é aquecido produzindo vapor e gerando um ambiente com 100% de umidade relativa. A diferença de temperatura com o exterior cria um ambiente propício para a condensação de água líquida naturalmente destilada, ou seja, pura, aumentando a reprodutibilidade dos resultados de testes.

Porém, o que caracteriza especificadamente este modelo QUV/Spray é o sistema adicional de spray de água. Períodos curtos de pulverização podem criar choques térmicos e períodos maiores podem ser utilizados para se obter uma erosão mecânica aos materiais em teste. O mesmo detém de um sistema de repurificação de água, reduzindo a utilização desta e os custos gerados por sua utilização. A Figura 44 apresenta o esquema de funcionamento da máquina.

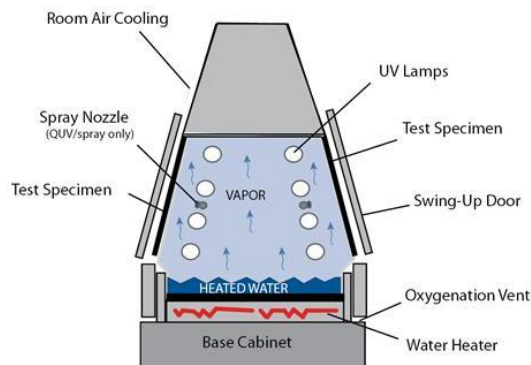


Figura 44 – Esquema representativo do funcionamento da QUV

Poucos são os estudos de envelhecimento artificial acelerado em argamassas, especialmente com a utilização da QUV. Sendo escassas, portanto, referências para os resultados que se busca obter. Entretanto, os estudos com tintas, vernizes e polímeros são mais facilmente encontrados.

O próprio Q-Lab publicou um estudo (Fedor & Brennan, 2011) em que se ensaiou uma série de 15 plásticos e revestimentos diferentes, sendo expostos ao intemperismo acelerado de uma QUV e ao intemperismo externo em três locais diferentes dos EUA: Miami – Flórida, Phoenix – Arizona e Clevelande – Ohio.

Neste estudo, observou-se que a utilização de lâmpadas UVA-340 produziu degradações condizentes com as vistas ao ar livre em todos os 15 materiais. Concluiu-se também a necessidade de aplicar a umidade aos testes, já que quando ausente, a degradação não concordou com a exterior em 8 dos 15 materiais testados, e quando aplicada, o ensaio concordou em todos os materiais testados.

Os autores destacam que os fatores de aceleração do envelhecimento são altamente dependentes e variáveis conforme o material, não havendo um fator que possa ser aplicado unanimemente nesta comparação. Sendo afirmado que, sob uma medida grosseira, a degradação artificial de em média de 1000 horas correspondeu a 1 ano ao ar livre. Este tempo de ensaio, portanto, foi o tempo adotado no presente estudo, sendo o mesmo descrito na sequência.

4.3.2 Procedimento de Ensaio

Três provetes prismáticos de 40 x 40 x 160mm de cada uma das três composições foram submetidos, na idade de 90 dias, à QUV Accelerated Weathering Tester. Não havendo ciclos normatizados pré-estabelecidos para argamassas, buscou-se que o ciclo aplicado fosse adequado a materiais de revestimento, utilizando-se, portanto, o ciclo estabelecido pela norma EN 927-6 (2018), que estabelece o procedimento de ensaio para submissão de tintas e vernizes à intemperismo artificial usando lâmpadas UV fluorescentes e água. O ciclo é descrito na Tabela 12.

Tabela 12 – Ciclo estabelecido pela EN-927-6 e aplicado à este estudo

Passo	Função	Temperatura	Duração	Condição
1	Condensação	$(45 \pm 3)^\circ\text{C}$	24h	-
2	Sub-ciclos 3+4	-	144h sendo 48 ciclos de 3h que consistem nos passos 3 e 4	-
3	UV	$(60 \pm 3)^\circ\text{C}$	2,5h	ponto de ajuste de irradiância $0,89 \text{ W / m}^2\text{nm}$ a 340nm
4	Spray	-	0,5	6 a 7 litros por minuto, com UV desligado

A própria QUV Accelerated Weathering Tester é adequada a testes de tintas, vernizes e polímeros, não sendo disponibilizado originalmente uma adaptação para elementos de espessuras maiores. Desta forma, desenvolveu-se anteriormente a este estudo, na Brigantia-Ecopark, um dispositivo acoplável que permite a submissão destes elementos de dimensões maiores aos ensaios disponíveis pela máquina. A Figura 45 mostra este dispositivo acoplável, assim como as medidas aproximadas do mesmo. Destaca-se que este possui um espelho que permite a reflexão dos raios UV nas faces traseiras dos provetes, assim como orifícios que permitem o escoamento da água projetada pela máquina

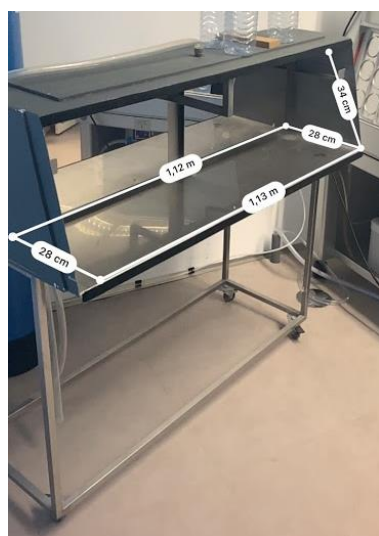


Figura 45 – Dispositivo acoplável à QUV Accelerated Weathering Tester

Portanto os provetes foram posicionados neste acoplamento, de forma vertical e espaçados em cerca de 8cm. Os provetes não foram rotacionados, com o objetivo de se atingir a maior degradação possível à face exposta diretamente aos ciclos de intemperismos.

Durante 6 semanas os provetes foram submetidos a um total de 6 ciclos completos de 168 horas cada, totalizando 1008 horas de ensaio. Ao final, os provetes foram retirados e mantidos em laboratório sob temperatura e humidade ambiente até que atingissem a idade de 180 dias, quando foram então submetidos a ensaios de flexão e compressão, assim como à análise de algumas propriedades, através de fotografias digitais.

4.4 Resultados

4.4.1 Análise aparente dos provetes

A partir da identificação visual dos provetes tornou-se possível a análise de alterações e uniformidade de cor assim como a característica de fissuração. As Figura 47 a 51 apresentam as três composições desenvolvidas neste estudo anteriormente e posteriormente aos estudos de envelhecimento.

