



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

**Desenvolvimento de argamassa ecoeficiente à base
de conchas de ostras**

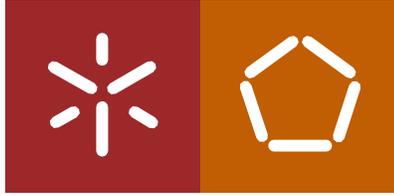
Rita Beatriz Vilhena Monteiro

**Desenvolvimento de argamassa ecoeficiente
à base de conchas de ostras**

Rita Beatriz Vilhena Monteiro

Universidade do Minho |

Abril de 2022



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rita Beatriz Vilhena Monteiro

Desenvolvimento de argamassa ecoeficiente à base de conchas de ostras

Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Aires Fernando Camões de Azevedo

Coorientador(a):
Professora Doutora Rute Maria Gonçalves Eires

Abril de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicado.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositórioUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Agradeço humildemente a quem contribuiu de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho, o qual não seria possível sem o vosso apoio.

Meus sinceros agradecimentos ao Prof. Aires Camões, que desde o princípio se mostrou disposto na colaboração do trabalho e compartilhou ao longo do processo seus conhecimentos, entusiasmo, além do incentivo e apoio.

À Prof. Rute Eires, pela cooperação no desenvolvimento do trabalho, sobretudo pelo seu interesse sobre o tema e conhecimento agregado. Obrigada pelo apoio e disponibilidade.

Ao Eng. Carlos Jesus, que contribuiu consideravelmente na campanha experimental. Agradeço ao auxílio prestado em laboratório, apoio e amizade.

Aos Professores Manuel Ribeiro e Élda Fernandes, da Escola de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, pelo contributo dos seus conhecimentos e assistência.

Agradeço, em especial, aos meus pais e irmãos que mesmo distantes, me deram seu apoio, carinho, incentivo e forças para a conclusão do mestrado e ao longo da minha jornada em outro país.

Ao meu namorado e amigos mais próximos, pelo suporte e incentivo, que foram fundamentais.

Obrigada à Universidade do Minho e aos colaboradores, de modo geral, pelo contributo.

Meu muito obrigada a todos!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Desenvolvimento de argamassa ecoeficiente à base de conchas de ostras

O consumo de energia, a extração das matérias-primas e a produção de resíduos são preocupações recorrentes que advém, maioritariamente, da indústria da construção. Tendo isso em vista, a procura e investigação por materiais ecológicos, provenientes de fontes renováveis e da reutilização de resíduos para a produção de materiais de construção, tem sido uma alternativa a suprir a necessidade do uso desses produtos insustentáveis. A calcinação, sendo uma reação química de decomposição térmica, é uma técnica muito empregada para o fabrico de alguns materiais, a qual demanda grande quantidade de energia, além da emissão de dióxido de carbono (CO_2). Materiais esses abundantemente empregados na indústria da construção, como a cal viva e o cimento, com este último a corresponder a cerca de 8% das emissões de CO_2 entre todas as atividades humanas, segundo dados atuais.

Nesse sentido, busca-se investigar o uso de matérias-primas não convencionais, a partir da reciclagem, como proposta à substituição total ou parcial de materiais pouco ecológicos. As ostras, consumidas em todo o mundo, no qual 70% da sua composição é constituída pela concha, órgão rígido de difícil biodegradação e de pouco ou nenhum valor comercial, é frequentemente descartada a céu aberto ou mesmo em lixo comum. Provoca-se, assim, danos ao meio ambiente, uma vez que em grandes quantidades, causam também mau cheiro, liberam toxinas e a proliferação de microrganismos que pode desencadear riscos à saúde humana. Assim, as conchas surgem como uma opção ao desenvolvimento de uma argamassa ecoeficiente, considerando que a sua composição química é essencialmente formada por carbonato de cálcio (CaCO_3), regularmente associado à produção de materiais como a cal viva, cal hidratada e o filler calcário, os dois primeiros dotados de propriedades aglomerantes, a ser possivelmente empregue como substituto do ligante tradicional no fabrico de argamassa. Foram estudadas as reações químicas e físicas, além da capacidade de resistência mecânica e de durabilidade da argamassa à base de conchas de ostras. O contributo de propriedades por materiais convencionais poderá ser considerado, em quantidades reduzidas, tendo em vista o foco na sustentabilidade do produto.

Palavras-chave: Materiais; Conchas; Ostras; Ecoeficiente; Argamassa.

ABSTRACT

Development of eco-efficient mortar based on oyster shells

Energy consumption, the extraction of raw materials and the production of waste are recurrent concerns that arise, mainly, from the construction industry. With this in mind, the search and investigation for ecological materials, from renewable sources and the reuse of residues for the production of construction materials, has been an alternative to supply the need to use these unsustainable products. Calcination, being a chemical reaction of thermal decomposition, is a technique widely used for the manufacture of some materials, which requires a large amount of energy, in addition to the emission of carbon dioxide (CO₂). These materials are widely used in civil industry, such as quicklime and cement, with the latter accounting for 8% of CO₂ emissions among all human activities, according to current data.

In this sense, we seek to investigate the use of unconventional raw materials, from recycling, as a proposal for the total or partial replacement of less ecological materials. Oysters, consumed around the world, in which 70% of their composition is made up of the shell, a hard organ that is difficult to biodegrade and has little or no commercial value, is often discarded in the open air or even in common garbage. This causes damage to the environment, since in large quantities they also cause a bad smell, in order to release toxins and the proliferation of microorganisms that can trigger risks to human health. Thus, shells appear as an option for the development of an eco-efficient mortar, given that their chemical composition is essentially formed by calcium carbonate (CaCO₃), regularly associated with the production of materials such as quicklime, hydrated lime and limestone filler, with binding properties, possibly to be used as a binder in the manufacture of mortar. The chemical and physical reactions will be studied, in addition to the mechanical resistance and durability capacity of the mortar based on oyster shells. The contribution of properties by conventional materials can be considered, in reduced quantities, in view of the focus on the sustainability of the product.

Keywords: Materials; Shell; Oyster; Eco-efficient; Mortar.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
ÍNDICE.....	vii
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Quadros.....	xiv
Lista de Tabelas.....	xv
Índice de Símbolos.....	xvi
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação.....	1
1.2 Objetivos e Metodologia	2
1.3 Organização da dissertação	4
2. Revisão da Literatura.....	5
2.1 As ostras	5
2.1.1 Características gerais	5
2.1.2 Cultura e produção das ostras	7
2.1.3 Composição química e parâmetros físicos das conchas	11
2.1.4 Descarte e reciclagem das conchas.....	13
2.1.5 Aplicações práticas dos resíduos de conchas de ostras na construção civil.....	14
2.2 Argamassas ecoeficientes	17
2.2.1 Generalidades	17

2.2.2	Classificação das argamassas	19
2.2.3	Propriedades e utilização.....	21
2.2.4	Argamassas à base de conchas de ostras.....	22
2.2.2.1	RESÍDUOS DE CONCHAS DE OSTRAS COMO SUBSTITUTO DE MATERIAIS AGLUTINANTES.....	22
2.2.2.2	RESÍDUOS DE CONCHAS DE OSTRAS COMO SUBSTITUTO DE AGREGADOS	24
3.	Materiais, composições e procedimentos de ensaio.....	26
3.1	Introdução	26
3.2	Materiais utilizados	26
3.2.1	Conchas de ostras	26
3.2.2	Ácido Acético em Vinagre	29
3.2.3	Água	31
3.2.4	Adições	32
3.2.4.1	Cal viva	32
3.2.4.2	Cimento	33
3.2.4.3	Resíduo de tijolo cerâmico	35
3.2.4.4	Metacaulino	36
3.2.4.5	Filer calcário	37
3.2.4.6	Cinzas volantes	39
3.2.4.7	Cal hidratada.....	40
3.2.4.8	Gesso.....	42
3.2.5	Composições estudadas.....	43
3.3	Procedimentos de ensaios	51
3.3.1	Amassaduras	52

3.3.2	Trabalhabilidade da argamassa em estado fresco	52
3.3.3	Moldagem e conservação	54
3.3.4	Análise granulométrica dos pós de conchas de ostras	56
3.3.5	Potencial de Hidrogénio e reação ácido-base	58
3.3.6	Difração por Raio X	61
3.3.7	Resistência à compressão	62
3.3.8	Resistência à flexão	65
3.3.9	Estabilização à água	66
3.3.10	Absorção de água por capilaridade	67
4.	Análise dos resultados	69
4.1	Considerações gerais	69
4.2	Propriedades químicas e físicas das pastas	69
4.2.1	Difração por raios X (DRX)	69
4.3	Caracterização da argamassa em estado fresco	71
4.4	Avaliação do comportamento mecânico	73
4.4.1	Caracterização da argamassa em estado sólido	73
4.4.2	Resistência à compressão	74
4.4.2.1.	Pastas com ácido acético em vinagre	74
4.4.2.2.	Pastas com ácido acético em vinagre e adições	75
4.4.2.3.	Pastas com pco2 e substituição por água	81
4.4.2.4.	Argamassas	83
4.4.3	Resistência a flexão	86

4.5	Avaliação da durabilidade.....	87
4.5.1	Estabilização à água.....	87
4.5.2	Absorção da água por capilaridade	90
5.	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	94
5.1	Introdução	94
5.2	Principais considerações.....	95
5.3	Aplicações práticas das conchas de ostras	97
5.4	Trabalhos futuros.....	98
	Referências.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ostras da espécie <i>Crassostrea angulata</i> e <i>Crassostrea gigas</i> . Fonte: Gómez & Pacheco (2021)	7
Figura 2.2 - Estrutura do volume de produção em aquicultura, por espécie, 2018-2019. Fonte: Estatísticas Da Pesca (2020).....	8
Figura 2.3 - Estrutura do volume de produção em aquicultura por espécie Fonte: PORDATA (2021).	8
Figura 2.4 - Estuário do Rio Lima, Viana do Castelo. Fonte: IPMA (2021)	10
Figura 2.5 – (a) Descarte das conchas de ostras em aterro, em Viana do Castelo e (b) Resíduos de conchas de ostras depositados em <i>big bags</i> . Fonte: Autor (2020).....	13
Figura 2.6 – (a) Vista de uma parede <i>Tabby</i> em Beaufort-SC, EUA e (b) Fundação <i>Tabby</i> em uma casa em Beaufort, Carolina-SC, EUA. Fonte: Golebiowski (2009).....	15
Figura 2.7 – (a) Placas de revestimento produzidas com diferentes tipos de conchas de ostras e (b) Revestimento à base de conchas de ostras. Fonte: Chi (2021).....	17
Figura 2.8 - Resistências à compressão aos 28 dias de diferentes argamassas constituídas por conchas do mar. Fonte: Lertwattanakul et al. (2012)	23
Figura 2.9 – (a) Resistência à flexão das argamassas com cinzas volantes (CV) e (b) Resistência à flexão das argamassas com escória de alto-forno (EGAF). Fonte: Chen et al. (2019)	24
Figura 2.10 - (a) Resistência à compressão das argamassas com cinzas volantes (CV) e (b) Resistência à compressão das argamassas com escória de alto-forno (EGAF). Fonte: Chen et al. (2019)	25
Figura 3.1 – (a) Conchas de ostras a lavar em água; (b) Conchas de ostras a secar em temperatura ambiente e (c) Conchas de ostras secas. Fonte: Autor (2020)	27
Figura 3.2 – (a) Pó de conchas moídas em equipamentos apropriados e peneiradas por fim, (b) Conchas de ostras moídas unicamente no moedor Los Angeles e (c) Conchas trituradas a serem utilizadas como agregado na argamassa.	28
Figura 3.3 – (a) Peneiramento das conchas trituradas, (b) Divisor de grãos da marca Soiltest e (c) Agregado utilizado na produção de argamassas após o processo de preparação.	29
Figura 3.4 – Fórmula estrutural do ácido acético ou ácido etanoico. Fonte: Fogaça (2021).....	30
Figura 3.5 - Esquema ilustrativo do processo de produção das cinzas volantes na Central do Pego. Fonte: PEGOP (2016)	39

Figura 3.6 – (a) Pastas após um dia de cura e (b) Provetes de 20x20x20mm ³ após 28 dias de cura em câmara de carbonatação.....	44
Figura 3.7 – Provetes de 50x50x50mm ³ após 28 dias em estufa à 50°C.	49
Figura 3.8 – (a) Argamassas com PCO ₂ e água aos 28 dias e (b) Argamassas com adição de cal viva aos 28 dias.	51
Figura 3.9 – Instrumentos utilizados no ensaio de espalhamento.	53
Figura 3.10 – cálculo para diâmetro de espalhamento.....	54
Figura 3.11 – (a) Moldagem das pastas em moldes de 50x50x50mm ³ e (b) Moldagem das argamassas em moldes de 40x40x160mm ³	55
Figura 3.12 – (a) e (b) Dispensor de grãos <i>Malvern</i> modelo <i>Masterziser 3000 - Hydro LV</i>	57
Figura 3.13 – Curva granulométrica dos pós de conchas de ostras. Fonte: Autor (2020)	58
Figura 3.14 – (a) Mistura da amostra com água destilada com o auxílio de aparelho misturador, (b) Filtragem da substância após a mistura e (c) Medição do Ph.	59
Figura 3.15 – Funcionamento do Difrátômetro de Raios X.	61
Figura 3.16 – Modelo do equipamento de Difrátômetro de Raios X.	62
Figura 3.17 - Equipamento LOYD LR50K Plus utilizado no ensaio de resistência à compressão.	63
Figura 3.18 – Provede cúbico no processo de ensaio de resistência à compressão.	64
Figura 3.19 - (a) Equipamento <i>LOYD</i> modelo <i>LR50K Plus</i> em ensaio de resistência à flexão e (b) Provede posicionado no aparelho submetido à uma tenção de rotura.	65
Figura 3.20 – Provetes durante ensaio de estabilização à água.....	67
Figura 4.1 – DRX da amostra com pó das conchas e vinagre.	70
Figura 4.2 – DRX da amostra composta pelo pó das conchas e água.....	71
Figura 4.3 – Espalhamento das composições das argamassas em gráfico.	72
Figura 4.4 – (a) Argamassa composta por água, pó de conchas de ostras e agregado (C3) em ensaio de consistência por espalhamento e (b) Medição do espalhamento após o processo de 10 pancadas.	73
Figura 4.5 – Média das resistências à compressão dos provetes com diferentes dosagens de vinagre.	75
Figura 4.6 - Média das resistências à compressão dos provetes com adição de cal viva.	76
Figura 4.7 - Média das resistências à compressão dos provetes produzidos com cimento.....	77
Figura 4.8 - Média das resistências à compressão dos provetes com adições de diferentes ligantes.	79
Figura 4.9 – Gráfico das médias das resistências à compressão ótimas dos provetes da etapa.	81

Figura 4.10 - Gráfico das médias das resistências à compressão ótimas dos provetes produzidos com água e provetes produzidos com vinagre para efeitos comparativos.....	82
Figura 4.11 – Gráfico das médias de resistência à compressão das argamassas de composição final.	84
Figura 4.12 – Gráfico das médias de resistência à flexão das argamassas.	86
Figura 4.13 – Resistência à compressão dos provetes após ensaio de estabilização à água.	89
Figura 4.14 – (a) Provetes no ensaio de estabilização à água após 24 horas e (b) Provetes após 28 dias imersos em água.	90
Figura 4.15 – (a) Provetes revestidos com silicone após submetidos a uma temperatura de 60°C e (b) Provetes durante o ensaio de absorção por capilaridade.	91
Figura 4.16 – Absorção capilar nos primeiros 90 minutos das argamassas, na relação de PCO_ACO_0,3AG e PCO_ACO_3%CaV_0,3AG.....	92
Figura 4.17 – Gráfico do coeficiente de absorção dos provetes.	93
Figura 4.18 – Absorção de água por capilaridades dos provetes.	93
Figura 5.1 – Placas à base de conchas de ostras.	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Classificação das argamassas de acordo com as propriedades e utilização.....	20
Quadro 2.2 – Classificação das propriedades das argamassas de reboco em estado endurecido, segundo a EN 998-1:2003.....	21
Quadro 3.1 - Composições estudadas na Etapa 1.....	45
Quadro 3.2 - Composições estudadas na Etapa 2, com adição de cal viva e cimento.	46
Quadro 3.3 – Composições estudadas na Etapa 2, com adição de ligantes variados.	47
Quadro 3.4 – Composições estudadas na Etapa 2, com percentagem maior de ligantes.	48
Quadro 3.5 – Composições estudadas na Etapa 3.....	49
Quadro 3.6 – Composições estudadas na Etapa 4, com provetes de AAV.....	50
Quadro 3.7 - Composições estudadas na Etapa 4, com substituição de AAV por água.	50
Quadro 3.8 – Composições estudadas das argamassas na Etapa 4.	51
Quadro 4.1 – Composição e espalhamento das argamassas.	72
Quadro 4.2 – Características de resistência à compressão dos provetes com vinagre.....	74
Quadro 4.3 – Características de resistência à compressão dos provetes com adição de cal viva.	76
Quadro 4.4 - Características de resistência à compressão dos provetes com adição de cimento.	77
Quadro 4.5 - Características de resistência à compressão dos provetes com adições.	78
Quadro 4.6 - Características de resistência à compressão dos provetes com adições à 6%.	80
Quadro 4.7 - Resistência à compressão dos provetes de 50x50x50m ³ produzidos com vinagre.	82
Quadro 4.8 - Resistência à compressão dos provetes de 50x50x50m ³ produzidos com água.....	82
Quadro 4.9 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão das argamassas.....	84
Quadro 4.10 – Resultados dos ensaios de resistência à flexão das argamassas.	86
Quadro 4.11 – Composições estudadas no ensaio de estabilidade à água.	88
Quadro 4.12 – Características da resistência a compressão dos provetes não submetidos à água (RC1) e provetes condicionados em água por 28 dias (RC2).....	89
Quadro 4.13 – Coeficiente de absorção por capilaridade dos provetes ensaiados.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição química das conchas de ostras com base em diferentes literaturas.	11
Tabela 2.2 – Aspectos físicos de variadas espécies de conchas de ostras e localidades (Magro, 2016).	12
Tabela 3.1 - Propriedades físicas do ácido acético em seu estado puro. Fonte: ECHA (2006)	30
Tabela 3.2 – Composição química da cal viva. Fonte: Lacrilar (2019)	33
Tabela 3.3 – Características físicas da cal viva. Fonte: Lacrilar (2019)	33
Tabela 3.4 – Composição química do cimento CEM II/B-L 32,5N. Fonte: Reis (2009).....	34
Tabela 3.5 – Características físicas e mecânicas do cimento. Fonte: CIMPOR (2020).....	35
Tabela 3.6 – Composição química do resíduo de tijolo cerâmico a partir do ensaio EDS. Fonte: Pires (2021)	36
Tabela 3.7 – Aspectos físicos do pó de resíduo de tijolo.....	36
Tabela 3.8 – Composição química do metacaulino baseado em estudos distintos.	37
Tabela 3.9 – Características físicas do metacaulino.	37
Tabela 3.10 – Composição química do filer calcário. Fonte: Camões (2005).....	38
Tabela 3.11 – Características físicas do filer calcário. Fonte: Camões (2005).....	38
Tabela 3.12 – Composição química das cinzas volantes da Central Termoelétrica do Pego.	40
Tabela 3.13 – Características físicas das cinzas volantes segundo estudo. Fonte: Camões (2005).....	40
Tabela 3.14 – Características físico-químicas da cal hidratada. Fonte: Maxical (2017).....	41
Tabela 3.15 – Características físicas e mecânica do gesso estuque. Fonte: Sival (2013)	43

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

CaCO_3 – Carbonato de cálcio

CaO – Dióxido de cálcio

CO_2 – Dióxido de carbono

SiO_2 – Dióxido de silício

K_2O – Óxido de potássio

SrO – Óxido de estrôncio

Fe_2O_3 – Óxido de ferro (III)

SO_3 – Óxido sulfúrico

MgO – Óxido de magnésio

MnO – Óxido de manganês;

Al_2O_3 – Óxido de alumínio

Na_2O – Óxido de sódio

P_2O_5 – Pentóxido de fósforo

Ca(OH)_2 – Hidróxido de cálcio

CH_3COOH – Ácido acético

CH_2 – Metileno

CH_3 – Metil

OH – Hidroxila

CaSO_4 – Sulfato de cálcio

TiO_2 – Dióxido de titânio

PVC – Policloreto de vinila

pH – Potencial de hidrogênio

PET – Politereftalato de etila

ECHA - Agência Europeia das Substâncias Químicas

REACH - Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Substâncias Químicas

INE – Instituto Nacional de Estatísticas

DGRM – Direção Geral de Recursos Naturais

PORDATA – Base de Dados Portugal Contemporâneo

DR – Diário da República

EU – European Union

EU – União Europeia

NP – Norma Portuguesa

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera

CIIMAR – Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental

ASTM - American Society for Testing and Materials

DRX – Difração por Raios X

EDS – Espectroscopia por Dispersão de Elétrons

LA – Los Angeles

A/L – Água/Ligante

S/L – Sólido/Líquido

AAV – Ácido Acético em Vinagre

AG - Água

PCO1 – Pó de conchas $\leq 75\mu\text{m}$ (peneirado)

PCO2 – Pó de conchas (40 ciclos de moagem no moedor Los Angeles – Não peneirado)

CM – Cimento

CaV – Cal Viva

CH – Cal Hidratada

PRT – Pó de Resíduo de Tijolo

MC – Metacaulino

CV – Cinzas Volantes

FC – Filer Calcário

GS – Gesso

TA – Temperatura Ambiente

CO2 – Câmara de carbonatação

50C – Estufa 50°C

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e Motivação

A produção de bens com menor impacto ambiental e a preservação dos recursos naturais é uma preocupação cada vez mais comum. Ressalta-se que a indústria da construção acarreta impactos ao longo de toda a sua cadeia produtiva, sendo o sector responsável por grande parte dos recursos naturais extraídos e o maior consumidor de matéria-prima em comparação a qualquer outra atividade econômica. É, ainda, a segunda maior indústria responsável pela emissão de gases de efeito estufa (cerca de 30% do total) (Liu et al., 2020).

A argamassa é um dos principais produtos utilizados na construção, muito consumida à nível mundial e, deste modo, proporcionalmente produzida. Devido às suas propriedades e versatilidade, aplica-se tanto a obras novas quanto a obras de reabilitação, desde o assentamento de alvenarias, rebocos, camadas de enchimento, regularização ou revestimento, até na reparação de anomalias em elementos estruturais e revestimento ou mesmo na substituição de rebocos danificados e no tratamento de juntas ineficientes. No entanto, requer o emprego de materiais oriundos da extração de recursos naturais, além de consumir energia de maneira significativa e emitir uma elevada quantidade de gás carbônico durante a fase de produção.

Neste sentido, têm-se buscado alternativas sustentáveis para o desenvolvimento de argamassas, tendo em vista a contribuição para a redução de resíduos, de forma a aproveitar-se da reciclagem destes, diminuir a exploração e importação de recursos naturais, garantir a eficácia e redução dos custos, bem como a diminuição de gases poluentes.

Integrado ao conceito de construção sustentável, os materiais ecoeficientes assumem um papel primordial no desenvolvimento sustentável. Estão relacionados à materiais ligantes com baixas emissões de carbono, materiais duráveis, com baixa energia, não-tóxicos, recicláveis ou obtidos a partir de fontes renováveis, que podem ser empregues como substitutos na produção de materiais ou produtos pouco ecológicos.

As conchas de ostra têm sido utilizadas para estudos relacionados a materiais de engenharia. Estima-se que mais de um milhão de toneladas métricas de resíduos de cascas de ostras são produzidas todos os anos ao

redor do mundo. Em Portugal, a produção de moluscos e crustáceos teve a marca de 46,6% da produção total do sector da aquicultura do ano de 2019, sendo a ostra a segunda maior espécie relevante em produção, representando 11,79%, atrás somente das amêijoas (*Estatísticas Da Pesca*, 2020). Devido a produção em grandes quantidades, ao consumo elevado e ao alto risco de mortalidade destes moluscos, evidencia-se a preocupação com o descarte das conchas, que em sua maioria, são despejadas à céu aberto ou enterradas arbitrariamente.

Sendo assim, releva-se a importância em estudar o emprego de resíduos de conchas de ostra no desenvolvimento de materiais da indústria da construção civil. As conchas são compostas por aproximadamente 96% de carbonato de cálcio, de modo que possa ser empregue tal como a cal, presente em muitos materiais de construção, e a depender da sua granulometria, podem ser introduzidas como substituto de ligantes, agregados finos ou grossos em materiais como o betão e a argamassas principalmente (Liu et al., 2020).

Portanto, pretende-se com este trabalho estudar a viabilidade da reciclagem das conchas de ostra para o desenvolvimento de uma argamassa ecoeficiente, de forma a aproveitar o carbonato de cálcio presente nestes resíduos, onde serão ainda investigadas suas propriedades e características físicas, mecânicas e de durabilidade.

1.2 Objetivos e Metodologia

Um dos principais desafios na construção civil é obter uma argamassa com quantidades reduzidas ou mesmo sem qualquer necessidade de adição de materiais calcinados, que precisam de uma elevada quantidade de energia para a sua produção, à vista ainda da redução da emissão de gases poluentes. Assim, o presente trabalho busca desenvolver uma argamassa ecoeficiente à base de conchas de ostras, no qual pretende-se utilizar o carbonato de cálcio de que são constituídas, bem como promover a reciclagem destes resíduos pouco explorados.

A dissertação fundamenta-se na investigação teórica e na realização de uma extensa campanha experimental, a qual permite compreender os mecanismos necessários para a realização do trabalho, em busca de resultados favoráveis à construção civil e ao meio ambiente.

O primeiro momento da campanha volta-se a realizar uma análise da reação das cascas de ostra misturadas em solução com ácido acético, presente em vinagre, em diferentes quantidades e granulometrias. Após o estudo comportamental, as conchas são moídas até a consistência de pó para garantir a argamassa final e, então, examinadas em ambientes de cura distintos, em temperatura ambiente, câmara de carbonatação e estufa a 50°C. A viabilidade de pequenas adições de variados ligantes também foram estudadas com o intuito de alcançar melhores características de resistências física, mecânica e de durabilidade, averiguadas a partir de diferentes ensaios em laboratório. Ademais, é explorada a possibilidade de desenvolver as pastas com água e compará-las as misturas com ácido acético, a fim de atestar possibilidades distintas e obter os melhores resultados.

De modo geral, o trabalho objetiva-se em avaliar as propriedades e composições essenciais para um bom desempenho da argamassa de modo a alcançar um material com resistência suficiente e durável, a fim de ser utilizado na construção sustentável como substituto de materiais pouco ecológicos.

Em suma, são definidos os seguintes objetivos:

- Desenvolver uma argamassa de reboco da classe CS I à base de conchas de ostras;
- Compreender as propriedades básicas de engenharia a partir da reação das conchas de ostras com ácido acético e/ou água;
- Avaliar a necessidade da utilização de aditivos em quantidades reduzidas;
- Comparar materiais comumente utilizados na produção de argamassas tradicionais com a argamassa ecoeficiente a ser desenvolvida;
- Analisar a viabilidade da aplicação à engenharia através de ensaios de resistência física e mecânica e de durabilidade;
- Buscar a sustentabilidade no sentido da vertente de materiais ecoeficientes.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação foi estruturada em seis capítulos, organizadas para uma melhor compreensão do texto e pormenorizadas da seguinte forma:

O capítulo 1 concentra-se em introduzir o tema em estudo, de modo a justificar o interesse em desenvolvê-lo e destacar a sua importância. Relata, ainda, a planificação do trabalho investigativo, os objetivos a serem alcançados e a estrutura a qual o texto foi organizado.

O capítulo 2 apresenta as características das ostras, a composição das conchas, produção, bem como as espécies recolhidas para a realização do trabalho experimental e a importância da reciclagem destes resíduos. É feito, ainda, um apanhado geral sobre argamassas ecoeficientes, a que refere o estudo, e seu contributo para o desenvolvimento sustentável.

No capítulo 3 é abordada a vertente experimental do estudo, no qual descreve-se a composição da argamassa ecoeficiente a ser trabalhada e a caracterização dos materiais utilizados. Ademais, são detalhados todos os ensaios realizados e os conceitos mais relevantes à respeito.

O capítulo 5 expõe a análise e discussão dos resultados, de caráter físico, mecânico e da durabilidade, obtidos a partir dos ensaios efetuados. Pretende-se, por meio de uma avaliação estatística, comparar as diferentes misturas e destacar as possíveis influências, como a composição, o ambiente de cura e as quantidades adotadas. Elementos gráficos foram utilizados para uma melhor visualização dos resultados e entendimento.

O capítulo 6 é dedicado as conclusões gerais de todo o trabalho desenvolvido, bem como a análise crítica dos aspetos mais importantes. É avaliado o cumprimento dos objetivos propostos e são indicados possíveis trabalhos futuros que poderão contribuir para a área abordada.

Por fim, são expostas todas as referências consultadas, fundamentais ao desenvolvimento da dissertação, e anexos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 As ostras

2.1.1 Características gerais

As ostras pertencem à família *Ostreidae* e à ordem *Ostreoida*. O nome comum é utilizado para definir um grupo de moluscos que, na grande maioria, desenvolvem-se em águas marinhas ou salobras (Comissão Europeia, 2013)Clique ou toque aqui para inserir o texto.. São designadas, ainda, como moluscos bivalves, correspondente a animais de corpo mole protegido por um exoesqueleto em forma de concha composto por duas valvas, cuja superfície de uma é mais profunda no centro e a outra mais plana, de modo a garantir um mecanismo de defesa contra predadores e a resistência à pressão hídrica do meio onde estão inseridas. Possuem um ligamento elástico responsável pelo movimento automático de abertura da concha, que ocorre quando o músculo adutor retrai. O corpo do molusco, por sua vez, é formado por uma série de lâminas branquiais, nomeadamente Ctnedia, que podem ou não apresentar um par de sifões (S. B. Loffi, 2014). Assim como outros bivalves, as ostras alimentam-se por meio de filtração, quando sugam partículas microscópicas (fitoplâncton) e nutrientes suspensos na água (*Lista de Espécies*, 2021).

As conchas de ostras são constituídas pela deposição de uma substância de aspeto duro e cintilante composta por conchiolina, um tipo complexo de proteína formada por queratina, colágeno e elastina, a qual é extraída pelo próprio molusco. Além da proteína, o carbonato de cálcio (CaCO_3) é um constituinte importante das conchas dos bivalves e conseqüentemente pode vir a servir como matéria-prima para a produção de diversos produtos e materiais, como exemplo a fabricação de tubos de PVC, onde o carbonato de cálcio é utilizado como aditivo, bem como no desenvolvimento de argamassas e betão, no qual confere propriedades similares a cal, a depender da forma como são empregues (S. B. Loffi, 2014). A indústria farmacêutica também tem se beneficiado do carbonato de cálcio extraído das conchas para a produção de suplementos alimentares que auxiliam no combate e prevenção da osteoporose (Sant'Anna et al., 2007).

A estrutura das conchas incorpora ainda outros elementos, que variam suas percentagens e estão relacionados à temperatura, pH, salinidade e concentração destes na água. Deste modo, as conchas destes moluscos podem servir como bioindicadores relevantes para a qualidade ambiental (Silva et al., 2010).

As conchas recolhidas para a elaboração do trabalho experimental são designadas como ostras especiais, as quais foram desenvolvidas para apresentarem um melhor aspeto, qualidade e tamanho, como é geralmente exigido pelos consumidores. No estuário do Lima, onde foram apanhadas, as espécies em produção são denominadas cientificamente como *Crassostrea Angulata* (ostra-portuguesa) e *Crassostrea Gigas* (ostra-japonesa, ostra do pacífico ou ostra gigante), sendo a primeira destinada, em sua grande maioria, ao mercado interno, e a segunda é exportada à França (*Lista de Espécies*, 2021).

A ostra-portuguesa é encontrada em estuários e rias desde a zona central de Portugal continental até a costa do Marrocos, com grande incidência no estuário do Sado, em Setúbal (Silva et al., 2010). Essa espécie possui uma grande tolerância às variáveis ambientais, capaz de resistir a grandes amplitudes térmicas e sobreviver tanto em águas de baixa salinidade, como em zonas de salinidade semelhantes as do ambiente marinho (Yurchenko & Kalachev, 2016). As principais características estão relacionadas a uma extremidade existente atrás do ligamento na valva superior e podem diferenciar-se das outras espécies pelo menor número de dobras da concha e pela sutil coloração violeta das impressões dos músculos adutores (Arruda Furtado, 1887).

A ostra-japonesa é originária do nordeste da Ásia e adiante levada a vários países para fins de aquicultura, sendo introduzida na Europa na década de 1970. As conchas são ásperas e alongadas, a alcançar entre os 20 e 30 centímetros. Assim como na grande maioria das espécies, possuem as valvas sólidas e desiguais em tamanho e forma, relativamente distintas pelas grandes dobras radiais irregulares e arredondadas, bem como por exibirem estrias e manchas roxas na parte externa e uma cicatriz do músculo adutor no lado interno. Apesar de suas características permitirem o cultivo em diferentes condições ambientais, são normalmente encontradas e mais bem desenvolvidas em áreas costeiras e estuarinas, comum da sua faixa natural, devido aos insumos da água doce e à produtividade primária resultante (Ecologia, 2019).



Figura 2.1 - Ostras da espécie *Crassostrea angulata* e *Crassostrea gigas*. Fonte: Gómez & Pacheco (2021)

2.1.2 Cultura e produção das ostras

O cultivo de moluscos bivalves está relacionado à aquicultura, prática de longa tradição em Portugal. Especialmente no centro e sul do país encontram-se várias unidades responsáveis por um grande volume de produção destes moluscos, onde a maior parte é destinada à exportação, o que por sua vez, procede a valorização da balança comercial do sector da pesca (Ferreira, 2018).

