



**NOVA**  
NOVA SCHOOL OF  
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL

SARA ALEXANDRA ZEFERINO DE OLIVEIRA

Licenciada em Ciências da Engenharia Civil

# EFEITO DE CAROÇO DE AZEITONA NAS CARACTERÍSTICAS DE TIJOLO MACIÇO E COMPARAÇÃO COM ADOBE

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

MESTRADO EM INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL

Universidade NOVA de Lisboa

Maio, 2024





# EFEITO DE CAROÇO DE AZEITONA NAS CARACTERÍSTICAS DE TIJOLO MACIÇO E COMPARAÇÃO COM ADOBE

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

**SARA ALEXANDRA ZEFERINO DE OLIVEIRA**

Licenciada em Ciências da Engenharia Civil

**Orientadora:** Paulina Faria,  
Professora Associada, NOVA FCT

**Júri:**

**Presidente:** Luís Baltazar  
Professor Associado, NOVA FCT

**Arguente:** Guilherme Coelho  
Professor Auxiliar, NOVA FCT

**Orientadora:** Paulina Faria,  
Professora Associada, NOVA FCT



## **Efeito de Carço de Azeitona nas Características de Tijolo Maciço e Comparação com Adobe**

Copyright © Sara Alexandra Zeferino de Oliveira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

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



*Ao meu avô Onofre e à minha avó Emília*



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Paulina Faria, pela orientação incansável, disponibilidade, profissionalismo e partilha de conhecimentos.

Quero também agradecer ao Engenheiro Vítor Silva pelo apoio no trabalho experimental.

Gostaria ainda de deixar um forte agradecimento à herdade de São Lourenço do Barrocal, em especial ao enólogo José Ramón Rogel que se mostrou sempre disponível a esclarecer as minhas dúvidas.

À equipa da CNT Europe por me possibilitarem conciliar o término da escrita da dissertação com o meu estágio profissional e, por me estarem a proporcionar, sem dúvida, a melhor experiência de entrada no mundo profissional.

Um agradecimento aos meus amigos e colegas e um muito especial à minha família. Um agradecimento do tamanho do mundo ao meu avô por todo um mimo sem fim. À minha avó por ser ela mesma, bastava-lhe pelo tanto que era. A minha melhor aprendizagem, foi com vocês que aprendi. À minha mãe por me ter possibilitado chegar até aqui, ser-lhe-ei eternamente grata. À Helena por toda a companhia e alegria que traz aos meus dias. Às minhas irmãs e à Maria pelo apoio incondicional. Por fim, um agradecimento muito especial ao João e à sua família. Obrigada pelo apoio, amizade e acima de tudo muito amor. Obrigada pela compreensão, paciência e por estares sempre presente.



*"Tell me and I forget. Teach me and I remember. Involve me and I learn."*

(Benjamin Franklin)



## RESUMO

Tem vindo a ser estudada a possibilidade de introdução de resíduos da produção de azeite em produtos para a construção de forma a facilitar o seu escoamento e ainda, se possível, melhorar as características dos novos produtos. As unidades de alvenaria são muito utilizadas na construção. Interessa minimizar o seu impacto ambiental e otimizar o respetivo desempenho. Nesse sentido, a presente dissertação tem como objetivo avaliar a viabilidade da utilização de resíduo constituído por caroço de azeitona na produção de tijolos maciços tradicionais e de adobes produzidos como os tijolos de controlo (sem resíduo) mas sem cozedura. Para isso será estudado o efeito da incorporação de três teores distintos de caroço de azeitona na produção dos tijolos, que são comparados com o tijolo de controlo e com o adobe.

Tanto os tijolos com caroço de azeitona como o adobe são viáveis para utilização como unidades de alvenaria, dependendo do tipo de utilização pretendido: o adobe para utilização no interior com grande impacto passivo no equilíbrio higrotérmico devido à elevada higroscopicidade; no exterior apenas com proteção por reboco ou outro revestimento ou tratamento devido à sua baixa resistência à água; os tijolos cozidos têm durabilidade para serem aplicados no interior e no exterior mesmo não revestidos. Através da utilização do resíduo, para além do seu escoamento, é possível melhorar algumas das características do tijolo maciço, diminuindo a sua massa volúmica e condutibilidade térmica e ainda aumentando a higroscopicidade, que pode ser uma vantagem para aplicação interior. No entanto, face ao adobe, consomem energia devido à necessária cozedura. Assim, a utilização destas unidades de alvenaria possibilita redução das necessidades energéticas das construções onde forem utilizadas, garantindo os requisitos dos edifícios conforme a sua utilização.

**Palavras chave:** Resíduo, Indústria do azeite, Unidade de alvenaria, Sustentabilidade, Eficiência energética.



## ABSTRACT

Over time, the possibility of introducing residues and byproducts from the olive oil Industry into construction products has been studied in order to facilitate its disposal and, if possible, enhance the characteristics of the products. Masonry units are very used by the construction Industry and Is Important to reduce their environmental Impact and optimize their performance.

Therefore, this dissertation aims to investigate the viability of using olive stone residue for the production of solid bricks and to compare them with reference (without residue) bricks and to adobe, produced similarly but without firing. To this end, the effect of incorporating three different quantities of olive stones will be studied.

Both olive stone bricks and adobes are viable for use as masonry units, depending on the application foreseen: adobes for use indoors with a high passive impact on the hygrothermal balance due to the high hygroscopicity; outdoors only with protection by a render or other coating or treatment due to their low resistance to water; fired bricks have the durability to be applied indoors but also outdoors even when not coated.

Thus, as well as eliminating a waste of olive oil production, it is possible to improve the characteristics of the solid brick, reducing its density and thermal conductivity and also improving its hygroscopic properties. However, compared to adobe, they have higher energy consumption due to the firing. The use of these masonry units (bricks with olive stone and adobe) makes it possible to reduce the energy needs of the buildings in which they are used, improving their energy efficiency, and contributing to more sustainable and efficient buildings.

**Keywords:** Waste, Olive oil industry, Masonry units, Sustainability, Energy efficiency.



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento e motivação.....	1
1.2	Objetivos e metodologia .....	3
1.3	Estrutura do documento.....	4
<b>2</b>	<b>UNIDADES DE ALVENARIA E RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE AZEITE .....</b>	<b>5</b>
2.1	Tijolos.....	5
2.2	Blocos de terra.....	6
2.3	Normalização relativa a unidades de alvenaria com base em argila.....	7
2.4	Produção de azeite e seus resíduos .....	9
2.5	Utilização de resíduos de produção do azeite em unidades de alvenaria .....	11
2.6	Síntese.....	19
<b>3</b>	<b>MATERIAIS, UNIDADES DE ALVENARIA E MÉTODOS DE ENSAIO .....</b>	<b>21</b>
3.1	Materiais e unidades de alvenaria.....	21
3.1.1	Caracterização mineralógica da terra argilosa .....	23
3.1.2	Caracterização granulométrica.....	23
3.1.3	Baridade da terra e do resíduo.....	25
3.2	Produção das unidades de alvenaria .....	27
3.2.1	Teor de água da mistura a colocar no molde.....	27
3.2.2	Determinação do traço em massa dos tijolos com resíduo.....	30
3.3	Procedimentos de ensaios das unidades de alvenaria.....	30

3.3.1	Massa volúmica aparente.....	32
3.3.2	Condutibilidade térmica .....	33
3.3.3	Resistência à abrasão .....	34
3.3.4	Dureza superficial por durómetro Shore A.....	35
3.3.5	Ensaio de erosão por gotejamento .....	36
3.3.6	Comportamento em exposição natural .....	37
3.3.7	Absorção de água .....	38
3.3.8	Adsorção e desadsorção de vapor de água.....	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
4.1	Massa volúmica aparente.....	45
4.2	Condutibilidade térmica .....	46
4.3	Resistência à abrasão .....	46
4.4	Dureza superficial por durómetro Shore A.....	48
4.5	Ensaio de erosão por gotejamento .....	49
4.6	Comportamento em exposição natural .....	50
4.7	Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten .....	53
4.8	Absorção de água por capilaridade .....	55
4.9	Capacidade de secagem e sais, após secagem.....	56
4.10	Adsorção e desadsorção ao vapor de água.....	57
4.11	Discussão final .....	58
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>62</b>
5.1	Considerações finais.....	62
5.2	Trabalhos Futuros.....	64
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>67</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Produção de azeite de 2000 a 2022 em Portugal.....	2
Figura 2.1 - Diagrama de fluxo dos procedimentos de processamento utilizando sistemas de pressão e centrifugação – processos com duas ou três fases.....	10
Figura 2.2 - Máquinas de tratamento de azeitona: a) desfolhadora b) equipamento elevatório c) moinho bateadeira d) decanter.....	12
Figura 3.1 - Terra utilizada na produção das unidades de alvenaria (a) e unidades de alvenaria analisadas (b) ): em cima à esquerda, adobe, à direita o tijolo de controlo; em baixo tijolos com os 3 diferentes teores de caroço de azeitona (2 - teor mais baixo (L - low), 1 - teor médio (M - medium) e 3 - teor mais elevado (H - high)).....	22
Figura 3.2 - Curva granulométrica da terra.....	24
Figura 3.3 - Composição da terra.....	25
Figura 3.4 - Preparação do resíduo para o estudo da sua baridade: a) amostras de caroço de azeitona que foram ensaiadas; b) agregado após rasada a superfície no recipiente de volume conhecido.....	26
Figura 3.5 - Fabricação das unidades em estudo: a) processo de moldagem; b) unidades de alvenaria a secar ao ar; c) um dos fornos tradicionais do Telheiro de São Pedro; d) abertura do forno 1 preenchida com tijolos e tijoleira.....	28
Figura 3.6 - Cápsulas com os provetes da amostra de mistura de terra e água para produção dos tijolos de controlo e dos adobes no telheiro.....	29
Figura 3.7 - Medição de um tijolo com craveira manual.....	33
Figura 3.8 - Ensaio de condutibilidade térmica.....	34
Figura 3.9 - Ensaio de resistência à abrasão a seco: (a) com escova intermédia e (b) com escova dura.....	35

Figura 3.10 - Ensaio de dureza superficial: (a) locais de ensaio (16 pontos em cada unidade) e (b) ensaio em curso .....	36
Figura 3.11 - Equipamento de gotejamento.....	37
Figura 3.12 - Local da realização do ensaio ao comportamento em exposição natural e exposição das unidades de alvenaria, com a face lateral para cima.....	38
Figura 3.13 - Tubos de Karsten aplicados em unidades de alvenaria .....	39
Figura 3.14 - Tijolos após serem imersos $60 \pm 2$ segundos .....	41
Figura 3.15 - Unidades de alvenaria na câmara climática.....	43
Figura 4.1 - Valores médios de cálculo da massa volúmica e respetivos desvios padrão.....	46
Figura 4.2 - Condutibilidade térmica média e desvio-padrão .....	47
Figura 4.3 - Perda de massa média e desvio-padrão no ensaio com escova média.....	47
Figura 4.4 - Perda de massa média e desvio-padrão no ensaio com escova dura.....	48
Figura 4.5 - Dureza superficial média e desvio padrão das unidades de alvenaria .....	49
Figura 4.6 - Ensaio em bloco de terra ao fim de: a) 1,5 minuto b) 10 minutos c) 15 minutos d) 25 minutos .....	51
Figura 4.7 - Variação da massa dos adobes, tijolos de controlo e com mais elevado teor de resíduo, expostos na cobertura do DEC desde junho a setembro de 2023.....	52
Figura 4.8 - Análise visual das unidades em estudo: (a) observação em junho de 2023; (b) observação em novembro de 2023.....	53
Figura 4.9 - Absorção de água em mililitros ao fim de 60 minutos e respetivo desvio padrão para cada tipo de unidade de alvenaria .....	54
Figura 4.10 - Estado dos adobes após realização do ensaio de absorção de água a baixa pressão .....	55
Figura 4.11 - Resultados ensaio de capilaridade.....	56
Figura 4.12 - Capacidade de secagem das unidades em estudo ao fim de 96 horas desde a realização do ensaio de capilaridade.....	57
Figura 4.13 - Curvas de adsorção e desadsorção de vapor de água dos vários tipos de unidades de alvenaria.....	58

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Requisitos de desempenho para tijolos tendo em consideração a norma NP EN-771-1 .....	8
Tabela 2.2 - Requisitos de desempenho para adobe tendo em consideração a norma DIN 18945 .....	9
Tabela 2.3 - Estudos da massa volúmica na incorporação de diferentes resíduos para a produção de tijolos maciços .....	13
Tabela 2.4 - Estudos do coeficiente de capilaridade na incorporação de diferentes resíduos para a produção de tijolos maciços .....	14
Tabela 2.5 - Estudos da condutibilidade térmica na incorporação de diferentes resíduos para a produção de tijolos maciços .....	15
Tabela 2.6 - Estudo da massa volúmica na incorporação de diferentes resíduos para a produção de blocos de terra .....	16
Tabela 2.7 - Estudo de absorção capilar na incorporação de diferentes resíduos para a produção de blocos de terra.....	17
Tabela 2.8 - Estudo da condutibilidade térmica na incorporação de diferentes resíduos para a produção de blocos de terra.....	17
Tabela 3.1 - Peneiros da série principal utilizados e respetivas dimensões de aberturas de malha .....	24
Tabela 3.2 - Valor médio da baridade da terra e resultados do ensaio de baridade do resíduo em estudo.....	26
Tabela 3.3 - Resultados dos ensaios de teor em água, valor médio e desvio-padrão .....	29
Tabela 3.4 - Traços dos tijolos com resíduo em estudo .....	30
Tabela 3.5 - Planeamento da utilização das unidades em estudo ao longo dos ensaios realizados.....	31

Tabela 3.6 - Normas utilizadas como base para a realização dos ensaios às unidades de alvenaria .....	32
Tabela 4.1 - Resultados do ensaio de erosão por gotejamento.....	50
Tabela 4.2 - Informações geográficas e meteorológicas do local da realização do ensaio ao comportamento em exposição natural .....	52
Tabela 4.3 - Coeficientes de absorção de cada unidade de alvenaria e respetivo desvio padrão .....	54
Tabela 4.4 - Síntese qualitativa dos resultados obtidos para os ensaios realizados .....	60

# INTRODUÇÃO

O presente capítulo inicia-se com um enquadramento do tema em estudo, abordado neste trabalho no subcapítulo 1.1, juntamente com a apresentação das motivações que levaram à realização desta dissertação. No subcapítulo 1.2 são expostos os objetivos principais e a metodologia desta dissertação. Por fim, no subcapítulo 1.3, é apresentada a estrutura do documento.

## 1.1 Enquadramento e motivação

O primeiro registo do aparecimento de oliveiras data das épocas paleolítica e neolítica, provavelmente na Mesopotâmia, passando para o Egito, Grécia Continental, ilhas da Ásia Menor, Assíria, e dissemina-se para o Mediterrâneo a partir do século VI a.C. No entanto, é difícil fazer esta contabilização uma vez que existe uma grande quantidade de oliveiras dispersas. Regista-se, ainda assim, um aumento da área de cultivo de olivais, de 1860 a inícios dos anos 1990, sendo semelhante à área que ocupa até aos dias de hoje (Böhm & Gouveia, 2013).

O setor de azeite tem vindo a crescer a nível mundial há cerca de duas décadas, acompanhado pelo aumento da procura internacional. Em 2022 foi alcançada a quarta maior produção de sempre em Portugal, apenas abaixo de 2021, 2019 e 2017 (INE, 2023). Embora tenha sido uma das campanhas oleícolas mais produtivas, teve uma diminuição face à do ano anterior. As estimativas do INE (2023) apontavam para uma produção de 1,375 milhões de hectolitros de azeite, pelo que existe uma diminuição de cerca de 40% em relação à campanha de 2021 que registou a maior produção até à data (2,29 milhões de hectolitros, cerca de 210 mil toneladas como se apresenta na Figura 1.1.