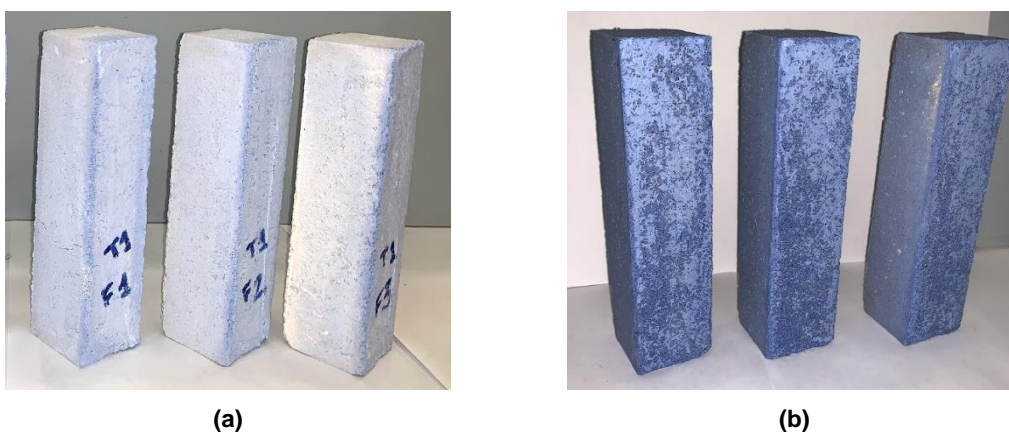


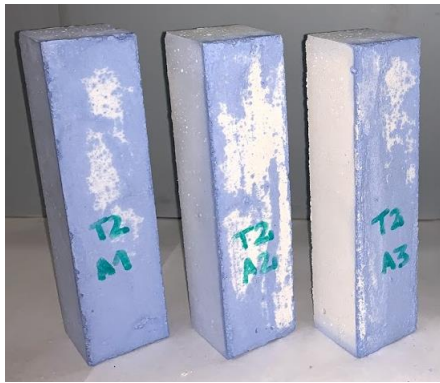
Figura 46 – (a) Composição 1 antes de ser submetida ao envelhecimento natural - (b) Composição 1 após ser sujeita ao envelhecimento natural



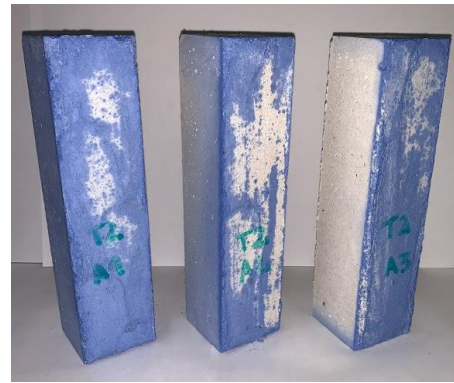
Figura 47 – (a) Composição 1 antes de ser submetida ao envelhecimento artificial - (b) Composição 1 após ser sujeita ao envelhecimento artificial

Nota-se, a partir da Figura 46 e da Figura 47, que nas condições (a), antes da submissão aos ensaios de envelhecimento, que esta composição apresentava a face superior do provete com uma pequena camada mais frágil e com maior incidência de fissuras. Isto se deve, possivelmente, ao fato de ser a face que curou sem a delimitação do molde. Já após aos ensaios de envelhecimento, se percebe que esta camada se desgasta, principalmente no ensaio artificial, onde chega-se a notar grandes áreas superficiais onde se perde a característica colorida.

Pode-se concluir que o processo de secagem movimentava o pigmento, e, como nos ensaios de envelhecimento os provetes foram várias vezes humedecidos e secados, esta movimentação se acentuou. Nos provetes submetidos à metodologia natural (Figura 46-b), de forma mais uniforme, e na metodologia artificial criando as áreas despigmentadas. Este também pode ter sido a razão pelo qual se observou o acentuamento da intensidade da cor após os ensaios.

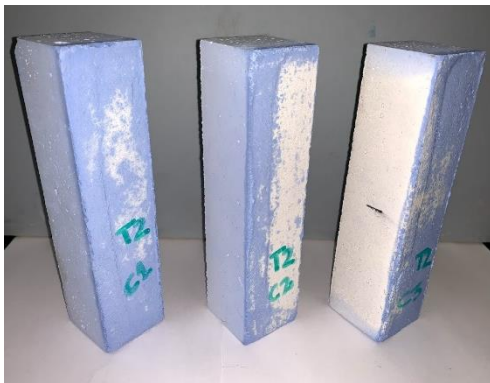


(a)



(b)

Figura 48 - (a) Composição 2 antes de ser submetida ao envelhecimento natural - (b) Composição 2 após ser sujeita ao envelhecimento natural



(a)



(b)

Figura 49 - (a) Composição 2 antes de ser submetida ao envelhecimento artificial - (b) Composição 2 após ser sujeita ao envelhecimento artificial

A partir da Figura 48 e da Figura 49, dos provetes com cimento, observa-se que anteriormente aos ensaios de envelhecimento, nas condições (a), eles já apresentavam grandes áreas despigmentadas. E, assim como nos provetes da composição 1, a movimentação dos pigmentos também pode ser observada. Nos provetes submetidos ao envelhecimento natural (Figura 5148-b) de forma pouco acentuada, permanecendo as mesmas áreas despigmentadas e em na Figura 49 (b), onde os provetes foram submetidos à metodologia artificial, observou-se que esta movimentação foi maior, com mais áreas despigmentadas. Isto pode ter ocorrido, possivelmente, ao fato da degradação destes provetes ter sido muito mais acentuada, sendo possível observar, inclusive, a perda da superfície lisa que esta composição apresentava anteriormente.

Observou-se que esta composição não apresentava fissuras nem na camada superior dos provetes, o que se deve ao bom comportamento mecânico do cimento presente nesta composição.

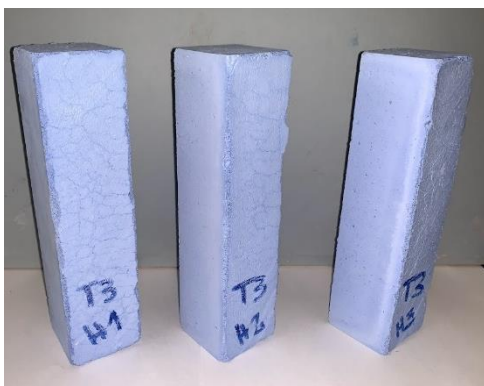


(a)



(b)

Figura 50 - (a) Composição 3 antes de ser submetida ao envelhecimento natural - (b) Composição 3 após ser sujeita ao envelhecimento natural



(a)



(b)

Figura 51 - (a) Composição 3 antes de ser submetida ao envelhecimento artificial - (b) Composição 3 após ser sujeita ao envelhecimento artificial

A composição 3 apresentada na Figura 50 e na Figura 51 é a que apresenta maior grau de fissuração, de forma mais acentuada na face superior do provete que cura sem a delimitação do molde. Esta foi a composição com maior número de provetes com fissurações que comprometiam sua integridade, sendo constatado quebra de alguns deles já no processo de desmolde.