A nível mundial, a aquicultura responde a aproximadamente 97 % da produção total de ostras. A China vem a frente como a maior produtora dos bivalves, com 80 % da produção mundial total, e em seguida Japão, Estados Unidos, Coreia do Sul, Tailândia, França e Espanha (Chen et al., 2019). Segundo dados da Estatística de Pesca do INE (2020), a produção aquícola total de 2019 foi de 14.336 toneladas, a representar um aumento de 2,5% em relação ao ano de 2018. Os moluscos e crustáceos alcançaram a marca de 46,6% da produção total do sector da aquicultura do ano de 2019, sendo a ostra a segunda maior espécie relevante em produção, representando 11,79%, atrás somente das amêijoas, observado na Figura 2.2 (*Estatísticas Da Pesca, 2020*).

Em Portugal, foram produzidas 1.690 toneladas de ostras no ano de 2019 (Figura 2.3), estimando-se que o consumo nacional seja em torno das 100 toneladas. Contudo, houve uma redução de 28,9% na produção dos moluscos e crustáceos em relação à 2018, o que está associado ao fechamento de alguns estabelecimentos de produção de moluscos bivalves, localizados em *offshore* (*Estatísticas Da Pesca, 2020*). Aborda-se ao fato de que também, apesar de vastos recursos hídricos no país, as taxas de crescimento do setor estão limitadas às condições técnicas e/ou naturais de utilização dos recursos existentes, pelos

espaços disponíveis para cultivo, bem como pela disponibilidade de financiamentos. Apesar disso, o desenvolvimento tecnológico poderá, nos próximos anos, possibilitar o acesso à espaços, técnicas de cultivo, recursos hídricos e proporcionar ganhos de eficiência na produção (DGRM, 2019).

Relativamente às vendas, em comparação ao ano anterior, houve um acréscimo na receita de 22,4% em 2019, com cerca de 118,5 milhões de euros. O total das vendas, de 12.881 toneladas, representou cerca de 90% da produção nacional, enquanto em 2018 a produção foi de 84% (*Estatísticas Da Pesca*, 2020).

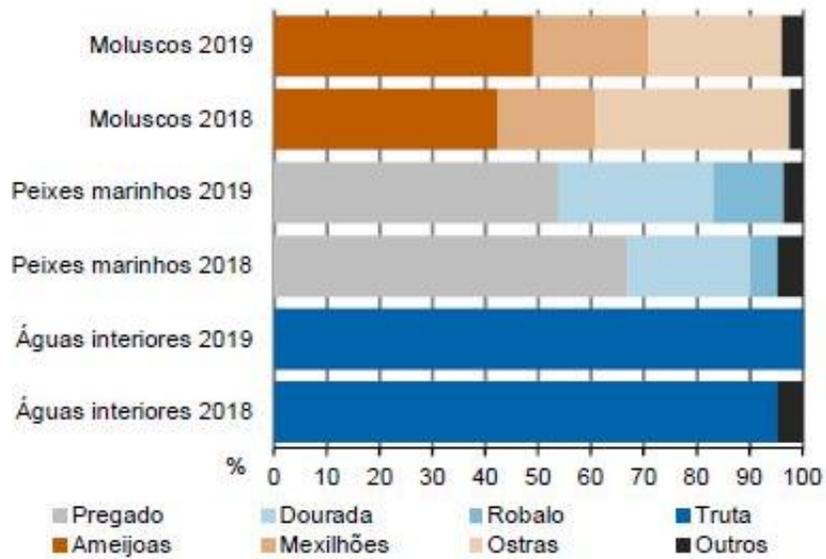


Figura 2.2 - Estrutura do volume de produção em aquicultura, por espécie, 2018-2019. Fonte: Estatísticas Da Pesca (2020)

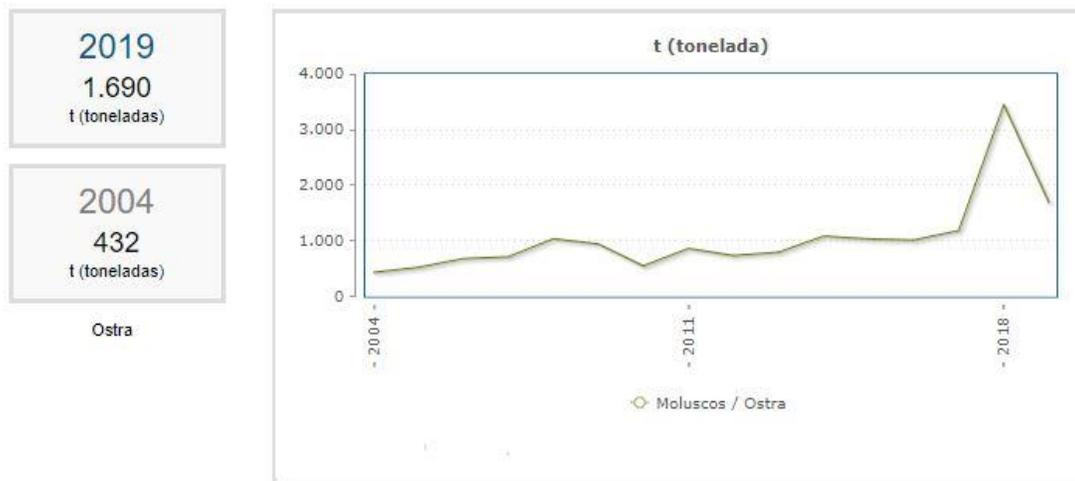


Figura 2.3 - Estrutura do volume de produção em aquicultura por espécie Fonte: PORDATA (2021).

Para a realização do trabalho, as conchas de ostras foram adquiridas por meio da empresa Aquagoma Produtos do rio e mar LTA, localizada na região de Viana do Castelo, Portugal. A empresa é responsável por um viveiro de ostras no rio Lima, com cerca de 36.000 m², onde grande parte da produção é destinada exclusivamente à França, país líder no consumo e exportação destes moluscos na Europa. O viveiro é o primeiro em ambiente natural do distrito de Viana do Castelo e o maior viveiro de ostras a nível nacional dotado por um sistema de produção com 20.000 potes rotativos (Martins, 2018).

A apanha dos bivalves é feita por batelão, uma barca própria para operação próxima às margens e em águas rasas de rios ou lagos, comumente utilizada para o transporte de mercadorias provindas da pesca. O batelão possui uma grua que recolhe os potes onde estão armazenadas as ostras, locados dentro do rio. Os potes movimentam-se em modo rotativo com a intenção de firmar o crescimento e a qualidade dos bivalves, para então serem depositadas em um sistema de jaulas instaladas na embarcação e posteriormente transportadas às instalações da empresa, onde há equipamentos próprios para selecionar e calibrar as ostras (Teixeira et al., 2018).

Como em muitos casos no país, as larvas de ostras são compradas em maternidades francesas certificadas e adiante cultivadas em território português, com vista a produzir ostras *especiais* e *superespeciais*, caracterizadas pelo aspeto e qualidade elevada, além da percentagem de carne superior às convencionais, muito apreciada em mercados maduros como a França e Inglaterra (Teixeira et al., 2018).

O tempo de produção em Portugal é significativamente inferior em relação à França, cerca de 1,5 ano e 3 anos, respetivamente, o que faz com que produtores franceses invistam na importação das ostras para o consumo interno (Gómez & Pacheco, 2021). Devido ao clima na região francesa, as águas extremamente frias fazem com que as ostras se alimentem cada vez menos, e por vezes, chegam perto de um estado de hibernação. Enquanto em Portugal, o clima mais ameno favorece o tempo de crescimento destes moluscos. Ademais, a lei comunitária determina que a origem do produto seja correspondente ao país onde é realizada a depuração dos bivalves (Coelho, 2015).

Referente ao estuário do Rio Lima (Figura 2.4), está classificado atualmente como “Zona B” pelo Regulamento da Zona de Pesca Profissional (DR-2ª Série, nº220), o que permite a produção dos bivalves, sendo o consumo possível somente após depuração. Anteriormente, o rio não estava enquadrado na classificação ideal para o cultivo das ostras e, após inspeções e intensas vigilâncias à recolha, transporte e

comercialização, o estuário foi reclassificado para a zona atual no ano de 2016 (Ferreira, 2018). A empresa Aquagoma em parceria com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e com o Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR) realiza até hoje análises ambientais voltadas para a produção dos bivalves (Teixeira et al., 2018).

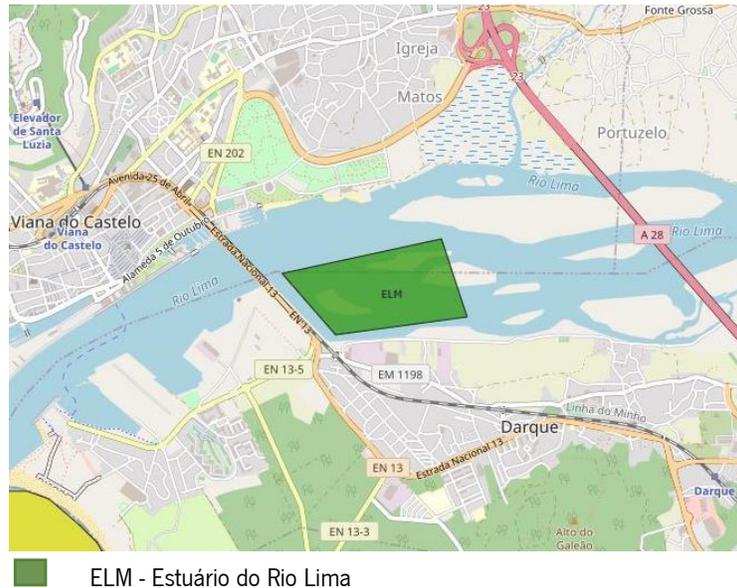


Figura 2.4 - Estuário do Rio Lima, Viana do Castelo. Fonte: IPMA (2021)

A duração do ciclo das ostras é de, em média, 18 meses. No entanto, o risco associado à produção pode chegar a 90%, como é o caso em questão (Martins, 2018). Segundo Marco Silva (2021), um dos promotores da empresa Aquagoma, as conchas recolhidas foram descartadas em grandes quantidades por uma falha no desenvolvimento dos moluscos, até então sem causa específica ou conhecida, podendo estar ligada ao possível aumento da poluição do rio, ao sistema rotativo dos potes, à intensidade que a água circula no habitat, ou mesmo, à alguma doença associada as ostras, que chegaram a alcançar uma taxa de mortalidade de 90% da produção de aproximadamente 200 toneladas, antes mesmo da fase adulta. As conchas foram recolhidas e descartadas dentro de sacos plásticos numa zona da empresa, sendo agora destinadas a análises e estudos por parte de pesquisadores, entidades e universidades interessadas.

2.1.3 Composição química e parâmetros físicos das conchas

As conchas de ostras, sendo um material alternativo na produção de materiais de construção, constata-se a relevância em analisar sua composição química. Aponta-se que alguns resíduos apresentam compostos mineralógicos não-reativos, de modo a atuar no preenchimento de vazios nas misturas (Gonçalves Silva, 2017).

Segundo estudos (Lertwattanakul et al., 2012; Wang et al., 2013; Yoon et al., 2003), a composição química das conchas de ostras é, predominantemente, composta por carbonato de cálcio (CaCO_3), possivelmente a servir como matéria-prima para o desenvolvimento das mais diversas linhas de consumo do mineral. Outros autores, no entanto, descrevem a composição em forma de óxido de cálcio (CaO), o que se deve ao processo de calcinação do resíduo, uma vez que durante o regime de aquecimento, produz-se óxido de cálcio (CaO) e dióxido de carbono (CO_2) (S. Loffi, 2014; Souza, 2008; Yang et al., 2005). Para além disso, outros elementos são encontrados na composição, contudo apresentam-se em baixa concentração nos diferentes estudos, com valores abaixo dos 4%, referente ao dióxido de silício (SiO_2) e abaixo dos 2% ao se tratar dos outros compostos.

A Tabela 2.1 expressa a composição química dos resíduos de conchas a partir da investigação de diferentes autores. Entretanto, ressalta-se que as espécies de ostras variam, o que pode influenciar nas análises.

Tabela 2.1 - Composição química das conchas de ostras com base em diferentes literaturas.

Descrição		Compostos químicos (%)										
Autor/Ano	Concha	CaCO_3	CaO	K_2O	SiO_2	SrO	Fe_2O_3	SO_3	MgO	Al_2O_3	Na_2O	P_2O_5
Lertwattanakul et al. (2012)	Ostra	96,8	-	0,02	1,01	-	0,07	0,75	0,46	0,14	0,23	-
Souza (2008)	Ostra	-	54,24	0,01	0,01	-	0,01	-	0,37	0,20	0,74	0,13
Islam (2014)	Ostra	92,60	-	0,03	0,48	-	1,75	-	0,20	-	-	0,1
Yoon et al. (2003)	Ostra	95,99	-	-	0,69	-	-	0,70	0,65	0,42	0,98	0,20
Loffi et al. (2014)	Ostra	-	50,49	0,21	3,93	-	0,43	-	0,73	0,98	0,79	0,18
Wang et al. (2013)	Ostra	95,99	-	-	0,69	-	-	0,72	0,65	0,42	0,98	0,20
Yang et al. (2005)	Ostra	-	51,06	0,06	2,00	0,09	0,20	0,60	0,51	0,50	0,58	0,18

Fisicamente, as conchas de ostra diferenciam-se principalmente pela sua coloração, tamanho ou pregas, embora sua composição química seja constituída maioritariamente por carbonato de cálcio, independentemente da espécie. A forma dos cristais das conchas também é outro ponto de diferenciação. O sistema cristalino das conchas dos bivalves apresenta-se na forma trigonal, o que pode influenciar no aumento da porosidade do resíduo (Silva et al., 2010).

Ainda segundo Silva et al (2010), ao comparar as conchas de ostras com as conchas de mexilhão, evidenciou-se que estas apresentaram valores de densidade maiores que as cascas de ostra, com esta última a alterar os valores entre 1,50 e 1,61 g/cm³ e 2,34 a 2,39 g/cm³ para as conchas de mexilhão. Mais, destacou que o índice de umidade das amostras de conchas trituradas variou entre 0,55% a 1,22% para ambas espécies e, por meio de um ensaio de suspensão de 10% do pó das conchas em água, averiguou-se o pH próximo a 9 das conchas de ostras, cujo caráter é, assim, alcalino.

A Tabela 2.2 expõe os aspetos físicos acerca da dimensão das conchas, peso, a parte edível, correspondente ao fragmento comestível, além do índice AFNOR, um indicativo sobre qualidade da ostra, expressa pela relação entre o peso da parte edível e do peso total. As características variam conforme a espécie e local de cultivo, sendo as ostras do tipo *C. gigas* as que apontaram volume maior em comparação as demais. A partir do conhecimento do índice AFNOR é possível classificá-las em ostras “tradicionais” ou “especiais”. As amostras apresentadas na tabela abaixo apontam a qualidade acima de 9%, assim determinadas como “especiais” (Magro, 2016).

Tabela 2.2 – Aspetos físicos de variadas espécies de conchas de ostras e localidades (Magro, 2016).

Amostra	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso Total (g)	Parte edível (g)	Índice AFNOR (%)
<i>C. gigas</i> (G)	124,30 ± 8,3	65,62 ± 8,7	40,42 ± 5,5	136,68 ± 20,2	33,90 ± 9,8	24,7 ± 5,5
Exporsado (ES)	63,58 ± 6,6	48,39 ± 5,4	31,50 ± 5,1	60,03 ± 14,4	9,31 ± 2,8	15,8 ± 3,7
Banco Natural (BN)	67,35 ± 20	43,30 ± 11	28,31 ± 10,7	48,81 ± 43,4	7,28 ± 6,1	15,8 ± 4,2

Destaca-se, portanto, que a diferenciação básica entre as conchas é observada por parâmetros físicos, como a estrutura cristalina, a densidade e teor de matéria orgânica presentes. Além disso, o elevado teor de cálcio é indicador do potencial de aproveitamento desse material que, normalmente, é considerado resíduo.

2.1.4 Descarte e reciclagem das conchas

A considerar a alta produção e consumo das ostras mundialmente, manifesta-se a necessidade em analisar e combater os impactos ambientais causados por resíduos de conchas oriundos da comercialização e, para além disso, do descarte à céu aberto que provém das altas taxas de mortalidade, tal como ocorrido.

Como visto, as ostras são muito consumidas no comércio alimentar ao redor do mundo, mas aponta-se que as conchas (não-comestíveis), as quais constituem a maior parte do peso total das ostras (cerca de 70%), são meramente descartadas, pois possuem pouco ou nenhum valor comercial. Embora não sejam resíduos potencialmente perigosos, quando despejadas em grandes quantidades em aterros ou semelhantes, leva-se a problemas ambientais e de saúde pública, ocasionados pelo mau cheiro e pelo surgimento de animais e insetos, tendo em vista a lenta degradação natural das conchas. Destaca-se, assim, a importância da sua reciclagem, sendo possível a sua eventual utilização em materiais de construção e acabamento, a fim de extrair o carbonato de cálcio existente em 90% na composição da casca (Chen et al., 2019).



Figura 2.5 – (a) Descarte das conchas de ostras em aterro, em Viana do Castelo e (b) Resíduos de conchas de ostras depositados em *big bags*. Fonte: Autor (2020)

A utilização das conchas em materiais de construção pode ser aplicada como um substituto de agregados, quando trituradas, ou de materiais aglutinantes, assim que refinadas até a consistência de pó, devido a presença do carbonato de cálcio (CaCO_3) ou do óxido de cálcio (CaO), quando calcinadas, presentes na composição química de materiais como a cal e o cimento. Deste modo, podem ser empregadas na produção

de argamassas, betão ou blocos, bem como em placas de revestimento, quando misturadas à pasta de cimento ou argamassas (Mo et al., 2018).

Sabe-se que a indústria da construção é largamente apontada como um dos sectores de maior geração de impactos ambientais devido ao alto volume de materiais empregados, seja pelo consumo de recursos naturais ou a geração de resíduos. Para que seja possível o desenvolvimento do sector de forma sustentável, é necessário substituir os modelos de produção e consumo em busca da economia dos recursos e a redução de desperdícios e geração de resíduos. A reutilização de materiais vem a ser uma das alternativas para isso. Neste sentido, a adoção das conchas de ostra na construção não só reduz o esgotamento excessivo dos recursos convencionais, como também economiza custos com a reutilização de resíduos existentes e o consumo de energia na produção de materiais de construção.

2.1.5 Aplicações práticas dos resíduos de conchas de ostras na construção civil

O emprego de conchas de ostras na construção civil já foi descoberto antes, embora não se saiba ao certo quando surgiu. Alguns indícios apontam para meados do século XVIII, quando os primeiros colonos utilizaram as conchas como material para a produção de betão na atual Carolina do Norte e Flórida, EUA. Nomeadamente o *Tabby* (Figura 2.6), um tipo de betão desenvolvido a partir da queima e/ou trituração das conchas de ostra, misturadas com areia, cinzas e água. O *Tabby* era tido como um material funcional e versátil, possivelmente utilizado para fundações, paredes, pisos, coberturas e outros elementos estruturais, e a manutenção era feita por meio da aplicação de estuque ou cal nas superfícies, a fim de garantir a proteção contra a ação capilar, a qual provoca erosão e esboroamento do reboco exterior (Golebiowski, 2009).

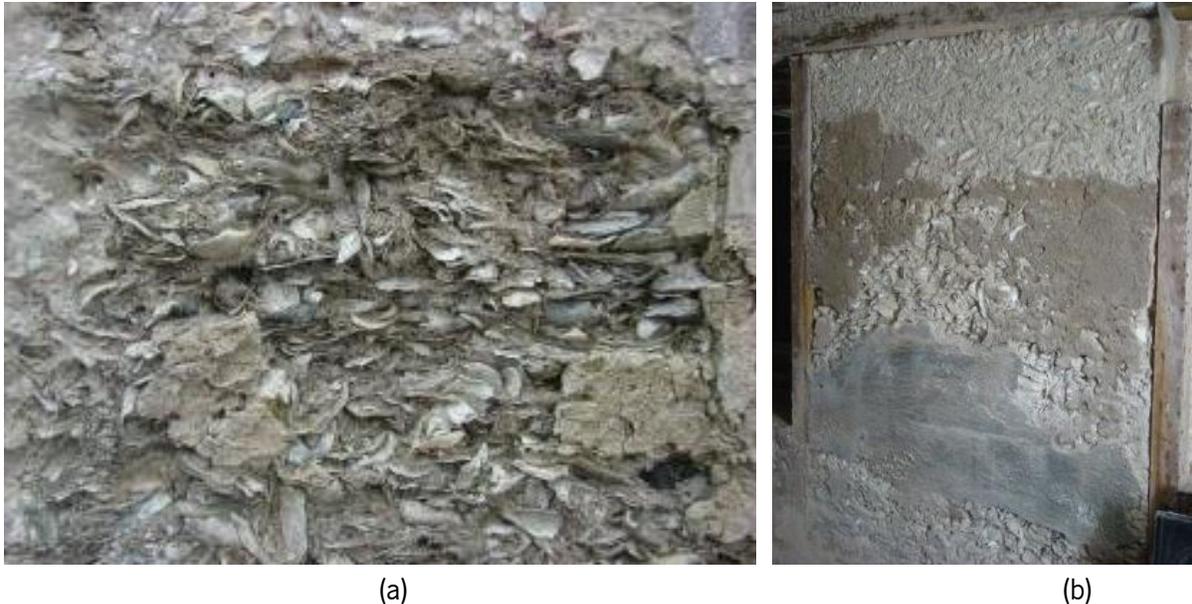


Figura 2.6 – (a) Vista de uma parede *Tabby* em Beaufort-SC, EUA e (b) Fundação *Tabby* em uma casa em Beaufort, Carolina-SC, EUA. Fonte: Golebiowski (2009)

Estudos sobre o betão *Tabby* mostram que as conchas quando misturadas com os outros materiais, transforma-se em cal hidratada. O carbonato de cálcio (CaCO_3) que compõe as cascas libera dióxido de carbono (CO_2) e óxido de cálcio (CaO), quando queimadas, e assim que misturadas com água, resulta em hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2). A cal na composição do *Tabby* continua a reagir lentamente ao longo do tempo com o dióxido de carbono presente na atmosfera, transformando-se novamente em carbonato de cálcio (CaCO_3), o que afirma a força e durabilidade deste betão como material de construção, desde que protegido da umidade (B. et al., 1999).

Em Portugal, a utilização das conchas de ostras como matéria-prima para o fabrico da cal também é evidenciada há tempos atrás, por volta de 1441, a partir de um documento transcrito por Fr. Pedro de Jesus Maria José (pp. 407-409) sobre um arquivo do Convento da Ínsua relacionado com as conchas existentes naquele local. O documento cita a insatisfação dos franciscanos acerca dos impostos taxados sobre as conchas que os mesmos recolhiam na ilha. Por sua vez, protestam alegando a antiguidade de ocupação da ilha, a necessidade em receber o rendimento da venda das conchas, além do facto de nunca antes terem taxado as conchas. Em 1467, a situação é revertida quando a Casa de Vila Real não pôde mais taxar as conchas da Ínsua devido aos franciscanos apresentarem o documento antes assinado, em 1441, e ainda por motivos da Casa de Vila Real deter, naquele momento, as rendas do concelho (Cabral, 2011).

A disputa acentua a hipótese interpretativa de que as conchas teriam grande importância naquela época e, sobretudo, muito abundantes. A sua relevância resultaria na produção da cal para o fabrico de argamassas e, possivelmente, como adubo. Salienta-se que, naquele período, o Mosteiro da Ínsua passou por uma ampliação em 1471 e, ainda, que entre Douro e Minho, há uma escassez de calcário (Cabral, 2011).

Segundo Cabral (2011), por meio de um estudo de campo na ilha em 2004 e 2010, foram encontrados grandes depósitos de conchas, em especial, na zona alta das praias, a oeste da ilha. Esses depósitos eram constituídos maioritariamente por conchas mortas e vazias. Na zona média algumas outras conchas, em menor quantidade, também foram encontradas. Dessa vez, as ostras apresentavam-se em decomposição, evidenciando que se trata de um processo dinâmico e atual. As acumulações eram constituídas, em grande maioria, por conchas de moluscos das espécies *Mytillus galloprovincialis*, *Nucella lapillus*, *Patella* spp. e *Gibbula umbilicalis*, e resultam principalmente da morfologia da ilha, além dos ventos e das correntes predominantes.

Assim, o autor concluiu que as conchas mortas provêm dos moluscos que vivem nos blocos graníticos da ilha e sua periferia. Estes moluscos, por morte natural ou por serem arrancados do substrato, são transportados até às praias da ilha. Num primeiro momento, ficam retidos nas zonas mais baixas, entre blocos graníticos e depois, nas marés vivas e nas tempestades, são transportados até à parte mais alta da praia. Destaca-se, ainda, que no ano de 2004 foi estimado, segundo o autor, que as conchas mortas eram de cerca de 15 toneladas, enquanto no ano de 2010 chegaram à volta das 10 toneladas, constituindo a maior acumulação recente de conchas mortas de moluscos marinhos da costa continental portuguesa.

Após o estudo de campo, os resultados apontam para a confirmação das crónicas franciscanas referente à abundância das conchas, o que provavelmente se deve a localização da ilha, situada entre o rio e o mar, de modo a receber água com grande carga nutritiva.

Atualmente, é possível encontrar a utilização das conchas para o desenvolvimento de materiais e produtos. A *Newtab-22*, com base em Londres e Seoul, elabora materiais de revestimento, tampos de mesas e peças de design a partir de cascas de ostras recuperadas das indústrias de frutos do mar e aquicultura (Figura 2.7). O processo se dá pela moagem das conchas misturadas com aglutinantes naturais e não-tóxicos. A mistura é posteriormente colocada em moldes para chegar a estética pretendida e resulta em diferentes texturas, cores e tamanhos (Chi, 2021).

Segundo a empresa, para garantir que o desenvolvimento seja possivelmente acessível e sustentável, a produção é feita manualmente, de modo a evitar o uso do calor, eletricidade e procedimentos químicos. Estes produtos a base de conchas foram chamados de *Sea Stone* e são desenvolvidos apenas para fins comerciais, caracterizado pelos produtores como uma alternativa versátil, durável, com a possibilidade de desenvolver objetos variados enquanto repõe resíduos (Chi, 2021).



Figura 2.7 – (a) Placas de revestimento produzidas com diferentes tipos de conchas de ostras e (b) Revestimento à base de conchas de ostras. Fonte: Chi (2021)

2.2 Argamassas ecoeficientes

2.2.1 Generalidades

O crescente desenvolvimento da civilização reforça a preocupação com o meio ambiente e o Desenvolvimento Sustentável, sobretudo no que diz respeito ao esgotamento de recursos naturais. Em vista da necessidade em responder às exigências das Diretrizes da União Europeia sobre o Desenvolvimento Sustentável (*Sustainable Development Goals*, 2020), surge a necessidade de produzir novos materiais e adotar soluções inovadoras aos existentes.

A Construção Sustentável tem como um dos princípios a prevenção e redução dos resíduos, de modo a contribuir com o desenvolvimento de tecnologias limpas a partir da utilização de materiais recicláveis e no emprego dos resíduos como material secundário, sendo os requisitos estabelecidos pelo Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho da UE nº 305/2011 de 9 de março de 2011 (*Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of The Council of 9 March 2011, 2011*).

De modo geral, as argamassas são constituídas por um ou mais ligantes, agregados miúdos e água, com o eventual emprego de adições e/ou adjuvantes com propriedades de aderência e endurecimento. Deste modo, as características de cada argamassa são influenciadas diretamente pelos materiais empregados e, certamente, pela dosagem e qualidade destes. As proporções dos materiais adotados na produção de uma argamassa e a mistura resultante deve ser homogênea e estar em conformidade com o tipo de argamassa determinada. No seu estado inicial apresentam-se com boa plasticidade e ao longo do tempo de cura, adquirem rigidez, resistência e aderência (Almeida, 2010).

O desenvolvimento de argamassas com a introdução de resíduos traz duas grandes vantagens principais, como a reutilização do material desperdiçado, biodegradável, ou não, com conseqüente redução do volume em aterro, e a diminuição da emissão de gases poluentes recorrentes do processo de produção dos ligantes ou da extração de recursos naturais. A incorporação de materiais reciclados permite sua valorização do ponto de vista econômico e ambiental, de maneira que o conceito de sustentabilidade seja promovido. Por sua vez, envolve o uso de resíduos de materiais, como o betão e a cerâmica, resíduos de fundição, construção e demolição, vidro, e entre outros, resíduos de conchas de moluscos. A introdução é feita por modificações às formulações de referência, a substituir parcial ou totalmente o ligante ou agregado, de maneira a promover, por conseguinte, a redução do consumo e extração de recursos encontrados na natureza, como a areia, utilizada como agregado, bem como a diminuição dos gastos e consumo com energia no fabrico do ligante, como o cimento (Torres et al., 2016).

Um dos desafios ao utilizar materiais residuais como um substituto daqueles tradicionalmente adotados e, por sua vez, menos ecológicos, está relacionado à incerteza na constância da qualidade. Além disso, a inexistência de normas adequadas põe em dúvida o emprego de materiais secundários, o que retrata acima de tudo a importância do estudo investigativo destes materiais na construção. A produção de materiais com incorporação de resíduos com a mesma qualidade dos materiais primários é possível, porém muitas vezes requer altos custos de produção. Portanto, é decisivo o papel estratégico das autoridades ao exigir o

cumprimento das leis e guiar economicamente as reciclagens e deposições, bem como orientar os processos de reciclagem.

2.2.2 Classificação das argamassas

Apontam-se várias classificações às argamassas, presentes nas normas EN 998-1:2003 e EN 998-2:2003, mencionadas a seguir:

a) Classificação segundo o local de produção:

- Argamassas industriais, produzidas em fábrica sob a forma de pó, a serem misturadas com água, ou em pasta, pronta para ser utilizada;

- Argamassas industriais semiacabadas:

Argamassas pré-doseadas, cujos constituintes são doseados em fábrica e misturados em obra, de acordo com as instruções do fabricante.

Argamassas pré-misturadas, cujos constituintes são doseados e misturados em fábrica, sendo-lhes adicionados posteriormente outros constituintes especificados e/ou fornecidos pelo fabricante.

- Argamassas tradicionais (executadas em obra), compostas por constituintes principais, especificamente ligantes, agregado e água, doseados e misturados em obra.

b) Classificação segundo a concepção:

- Argamassas de Desempenho, cuja composição e processo de fabrico é definido pelo fabricante com o intuito de obter propriedades específicas;

- Argamassas de Formulação, fabricadas a partir de uma composição pré-definida, para qual as propriedades adquiridas dependem da proporção dos constituintes.

c) Classificação segundo as propriedades e utilização:

As propriedades e utilização das argamassas estão relacionadas diretamente ao fim a que se destinam (argamassa de alvenaria, reboco, monomassas, etc.). O Quadro 2.1 resume a classificação descrita.

Quadro 2.1 – Classificação das argamassas de acordo com as propriedades e utilização.

Critério	Argamassas de Reboco exteriores e interiores	Argamassas de assentamento de alvenaria
Segundo o local de produção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reboco industrial; ▪ Reboco industrial semi-acabado; ▪ Reboco feito em obra. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Argamassa industrial; ▪ Argamassa industrial semi-acabada; ▪ Argamassa feita em obra.
Segundo a conceção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reboco de desempenho); ▪ Reboco de formulação. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Argamassa de desempenho (ou de prestação); ▪ Argamassa de formulação.
Segundo as propriedades e utilização	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reboco de uso geral; ▪ Reboco leve; ▪ Reboco colorido; ▪ Monomassa; ▪ Reboco de renovação; ▪ Reboco de isolamento térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Argamassa de uso geral; ▪ Argamassa de alvenaria em camada fina; ▪ Argamassa leve.

É possível classificar as argamassas de acordo com outros parâmetros, atribuídos à aplicação e ao tipo de ligante. A classificação segundo a aplicação é dividida em cinco tipos, sendo estes:

- Argamassas de alvenaria, utilizadas para a construção de muros e paredes de tijolos ou blocos;
- Argamassas de reboco, destinadas para revestimento de paredes e muros, com capacidade hidrófuga ou não, podendo ter diversos acabamentos ou serem pintadas;
- Cimentos-cola, empregues para a colagem de elementos cerâmicos sobre um suporte, quer de reboco quer simplesmente sobre a parede ou pavimento.
- Massas para juntas – empregues para o preenchimento de juntas entre os elementos dos revestimentos, podendo ter funções estéticas (com diferentes tonalidades) ou funcionais (com propriedades impermeabilizantes).
- Argamassas de suporte para pavimentos – empregues na regularização e nivelamento de pavimentos.

A depender da finalidade a que são destinadas, existem diversas soluções de ligantes a adotar em sua composição, dando origem a classificação segundo o ligante, sendo estas as

- Argamassas aéreas, constituídas por gesso ou cal aérea;
- Argamassas hidráulicas, de cal hidráulica ou cimento;
- Argamassas pozolânicas, baseadas em diversos tipos de cimentos;
- Argamassas mistas ou bastardas, decorrente da mistura entre ligantes.

2.2.3 Propriedades e utilização

Assim como ocorre na classificação, a utilização das argamassas interliga-se à finalidade a que são destinadas previamente. Neste contexto, as funções possíveis são especificadas a seguir:

- Unir elementos de alvenaria e auxiliar na resistência dos esforços horizontais que possam vir a ocorrer em paredes, como flexão e cisalhamento, paralelos ou perpendiculares ao plano das paredes;
- Absorver determinadas deformações que a alvenaria ou as juntas sofrem naturalmente;
- Colar materiais de revestimentos;
- Selar as juntas contra a infiltração;
- Proporcionar o acabamento de tetos e paredes (rebocos), regularização de pavimentos (betonilhas) ou reparação em obras.