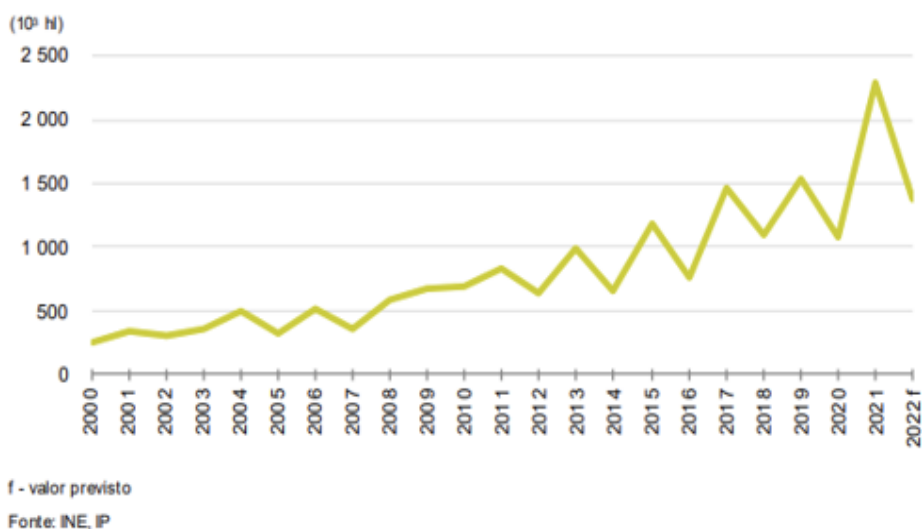


Figura 1.1 - Produção de azeite de 2000 a 2022 em Portugal (INE, 2023)

O tratamento e reutilização dos resíduos obtidos durante a produção do azeite deveria ser considerada uma prioridade para todos os países produtores, uma vez que estes tornam-se um grave problema de poluição ambiental devido à contaminação do solo e linhas de água devido à sua composição rica fenóis e outros compostos químicos. No entanto, devido à ausência de legislação uniforme neste âmbito, não é isso que se verifica.

São cada vez mais notórias as consequências ambientais, sociais e económicas provocadas pelas alterações climáticas. Ainda assim pouco se tem feito na medida de diminuir as atividades que produzem maiores emissões de gases com efeitos de estufa. Cada vez mais se torna fundamental aumentar a consciencialização e a tomada de ações, quer por parte da população, quer por parte do meio empresarial para travar este flagelo. Estima-se que o setor da construção seja responsável pela utilização de 40% dos recursos retirados da natureza e pela produção de 40% dos resíduos em cada país na União Europeia (Erlandsson & Borg, 2003; Solís-Guzmán et al., 2013; Urbano, 2015).

Na tentativa de minimizar os efeitos negativos acima referidos, no sector da construção tem-se vindo a estudar a possibilidade da incorporação de alguns tipos de resíduos, nomeadamente orgânicos, provenientes de produções agroindustriais, como alternativas a outras utilizações ou à sua deposição em aterro. Estes resíduos ou subprodutos podem ser utilizados como aditivos em alguns produtos utilizados na construção, substituindo matérias-primas e, desta forma, contribuindo para a redução da sua exploração.

Por outro lado, sendo os tijolos muito utilizados em alvenarias, a sua cozedura implica um elevado consumo energético e correspondente associação a CO<sub>2</sub>, contribuindo assim para o aumento do efeito de estufa. Dessa forma, torna-se importante avaliar o potencial de

aplicação de blocos de alvenaria não cozidos, como é o caso de adobes, nalgumas aplicações e contextos de edifícios. Este tipo de blocos tem também a vantagem do seu material poder ser diretamente reutilizado no final de vida.

Finalmente, as técnicas de produção tradicional de unidades de alvenaria constituem parte do património cultural dos povos, contribuem para a distribuição de riqueza nos países e por isso devem ser incentivadas e preservadas.

Assim torna-se possível o desenvolvimento de uma cultura de produção mais sustentável na construção, com um reaproveitamento de subprodutos e menor volume de resíduos a gerir, menor consumo tanto de energia proveniente de combustíveis fósseis como também de bens finitos, menor emissão total de gases com efeito de estufa, ajudando assim a limitar a perda da biodiversidade. Com o modelo de produção e consumo acima referidos está-se perante uma economia circular onde se consomem menos matérias-primas, se geram menos resíduos e menos emissões, tendo por isso benefícios a curto e a longo prazo.

Uma vez que se está perante um aumento da população, existindo assim uma maior procura, e um maior aumento da utilização de recursos naturais, são necessárias novas formas de agir que deem tempo à regeneração da natureza. Nesse sentido, esta dissertação surge com o objetivo de avaliar a possibilidade de incorporação do subproduto caroço de azeitona, proveniente do produto final azeite, para a produção de tijolos maciços e de adobes de forma tradicional, para aplicação em construção contemporânea.

## 1.2 Objetivos e metodologia

Considerando os tópicos referidos no subcapítulo anterior, esta dissertação tem como objetivo avaliar o efeito de um resíduo da azeitona, resultante da indústria do azeite, quando utilizado na produção de tijolos maciços cozidos em forno artesanal e do mesmo tipo de blocos, mas sem tratamento térmico (adobes) sem qualquer tipo de resíduo de caroço de azeitona. A utilização do resíduo nos tijolos maciços permite a redução do volume de material argiloso virgem necessário, e procura otimizar um máximo de incorporação do resíduo com a obtenção de um tijolo eco eficiente, que cumpra os requisitos da normalização europeia para este tipo de unidades de alvenaria.

A caracterização dos adobes procura avaliar o efeito do tratamento térmico nas características dos tijolos. Em função das características obtidas na campanha experimental, pretende-se definir potenciais aplicações para as diferentes unidades de alvenaria. Dessa forma,

pretende-se contribuir para utilizar unidades de alvenaria de baixa energia incorporada, para a economia circular na construção e para a economia local.

A investigação iniciou-se com pesquisa e análise bibliográfica da utilização de resíduos da indústria do azeite, caracterização dos materiais, normalização sobre unidades de alvenaria com base em argila, produção deste tipo de unidades (tijolos maciços e adobes), sua caracterização e discussão dos resultados obtidos.

### **1.3 Estrutura do documento**

A presente dissertação teve início com a pesquisa bibliográfica de assuntos relacionados com o tema proposto de forma a perceber não só melhor sobre o que iria ser estudado e posteriormente que ensaios seriam os adequados a realizar. De seguida foi estudado o planeamento dos ensaios a realizar e todos os cuidados e necessidades a ter em conta antes e durante a realização dos mesmos. Em segundo lugar foi iniciada a análise, discussão e comparação dos resultados obtidos em cada um dos ensaios e para cada tipo de unidade de alvenaria em estudo. Por fim, foi possível obter-se conclusões do projeto em estudo, e consequentemente considerações e alterações que poderão ser utilizadas em trabalhos futuros.

Para a apresentação do estudo realizado, este texto foi dividido diversos capítulos que se descrevem de seguida.

O primeiro e presente capítulo (Introdução) inclui o enquadramento do tema, a descrição dos objetivos previstos e o plano de trabalho decorrido. O segundo capítulo, Unidades de alvenaria e resíduos da produção do azeite, apresenta a bibliografia pesquisada dividida por tópicos relacionados com o tema, onde se insere a produção e utilização de unidades de alvenaria com resíduos provenientes da indústria do azeite, requisitos de desempenho e eficiência e impacto ambiental associado à sua utilização. No terceiro capítulo, Materiais, unidades de alvenaria e métodos de ensaio, é apresentada a caracterização da terra e do agregado utilizado nas unidades de alvenaria em estudo, a produção destas unidades e a organização e explicação dos diferentes ensaios realizados. No quarto capítulo, Resultados e discussão, são analisados os resultados dos diferentes ensaios e é elaborada uma comparação dos resultados entre os diferentes tipos de unidades de alvenaria ensaiado, e com referências.

No quinto capítulo, Conclusões, apresenta-se uma síntese dos aspetos mais relevantes do trabalho desenvolvido e algumas propostas de desenvolvimentos futuros.

A lista de referências bibliográficas e os anexos constituem capítulos independentes.

## UNIDADES DE ALVENARIA E RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE AZEITE

As unidades de alvenaria são um produto utilizado há milhares de anos e são muito importantes no setor da construção. O aumento populacional provocou um aumento do volume de construções, exigindo às indústrias uma produção maior e mais rápida, tanto de unidades de alvenaria como de outros materiais de construção. Torna-se pertinente a utilização de materiais mais sustentáveis, com o intuito de diminuir o impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida útil. Assim, com o objetivo de reduzir a quantidade de terra argilosa existente no tijolo, uma vez que se trata de um recurso não renovável, começou a ser estudada a possibilidade de incorporação de resíduos de lagar de azeite, uma vez que estes podem constituir um problema ambiental devido à sua toxicidade. Com o objetivo de diminuir a quantidade de energia associada à produção de unidades de alvenaria, intensificou-se a investigação sobre blocos de terra não cozidos (adobes, apenas moldados, ou blocos de terra comprimidos), alguns com incorporação de resíduos provenientes de outras indústrias. Para ambos os tipos de unidades de alvenarias, a utilização de resíduos tem também como finalidade melhorar as respetivas características, com vista a apresentarem um melhor desempenho.

### 2.1 Tijolos

Um tijolo de barro vermelho, seja de que tipo for, resulta da mistura de material argiloso com água, que é extrudida enquanto plástica, passa por um processo de secagem e é levada ao forno para cozer por um determinado tempo, dependendo do processo de fabrico e do

tipo de forno. Existem diversos tipos de tijolos e, nesta dissertação, serão estudados os tijolos maciços. Estes tijolos apresentam uma maior resistência e durabilidade em comparação aos restantes tipos de tijolos, pois têm uma capacidade superior de suportar cargas, por serem mais compactos (Baio Dias, 2009). Em comparação aos tijolos furados, os tijolos maciços apresentam também melhor desempenho acústico, devido à maior massa. Face aos restantes tipos de tijolos, estes, por serem dos mais pesados, dificultam o seu manuseio. São mais caros, pois o seu processo de preparação exige um maior consumo de energia e mais matéria-prima, levando mais tempo a secar, aumentando assim o tempo de produção (Preceram, 2016). Ainda que apresentem maior inércia térmica, não apresentam um contributo para o isolamento térmico tão bom como os tijolos furados pois estes apresentam uma melhor resistência térmica. Os tijolos são produtos técnicos e, por isso, apresentam várias características que podem ser avaliadas e uma quantidade de normas e de ensaios aplicáveis. Nesta dissertação, serão estudadas as propriedades e os requisitos dos tijolos de barro vermelho maciços. Os requisitos passam pela análise das propriedades mecânicas (resistência à compressão), condutibilidade térmica, massa volúmica, entre outras características intrínsecas ao material cerâmico (Baio Dias, 2009).

Na literatura, tijolos com menos de 5% em massa de bagaço húmido não apresentam um aumento significativo nos níveis de absorção de água, ainda que os valores da massa volúmica demonstrem que houve criação de maior porosidade (Scutcu et al., 2016). Este resultado é explicado pelos poros estarem fechados e não conectados; com maiores teores os poros tornam-se abertos, de maiores dimensões angulares e com fissuras, levando a uma diminuição da resistência à compressão do tijolo. Ainda assim é possível verificar um aumento da resistência à compressão com alguns teores, por exemplo em comparação ao teor de 5% para o de 10% em massa, na substituição da água por bagaço de azeitona húmido devido à forma esférica dos poros, que leva à diminuição da concentração de pressão no material e assim uma maior resistência à compressão (El Hammouti et al., 2022).

## **2.2 Blocos de terra**

A terra é um dos materiais mais antigos utilizados na construção, e que ainda hoje se utiliza em todos os países devido à sua disponibilidade, baixo custo e contributo para a eco-eficiência (Ramos et al., 2015). Durante algum tempo, na 2ª metade do século XX, os blocos de terra não foram muito utilizados devido à existência e aparecimento de novos materiais com propriedades mais aliciantes; no entanto, atualmente, pelos blocos de terra serem um

material com baixo impacto ambiental e com boas propriedades térmicas e acústicas, voltaram a tomar lugar na investigação e em algumas construções (Gomes, 2012). Principalmente depois da 2ª grande guerra, surgiu uma grande produção e aplicação de blocos de terra comprimida (BTC) em prensas manuais e industriais. Os adobes são blocos realizados por moldagem, manual ou mecânica, de uma argamassa de terra dentro de moldes, e secos ao ar. Algumas produções de tijolos tradicionais maciços podem resultar em adobes se as unidades moldadas não forem sujeitas a tratamentos térmico (cozedura em forno). Estas unidades são constituídas por terra, água e ar (depois de secos). Na constituição de alguns adobes pode adicionar-se ligante, como a cal aérea, ou outras adições, tal como fibras vegetais ou outros bioprodutos para melhorar as suas propriedades. Uma vez que se trata de um bloco de terra é necessário ter em atenção o teor de água que é utilizado durante a sua produção, pois quanto mais água for adicionada à mistura, menor resistência mecânica irá apresentar (Gonçalves, 2016). A terra argilosa apresenta propriedades higroscópicas que proporcionam aos produtos para a construção uma boa capacidade de autorregulação do teor em humidade no interior dos edifícios.

## **2.3 Normalização relativa a unidades de alvenaria com base em argila**

Para garantir a qualidade, e terem bom desempenho quando bem utilizadas ao longo do seu tempo de vida útil, as unidades de alvenaria são sujeitas a diversas verificações de requisitos. A norma NP EN 771-1 (IPQ, 2016) estabelece uma classificação normalizada através de valores limites, critérios de aceitação, ou critérios de tolerância (Tabela 2.1). Para uma dada característica essencial, sem critério de aceitação definido na norma, é da responsabilidade do fabricante declarar o seu critério de tolerância. Para avaliação da produção o fabricante deve definir os critérios de conformidade na documentação de controlo da produção em fábrica. Assim, a verificação da regularidade de desempenho do produto é avaliada em relação à norma referida. Para os blocos de terra, vários países têm igualmente requisitos que devem ser cumpridos de modo a atestar o desempenho (Tabela 2.2). Estes requisitos funcionais devem apresentar valores, fornecidos pelo fabricante, cujo intervalo de valores esteja contemplado pela norma DIN 18945 (NABau, 2013a). A norma NTC 5324 (ICONTEC, 2004) inclui um requisito que não está presente na DIN 18945 (NABau, 2013a): o ensaio com recurso

a escova metálica, de abrasão, que reproduz abrasão, por exemplo, resultante da atividade humana, sendo mais uma forma de classificar mecanicamente os blocos de terra fabricados.