A pigmentação desta composição é a que se apresentou de melhor forma, não sendo notado áreas despigmentadas mesmo após os ensaios de envelhecimento, permanecendo com intensidade semelhante de cor.

É possível observar que assim como nas outras composições, o envelhecimento artificial foi muito mais rigoroso, fazendo com que os provetes apresentados na Figura 51(b) não apresentassem mais a camada com fissurações superficiais.

A partir da Figura 52 é possível observar que nas composições 1 e 2 o pigmento não permaneceu uniforme no seu interior, sendo, portanto, conduzido

às faces no processo de secagem e evaporação da água. Já na composição 3, com metacaulim, o provete permaneceu todo pigmentado e com maior intensidade.

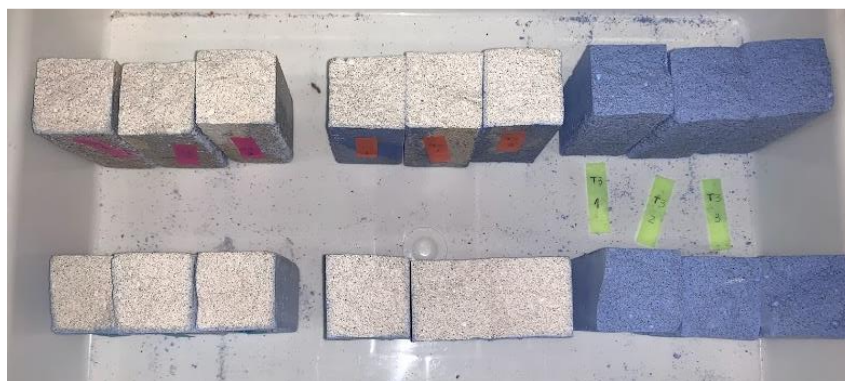


Figura 52 – Face interior dos provetes submetidos ao envelhecimento das duas metodologias, sendo os três primeiros provetes respectivos a primeira composição, seguidos por três provetes da composição 2 e 3 respectivamente.

4.4.2 Análise da variação de massa

Todas as massas dos provetes foram aferidas anteriormente e posteriormente à submissão aos ensaios de envelhecimento, com o auxílio de uma balança com precisão de 0,1g. Os resultados obtidos são observados na Tabela 13, sendo a condição 1 o envelhecimento natural e a condição 2 o envelhecimento artificial.

Tabela 13 – Massas médias e coeficientes de variação anteriormente e posteriormente aos ensaios de envelhecimento

	Idade [dias]	Composição 1		Composição 2		Composição 3	
		Massa [g]	Coeficiente de Variação [%]	Massa [g]	Coeficiente de Variação [%]	Massa [g]	Coeficiente de Variação [%]
Condição 1	90	418.010	0.877	488.330	0.866	390.873	0.455
	180	407.197	1.528	484.207	1.050	381.743	2.603
Condição 2	90	411.550	1.513	487.653	1.344	392.717	0.967
	180	389.857	1.602	482.710	0.286	373.560	0.651

Foi possível, a partir destes resultados, observar a variação apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 – Variações em percentagem das massas dos provetes após os ensaios de envelhecimento

	Composição 1	Composição 2	Composição 3
	Varição entre os 90 e 180 dias [%]	Varição entre os 90 e 180 dias [%]	Varição entre os 90 e 180 dias [%]
Condição 1	-2.587	-0.844	-2.336
Condição 2	-5.271	-1.014	-4.878

Pode-se observar, que assim como o esperado, os provetes perderam massa ao decorrer de ambos os ensaios, sendo a metodologia artificial muito mais agressiva, tendo resultados nas composições 1 e 3 superiores à 100% a mais de perda de massa.

4.4.3 Análise da variação do volume

Todos os provetes foram medidos anteriormente e posteriormente à submissão dos ensaios de envelhecimento, com o auxílio de um paquímetro digital em suas três dimensões. Os resultados obtidos são observados na Tabela 15, sendo a condição 1 o envelhecimento natural e a condição 2 o envelhecimento artificial.

Tabela 15 - Volumes médios e coeficientes de variação anteriormente e posteriormente aos ensaios de envelhecimento

	Idade [dias]	Composição 1		Composição 2		Composição 3	
		Volume [cm³]	Coefficiente de Variação [%]	Volume [cm³]	Coefficiente de Variação [%]	Volume [cm³]	Coefficiente de Variação [%]
Condição 1	90	252.390	1.849	261.802	1.179	253.792	2.199
	180	246.799	0.991	259.881	0.937	249.454	1.293
Condição 2	90	248.795	1.520	257.239	1.782	251.888	0.380
	180	237.787	1.429	253.751	0.308	243.787	1.429

Foi possível, a partir destes resultados, observar a variação apresentada na Tabela 16. Tabela 14

Tabela 16 - Variações em percentagem dos volumes dos provetes após os ensaios de envelhecimento

	Composição 1	Composição 2	Composição 3
	Varição entre os 90 e 180 dias [%]	Varição entre os 90 e 180 dias [%]	Varição entre os 90 e 180 dias [%]
Condição 1	-2.215	-0.734	-1.709
Condição 2	-4.424	-1.356	-3.216

Assim como na avaliação da variação de massa, a variação de volume se apresentou negativa. Os provetes submetidos ao envelhecimento artificial mostraram perda superior de 85% em todas as composições quando comparados aos provetes submetidos ao envelhecimento natural.

A falta de proporcionalidade entre as grandezas de massa e volume se deve, principalmente, a degradações desiguais nas faces dos provetes, não sendo possível transcrever esta falta de linearidade na medição do volume dos provetes.

4.4.4 Ensaio de Flexão

Com o mesmo procedimento explanado no capítulo 3.4.3, submeteram-se os provetes ao ensaio de flexão após os ensaios de envelhecimento, aos 180 dias. A Tabela 17, além dos resultados obtidos nos provetes ensaiados com a mesma idade e mantidos em câmara climática até o momento do ensaio – condição de referência –, os resultados obtidos em ambas as metodologias – condição 1 para envelhecimento natural e condição 2 para envelhecimento artificial – a fim de se comparar as três situações.