No âmbito do trabalho, prevê-se o desenvolvimento de uma argamassa ecoeficiente de reboco, de classe CS I, especificada segundo a norma EN 998-1:2003, que define as propriedades, métodos de ensaio em estado fresco e no estado endurecido.

Os diferentes métodos de utilização e as diversas condições de exposição requerem rebocos com diferentes propriedades e níveis de desempenho. De acordo com a norma, é estipulado valores referentes à resistência mecânica, a absorção de água e a condutividade térmica, descritos no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Classificação das propriedades das argamassas de reboco em estado endurecido, segundo a EN 998-1:2003.

Propriedades	Categorias	Valores
Resistência à compressão aos 28 dias	CS I	0,4 a 2,5 N/mm ²
	CS II	1,5 a 5,0 N/mm ²
	CS III	3,5 a 7,5 N/mm ²
	CS IV	= 6N/mm ²
Absorção de água por capilaridade	W0	Não especificado
	W1	C = 0,40 kg/(m ² .min ^{0,5})
	W2	C = 0,20 kg/(m ² .min ^{0,5})
Condutividade térmica	T1	= 0,1 W/m.K
	T2	= 0,2 W/m.K

2.2.4 Argamassas à base de conchas de ostras

O desafio em estudar materiais alternativos na construção civil se deve, entre outros, aos estudos limitados sobre o assunto e, conseqüentemente, à falta de normas. Os resíduos de conchas de moluscos bivalves empregados na indústria, apesar de serem investigados há muito tempo, assim como vestígios encontrados em construções de séculos passados, ainda não há grande literatura sobre o assunto, de fácil abordagem e acessível.

Apesar dos parâmetros condicionados, alguns estudos sobre conchas de ostras direcionados a aplicações em argamassa mostram resultados experimentais e apontam a substituição dos agregados em diferentes percentagens pelo resíduo, e ainda empregados como substitutos de materiais aglutinantes.

2.2.2.1 Resíduos de conchas de ostra como substituto de materiais aglutinantes

Os autores Lertwattanakul et al. (2012) introduziram resíduos de conchas de moluscos bivalves moídas para o desenvolvimento de argamassas de revestimento, a utilizar quatro tipos de conchas: concha de amêijoia japonesa (*Venerupis philippinarum*), concha de mexilhão (*Aliger gigas*), concha de berbigão (*Cerastoderma edule*) e concha de ostra (*Crassostrea gigas*).

As propriedades foram comparadas com as de uma argamassa de referência produzida com cimento Portland. Os autores descrevem o processo de produção a partir das lavagens das conchas, que após a secagem em forno à temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24h, foram moídas em um moinho de bolas. O traço adotado foi de 1:4 (ligante/areia), em massa volúmica, e a relação água/ligante variou para cada mistura (Figura 2.8). É citado, ainda, que as proporções de conchas marinhas moídas utilizadas como substitutos do cimento foram de 5%, 10%, 15% e 20%, em peso, e o tempo de cura estabelecido foi de 28 dias para a análise final.

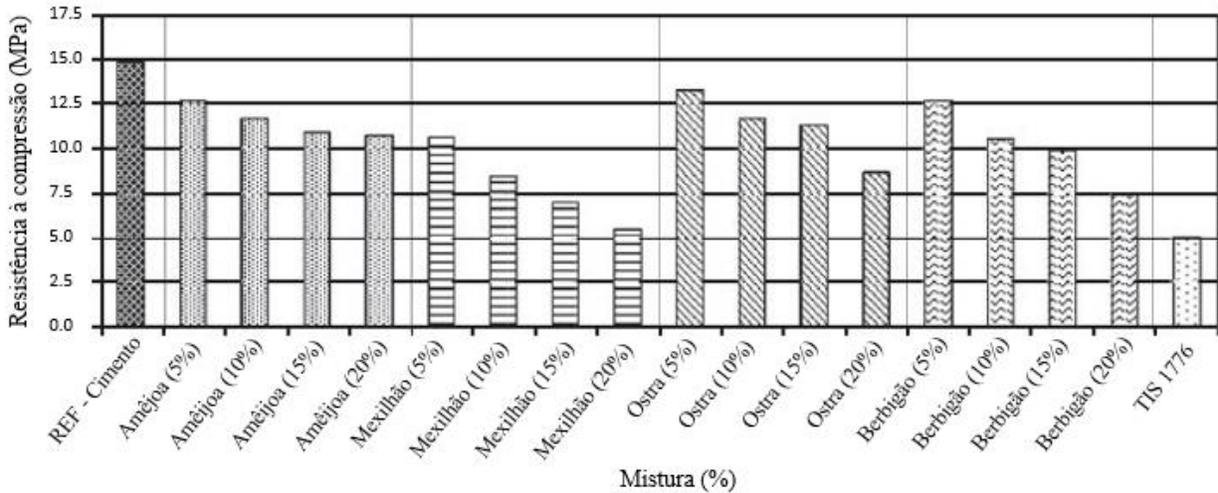


Figura 2.8 - Resistências à compressão aos 28 dias de diferentes argamassas constituídas por conchas do mar. Fonte: Lertwattanaruk et al. (2012)

De acordo com a Figura 2.8, o aumento da porcentagem de substituição dos resíduos de conchas tende a reduzir a resistência à compressão, fato justificado pelos autores que apontam o material conchífero ser menos reativo em comparação ao cimento. Além disso, reportam que esse comportamento pode estar ligado ao fato das partículas dos resíduos de conchas atuarem como material de enchimento, inserindo-se nos vazios. No entanto, apesar das resistências à compressão das argamassas com conchas de moluscos serem inferiores à da argamassa de referência com cimento, os autores destacam que, aos 28 dias, foram adequadas e superiores àquelas exigidas pelas normas para reboco, nomeadamente TIS 1776 e ASTM C270. Entre as conchas utilizadas, as argamassas que continham cascas de mexilhão foram as que apresentaram as menores resistências, devido as partículas serem um pouco maiores que as do cimento Portland, o que resulta em uma baixa densidade de empacotamento na mistura.

Em outras conclusões, os autores relatam que a substituição do cimento Portland por resíduos de conchas de moluscos reduziu a demanda de água na produção da argamassa e melhorou a trabalhabilidade, assim como os tempos de presa que foram ampliados. Ademais, a condutividade térmica das argamassas com incorporação de conchas moídas foi reduzida em comparação a argamassa de referência. O aumento da porcentagem de substituição das conchas de 5% para os 20% diminuiu em 1% e 45% a condutividade térmica da argamassa comparada a de cimento, o que contribuiu para um melhor isolamento térmico nas construções.

2.2.2.2 Resíduos de conchas de ostras como substituo de agregados

Chen et. al. (2019) avaliaram argamassas de conchas de ostras trituradas contendo materiais cimentícios suplementares. No estudo, 30% da areia (natural dos rios da China) foi substituída por conchas de ostras trituradas (CO), enquanto o cimento foi substituído em diferentes proporções (20%, 30% e 40%) por cinzas volantes (CV) e escórias granuladas de alto-forno moídas (EGAF), a serem comparadas com a argamassa de referência, composta também por resíduos de conchas de ostra trituradas e cimento em sua totalidade. Para todas as misturas de argamassas com cinzas volantes e escória granulada, a proporção do peso do material aglutinante/agregado fino/água foi de 1:2,5:0,45. Além disso, uma quantidade de superplastificante (SP), igual a 0,25% da massa total dos materiais aglutinantes, foi adicionada às misturas.

A Figura 2.9 mostra que a evolução da resistência à flexão das argamassas foi influenciada pelo tempo de cura. As misturas com adição de CV e EGAF resultaram em uma baixa resistência a flexão na idade precoce, o que está ligado à baixa reação pozolânica dos materiais cimentícios suplementares no tempo disposto (3 dias). Após a cura aos 90 dias, nota-se que a resistência das argamassas com CV e EGAF foi quase a mesma a da argamassa de referência. Além disso, destaca-se que a adição do EGAF na composição da argamassa foi mais eficiente no aumento da resistência à flexão em relação ao CV, devido a reação pozolânica no EGAF ser superior, uma vez que a microestrutura da argamassa com conchas de ostra e escória de alto-forno foi fortalecida.

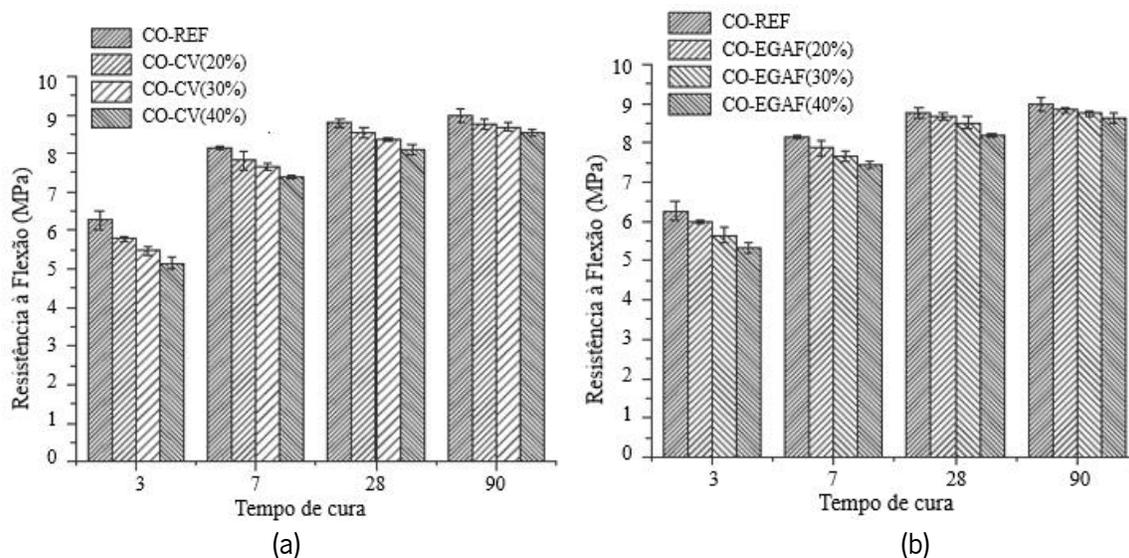


Figura 2.9 – (a) Resistência à flexão das argamassas com cinzas volantes (CV) e (b) Resistência à flexão das argamassas com escória de alto-forno (EGAF). Fonte: Chen et al. (2019)

Os ensaios à compressão também atestaram que as argamassas aumentam a resistência com o tempo de cura, porém a introdução de CV e EGAF não elevaram significativamente os resultados em comparação à argamassa de referência (Figura 2.10). As reações pozolânicas fracas não compensam a perda de produtos de hidratação devido ao curto período de cura (3 dias). Ademais, o aumento das percentagens dos materiais cimentícios suplementares adicionadas às misturas exibem menor resistência à compressão. As misturas com 40% de CV e 40% de EGAF reduziram suas resistências em 39,56% e 34,29%, respectivamente, em comparação a argamassa de referência.

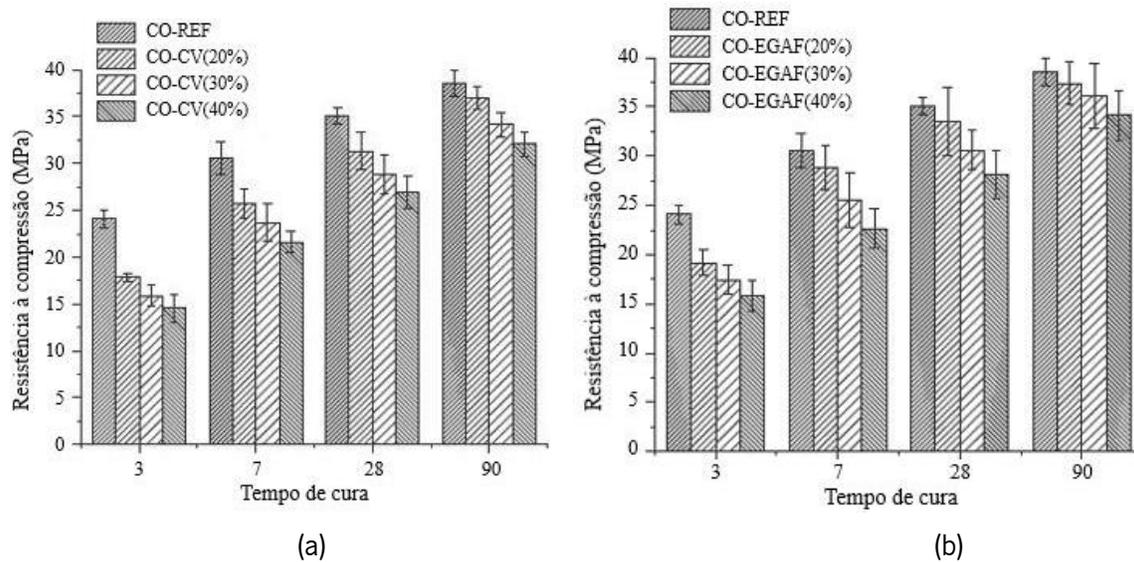


Figura 2.10 - (a) Resistência à compressão das argamassas com cinzas volantes (CV) e (b) Resistência à compressão das argamassas com escória de alto-forno (EGAF). Fonte: Chen et al. (2019)

Os autores justificam as baixas propriedades mecânicas e de transporte dado pelo teor de adições nas argamassas com conchas a partir da análise da microestrutura, que confirma o lento processo de hidratação das CV e das EGAF no começo do processo. No entanto, tal efeito diminuiu com o tempo de cura e tornou-se insignificante após 90 dias. Destacam também que, embora as proporções das misturas fossem comuns, outros tipos de dosagens e misturas das argamassas a conter conchas de ostras trituradas com materiais cimentícios suplementares deveriam ser avaliados para construções específicas. Ressaltam, ainda, que o comportamento inicial da argamassa requer melhorias, as quais poderiam ser feitas através da adição de CV ultrafinas ou agregado fino de conchas de ostra trituradas com tratamento superficial.

3. MATERIAIS, COMPOSIÇÕES E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

3.1 Introdução

Neste capítulo serão expostos os materiais utilizados no desenvolvimento da argamassa ecoeficiente à base de conchas de ostras, selecionados de acordo com suas propriedades e características convenientes ao trabalho, bem como as diferentes composições adotadas, de modo a otimizar a produção e alcançar resultados promissores.

O desenvolvimento da argamassa e os procedimentos de ensaio foram realizados em laboratório, a fim de caracterizar as composições empregadas, em estado fresco e endurecido, a investigar as propriedades físicas e mecânicas. Os equipamentos e ensaios deram-se com base nas normas referidas.

3.2 Materiais utilizados

3.2.1 Conchas de ostras

As conchas de ostras foram obtidas através da empresa Aquagoma, situada em Viana do Castelo. Por conta de um lapso na produção das ostras, no estuário do Rio Lima, no qual estas alcançaram 90% de mortalidade, ainda sem causa específica, as conchas foram recolhidas e armazenadas em *big bags*, dispostos em aterro da própria empresa. As espécies cultivadas são a ostra-do-pacífico ou ostra-gigas (*Crassostrea gigas*) e a ostra-portuguesa (*Crassostrea angulata*), modificadas por um sistema de produção que consiste em potes rotativos locados no rio, com o intuito de torná-las *especiais* ou *superespeciais*, de qualidade superior às convencionais e com um maior percentual de carne.

Na realização da campanha experimental, as conchas foram primeiramente lavadas com água, a fim de remover resíduos de sujidade e, em seguida, secas à temperatura ambiente, exposto na Figura 3.2. Para alcançar a consistência de pó, foram moídas e empregues em duas granulometrias distintas, com o intuito de descobrir o melhor desempenho e trabalhabilidade das misturas. Neste sentido, o processo de moagem deu-se por meio do equipamento utilizado no ensaio de fragmentação de Los Angeles (NP EN 1097-2), numa sequência de 40 ciclos de 20 minutos em moagem. No intuito de conferir partículas ainda mais finas, o pó resultante foi processado a mais 10 ciclos no moinho de bolas e por fim peneiradas ($\leq 75\mu$). A outra

granulometria adotada foi a partir da moagem unicamente no moedor Los Angeles por 40 ciclos, na intenção de otimizar a produção do pó e o processo do desenvolvimento da campanha experimental. Posteriormente, será detalhada a granulometria dos pós de ostras a partir de ensaio granulométrico em laboratório. A preparação das conchas para o processo de moagem é explicitada na Figura 3.1.



Figura 3.1 – (a) Conchas de ostras a lavar em água; (b) Conchas de ostras a secar em temperatura ambiente e (c) Conchas de ostras secas. Fonte: Autor (2020)

O principal constituinte das conchas de ostras é o carbonato de cálcio (CaCO_3), como referido anteriormente no capítulo 2. Neste sentido, o pó das conchas será empregue como produto principal no desenvolvimento da argamassa, a atuar como um ligante nas misturas, tendo em vista suas características. Pretende-se aproveitar suas características aglomerantes e investigar suas propriedades de trabalhabilidade e de resistência física e mecânica às misturas das argamassas. Ressalta-se a influência do ácido acético como agente de reação, bem como da água e os ambientes de cura estabelecidos.

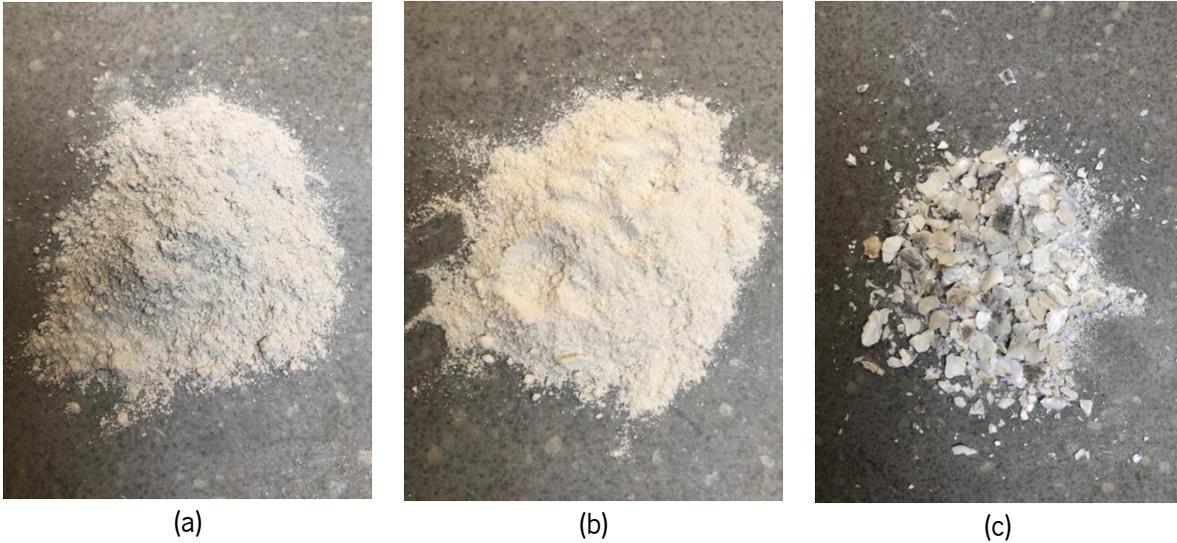


Figura 3.2 – (a) Pó de conchas moídas em equipamentos apropriados e peneiradas por fim, (b) Conchas de ostras moídas unicamente no moedor Los Angeles e (c) Conchas trituradas a serem utilizadas como agregado na argamassa.

Ademais, as conchas do bivalve também foram aproveitadas como um possível agregado na constituição da argamassa, passando pelo processo de trituração no equipamento triturador após a lavagem e secagem e, em sequência, levadas à moagem por peneiramento até chegar a uma granulometria de $\leq 4,75$ mm Para a dosagem adequada, entre grãos mais grossos e grãos mais finos, as conchas trituradas passaram pelo processo de divisão de grãos, através do equipamento divisor de amostras em queda, da marca Soiltest modelo OL 244 A, até chegar a quantidade desejada em volume do agregado para a execução da argamassa. A Figura 3.3 evidencia o processo de granulometria do agregado de conchas.

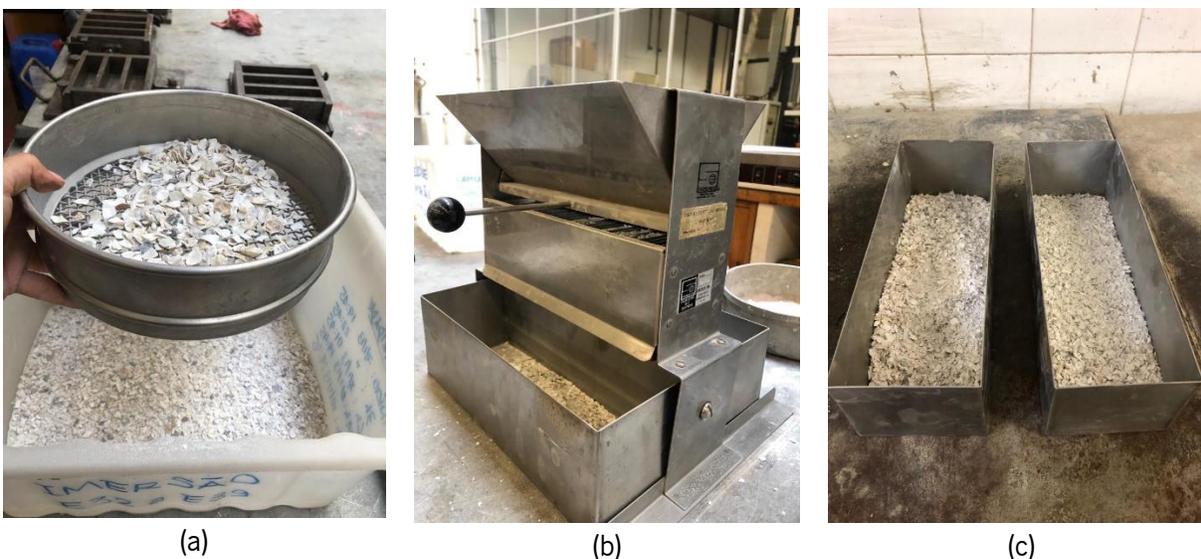
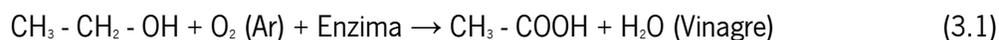


Figura 3.3 – (a) Peneiramento das conchas trituradas, (b) Divisor de grãos da marca Soiltest e (c) Agregado utilizado na produção de argamassas após o processo de preparação.

Como resultado, as conchas foram potencialmente aproveitadas quase na sua totalidade para a composição da argamassa, de maneira a promover a ecoeficiência pela contribuição na valorização deste resíduo. Pode-se dizer, ainda, que o processo de produção do pó e do agregado é uma alternativa relativamente simples, barata e eficiente, em comparação ao fabrico de materiais convencionais.

3.2.2 Ácido Acético em Vinagre

O ácido acético (CH_3COOH) foi empregue por meio da sua concentração em vinagre de vinho branco de marca nacional, no qual é obtido exclusivamente do vinho pelo processo biológico de fermentação acética (Decreto-Lei n.o 174/2007, 2007). Essa fermentação ocorre a partir de um microrganismo denominado *Mycoderma aceti*, responsável por produzir a enzima *alcoholoxidase* que catalisa soluções alcoólicas, como o vinho, produzindo a solução aquosa de ácido acético, conhecida como vinagre. A seguir é expressa a fórmula da fermentação acética (Togeas, 2005):



O ácido acético é oficialmente nomeado por ácido etanoico, sendo o ácido carboxílico (especificamente, um ácido monocarboxílico) mais comum do cotidiano (Fogaça, 2021). Apesar de ser tido como um ácido fraco, é corrosivo e, ainda, um reagente químico importante e amplamente utilizado na indústria química

para a produção de politereftalato de etila (PET), produtos farmacêuticos, inseticidas e no fabrico de tintas e em aromatizantes, como solvente (Fogaça, 2021). A fórmula química do ácido acético é $C_2H_4O_2$ e a estrutura é mostrada na Figura 3.4. As propriedades físicas estão expostas na Tabela 3.1, de acordo com a Agência Europeia das Substâncias Químicas.

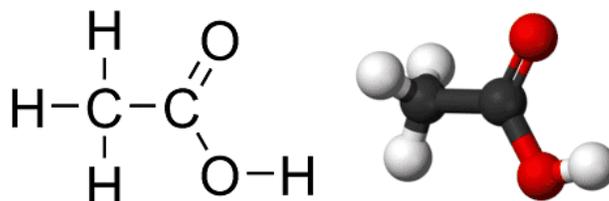


Figura 3.4 – Fórmula estrutural do ácido acético ou ácido etanoico. Fonte: Fogaça (2021)

Tabela 3.1 - Propriedades físicas do ácido acético em seu estado puro. Fonte: ECHA (2006)

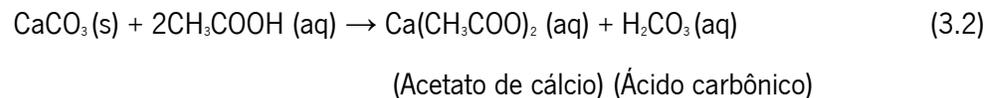
Características	
Estado físico	Líquido
Cor	Incolor
Odor	Pungente
Massa molar	60.05 g/mole
Densidade	1.0446 g/cm ³ a 25 °C
Ponto de fusão	16,64 °C
Ponto de ebulição	117.9 °C
Solubilidade em água	602.9 g/l a 25°C (Obs.: Solúvel em água, álcool, acetona, benzeno e outros solventes orgânicos)
pH (Valor)	1.0M = 2.4/0.1M = 2.9/ 0.01M = 3.4
Viscosidade	1.056 MPa s a 25 °C
Classificação UE	Corrosivo (C) Inflamável (F)

O desenvolvimento do trabalho experimental parte da investigação da reação do vinagre misturado às conchas de ostras, em granulometria de pó, com a intenção de este ácido dissolver o cálcio contido nas conchas e posteriormente cristalizar (Blinkova & Eliseev, 2005), além de se obter melhor trabalhabilidade em estado fresco das argamassas a serem produzidas. Experimentaram-se diferentes percentagens do ácido acético em vinagre na relação com o ligante (pó de conchas), tal como a água (A/L), com a premissa de

encontrar propriedades químicas e físicas relevantes ao andamento da pesquisa, bem como adquirir resistências mecânicas adequadas ao material.

A acidez total do vinagre de vinho branco utilizado, expressa em ácido acético por 100 ml é de 6g/100 ml, conforme descrito na embalagem. O uso do ácido acético no desenvolvimento da argamassa ecoeficiente tem como princípio dissolver o carbonato de cálcio (CaCO₃) presente nas conchas de ostras e, mediante a evaporação do vinagre, entrar em processo de cristalização.

O carbonato de cálcio é um sal de caráter básico, enquanto o vinagre é composto por uma solução aquosa de ácido acético (H₃C-COOH), como já mencionado. Assim como ocorre com outras bases, o carbonato reage na presença do ácido, a originar dióxido de carbono (CO₂), observado pela reação efervescente (bolhas), provocada pela mistura das conchas com o vinagre. A seguir é expressa a reação química, segundo Blinkova & Eliseev (2005):



Ou



Para a melhor compressão da reação do ácido acético e o carbonato de cálcio presente nas conchas dos moluscos bivalves, foram realizados ensaios de Difração de Raios X (DRX), cujo resultado será pormenorizado adiante.

3.2.3 Água

A água utilizada na produção das argamassas foi viabilizada pelo Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, em Guimarães, e está em conformidade com a norma NP EN 196-1, a qual descreve que a água é considerada adequada para o fabrico de betões e argamassas quando é potável. O pH da água utilizada variou de 6,5 a 8,0 segundo dados obtidos da empresa que abastece Guimarães (*Vimágua*, 2021).

A utilização da água à composição das pastas das argamassas procedeu-se de maneira comparativa ao ácido acético em vinagre, de modo a investigar o comportamento do carbonato de cálcio na relação com

esta e os ambientes de cura a que as misturas foram expostas, assim como as resistências mecânicas e de durabilidade, na tentativa de adquirir algum ganho ou melhorias nos resultados. Para além disso, considerou-se o uso da água pela facilidade de disposição, otimização da produção e possivelmente ao baixo custo associado em relação ao ácido acético puro ou contido em vinagre, sendo ambos introduzidos em proporções similares ou de variância mínima.

3.2.4 Adições

À composição das pastas e argamassas foram incorporadas pequenas quantidades de adições minerais a partir de diferentes materiais com propriedades aglomerantes ou de propriedades pozolânicas, os quais serão expostos e especificados a origem, composição química e características físicas.

A intenção em utilizar adições prevê o contributo de propriedades que somente o produto principal não concedia, de modo a potencializar ou não características previamente encontradas. As quantidades adotadas foram estudadas a fim de se estabelecer uma composição final coerente para a produção das argamassas.

3.2.4.1 Cal viva

A cal viva ou cal virgem é um produto aglomerante inorgânico, obtido através do processo de calcinação do calcário, o qual é encontrado em forma de rocha no meio natural. A natureza mineralógica, em estado puro, é o carbonato de cálcio (CaCO_3). Quando submetido a temperaturas elevadas ($\geq 800^\circ\text{C}$), em fornos indicados para efeito, o carbonato de cálcio liberta dióxido de carbono (CO_2) e transforma-se em óxido de cálcio (CaO), maior componente da cal viva, a ser comercializada sob a forma de pedra ou pó. Ao fim do processo de calcinação, a cal viva granulada resultante é conduzida ao processo de moagem, na intenção de reduzir ainda mais as partículas e torná-las um pó fino e homogêneo. A equação do processo de transformação da cal viva dá-se a seguir:



Às misturas das argamassas foi utilizada cal viva em pó da marca portuguesa Lacrilar. A Tabela 3.2 e Tabela 3.3 indicam os componentes químicos presentes na cal viva e suas características físicas, de acordo com o fabricante referido e em conformidade com o regulamento EC 1907/2006 (REACH) e EU 2015/830.

Tabela 3.2 – Composição química da cal viva. Fonte: Lacrilar (2019)

Componentes químicos	CaO	Mg	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	S	CO ₂
%	81≤100	<0,5	<0,3	<0,1	<0,1	<0,01	<0,5	<4

Tabela 3.3 – Características físicas da cal viva. Fonte: Lacrilar (2019)

Características	
Estado físico	Sólido
Aspeto	Pó
Cor	Branco
Odor	Inodoro
Densidade relativa (20°C)	3,31 g/cm ³
Ponto de fusão	> 450 °C
Solubilidade em água (20°C)	1,3 kg/m ³
pH	12,3
Granulometria	< 10% acima do limite superior < 10% abaixo do limite inferior

A cal viva em pó foi empregue como um aditivo no desenvolvimento da argamassa à base de conchas de ostras, em quantidades reduzidas (2%-5%), com a finalidade de aproveitar suas propriedades plásticas e trabalháveis enquanto frescas e detentoras de rigidez quando em contato com o ar, pela absorção do gás carbônico (CO₂). De modo geral, a cal viva possibilita a redução de problemas relacionados a fissuras por retração e contribui para a resistência mecânica das argamassas (Coelho et al., 2009).

Deve-se atentar que a cal viva quando misturada à água desencadeia um processo reativo de libertação de calor, e a depender da quantidade, pode atingir 90°C a 120°C. Pela baixa quantidade adotada nas misturas das argamassas, a reação foi pouco ou não notada, entretanto precede às recomendações de segurança segundo a NP EN 459-1:2011.

3.2.4.2 Cimento

O cimento é um aglomerante hidráulico muito utilizado na construção como um dos componentes básicos do betão e das argamassas. É constituído de clínquer e adições que distinguem os diversos tipos existentes

no mercado, o qual confere propriedades mecânicas e químicas distintas à materiais como argamassas e betão.

No trabalho foi utilizado cimento Portland de calcário, em pequenas quantidades, do tipo CEM II/B-L 32,5N da marca CIMPOR e, por sua vez, indicado especialmente para a produção de argamassas e betões de resistência moderada. Segundo o fabricante, esse tipo de cimento é constituído por Clínquer Portland (65%-79%), calcário (21%-35%) e outros (0%-5%). Outrora, foi feito uma pesquisa a respeito da sua composição química a partir do ensaio por Espectroscopia por Dispersão de Elétrons (EDS) em cimento do mesmo tipo e marca, segundo Reis (2009). Os constituintes foram dispostos na Tabela 3.4.

É evidente que a produção de cimento acarreta grandes impactos ambientais, seja pela extração da matéria-prima ou pela sua produção, na qual requer alto consumo de energia e emissão de dióxido de carbono (CO_2). Por outro lado, salienta-se que a sua utilização no desenvolvimento da argamassa, centrada na ecoeficiência, foi utilizada em quantidades mínimas, entre 2% e 5% do peso, de forma a investigar um possível ganho ou melhoria das propriedades da argamassa.

Essa categoria de cimento possui características como trabalhabilidade em estado fresco, além da alta durabilidade e resistências mecânicas e ao fogo em estado endurecido. Além disso, é facilmente encontrado no mercado pela maior disponibilidade no mercado. A seguir é possível verificar na Tabela 3.5 as principais características físicas e mecânicas do cimento CEM II/B-L 32,5N, de acordo com a ficha técnica disponibilizada pelo fabricante, em consonância a NP EN 197-1:2012.