Tabela 2.1 - Requisitos de desempenho para tijolos tendo em consideração a norma NP EN-771-1 (IPQ,2016)

Características essenciais	Métodos		Desempenho
Utilização prevista	P - Unidade cerâmica de alvenaria para utilização em alvenaria protegida U - Unidade cerâmica de alvenaria para utilização em alvenaria não protegida		-
Dimensões	As dimensões devem estar dispostas, em milímetros, da seguinte forma: comprimento x largura x altura		lllxwwwxhhh
Tolerância do valor médio	A diferença de todas as dimensões da amostra não deve ser superior às das classes definidas na norma		T1, T1+, T2, T2+, TM
Amplitude			
Configuração	Planeza e paralelismo	O desvio máximo da planeza das faces dos leitos deve ser definido pelo fabricante	-
	Formato e características	Sempre que for relevante declarar a configuração (direção de perfurações, volume de vazios, orifício de manuseamento...)	-
Massa volúmica	Massa volúmica aparente seca	O fabricante deverá declarar valores mínimos e máximos individuais da massa volúmica seca	D1, D2 e Dm
	Massa volúmica absoluta seca		
Resistência à compressão	Categoria	I - Probabilidade inferior ou igual a 5% de ocorrência	Categoria I ou II se não cumpre
	Indicar valor de resistência à compressão média em N/mm <sup>2</sup>		-
	Direção da carga		-
Estabilidade dimensional	Unidades sujeitas a requisitos estruturais		-
Teor de sais solúveis ativos	Não existe qualquer requisito para o teor de sais solúveis ativos caso exista proteção completa à penetração de água		S0, S1 e S2
Reação ao fogo	O fabricante deverá enunciar se os tijolos apresentarem um grande teor de matéria orgânica		A1 ou de acordo com a EN 1350-1 se >1% matéria orgânica
Propriedades térmicas	As unidades deverão apresentar valor de condutibilidade térmica		-
Durabilidade	Deve ser avaliada e declarada sempre que se aplicam requisitos de resistência ao gelo/degelo		F0, F1 e F2

Características essenciais	Métodos	Desempenho
Absorção de água	A taxa inicial média de absorção de água de um número especificado de tijolos deve estar na amplitude declarada para a taxa inicial de absorção de água	-
Expansão com a humidade	Em países onde existam requisitos relacionados com a humidade deve ser declarada e para tijolos com furação horizontal destinados a serem rebocados	-
Permeabilidade ao vapor de água	As unidades cerâmicas para utilização no exterior deverão apresentar valor de permeabilidade ao vapor de água e coeficiente de difusão de vapor de água apresentados na EN 1745	-
Substâncias perigosas	Regulamentos nacionais poderão exigir a verificação sobre a libertação e teor dos produtos utilizados	-

Tabela 2.2 - Requisitos de desempenho para adobe tendo em consideração a norma DIN 18945 (NABau,20243a; Ribeiro et al., 2016)

Características essenciais	Métodos
Dimensões	Declaração de dimensão normal e respetivos desvios dimensionais
Massa volúmica aparente	Mínimo de 0,4 kg/dm <sup>3</sup> e um máximo de 2,2 kg/dm <sup>3</sup>
Teor de sais	Máximo teor de nitratos ( $\leq 0,02$ M.-%), cloretos ( $\leq 0,08$ M.-%) e sulfatos ( $\leq 0,10$ M.-%).
Resistência à compressão	Mínimo de 2,5 N/mm <sup>2</sup> e máximo de 7,5 N/mm <sup>2</sup> . Nenhum valor individual $\leq 2,0$ N/mm <sup>2</sup>
Absorção de água por capilaridade	Verificação da existência de fissuras e deformações
Ensaio de imersão	A perda de massa para Ia e Ib deve ser $\leq 5\%$ e para os BTC do tipo II $\leq 15\%$
Resistência a ciclos gelo/degelo	Avaliação após 5 ciclos numa câmara de congelação, especificados na norma
Resistência à difusão de vapor de água	De acordo com a EN ISO 12572, poderá ser admitido o fator de resistência à difusão de vapor $\mu=5-10$ ou determinada a permeabilidade ao vapor de água
Condutibilidade térmica	Determinação da condutibilidade térmica de acordo com a norma DIN V 4108-4
Resistência ao fogo	A1 – sem constituintes orgânicos ou fibras

## 2.4 Produção de azeite e seus resíduos

A produção de azeite pode ser dividida nas seguintes etapas: colheita das azeitonas, desfolhamento, lavagem, preparação da pasta de azeitona, separação do óleo do bagaço da parte sólida, e separação do azeite da água. Na Figura 2.1 é possível observar os dois métodos existentes, o método tradicional que usa prensas, e o método de centrifugação com extração contínua (Sciancalepore et al., 2000). No método tradicional, a mistura é prensada para obter o óleo, de seguida o azeite é separado da água por centrifugação vertical ou decantação. No

método de centrifugação, existem dois tipos de processos o processo de 2 fases e o processo de 3 fases. No processo de 3 fases após a centrifugação do azeite obtém-se o azeite virgem, o bagaço de azeitona seco e as águas residuais, que provém da lavagem das azeitonas. A maior vantagem deste processo face ao tradicional é que este apresenta um rendimento maior, uma vez que não há a necessidade de colocar a mistura nos decantadores, poupando-se assim algum tempo. O método de 2 fases surgiu após o método de 3 fases, com o intuito de reduzir as águas residuais provenientes da produção de azeite, uma vez que através da utilização de centrífugas não existe a necessidade de utilizar água, separando o azeite do material sólido. Este processo envolve um menor gasto de água (poupança de cerca de 85%),

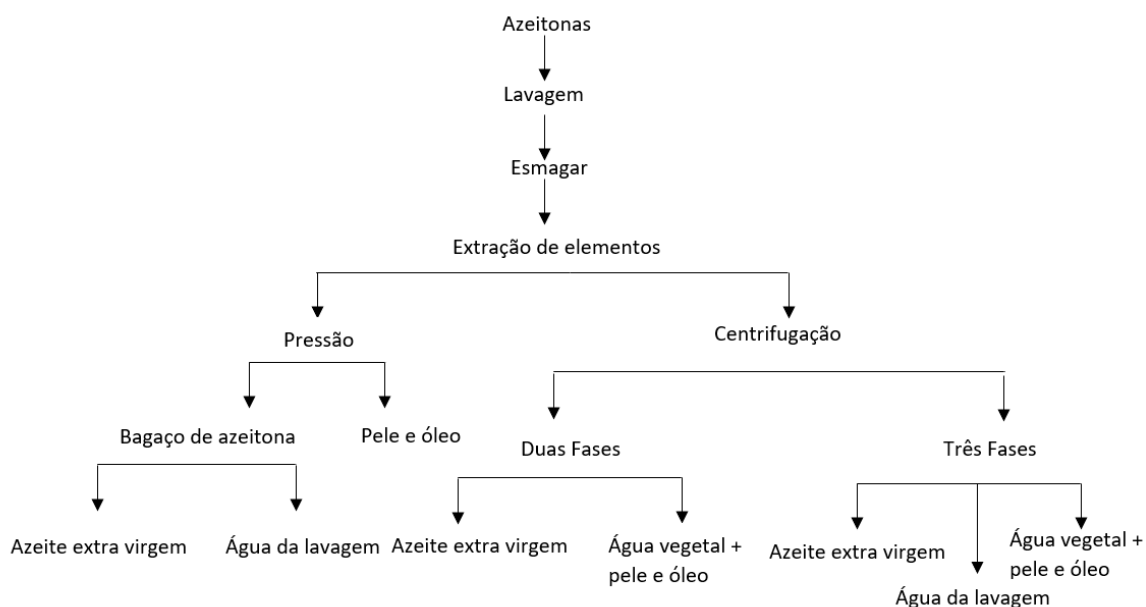


Figura 2.1 - Diagrama de fluxo dos procedimentos de processamento utilizando sistemas de pressão e centrifugação – processos com duas ou três fases. Adaptado de Sciancalepore et al. (2000).

dado que esta não é geralmente adicionada à pasta durante a extração do azeite (só em algumas exceções, quando a pasta se encontra muito seca); deste modo o bagaço de azeitona gerado é mais húmido do que o que é gerado no processo das 3 fases (Roig et al., 2006).

No lagar da Herdade São Lourenço do Barrocal o azeite é produzido a partir do processo de centrifugação, pelo método das 2 fases; no entanto as azeitonas são lavadas após o desfolhamento e separação da azeitona na desfolhadora (Figura 2.2 a). De seguida passam para a elevatória (Figura 2.2 b), que tem a forma de um cone no qual há uma pequena abertura pela qual entra água para a lavagem da azeitona; assim a azeitona é lavada em contracorrente. A azeitona vai no sentido de baixo para cima e a água de meio para baixo, diminuindo assim a submersão em água. Após esta lavagem a azeitona passa para o moinho e

batedeira (Figura 2.2 c), onde é separado o interior da azeitona da pele e do caroço; de seguida passa para o decanter (Figura 2.2 d), onde, devido ao elevado número de rotações por minuto, toda água que ainda possa estar presente é afastada, assim como as partes mais densas: pele da azeitona e caroço. Devido às características e potência destas máquinas no final só se obtêm cerca de 2% de águas ruças, pelo que ao nível ambiental reduz significativamente o respetivo impacto.

Existe a necessidade de dar uma utilização a estes resíduos, uma vez que se trata de resíduos muito poluentes, tanto as águas residuais de produção de azeitona ou águas ruças como o bagaço da azeitona (pele e caroço), que existem em grandes volumes. Por isso têm sido desenvolvidos estudos com caroços inteiros ou moídos (López Gómez et al., 2023), bagaço húmido moído (El Hámmou ti et al., 2022) e águas ruças (La Rubia-Garcia et al., 2022) que mostram potencial de introdução na construção de produtos, por utilização parcial ou total, mais amigos do ambiente e de baixo custo.

## **2.5 Utilização de resíduos de produção do azeite em unidades de alvenaria**

Os vários modelos de estudo, ao longo dos anos, procuram perceber a viabilidade da incorporação de resíduos de lagar de azeite na produção de unidades de alvenaria. Nas (Tabela 2.3) à (Tabela 2.5) estão presentes vários estudos, com diferentes tipos de resíduos provenientes da produção de azeite, diferentes teores de utilização e os resultados dos ensaios a que os tijolos foram sujeitos; nas (Tabela 2.6) à (Tabela 2.8) o mesmo acontece, mas para os blocos de terra.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.2 - Máquinas de tratamento de azeitona: a) desfolhadora b) equipamento elevatório c) moinho bate-deira d) decanter

Tabela 2.3 - Estudos da massa volúmica na incorporação de diferentes resíduos para a produção de tijolos maciços

Tijolos					
Massa Volúmica [g/cm <sup>3</sup> ]					
Referência	Resíduo + Preparação		Teores [%]	Temperatura (°C)	Resultados
López Gómez et al. 2023	<b>Pó/Grânulos de caroço de azeitona</b> , reduzidos para 1 mm de diâmetro		Controlo	950	1,57
			20		1,23
			40		0,98
			60		0,76
Coletti et al.2023	<b>Talos das uvas</b> secos e moídos até 2 mm adicionado a 0% e 10% em peso		Controlo	950	1,60
			10		1,23
Chraibi et al. 2022		Águas Ruças para substituir a 20% da água total	20	1000	-5
		<b>Águas ruças ou bagaço de azeitona</b> Lavagem das azeitonas, secas e prensadas para separar fração sólida e líquida; separação do óleo por decantação	Controlo	920	-1,95
	4		-1,77		
	8		-1,62		
Eliche-Quesada et al. 2016	<b>Cinza de fundo de bagaço de azeitona</b> Seca em estufa a 105 °C, moída em moinho de bolas para granulometria homogênea, peneirada em malha de 150 µm substituir (10-50% em massa) de argila		10	950	1635
			20		1527
La Rubia-García et al.2012	<b>Bagaço de azeitona húmido</b> Obtido pelo método bifásico, sem água adicional (adicionado em massa)		Controlo	900	2,1
			5		2,2
			10		2,05
			15		2
			20		1,7
			25		1,6

Tabela 2.4 - Estudos do coeficiente de capilaridade na incorporação de diferentes resíduos para a produção de tijolos maciços

Tijolos									
Coeficiente de Capilaridade [kg/(m <sup>2</sup> .vmin)]									
Referência	Resíduo + Preparação		Teores [%]	Temperatura (°C)	Resultados				
Coletti et al.2023	<b>Talos das uvas</b> secos e moídos até 2 mm adicionado a 0% e 10% em peso		Controlo	950	0,40				
			10		1,50				
Chraibi et al. 2022	<b>Águas ruças ou bagaço de azeitona</b> Lavagem das azeitonas, secas e prensadas para separar fração sólida e líquida; separação do óleo por decantação	Águas Ruças para substituir a 20% da água total	20	1000	-5				
		Bagaço de Azeitona para substituir a Argila (4%, 5%, 8% e 25%)	Controlo	920	7,7				
	4		10,8						
	8		8						
Sutcu et al. 2016	<b>Pó de Caroco azeitona; seco</b> , moído e peneirado em malha 0,150mm adicionado em massa		Controlo	850	17,0 ± 0,3				
			5		24,7 ± 0,2				
			10		32,2 ± 0,1				
					Controlo	950	16,6 ± 0,6		
					5		24,7 ± 0,1		
							Controlo	1050	14,5 ± 0,4
							5		22,1 ± 0,4
		10		30,1 ± 0,3					
				10					
De la Casa et al. 2014	<b>Cinzas de bagaço de azeitona</b> Moídas, lavadas e secas, ou moídas, lavadas, secas e micronizadas (1mm)		Controlo	1000	8 ± 0,2				
			5		11 ± 0,1				
			10		14 ± 0,2				
					Controlo	1025	8 ± 0,4		
					5		11 ± 0,3		
					10		14 ± 0,3		
					Controlo	1050	7 ± 0,1		
					5		10 ± 0,3		
					10		14 ± 0,2		
					Controlo	1000	7,89 ± 0,02		
					5		7,93 ± 0,01		
					10		8,04 ± 0,01		
		Controlo	1025	7,89 ± 0,03					
				1025					

		5		7,97 ± 0,01
		10		8,04 ± 0,01
		Controlo	1050	7,92 ± 0,02
		5		8,01 ± 0,02
		10		8,08 ± 0,02
La Rubia-García et al.2012	<b>Bagço de azeitona húmido</b> obtido pelo método bifásico, sem água adicional (adicionado em massa)	Controlo	900	17
		5		17
		10		18
		15		23
		20		27
		25		30
*Eslarecimento: O sinal de +/- representa o aumento ou diminuição, respetivamente, face às unidades de controlo, no caso de ensaios em que não é disponibilizado esse valor, só o valor comparativo, por isso os ensaios estão em percentagem.				

Tabela 2.5 - Estudos da condutibilidade térmica na incorporação de diferentes resíduos para a produção de tijolos maciços

Tijolos					
Condutibilidade térmica [%]					
Referência	Resíduo + Preparação		Teores [%]	Temperatura (°C)	Resultados
Chraibi et al. 2022	<b>Águas ruças ou bagço de azeitona</b> Lavagem das azeitonas, secas e prensadas para separar fração sólida e líquida; separação do óleo por decantação	Águas Ruças para substituir a 20% da água total	20	950	-14
				850	-14,3
		Bagaço de Azeitona para substituir a Argila (4%, 5%, 8% e 25%)	5	920	-62
					25
Eliche-Quesada et al. 2016	<b>Cinza de fundo de bagço de azeitona</b> Seca em estufa a 105 °C, moída em moinho de bolas para granulometria homogênea, peneirada em malha de 150 µm substituir (10-50% em massa) de argila	10	950	14,4	
				20	16,8

El Hammouti et al.2022	<b>Bagço de azeitona</b> esmagado com 0,9 mm < d < 2,1 mm e incorporado na argila	Controlo	800	1,129
		5		1,077
		10		1,017
		15		0,7145
		20		0,736

Tabela 2.6 - Estudo da massa volúmica na incorporação de diferentes resíduos para a produção de blocos de terra

Blocos de Terra				
Massa Volúmica [g/cm <sup>3</sup> ]				
Referência	Resíduo + Preparação		Teores [%]	Resultados
Kiki et al.2023	<b>Pó de granito esmagado</b> para obtenção de partículas entre os 0-5 mm assim como as partículas de palha do capim a variar entre 10 e 20 mm	Pó de granito entre 0-5% em volume+Argila em % ponderal + Cimento portland 8%+ Partículas de palha do capim em quantidades de 0%, 0.5%, 1%, 1,5%, 1,75%	Controlo	1932±6
			0,5	1835±3
			1	1753±7
			1,5	1692±5
Djadouf et al. 2020	<b>Pó de caroço de azeitona</b> Seco, moído e peneirados em 1mm e 3mm		Controlo	1,99
			5	1,98
			10	1,97
			15	1,87
			20	1,63
			30	1,55
*Esclarecimento: O sinal de +/- representa o aumento ou diminuição, respetivamente, face às unidades de controlo, no caso de ensaios em que não é disponibilizado esse valor, só o valor comparativo, por isso os ensaios estão em percentagem.				