Tabela 17 - Média aritmética e coeficientes de variação das resistências à flexão nas três condições

	Composição 1		Composição 2		Composição 3	
	R _f [Mpa]	Coef. de Variação [%]	R _f [Mpa]	Coef. de Variação [%]	R _f [Mpa]	Coef. de Variação [%]
Condição de referência	0.336	10.809	2.678	10.222	0.630	12.471
Condição 1	0.473	9.682	2.715	7.303	1.054	9.284
Condição 2	0.753	13.762	4.729	1.846	1.862	16.666

A evolução é observada na Figura 53.

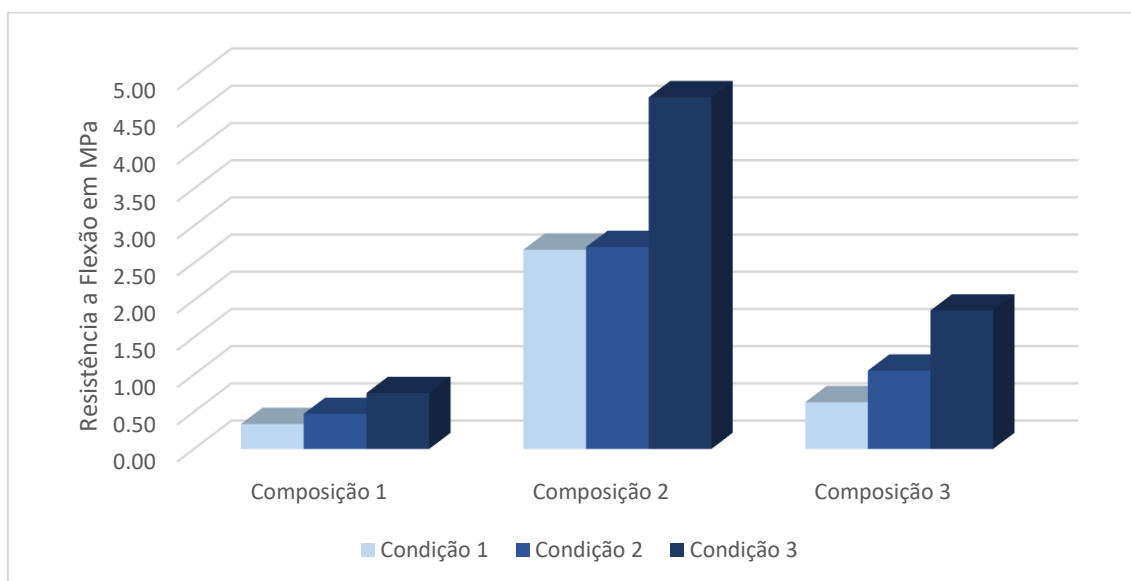


Figura 53 - Evolução das resistências à flexão médias dos provetes nas três condições

Observou-se, a partir dos resultados, que mesmo com o envelhecimento superior dos provetes da composição 2 e 3, ambas tiveram um acréscimo das resistências à flexão, ainda superior no envelhecimento artificial. Este fator pode ser explicado pelas vezes em que os provetes foram hidratados, seja naturalmente ou pelo equipamento, acelerando e potencializando o processo de carbonatação das argamassas.

4.4.5 Ensaio de Compressão

Com o mesmo procedimento explanado no capítulo 3.4.4, submeram-se os provetes ao ensaio de compressão após os ensaios de envelhecimento, aos 180 dias. A Tabela 18, além dos resultados obtidos aos provetes ensaiados com a mesma idade e mantidos em câmara climática até o momento do ensaio – condição 1 –, os resultados obtidos em ambas as metodologias – condição 2 para envelhecimento natural e condição 3 para envelhecimento artificial – a fim de se comparar as três situações.

Tabela 18 - Média aritmética e coeficientes de variação das resistências à compressão nas três condições

	Composição 1		Composição 2		Composição 3	
	R _c [MPa]	Coef. de Variação [%]	R _c [MPa]	Coef. de Variação [%]	R _c [MPa]	Coef. de Variação [%]
Condição 1	0.806	7.105	11.307	3.899	3.906	8.028
Condição 2	1.125	6.667	13.383	2.551	6.092	8.471
Condição 3	1.500	8.660	14.154	13.559	7.527	4.453

A evolução é observada na Figura 54.

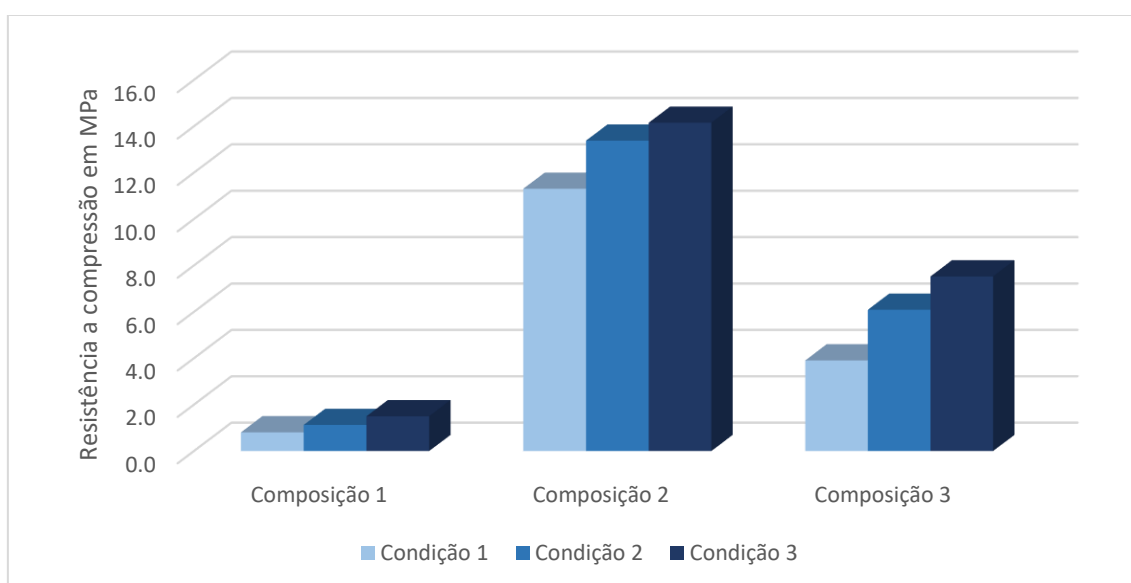


Figura 54 - Evolução das resistências à compressão médias dos provetes nas três condições

Assim como nos resultados de resistência à flexão, é possível observar o crescimento dos resultados quando comparadas as condições de laboratório, exposição ao ar livre e ação de envelhecimento acelerado. Justifica-se também com um processo de carbonatação acelerado e potencializado pelas vezes em que os provetes submetidos às duas metodologias de envelhecimento foram hidratados.