Tabela 3.4 – Composição química do cimento CEM II/B-L 32,5N. Fonte: Reis (2009)

Componentes químicos	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl	CaO livre	Perda ao fogo	Resíduo insolúvel
%	59	2,10	15,97	4,04	2,17	3,15	0,01	1,06	11,72	2,60

Tabela 3.5 – Características físicas e mecânicas do cimento. Fonte: CIMPOR (2020)

Características		
Constituintes	Clínquer Portland	65% a 79%
	Calcário	21% a 35%
	Outros	0% a 5%
Características físicas	Estado físico	Sólido
	Aspeto	Pó
	Cor	Cinzento
	Início de presa	≥ 75 min (NP EN 196-3)
	Expansibilidade	≤ 10 min (NP EN 196-3)
Características mecânicas	Resistência à compressão aos 7 dias	≥ 16 MPa (NP EN 196-1)
	Resistência à compressão aos 28 dias	≥ 32,5 e ≤ 52,5 MPa (NP EN 196-1)

3.2.4.3 Resíduo de tijolo cerâmico

O tijolo é um material amplamente adotado na construção de alvenarias. É tradicionalmente um material cerâmico em forma de bloco retangular, geralmente em tom avermelhado devido a sua composição e cozimento. Pode ser encontrado em diversos tamanhos, vindo a ser vazado, maciço, rústico ou oco. Na grande maioria das vezes é caracterizado por produtos oriundos da argila ou misturas que as contém.

À mistura da argamassa ecoeficiente foi incorporado resíduos de tijolos cerâmicos, produzidos a partir da argila, submetida ao processo de calcinação após sua extração e processo de produção. Quando a argila adquire a forma de pasta, misturada à água, sucede-se ao corte e dimensionamento que variam conforme é-lhe especificada. Por fim, é levada ao processo de calcinação em forno adequado, vista a adquirir homogeneidade, e assim obtém-se o produto final.

Adotou-se os resíduos de tijolos na consistência de um pó fino de granulometria $\leq 75\mu\text{m}$, após o processo de trituração no equipamento triturador e moagem no equipamento Los Angeles e, assim, vir a contribuir por meio de suas propriedades pozolânicas. Na Tabela 3.6 é expressa a composição química do resíduo de tijolo instituído, através do ensaio de Espectroscopia por Dispersão de Elétron (EDS), segundo literatura, respetivo ao material similar.

Tabela 3.6 – Composição química do resíduo de tijolo cerâmico a partir do ensaio EDS. Fonte: Pires (2021)

Componentes químicos	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
%	0,50	1,59	58,83	25,39	2,22	7,92	0,42	1,22

Tabela 3.7 – Aspectos físicos do pó de resíduo de tijolo.

Características		
Aspectos físicos	Estado físico	Sólido
	Aspetto	Pó
	Cor	Avermelhado
	Granulometria (>µm)	75

3.2.4.4 Metacaulino

O metacaulino é um material pozolânico derivado do mineral argiloso caulinite (Al₂Si₂O₅(OH)₄), que constitui o caulino. O metacaulino é obtido da calcinação do caulino à uma temperatura entre 500°C e 800°C que, por sua vez, provoca sua desidroxilação, correspondente a perda de hidroxilos (OH) da estrutura, que se agrupam dois a dois e libertam uma molécula de água e deixam em seu lugar um átomo de oxigênio. A reação de transformação da caulinite em metacaulino, por calcinação, é vista a seguir:



A composição química do metacaulino é formada essencialmente por sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃) reativas e pode ser compreendida na tabela abaixo com base no estudo de alguns autores:

Tabela 3.8 – Composição química do metacaulino baseado em estudos distintos.

Descrição	Compostos químicos (%)						
	Autor/Ano	CaO	K ₂ O	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃
<i>Gruber et al. (2001)</i>	0,05	0,16	52,1	0,60	-	45,3	0,21
<i>Marinho (2019)</i>	-	1,79	51,4	2,22	0,48	43,1	0,21
<i>Khatib & Wild (1996)</i>	-	-	52,1	4,32	-	41,0	-
<i>Poon et al. (2001)</i>	0,02	0,10	53,02	0,38	0,05	43,9	0,17

Tabela 3.9 – Características físicas do metacaulino.

Características		
Características físicas	Estado físico	Sólido
	Aspeto	Pó
	Cor	Cinza
	Massa volúmica (kg/m ³)	2360
	Superfície específica de Blaine (m ² /kg) ²	387,9
	Granulometria (>45µm)	14,10% – 31,55%
	Granulometria (>75µm)	5,60% – 18,85%
	Humidade	0,01% – 0,32%
	Teor de água	0,297

O metacaulino quando moído finalmente e na presença do ar e humidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio (CH) de forma a obter componentes com propriedades similares ao cimento (Lopez, 2009). Deste modo, o metacaulino foi utilizado como uma pequena percentagem de adição, com a intenção de corrigir baixas resistências, a contribuir também com a durabilidade da argamassa devido a consistência fina e homogénea, além de ser um material reativo.

3.2.4.5 Filer calcário

O filer calcário é um material cimentício suplementar, procedente da moagem fina do calcário, basalto e materiais carbonáticos, sendo comumente utilizado na produção de cimentos. O processo de produção do

filer é, de certo modo, simples. Dá-se pela extração da matéria-prima e moagem, gerando entre 26 e 75kg CO₂/ton, enquanto a produção de clínquer, presente no cimento, produz cerca de 821kg CO₂/ton.

Esse material é considerado inerte ou de baixa reatividade, tendo como função principal a diluição ou à melhoria do empacotamento do material seco, de forma a auxiliar a demanda de água na produção de argamassas. Portanto, a sua adição acarreta benefícios às propriedades mecânicas e otimização da produção quando demanda a redução de água incorporada e, conseqüentemente, redução da relação água/ligante.

Outras características vinculadas ao filer advém da correlação entre o diâmetro das partículas e a otimização das propriedades físicas desse material. Consta-se que a influência de filer calcário é, muitas vezes, positiva tanto no que diz respeito à resistência à compressão das argamassas e betões, quanto a outras propriedades como a durabilidade, permeabilidade aos cloretos e a resistividade elétrica (Madani et al., 2016).

O filer calcário utilizado no trabalho experimental é de origem nacional e sua composição química e características físicas são exibidas na Tabela 3.10 e Tabela 3.11, segundo estudo do autor. Nota-se que o carbonato de cálcio (CaCO₃) constitui o compósito quase por total, devido à sua derivação.

Tabela 3.10 – Composição química do filer calcário. Fonte: Camões (2005)

Componentes químicos	CaCO ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Perda ao fogo	Resíduo insolúvel
%	99,00	<0,40	<0,3	43,61	0,04

Tabela 3.11 – Características físicas do filer calcário. Fonte: Camões (2005)

Características		
Características físicas	Estado físico	Sólido
	Aspetto	Pó
	Cor	Branco
	Massa volúmica (Kg/m ³)	2700
	Granulometria (>µm)	18,00 %

3.2.4.6 Cinzas volantes

As cinzas volantes são decorrentes do processo de queima do carvão à altas pressões e temperaturas, as quais são arrastadas pelo fumo proveniente da queima, sob a forma de um pó mineral fino. Após a passagem pelo sistema de desnitrificação, as cinzas são captadas por filtros despoeiradores (precipitadores eletrostáticos) e armazenadas em reservatórios próprios para serem vendidas posteriormente à indústria da construção, utilizadas maioritariamente na produção de cimento e betão (PEGOP, 2016). Na Figura 3.5 é ilustrado o processo de produção das cinzas volantes durante o funcionamento da central termoelétrica:



Figura 3.5 - Esquema ilustrativo do processo de produção das cinzas volantes na Central do Pego. Fonte: PEGOP (2016)

As cinzas volantes utilizadas são provenientes da Central Termoelétrica do Pego, em Abrantes. As partículas são esféricas e finas, geralmente com dimensões entre 0,5 e 100 μm (Pires, 2021). Dado a precedência por impurezas minerais do carvão, o dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3) encontram-se em maiores quantidades, conforme apresentado na Tabela 3.12. Deste modo, além da possibilidade de servir à produção de geopolímeros, devido a quantidade de silício e alumínio presentes, é considerado um material com atividades pozolânicas e pode até atuar como um ligante. No mais, é classificado em categoria de classe C ou classe F, a depender da quantidade do teor de minerais (cálcio, sílica, alumina e ferro) na sua composição, consoante a norma ASTM C618. Conforme se pode constatar por observação da Tabela 3.12, o teor de CaO das cinzas volantes selecionadas é reduzido e, portanto, podem ser enquadradas na classe F da ASTM C618.

Tabela 3.12 – Composição química das cinzas volantes da Central Termoelétrica do Pego.

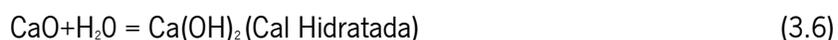
Componentes químicos	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
%	1,26	1,56	54,11	22,87	12,80	0,79	0,01	3,49	1,60

Tabela 3.13 – Características físicas das cinzas volantes segundo estudo. Fonte: Camões (2005)

Características		
Características físicas	Estado físico	Sólido
	Aspetto	Pó
	Cor	Cinza
	Massa volúmica (kg/m ³)	2360
	Superfície específica de Blaine (m ² /kg) ²	387,9
	Granulometria (>45µm)	14,10% – 31,55%
	Granulometria (>75µm)	5,60% – 18,85%
	Humidade	0,01% – 0,32%
	Teor de água	0,297

3.2.4.7 Cal hidratada

O hidróxido de cálcio, conhecido como cal hidratada ou cal apagada, é um composto químico resultante do processo de hidratação ou “apagamento”, quando a cal viva ou óxido de cálcio (CaO) é misturada à água (H₂O), originando a reação da cal, de maneira a liberar calor e originar um pó seco e extremamente fino. Abaixo é exibido a reação que deriva o hidróxido de cálcio:



A cal hidratada apresenta-se em estado puro como um sólido branco e inodoro. A solução aquosa é uma base relativamente forte e deve-se atentar à reação exotérmica na presença de ácidos, formando sais de cálcio. Dado as suas propriedades básicas fortes, o hidróxido de cálcio é considerado um produto possível a aplicações variadas.

Foi empregue ao desenvolvimento da argamassa a cal hidratada da marca Maxical. Na Tabela 3.14 é exposto um resumo da ficha técnica do fabricante acerca da composição química e as características físicas do

hidróxido de cálcio, de acordo com o regulamento (UE) n° 2015/830. Ademais, ressalta-se que o produto deve ser armazenado em lugar seco e coberto, evitando qualquer contacto com ar e humidades, de modo a evitar sua degradação.

De modo geral, a cal hidratada atua como um aglomerante, a contribuir para o enrijecimento das argamassas através do contato com ar. Garante, ainda, vantagens como melhor manuseio e plasticidade das misturas das argamassas, maior potencial de aderência ao revestimento e alta capacidade de retenção de água e, por conseguinte, contribui para a redução de problemas com fissuração por retração e maior resistência mecânica (Coelho et al., 2009).

Tabela 3.14 – Características físico-químicas da cal hidratada. Fonte: Maxical (2017)

Características da Cal Hidratada		
Composição química	Hidróxido de Cálcio - Ca(OH)_2	$\geq 4,0\%$
	Sulfatos - SO_3	$\leq 2,0\%$
Características físicas	Estado Físico	Sólido
	Aspetto	Pó
	Cor	Branco
	Odor	Inodoro
	Peso molecular	74,09 g/mole
	Ponto de Fusão	$\geq 450^\circ\text{C}$ (resultado de estudo, método EU A.1)
	Densidade relativa	2,24 (resultado de estudo, método EU A.3)
	Solubilidade na água	1844,9 mg/l (resultado de estudo, método EU A.6)
	pH	12,4 (solução saturada a 20°C)
	Temperatura de decomposição	Quando aquecido acima de 580°C , o hidróxido de cálcio decompõe-se produzindo óxido de cálcio (CaO) e água (H_2O).
	Massa Volúmica	300 – 800kg/m^3 (20°C)

3.2.4.8 Gesso

O sulfato de cálcio (CaSO_4) é encontrado na natureza sob a forma de gipsita, um minério de cálcio compacto de baixa dureza composto por sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ou na forma de anidrita, um mineral anidro de origem rochosa de sulfato de cálcio. O gesso é um produto de característica aglomerante produzido a partir da calcinação da gipsita, no qual é desidratada e reduzida à forma de pó de coloração branca ou em tom bege, e a resultar em sulfato de cálcio hemihidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ (gesso), utilizado abundantemente na construção.

A produção de gesso acontece basicamente em quatro etapas: extração da gipsita; preparação; calcinação e seleção. Em suma, após a extração, a gipsita é conduzida ao processo de calcinação em forno adequado, numa temperatura de 140°C a 160°C , de forma que 75% da água de cristalização seja reduzida da estrutura e assim obter-se o hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). A calcinação pode ocorrer à seco, sob pressão atmosférica, e assim derivar o hemidrato β . Quando sob pressão de vapor de água saturante, é obtido o hemidrato α , sendo este destinado a aplicações mais nobres (gesso hospitalar) devido ao processo de fabrico e, conseqüentemente, de valor mais elevado. Enquanto o gesso hemihidratado β , com custo de produção mais baixo, destina-se maioritariamente à indústria da construção.

Na composição das argamassas foi inserido o gesso estuque (hemihidratado não aditivado) de cor branca da marca Sival, comercializado na consistência de pó fino. As características físicas e a resistência à flexão podem ser observadas na Tabela 3.15 segundo informação do fabricante, a seguir a norma EN 13279 – 1. Recomenda-se o armazenamento do produto em local seco e medianamente ventilado.

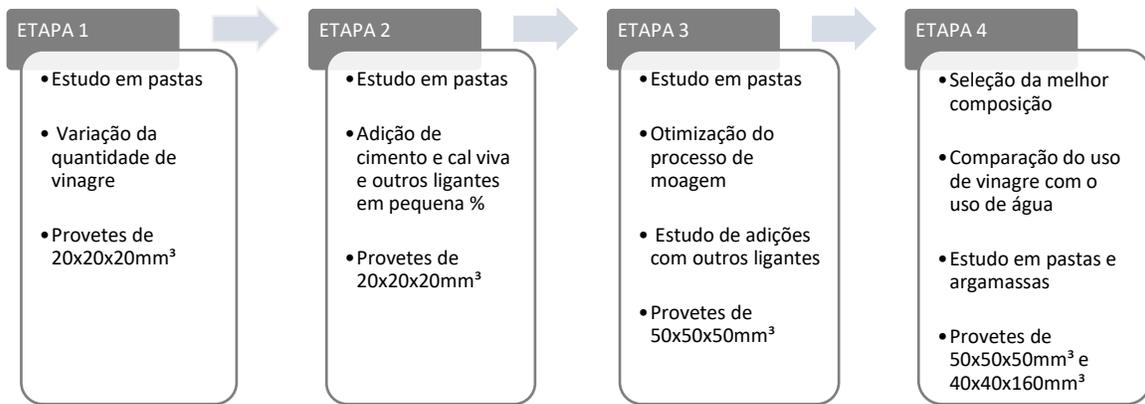
Tabela 3.15 – Características físicas e mecânica do gesso estuque. Fonte: Sival (2013)

Características		
Características físicas	Estado Físico	Sólido
	Aspetto	Característico
	Cor	Branco
	Odor	Inodoro
	Peso molar	136,14 g/mol
	Densidade (20°C)	2.960 kg/m ³
	Solubilidade em água (20°C)	2 kg/m ³
	Relação Gesso/Água	1,450 kg/l
	Resíduo (500 micron)	≤ 0,100%
	Resíduo (300 micron)	≤ 0,650%
	Ponto de fusão	1,460°C
	Tempo de início de presa	12min ± 3min
	Tempo de fim de presa	28min ± 5min
Características mecânicas	Resistência à flexão	52 kg/cm ²

3.2.5 Composições estudadas

As composições adotadas partiram de uma pesquisa aprofundada a respeito da possível aplicação das conchas de ostras em materiais de construção. Seguiu-se à uma experiência inicial do comportamento das conchas em contato com o ácido acético do vinagre. A princípio, as conchas foram trituradas e misturadas ao vinagre, com a premissa de analisar a reação resultante e o processo de dissolução do cálcio e cristalização a ser obtido. A quantidade determinada deu-se de maneira empírica, para efeito de estudo. Observou-se o endurecimento das conchas ao longo do tempo, bem como o processo de formação do acetato de cálcio e a liberação de gás carbônico.

O estudo e o emprego real do uso de conchas de ostras na construção ainda é limitado, assim como à mistura com o ácido acético. Logo, o processo deu-se, de facto, por método de análise experimental, na busca de resultados relevantes e a melhor compreensão do desenvolvimento. De modo a designar mais facilmente o processo de estudo das composições, dividiu-se em etapas:



1º Etapa: Consistiu na pesquisa experimental do comportamento das conchas de ostras trituradas e vinagre, em quantidade não especifica. Após o feito, as conchas seguiram ao processo de moagem, até chegar a granulometria de $<75\mu\text{m}$, a ser denominada como PCO1 (Pó de conchas de ostras), para o melhor empacotamento e trabalhabilidade da mistura com o ácido acético do vinagre (AAV). Para além disso, foi investigado o uso do vinagre em diferentes percentagens nas pastas, permitindo-se encontrar o melhor resultado relativos às suas características, nomeadamente na razão líquidos/sólidos, L/S, de 0,3, 0,4 e 0,5, bem como o comportamento em ambientes de cura distintos (temperatura ambiente, câmara de carbonatação e estufa a 50°C). Nessa etapa, utilizaram-se provetes pequenos, de 20x20x20mm³, sendo três desses para cada composição.

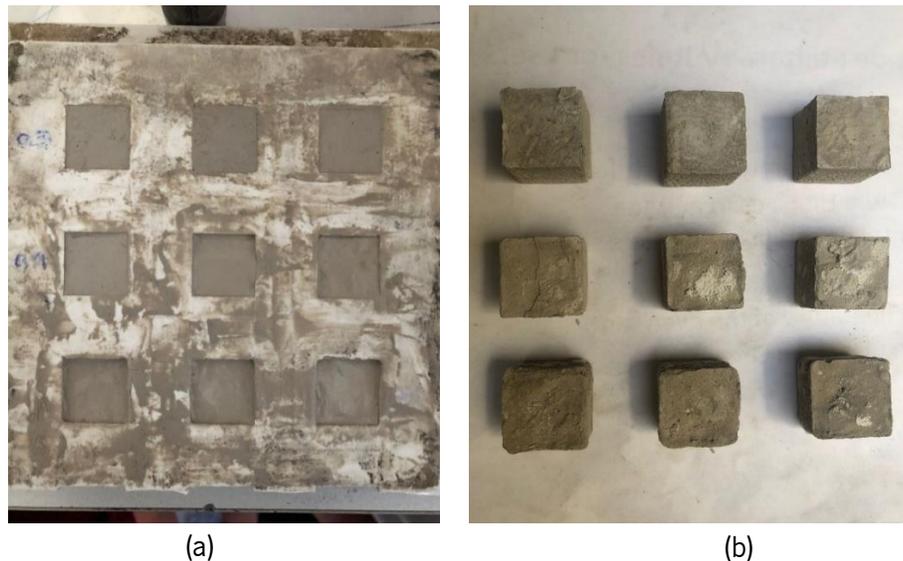


Figura 3.6 – (a) Pastas após um dia de cura e (b) Provetes de 20x20x20mm³ após 28 dias de cura em câmara de carbonatação.

O Quadro 3.1 mostra as composições estudadas nessa etapa. Inicia-se a investigação a partir da dosagem do vinagre misturado ao pó de conchas de ostras, adotado em quantidades reduzidas.

Quadro 3.1 - Composições estudadas na Etapa 1.

Composição	PCO1(g)	AAV (L/S)	Média Densidade aparente (kg/m ³)	Ambiente de cura	Tempo de cura (d)
PCO1_0,3AAV_TA	15	0,30	1583,90	Temperatura ambiente	28
PCO1_0,4AAV_TA	14	0,40	1484,81		
PCO1_0,5AAV_TA	13	0,50	1264,45		
PCO1_0,3AAV_CO2	15	0,30	1469,29	Câmara carbonatação	28
PCO1_0,4AAV_CO2	14	0,40	1416,89		
PCO1_0,5AAV_CO2	13	0,50	1255,12		
PCO1_0,3AAV_50C	15	0,30	1517,75	Estufa 50°C	28
PCO1_0,4AAV_50C	14	0,40	1307,07		
PCO1_0,5AAV_50C	13	0,50	1208,01		

2º Etapa: Procedeu-se a pequenas adições minerais (cimento, CM, ou cal viva, CalV) às pastas de PCO1 e AAV, com o intuito de melhorar suas características de resistência e durabilidade. Os ligantes introduzidos inicialmente tiveram percentagens variadas de 1%, 2%, 3% e 6% da massa de PCO1. O vinagre foi estabelecido na percentagem de 0,3 L/S após estudo. Mantiveram-se os ambientes de cura propostos na etapa anterior, bem como a dimensão dos provetes.

O Quadro 3.2 evidencia as composições estudadas com adição de cal viva e cimento, em percentagens de 1%, 2% e 3% em relação ao pó das conchas, a serem curados em temperatura ambiente, câmara de carbonatação e estufa à 50°C. A princípio, a adoção desses ligantes partiu da premissa do contributo das suas características na melhoria das propriedades das pastas, sobretudo em estado endurecido. Sabe-se que tanto o cimento quanto a cal são materiais frequentemente empregues na produção de argamassas e betão, conferindo-lhes características de resistência mecânica e durabilidade a depender da dosagem adotada. A escolha da cal viva deve-se ao facto de a cal viva poder reagir mais rapidamente com o líquido da mistura e poder funcionar com material secante, além de funcionar como um material ligante. Decidiu-se pelas dosagens mínimas das adições considerando o comportamento inicial das pastas e, sobretudo, face à sustentabilidade a qual aborda o trabalho.

Quadro 3.2 - Composições estudadas na Etapa 2, com adição de cal viva e cimento.

Composição	PCO1(g)	Ligante (%)	AAV (L/S)	Média Densidade aparente (kg/m ³)	Ambiente de cura	Tempo de cura (d)
PCO1_0,3AAV_1%CaV_TA	15	1	0,30	1380,31	Temperatura ambiente	28
PCO1_0,3AAV_2%CaV_TA	15	2	0,30	1499,82		
PCO1_0,3AAV_3%CaV_TA	15	3	0,30	1385,43		
PCO1_0,3AAV_1%CM_TA	15	1	0,30	1605,81		
PCO1_0,3AAV_2%CM_TA	15	2	0,30	1623,23		
PCO1_0,3AAV_3%CM_TA	15	3	0,30	1581,52		
PCO1_0,3AAV_1%CaV_CO ₂	15	1	0,30	1614,51	Câmara carbonatação	28
PCO1_0,3AAV_2%CaV_CO ₂	15	2	0,30	1596,68		
PCO1_0,3AAV_3%CaV_CO ₂	15	3	0,30	1614,65		
PCO1_0,3AAV_1%CM_CO ₂	15	1	0,30	1513,44		
PCO1_0,3AAV_2%CM_CO ₂	15	2	0,30	1587,25		
PCO1_0,3AAV_3%CM_CO ₂	15	3	0,30	1563,42		
PCO1_0,3AAV_1%CaV_50C	15	1	0,30	1634,88	Estufa 50°C	28
PCO1_0,3AAV_2%CaV_50C	15	2	0,30	1633,25		
PCO1_0,3AAV_3%CaV_50C	15	3	0,30	1551,96		
PCO1_0,3AAV_1%CM_50C	15	1	0,30	1550,45		
PCO1_0,3AAV_2%CM_50C	15	2	0,30	1646,55		
PCO1_0,3AAV_3%CM_50C	15	3	0,30	1616,59		

Em outro momento, foi estudado o emprego de outros ligantes à composição das pastas, nomeadamente materiais pozolânicos, como o pó de resíduo de tijolo (PRT), proveniente da moagem de restos de tijolos cerâmicos, metacaulino (MC) e ainda Fíler Calcário (FC), cal hidratada (CH), gesso (GS), além da combinação do pó de resíduo de tijolo e cal viva. Pressupõe-se o benefício das propriedades aglomerantes e/ou de plasticidade às pastas estudadas. Todos os ligantes foram adicionados na quantidade de 3%, tendo em conta o melhor desempenho já verificado das pastas nos ensaios mecânicos, referente às composições investigadas anteriormente, descritas no Quadro 3.2. Os provetes foram dimensionados a partir de moldes de 20x20x20mm³, curados por 28 dias em condições de temperatura ambiente, câmara de carbonatação e estufa a 50°C.

Quadro 3.3 – Composições estudadas na Etapa 2, com adição de ligantes variados.

Composição	PCO1 (g)	Ligante (%)	AAV (L/S)	Média Densidade aparente (kg/m ³)	Ambiente de cura	Tempo de cura (d)
PCO1_0,3AAV_3%PRT_TA	15	3	0,30	1645,28	Temperatura ambiente	28
PCO1_0,3AAV_3%MC_TA	15	3	0,30	1566,86		
PCO1_0,3AAV_3%CV_TA	15	3	0,30	1604,83		
PCO1_0,3AAV_3%FC_TA	15	3	0,30	1664,89		
PCO1_0,3AAV_3%CH_TA	15	3	0,30	1448,43		
PCO1_0,3AAV_3%GS_TA	15	3	0,30	1642,55		
PCO1_0,3AAV_3%PRT+CaIV_TA	15	3	0,30	1654,99		
PCO1_0,3AAV_3%PRT_CO ₂	15	3	0,30	1676,37	Câmara carbonatação	28
PCO1_0,3AAV_3%MC_CO ₂	15	3	0,30	1620,25		
PCO1_0,3AAV_3%CV_CO ₂	15	3	0,30	1639,25		
PCO1_0,3AAV_3%FC_CO ₂	15	3	0,30	1713,84		
PCO1_0,3AAV_3%CH_CO ₂	15	3	0,30	1433,97		
PCO1_0,3AAV_3%GS_CO ₂	15	3	0,30	1633,24		
PCO1_0,3AAV_3%PRT+CaIV_CO ₂	15	3	0,30	1587,18		
PCO1_0,3AAV_3%PRT_50C	15	3	0,30	1624,68	Estufa 50°C	28
PCO1_0,3AAV_3%MC_50C	15	3	0,30	1547,14		
PCO1_0,3AAV_3%CV_50C	15	3	0,30	1587,45		
PCO1_0,3AAV_3%FC_50C	15	3	0,30	1675,70		
PCO1_0,3AAV_3%CH_50C	15	3	0,30	1427,48		
PCO1_0,3AAV_3%GS_50C	15	3	0,30	1585,00		
PCO1_0,3AAV_3%PRT+CaIV_50C	15	3	0,30	1738,37		

Ainda na etapa 2 procedeu-se a composições com adições em quantidades maiores as anteriormente trabalhadas, dessa vez aos 6%, nos mesmos ambientes de cura, dimensão e idade dos provetes, à vista de uma investigação mais profunda acerca das propriedades das pastas em estado endurecido. As características das composições podem ser vistas no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Composições estudadas na Etapa 2, com percentagem maior de ligantes.

Composição	PCO1(g)	Ligante (%)	AAV (L/S)	Média Densidade aparente (kg/m ³)	Ambiente de cura	Tempo de cura (d)
PCO1_0,3AAV_6%PRT_TA	13	6	0,30	1615,42	Temperatura ambiente	28
PCO1_0,3AAV_6%MC_TA	13	6	0,30	1418,61		
PCO1_0,3AAV_6%CV_TA	13	6	0,30	1596,50		
PCO1_0,3AAV_6%FC_TA	13	6	0,30	1694,75		
PCO1_0,3AAV_6%GS_TA	13	6	0,30	1586,25		
PCO1_0,3AAV_6%PRT+CaIV_TA	13	6	0,30	1530,87		
PCO1_0,3AAV_6%CaIV_CO ₂	13	6	0,30	N	Câmara carbonatação	28
PCO1_0,3AAV_6%PRT_TA_CO ₂	13	6	0,30	1641,80		
PCO1_0,3AAV_6%MC_TA_CO ₂	13	6	0,30	1408,09		
PCO1_0,3AAV_6%CV_TA_CO ₂	13	6	0,30	1592,06		
PCO1_0,3AAV_6%FC_TA_CO ₂	13	6	0,30	1688,47		
PCO1_0,3AAV_6%GS_TA_CO ₂	13	6	0,30	1357,64		
PCO1_0,3AAV_6%PRT+CaIV_CO ₂	13	6	0,30	1646,33		
PCO1_0,3AAV_6%CaIV_50C	13	6	0,30	1183,66	Estufa 50°C	28
PCO1_0,3AAV_6%PRT_50C	13	6	0,30	1581,33		
PCO1_0,3AAV_6%MC_50C	13	6	0,30	N		
PCO1_0,3AAV_6%CV_50C	13	6	0,30	1535,85		
PCO1_0,3AAV_6%FC_50C	13	6	0,30	1570,14		
PCO1_0,3AAV_6%GS_50C	13	6	0,30	1595,21		
PCO1_0,3AAV_6%PRT+CaIV_50C	13	6	0,30	1478,96		
PCO1_0,3AAV_6%CaIV_50C	13	6	0,30	N		

3º Etapa: Na tentativa de otimizar a produção do trabalho e de forma a avaliar as propriedades das misturas em relação à PCO1, dessa vez, decorreu-se à moagem das conchas unicamente no Los Angeles em 40 ciclos seguidos (PCO2). Os ligantes também foram introduzidos na percentagem considerada ótima (3%) e determinada na etapa anterior, assim como o vinagre. Nesse momento deu-se partida à elaboração de provetes de dimensão de 50x50x50mm³.



Figura 3.7 – Provetes de 50x50x50mm³ após 28 dias em estufa à 50°C.

O Quadro 3.5 retrata os constituintes das pastas na etapa 3 do estudo. Como dito, recorreu-se à otimização do processo de moagem das conchas de ostras, a averiguar o comportamento das misturas mediante uma granulometria diferente, decorrente da moagem em 40 ciclos de 20 minutos no equipamento Los Angeles, somente. As adições introduzidas foram trabalhadas anteriormente (etapa 2), sendo estas a cal viva (CaV), cimento (CM), pó de resíduo de tijolo (PRT), filer calcário (FC) e gesso (GS), na quantidade ótima estabelecida após os ensaios.

Quadro 3.5 – Composições estudadas na Etapa 3.

Composição	PCO2 (g)	Ligante (%)	AAV (L/S)	Média Densidade aparente (kg/m ³)	Ambiente de cura	Tempo de cura (d)
PCO2_0,3AAV_TA	200	3	0,30	1509,64	Temperatura ambiente	28
PCO2_0,3AAV_3%CaV_TA	200	3	0,30	1528,23		
PCO2_0,3AAV_3%CM_TA	200	3	0,30	1642,52		
PCO2_0,3AAV_3%PRT_TA	200	3	0,30	1606,22		
PCO2_0,3AAV_3%FC_TA	200	3	0,30	1689,19		
PCO2_0,3AAV_3%GS_TA	200	3	0,30	1631,71		
PCO2_0,3AAV_CO2	200	3	0,30	1673,37	Câmara carbonatação	28
PCO2_0,3AAV_3%CaV_CO2	200	3	0,30	1669,09		
PCO2_0,3AAV_3%CM_CO2	200	3	0,30	1728,42		
PCO2_0,3AAV_3%PRT_CO2	200	3	0,30	1657,50		
PCO2_0,3AAV_3%FC_CO2	200	3	0,30	1696,06		
PCO2_0,3AAV_3%GS_CO2	200	3	0,30	1637,72		
PCO2_0,3AAV_50C	200	3	0,30	1741,18	Estufa 50°C	28
PCO2_0,3AAV_3%CaV_50C	200	3	0,30	1603,54		
PCO2_0,3AAV_3%CM_50C	200	3	0,30	1643,22		
PCO2_0,3AAV_3%PRT_50C	200	3	0,30	1649,07		
PCO2_0,3AAV_3%FC_50C	200	3	0,30	N		
PCO2_0,3AAV_3%GS_50C	200	3	0,30	1594,36		

4º Etapa: As misturas foram agora analisadas com a adição de água, a presumir o seu comportamento e a comparar ao ácido acético do vinagre. Feitos os ensaios de resistência mecânica, estipulou-se a produção das argamassas com água e PCO₂, uma vez que os resultados foram similares às misturas com o AAV e com PCO₂, respetivamente. Assim, seguiu a execução das argamassas com base nos resultados ótimos das misturas anteriores. Adotou-se como agregado as conchas de ostras trituradas (ACO) a $\leq 4,75$ mm e considerou-se as condições de cura em que as pastas se comportaram melhor, sendo estas a câmara de carbonatação (CC) e temperatura ambiente (TA). Por fim, foi adicionada a cal viva (CaIV), como a adição que melhor contribuiu para o melhoramento das características da argamassa.

O Quadro 3.6 e o Quadro 3.7 exibem as características das pastas produzidas com ácido acético do vinagre (AAV) e Água (AG), respetivamente. Ambas pastas foram moldadas em dimensões de 50x50x50mm³, nas condições de cura e idade trabalhadas até o momento. Apesar da diferença de densidade entre os dois líquidos, optou-se pela adoção da mesma dosagem (0,30 A/L), a conferir o aumento da trabalhabilidade da pasta pelo ajuste mínimo da quantidade do pó das conchas, não sendo consideravelmente maior.

Quadro 3.6 – Composições estudadas na Etapa 4, com provetes de AAV.

Composição	PCO ₂ (m ³)	Ligante (%)	Água (A/S)	Média Densidade aparente (kg/m ³)	Ambiente de cura	Tempo de cura (d)
PCO ₂ _0,3AAV_TA	200	3	0,30	1509,64	Temperatura ambiente	28
PCO ₂ _3%CaIV_0,3AAV_TA	200	3	0,30	1695,37		
PCO ₂ _0,3AAV_CO ₂	200	3	0,30	1673,37	Câmara carbonatação	28
PCO ₂ _3%CaIV_0,3AAV_CO ₂	200	3	0,30	1743,98		
PCO ₂ _0,3AAV_50C	200	3	0,30	1741,18	Estufa 50°C	28
PCO ₂ _3%CaIV_0,3AAV_50C	200	3	0,30	1682,51		

Quadro 3.7 - Composições estudadas na Etapa 4, com substituição de AAV por água.