Tabela 2.7 - Estudo de absorção capilar na incorporação de diferentes resíduos para a produção de blocos de terra

Blocos de Terra				
Coeficiente de absorção capilar[g/cm <sup>2</sup> ]				
Referência	Resíduo + Preparação		Teores [%]	Resultados
Kiki et al.2023	<b>Pó de granito esmagado</b> para obtenção de partículas entre os 0-5 mm assim como as partículas de palha do capim a variar entre 10 e 20 mm	Pó de granito entre 0-5% em volume+Argila em % ponderal + Cimento portland 8%+ Partículas de palha do capim em quantidades de 0%, 0.5%, 1%, 1,5%, 1,75%	Controlo	6,43
			1,5	22,65
Brito et al. 2023	<b>Esterco Bovino</b> , cimento Portland e cal hidratada, Solo argiloso, areia de quartzo para corrigir a massa de adobe		5	25,00
			10	16,00
			15	22,50

Tabela 2.8 - Estudo da condutibilidade térmica na incorporação de diferentes resíduos para a produção de blocos de terra

Blocos de Terra				
Condutibilidade térmica [W/(m.K)]				
Referência	Resíduo + Preparação		Teores [%]	Resultados
El Hammouti et al. 2022	<b>Bagaco de azeitona</b> Esmagado tendo 0,9 < d < 2,1 mm e incorporado na terra argilosa		5	1,58
			10	1,65
			15	1,53
			20	1,70
Djadouf et al. 2020	<b>Pó de caroço de azeitona</b> Seco, moído e peneirados em 1mm e 3mm		Controlo	0,79
			5	0,69
			10	0,53
			15	0,50
			20	0,43
			30	0,41

Verifica-se que têm sido realizados muitos mais estudos sobre tijolos de barro vermelho com resíduos de lagar de azeite comparativamente a blocos de terra com o mesmo tipo de resíduos.

Nas várias investigações de tijolos com resíduos de lagar de azeite a temperatura de cozedura rondou os 850°C a 1050°C. Existe uma grande diferença entre os resíduos utilizados ao longo dos modelos de investigação. Foram estudados blocos para alvenaria utilizando: diferentes dimensões de caroço de azeitona; duas frações líquidas provenientes da produção de azeite, nomeadamente águas ruças, com o intuito de substituir a água adicionada para produzir as unidades de alvenaria, e o bagaço de azeitona, húmido ou seco, com o objetivo de substituir/reduzir a quantidade de material argiloso utilizado. Foi possível observar, de forma geral, que o aumento do teor de caroço de azeitona com diferentes dimensões na mistura e, em outros estudos, o aumento das cinzas de bagaço de azeitona, diminui a massa volúmica, a condutibilidade térmica e a resistência à compressão, aumenta a porosidade aberta, a absorção de água e a perda por ignição. Estes dados são possíveis de explicar uma vez que, quanto maior a presença de caroço de azeitona, no caso dos tijolos, ao serem submetidos ao processo de queima, a matéria orgânica desaparece (é torrefeita). Dessa forma, a massa volúmica diminui, logo a resistência à compressão também diminui. Para além desta causa, o caroço de azeitona tem, na maioria das vezes, uma forma angular, apresentando, por isso uma maior rugosidade superficial, em comparação a outros resíduos arredondados. Assim, os grânulos podem sobreporem-se e criar uma maior porosidade. A porosidade aumenta, aumentando a capacidade de absorção de água (caso estejam na gama dos capilares), diminuindo a condutibilidade térmica das unidades de alvenaria. A perda por ignição aumenta pelo facto de ocorrer a torrefação de material vegetal. É ainda possível observar que quanto maiores os valores de queima a que os tijolos são submetidos, é mais notório o que foi referido anteriormente, em comparação às unidades de controlo, sendo por isso benéfico, para algumas características, uma temperatura superior. Ainda assim não poderá ser esquecido que, quanto maiores as temperaturas, maiores os gastos de energia.

No caso dos blocos de terra com resíduos de lagar de azeite verificam-se estudos realizados com incorporação de pó de caroço de azeitona e bagaço de azeitona. Em ambos foi possível observar, com o aumento do seu teor, uma diminuição da condutibilidade térmica, requisito fundamental sempre que está em vista um aumento da eficácia energética da construção

Os blocos de terra não têm processo de queima e, conseqüentemente, não há torrefação dos resíduos vegetais. São as propriedades do caroço de azeitona em comparação com as da terra argilosa que promovem o mesmo aumento/diminuição nos ensaios antes referidos. Há apenas a diferença no ensaio de resistência à compressão que até um teor de 15% em massa produz um aumento; só para valores superiores de caroço de azeitona é que existe

um decréscimo nas capacidades de resistência dos blocos de terra. Em relação à introdução de bagaço de azeitona húmido e de águas ruças, existe a mesma relação para cada ensaio. Estes resíduos, tanto como substitutos de água como quando substitutos da terra argilosa, devido a apresentarem tamanho reduzido, são muito fáceis de moldar.

Os ensaios mais realizados para as unidades de alvenaria foram o da resistência à compressão, massa volúmica e absorção de água; no entanto, em função do tipo de aplicação dos tijolos e dos blocos de terra é avaliado o seu desempenho relativamente a outras características. Para aplicação na envolvente dos edifícios em alvenaria de tijolo sem revestimento, o comportamento à água tem sido avaliado através de ensaios como o coeficiente de capilaridade e a resistência à compressão (húmida). Com o aumento do teor de resíduos provenientes da produção de azeite na produção de tijolos é notório um aumento da sua capacidade de absorção de água (Chraibi et al. 2022). Em blocos de terra, quanto maior a quantidade de resíduos, com origem na produção de azeite ou outros compostos orgânicos, existe uma diminuição da sua resistência à compressão no estado húmido (Kiki et al. 2023).

## 2.6 Síntese

As consequências das alterações climáticas são cada vez mais evidentes, havendo uma falta de ação significativa na redução das atividades que geram altas emissões de gases de efeito estufa. Posto isto, é crucial aumentar a conscientização e tomar medidas, tanto por parte da população quanto das empresas, para combater esse problema. Estima-se que o setor da construção seja responsável por aproximadamente 40% do uso de recursos naturais e pela produção de 40% dos resíduos em cada país da União Europeia (Erlandsson & Borg, 2003; Solís-Guzmán et al., 2013; Urbano, 2015).

Com o intuito de mitigar os impactos negativos no setor da construção, tem-se explorado a viabilidade de incorporar diversos tipos de resíduos, especialmente os orgânicos, provenientes de atividades agroindustriais, como alternativas a outras valorizações mais baixas ou ao depósito em aterros sanitários. Esses resíduos ou subprodutos podem ser utilizados como adições em diversos produtos da construção, substituindo matérias-primas e, assim, contribuindo para a redução da exploração de recursos virgens.

A atividade da indústria do azeite gera uma considerável quantidade de resíduos que, se não forem adequadamente tratados, podem representar um problema ambiental significativo. Por essa razão, surge o interesse na pesquisa e produção de blocos de alvenaria com resíduos de lagar de azeite. A produção de blocos de alvenaria com estes resíduos apresenta-

se como uma alternativa promissora, pois não apenas reduz o desperdício, mas também oferece uma opção ecologicamente responsável para a construção civil.

Através das análises no subcapítulo 2.5, e apesar de ser um tópico recente, é notória a utilização de três distintos resíduos de lagar incorporados em elementos construtivos: caroço de azeitona, com dimensões variadas; águas residuais, a fim de substituir a água adicionada na fabricação das unidades de alvenaria; o bagaço de azeitona, seja ele húmido ou seco, de modo a reduzir a quantidade de material argiloso utilizado. Estas alternativas permitiram melhorar significativamente características fundamentais, tais como a diminuição da massa volúmica, consequência de um aumento da porosidade e, por isso, uma diminuição da condutibilidade térmica, uma maior taxa de absorção de água, mas também uma maior facilidade no processo de secagem. Desta forma prevê-se uma melhoria nas construções, pois produzem-se materiais mais leves, que apresentam maior eficiência térmica.

Contudo, a literatura revista revela ainda algumas lacunas. Grande parte dos estudos analisados investigam a incorporação do bagaço da azeitona. Dado ser um resíduo líquido, gorduroso e com um odor intenso, o processo de recolha, tratamento, transporte e armazenamento é mais complexo em comparação ao caroço da azeitona, resíduo também obtido na produção de azeite. O caroço de azeitona, seja triturado ou não, sendo um resíduo sólido, pequeno e sem odor forte, é de mais muito fácil armazenamento.

Foram apenas encontrados dois estudos relevantes, (López Gómez et al., 2023) e (Sutcu et al., 2016), onde se explora a adição do caroço de azeitona em tijolos maciços. Estes estudos, além de contribuírem para a exploração do efeito do caroço de azeitona, resultante da indústria do azeite, quando utilizado na produção de tijolos maciços cozidos em forno artesanal, apresentam pouca profundidade, uma vez que são apenas realizados os ensaios de massa volúmica, porosidade aberta e resistência à compressão (RC), e perda por ignição, porosidade aparente e absorção de água para o estudo realizado por López Gómez et al. (2023) e Sutcu et al. (2016), respetivamente, não sendo conclusiva a viabilidade da sua utilização.

Considerando os tópicos referidos anteriormente, a campanha experimental desta dissertação tem como objetivo avaliar o efeito de um resíduo da azeitona na composição de tijolos maciços, em três dosagens diferentes, ao nível de requisitos físicos e mecânicos, e por comparação com unidades de referência com e sem tratamento térmico (adobe).

## MATERIAIS, UNIDADES DE ALVENARIA E MÉ- TODOS DE ENSAIO

Tal como referido antes, a exploração da indústria do azeite produz uma grande quantidade de resíduos que, se não forem adequadamente geridos, podem representar um problema ambiental significativo. Desta forma surge o interesse na investigação e produção de unidades de alvenaria com resíduos de lagar de azeite. A produção destas unidades com caroço de azeitona apresenta-se como uma alternativa promissora, pois não apenas reduz o desperdício, como pode também oferecer uma opção ecologicamente responsável para a construção civil. Além disso, a incorporação de caroço de azeitona pode melhorar significativamente algumas das suas propriedades. Para garantir a viabilidade foi necessário a realização de diferentes tipos ensaios de caracterização de materiais, descrever a produção das unidades de alvenaria e ensaios de caracterização destas unidades.

### 3.1 Materiais e unidades de alvenaria

Pelo interesse em substituir matérias-primas virgens por resíduos, para reduzir a exploração de recursos naturais e o volume de resíduos a gerir, e por vantagens económicas que podem resultar dessa situação, interessa avaliar as vantagens e desvantagens técnicas que tijolos e adobes podem apresentar. Só dessa forma será possível realizar escolhas fundamentadas de unidades de alvenaria para diferentes tipos de aplicações.

Nesta dissertação procedeu-se à caracterização de tijolos maciços produzidos em telheiro e de forma tradicional em forno a lenha (de controlo) e a outros dois tipos de unidades de alvenaria: o mesmo tipo de tijolos, mas em cuja formulação se incluiu resíduo de lagar de

azeite em três diferentes proporções; adobes resultantes da fase intermédia de produção dos tijolos de controlo (apenas secos ao ar e sem cozedura no forno).

O Telheiro de São Pedro produz tijolos maciços, baldosas e tijoleira de revestimento de piso e muitos outros elementos de cerâmica de barro vermelho (Telheiro de São Pedro, 2023) de forma manual e tradicional.

O resíduo utilizado foi caroço de azeitona disponibilizado pela da Quinta de São Lourenço do Barrocal, Monsaraz, Portugal. No entanto, não se tem certeza se este resíduo foi proveniente deste ou de outro lagar. A terra utilizada para a produção destas unidades de alvenaria é proveniente da zona de Reguengos, em particular a aldeia de S. Pedro do Corval (Figura 3.1 a).

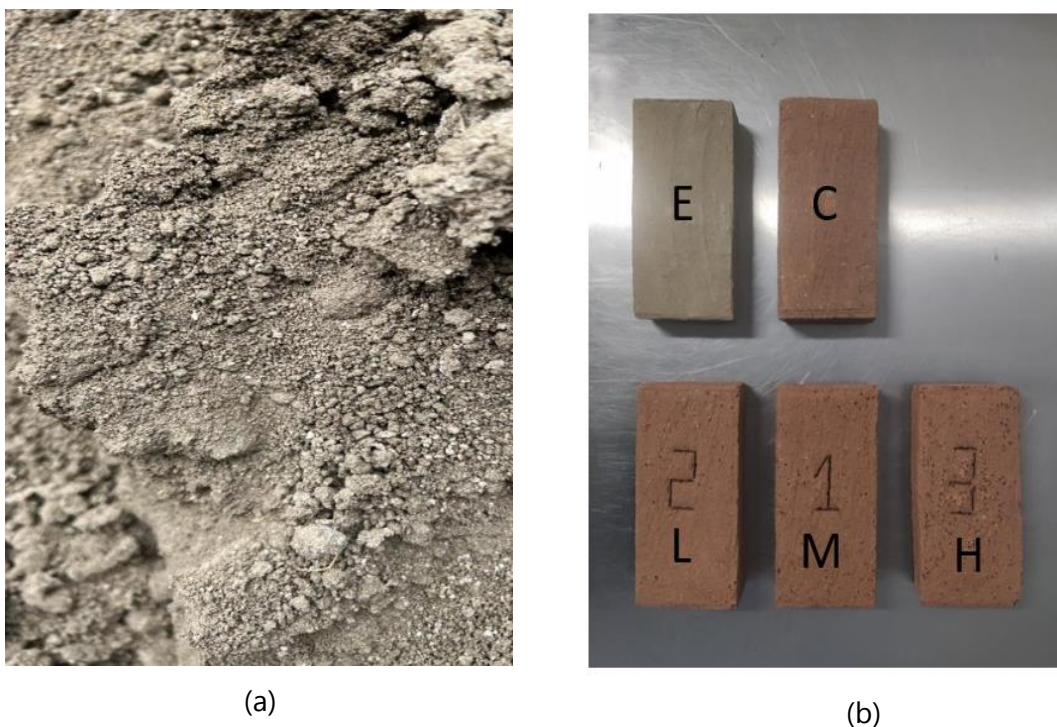


Figura 3.1 - Terra utilizada na produção das unidades de alvenaria (a) e unidades de alvenaria analisadas (b) : em cima à esquerda, adobe, à direita o tijolo de controlo; em baixo tijolos com os 3 diferentes teores de caroço de azeitona (2 - teor mais baixo (L - low), 1 - teor médio (M - medium) e 3 - teor mais elevado (H - high))

Com a terra e com o caroço de azeitona o Telheiro fabricou os adobes, com dimensão aproximadas de  $200 \times 100 \times 50 \text{ mm}^3$ , sem cozedura (E) (Figura 3.1 b, em cima, à esquerda) e os tijolos de controlo (C) (Figura 3.1 b, em cima, ao centro), com a mesma dimensão. De acordo com os requisitos para alvenaria (IPQ, 2016), as dimensões dos tijolos declaradas pelo fabricante têm de ser milímetros e apresentadas sobre a seguinte forma: comprimento x largura x altura. As unidades em estudo apresentam uma classe de tolerância com amplitude máxima sobre as suas dimensões de T2+. Para além dos tijolos de controlo, foram produzidos tijolos

com três teores diferentes de resíduo de caroço de azeitona, LW, MW e HW, que corresponde a tijolos com 1 volume de caroço para 5, 4 e 3 volumes de terra argilosa, respetivamente (Figura 3.1 b, em baixo). Os traços foram escolhidos no Telheiro, de modo a obter-se a maior quantidade possível de caroço de azeitona e ainda continuar a ser possível fazer a amassadura da mistura de forma manual; isto porque grandes quantidades de caroço de azeitona dificultam este processo. Os restantes teores foram determinados a partir do maior, reduzindo-a duas vezes de forma gradual, de modo a ser possível estudar a influência do teor em resíduo.