4.5 Conclusões

Ao tentar encontrar um fator de comparação entre as duas metodologias se concluiu que a quantidade de variáveis não permite a afirmação de um fator

exato. As principais variáveis detectadas na metodologia de envelhecimento natural são os próprios fatores geográficos e climáticos em que se realiza o ensaio, como latitude e longitude, assim como as variações randômicas que podem ocorrer em determinado período. Até mesmo a poluição pode influenciar na degradação das argamassas. Na metodologia artificial, pode-se citar as variáveis do ciclo aplicado ao ensaio, assim como a temperatura aplicada e a distribuição de potência espectral da fonte de luz. O próprio material ensaiado tende a apresentar particularidades, sendo o ideal, portanto, a comparação com caráter singular, sem atestar um fator como absoluto. Este estudo, por conseguinte, permite concluir apenas singularidades dos ensaios realizados.

Quando comparada a agressividade das intempéries nas duas metodologias, por exemplo, percebe-se que a situação de envelhecimento artificial é muito mais agressiva, não somente pelas situações em que as variáveis foram máximas como também pelo resultado obtido com os provetes. A Tabela 19 apresenta as situações extremas em ambas as metodologias. Destaca-se que a leitura de radiação na metodologia de envelhecimento natural resulta em W/m^2 , não sendo este o principal fator para se analisar a agressividade da radiação, e sim o comprimento de onda. Porém, mesmo não se obtendo este dado, o envelhecimento artificial foi muito mais prejudicial aos provetes e evidenciou que, provavelmente, o comprimento de onda real não equivaleu ao simulado – e prejudicial – entre 295nm e 365nm.

Tabela 19 – Comparações das situações extremas das duas metodologias

Metodologia	Temperatura máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humidade média máxima [%]
Envelhecimento Natural	32	-1	90.33
Envelhecimento Artificial	60	21	100

O comportamento da pigmentação pode-se concluir satisfatória apenas na composição 3, com metacaulim, já que se apresentou uniforme em todo o interior e exterior do provete. As duas primeiras composições apresentam movimentação do pigmento e descontinuidade da uniformidade do mesmo,

assim como perda de tonalidade. Porém, esta composição apresentou a maior incidência de fissuras, mesmo que com resultados de resistência mecânica satisfatórios.

A porcentagem média de massa perdidos na metodologia natural e na metodologia artificial foram de 0.38% e 0.75%, respectivamente. Já os resultados de perda de volume mostram médias de 1.92%, e 3.72%. A variação entre as metodologias foi, portanto, de 99.90% a mais de perda de massa e 93.56% a mais de perda de volume quando submetidas ao ensaio de envelhecimento artificial. Esta pequena discordância entre essas dimensões é decorrente da degradação não ser perfeitamente uniforme em todas as faces do provete, além da ocorrência de pequenas falhas na medição de volume. Podendo se considerar, nestas características, que houve um fator aproximado de 1:2 de variação.

Já quando se analisa os valores encontrados de resistência mecânica, os resultados não expressam percas a partir dos ensaios de envelhecimento, e sim ganhos, provenientes de uma aceleração e potencialização no processo de carbonatação. Sendo inviável concluir, através de um fator de comparação de envelhecimento, como as argamassas estudadas se comportam.

5.1 Considerações Finais

As argamassas de cal, utilizadas há milhares de anos, apresentam qualidades evidenciadas neste estudo, principalmente quando aplicadas ao campo de manutenção e reabilitação de edifícios. As mesmas apresentam compatibilidade com alvenarias antigas, já que são mais porosas e deformáveis, com boa trabalhabilidade e durabilidade. Porém, a utilização do cimento, tão crescente no último século, fez com que neste campo da reabilitação, se perdessem características essenciais às construções antigas, através não só do surgimento de anomalias como a perda de características históricas. Portanto, conclui-se a importância de se conhecerem os materiais utilizados e cada tipo de aplicação, já que características tão diferentes podem ser requeridas e adquiridas.

Através das composições desenvolvidas se evidenciou justamente esta diferença entre os materiais e novamente as vantagens das argamassas de cal frente as argamassas com grandes adições de outros ligantes ou pozolânicas, como o cimento e o metacaulim. Para estas duas encontraram-se valores inadequados para resistência à flexão, compressão e arrancamento, quando aplicadas em alvenarias antigas.

A utilização do pigmento de caráter artificial, buscando-se dar as argamassas uma característica colorida muito importante culturalmente em várias regiões de Portugal, apresentou-se ineficiente. A intensidade de cor foi perdida em períodos relativos curtos de tempo, assim como a movimentação do mesmo e o aparecimento de regiões totalmente despigmentadas, apresentando melhor resultado apenas quando em contato com metacaulim.

Quanto ao estudo do envelhecimento, permitiu-se concluir a quantidade de causas de degradação climáticas influenciadoras e as particularidades das mesmas. Ao se comparar uma estação do ano com um ciclo de cerca de 1000 horas de envelhecimento artificial, foi necessário levar em consideração a ação das temperaturas, humidades relativas do ar, velocidade do vento, precipitação e radiação. Assim como as variáveis aplicadas pelo ciclo artificial, de

temperatura, humidade e radiação. Os resultados apresentam duas linhas de tendência, já que quando comparados a degradação dos materiais como a perda de massa, volume e pigmentação, os provetes perdem mais quando submetidos ao envelhecimento artificial, porém quanto às suas resistências mecânicas, as mesmas são acrescidas nos ensaios de envelhecimento artificial.

Não se concluiu, portanto, um fator de comparação absoluto entre as duas metodologias de envelhecimento, mas se concluiu que em todos os aspectos a metodologia de envelhecimento artificial acelerado foi mais agressiva. Esta se mostrou um método muito eficiente para se simular as degradações reais que as argamassas de reboco sofrem, dando em tempos muito mais curtos resultados que permitem a busca por materiais melhores e mais duráveis.

5.2 Trabalhos Futuros

As propostas a seguir apresentam eventuais discussões que não obtiveram respostas no estudo presente, assim como possibilidades de aprofundamento do tema.

- Avaliar o comportamento destas argamassas com porcentagens de metacaulim e cimento mais baixas;
- Realizar os mesmos ensaios para idades de cura maiores;
- Realizar ensaios de aderência de argamassas com diferentes teores de metacaulim em diferentes substratos, para verificar se há melhor aderência que a verificada ao tijolo cerâmico;
- Realizar ensaios de velocidade de propagação das ondas ultrassônicas, permeabilidade à água sob pressão e aderência ao suporte em provetes submetidos ao envelhecimento, sendo possível obter mais conclusões sobre a durabilidade das argamassas;
- Realizar simulações de envelhecimento após o período de cura em imersão por no mínimo 28 dias, com ciclos alternados de molhagem e secagem, e então avaliar as características de resistência mecânica;

- Avaliar o comportamento de pigmentos naturais como azurite em argamassas com composições semelhantes, realizando eventual comparação com pigmentos artificiais.