Composição	PCO ₂ (m ³)	Ligante (%)	Água (A/L)	Média Densidade aparente (kg/m ³)	Ambiente de cura	Tempo de cura (d)
PCO ₂ _0,3AG_TA	≥200	3	0,30	1656,28	Temperatura ambiente	28
PCO ₂ _3%CaIV_0,3AG_TA	≥200	3	0,30	1681,95		
PCO ₂ _0,3AG_CO ₂	≥200	3	0,30	1758,18	Câmara carbonatação	28
PCO ₂ _3%CaIV_0,3AG_CO ₂	≥200	3	0,30	1687,41		
PCO ₂ _0,3AG_50C	≥200	3	0,30	1666,77	Estufa 50°C	28
PCO ₂ _3%CaIV_0,3AG_50C	≥200	3	0,30	1681,95		

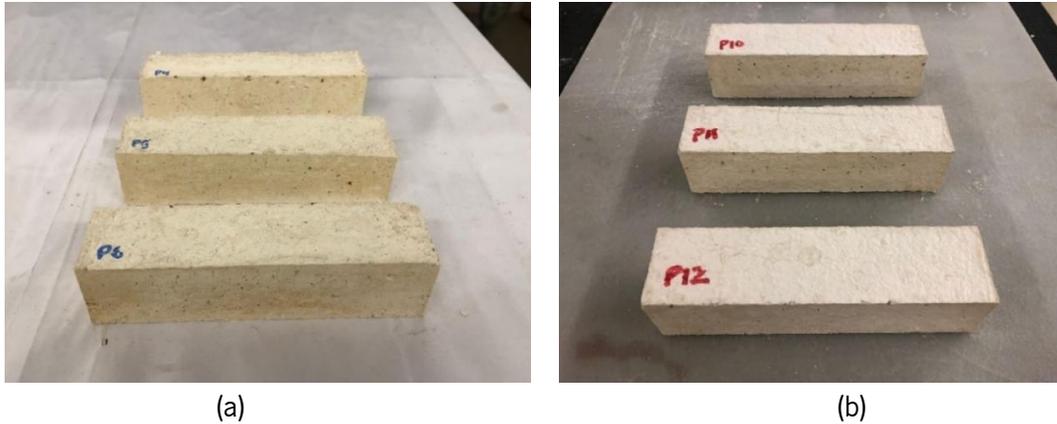


Figura 3.8 – (a) Argamassas com PCO2 e água aos 28 dias e (b) Argamassas com adição de cal viva aos 28 dias.

Por fim, o Quadro 3.8 aponta as composições finais determinadas para a produção das argamassas, agora com a introdução do agregado, sendo este as conchas de ostras trituradas (ACO), água (AG), além da incorporação da cal viva (CaIV) em 3%, moldadas em dimensões de 40x40x160mm³ para ensaios à flexão e posteriormente aos ensaios de compressão e de durabilidade. O fabrico das argamassas foi baseado na norma NP EN 196-1 (2006) e adotou-se o traço em volume de 1:1 (ligante/ACO).

Quadro 3.8 – Composições estudadas das argamassas na Etapa 4.

Composição	Traço ligante/ACO (m ³)	Ligante (%)	Água (m ³)	Média Densidade aparente (kg/m ³)	Ambiente de cura	Tempo de cura (d)
PCO2_ACO_0,3AG_TA	1:1	3	300	1750,76	Temperatura ambiente	28
PCO2_3%CaIV_ACO_0,3AG_TA		3	300	1725,84		
PCO2_ACO_AG_CO ₂	1:1	3	300	1705,70	Câmara carbonatação	28
PCO2_3%CaIV_ACO_AG_CO ₂		3	300	1557,36		

3.3 Procedimentos de ensaios

Foram realizados diversos ensaios aos materiais e misturas produzidas na campanha experimental, à vista de investigar suas propriedades químicas e físicas, bem como suas características mecânicas e de durabilidade. Resumidamente, em estado fresco, atentou-se à plasticidade e trabalhabilidade da argamassa. No estado endurecido, foram analisadas as características mecânicas e de durabilidade, essencialmente. Os ensaios químicos também relevam sua importância na investigação da reação entre os materiais adotados.

3.3.1 Amassaduras

As misturas iniciais da campanha experimental tinham como premissa investigar as melhores características e propriedades por meio das diferentes adições dos materiais aglomerantes e das quantidades adotadas, sob a perspectiva de encontrar a melhor composição final da argamassa. Sendo assim, as misturas foram realizadas manualmente, com o auxílio de uma espátula e recipiente adequados. Ressalta-se que os pós das conchas de ostras possuem, em estado fresco, boa plasticidade e trabalhabilidade, tanto misturado à água quanto ao vinagre (ácido acético), sendo possível tal feito. Ademais, as misturas tinham volumes reduzidos nessa etapa, destinando-se a moldes de $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$, ainda sem a introdução do agregado.

Estabelecido às misturas ótimas para a composição da argamassa, partiu-se ao processo de amassadura, com introdução do agregado. De modo a se obter a melhor consistência e homogeneidade da argamassa ecoeficiente, utilizou-se uma misturadora conforme a norma NP EN 196-1, disponível no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho.

O processo de amassadura consistiu, basicamente, em algumas etapas, as quais são: preparação dos materiais, onde os componentes da argamassa foram separados e alinhados à quantidade estabelecida, em volume, com o auxílio de uma balança com precisão por décimos em grama (g); mistura dos secos (pó de conchas de ostras e aditivo) e, adiante, a introdução do agregado (conchas de ostras trituradas), misturados por cerca de 1 minuto; adição da água gradualmente e mistura final automática de 30 segundos. De maneira geral, o processo seguiu adequadamente e não houve necessidade de um maior tempo de mistura ou maior número de rotações.

3.3.2 Trabalhabilidade da argamassa em estado fresco

Após o processo de amassadura na misturadora mecânica, as argamassas resultantes procedem ao ensaio de espalhamento, baseado na norma EN 1015-3, com intuito de avaliar sua trabalhabilidade em estado fresco, que determina a facilidade e homogeneidade com a qual os materiais utilizados podem ser misturados, compactados e acabados. Define-se a trabalhabilidade através de duas propriedades principais, pelo menos, sendo a consistência e a coesão ou estabilidade, de maneira a influenciar assim ao tempo de produção, custo e ainda, às características da argamassa em estado endurecido, uma vez que a dificuldade

de execução da mistura ou a má compactação podem acarretar em baixas resistências mecânicas e pouca durabilidade (Bogas, 2011).

Quando as argamassas não apresentam uma estrutura coesa ou apresentam-se muito fluidas e com baixa capacidade de retenção de água, as partículas deslocam-se para as extremidades da mesa de espalhamento e tendem a formar uma auréola líquida que os rodeia (Neville, 1995).

O ensaio foi realizado uma vez para cada composição das misturas, denominadas de C1, C2 e C3, esclarecidas posteriormente no Capítulo 4, no Quadro 4.1. Os instrumentos utilizados no ensaio de espalhamento são mostrados na Figura 3.9. Num primeiro momento, o óleo descofrante é espalhado com um pincel, em pequenas quantidades, sobre as peças, para que a mistura seja facilmente retirada. Seguidamente, uma parte da mistura da argamassa é despejada dentro do molde em forma troncocônica locado ao centro da mesa de espalhamento e, com o apoio de uma espécie de martelo é apiloada por meio de ligeiras pancadas (10 vezes). Assim, é retirado o molde e, através da alavanca adequada à mesa responsável por sobrepô-la, inicia-se tal processo 15 vezes a cada um segundo.



Figura 3.9 – Instrumentos utilizados no ensaio de espalhamento.

O diâmetro de espalhamento é calculado a partir da média aritmética das duas leituras ortogonais (d_1 e d_2) no centro da mistura, por meio de uma régua de medição, conforme ilustrador na Figura 3.10.

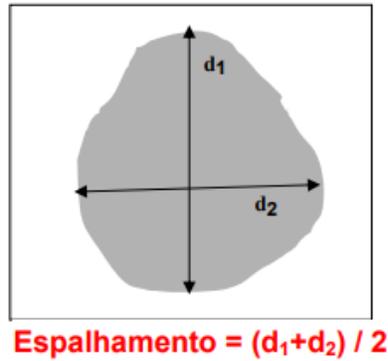


Figura 3.10 – cálculo para diâmetro de espalhamento.

3.3.3 Moldagem e conservação

Após a amassadura e o ensaio de espalhamento, as argamassas foram dispostas em moldes de dimensões de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ e $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$, previamente limpos e revestidos com óleo descofrante, para facilitar a descofragem (Figura 3.11). Os provetes foram moldados inicialmente até o meio da altura do molde e, em seguida, vibrados sobre a mesa vibratória durante 30 segundos, vista a compactá-las apropriadamente e minimizar possíveis vazios ou bolhas de ar no interior das misturas. Finalmente, o restante da amassadura foi introduzido até a totalidade em mais um ciclo de 30 segundos de atividade vibratória da mesa e, por fim, com o auxílio de uma espátula, procedeu-se a regularização da superfície do corpo de prova.

Ao fim do processo de moldagem e compactação, os moldes com as argamassas foram conduzidos aos ambientes de cura estabelecidos, com controlo de temperatura, humidade e teor de CO_2 , a depender da condição, sendo estas:

- Temperatura ambiente. Os provetes foram curados ao ar livre, em temperaturas que variam mediante as estações no ano;
- Estufa, a uma temperatura de 50°C , tendo em vista o comportamento das pastas a condição de temperatura relativamente alta. Destaca-se que à essa condição só foram submetidas as pastas dos estudos iniciais, ainda sem a introdução do agregado. Mais tarde, conferiu-se que o ambiente não ofereceu grandes contributos.
- Câmara de carbonatação, em temperatura de 20°C , 50% de humidade relativa e 4% de CO_2 , conforme especificado na LNEC E391 (1993).

Após 3 dias, as argamassas foram retiradas dos moldes e permaneceram até o fim da idade de 28 dias no que condiz ao à cura em temperatura ambiente e câmara de carbonatação. Posteriormente, foram usadas nos ensaios de resistências mecânicas e de durabilidade.

Relativamente às pastas, sem a incorporação do agregado, foram produzidos em provetes de 20x20x20mm³ destinados à cura em condição de temperatura ambiente, câmara de carbonatação e estufa a 50°C. Devido ao tamanho condicionado, as amostras puderam ser desmoldadas após 1 ou 2 dias de cura, e então, conservadas nos respectivos ambientes até o fim dos 28 dias. A produção de pastas em provetes pequenos, num momento inicial, procedeu à investigação da melhor composição a ser baseada a produção da argamassa.



Figura 3.11 – (a) Moldagem das pastas em moldes de 50x50x50mm³ e (b) Moldagem das argamassas em moldes de 40x40x160mm³.

3.3.4 Análise granulométrica dos pós de conchas de ostras

A análise granulométrica ou granulometria consiste no estudo da distribuição dos grãos de um material, a qual determina a dimensão das partículas que o compõe, representada por uma curva da relação da dimensão dos grãos e nas respetivas percentagens de ocorrência, de modo a possibilitar as características físicas do material.

A análise granulométrica pode ser feita por peneiramento, através de peneira em dimensões variadas; sedimentação, a se tratar se compósitos argilosos; difração por raios X (DRX), pela incidência dos raios sobre o material, e por imagem, a partir de fotografia e/ou software de análise granulométrica.

A granulometria no caso de estudo em questão foi realizada para os pós de conchas de ostras, sendo um pó decorrente do processo de moagem por meio do equipamento Los Angeles em 40 ciclos consecutivos e outro resultante da moagem no equipamento Los Angeles (40 ciclos), seguindo a mais 10 ciclos no moinho de bolas e peneiramento em peneira de $\leq 75\mu\text{m}$.

O estudo da granulometria foi feito num laboratório da Escola de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo (IPVC), através de uma unidade automatizada (a laser) dispersora de partículas por via húmida, da marca *Malvern* modelo *Masterziser 3000 - Hydro LV* (Figura 3.12). O funcionamento se dá pela dispersão de uma pequena amostra dos pós das conchas, por vez, no interior do equipamento com água destilada, a molhar e separar cada partícula mediante energia das ondas sonoras, a produzir uma suspensão estável e completamente dispersa para a medição dos grãos. A sedimentação é evitada com o auxílio de uma bomba centrífuga, para assegurar que todas partículas do pó sejam medidas sem tendenciosidade.

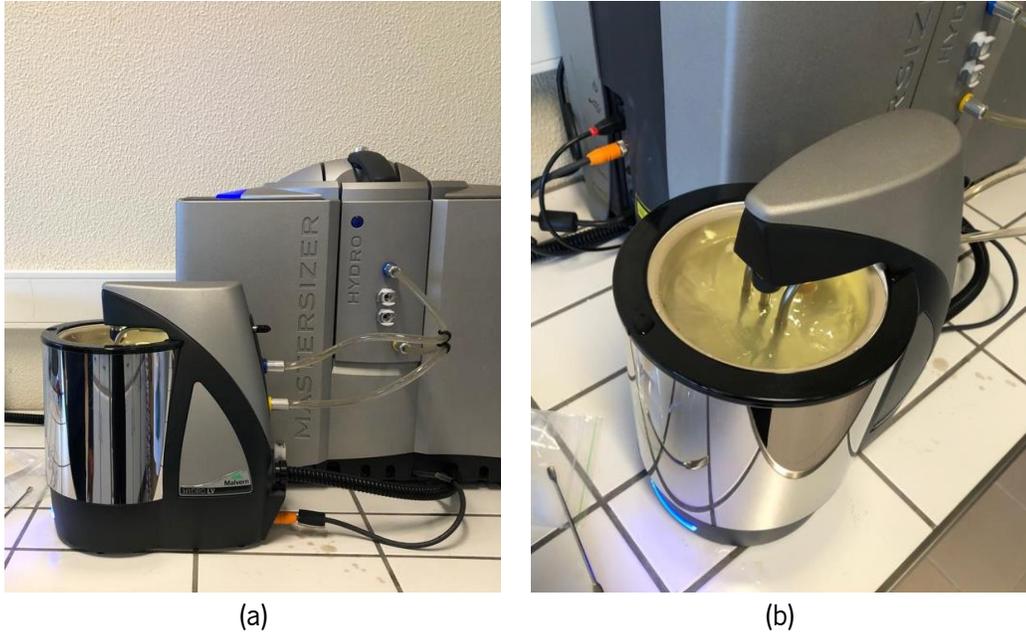


Figura 3.12 – (a) e (b) Dispensador de grãos *Malvern* modelo *Masterziser 3000 - Hydro LV*.

A curva granulométrica dos pós é feita por software em computador e pode ser observada na Figura 3.13. Após cinco leituras consecutivas realizadas, revela-se a densidade e as classes de tamanho dos grãos, sendo possível realizar a média das leituras para a resolução final da representação gráfica.

Segundo expresso na curva granulométrica (Figura 3.13), o pó que passou pelo processo de moagem além do LA, representado pela cor preta, de fato apresentou dimensões relativamente inferiores em relação ao processado unicamente em 40 ciclos de moagem no LA, em vermelho. De acordo com o ensaio, a média atribuída ao tamanho dos grãos do pó de conchas moído somente no Los Angeles é de $53,97\mu\text{m}$, enquanto o pó processado ainda no moinho de bolas e peneirado por fim, apresenta uma média de $13,40\mu\text{m}$ de dimensão das partículas. Todavia, é observado que os grãos finos em ambas amostras não apresentam grandes disparidades, a conter grãos de igual dimensão em ambos, determinando-se, portanto, os grãos mais grossos o que os difere de facto.

Por outro lado, deve-se salientar que a diferença entre as dimensões dos grãos dos dois pós não impactou significativamente na mistura das argamassas, uma vez que os resultados obtidos nos ensaios realizados foram relativamente similares .

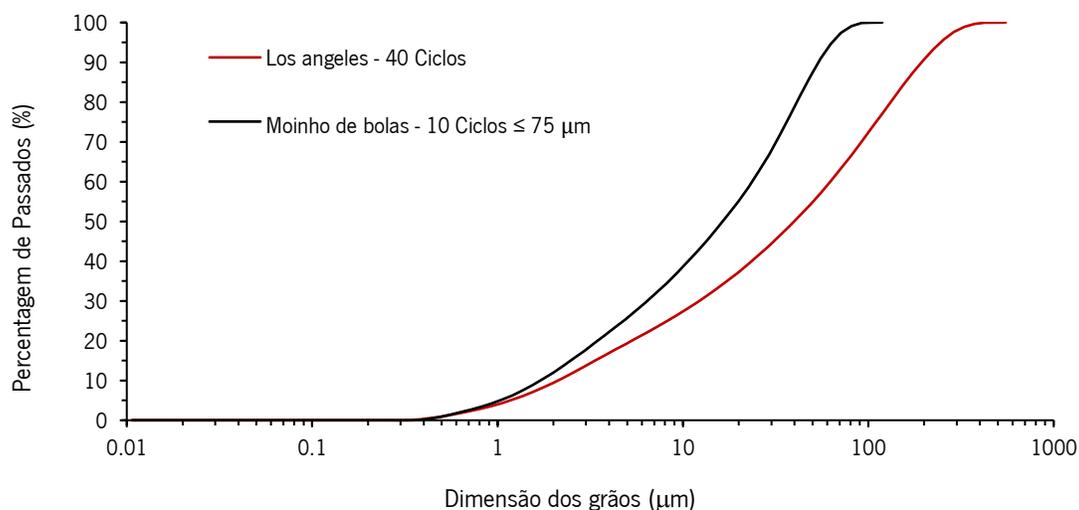


Figura 3.13 – Curva granulométrica dos pós de conchas de ostras. Fonte: Autor (2020)

3.3.5 Potencial de Hidrogénio e reação ácido-base

O potencial de hidrogénio (pH) está relacionado à concentração de íons de hidrogénio de um determinado meio ou solução. A unidade de medida pH estabelece o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade, numa escala de 0 a 14. O pH <7 é considerado ácido, enquanto >7 é tido como um meio básico, sendo o 7 especificamente neutro. A investigação do controle do potencial de hidrogénio deu-se à mistura do pó de conchas de ostras, composto por carbonato de cálcio, e ácido acético em vinagre. Avaliou-se a possibilidade da variância do pH das amostras ao longo do processo de endurecimento, de maneira a apurar o possível aumento do pH, que deve desencadear a precipitação do acetato de cálcio, resultante da reação do carbonato de cálcio e do ácido acético.

Foram produzidas pequenas amostras da mistura do pó das conchas com vinagre, numa proporção A/L de 0,30 para 20g do pó. Imediatamente, deu-se início à medição do pH, tendo em vista a captar o potencial de hidrogénio logo aos primórdios da mistura em estado fresco até adquirir rigidez ou quando chegar menor variância entre medições, em constância.

O controle do pH para o estudo foi baseado no método 9045C, definido como um procedimento eletrométrico para medir o potencial de hidrogénio em solos e amostras de resíduos, nomeadamente sólidos, lodos ou líquidos não aquosos. Em resumo, a técnica de medição é feita pela mistura da amostra em água

não reagente, mais precisamente água destilada, e após medido o pH. De modo a proceder corretamente, o método de medição do pH deu-se da seguinte forma:

- Calibração do instrumento em três pontos principais do pH a partir da medição de solução aquosa com pH determinado, a referir: 7,00pH (neutro), 4,00pH (ácido) e 10,00Ph (alcalino);
- Diluição da amostra em água reagente. Para 20g utilizou-se 20ml de água destilada, conforme estabelecido no método (9045C). A solução foi misturada e agitada continuamente por cerca de 15 minutos com o auxílio de um agitador magnético;
- Na sequência, realizou-se a filtragem da solução para eliminação dos sólidos ou partículas em suspensão;
- Por fim, foi medido o pH da solução resultante da filtragem através de instrumento de medição próprio para efeito, da marca *Hanna instruments*. O processo deu-se em medições sequenciais, intervaladas em tempo progressivo (inicialmente à cada 4h), na intenção de avaliar a variação do pH desde a pasta fluída até o endurecimento.



(a)

(b)

(c)

Figura 3.14 – (a) Mistura da amostra com água destilada com o auxílio de aparelho misturador, (b) Filtragem da substância após a mistura e (c) Medição do Ph.

O procedimento perdurou por 3 dias, de forma a entrar em constância do valor do pH, sem grandes variações. Os resultados constataam que a solução apresenta valor de pH alcalino, a pouco mais que 7,00pH

(neutro), em estado fresco (T0), mesmo na presença do ácido acético do vinagre. Pontua-se, portanto, que o ácido contido em vinagre apresenta uma percentagem baixa, em torno de 2%, a reagir com o carbonato de cálcio das conchas de caráter essencialmente básico (entre 9 e 10pH). Além disso, o ácido acético é tido como um ácido fraco, que mesmo a doar hidrogénio na reação, não se efetua prontamente, como alguns ácidos orgânicos.

Após 8 horas, o valor do pH continuou a apresentar-se em caráter alcalino ou básico (>7,00pH) e, depois de 16 horas passadas, o valor alterou-se gradualmente mais espontaneamente, a alcançar o valor 8,00pH. Nas medições seguintes, o valor não sofreu grandes diferenciações, embelecendo-se entre 7,00 e 8,00pH, razoavelmente alcalino.

A alcalinidade se deve principalmente ao carbonato de cálcio das conchas de ostras, que possui caráter de base, e a baixa concentração de ácido acético presente no vinagre. Traduz-se, assim, a capacidade em neutralizar o ácido presente no meio. O conceito proposto por Arrhenius pontua que os ácidos são compostos que, em solução aquosa, doam prótons H^+ , enquanto as bases liberam OH^- . Portanto, quanto mais um mol de uma solução liberar hidrônios (H^+), mais ácida é, equivalente à liberação de hidróxidos (OH^-), que torna a substância mais básica ou alcalina (Cesar, 2019). A seguir, pode-se notar a reação da base ($CaCO_3$) e do ácido (CH_3COOH) pela equação, originando uma reação denominada de neutralização, que ocorre sobretudo pela formação de água e sal (acetato de cálcio) como produto, além da liberação de gás carbônico. A reação é notada fisicamente pela suspensão de uma espuma na mistura.

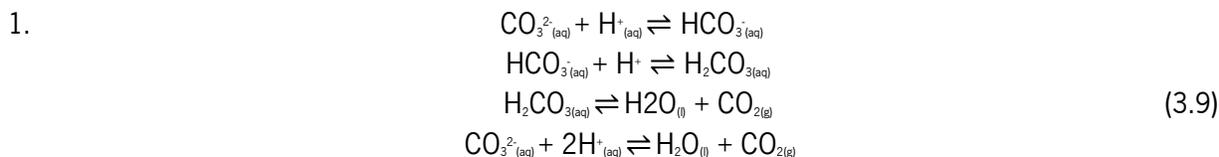
Vinagre:



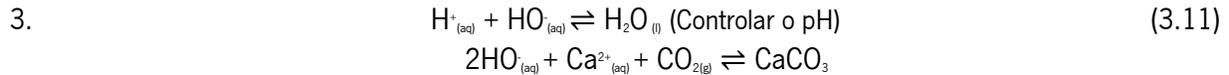
Carbonato de cálcio das conchas:



Reação:



A neutralização do ácido acético ocorre quando:



3.3.6 Difração por Raio X

O ensaio de Difração por Raio X (DRX) é uma técnica capaz de detetar uma determinada estrutura atômica e molecular de um cristal de um certo material. O raio X incidente na estrutura atômica cristalina difrata em direções específicas e, portanto, não sendo possível realizá-lo em materiais não-cristalinos. De modo geral, é um método utilizado em uma ampla gama de compósitos, como pós, sólidos e em nano material.

Para o ensaio, é necessária uma pequena amostra do material ou das misturas, como é o caso. Foram levadas à essa técnica as misturas de argamassa, em estado endurecido, essencialmente compostas pelo pó de conchas de ostra e água ou ácido acético presente em vinagre, nos diferentes ambientes de cura, uma vez que há intenção em avaliar as ligações químicas existentes e a estrutura atômica dessas misturas, em princípio.

O equipamento utilizado para o ensaio DRX é o Difratorômetro de Raios X, tal como visto na Figura 3.16, e o seu funcionamento pode ser observado na Figura 3.15. O sistema de aquisição de dados está conectado ao *software* integrado ao computador.

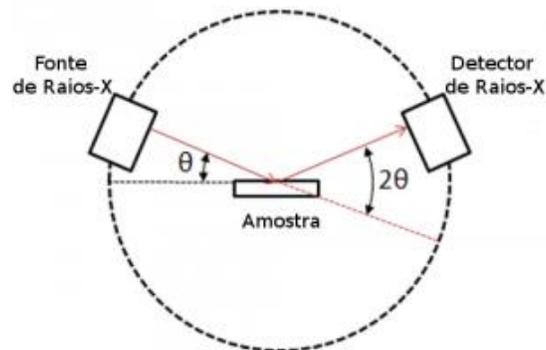


Figura 3.15 – Funcionamento do Difratorômetro de Raios X.

O detetor e a fonte de raio X estão posicionados nas laterais e a superfície onde é colocada a amostra está ao centro. Idealmente, o cristal deve ser ajustado rente ao feixe incidente, com inclinação o mais próximo de 0° , de modo que ao girar, a amostra reflita o feixe de raio X adequadamente. Os dados que se obtém remetem à intensidade da radiação em função do ângulo detetor (2θ), sendo possível coletar resultados acerca do intervalo de ângulos analisados, o tempo de cada medição, além do espaçamento angular entre uma medida e outra.

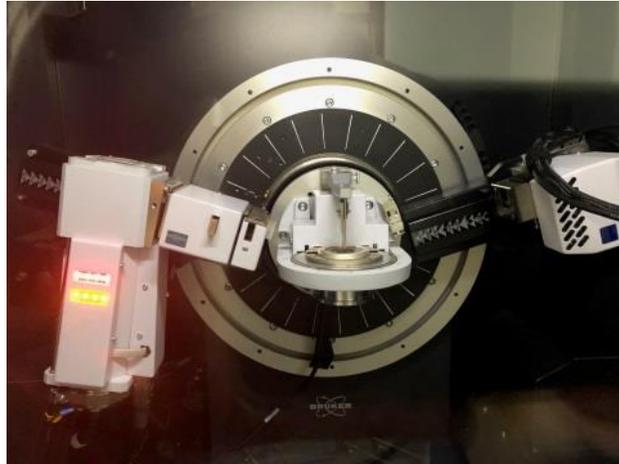


Figura 3.16 – Modelo do equipamento de Difratorômetro de Raios X.

Através dos resultados obtidos ou difratogramas, é possível adquirir as leituras, em ficha, das difrações de cada amostra, a conter a identificação da composição de cada uma destas, com os variados tipos de minerais e substanciais existentes, além de determinar as fases cristalinas e o grau de cristalinidade. Em outras palavras, o método de difração de raios X permite compreender as ligações químicas existentes na composição de cada tipo de mistura, a influência das condições a qual foram submetidas (temperatura e carbonatação), bem como a distinção dos minerais presentes de acordo com os ligantes, agregados e líquidos escolhidos.

3.3.7 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão baseia-se na aplicação de uma força axial em provetes de forma cúbica ou cilíndrica. Os provetes são colocados numa superfície, enquanto a carga é aplicada por meio de prensa, movimentada de maneira gradual e contínua, até que a capacidade de resistência à força aplicada

seja mínima e, assim, ocorra a ruptura da amostra. Logo, o ensaio determina a carga máxima que o provete é capaz de suportar.

O equipamento utilizado para a realização do ensaio de resistência à compressão foi a prensa hidráulica *LOYD* modelo *LR50K Plus* (Figura 3.17). Através de software próprio do equipamento instalado ao computador, é possível acompanhar o processo do ensaio, expresso em gráfico com a curva de evolução da resistência até a ruptura. Possível, ainda, em obter os dados dos resultados, como a força em *Newtons* (N) aplicada, o deslocamento correspondente, a velocidade a qual a força foi atuada, a data e tempo inicial do ensaio e a duração individual de cada amostra.



Figura 3.17 - Equipamento LOYD LR50K Plus utilizado no ensaio de resistência à compressão.

Portanto, para esse ensaio, foram desenvolvidos provetes cúbicos de tamanhos distintos, uma vez que a campanha experimental foi dividida em quatro etapas. Deste modo, foram produzidos provetes com dimensão de $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$, $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$, além das metades provenientes do ensaio de resistência à flexão, no qual o provete de dimensão $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ é partido ao meio.

O valor da resistência à compressão é dado pela seguinte equação:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (3.12)$$

Onde:

- R_c - Resistência à compressão (N/mm²);
- F - Força máxima de compressão aplicada (N);
- A - Área da secção da amostra (mm²).

Para cada composição definida, foram produzidos três provetes e o resultado final da resistência à compressão deu-se por meio da média dos três valores. Anteriormente à execução do ensaio, é realizado a caracterização dos provetes, a obter as medidas exatas e o peso, em gramas, mediante o auxílio de uma balança de precisão. A seguir, o provete é posicionado no centro da superfície inferior do equipamento, sujeito à uma força vertical introdutória entre 5N e 10N por meio da prensa e, logo após, inicia-se o ensaio que sucede à uma velocidade automática estipulada, de 0,003mm/s. O ensaio procedeu-se segundo a norma NP EN 196-1.

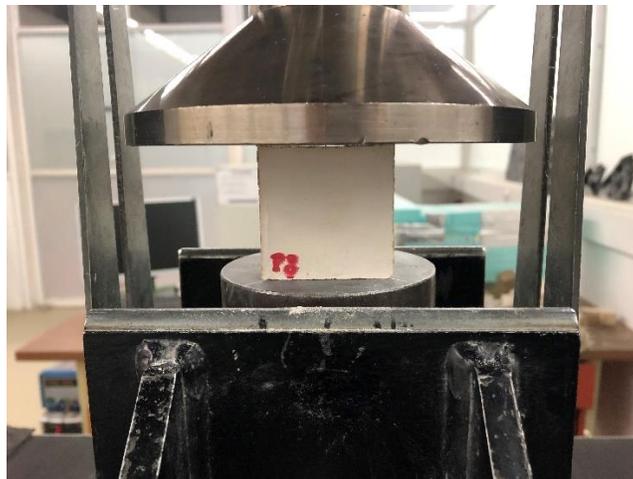


Figura 3.18 – Provete cúbico no processo de ensaio de resistência à compressão.

3.3.8 Resistência à flexão

O ensaio de resistência à flexão consiste em avaliar a capacidade resistente à flexão por 3 pontos de um provete. O equipamento utilizado para a realização do ensaio é a *LOYD* modelo *LR50K Plus*, tal como no ensaio de resistência à compressão. As peças do aparelho diferenciam-se para cada ensaio, sendo agora composto por uma prensa superior, de carga, e dois apoios horizontais distanciados um do outro a $100 \pm 0,5$ mm, onde é posicionado o provete, conforme exibido na Figura 3.19.

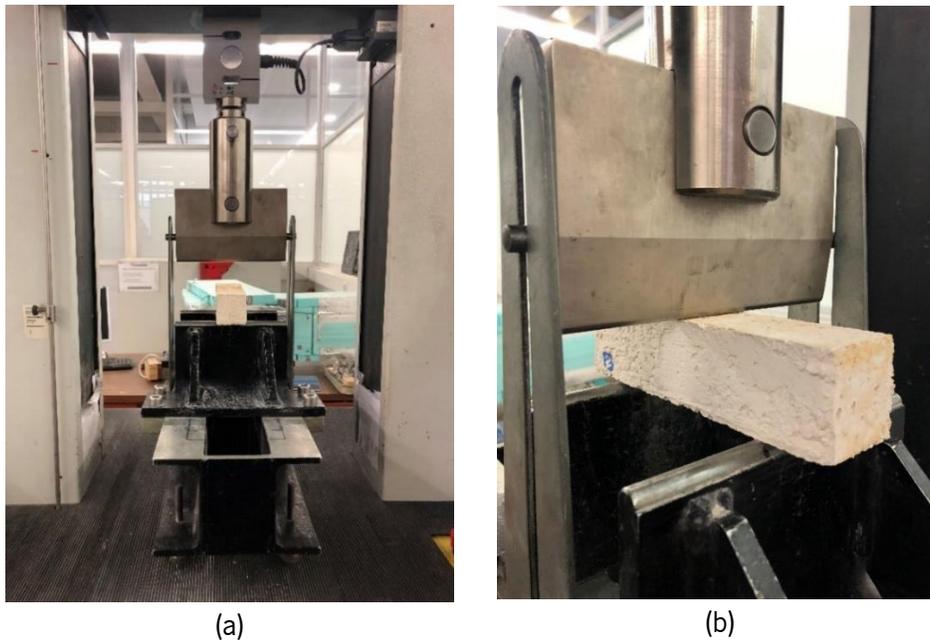


Figura 3.19 - (a) Equipamento *LOYD* modelo *LR50K Plus* em ensaio de resistência à flexão e (b) Provete posicionado no aparelho submetido à uma tensão de rotura.

Para o ensaio, os provetes foram produzidos em moldes de $40 \times 40 \times 160 \text{mm}^3$, em três amostras para cada composição da argamassa. O ensaio foi realizado segundo a norma NP EN 196-1, a começar pela caracterização dos provetes e, adiante, um por vez é disposto ao centro dos apoios. A carga de partida é de aproximadamente 5N, até que o ensaio procede à uma velocidade mecânica estabelecida, de $0,002 \text{mm/s}$, até a falha.