### **3.1.1 Caracterização mineralógica da terra argilosa**

A terra utilizada para a produção dos tijolos e dos adobes foi caracterizada através de ensaios realizados no LNEC, no âmbito de tese de doutoramento em curso de Raphael Vasconcelos Pachamama sobre argamassas de terra para rebocos e apresenta na sua constituição vermiculite, um mineral natural formado por hidratantes de silicato de alumínio. Visualmente nesta terra é possível notar a presença deste mineral devido ao seu tom dourado e ao seu brilho vítreo. A vermiculite apresenta uma expansibilidade significativa quando aquecida devido à presença de água nas suas estruturas internas; este processo origina pequenas camadas de ar, tornando o material mais leve e isolante, apresentando assim baixa baridade, tornando a sua utilização adequada em isolantes térmicos. É um mineral com uma elevada retenção de água, o que poderá ser positivo quando utilizada de maneira adequada à sua higroscopicidade, por exemplo em superfícies no interior dos edifícios, no sentido de adsorver a humidade em excesso e libertá-la quando a humidade relativa baixar; por ser um material inorgânico não combustível apresenta boas propriedades de reação ao fogo.

### **3.1.2 Caracterização granulométrica**

Um dos métodos utilizados para efetuar a análise granulométrica dos materiais foi o método de peneiração segundo a norma EN 1015-1 (CEN, 1998) Este método envolve a passagem da amostra por uma série de peneiros da série principal (Tabela 3.1) e saber as diferentes percentagens de material com diferentes dimensões. Foi retirada uma amostra de 1 kg de terra, previamente seca, e fez passar esta amostra pelos diferentes peneiros; o resultado consta na Figura 3.2. A curva granulométrica apresenta a composição do solo nas seguintes proporções: 15% de argila, 40% de areia e 45% de silte (Figura 3.3). Assim sendo, é possível caracterizar a terra como adequada para a confeção de adobe (Ruiz et al., 1983). A terra foi classificada

como arenosa siltosa, de acordo com a ASTM C 1498:04 (ASTM Standards, 2004) e a (Figura 3.3).

Tabela 3.1 - Peneiros da série principal utilizados e respectivas dimensões de aberturas de malha (ASTM Standards, 2004)

Peneiro	Malha (mm)
1" 1/2	38,1
3/4"	19
3/8"	9,51
nº 4	4,76
nº8	2,38
nº16	1,19
nº30	0,595
nº50	0,297
nº100	0,149
nº200	0,075

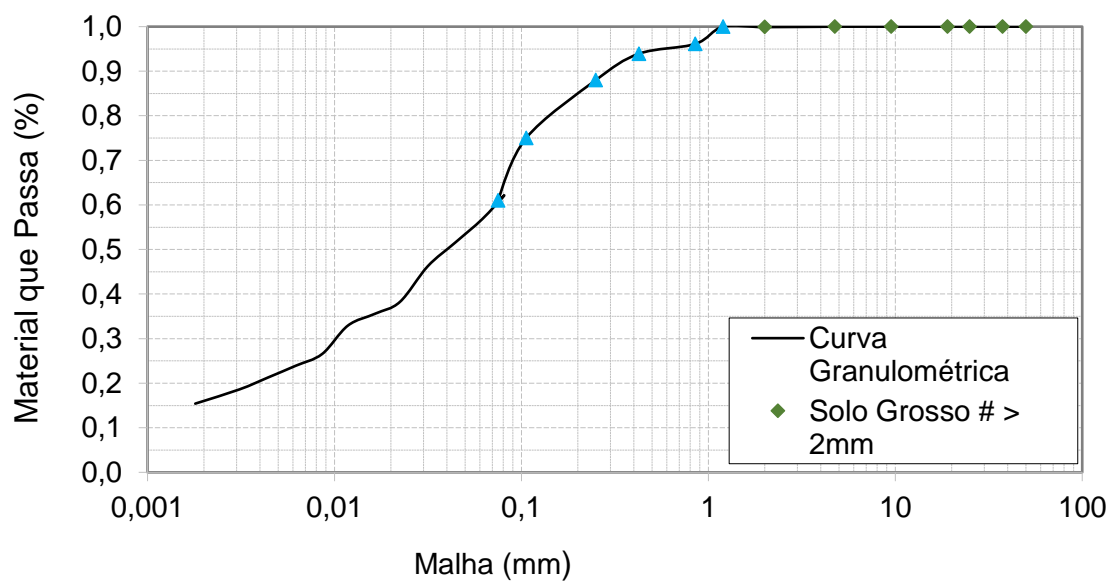


Figura 3.2 - Curva granulométrica da terra

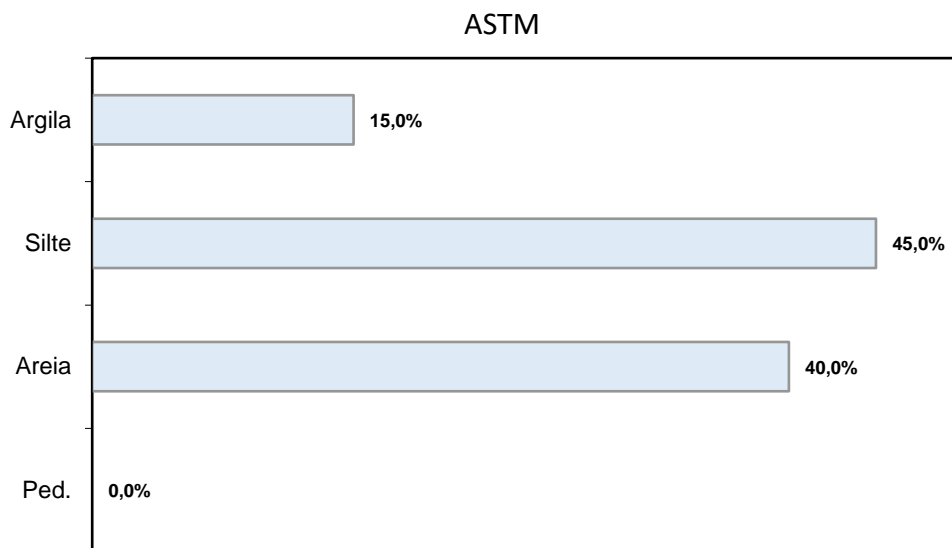


Figura 3.3 - Composição da terra

### 3.1.3 Baridade da terra e do resíduo

A baridade da terra e do resíduo de caroço de azeitona foi determinada tendo por base a norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2000). A determinação da baridade (Equação 1), tem como objetivo determinar a massa de material seco, que preenche um recipiente cilíndrico metálico, de volume conhecido.

$$B = \frac{m_{r+m} - m_r}{v_r} \quad (1)$$

Na Equação 1,  $B$  é a baridade do material [ $\text{kg}/\text{dm}^3$ ],  $m_{r+m}$  é a massa do recipiente com o material [kg],  $m_r$  é a massa do recipiente vazio [kg] e  $v_r$  é o volume do recipiente [ $\text{dm}^3$ ]. A baridade da terra foi determinada no âmbito da tese de doutoramento em curso de Raphael Vasconcelos Pachamama sobre argamassas de terra para rebocos. Para determinar a baridade da terra e do resíduo foi colocado um recipiente de volume conhecido,  $1 \text{ dm}^3$ , dentro de um tabuleiro de modo que não existisse perda de material. De seguida foi colocado o funil a uma altura de 50 mm, desde o fundo do funil até ao topo do recipiente. O funil foi cheio de material, e de seguida foi aberta a sua saída, para que por gravidade o material enchesse o recipiente

até para além do topo, que foi rasado para eliminar material em excesso. De seguida foi utilizada uma balança com precisão de 0,001 g para determinar a massa do recipiente com o material em questão. Todos os procedimentos acima enunciados foram realizados três vezes, pelo que o valor da baridade resulta da média dos três ensaios (Figura 3.4). A (Tabela 3.2) apresenta os valores de baridade obtidos para a terra e para o agregado. Como seria expectável, o resíduo tem uma baridade muito inferior à da terra argilosa.



(a)



(b)

Figura 3.4 - Preparação do resíduo para o estudo da sua baridade: a) amostras de caroço de azeitona que foram ensaiadas; b) agregado após rasado a superfície no recipiente de volume conhecido.

Tabela 3.2 - Valor médio da baridade da terra e resultados do ensaio de baridade do resíduo em estudo

Baridade terra argilosa [kg/dm <sup>3</sup> ]			1,43		
Baridade resíduo [kg/dm <sup>3</sup> ]	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	DP
m1 [kg]	1,11	1,11	1,11	1,11	0,00
volume [dm <sup>3</sup> ]	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
m2 [kg]	1,74	1,74	1,74	1,74	0,00
m3 [kg]	0,63	0,63	0,63	0,63	0,00
B [kg/dm <sup>3</sup> ]	0,63	0,63	0,63	0,63	0,00
Média [kg/dm <sup>3</sup> ]	0,63				

## 3.2 Produção das unidades de alvenaria

Como foi referido anteriormente, foi no Telheiro de São Pedro que se processou a produção das unidades de alvenaria. Após a mistura da terra argilosa seca com o resíduo de azeitona moído de forma homogénea (Figura 3.5 a) e com a água (ou apenas com a água, para os tijolos de controlo e adobes), a argamassa é colocada manualmente em moldes adequados, de alumínio, nos quais adquire a forma desejada para as unidades. Foi possível observar a velocidade com que os moldes eram preenchidos, por operador jovem, mas muito desembaraçado. Para este estudo foram produzidas misturas com três teores diferentes de caroço de azeitona, sendo que foi comunicado que a mistura com maior teor de caroço de azeitona tornou o trabalho dos operadores mais difícil, uma vez que arranhava as mãos. Os moldes, após serem preenchidos, são retirados da bancada de trabalho e colocados em prateleiras onde ficam a secar ao ar livre em telheiro coberto por um período de tempo, permitindo que a água evapore gradualmente. Segundo o produtor, este processo de secagem é fundamental para garantir a resistência e durabilidade dos tijolos. Após ocorrer a retração de secagem inicial e terem alguma resistência, as unidades são cuidadosamente removidas dos moldes (Figura 3.5 b). Para a obtenção de tijolos, estas unidades já secas são colocadas no forno (Figura 3.5 c e d), do qual as aberturas são fechadas com outras unidades de alvenaria previamente cozidas. Estima-se que a cozedura está concluída quando o último tijolo colocado nas entradas do forno estiver com a cor dos restantes, ou seja uma cor incandescente. Dependendo da estação do ano, ronda entre as 16 h e 18 h.

### 3.2.1 Teor de água da mistura a colocar no molde

Foi determinado o teor de humidade da mistura de terra e água para produção dos tijolos de controlo e dos adobes. Teve por base a norma NP EN1097-5 (IPQ, 2002b) que estabelece os procedimentos para a determinação do teor de humidade dos agregados utilizados na construção civil. A amostra foi obtida por mistura disponibilizada em saco plástico fechado diretamente do Telheiro, de modo a ser o mais representativa possível da mistura de terra antes de ser utilizada para a produção das unidades de alvenaria. Foi tido em conta a homogeneidade do material e a obtenção de uma quantidade adequada para análise. Os provetes analisados da amostra foram distribuídos por três cápsulas (Figura 3.6), cuja massa foi anteriormente registada; a massa da cápsula com o provete foi avaliada e, posteriormente os

conjuntos foram secos em estufa a 105°C. Os resultados obtidos ao fim de 24 horas estão apresentados na (Tabela 3.3).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.5 - Fabricação das unidades em estudo: a) processo de moldagem; b) unidades de alvenaria a secar ao ar; c) um dos fornos tradicionais do Telheiro de São Pedro; d) abertura do forno 1 preenchida com tijolos e tijoleira



Figura 3.6 - Cápsulas com os provetes da amostra de mistura de terra e água para produção dos tijolos de controlo e dos adobes no telheiro

Tabela 3.3 - Resultados dos ensaios de teor em água, valor médio e desvio-padrão

Nº da Cápsula	Cápsula [g]	Cápsula + Amostra húmida [g]	Após submetida à es- tufa (c/ Cápsula) [g]	$\omega$ (%)
1	15,58	92,23	79,31	20,27
2	13,64	103,86	88,16	21,07
3	13,63	92,94	79,02	21,29
<b>Média</b>	14,28	96,34	82,16	<b>20,88</b>
<b>Dp</b>	0,86	5,01	79,31	<b>0,40</b>

Para a determinação do teor em água procede-se ao quociente entre a massa da amostra húmida pela massa da amostra seca, Equação 2, multiplicando por 100 para obtenção do resultado expresso em percentagem.

$$\omega_{\text{água}} = \frac{m_{\omega} - m_s}{m_s - m_c} \times 100 \quad (2)$$

Nesta equação,  $m_{\omega}$  corresponde à massa cápsula com amostra húmida [g],  $m_s$  à massa cápsula com amostra seca [g] e  $m_c$  à massa cápsula [g].

### 3.2.2 Determinação do traço em massa dos tijolos com resíduo

Os tijolos com resíduo em estudo apresentam três quantidades diferentes de resíduo de caroço de azeitona (traços volumétricos terra:resíduo de azeitona): tijolo *Low waste brick* (L) - traço volumétrico 5:1; tijolo *Medium waste brick* (M) - traço volumétrico 4:1; tijolo *High waste brick* (H) - traço volumétrico 3:1. Para a determinação do traço em massa, foram utilizados os traços acima referidos, a baridade do resíduo de azeitona ( $0,63 \text{ kg/dm}^3$ ) e a baridade da terra, ( $1,43 \text{ kg/dm}^3$ ), apresentados na (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 - Traços dos tijolos com resíduo em estudo

Tijolo	Traços					
	Volumétrico		Intermédio em massa		Massa	
	Terra	Caroço	Terra	Caroço	Terra	Caroço
Low waste brick (L)	5	1	7,15	0,63	11,37	1
Medium waste brick(M)	4	1	5,72	0,63	9,09	1
High Waste Brick(H)	3	1	4,29	0,63	6,82	1

### 3.3 Procedimentos de ensaios das unidades de alvenaria

De modo a facilitar a compreensão, a (Tabela 3.5) apresenta os ensaios executados e as respetivas unidades de alvenaria utilizadas. A partir daqui E representa os adobes, C o tijolo de controlo e L, M e H os tijolos com, respetivamente mais baixo, médio e mais elevado teor de resíduo. A (Tabela 3.6) apresenta as normas utilizadas como base para a realização desses ensaios. Para cada ensaio foram ensaiadas três unidades de cada tipo em estudo, à exceção do ensaio da massa volúmica e baridade em que foram utilizadas todas as unidades de alvenaria. O ensaio de resistência à compressão seria o último ensaio a ser realizado, uma vez que se trata de um ensaio destrutivo. Neste ensaio seriam utilizadas unidades que já tinham sido utilizadas em outros ensaios (provetes ensaiados), e unidades que ainda não tinham sido submetidas a nenhum ensaio (provetes virgens), de forma a estudar se nomeadamente o contacto com água de ensaios anteriores afetaria a sua capacidade resistente. No entanto, devido a um problema técnico na máquina universal Zwick/Rowell do Departamento de Engenharia Civil (DEC), não foi possível realizar o ensaio.