REFERÊNCIAS

- Agostinho, C. S. A. (2008). *Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea*.
- Aguiar, J. (2005). *Cor e a cidade histórica: estudos cromáticos e conservação do Património*.
- Alvarez, J. A. S. (2007). *Alvenarias e Argamassas anteriores ao Império Romano*.
- Canellas, S. S., & Dabreu, J. C. (2005). *Reciclagem de pet, visando a substituição de agregado miúdo em argamassa..*
- Carvalho, C. R. (2011). *Estudo da cor e de argamassas de revestimento de edifícios do Centro Histórico de Tomar*.
- Catarino, L., & Gil, F. P. S. C. (2014). *Pigmentos de origem mineral: caso de estudo dos revestimentos do Centro Histórico de Coimbra*.
- Coelho, A. Z., Pacheco, T. F., & Said, J. (2009). *A Cal na Construção*.
- Coutinho, A. (1988). *Fabrico e Propriedades do Betão*.
- Coutinho, J. de S. (2002). *Agregados para argamassas e betões*.
- Coutinho, J. de S. (2006). *Materiais de Construção 2 - Ligantes e Caldas*.
- EN 197-1 (2000): *Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements*, European Committee for Standardization
- EN 927-6 (2018): *Paints and varnishes – Coating materials and coating systems for exterior wood – Part 6: Exposure of wood coating to artificial weathering using fluorescent UV lamps and water*
- EN 998-1 (2016): *Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar*, European Committee for Standardization
- EN 1015-2 (1999): *Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk Sampling of mortars and preparation of test mortars*, European Committee for Standardization
- EN 1015-3 (1999): *Methods of test for mortar for masonry - Part 3 : Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*, European Committee for Standardization
- EN 1015-10 (1999): *Methods of test for mortar for masonry - Part 10 : Determination of dry bulk density of hardened mortar*, European Committee for Standardization
- EN 1015-11 (2006): *Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*, European Committee for Standardization
- EN 1015-12 (2000): *Methods of test for mortar for masonry - Part 12: Determination of adhesive strength to hardened rendering and plastering*

- mortars on substrates*, European Committee for Standardization
- Fedor, G. R., & Brennan, P. J. (2011). *Technical Bulletin LU-8035 Comparison Between Natural Weathering and Fluorescent UV Exposures*
- Frazão, C. M. V., & Gonçalves, D. M. F. (2014). *Caraterização Experimental das propriedades de durabilidade de argamassas de base cimentícia reforçada com fibras sintéticas.*
- Freitas, V. P. de, & Alves, S. M. (2008). *Monografias APFAC sobre Argamassas de Construção.*
- Gil, M. (2009). *A Conservação e Restauro da pintura mural nas fachadas alentejanas: estudo científico dos materiais e tecnologias antigas da cor.*
- Gil, M., Ribeiro, I., Conservação, D. De, Ciências, F., Gil, M., Carvalho, M. L., ... Ribeiro, I. (2006). *Caições caseiras e profissionais no Alentejo: Identificação e diferenciação dos pigmentos tradicionalmente empregues.*
- Gomes, A., Pinto, A. P. F., & Pinto, J. B. (2013). *Cimento Portland e Adições.*
- Gomes, F. A. correia M. (2009). *Argamassas pré doseadas para rebocos de edifícios antigos.*
- Gonçalves, A. E. N. (2010). *Estudo da influência dos factores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio in-situ.*
- Haach, V., Vasconcelos, G., & Mohamad, G. (2010). Influence of the Mortar on the Compressive Behavior of Concrete Masonry Prisms. *Revista Da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões*, 18, 79–84.
- Hradila, D., Grygara, T., Hradilova, J., & Bezdička, P. (2003). Clay and iron oxide pigments in the history of painting. In *Applied Clay Science* (Vol. 22).
- Klosowski, B. (2019). *Caracterização de Caldas de Injeção a Base de Cal Hidráulica para Consolidação de Alvenarias de Pedra.*
- Luso, E. C. P. (2012). *Análise Experimental de Caldas à Base de Cal para Injeção de Alvenaria Antiga.*
- Martins, J. G., & Assunção, J. S. (2004). *Sebenta da disciplina de Materiais de Construção I - Argamassas e Rebocos.*
- Martins, J. G., & Paiva, P. A. (2006). *Ligantes.*
- Medina, E. A. (2011). *Pozolanicidade do metacaulim em sistemas binários com Cimento Portland e hidróxido de cálcio.*
- Mendes, C. A. da C. (2017). *Análise Comparativa de Argamassas de Cal.*
- Mendonça, B. de V. (2007). *Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas.*
- Menezes, G. de O. (2017). *Análise do Clima Urbano da Cidade de Bragança (2012-2016): Estudo da Ilha de Calor .*
- Mergulhão, D. N. F. H. (2014). *Argamassas de cal aérea e metacaulino Influência*

do traço , da cura marítima e da idade.

Miller, B. M. M. (1999). *Lime*.

Monte, M. B. M., Paiva, P. R. P., & Trigueiro, F. E. (2003). Técnicas alternativas para modificação do caulim. *Rio de Janeiro: Cento de Tecnologia Mineral (CETEM), Série Rochas e Minerais Industriais*.

Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., & Campus, Z. (2005). *Reverse engineering: a proper methodology for compatible restoration mortars*.

Noé, P. (2012). *Os Impérios do Espírito Santo na Ilha Terceira*.

NP 4220 (1993): *Pozolanas para betão*, IPQ

NP EN 196-1 (2006): *Métodos de ensaio de cimentos Parte 1: Determinação das resistências mecânicas*, IPQ

NP EN 459-1 (2011): *Cal de construção. Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade*, IPQ

NP EN 993-1 (2000): *Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração*, IPQ

NP EN 1097-3 (2002): *Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios*, IPQ

NP EN 1097-6 (2003): *Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água*, IPQ

NP EN 13139 (2005): *Agregados para argamassas*, IPQ

Oliveira, R., Brito, J. De, & Veiga, R. (2013). *Incorporação de agregados finos de vidro em argamassas*.

Q-Lab Corporation. (2016a). *BOLETIM TÉCNICO LU-8160 - Uma Escolha de Lâmpadas para o QUV*.

Q-Lab Corporation. (2016b). *Technical Bulletin LU-8009 - QUV & Q-SUN*.

Q-Lab Corporation. (2019). *Q-Lab Corporation - Product Summary L-4061*.