O resultado da resistência à flexão é dado pela seguinte equação, com o valor final arredondado a 0.1 MPa e obtido por meio da média aritmética dos valores individuais de cada provete, como referido na norma:

$$Rf = \frac{3 \times F \times l}{2 \times d_1 \times d_2^2} \quad (3.13)$$

Onde:

- Rf – Resistência à flexão (MPa)
- F – Força máxima aplicada sobre o provete (N)
- l – Distância entre os apoios (mm)
- d_1 e d_2 – Dimensões laterais da secção dos provetes (mm)

3.3.9 Estabilização à água

O ensaio de estabilização à água fundamenta-se em analisar a variação das resistências mecânicas da argamassa, quando os provetes curados são introduzidos em água por tempo determinado, de modo a compreender a perda, ou não, das resistências à compressão e à flexão. No caso de estudo em questão, é perceptível, ainda, a avaliação do comportamento e durabilidade da argamassa na presença da água, bem como aferir as ligações físicas existentes, ou não, nas misturas, desenvolvidas com o pó das conchas de ostras e vinagre ou água, mais adições.

Foram utilizados provetes cúbicos de 20x20x20mm³, curados por 28 dias em temperatura ambiente, câmara de carbonatação e estufa à 50°C. Para cada composição, produziu-se três amostras, convenientemente caracterizadas, a serem imersas em água por completo num período de 28 dias, num recipiente plástico devidamente limpo e em ambiente apropriado, sem variações acentuadas de temperatura. Durante o tempo de ensaio, nota-se o comportamento das amostras em água e, caso existam ligações físicas capazes de mantê-las íntegras, procede-se aos ensaios mecânicos, onde é possível constatar a variação das resistências, quando comparados os provetes condicionados em água e os não condicionados.

O ensaio de estabilização não possui carácter normativo, foi realizado de forma a servir como parâmetro preliminar para a avaliação das resistências e, possivelmente, à durabilidade da argamassa mediante contacto e condicionamento em água.

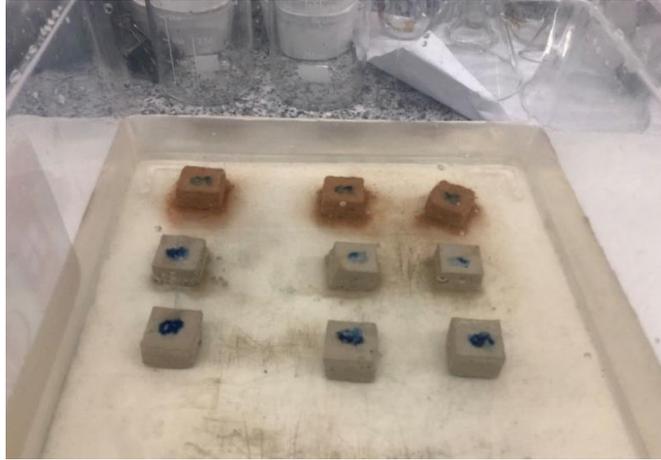


Figura 3.20 – Provetes durante ensaio de estabilização à água.

3.3.10 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade procura avaliar a durabilidade da argamassa perante ação capilar da água e fundamenta-se na norma EN 1015-18. Os provetes utilizados no ensaio precederam das amostras ensaiadas a resistência à flexão, curadas por 28 dias em ambientes de cura distintos, conforme referido anteriormente.

Em suma, o ensaio é caracterizado pela imersão em água dos provetes à uma altura entre 5 e 10mm por tempo específico, no qual é avaliado a ascensão capilar. A primeira etapa deu-se na produção dos provetes com dimensão de $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$, repartidos ao meio após ensaio de resistência à flexão. Em sequência, foram armazenados em estufa a uma temperatura de 60°C , até se obter a massa constante, tida quando após duas pesagens consecutivas, intervaladas em 24 horas, não houve uma variação da massa acima de 0,2%. Posto isso, os provetes foram retirados da estufa até o arrefecimento e, então, procedeu-se à impermeabilização das laterais com silicone, para que assim a água só seja absorvida pelas faces não impermeabilizadas em contato com a água.

A etapa seguinte caracteriza-se pela disposição das amostras em um recipiente com suportes apropriados para manter a face em contato com a água. Adiante, a água é colocada cuidadosamente à uma altura entre 5 e 10mm e, para o melhor procedimento do ensaio, o recipiente é fechado e locado num ambiente sem grandes variações de temperatura e humidade. As pesagens são feitas num período gradual de tempo, a começar aos 5 minutos e prossegue-se em 10, 15, 30, 45, 60 e 90 minutos iniciais, até o fim de cerca de

5 dias. O processo parte da retirada do provete da água e a seguir a redução do excesso de água com o auxílio de um pano húmido e, então, sucede-se a pesagem através de uma balança de precisão.

O ensaio é finalizado após atingir a massa constante, ou seja, quando não há uma variação da massa inferior a 2% em um intervalo de, pelo menos, 24 horas. O resultado da absorção de água por capilaridade é obtido através da equação:

$$Ac = \frac{M_i - M_0}{A} \times 1000 \quad (3.14)$$

Onde:

- Ac - Absorção de água por capilaridade (kg/m^2)
- M_0 – Massa do provete seco em estufa (g)
- M_1 – Massa do provete no instante i (g)
- A - Área da face inferior em contacto com a água (mm^2)

O valor do coeficiente é expresso, ainda, em gráfico, pela relação do intervalo de valores de absorção capilar do provete e um intervalo de tempo determinado ($\text{kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0.5})$).

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Considerações gerais

No presente capítulo serão explicitados os resultados obtidos dos ensaios elaborados, especificados no capítulo anterior. Os dados recolhidos foram trabalhados e expressos em diferentes abordagens, por método comparativo de resultados, análise exploratória, além da representação em gráficos e tabelas, de modo a facilitar a compressão e visualização dos valores atribuídos.

Procedeu-se à discussão dos dados, no sentido de obter o entendimento do processo de desenvolvimento do trabalho, a buscar por resultados favoráveis, assim como as possíveis influências aos resultados, nomeadamente os materiais utilizados, as condições propostas e as percentagens adotadas. Os dados arrecadados e análise contribuem para a expectativa do material, de maneira a adequá-lo ou não à novas propostas ou a outras aplicações.

4.2 Propriedades químicas e físicas das pastas

4.2.1 Difração por raios X (DRX)

O método de difração por raios X foi efetuado nas misturas com o pó de conchas de ostras e ácido acético do vinagre e o pó de conchas de ostras misturado a água, com ambos os líquidos introduzidos na razão de 0,30 em relação ao ligante, que trouxeram melhores resultados no que diz respeito as propriedades mecânicas. Além disso, a composição com adição da cal viva aos 3% também foi verificada.

A análise por DRX é de fundamental importância para o trabalho em questão, dado que os resultados obtidos contribuem para o entendimento acerca dos principais constituintes químicos e da estrutura atômica e molecular a qual compõe as amostras. Desta forma, é possível conferir a reação dos materiais estudados e o entendimento do seu comportamento físico-químico.

Deteta-se, segundo a Figura 4.1, que as amostras compostas pelo pó das conchas de ostras e vinagre é essencialmente constituída por carbonato de cálcio, identificado na cor vermelha. Para além disso, é possível verificar a presença de acetato de cálcio, embora em quantidade mínimas, os respetivos picos principais

são claramente detetáveis. Associa-se esse fato à quantidade de vinagre adotada na composição, bem como à concentração de ácido acético contido em vinagre, que no caso é de 6%. Sendo assim, as relações entre os materiais podem desencadear baixas resistências, por decomporem pouco do carbonato de cálcio presente nas conchas de ostras.

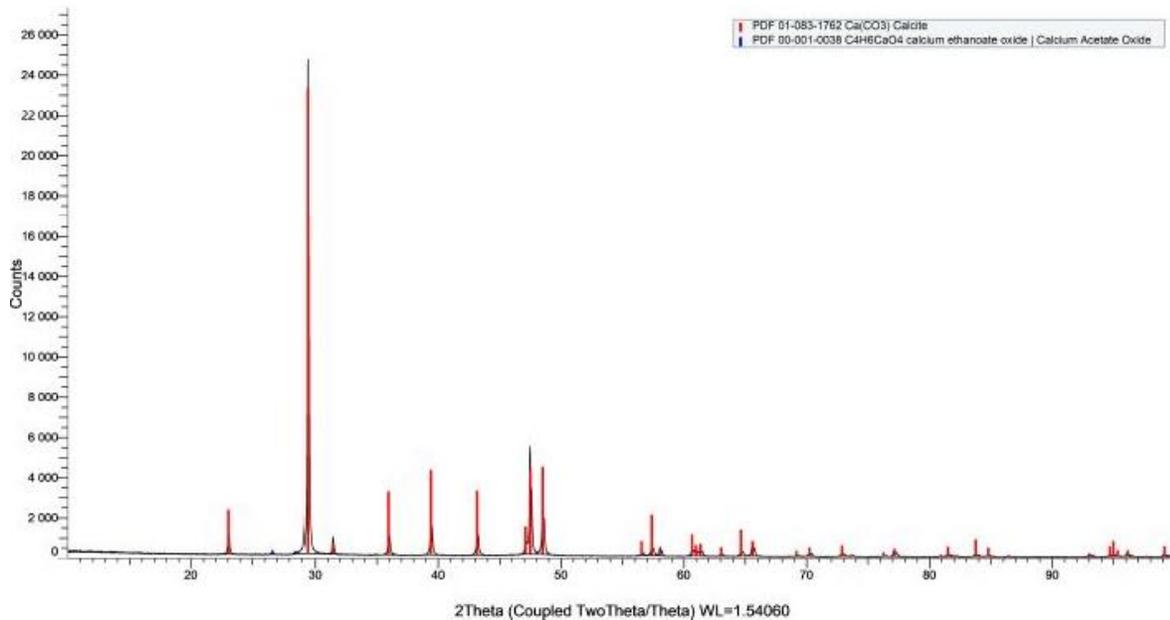


Figura 4.1 – DRX da amostra com pó das conchas e vinagre.

Já as amostras com o pó das conchas de ostras e água, após análise por DRX, também apontam a presença do carbonato de cálcio (calcite), produto principal das conchas, exposto na Figura 4.2. Também é identificado algum quartzo, porém em quantidades extremamente baixas. Sendo assim, pode-se dizer que não há vestígios de alguma reação química entre o pó das conchas de ostras e a água, sendo unicamente evidente o contato físico entre os constituintes, uma vez que na presença de água ou umidade, leva-se ao endurecimento do carbonato de cálcio. Os ensaios de estabilização à água podem comprovar esse fator mais adiante.

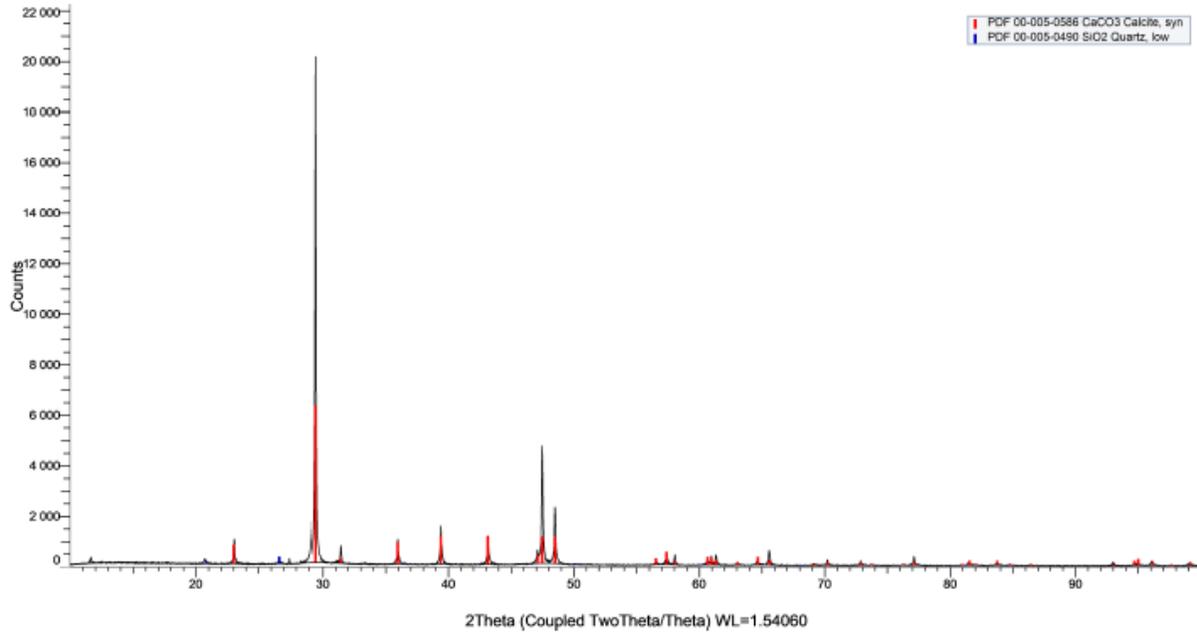


Figura 4.2 – DRX da amostra composta pelo pó das conchas e água.

Para o alcance de resistências mecânicas, de facto, é necessário a existência de uma ligação química de promoção de resistência entre os materiais para com o carbonato de cálcio das conchas, o que não é notado na presença de água. Tal como ocorre com a cal viva, a água apenas acarreta o endurecimento do cálcio presente na sua composição (CaO), enquanto a presença do ácido acético promova, mesmo em quantidades reduzidas contido no vinagre, uma reação química capaz de criar ligações relacionadas à resistência e durabilidade.

4.3 Caracterização da argamassa em estado fresco

De modo geral, percebeu-se que a consistência das pastas, após numerosas análises exploratórias, com diferentes adições e quantidades, possui boa trabalhabilidade. A razão A/L de 0,30 desencadeou um melhor desempenho quando misturada ao pó de conchas de ostras, tanto no pó moído e peneirado (PCO1), quanto no pó processado unicamente no Los Angeles (PCO2), uma vez que a variação granulométrica não foi significativa ou de grande influência na promoção de resistências no caso em questão. Mais, as conchas quando moídas na dimensão trabalhada, misturam-se com facilidade ao líquido, não sendo notado resquícios de pelotas ou viscosidade, de modo a apresentar-se uma massa homogênea, mesmo quando introduzido adições de cal viva. A consistência extremamente fina do pó da cal também promove facilmente

o desenvolvimento das amassaduras e a quantidade reduzida empregue não influencia consideravelmente nas pastas nesse quesito.

Quando a quantidade de líquido foi elevada para a razão de 0,60, notou-se uma fluidez maior, o que não contribuiu para o desempenho das pastas, com as misturas a exibir uma consistência mais líquida. Portanto, essa opção foi descartada.

Para o desenvolvimento das argamassas, o traço adotado foi de 1:1, no sentido de obter-se uma consistência e trabalhabilidade melhor do pó das conchas, denominado de PCO2, com o agregado de conchas triturados, denominado de ACO. A determinação da quantidade de água surgiu após a análise da consistência das pastas por meio de ensaio de espalhamento. No Quadro 4.1 é possível verificar os valores resultantes do ensaio de espalhamento perante as composições estudadas:

Quadro 4.1 – Composição e espalhamento das argamassas.

Composição	C1	C2	C3	C4
PCO2 (ml)	600	600	600	600
ACO (ml)	600	600	600	600
Água (ml)	250	400	300	310
Espalhamento (mm)	140	180	160	165

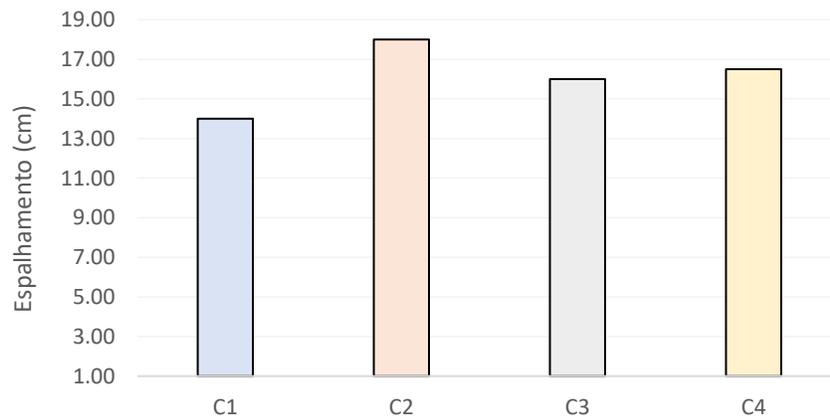


Figura 4.3 – Espalhamento das composições das argamassas em gráfico.

Após os ensaios de consistência por espalhamento, constatou-se a opção mais adequada ao funcionamento relacionado à trabalhabilidade da argamassa é a C3. A composição das pastas adquiriu melhor consistência e homogeneidade quando adotado o volume em torno de 300m³ de água. A Figura 4.4 exhibe as argamassas com valor de espalhamento de ≥160mm.



Figura 4.4 – (a) Argamassa composta por água, pó de conchas de ostras e agregado (C3) em ensaio de consistência por espalhamento e (b) Medição do espalhamento após o processo de 10 pancadas.

Após as 10 pancadas por segundo, que compõe o ensaio, a pasta da argamassa da composição incorporada com maior quantidade de água, nomeadamente C2 (180mm), apresentou uma consistência pouco coesa e de baixa homogeneidade, com baixa capacidade de retenção de água e apresentando sinais de segregação. Observou-se que uma certa concentração de água ao redor da pasta, o que comprova uma trabalhabilidade instável.

4.4 Avaliação do comportamento mecânico

4.4.1 Caracterização da argamassa em estado sólido

A seguir é expresso a caracterização das pastas trabalhadas após o seu endurecimento, na idade completa de 28 dias. Investigou-se o comportamento mecânico das misturas no que diz respeito à resistência à compressão, resistência à flexão, bem como as suas propriedades físicas por meio de ensaios de durabilidade, nomeadamente estabilização à água, absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão.

Após o tempo de cura determinado, os provetes foram medidos e pesados, uma vez que esses valores influenciam nos resultados posteriores aos ensaios, numa forma de comparar a sua massa inicial ou para efeitos do resultado das densidades.

4.4.2 Resistência à compressão

4.4.2.1. Pastas com ácido acético em vinagre

O estudo inicial da composição das pastas fundamentou-se na quantidade de vinagre ideal para o prosseguimento do trabalho, à vista do melhor resultado no que corresponde a trabalhabilidade das misturas em estado fresco e das resistências mecânicas em estado endurecido. Foram estipuladas quantidades em razão do pó das conchas de ostra (PCO1) de 0,30, 0,40 e 0,50 ml de vinagre. As quantidades reduzidas empregues advêm de estudos experimentais iniciais da mistura do pó das conchas de ostras e o vinagre, sendo assim por dizer, com base em amassaduras prévias. Percebeu-se a melhor trabalhabilidade e comportamento em dosagens similares, que até aquele momento, foi feito de forma intuitiva. Após ensaios, o estudo foi limitado a essas dosagens (0,30; 0,40 e 0,50).

O Quadro 4.2 compreende as características obtidas do ensaio de resistência à compressão das pastas, produzidas em moldes de 20x20x20mm³ e em condições distintas de cura.

Quadro 4.2 – Características de resistência à compressão dos provetes com vinagre.

N°	Composição	Ambiente de cura	Tempo de cura	Densidade aparente (kg/m ³)	Média Resistência compressão (MPa)	Desvio padrão (k)	Coefficiente de variação (%)
P1.1	PCO1_0,30AAV_TA	Temp. Amb.	28	1583,90	0,68	0,05	8%
P1.2	PCO1_0,40AAV_TA			1484,81	0,54	0,03	5%
P1.3	PCO1_0,50AAV_TA			1264,45	0,27	0,08	30%
P1.4	PCO1_0,30AAV_CO2	Câmara de CO ₂	28	1469,29	0,41	0,02	5%
P1.5	PCO1_0,40AAV_CO2			1416,89	0,39	0,12	30%
P1.6	PCO1_0,50AAV_CO2			1255,12	0,24	0,13	53%
P1.7	PCO1_0,30AAV_50C	Estufa 50°C	28	1517,74	0,39	0,08	21%
P1.8	PCO1_0,40AAV_50C			1307,07	0,19	0,04	19%
P1.9	PCO1_0,50AAV_50C			1208,01	0,21	0,01	7%

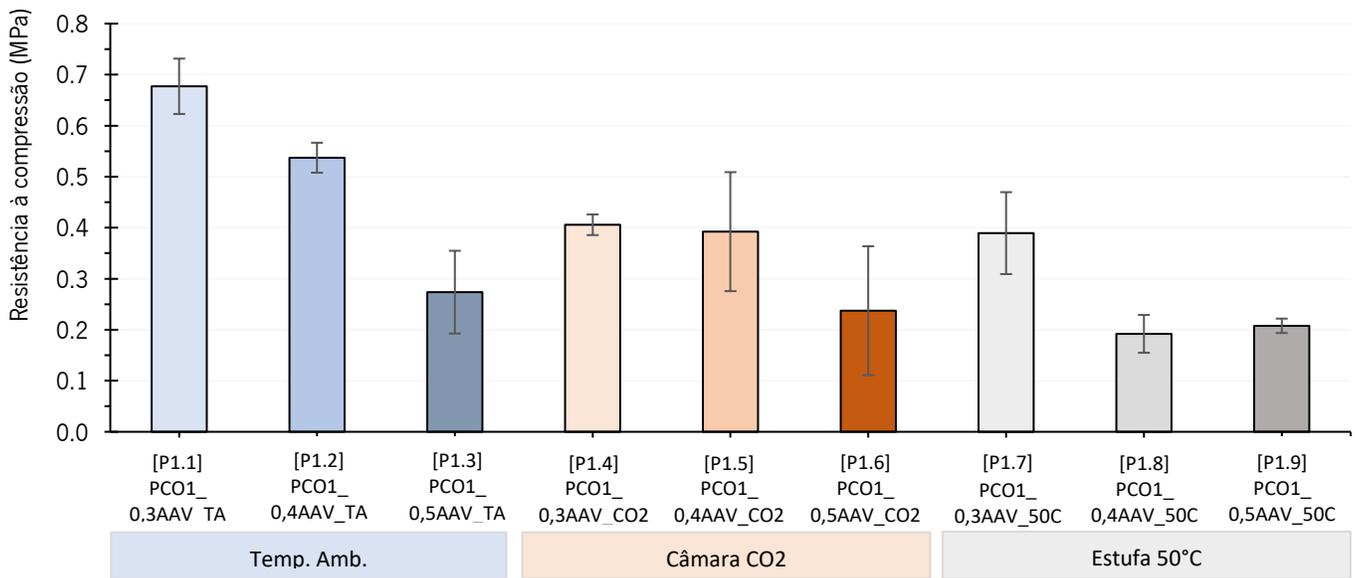


Figura 4.5 – Média das resistências à compressão dos provetes com diferentes dosagens de vinagre.

Os resultados do ensaio foram determinados pela média dos três provetes elaborados para cada uma das composições. Nota-se na Figura 4.5 que a relação da resistência à compressão está ligada a quantidade de líquido adotada, sendo os provetes que tiveram a menor razão de vinagre obtiveram resistências maiores, nas três condições de cura. Desta forma, determinou-se a razão 0,30 A/L do vinagre na sequência do trabalho.

4.4.2.2. Pastas com ácido acético em vinagre e adições

No sentido de adquirir melhores resistências à compressão, foram introduzidos diferentes materiais com características aglomerantes, em quantidades reduzidas. Num primeiro momento, estudou-se as pastas com adições de cal viva em pó e cimento, especificados no capítulo 3, em quantidades que variam de 1% a 3%, que como já mencionado no capítulo 3, partiu da pretensão em acautelar a questão da sustentabilidade das composições, inspiradas também nas composições com terra. Quanto às condições de cura e a dimensão dos provetes, estes permaneceram os mesmos.

O Quadro 4.3 resume os resultados de resistência à compressão das composições com adição de cal viva misturadas ao pó de conchas de ostras (PCO1) e 0,3 A/L de vinagre, estipulado após o ensaio anterior. Evidencia-se que as melhores características de resistência se deram às misturas curadas na câmara de carbonatação, sobretudo as que tiveram adições de 3% da cal viva. Na Figura 4.6 é mais bem observado os resultados.

Quadro 4.3 – Características de resistência à compressão dos provetes com adição de cal viva.

Nº	Composição	Ambiente de cura	Tempo de cura	Densidade aparente (kg/m³)	Média Resistência compressão (MPa)	Desvio padrão (k)	Coefficiente de variação (%)
P2.1	PCO1_0,3AAV_1%CaIV_TA	Temp. Amb.	28	1380,31	0,46	0,13	28%
P2.2	PCO1_0,3AAV_2%CaIV_TA			1499,82	0,62	0,10	17%
P2.3	PCO1_0,3AAV_3%CaIV_TA			1385,43	0,57	0,17	30%
P2.4	PCO1_0,3AAV_1%CaIV_CO2	Câmara de CO ₂	28	1614,51	2,19	0,15	7%
P2.5	PCO1_0,3AAV_2%CaIV_CO2			1596,68	2,89	0,26	9%
P2.6	PCO1_0,3AAV_3%CaIV_CO2			1614,65	3,30	0,58	17%
P2.7	PCO1_0,3AAV_1%CaIV_50C	Estufa 50°C	28	1634,88	0,69	0,07	11%
P2.8	PCO1_0,3AAV_2%CaIV_50C			1633,25	0,88	0,13	14%
P2.9	PCO1_0,3AAV_3%CaIV_50C			1551,96	0,48	0,12	25%

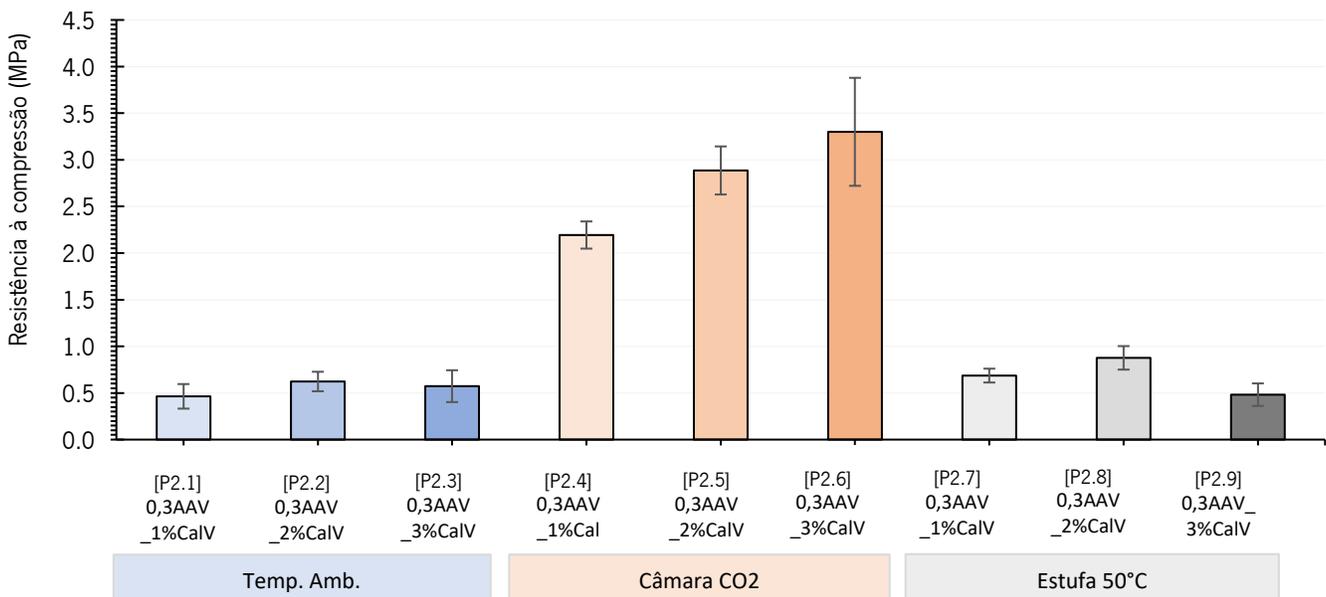


Figura 4.6 - Média das resistências à compressão dos provetes com adição de cal viva.

As composições com adição de cimento têm seus resultados de resistência à compressão descritos no Quadro 4.4 e a média dos valores é expressa na Figura 4.7. Observa-se a similaridades dos resultados em relação as pastas com adição de cal viva, ainda que em menores valores.

Quadro 4.4 - Características de resistência à compressão dos provetes com adição de cimento.

Nº	Composição	Ambiente de cura	Tempo de cura	Densidade aparente (kg/m³)	Média Resistência compressão (MPa)	Desvio padrão (k)	Coefficiente de variação (%)
P2.10	PCO1_0,3AAV_1%CM_TA	Temp. Amb.	28	1605,81	0,88	0,16	19%
P2.11	PCO1_0,3AAV_2%CM_TA			1623,23	0,90	0,08	9%
P2.12	PCO1_0,3AAV_3%CM_TA			1581,52	0,70	0,01	1%
P2.13	PCO1_0,3AAV_1%CM_CO2	Câmara de CO2	28	1513,44	0,80	0,20	26%
P2.14	PCO1_0,3AAV_2%CM_CO2			1587,25	1,68	0,13	7%
P2.15	PCO1_0,3AAV_3%CM_CO2			1563,42	2,23	0,43	19%
P2.16	PCO1_0,3AAV_1%CM_50C	Estufa 50°C	28	1605,81	0,49	0,11	22%
P2.17	PCO1_0,3AAV_2%CM_50C			1646,55	0,57	0,14	25%
P2.18	PCO1_0,3AAV_3%CM_50C			1616,59	0,47	0,09	18%

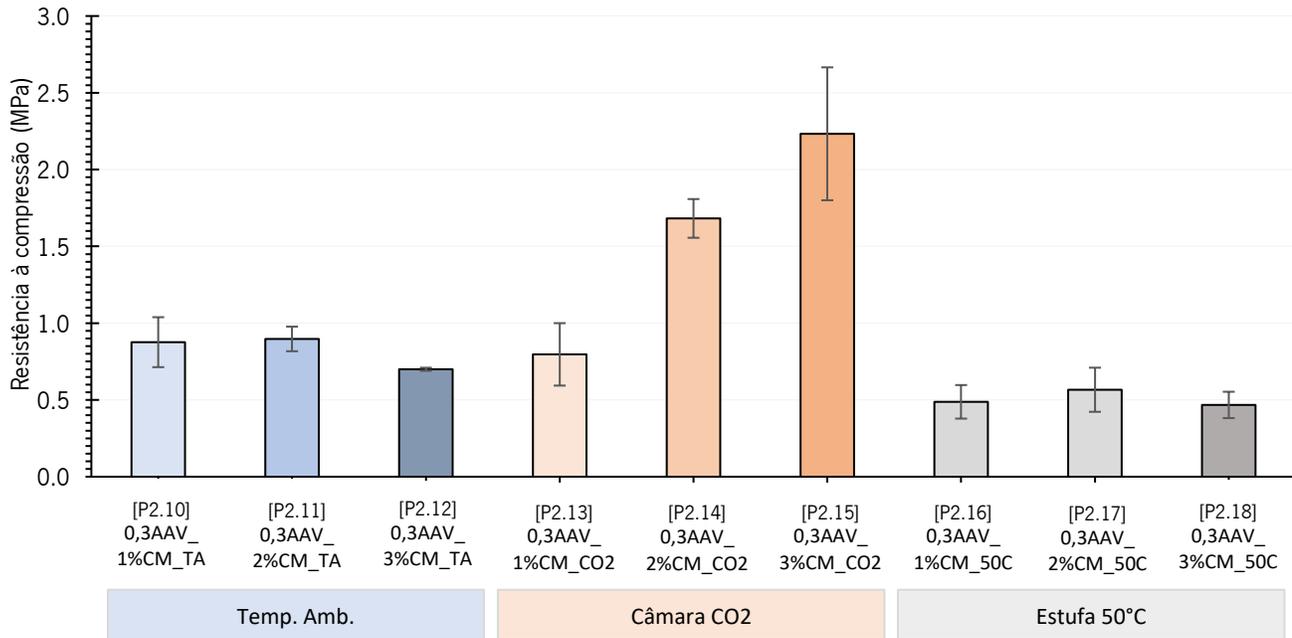


Figura 4.7 - Média das resistências à compressão dos provetes produzidos com cimento.

Em suma, tanto nas misturas com adição de cal viva, quanto nas em que foi introduzido o cimento, a condição de cura em câmara de carbonatação apresentou resistências à compressão superiores. Nota-se, ainda, que os 3% de ambos os ligantes foram ideais ao favorecimento das resistências. Ressalta-se que a

adição de cal viva nas misturas curadas em câmara de carbonatação, apresentaram resultados consideravelmente mais relevantes, sendo esta composição tida como a ótima da etapa em questão. Ainda assim, sendo uma análise precoce, os ambientes de cura foram mantidos e estudados nas outras etapas, a título de perceber o melhor comportamento das pastas nessas condições, em especial, a condição de carbonatação.

Após análise com as adições de cal e cimento, procedeu-se à introdução de outros materiais à 3%, sendo pó de resíduo de tijolo, metacaulino, cinzas volantes, filler calcário, cal hidratada, gesso e a combinação de pó de resíduo de tijolo e cal viva, em dosagem de 1,5% a cada um, para efeito de uma investigação mais minuciosa. O Quadro 4.5 mostra a composição das pastas com adição de materiais variados.

Quadro 4.5 - Características de resistência à compressão dos provetes com adições.