Tabela 3.5 - Planejamento da utilização das unidades em estudo ao longo dos ensaios realizados

Ensaio		Unidades Utilizadas				
Earth Block (E); Control Brick(C); Low Waste Brick (L); Medium Waste Brick(M); High Waste Brick(H)						
Quantidades disponíveis		E:12	C:10	L:11	M:8	H:9
Massa volúmica		E1-E12	C1-C10	L1-L11	M1-M8	H1-H9
Condutibilidade térmica		E4, E5, E6	C4, C5, C6	L1, L2, L3	M1, M2, M3	H4, H5, H6
Resistência à abrasão		E4, E5, E6	C4, C5, C6	L1, L2, L3	M1, M2, M3	H4, H5, H6
Dureza superficial por durómetro Shore A		E4, E5, E6	C4, C5, C6	L1, L2, L3	M1, M2, M3	H4, H5, H6
Resistência à compressão (não realizado)	Provetes ensaiados	E4, E5, E6	C4, C5, C6	L1, L2, L3	M1, M2, M3	H4, H5, H6
	Provetes virgens	E7, E8, E9	C7, C8, C9	L4, L5, L6	M4, M5, M6	H7, H8, H9
Ensaio de erosão por gotejamento		E4, E5, E6	C4, C5, C6	L1, L2, L3	M1, M2, M3	H4, H5, H6
Comportamento em exposição natural		E1, E2, E3	C1, C2, C3	-	-	H1, H2, H3
Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten		E4, E5, E6	C4, C5, C6	L1, L2, L3	M1, M2, M3	H4, H5, H6
Adsorção e desadsorção ao vapor de água		E4, E5, E6	C4, C5, C6	L1, L2, L3	M1, M2, M3	H4, H5, H6
Capilaridade		E4, E5, E6	C4, C5, C6	L1, L2, L3	M1, M2, M3	H4, H5, H6
Capacidade de secagem e sais, após secagem		E4, E5, E6	C4, C5, C6	L1, L2, L3	M1, M2, M3	H4, H5, H6

O ensaio de resistência à compressão não foi realizado por problemas ocorridos com o equipamento, que obrigaram à sua reparação e adiamento. No entanto, o método que se previa utilizar é apresentado no Anexo A1, para facilitar a execução futura.

Tabela 3.6 - Normas utilizadas como base para a realização dos ensaios às unidades de alvenaria

Ensaio	Normas de Base
Massa volúmica	DIN 18945 (NABau, 2013a), NP EN 772-13 (IPQ, 2002a)
Condutibilidade térmica	Manual do Equipamento ISOMET
Resistência à abrasão	DIN 18947 (NABau, 2013b)
Dureza superficial por durómetro Shore A	ASTM D2240 (ASTM Standards, 2000)
Resistência à compressão (não realizado)	DIN 18945 (NABau, 2013a), EN 772-1 (IPQ, 2016)
Ensaio de erosão por gotejamento	Norma Neo-Zelandesa NZS 4298 (NZS, 1998): – Apêndice E
Comportamento em exposição natural	-
Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten	EN 16302 (CEN, 2012)
Adsorção e desadsorção ao vapor de água	DIN 18947 (NABau, 2013b)
Capilaridade	DIN 18945 (NABau, 2013a), EN 772-11 (CEN, 2011a), EN 772-21 (CEN, 2021)
Capacidade de secagem	EN 16322 (CEN, 2013)

### 3.3.1 Massa volúmica aparente

De acordo com a norma NP EN 772-13 (IPQ, 2002a) a massa volúmica aparente é obtida quando se atinge massa constante, quando os tijolos estão completamente secos e após terem sido submetidos a uma temperatura de  $20 \pm 5$  °C e humidade relativa de  $50 \pm 15\%$  por mais de 30 dias. Após duas pesagens consecutivas com um intervalo de 24 horas a massa não reduziu em mais de 0,2%. Com o auxílio de uma craveira manual (Figura 3.7), foram medidas as dimensões das unidades de alvenaria conforme a norma NP EN 772-13 (IPQ, 2002a), procedendo-se ao cálculo do volume aparente,  $V_{g,u}$ . Com uma balança digital com precisão de 0,01 g, procedeu-se à determinação das diferentes massas, possibilitando assim a determinação da massa volúmica aparente,  $\rho_{g,u}$ , em  $\text{kg/dm}^3$ , dividindo a massa pelo volume. Foi considerado o mesmo método e metodologia de ensaio para os adobes de acordo com a norma DIN 18495 (NABau, 2013a).



Figura 3.7 - Medição de um tijolo com craveira manual

### 3.3.2 Condutibilidade térmica

O ensaio da condutibilidade térmica foi realizado com auxílio do equipamento ISOMET 2104 (Heat Transfer Analyser) e com a respetiva sonda de superfície API 210412 com 6 cm de diâmetro. O procedimento do ensaio teve por base o manual do equipamento, que define uma espessura mínima de 15 mm e uma face com um mínimo de 60 mm de lado. As unidades de alvenaria estiveram numa sala condicionadas à temperatura de  $25\pm 3$  °C e à humidade relativa de  $55\pm 5\%$ . Para que a energia não seja dissipada para a mesa de apoio, as unidades são colocadas em cima de uma placa de EPS, Figura 3.8. A sonda emite um fluxo térmico e o equipamento avalia o retorno do material em estudo. O aparelho é colocado na opção Thermal Conductivity e dá-se início ao ensaio. Os resultados da condutibilidade térmica,  $\lambda$ , são expressos em W/(m.K) arredondados a uma casa decimal. Para o ensaio de condutibilidade térmica foram feitas duas medições em cada unidade. O valor de cada tipo de tijolo corresponde à média das medições realizadas para cada classe em estudo.



Figura 3.8 - Ensaio de condutibilidade térmica

### 3.3.3 Resistência à abrasão

O ensaio de resistência à abrasão a seco foi realizado com base na norma DIN 18947 (NABau, 2013b), na lateral maior das unidades de alvenaria pois é a face que pode ficar exposta à abrasão quando em alvenarias. No entanto, como método de medição, não só se considerou a pesagem do material desagregado pela abrasão, como se procedeu à pesagem das unidades de alvenaria antes e após o ensaio. Este complemento à norma deve-se ao erro associado ao método referenciado na norma, uma vez que se torna difícil coletar todo o material solto durante o processo. Para o ensaio foram utilizadas duas escovas, uma com uma dureza intermédia (vermelha, com 65 mm de diâmetro) e outra dura (cinzenta com 68 mm de diâmetro), que podem ser observadas na Figura 3.9.



(a)



(b)

Figura 3.9 - Ensaio de resistência à abrasão a seco: (a) com escova intermédia e (b) com escova dura

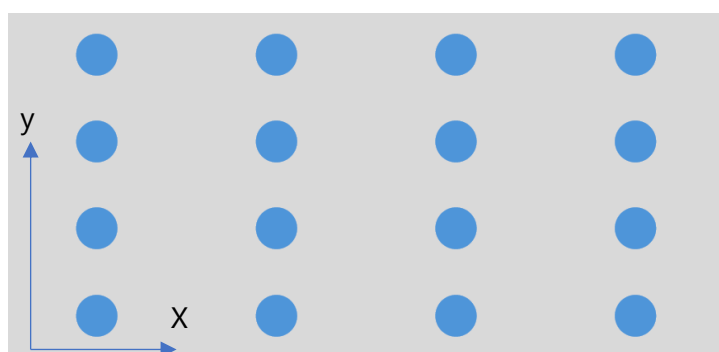
As unidades de alvenaria foram pesadas numa balança de precisão de 0,01 g. A escova a ser utilizada é colocada na vertical, num berbequim, e é colocado um peso no berbequim de 20 N, de modo a garantir uma força de contacto constante contra a superfície das unidades de alvenaria. O cordel é enrolado 20 vezes, para que, ao ser puxado, se realizem 20 rotações da escova, num processo que não deverá durar mais que 30 segundos (Figura 3.9).

### 3.3.4 Dureza superficial por durómetro Shore A

O procedimento deste ensaio baseia-se na norma ASTM D2240 (ASTM Standards, 2000). O ensaio foi realizado na superfície maior das unidades de alvenaria. Foi utilizado um durómetro Shore A (PCE Group), que na sua extremidade tem um pino. Este, ao ser pressionado contra o material em estudo, pela ação da mola sob carga, indica a resistência superficial (Malanho & Veiga, 2010).

As unidades estavam estabilizadas a uma temperatura de 25 °C e humidade relativa de 63%. Imediatamente antes da realização de ensaio, passou-se um pincel na superfície de cada

unidade de modo a eliminar qualquer material solto. Pressionou-se o durómetro e registou-se o valor obtido. Repetiu-se a medição num total de 16 pontos diferentes para cada unidade (Figura 3.10).



(a)



(b)

Figura 3.10 - Ensaio de dureza superficial: (a) locais de ensaio (16 pontos em cada unidade) e (b) ensaio em curso

### 3.3.5 Ensaio de erosão por gotejamento

O ensaio de erosão por gotejamento foi realizado de acordo com a NZS 4298 (NZS, 1998). O equipamento é preparado de modo que sejam derramados 100 ml de água gota-a-gota, a uma altura de 400 mm, durante um tempo de 20 a 60 minutos, dependendo da taxa adotada. A unidade de alvenaria a ser ensaiada deverá ser colocada de forma a ter uma inclinação de 27°, ou seja 1/2 (Figura 3.11). Para esta análise é utilizada uma craveira para a medição da profundidade da erosão. Podia também ter sido avaliada a perda de massa antes e após secagem depois do ensaio.



Figura 3.11 - Equipamento de gotejamento

### 3.3.6 Comportamento em exposição natural

De modo a tornar esta análise mais completa, surgiu o interesse de estudar o comportamento das unidades de alvenaria quando expostas a intempérie em exposição natural. Desta forma, para além de se estudar o comportamento das unidades quando expostas aos agentes atmosféricos, torna-se possível comparar resultados reais com os ensaios realizados em laboratório.

Para este ensaio procedeu-se à utilização de três adobes, para os quais era expectável baixa resistência, três tijolos de controlo e três tijolos com o maior teor de caroço de azeitona, que foram colocados na cobertura do Departamento de Engenharia Civil no início do mês de julho de 2023 (Figura 3.12), sobre uma paleta de madeira. Avaliou-se o estado das unidades ciclicamente por observação visual (ao fim de 30 dias) e por variação da massa. Como a massa depende da humidade existente nas unidades, por sua vez dependente das condições meteorológicas prévias à pesagem, a ocorrência de pluviosidade foi registada.

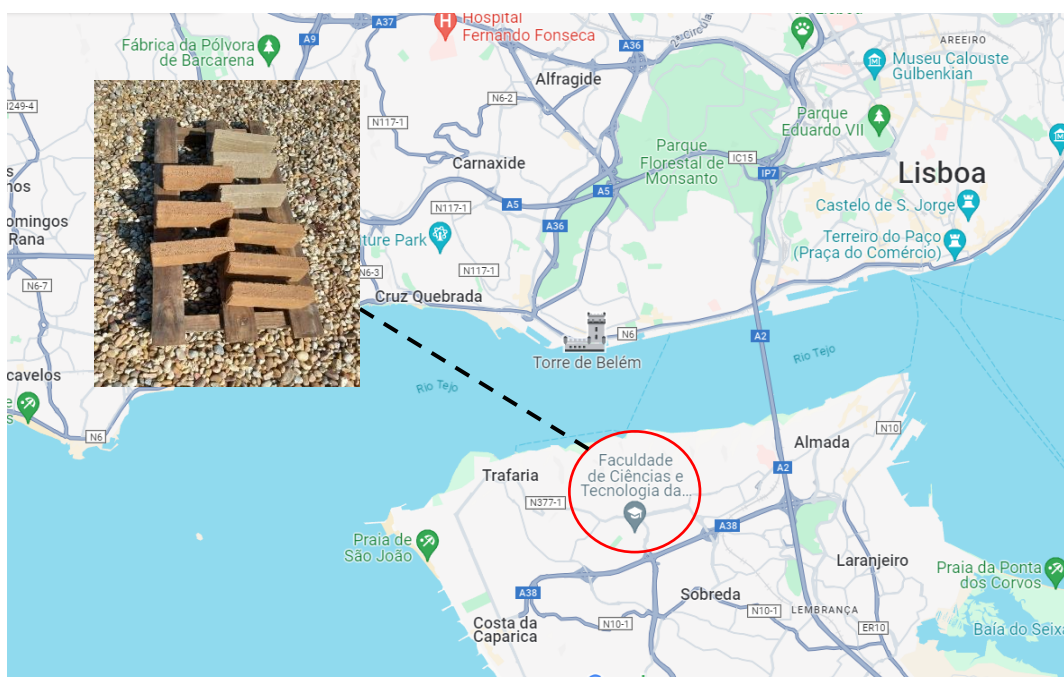


Figura 3.12 - Local da realização do ensaio ao comportamento em exposição natural e exposição das unidades de alvenaria, com a face lateral para cima

### 3.3.7 Absorção de água

O estudo da absorção de água em unidades de alvenaria é fundamental para compreender e avaliar as suas propriedades, e especialmente a sua viabilidade para aplicação no exterior sem revestimento. A absorção de água desempenha um papel crucial na durabilidade, resistência e desempenho das estruturas, influenciando diretamente sua capacidade de resistir a condições climáticas adversas e à deterioração ao longo do tempo. Ao investigar a absorção de água em diferentes tipos de unidades de alvenaria, foi possível identificar variações significativas que estão intrinsecamente ligadas às características dos materiais utilizados. Compreender essas diferenças é essencial para a seleção adequada de materiais durante o processo de construção, permitindo a escolha de unidades de alvenaria que atendam aos requisitos específicos de cada projeto.

#### 3.3.7.1 Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten

Tendo por base a norma EN 16302 (CEN, 2012), realizou-se o ensaio de absorção de água sob baixa pressão. Uma forma de estudar a permeabilidade de um material e a sua microfissuração poderá ser através da sua capacidade de absorção de água ao longo do tempo.

O ensaio é realizado com recurso à utilização dos tubos de Karsten, aplicados na lateral das unidades de alvenaria. A escolha da face para aplicação dos tubos de Karsten foi feita para que se possa simular contacto da água da chuva, uma vez que nas alvenarias as unidades são aplicadas com a base de assentamento em relação ao pavimento.

Foram medidas as áreas dos tubos de Karsten, que iriam contactar com as unidades, e de seguida foram fixados com o auxílio de uma plasticina que sela esta junção. Uma vez que os tubos de Karsten são graduados de 0 a 4 ml, foram completos com água até o valor de 4 ml. O cronometro foi ativado de modo a contabilizar-se a quantidade de água que cada unidade em estudo seria capaz de absorver. As leituras da quantidade de água absorvida são feitas aos 10, 20, 30, 50 e 60 segundos, e aos 2, 3, 4, 5 minutos sendo feitas novas leituras a cada 5 minutos até se terem passado 60 minutos após o início do ensaio. Ao longo das leituras os tubos de Karsten podem ter de ser cheios de novo, se chegarem à marca de 4 ml (Figura 3.9). Note-se que se a água estabilizar por mais de 15 minutos, num determinado volume, poderá terminar-se o ensaio nessa unidade não sendo necessário esperar os 60 minutos totais. De forma a avaliar a capacidade de absorção de água das unidades de alvenaria em estudo são determinados a quantidade de água absorvida, expressa em ml, e o coeficiente de absorção, expresso em  $kg/m^2min^{1/2}$  (Equação 3).



Figura 3.13 - Tubos de Karsten aplicados em unidades de alvenaria

$$ca = \frac{W_{m60} \times 10^{-3}}{\phi_m^2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \times \sqrt{60}} \quad (3)$$

Na equação,  $W_{m60}$  corresponde à quantidade média de água absorvida em 60 minutos (ml) e  $\phi_m$  corresponde ao diâmetro médio do tubo em contacto com a argamassa (mm).

### 3.3.7.2 Absorção de água por capilaridade

A norma EN 772-11 (CEN, 2011a) estabelece os métodos de ensaio necessários para a determinação da taxa de absorção de água para tijolos de barro vermelho. Torna possível deduzir o desempenho das unidades de alvenaria face à penetração de água em situações de exposição rápida, como chuvas intensas, ou por ascensão capilar a partir do terreno e ao longo da altura da parede. Outro fator de interesse é a forma como é feito transporte da água na sua estrutura. Este ensaio tem início com a medição das dimensões da face que será imersa, de acordo com a norma EN 772-16:2000/A2 (CEN, 2011b), e, consecutivamente, cálculo da área da face em estudo, a temperatura ambiente estável, aproximadamente  $20 \pm 3$  °C, e humidade relativa  $65 \pm 5\%$ . A primeira face de assentamento é imersa em água por  $60 \pm 2$  segundos, segundo a norma EN 771-1 (IPQ, 2016). O excedente de água é retirado, o tijolo é pesado numa balança com precisão 0.01 g, (Figura 3.14). É expectável que, quanto maior o teor do resíduo presente nos tijolos, maior será a capacidade de absorção de água, dado que existe poros com maior facilidade de acesso de água (de la Casa & Castro, 2014). O valor de absorção de água,  $M$  [ $\text{g}/\text{m}^2$ ] foi determinado através da relação entre as diferenças de massa nos tempos em estudo, pela área da base maior, menos rugosa (Equação 4). Foi ainda determinado o coeficiente de capilaridade [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{min}^{1/2})$ ] das amostras em estudo (Equação 5). Por fim, as unidades em estudo ficaram a secar a temperatura ambiente, para que se pudesse analisar a sua capacidade de secagem e eventual transporte e cristalização de sais solúveis. Para os adobes foi feito o mesmo procedimento tendo por base a norma DIN 18945 (NABau, 2013a).