Rocha, G. G. N. (2005). *Caracterização microestrutural do metacaulim de alta reatividade. (December 2015)*, 134.

Rodrigues, A. (2016). *Argamassa Industrial para a Reabilitação de Rebocos Antigos*.

Rodrigues, T. (2014). *Comportamento Mecânico de Argamassas de Reboco com Regranulado Negro de Cortiça*.

Santos, A. R., & Veiga, R. (n.d.). *Argamassas compatíveis para edifícios antigos*.

Scremim, C. B. (2019). *Potenciais materiais para construção civil à base de sedimentos marítimos e resíduos da produção de cal*.

Selmo, S. M. S. (1989). *Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para*

revestimento externo de fachada de edifícios.

- Siddique, R., & Klaus, J. (2009). Applied Clay Science Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete : A review.
- Silva, N. G., & Campiteli, V. C. (2008). *Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia.*
- Sousa, A. J. C. de. (2010). *Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento em alvenarias.*
- Souza, J. S. C. (2013). *Estudo de argamassa à base de cal e metacaulim para intervenções em revestimento das edificações históricas.*
- Tavares de Assunção, L., Ferreira de Carvalho, G., & Santos Barata, M. (2007). *Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e demolição como agregado.*
- Taylor, P., Carran, D., Hughes, J., Leslie, A., Kennedy, C., Carran, D., Kennedy, C. (2011). *A Short History of the Use of Lime as a Building Material Beyond Europe and North America.*
- Vargas, D. L. F. de. (2013). *Argamassas de cal aérea e metacaulino: A influência do traço e da cura.*
- Veiga, M. do Rosário. (2005). *Comportamento de rebocos para edifícios antigos : exigências gerais.*
- Veiga, M. do Rosário. (2006). *Intervenções em revestimentos antigos: conservar, substituir ou... destruir.*
- Veiga, M. do Rosário. (2009). *Conservação e Reparação de Revestimentos De Paredes De Edifícios Antigos - Métodos e Materiais.* In *Colecção: Teses e Programas de Investigação LNEC*
- Veiga, M. do Rosário. (1998). *Comportamento de argamassas de revestimento de paredes - Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação.*
- Veiga, M. do Rosário. (2009). *As Argamassas na Conservação.*
- Velosa, A., Siddique, R., Cachim, P., Santos Silva, A., Camões, A., Costa, V. P. S., Veiga, M. do R. (2013). *Metacaulino em Portugal.*

ANEXO A – FICHA TÉCNICA DA CAL EM PASTA CALCIDRATA



DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO N.º CP

Código: DSG.80.1
Edição: 01
Data: 10-07-2019

1

1. Código de identificação único do produto-tipo:

Cal em Pasta EN 459-1 CL 90-S PL

2. Utilização(ões) prevista(s):

Preparação de ligante para argamassa para alvenaria, rebocos e estuques, para produção de outros produtos de construção e para utilizações de engenharia civil;

3. Fabricante:

Calcidrata – Indústrias de Cal, S.A.
Estrada 5 de Outubro, Pé da Pedreira, 2025-161 Alcanede
Telefone: 243 40 90 30 | Fax: 243 40 90 39 | email: calcidrata@calcidrata.pt | web: www.calcidrata.pt

5. Sistema(s) de avaliação e verificação da regularidade do desempenho (AVCP):

Sistema 2+

6A. Norma harmonizada:

EN 459-1:2010

Organismo(s) notificado(s):

APCER – Associação Portuguesa de Certificação, organismo notificado n.º 0866

7. Desempenho(s) declarado(s):

Características essenciais:	Desempenho	Especificação Técnica
Expansibilidade (mm)	Satisfatório	EN 459-1:2010
Água livre (%)	> 45 e < 70	
Cal disponível (% em massa)	≥ 80	
SO ₃ (% em massa)	≤ 2	
CO ₂ (% em massa)	≤ 4	
CaO + MgO (% em massa)	≥ 90	
MgO (% em massa)	≤ 5	

O desempenho do produto identificado acima está em conformidade com o conjunto de desempenhos declarados.

A presente declaração de desempenho é emitida, em conformidade com o Regulamento (UE) n.º 305/2011, sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado acima.

Assinado por e em nome do fabricante:

Pé da Pedreira, 10 de Julho de 2019

António M. da Piedade Batista
Administrador



ANEXO B – FICHA TÉCNICA DO CIMENTO BRANCO PORTLAND

LUMEN CEM II/B-L 32,5R (br) CIMENTO BRANCO PORTLAND DE CALCÁRIO

Locais de Produção
Fábrica Cibra-Pataias

Embalagem
Granel
Sacos de 25kg

Certificação
Cimento certificado segundo a NP EN 197-1.
Certificado de Conformidade 0856-CPD-0142.



Composição do Produto (Núcleo Cimento)	65% a 79% Clínquer Portland 21% a 35% Calcário 0% a 5% Outros Constituintes
Principais Características	Cimento de cor branca, com um índice de reflectância superior a 80%, apresentando um menor calor de hidratação e melhor trabalhabilidade que um cimento CEM I da mesma classe de resistência. Desenvolvimento rápido de resistências iniciais (maior resistência inicial). Resistências finais dentro dos valores da classe indicada (resistências aos 28 dias).
Principais Aplicações	Da prefabricação industrial a pequenos trabalhos de reparação, o Cimento Branco Portland de Calcário CEM II/B-L 32,5R (br) é indicado para uma grande variedade de trabalhos, conjugando-se bem com revestimentos nobres, como pedras, cerâmicas e cantarias. O cimento CEM II/B-L 32,5R (br) é principalmente recomendado para: <ul style="list-style-type: none">• fabrico de betão armado e não armado de elevado efeito arquitetónico branco ou com adição de pigmentos de cor (colorido);• fabrico de argamassas industriais (argamassas prontas, cimento-cola), argamassas de restauro e reparação;• fabrico de todo o tipo de argamassas;• prefabricação ligeira e fabricação de artefactos à base de cimento branco.
Advertências Específicas	Na sua utilização em betões aparentes de elevado efeito arquitetónico e para garantir o acabamento final pretendido, são exigidos cuidados acrescidos: <ul style="list-style-type: none">• na formulação de betões e fabricação (dosagem água/ligante, qualidade e tipo de inertes, adjuvantes);• na aplicação (programação e faseamento de betonagens, qualidade das cofragens e dos descofrantes, etc);• na desmoldagem, processo de cura e proteção final; (Para informação detalhada consulte o apoio Técnico-Comercial da SECIL) A melhor trabalhabilidade possibilita a redução da dosagem de água de amassadura, garantindo uma relação água/cimento compatível com as condições de aplicação.
Informação de Segurança	O manuseamento do cimento em pó pode causar irritação dos olhos e vias respiratórias. Quando misturado com água pode ainda causar sensibilização da pele. Aconselha-se o uso de máscara anti-poeiras, de óculos para proteção dos olhos e luvas e fato de trabalho para proteção das mãos e pele. Para informação detalhada consulte a Ficha de Dados de Segurança.