Nº	Composição	Ambiente de cura	Tempo de cura	Densidade aparente (kg/m³)	Média Resistência compressão (MPa)	Desvio padrão (k)	Coefficiente de variação (%)
P2.19	PC01_0,3AAV_3%PRT_TA	Temp. Amb.	28	1645,28	0,42	0,05	11,98%
P2.20	PC01_0,3AAV_3%MC_TA			1566,86	0,27	0,01	4,84%
P2.21	PC01_0,3AAV_3%CV_TA			1604,83	0,40	0,01	3,47%
P2.22	PC01_0,3AAV_3%FC_TA			1664,89	0,42	0,06	13,20%
P2.23	PC01_0,3AAV_3%CH_TA			1448,43	0,68	0,27	40,00%
P2.24	PC01_0,3AAV_3%GS_TA			1642,55	2,22	0,36	11,08%
P2.25	PC01_0,3AAV_1,5%PRT+1,5%CaV_TA			1654,99	1,54	0,32	20,82%
P2.26	PC01_0,3AAV_3%PRT_CO2	Câmara de CO ₂	28	1676,37	0,51	0,02	3,43%
P2.27	PC01_0,3AAV_3%MC_CO2			1620,25	0,39	0,03	8,22%
P2.28	PC01_0,3AAV_3%CV_CO2			1639,25	0,39	0,05	13,77%
P2.29	PC01_0,3AAV_3%FC_CO2			1713,84	0,45	0,03	6,41%
P2.30	PC01_0,3AAV_3%CH_CO2			1433,97	0,72	0,05	6,89%
P2.31	PC01_0,3AAV_3%GS_CO2			1633,24	1,56	0,88	56,66%
P2.32	PC01_0,3AAV_1,5%PRT+1,5%CaV_CO2			1587,18	1,34	0,04	2,83%
P2.33	PC01_0,3AAV_3%PRT_50C	Estufa 50°C	28	1624,68	0,38	0,07	17,03%
P2.34	PC01_0,3AAV_3%MC_50C			1547,14	0,38	0,04	11,32%
P2.35	PC01_0,3AAV_3%CV_50C			1587,45	0,22	0,04	17,32%
P2.36	PC01_0,3AAV_3%FC_50C			1675,70	0,42	0,05	12,12%
P2.37	PC01_0,3AAV_3%CH_50C			1427,48	0,42	0,28	66,48%
P2.38	PC01_0,3AAV_3%GS_50C			1585,00	1,46	0,42	28,95%
P2.39	PC01_0,3AAV_1,5%PRT+1,5%CaV_50C			1738,37	1,18	0,22	18,79%

Os valores resultantes do ensaio de compressão atestam que as misturas condicionadas nos três ambientes de cura apresentaram uma resistência maior quando introduzida adição de gesso e a combinação de pó de resíduo de tijolo e cal viva, destacando-se a maior resistência a pasta com gesso em temperatura ambiente. No entanto, apresentaram valores inferiores quando comparadas a cal viva, que conduziu a resistências maiores. Os restantes das pastas obtiveram uma resistência à compressão similar. Para a facilidade de compreensão, a Figura 4.8 demonstra as duas maiores resistências dos respectivos ambientes de cura, a relacionar também com as pastas sem quaisquer adições, denominadas como REF_TA, para as misturas com PCO1 e AAV em temperatura ambiente, REF_CO2 e REF_50C, sendo as mesmas misturas, mas em condições diferentes, nomeadamente na câmara de carbonatação e em estufa a 50°C, respetivamente. Assim, é evidente o contributo das propriedades dos materiais com propriedades pozolânicas e/ou aglomerantes, que conferem maior resistências mecânicas às pastas no estado endurecido, mesmo em pequenas quantidades.

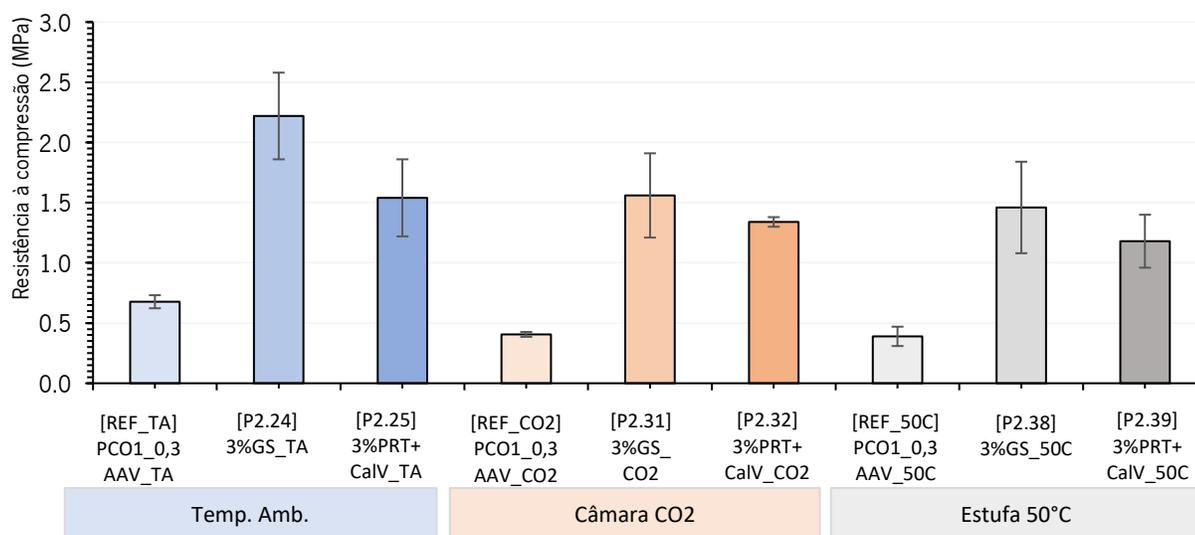


Figura 4.8 - Média das resistências à compressão dos provetes com adições de diferentes ligantes.

No seguimento da investigação, decorreu-se ao aumento da percentagem dos ligantes adotados, a partir dos resultados ótimos atestados posteriormente. Deste modo, adotou-se à 6% de ligantes em relação a massa de PCO1, conforme exposto no Quadro 4.6. Em resumo, a maior resistência alcançada foram nas composições com gesso, com exceção da condição de carbonatação. Algumas pastas não se desenvolveram

como esperado e adquiriram resistências mínimas ou, mesmo, acarretou a fissuração ou esfarelamento dos provetes, nomeadamente os que são constituídos pela cal viva e metacaulino.

Quadro 4.6 - Características de resistência à compressão dos provetes com adições à 6%.

Nº	Composição	Ambiente de cura	Tempo de cura	Densidade aparente (kg/m ³)	Média Resistência compressão (MPa)	Desvio padrão (k)	Coefficiente de variação (%)
P2.40	PCO1_0,3AAV_6%PRT_TA	Temp. Amb.	28	1615,42	0,55	0,12	22%
P2.41	PCO1_0,3AAV_6%MC_TA			1418,61	0,31	0,04	12%
P2.42	PCO1_0,3AAV_6%CV_TA			1596,50	0,37	0,02	6%
P2.43	PCO1_0,3AAV_6%FC_TA			1694,75	0,25	0,03	11%
P2.44	PCO1_0,3AAV_6%GS_TA			1586,25	2,06	0,22	9%
P2.45	PCO1_0,3AAV_6%PRT+CaIV_TA			1530,87	0,81	0,45	55%
P2.46	PCO1_0,3AAV_6%CaIV_TA			-	-	-	-
P2.47	PCO1_0,3AAV_6%PRT_CO2	Câmara de CO ₂	28	1641,80	0,46	0,01	3%
P2.48	PCO1_0,3AAV_6%MC_CO2			1408,09	0,63	0,01	1%
P2.49	PCO1_0,3AAV_6%CV_CO2			1592,06	0,42	0,03	7%
P2.50	PCO1_0,3AAV_6%FC_CO2			1688,47	0,45	0,01	3%
P2.51	PCO1_0,3AAV_6%GS_CO2			1357,64	0,11	0,03	24%
P2.52	PCO1_0,3AAV_6%PRT+CaIV_CO2			1646,33	0,37	0,04	12%
P2.53	PCO1_0,3AAV_6%CaIV_CO2			1183,66	0,33	0,05	17%
P2.54	PCO1_0,3AAV_6%PRT_50C	Estufa 50°C	28	1581,33	0,34	0,05	16%
P2.55	PCO1_0,3AAV_6%MC_50C			-	-	-	-
P2.56	PCO1_0,3AAV_6%CV_50C			1535,85	0,14	0,02	17%
P2.57	PCO1_0,3AAV_6%FC_50C			1581,33	0,27	0,02	7%
P2.58	PCO1_0,3AAV_6%GS_50C			1595,21	1,44	0,28	19%
P2.59	PCO1_0,3AAV_6%PRT+CaIV_50C			1478,96	0,19	0,05	29%
P2.60	PCO1_0,3AAV_6%CaIV_50C			-	-	-	-

Para efeito de uma melhor visualização, a Figura 4.9 demonstra os melhores resultados de resistência à compressão com adições variadas em uma percentagem de 6%. Esta percentagem não percutiu resultados mais consideráveis quando comparados com as pastas estudadas na etapa anterior. As pastas com 6% de adição de gesso apresentaram resistências maiores em condição de temperatura ambiente, no entanto, em relação às pastas com adição de 3% do mesmo material, verificada anteriormente, não houve grandes disparidades, resultando num valor aproximado, ainda menor.

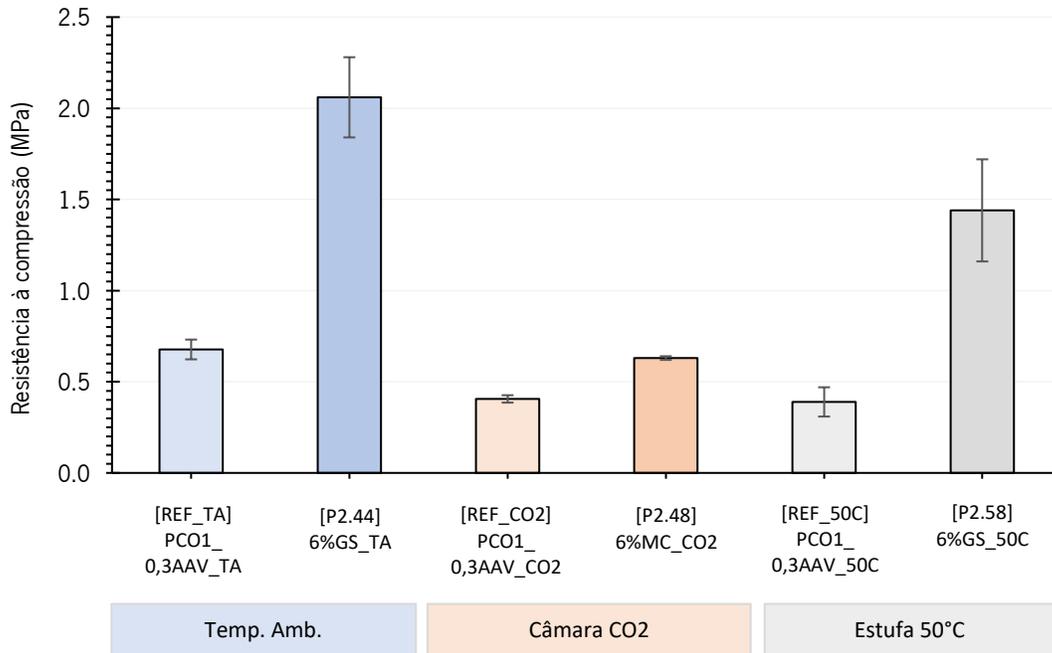


Figura 4.9 – Gráfico das médias das resistências à compressão ótimas dos provetes da etapa.

4.4.2.3. Pastas com PCO2 e substituição por água

Para a otimização do processo de produção das pastas, recorreu-se à análise do comportamento mecânico dos provetes quando compostos pelo pó de conchas de ostras após moagem única de 40 ciclos no equipamento Los Angeles (PCO2). Além disso, foi empregue água às misturas em substituição do ácido acético do vinagre, à vista de uma análise comparativa com os provetes compostos por PCO1 e AAV. As pastas foram moldadas em provetes de 50x50x50mm³.

Salienta-se que as misturas com ácido acético do vinagre e as conchas de ostras foram analisadas com adições de 3% de cal viva, gesso e cimento, nomeadamente as composições ótimas estudadas ao longo da campanha experimental. No entanto, para efeitos de compreensão visual, foram expostos os valores mais relevantes, especificamente as pastas com cal viva nos três ambientes de cura. Os demais provetes exibiram resistências inferior à 0,70MPa e, como referência, foram mantidas as composições apenas com PCO2. O Quadro 4.7, Quadro 4.8 e a Figura 4.10 expressam os resultados do ensaio de resistência à compressão.

Quadro 4.7 - Resistência à compressão dos provetes de 50x50x50m³ produzidos com vinagre.

Nº	Composição	Ambiente de cura	Tempo de cura	Densidade aparente (kg/m ³)	Média Resistência compressão (MPa)	Desvio padrão (k)	Coefficiente de variação (%)
P3.1	PCO2_0,3AAV_TA	Temp. Amb.	28	1509,64	0,64	0,07	10%
P3.2	PCO2_3%CaIV_0,3AAV_TA			1695,37	1,95	0,01	0,4%
P3.3	PCO2_0,3AAV_CO2	Câmara de CO ₂	28	1673,37	0,35	0,01	4%
P3.4	PCO2_3%CaIV_0,3AAV_CO2			1743,98	2,02	0,33	16%
P3.5	PCO2_0,3AAV_50C	Estufa 50°C	28	1741,18	1,05	0,35	34%
P3.6	PCO2_3%CaIV_0,3AAV_50C			1682,51	0,92	0,21	23%

Quadro 4.8 - Resistência à compressão dos provetes de 50x50x50m³ produzidos com água.

Nº	Composição	Ambiente de cura	Tempo de cura	Densidade aparente (kg/m ³)	Média Resistência compressão (MPa)	Desvio padrão (k)	Coefficiente de variação (%)
P3.7	PCO2_0,3AG_TA	Temp. Amb.	28	1656,28	1,59	0,22	14%
P3.8	PCO2_3%CaIV_0,3AG_TA			1681,95	0,90	0,07	8%
P3.9	PCO2_0,3AG_CO2	Câmara de CO ₂	28	1758,18	0,90	0,04	5%
P3.10	PCO2_3%CaIV_0,3AG_CO2			1687,41	1,88	0,09	9%
P3.11	PCO2_0,3AG_50C	Estufa 50°C	28	1666,77	0,92	0,03	4%
P3.12	PCO2_3%CaIV_0,3AG_50C			1681,95	0,93	0,07	8%

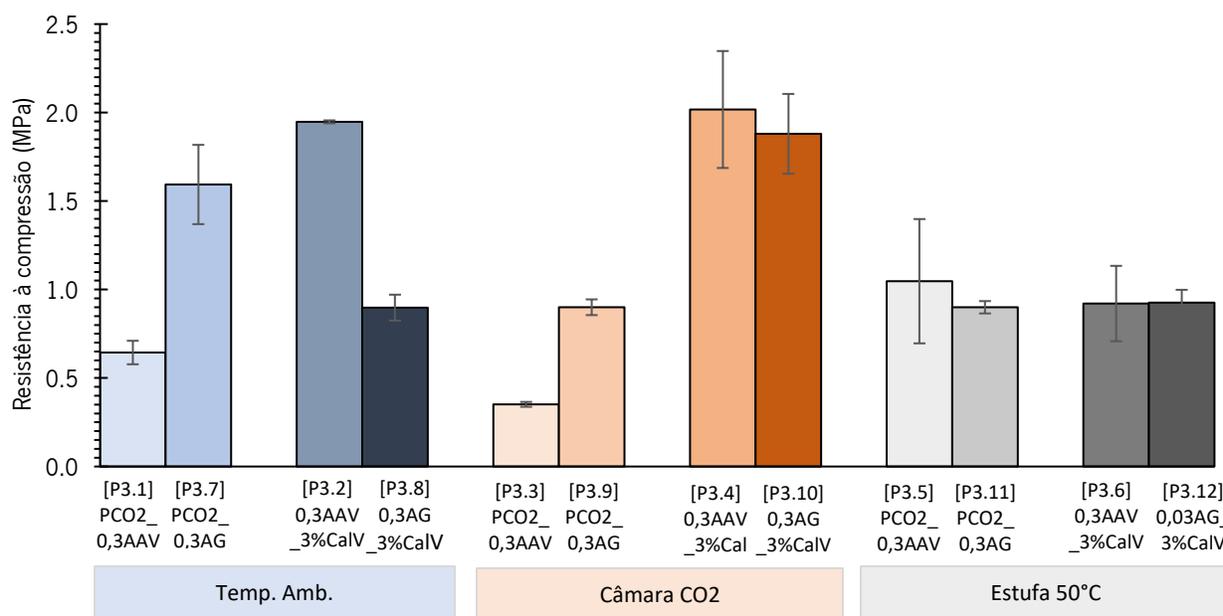


Figura 4.10 - Gráfico das médias das resistências à compressão ótimas dos provetes produzidos com água e provetes produzidos com vinagre para efeitos comparativos.

Os provetes curados em temperatura ambiente e na câmara de carbonatação demonstraram resultados mais eminentes em relação aos provetes em estufa, em torno de 2MPa. De modo geral, os compósitos ensaiados não desempenharam grandes variações nos seus resultados. Tanto as pastas produzidas com ácido acético do vinagre e com água sucederam a resistências aproximadas.

Posto isso, decidiu-se prosseguir ao fabrico das argamassas ecoeficientes com as composições e condições ótimas. Sendo assim, foram determinados as curas sob temperatura ambiente e carbonatação, uma vez que os provetes condicionados em estufa à temperatura de 50°C não trouxeram resultados promissores nos estudos antecedentes.

4.4.2.4. Argamassas

Após a investigação anterior acerca das composições das pastas, procedeu-se aos ensaios em argamassas, com a composição ótima estabelecida, nomeadamente PCO₂, adição de cal viva a 3%, água e, agora, com a introdução do agregado a partir das conchas de ostras trituradas (ACO). Para efeitos de comparativos, foram produzidas também argamassas sem qualquer adição.

O ensaio de resistência à compressão das argamassas foi realizado em provetes decorrentes do ensaio de resistência à flexão, que após terem sido partidos na sua metade, aproximadamente, com dimensões em torno de 80x40x40mm³, com idade de 28 dias. A composição para o desenvolvimento final da argamassa ecoeficiente foi determinada após as análises experimentais acerca da granulometria do pó das conchas de ostras, dos ligantes introduzidos, das quantidades adotadas para cada material constituinte, além do ambiente de cura em que melhor se desenvolveram. Mediante os resultados ótimos relacionados à resistência mecânica estabeleceu-se a composição final.

Tendo em vista os resultados aproximados entre as pastas compostas por PCO₁ e AAV e PCO₂ e água, decidiu-se não implementar na composição final da argamassa o vinagre, considerando a maior disponibilidade e fácil utilização da água (AG). Assim como o pó de conchas moído em 40 ciclo no moedor Los Angeles, que não apresentaram grandes distinções nos resultados do ensaio de compressão em relação as misturas com PCO₁, uma vez que a granulometria de ambos os pós não foi pauta para uma possível influência das resistências, mediante as dimensões aproximadas dos grãos.

Foram elaborados três provetes para cada composição, no traço de 1:1 (ligante/agregado). Para a determinação do resultado da resistência à compressão calculou-se a média dos valores individuais dos provetes de composições semelhantes. O Quadro 4.9 expõe a composição das argamassas e a Figura 4.11 apontam as médias dos resultados de resistência à compressão dos provetes ensaiados.

Quadro 4.9 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão das argamassas.

Nº	Composição	Ambiente de cura	Tempo de cura	Densidade aparente (kg/m ³)	Média Resistência compressão (MPa)	Desvio padrão (k)	Coefficiente de variação (%)
P4.1	PCO2_ACO_AG_TA	Temp. Amb.	28	1750,76	0,41	0,03	8%
P4.2	PCO2_3%CaIV_ACO_AG_TA			1725,84	0,50	0,03	5%
P4.3	PCO2_ACO_AG_CO2	Câmara de CO ₂	28	1705,70	0,38	0,03	7%
P4.4	PCO2_3%CaIV_ACO_AG_CO2			1557,36	0,43	0,03	6%

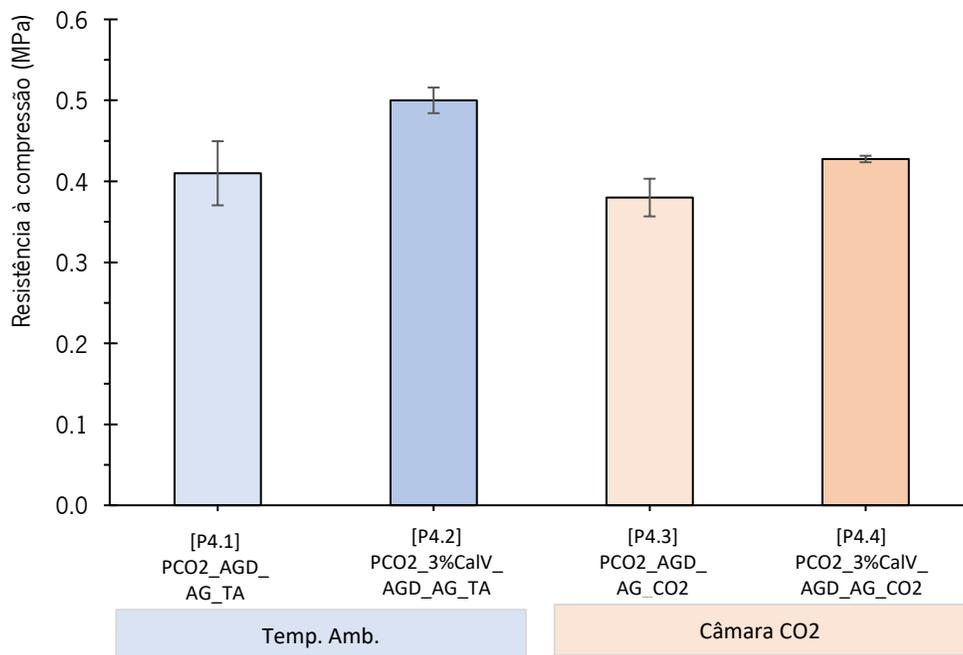


Figura 4.11 – Gráfico das médias de resistência à compressão das argamassas de composição final.

Em suma, as argamassas apresentaram resistências à compressão abaixo da expectativa, sendo o resultado mais promissor correspondente aos provetes curados em temperatura ambiente, com a introdução da cal viva, conforme os ensaios mecânicos de resistência à compressão dos provetes estudados ao longo das análises exploratórias, com diferentes adições e quantidades investigadas. No entanto, é contraditório aos

resultados obtidos anteriormente, em que a cal viva incorporada nas pastas, mesmo em quantidades reduzidas, desempenhou uma resistência mecânica significativamente maior comparadas as outras composições, especialmente em condição de carbonatação.

Por estes fatores apresentados, uma das suposições é de que a cal viva em pó pudesse ter carbonatado, ou seja, após longo período estocada, é suscetível a redução da sua capacidade aglomerante pela reação da umidade e presença de dióxido de carbono da atmosfera. Portanto, ressalta-se que o emprego da cal viva às pastas foi favorável ao longo do processo, tanto misturadas com ácido acético do vinagre quanto à água. No sentido de obter resultados relevantes, a cal deverá ter um período de armazenamento pouco extenso, a ser investigado ainda outras proporções, bem como idades mais extensas.

Outro fator a ser ponderado, e o mais concreto, está associado à diferença de tamanho entre os provetes. Nas pastas inicialmente trabalhadas com adição da cal viva, os quais foram moldados em dimensões inferiores as das argamassas, a reação de carbonatação ocorre mais facilmente, enquanto nos provetes maiores, a reação se dá mais lentamente.

Além disso, o uso de conchas trituradas como agregado pode ter influenciado negativamente, dado ao tamanho dos grãos que, por sua vez, podem ter ocasionado vazios nas misturas ou à baixa resistência dos mesmos. Assim, é possível dizer que a reatividade é maior quando a superfície específica também é, uma vez que há maior disposição para reagir, o que ocorre quando mais fina é a granulometria.

É importante destacar, ainda, que o ácido acético do vinagre em reação ao carbonato de cálcio desenvolve propriedades capazes de criar ligações físicas entre os constituintes, o que foi possível observar após o ensaio de estabilização à água, pormenorizado mais para frente. Além disso, as argamassas com o pó das conchas de ostras necessitam do contributo de adições de materiais com propriedades aglomerantes, de modo a trazer resultados mais promissores às resistências mecânicas.

4.4.3 Resistência a flexão

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados após os resultados ótimos das pastas, referente à trabalhabilidade e resistência à compressão. Como referido anteriormente, as argamassas compõem-se basicamente pelo pó de conchas de ostras (PCO2) e água (AG), com adição ou não de cal viva. Para o ensaio foram produzidos três provetes de 40x40x160mm³ por composição, com idade de cura de 28 dias. Após a caracterização, calculou-se a média da resistência à flexão, o desvio padrão e o coeficiente de variação. O Quadro 4.10 resume as características dos provetes e os resultados obtidos.

Quadro 4.10 – Resultados dos ensaios de resistência à flexão das argamassas.

Nº	Composição	Ambiente de cura	Tempo de cura	Média Resistência Flexão (MPa)	Desvio padrão (k)	Coeficiente de variação (%)
RF1	PCO2_ACO_AG_TA	Temp. Amb.	28	0,39	0,06	14%
RF2	PCO2_3%CaIV_ACO_AG_TA		28	0,46	0,08	15%
RF3	PCO2_ACO_AG_CO2	Câmara de CO ₂	28	0,37	0,04	11%
RF5	PCO2_3%CaIV_ACO_AG_CO2		28	0,39	0,02	5%

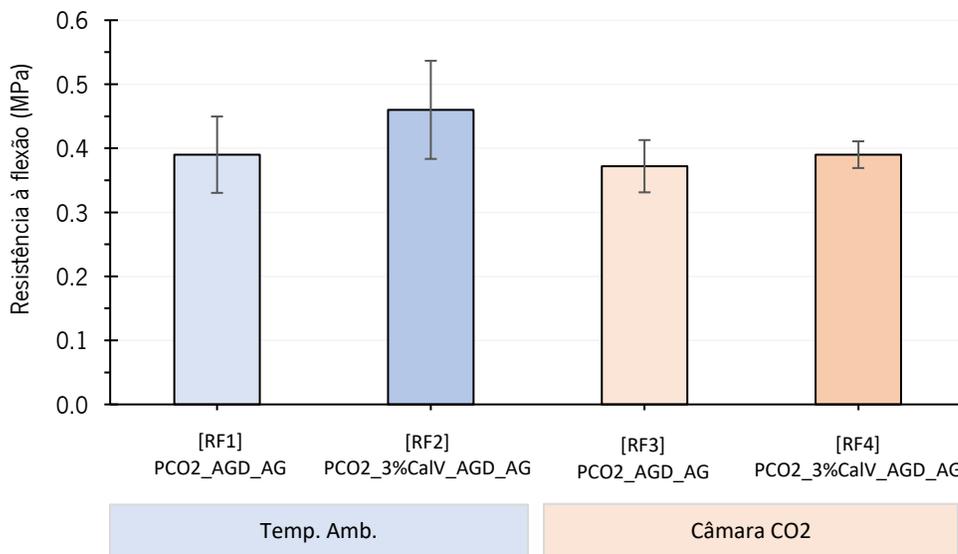


Figura 4.12 – Gráfico das médias de resistência à flexão das argamassas.

O processo de endurecimento das pastas era uma incerteza quando adotadas dimensões superiores às que já tinham sido analisadas, tal como é idealizado para o ensaio de flexão, devido ao lento processo de ganho de rigidez, que mesmo possibilitando o desmolde, ainda não era totalmente notado. Observou-se que o

endurecimento das argamassas não é alcançado, idealmente, antes dos 28 dias, por essa razão foi admitido ensaiar apenas à idade de cura em questão.

A Figura 4.12 traz as médias dos resultados da resistência à flexão das argamassas. Assim como ocorreu nos ensaios de compressão, os provetes desempenharam uma resistência à flexão reduzida. O resultado eminente foi atribuído à argamassa com a adição de cal viva em temperatura ambiente, assim como no ensaio de resistência à compressão. No entanto, as resistências não apresentaram variações significativas em seus valores e os desvios padrão confiam à consistência dos resultados. Para tal, denota-se que um dos pontos principais para as características de resistência à flexão da argamassa em questão, além de outras referidas anteriormente, como a influência do agregado, está associada ao tempo de cura, sendo propício investigar o comportamento dos provetes em idades superiores aos 28 dias, especificamente aos 60 e 90 dias.

Apesar do viés, as argamassas apresentaram consistência nos resultados de resistência à flexão, sendo o coeficiente de variação abaixo de 15% e os desvios padrão indicam que os dados estão próximos da média dos resultados. No que diz respeito à ecoeficiência, as argamassas foram produzidas em quase 100% a partir da reciclagem das conchas de ostras e sem adições minerais exacerbadas.

4.5 Avaliação da durabilidade

4.5.1 Estabilização à água

O ensaio de estabilização à água foi realizado em provetes cúbicos de $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$ após a idade de cura completa. As amostras ficaram imersas em água por 28 dias e as composições que obtiveram resultados mais relevantes referentes à resistência à compressão foram à análise do ensaio em água num momento posterior. Ao total do tempo de cura, as amostras que resistiram foram retiradas da água e secas em temperatura ambiente para o ensaio à compressão. Tendo em vista que nem todas as amostras conseguiram permanecer em água, o Quadro 4.11 expõe as composições que não se desagregaram ou as de fundamental importância para efeitos de um diagnóstico comparativo, sendo estas as pastas que foram produzidas com ácido acético do vinagre e as pastas que foram desenvolvidas com água.

Quadro 4.11 – Composições estudadas no ensaio de estabilidade à água.

N°	Composição	Ambiente de cura	Tempo de cura (d)	Estabilidade à água (28 dias)
EA1	PCO1_0,3AAV_TA	Temp. Ambiente	28	Não
EA2	PCO2_0,3AG_TA			Não
EA3	PCO1_0,3AAV_3%CaIV_TA			Sim
EA4	PCO2_0,3AG_3%CaIV_TA			Não
EA5	PCO1_0,3AAV_CO2	Câmara carbonatação	28	Não
EA6	PCO2_0,3AG_CO2			Não
EA7	PCO1_0,3AAV_3%CaIV_CO2			Sim
EA8	PCO1_0,3AG_3%CaIV_CO2			Não
EA9	PCO1_0,3AAV_3%CM_CO2			Sim
EA10	PCO1_0,3AAV_50C	Estufa 50°C	28	Não
EA11	PCO2_0,3AG_50C			Não
EA12	PCO1_0,3AAV_3%CaIV_50C			Não
EA13	PCO1_0,3AG_3%CaIV_50C			Não

Após o tempo de cura de 28 dias atingido, os provetes que apresentaram durabilidade ao condicionamento em água foram conduzidos para o ensaio de resistência à compressão, de modo a analisar a variação de resistência mediante a permanência em água. Como exposto, os provetes que foram anteriormente submetidos a carbonatação, adquiriam alguma durabilidade na água, nomeadamente os que dispunham de adições de cal viva e cimento. A amostra com cal viva em temperatura ambiente também apresentou alguma resistência.

O Quadro 4.12 aborda as resistências à compressão dos três provetes produzidos para cada uma composição. De forma a analisar a variação da resistência, os resultados obtidos do ensaio de compressão dos provetes introduzidos à água por 28 dia foram comparados aos valores da resistência dos provetes que não foram imersos em água.

Quadro 4.12 – Características da resistência a compressão dos provetes não submetidos à água (RC1) e provetes condicionados em água por 28 dias (RC2).

Nº	Composição	Ambiente de cura	Tempo de cura	Média Resistência Compressão (MPa)	Desvio padrão (k)	Coefficiente de variação (%)
RC1.1	RC1-PCO1_0,3AAV_3%CaIV_TA	Temp. Amb.	28	0,57	0,17	29
RC2.1	RC2-PCO1_0,3AAV_3%CaIV_TA			0,56	0,07	12
RC1.2	RC1-PCO1_0,3AAV_3%CaIV_CO2	Câmara CO2	28	3,30	0,58	18
RC2.2	RC2-PCO1_0,3AAV_3%CaIV_CO2			3,16	0,07	2
RC1.3	RC1-PCO1_0,3AAV_3%CM_CO2	Câmara CO2	28	2,23	0,43	19
RC2.3	RC2-PCO1_0,3AAV_3%CM_CO2			3,17	0,30	9

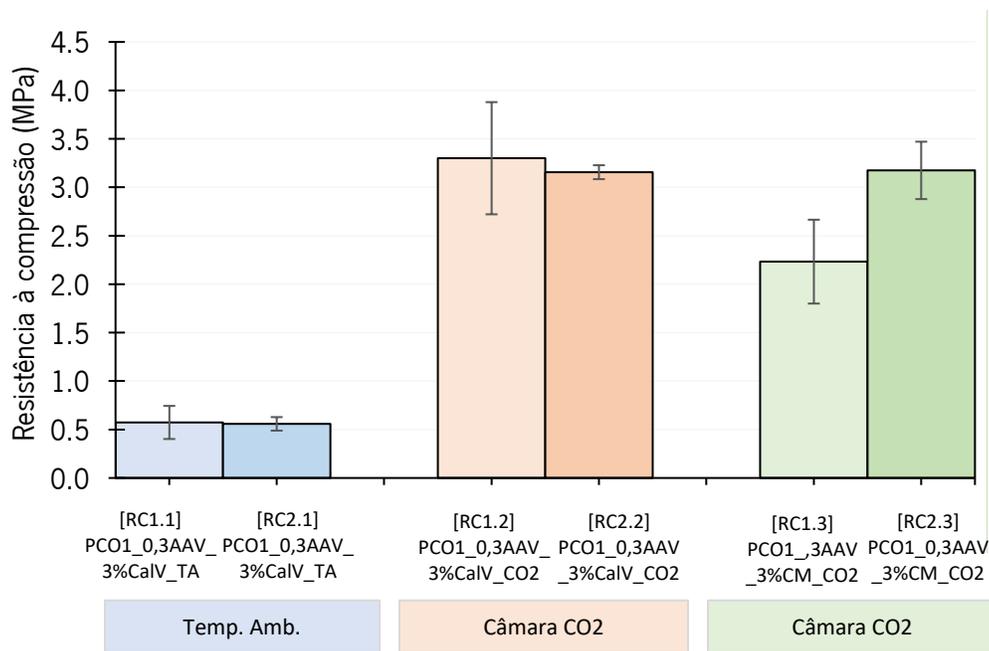


Figura 4.13 – Resistência à compressão dos provetes após ensaio de estabilização à água.