Figura 3.14 - Tijolos após serem imersos 60±2 segundos

$$M = \frac{m_i - m_0}{S} \quad (4)$$

$$cc = \frac{Mi - M0}{\sqrt{ti - t0}} \quad (5)$$

Na Equação 4,  $m_i$  corresponde à massa da unidade de alvenaria no instante  $i$  [g],  $m_0$  à massa da unidade de alvenaria no instante 0 e  $S$  é a área da unidade de alvenaria em contato com a água [m<sup>2</sup>]. Na Equação 5,  $Mi$  corresponde à quantidade de água absorvida [kg/m<sup>2</sup>] até ao instante  $ti$  [min], e  $M0$  corresponde à quantidade de água absorvida [kg/m<sup>2</sup>] até ao instante  $t0$  [min].

### 3.3.7.3 Capacidade de secagem e sais, após secagem

Como mencionado no ponto 0, após uma face de cada unidade ter sido imersa por 60±2 segundos, foram colocados com a face maior seca sobre a bancada da mesma sala, à temperatura de 24±3 °C e humidade relativa de 57±2%. Até 24 h da realização do ensaio, para uma temperatura média diária de 24±3 °C, foi possível observar uma grande área superficial húmida. As unidades foram pesadas passadas 48, 72 e 96 horas, tempo a que se atingiu um valor de massa constante. Pela Equação 6 determinou-se o teor em água ao longo do tempo.

$$W_t = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100 \quad (6)$$

Na equação,  $m_i$  corresponde à massa da unidade de alvenaria no instante  $i$  [g] e  $m_0$  à massa da unidade de alvenaria seco [g].

Após o ensaio de capilaridade terminar todas as unidades de alvenaria foram deixadas na bancada da mesma sala a uma temperatura de  $26 \pm 3$  °C e humidade relativa de  $57 \pm 2\%$ . Com este procedimento pretende-se analisar, por observação visual, possíveis manifestações de sais na superfície das unidades em estudo, uma vez que existem situações em que os tijolos podem ter sais dissolvidos. Quando em contacto com água, estes sais podem dissolver-se e ser transportados, migrando até à superfície, durante o processo de secagem (dado que os tijolos não têm barreiras ao vapor), onde podem cristalizar sob forma de eflorescências. A presença dos sais provoca humedecimento das superfícies, pelo que pode ocorrer consequente deterioração superficial.

### 3.3.8 Adsorção e desadsorção de vapor de água

O ensaio de adsorção, feito com o intuito de avaliar a higroscopicidade das unidades de alvenaria, foi realizado adaptando o procedimento da norma alemã DIN 18947 (NABau, 2013b) para rebocos de argila. O ensaio de desadsorção, que não consta da norma DIN, foi realizado adaptando o procedimento descrito por Santos (2014). Para o ensaio de adsorção foi realizado o pré-condicionamento das unidades a  $50 \pm 5\%$  de humidade relativa e a  $23 \pm 2$  °C de temperatura durante tempo suficiente de modo que se alcance a massa constante (a variação da massa tem de ser menor do que 1% em duas pesagens consecutivas com um intervalo de 24 horas). Após ser alcançada massa constante, em todas as unidades em estudo, a câmara climática é ajustada para uma humidade relativa de 80% por 24 horas, durante as quais foram realizadas 5 pesagens: 1, 3, 6, 12 e 24 horas após o início do ensaio. Ao fim das 24 horas, é feita a uma leitura e a câmara é ajustada para uma humidade relativa de 50%, sendo as leituras feitas nos mesmos intervalos: ao fim de 1, 3, 6, 12 e 24 horas. A partir da medição das massas é possível determinar a capacidade de adsorção, à humidade relativa de 80%, e de desadsorção, à humidade relativa de 50%, de uma unidade. Com estes resultados é possível avaliar o contributo passivo que as unidades podem ter para o conforto higrotérmico no interior dos edifícios e tomar decisões em relação à potencialidade da sua utilização em certos ambientes (Santos, 2014). Materiais higroscópicos têm a capacidade de adsorver e libertar a humidade do ambiente ao seu redor, prevenindo assim a formação de condensação, cheiros a mofo

provocados por elevados níveis de humidade acumulados, permitindo obter um melhor conforto térmico e uma melhor qualidade de ar.

As unidades foram colocadas dentro da câmara climática ao cutelo (Figura 3.15). Foram organizadas de forma que apenas uma face lateral ficasse em contacto com a prateleira de suporte, por sua vez com aberturas. Os diferentes tipos de unidades foram dispersos pelas prateleiras da câmara para que nenhum resultado ficasse comprometido.

Os resultados são apresentados através de curvas de adsorção e desadsorção.



Figura 3.15 - Unidades de alvenaria na câmara climática



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo tem como função expor e analisar os resultados obtidos nos ensaios realizados. Os resultados são analisados entre as diferentes unidades do mesmo tipo, entre os diferentes tipos de unidades, através de comparação de resultados obtidos ao longo dos diversos ensaios e com resultados da literatura. Desta forma torna-se possível conhecer as propriedades das amostras estudadas e validar os resultados.

### 4.1 Massa volúmica aparente

O valor de massa volúmica aparente obtidos constam na Figura 4.1. O bloco de terra foi a unidade de alvenaria que apresentou um maior valor de massa volúmica,  $1,902 \pm 0,049$  kg/dm<sup>3</sup>, seguido do tijolo de controlo que apresentou uma massa volúmica de  $1,798 \pm 0,054$  kg/dm<sup>3</sup>, sendo que os restantes tijolos apresentam uma massa volúmica semelhantes, sendo, como seria expectável, o tijolo com maior teor de resíduo o que apresenta menor valor de massa volúmica  $1,46 \pm 0,03$  kg/dm<sup>3</sup>.

Os resultados obtidos eram os esperados e podem ser comparados com outros estudos onde a massa volúmica diminuiu com o aumento da introdução de material orgânico, como de fibras de oliveira a 4%, 6%, 8%, 12% (Liuzzi et al., 2018). Os resultados obtidos permitem classificar os tijolos como D2 segundo a norma NP EN 771-1 (IPQ, 2016), uma vez que a massa volúmica de cada unidade difere menos de 5% da medição de massa volúmica média. Segundo a DIN 18945 (NABau, 2013a) os adobes apresentam uma massa volúmica média compreendida no intervalo estipulado na referida norma.

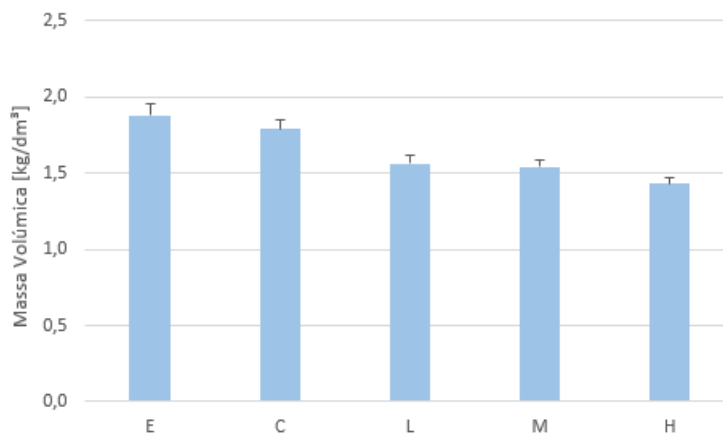


Figura 4.1 - Valores médios de cálculo da massa volúmica e respetivos desvios padrão

## 4.2 Condutibilidade térmica

Os resultados do ensaio de condutibilidade térmica encontram-se registados na Figura 4.2. As unidades que apresentaram maior condutibilidade térmica foram os blocos de terra,  $0,59 \pm 0,16$  W/(m.K). As unidades cozidas apresentam valores semelhantes, sendo o menor valor de condutibilidade térmica média o dos tijolos com maior teor de caroço de azeitona (H),  $0,37 \pm 0,19$  W/(m.K). Assim a relação entre a massa volúmica e a condutibilidade térmica é proporcional: quanto menor a massa volúmica, menor a capacidade térmica da unidade. No estudo de placas compostas com incorporação de resíduo de azeitona, quanto maior a quantidade de resíduo presente, para além de menor massa volúmica, menor o valor de condutibilidade térmica que apresentava (Pinto, 2020).

## 4.3 Resistência à abrasão

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à abrasão encontram-se registados na Figura 4.3 para a escova intermédia, e na Figura 4.4 para a escova dura. Os adobes apresentam, para a escova intermédia, uma perda de  $0,32 \pm 0,02$  g e para escova dura de  $5,45 \pm 0,14$  g. Os tijolos H para a escova intermédia apresentam uma perda de massa de  $0,30 \pm 0,02$  g e uma perda de  $4,28 \pm 0,18$  g para a escova dura. Já o tijolo de controlo é a unidade com maior capacidade de resistência à abrasão  $0,10 \pm 0,02$  g para a escova intermédia e  $1,75 \pm 0,10$  g para a escova dura.

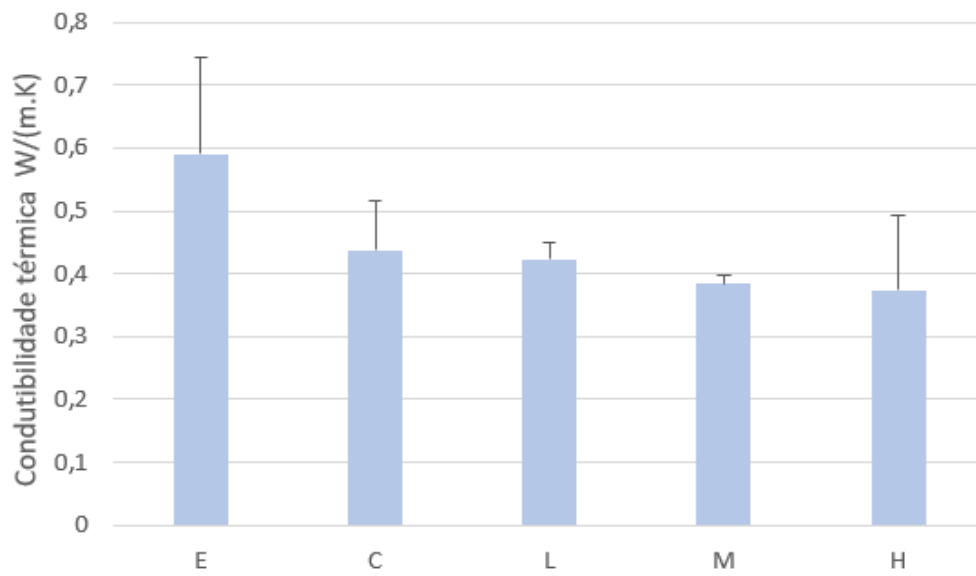


Figura 4.2 - Condutibilidade térmica média e desvio-padrão

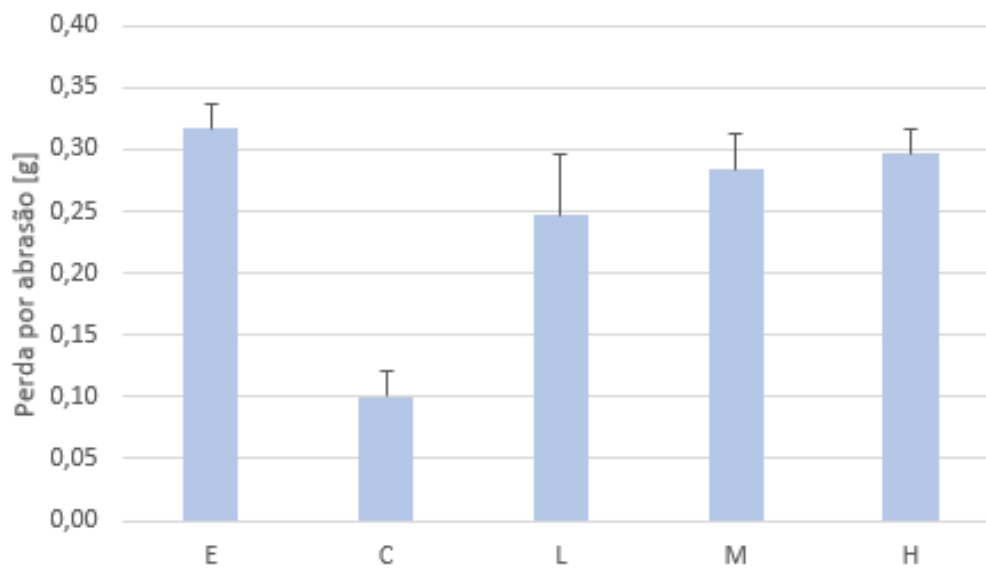


Figura 4.3 - Perda de massa média e desvio-padrão no ensaio com escova média

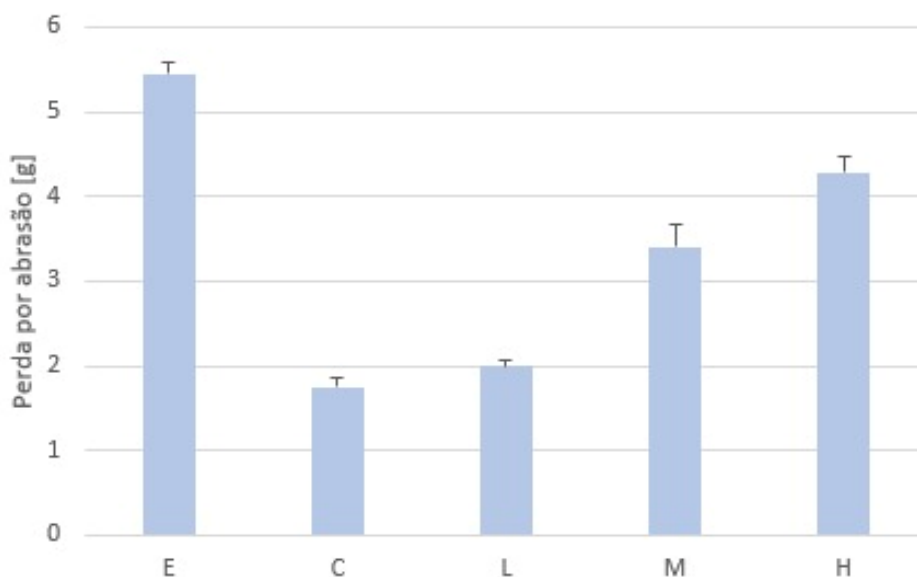


Figura 4.4 - Perda de massa média e desvio-padrão no ensaio com escova dura

#### 4.4 Dureza superficial por durómetro Shore A

O resultado deste ensaio resulta da média de 16 valores registados para cada unidade de alvenaria em estudo. Na Figura 4.5 constam os valores obtidos no ensaio e o respetivo desvio padrão. O tijolo de controlo cozida apresenta o maior valor, como era esperado, 84,31 +/- 3.63 Shore A. Os adobes apresentam maior dureza superficial do que os tijolos com resíduo de caroço de azeitona. Este resultado pode ser explicado pelo facto dos tijolos com resíduo de caroço de azeitona, no processo de cozedura, verem o resíduo ser carbonizado e o seu volume transformar-se em espaços vazios. Assim, quando estes tijolos são ensaiados com o durómetro é possível notar uma diminuição da sua resistência superficial em comparação às restantes unidades de controlo.