Última atualização: maio 2018 - Versão 6



CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado (1)
Teor de Sulfatos (em SO ₃)	NP EN 196-2	≤ 3,5%
Teor de Cloretos	NP EN 196-2	≤ 0,10%

(1) As percentagens são referentes à massa de cimento.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

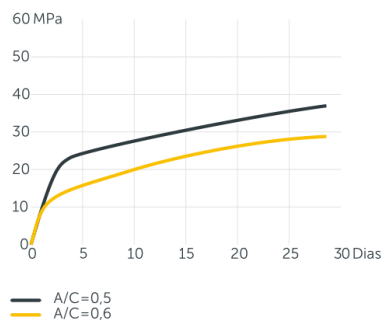
Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado
Princípio de Presa	NP EN 196-3	≥ 75 min
Expansibilidade	NP EN 196-3	≤ 10 mm

CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Resistência à Compressão (MPa)

Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência	NP EN 196-1
2 dias	7 dias	28 dias	
≥ 10	-	≥ 32,5 e ≤ 52,5	

Valores médios indicativos da resistência à compressão de betão fabricado com 350 kg/m³ de cimento CEM II/B-L 32,5R (br)



Direção Executiva Portugal Cimentos
Av. Eng.º Duarte Pacheco
19, 7º, 1070-100 Lisboa

Tel - 217927100

Direção Nacional de Vendas
Tel - 217 927 100

Vendas Norte
Tel - 226 078 410

Vendas Centro
Tel - 244 779 500

Vendas Sul
Tel - 212 198 280

Vendas Técnicas
Tel - 212 198 280

Cimento Branco
Tel - 244 779 500

Última atualização: maio 2018 - Versão 6

ANEXO C – FICHA TÉCNICA DO METACALIM BURGESS OPTIPOZZ



BURGESS OPTIPOZZ

CALCINED ALUMINUM SILICATE

BURGESS OPTIPOZZ® is a high reactivity metakaolin produced by a patented process. Burgess OPTIPOZZ increases chemical resistance and durability, and reduces shrinkage. An OPTIPOZZ mix design will yield higher initial and long term strength. Additionally, the use of OPTIPOZZ will result in reduced efflorescence. Our strict process control allows for better whiteness and a clean color with outstanding batch to batch consistency. The use of OPTIPOZZ will eliminate the undertone associated with other pozzolans.

BURGESS OPTIPOZZ® is classified as a CLASS N POZZOLAN under ASTM C-618.

Typical Physical Properties

Visual Color Cream White

Particle Structure Amorphous

325 Mesh Residue % 0.09

Average Particle Size Sedigraph 1.4 μ

Free Moisture % Max 0.5

Specific Gravity 2.2

pH (20% Solids) 4.0

Typical Chemical Properties

Silica (SiO₂) % 51.0 – 52.4

Alumina (Al₂O₃) % 42.1 – 44.3

Iron Oxide (Fe₂O₃) % 0.30 – 0.50

Titanium Dioxide (TiO₂) % 1.56 – 2.50

Issue Date: CD00F

The suggestions and data contained in this bulletin are based on data which are believed to be reliable. They are offered in good faith, to be applied according to the user's own best judgment. Since operating conditions in the processor's plant are beyond our control, Burgess Pigment Company cannot assume responsibility for any risks or liabilities which may result from the use of its products. Likewise, no liability is assumed for any claimed patent infringement occurring by reason of any method or manner of use, or any product made by a consumer. While the Burgess Pigment Company guarantees the quality of its products, it cannot give any warranty regarding the results obtained by the use thereof.

P.O.Box 349 | 525 Beck Blvd. | Sandersville, GA 31082 USA | 1.800.841.8999 USA Only
478.552.2544 | Fax 478.552.4274 | info@burgesspigment.com



ANEXO D – FICHA TÉCNICA DO PIGMENTO AZUL ULTRAMAR - LACRILAR



FICHA TÉCNICA

Data: 08/02/2019

IDENTIFICAÇÃO DA SUBSTÂNCIA/MISTURA E DA SOCIEDADE/EMPRESA

AZUL ULTRAMAR

Designação: **LACRILAR – Comércio de Artigos de Limpeza, Lda.**

Local: **Carangueija – Ameal - 2565-641 Ramalhal** E-mail: **geral@lacrilar.pt**

Tel: **261 915 190 / 912 598 284** Fax: **261 915 191**

Contribuinte: **502616970**

DESCRIÇÃO E UTILIZAÇÃO

Pigmento usado na confeção de tintas, ou no setor da construção atuando como corante para misturar com o cimento, gesso, cal, tintas, etc. Muito usado na construção para fazer marcações, sendo colocado no batedor.

Aplicação: Deverá diluir o corante em água num recipiente à parte e só depois misturar no produto para ficar homogéneo. Adicione 3% de pigmento sobre a quantidade de cimentos ou argamassas que utilizar e para tintas e cal deve colocar de 10 a 11% de pigmento (valores aprox.).

Rendimento médio: Depende do produto que vai ser pigmentado, ou seja, deverá ser aplicado os valores de rendimento médio do cimento, cal, gesso, tintas, etc.

Benefícios: Boa resistência aos raios UV e não altera o tempo de presa da argamassa.

EMBALAGEM E ARMAZENAGEM

100 gr; 500 gr; 3,5kg. Deve ser armazenado em local fresco, seco e ventilado.

CERTIFICADO DE ANÁLISES

Intensidade de cor (%)	100 ±5
Matéria solúvel em água (%) m/m	< 0,7
Enxofre livre (%)	< 0,3
Matéria volátil a 105°C (%) m/m	< 1,0
Resíduos (filtro 325 mesh) (%) m/m	< 0,1
Absorção de óleo (%) m/m	25 – 45
Valor de pH	5,5 – 7
Resistência à temperatura	300°C
Solidez à luz	5
Solidez à migração	4

As informações contidas nesta ficha técnica, têm um valor meramente orientativo, pois foram obtidas em condições específicas bem determinadas. Dadas as inúmeras condicionantes que intervêm na aplicabilidade industrial, já que este não se encontra dentro do nosso controlo, aconselhamos um ensaio prévio antes da sua utilização. Para mais informações, os nossos serviços técnicos estarão à vossa inteira disponibilidade.