Na

Figura 4.13 os resultados apontam uma ligeira perda de resistência das amostras condicionadas em água dos provetes sem adições e dos provetes com cal viva. No entanto, a redução ínfima de resistência indica que as composições são estáveis e compatíveis com aplicações em ambientes húmidos. Por outro lado, as composições com cimento, aumentaram a resistência à compressão em 0,94%, o que já era de se esperar, uma vez que na presença de água o cimento consome determinada quantidade do líquido para a formação de cristais sólidos que promovem a resistência mecânica do material.

Destaca-se, ainda, que os provetes fabricados com água não resistiram ao processo do ensaio, decompondo-se alguns minutos depois (Figura 4.4). A confirmar o que foi referido na análise por difração de raios X, os provetes compostos por água não apresentam qualquer ligação química forte capaz de proporcionar resistência mecânica quando imersos em água, garantindo a sua integridade quando comprimidos por intermédio de ligações físicas entre as partículas. Em contrapartida, os provetes desenvolvidos com o ácido acético do vinagre, garantiram determinada durabilidade em água, o que se deve a formação de acetato de cálcio a partir da decomposição do carbonato de cálcio das conchas de ostras na presença do ácido acético, mesmo em pouca concentração deste no vinagre.

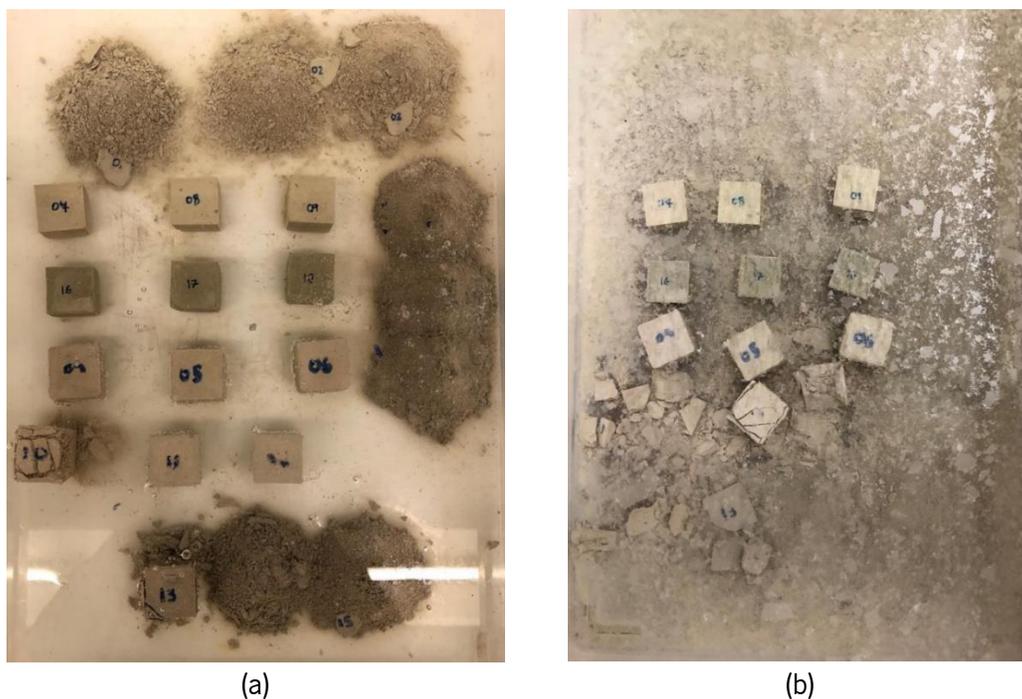


Figura 4.14 – (a) Provetes no ensaio de estabilização à água após 24 horas e (b) Provetes após 28 dias imersos em água.

4.5.2 Absorção da água por capilaridade

No ensaio de absorção por capilaridade foram analisadas as argamassas de composição ótima, com cal viva e sem, curadas na câmara de carbonatação por 28 dias. Os provetes destinados para o estudo em questão são provenientes do ensaio de resistência a flexão, que inicialmente tinham dimensão de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ e após o ensaio, quando partidos ao meio, foram submetidos à análise de absorção capilar, com dimensão de aproximadamente $40 \times 40 \times 80 \text{ mm}^3$, como referido na norma EN 1015-18. Para cada

composição foram produzidos três provetes para o ensaio em questão, que após atingirem a massa constante em estufa à 60°C, foram revestidos por silicone, com o propósito de permanecer exposta somente a face que será imersa em água.

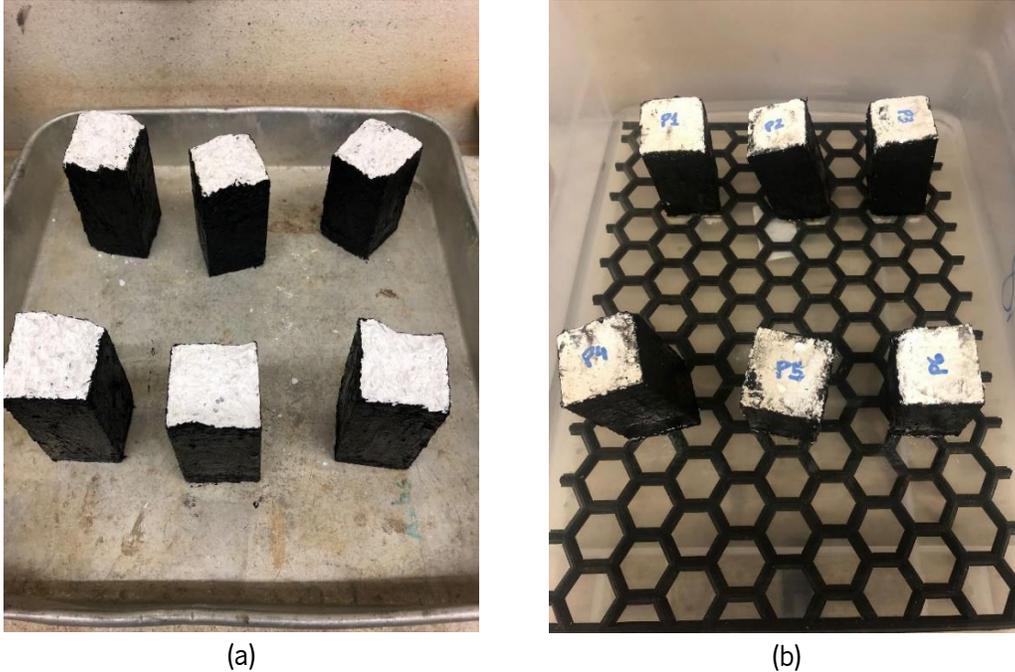


Figura 4.15 – (a) Provetes revestidos com silicone após submetidos a uma temperatura de 60°C e (b) Provetes durante o ensaio de absorção por capilaridade.

A determinação do coeficiente de absorção por capilaridade é estabelecida para os primeiros tempos de duração do ensaio, expresso graficamente por meio do traçado que exprime a relação da quantidade de água absorvida por unidade de área da face do provete imerso (kg/m^2) em função da raiz quadrada do tempo (\sqrt{h}). O cálculo da absorção nos tempos iniciais garante uma interpretação proeminente acerca da durabilidade do material, dado que a ocorrência da variação de absorção ou a perda de massa são determinantes nesse período.

A Figura 4.16 e a Figura 4.17 representam a absorção por capilaridade nos primeiros 90 minutos de ensaio das argamassas sem adição de cal viva (PCO_ACO_0,3AG) e com adição da cal (PCO_ACO_3%CaIV_0,3AG). Aborda-se que ambas as composições apresentaram valores de absorção não muito distantes, sendo os provetes com cal viva os que demonstraram valores um pouco mais acentuados. Fisicamente, foi notado que os provetes de PCO_ACO_0,3AG perderam massa com o passar do tempo,

desfazendo-se em certa quantidade, enquanto os que possuíam adição de cal viva permaneceram intactos, entretanto apresentaram um valor de absorção capilar maior.

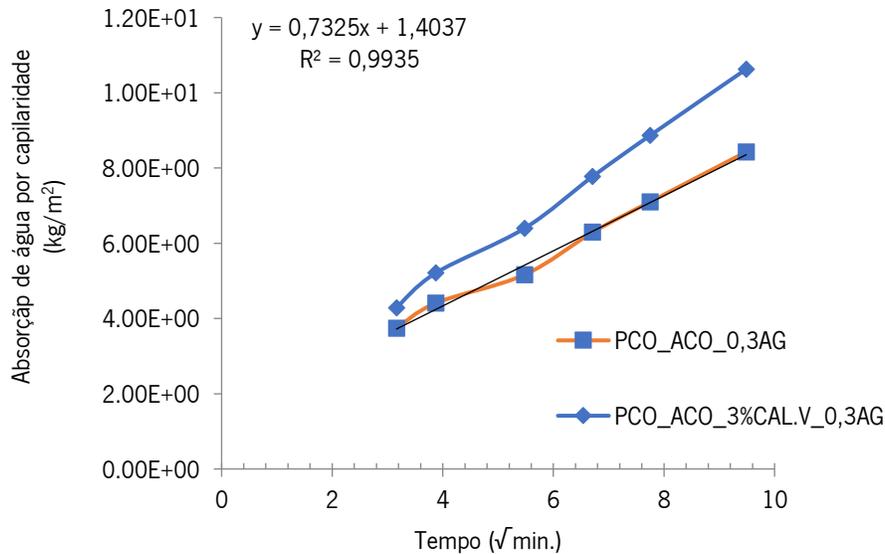


Figura 4.16 – Absorção capilar nos primeiros 90 minutos das argamassas, na relação de PCO_ACO_0,3AG e PCO_ACO_3%CaIV_0,3AG.

No Quadro 4.13 é exposto o resumo geral do ensaio de absorção por capilaridade. Nota-se a instabilidade ao decorrer do ensaio dos provetes sem a cal viva, o que está ligado principalmente a perda de massa com o passar do tempo. Todavia, apresentaram um coeficiente capilar abaixo das argamassas com cal viva. Tal é indiciador que a estrutura porosa das duas argamassas é distinta. A presença de cal viva deverá ter refinado os poros e aumentado a rede capilar. Assim como averiguado no ensaio de estabilidade à água, os provetes sujeitos à carbonatação, especialmente com adição de cal viva, demonstram determinada durabilidade na presença de água. Ainda assim, deve-se considerar a fraca reação pozolânica ou a inexistência de ligações químicas que contribuam para resistências mecânicas ou para propriedades físicas que garantam alguma durabilidade, aumentam a absorção capilar do material.

Quadro 4.13 – Coeficiente de absorção por capilaridade dos provetes ensaiados.

Composição	Coef. De absorção por capilaridade kg / (m².min ^{0,5})
PCO_ACO_0,3AG	7,33E-01
PCO_ACO_3%CAL.V_0,3AG	9,83E-01

A Figura 4.17 exprime os resultados das duas composições no ensaio de absorção por capilaridade. E a Figura 4.18 evidencia a absorção ao longo do tempo de ambos provetes, o que comprova a inconsistência dos provetes de composição sem a adição de cal viva.

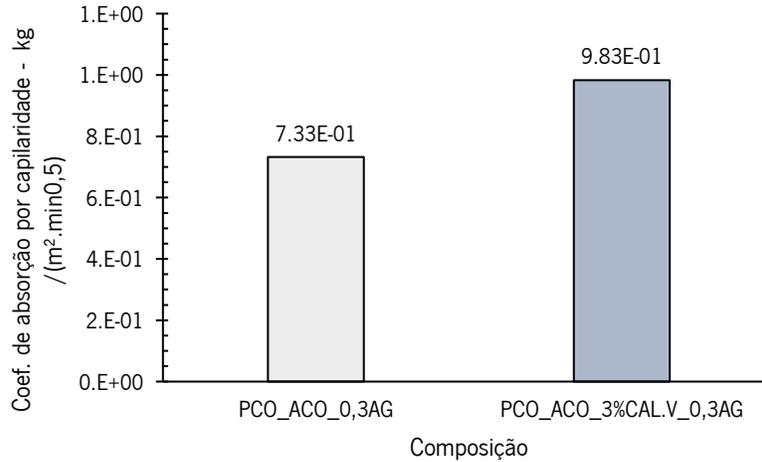


Figura 4.17 – Gráfico do coeficiente de absorção dos provetes.

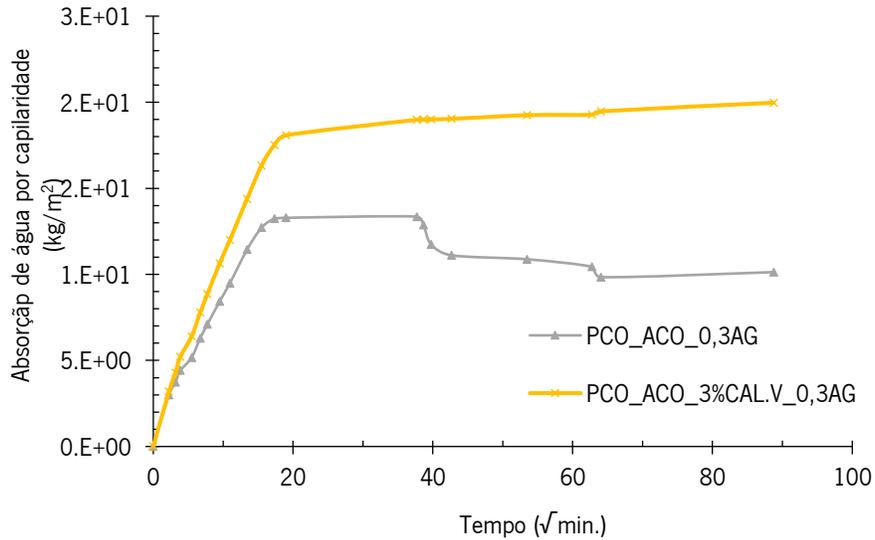


Figura 4.18 – Absorção de água por capilaridades dos provetes.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Introdução

Após o desfecho e os resultados obtidos, ressalta-se a premissa principal do desenvolvimento deste trabalho: o desafio em elaborar uma argamassa ecoeficiente, a ter como produto principal as conchas de ostras, como alternativa a conter o demasiado emprego de materiais pouco ecológicos e ainda muito utilizados na construção. Pontua-se, também, a ecoeficiência no sentido da reciclagem de um produto orgânico sem valor comercial e ainda muito pouco explorado.

Nesse sentido, procedeu-se ao estudo das conchas de ostras pelo aproveitamento da sua composição química, a conter o carbonato de cálcio, que agrega propriedades aglomerantes em estado fresco e por meio da sua cristalização, desenvolve características de resistências mecânicas. O carbonato de cálcio é um dos constituintes primordiais para a produção de diversos materiais de construção, como exemplo a cal viva, cal hidratada, filler e cimento, que através do processo de calcinação procedem a execução desses produtos.

O trabalho em questão aproveita a composição química das conchas de ostras mediante a reação com o ácido acético do vinagre, que promove as características do material pela decomposição do carbonato de cálcio e a formação do acetato de cálcio, a evitar o processo de decomposição térmica à altas temperaturas, como se processa no fabrico dos materiais convencionais. Para o contributo das características de resistência mecânica, foram incorporados nas pastas aditivos por meio de materiais ligantes, em quantidades realmente reduzidas.

Noutro momento, verificou-se o comportamento das pastas com a introdução de água como substituto do ácido acético do vinagre, que originou características mecânicas equivalentes. Assim, procedeu-se a produção das argamassas com água e adição de cal viva, como essa a que melhor promoveu resultados favoráveis ao longo das análises experimentais, o que atesta ao facto de a cal viva funcionar como um material ligante. . Na sequência, deu-se continuidade aos ensaios finais.

5.2 Principais considerações

As argamassas produzidas tiveram influência sobre diversos fatores, um deles diz respeito aos ambientes de cura a qual foram submetidos. Revelou-se durante a campanha experimental, no qual as pastas curadas na câmara de carbonatação alcançaram valores de resistência mecânica e propriedades de durabilidade mais favoráveis em comparação às pastas submetidas em outras condições de cura, em especial as misturas que continham cal viva. As pastas com cimento também desenvolveram determinada resistência, no entanto, devido à extensão do trabalho, optou-se pela escolha de apenas duas composições finais, nomeadamente com adição de cal viva e sem adições, para efeitos comparativos de referência.

De modo geral, as argamassas atingiram resistências mecânicas reduzidas, mas significativas, da ordem de grandeza de um solo e em torno de 0,4 MPa, o que não desanima a produção do trabalho, tendo em vista a significância de um estudo acerca de um material pouco explorado e que, ainda sim, pode ser funcional. Ademais, é pressuposto que argamassas curadas aos 28 dias, variam suas resistências mecânicas em torno de 0,4 N/mm² a 10 N/mm² aproximadamente, a depender da sua classificação, segundo a norma EN 998-1. Portanto, as argamassas desenvolvidas no trabalho enquadram-se melhor a sua utilização como uma argamassa de revestimento ou de classe CS I.

Um ponto importante a se destacar, reflete sobre a incorporação de ácido acético em vinagre na mistura das pastas, que apesar da baixa concentração, foi possível notar por meio da avaliação dos ensaios, a existência de uma ligação química capaz de promover resistências mecânicas e propriedades de durabilidade na presença de água. Deste modo, propõe-se como medida de solução, o emprego do ácido acético puro no fabrico da argamassa, uma vez que mesmo em quantidades reduzidas, reagem com o carbonato das conchas de ostras e criam ligações químicas favoráveis às suas características. Apesar da substituição do vinagre por água trazer resistências mecânicas similares, não é evidente qualquer ligação deste tipo, a não ser um material extremamente compactado. Embora, ainda, a possibilidade de resistir aos ensaios em água puderam ter sido influenciados pela carbonatação, como referido inicialmente.

Outro fator proeminente para o melhoramento das características é dado pelo tempo de cura. A idade dos provetes agrega maiores resistências, principalmente, pelo aumento da rigidez com o aumento do tempo. Sendo assim, é válido a investigação da argamassa ecoeficiente por tempos de cura mais alongados. Além disso, o aprofundamento na pesquisa acerca das dosagens adotadas também são de fundamental

importância, uma vez que a correta dosagem dos elementos interfere diretamente nas reações químicas da mistura e, conseqüentemente, nas características técnicas de resistência e durabilidade.

O trabalho investigativo de um material como as conchas de ostras trazem desafios grandiosos, em especial pelo entendimento do seu funcionamento e propriedades, além das possíveis reações de ocorrência, sendo este um material ainda pouco trabalhado na construção e, também, numa perspectiva geral. Sabe-se que em séculos passados, como mencionado no capítulo 2, as conchas foram utilizadas na produção de um betão, quando os colonizadores espanhóis tiveram restrita a importação de certos materiais, aproveitando-se da demanda existente das conchas de ostras, bem como os portugueses ao produzirem a cal das conchas em abundância na ilha de Ínsua. Pelo processo de carbonatação, era extraído o carbonato de cálcio presente nas conchas e misturados à água e areia. Mas como supõe-se, era inviável grandes resistências perante a ação de água ou humidade, sendo este um dos fatores de maior desafio no percurso do trabalho.

Do ponto de vista da sustentabilidade, o desenvolvimento de um material à base de conchas de ostras proporcionou sua contribuição ao meio ambiente pela promoção do uso de um material sem qualquer mais-valia, até então. As conchas são matérias-primas de degradação natural lenta e seu baixo valor referente à comercialização ainda é pouco ou inexistente, ainda que as ostras sejam muitas consumidas à nível mundial. As conchas foram recolhidas em grandes quantidades para o desenvolvimento do trabalho, sendo utilizado em torno de 4kg do material para a fabricação do pó, a ser processado a moagem por ao menos 8 vezes no exercício da investigação.

Para além disso, o processo de desenvolvimento da argamassa considerou a ecoeficiência dos materiais, sendo as conchas empregues sem qualquer atividade de calcinação, tendo maiores gastos de energia na produção do pó, em 40 ciclos no moedor Los Angeles ou à mais 10 ciclos no moinho de bolas. Ainda com a introdução de aditivos nas pastas, estes foram adotados em quantidades baixas, que para além da sustentabilidade, tornou a investigação acerca das conchas de ostras e suas propriedades mais esclarecidas, para a eventual possibilidade de desenvolver materiais à base de conchas de ostras futuramente mais consistentes.

5.3 Aplicações práticas das conchas de ostras

As conchas de ostras são, de facto, resíduos promissores na produção de materiais de construção, possíveis a diversas aplicações que ainda devem uma investigação mais aprofundada e trabalhada. Além do fabrico de argamassas à base de conchas, outras possíveis aplicações podem ser estudadas. Podem ser empregues em materiais como as argamassas, como proposto no estudo, como argamassa de revestimento, ainda possível a produção de argamassas de assentamento, quando atingidas resistências mecânicas mais acentuadas. E, ainda, na execução de betão convencional, pela substituição parcial de materiais tradicionalmente adotados, como o cimento e a cal.

Outra utilização admissível seria no desenvolvimento de placas de revestimentos para, por exemplo, tetos falsos. As conchas cortadas ou trituradas podem ser misturadas em argamassas, a ser retificadas e polidas posteriormente. Tendo isso em vista, foi desenvolvido, a partir das composições ótimas estudadas no trabalho, placas de revestimento experimentais. Assim como na produção das argamassas, as conchas foram moídas em 40 ciclos no equipamento Los Angeles e, então, misturadas ao agregado de conchas de ostras e água, no mesmo traço adotado L/A de 1:1. Em outra pasta foi acrescentado a cal viva em pó na percentagem ótima de 3%. Em seguida, as misturas foram moldadas com dimensões de 150x150mm² e aproximadamente 15mm de altura e foram curadas por 28 dias na câmara de carbonatação. A massa da placa produzida sem adição foi de 386g, enquanto a placa produzida com adição de cal viva apresentou uma massa de 354g.

Para um melhor acabamento, as placas podem ser polidas com resina ou tratadas com produtos impermeabilizantes. O resultado é conferido na Figura 5.1, sendo a placa superior a que foi produzida com adição de cal viva e a placa inferior a que não teve qualquer introdução de ligante.



Figura 5.1 – Placas à base de conchas de ostras.

5.4 Trabalhos futuros

Como visto, o trabalho com conchas de ostras exige estudos aprofundados e investigativos. Com base no que foi feito e sobretudo ao desenvolvimento de trabalhos futuros sobre o tema em questão, ressalta-se principalmente:

- Estudo aprofundado sobre as reações químicas existentes entre o ácido acético puro e as conchas de ostras, bem como acerca dos ambientes de cura, especialmente na câmara de carbonatação;
- Viabilidade de emprego de novas adições ou maiores quantidades destas;
- Estudo sobre retração das argamassas por meio de ensaios;
- Influência dos agregados e dimensões, a averiguar a possibilidade de outros materiais, como a areia natural rolada ou britada;
- Investigação aprofundada sobre a viabilidade da execução de placas de revestimento à base de conchas de ostras, em pó ou triturada;

- Estudo sobre a possível adoção das conchas em outros materiais de construção, como o betão, como substituto total ou parcial de componentes tradicionais e pouco ecológicos;
- Otimização da argamassa desenvolvida neste trabalho, a ser mais profundamente investigada o uso da cal viva ou do cimento.

REFERÊNCIAS

- Almeida, J. L. (2010). *ARGAMASSAS TRADICIONAIS E INDUSTRIAIS DE ALVENARIA EM EDIFÍCIOS*. <http://www.fe.up.pt> Use the "Insert Citation" button to add citations to this document.
- Arruda Furtado, F. (1887). A ostra portuguesa. *Revista Intelectual Contemporânea*, 1, 97–98.
- B., L., Sickels-Taves, & S. Sheehan, M. (1999). *An Introduction to Tabby*.
- Blinkova, E. v, & Eliseev, E. I. (2005). Dissolution of Calcium Carbonate in Aqueous Solutions of Acetic Acid. In *Russian Journal of Applied Chemistry* (Vol. 78, Issue 7).
- BS EN 1015-10. (1999). *Methods of test for mortar for masonry. Part 10. Determination of dry bulk density of hardened mortar*. British Standards Institution.
- Cabral, J. P. (2011). *O uso de conchas marinhas na Ínsua franciscana do século XV. Encontro CITCEM 2011*.
- Camões, A. (2005). *Influência da presença de adições minerais no comportamento do betão fresco em composições com incorporação de superplastificantes*. *Journal article*.
- Cesar, J. (2019, April 1). *Medição de pH*. Metrologia. <https://canalmetrologia.com.br/medicao-de-ph/>
- Chen, D., Zhang, P., Pan, T., Liao, Y., & Zhao, H. (2019). Evaluation of the eco-friendly crushed waste oyster shell mortars containing supplementary cementitious materials. *Journal of Cleaner Production*, 237. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117811>
- Chi, T. (2021, September 24). *This sustainable material made from shell waste is cheaper & eco-friendly alternative to concrete!* Yanko Design. <https://www.yankodesign.com/2021/09/24/this-sustainable-material-made-from-shell-waste-is-cheaper-eco-friendly-alternative-to-concrete/>
- CIMPOR. (2020). *Ficha Técnica CEM II B-L 32,5N - CIMPOR*.
- Coelho, A. (2015, August 29). *Life&Stylefugas - Portugal à descoberta das (suas) ostras*. Público. http://lifestyle.publico.pt/prazeresdeverao/352276_portugal-a-descoberta-das-suas-ostras
- Coelho, A., Coelho, G., Pacheco, F., & Jalali, T. S. (2009). *A Cal na Construção*.

- Comissão Europeia. (2013, March). A Pesca e Aquicultura na Europa. *A Pesca e Aquicultura Na Europa N°60*, 1–16. http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/atlas/index_pt.htm
- Decreto-Lei n.º 174/2007, Pub. L. No. 174, Diário da República n.º 88/2007, Série I 2995 (2007).
- DGRM. (2019). *Plano Estratégico para a Aquicultura Portuguesa 2014-2020*.
- ECHA, Pub. L. No. 200-580–7, European Chemicals Agency - ECHA (2006). <https://echa.europa.eu/pt/registration-dossier/-/registered-dossier/15549/4/1>
- Ecologia. (2019, December 21). *Ostra Japonesa ou do Pacífico: Características, Habitat e Fotos* Ecologia. <https://www.mundoecologia.com.br/animais/ostra-japonesa-ou-do-pacifico-caracteristicas-habitat-e-fotos/>
- EN 196-1. (2015). *Methods of testing cement Part 1: Determination of strength*. www.austrian-standards.at/webshop
- EN 459-1:2010. (2010). *Building lime - Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria*.
- EN 998-1:2003. (2013). *Specification for mortar for masonry-Part 1: Rendering and plastering mortar*.
- EN 1015-10:1999. (1999). *Methods of test for mortar for masonry. Part 10. Determination of dry bulk density of hardened mortar*. British Standards Institution.
- EN 1015-11:1999. (1999). *Proposal to update procedures for lime products*. <https://www.researchgate.net/publication/323749135>
- EN 1015-18:2002. (2002). *Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*.
- EN 1097-2:1998. (1998). *Tests of mechanical and physical properties of aggregates - Part 2 -Methods for the determination of resistance to fragmentation*.
- Estatísticas da Pesca*. (2020). www.ine.pt
- Fogaça, J. (2021). *Ácido Acético*. Manual Da Química. <https://www.manualdaquimica.com/quimica-organica/acido-acetico.htm>

- Golebiowski, J. (2009). *Rammed Earth Architecture's Journey to the high hills of the santee and its role as an early concrete. Master thesis.*
- Gómez, G., & Pacheco, E. (2021, September 14). *Todo O Peixe É Nobre - Radiografia da produção nacional de ostras* . Público. <https://www.publico.pt/2021/09/14/infografia/radiografia-producao-nacional-ostras-625>.
- Gonçalves Silva, A. P. (2017). *ESTUDO DO USO DE RESÍDUO DE CONCHAS DE MOLUSCOS BIVALVES COMO AGREGADO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA. Dissertação de mestrado.*
- IPMA. (2021). *IPMA - Zonas de Produção Moluscos Bivalves*. Instituto Português Do Mar e Da Atmosfera. <https://www.ipma.pt/pt/bivalves/zonas/index.jsp>
- Lacrilar. (2019). *CAL VIVA EM PÓ*. Lacrilar. <http://www.lacrilar.pt>
- Lertwattanaruk, P., Makul, N., & Siripattarapavat, C. (2012). Utilization of ground waste seashells in cement mortars for masonry and plastering. *Journal of Environmental Management*, *111*, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.032>
- Lista de Espécies* 2021. https://www.ipma.pt/pt/bivalves/docs/files/Lista_de_especies_em_29_05_2019.pdf
- Liu, R., Chen, D., Cai, X., Deng, Z., & Liao, Y. (2020). Hardened properties of mortar mixtures containing pre-treated waste oyster shells. *Journal of Cleaner Production*, *266*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121729>
- LNEC E-395:1993. (1993). *Betões - Determinação da Absorção de Água por Imersão*.
- Loffi, S. (2014). *ESTUDO SOBRE O COMPORTAMENTO DE UMA ARGAMASSA INCORPORADA COM CASCAS DE OSTRAS. Dissertação de mestrado.*
- Madani, H., Ramezani pour, A. A., Shahbazinia, M., Bokaeian, V., & Ahari, S. (2016). The Influence of Ultrafine Filler Materials on Mechanical and Durability Characteristics of Concrete. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, *49*(2), 251–262. <https://doi.org/10.7508/cej.2016.02.005>
- Magro, C. (2016). *Avaliação preliminar da Qualidade, Segurança e Perfil Nutricional da fração edível de Crassostrea spp. selvagem e de aquacultura no Sado. Dissertação de mestrado.*

- Maxical. (2017). *Ficha de Dados de Segurança: Cal Hidratada (Hidróxido de cálcio-Ca(OH)2)*.
- METHOD 9045C. (1995). *METHOD 9045C - SOIL AND WASTE pH*.
- Mo, K. H., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Lee, S. C., Goh, W. I., & Yuen, C. W. (2018). Recycling of seashell waste in concrete: A review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 162, pp. 751–764). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.009>
- PEGOP. (2016). *TEJO ENERGIA / PEGOP / CARBOPEGO - A Central*. Tejo Energia. <http://www.tejoenergia.com/pt/central/#working>
- Pires, S. (2021). *Pastas Ativadas Alcalinamente com Cinzas Volantes e com Incorporação de Resíduos de Construção. Dissertação de mestrado*.
- PORDATA. (2021, May 31). Base de Dados Portugal Contemporâneo - PORDATA. <https://www.pordata.pt/Portugal/Peixe+produzido+em+aquicultura+total+e+por+principais+esp%c3%a9cies-3454-309763>
- Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of The Council of 9 March 2011*. (2011). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32011R0305#document1>
- Reis, R. (2009). *Betões Eco-Eficientes com Cinzas Volantes e Metacaulino*.
- Sant'Anna, F., Almeida da Silva, F., Santos, C., Cesaro, F., Silva Lemos, S., Berto, R., & Araújo, E. (2007, December). SUB-PROJETO 3: Soluções tecnológicas para o aproveitamento de conchas de ostras. *Projeto Valorização Dos Resíduos de Maricultura*. <https://pt.slideshare.net/DrudeNicola/projeto-conchas-ufscvalorizao-dos-resduos-de-maricultura>
- Silva, D., Debacher, N. A., Borges De Castilhos Junior, A., Rohers, F., & Catarina, S. (2010). CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROESTRUTURAL DE CONCHAS DE MOLUSCOS BIVALVES PROVENIENTES DE CULTIVOS DA REGIÃO LITORÂNEA DA ILHA DE SANTA CATARINA. In *Quim. Nova* (Vol. 33, Issue 5).
- Sival. (2013). *Ficha Técnica Gesso Estuque Sival*.
- Souza, R. (2008). *Estudo de pozolana autoclavada baseada em óxido de cálcio. Dissertação de mestrado*.

- Sustainable Development Goals*. (2020). Official Website of the European Union. https://ec.europa.eu/info/strategy/international-strategies/sustainable-development-goals_pt
- Togean, J. B. (2005). Acetic acid vapor: 2. A statistical mechanical critique of vapor density experiments. *Journal of Physical Chemistry A*, *109*(24), 5438–5444. <https://doi.org/10.1021/JP058004J>
- Torres, I., Matias, G., & Faria, P. (2016). ARGAMASSAS COM INTRODUÇÃO DE RESÍDUOS ANÁLISE DO SEU COMPORTAMENTO MECÂNICO. In *QIC2016 - 2º Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção*.
- Vimágua*. (2021). <https://www.vimagua.pt/s/129>
- Wang, H. Y., Kuo, W. ten, Lin, C. C., & Po-Yo, C. (2013). Study of the material properties of fly ash added to oyster cement mortar. In *Construction and Building Materials* (Vol. 41, pp. 532–537). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.021>
- Yang, E. I., Yi, S. T., & Leem, Y. M. (2005). Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties. *Cement and Concrete Research*, *35*(11), 2175–2182. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.03.016>
- Yoon, G. L., Kim, B. T., Kim, B. O., & Han, S. H. (2003). Chemical-mechanical characteristics of crushed oyster-shell. *Waste Management*, *23*(9), 825–834. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00159-9](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00159-9)
- Yurchenko, O. v., & Kalachev, A. v. (2016). Is gamete morphology involved in hybridization in oysters? *Marine Biology*, *163*(2), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00227-015-2772-z>