Os tijolos com caroço de azeitona apresentaram maiores perdas por abrasão, como foi analisado no capítulo 4.3, pelo que se pode relacionar essas perdas de finos, quando submetidas ao choque, aos resultados obtidos pelo durómetro, uma vez que, nesses casos, a energia do resalto será menor, uma vez que os poros são mais fundos.

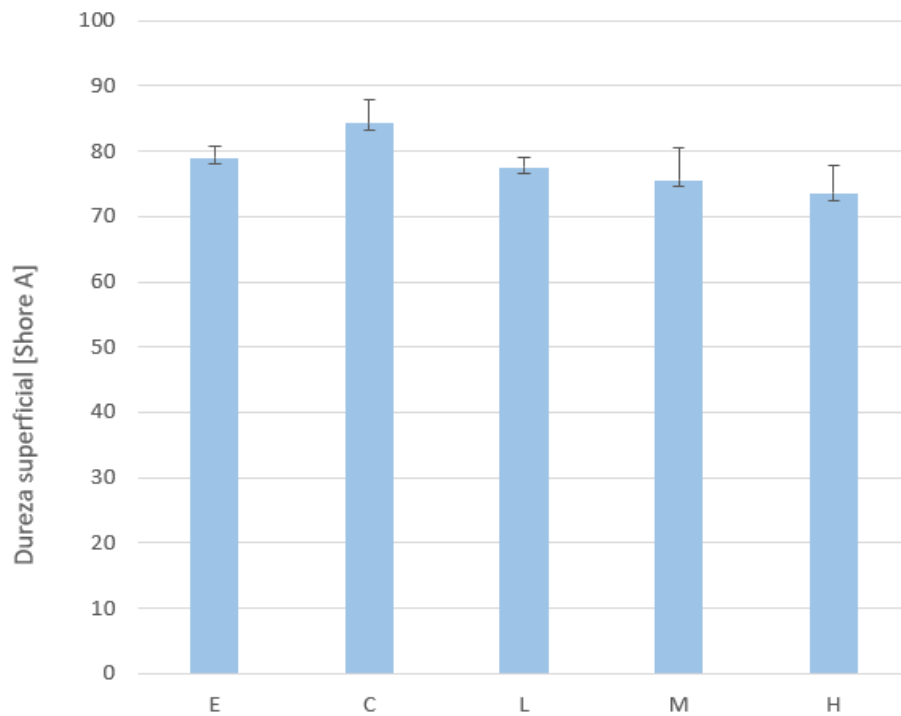


Figura 4.5 - Dureza superficial média e desvio padrão das unidades de alvenaria

## 4.5 Ensaio de erosão por gotejamento

Os resultados do ensaio de erosão por gotejamento encontram-se registados na (Tabela 4.1). Apenas os adobes apresentaram algum tipo de erosão. Ainda assim, uma vez que a profundidade de erosão é inferior a 15 mm, são considerados aptos face à ação em estudo (Figura 4.6). Para a medição da profundidade erodida foi utilizada uma craveira digital.

Tabela 4.1 - Resultados do ensaio de erosão por gotejamento

Unidades de Alvenaria	Profundidade erosão [mm]	Média [mm]	Classificação
E4	9,91	9,76	Apto
E5	8,45		Apto
E6	10,92		Apto
C4	0,00	0	Apto
C5	0,00		Apto
C6	0,00		Apto
L4	0,00	0	Apto
L5	0,00		Apto
L6	0,00		Apto
M1	0,00	0	Apto
M2	0,00		Apto
M3	0,00		Apto
H4	0,00	0	Apto
H5	0,00		Apto
H6	0,00		Apto

## 4.6 Comportamento em exposição natural

As análises das massas das unidades de alvenaria em estudo, quando submetidas às condições presentes na (Tabela 4.2), permitiram obter os resultados apresentados (Figura 4.7). A análise visual feita ao longo do ensaio permite concluir que os tijolos não apresentaram qualquer tipo de fissuração ou degradação significativa e que apenas perderam intensidade na sua coloração (Figura 4.8). Os adobes perderam a sua superfície lisa coesa, degradando-se ao toque em setembro de 2023; em novembro de 2023 desintegraram-se na totalidade. O resultado obtido para os adobes assemelha-se ao resultado obtido por Costa et al. (2014) onde adobes sem qualquer tipo de adição ou tratamento tiveram grandes perdas de massa. As unidades em estudo ao longo desta dissertação, com incorporação de resíduo de caroço de azeitona, quando analisado o seu comportamento em exposição natural este é semelhante aos resultados analisados por Sousa (2020) que fez uma junção de resultados obtidos por diferentes autores, que analisaram tijolos com incorporação de diferentes matérias orgânicas nos quais esta adição permitiu melhorar a sua longevidade, aumentando a sua resistência à exposição ambiental.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.6 - Ensaio em bloco de terra ao fim de: a) 1,5 minuto b) 10 minutos c) 15 minutos d) 25 minutos

Tabela 4.2 - Informações geográficas e meteorológicas do local da realização do ensaio ao comportamento em exposição natural (IPMA, 2024)

Zona	Coordenadas geográficas	Período de Exposição	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Precipitação Acumulada [mm]	Radiação solar média [kWh/m <sup>2</sup> ]
Urbana	38°39'36.1"N 9°12'25.7"W, Altitude: 109 m	julho - novembro 2023	29.5	6.6	250	4.9

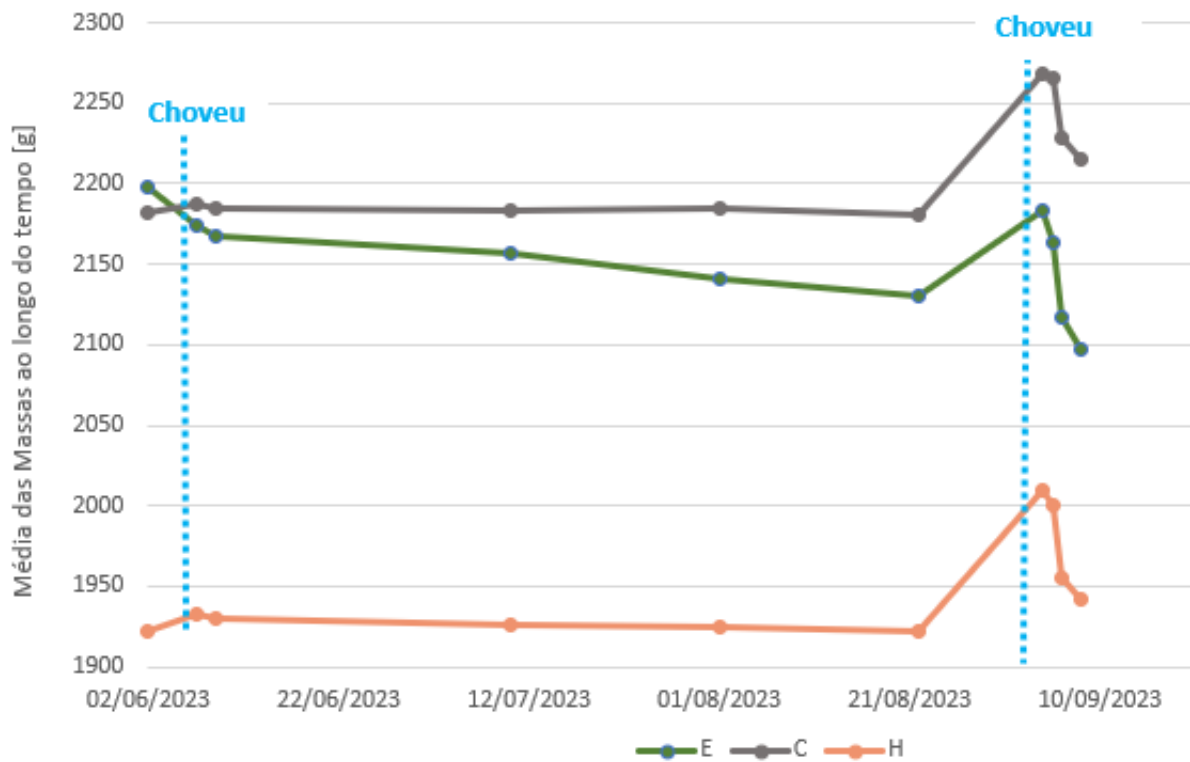


Figura 4.7 - Variação da massa dos adobes, tijolos de controlo e com mais elevado teor de resíduo, expostos na cobertura do DEC desde junho a setembro de 2023



(a)

(b)

Figura 4.8 - Análise visual das unidades em estudo: (a) observação em junho de 2023; (b) observação em novembro de 2023

## 4.7 Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten

Os valores médios de absorção de água absorvida em cada unidade de alvenaria constam na Figura 4.9. Os valores de coeficientes de absorção para cada unidade de alvenaria estão apresentados na (Tabela 4.3). Os adobes foram as unidades de alvenaria que apresentaram menor capacidade de absorção de água,  $197,33 \pm 3,11$  ml, resultado coincidente com Santos et al. (2019). Os tijolos de controlo e com menor quantidade de teor de caroço de azeitona, L, apresentam valores muito próximos. Os tijolos com uma quantidade média de caroço de azeitona, M, apresentam um valor semelhante aos tijolos de maior teor, H. Na Figura 4.10 é possível observar o estado dos adobes após o ensaio ter sido realizado, não tendo existido uma

degradação muito acentuada; apenas a área em contacto com a água perdeu ligeiramente a sua coesão.

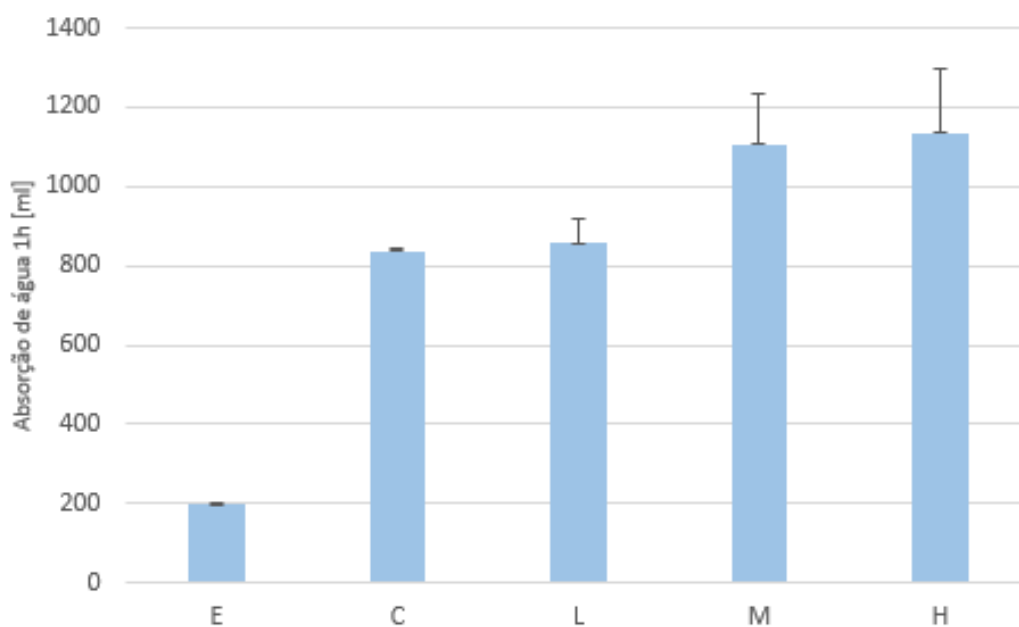


Figura 4.9 - Absorção de água em mililitros ao fim de 60 minutos e respetivo desvio padrão para cada tipo de unidade de alvenaria

Tabela 4.3 - Coeficientes de absorção de cada unidade de alvenaria e respetivo desvio padrão

ca [kg/m <sup>2</sup> vmin]	Adobe	Tijolo de controlo	Tijolo com me- nor teor de re- síduo (L)	Tijolo com teor médio de resíduo (M)	Tijolo com maior teor de resíduo (H)
Média	192,03	815,48	834,94	1076,92	1104,82
DP	3,11	6,67	61,33	126,22	163,78



Figura 4.10 - Estado dos adobes após realização do ensaio de absorção de água a baixa pressão

## 4.8 Absorção de água por capilaridade

As barras de absorção capilar obtidas no ensaio de capilaridade para cada tipo de tijolo estão representadas na Figura 4.11. Como se pode observar na Figura 4.11, os tijolos com maior percentagem de caroço de azeitona, apresentam um comportamento semelhante aos tijolos com adição média de caroço de azeitona, em relação à absorção de água,  $M$ :  $17.78 \pm 0.27 \text{ g/m}^2$  e  $17.32 \pm 0.70 \text{ g/m}^2$ , respetivamente. O mesmo acontece para e o coeficiente de capilaridade,  $cc$ :  $212,92 \pm 3.30 \text{ kg/m}^2 \sqrt{\text{min}}$  e  $207.47 \pm 8.55 \text{ kg/m}^2 \sqrt{\text{min}}$ , respetivamente. Os adobes, tal como expectável, assim que foram colocados em contacto com a água começaram a sofrer deterioração resultando numa taxa negativa, uma vez que a massa final foi inferior à inicial.

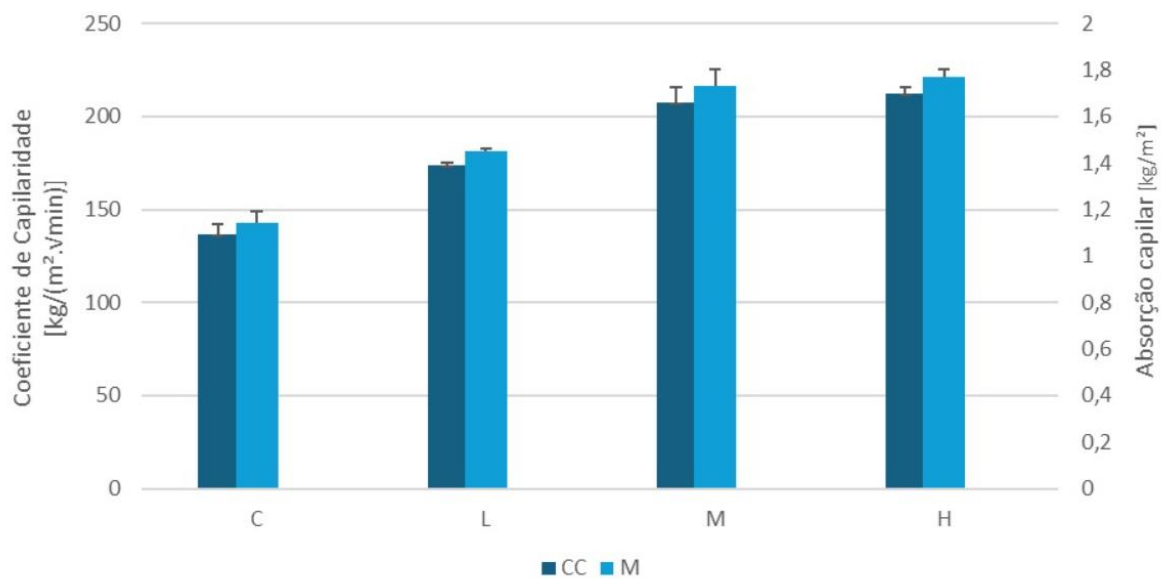


Figura 4.11 - Resultados ensaio de capilaridade

## 4.9 Capacidade de secagem e sais, após secagem

As barras representativas da capacidade de secagem de cada alvenaria encontram-se representadas na Figura 4.12. Dos tijolos analisados, o tijolo com maior percentagem de caroço de azeitona, apresenta a maior capacidade de absorção de água e a maior capacidade de secagem ao longo dos tempos em estudo.

Ao analisar a capacidade de secagem de cada unidade de alvenaria e a respetiva capacidade de absorção, é possível verificar que quanto maior a capacidade de absorção de água, também maior é a capacidade de secagem. Os adobes perderam material durante o ensaio de capilaridade, pelo que calcular a capacidade de secagem em relação à massa inicial significa calcular a diferença da água que evaporou, mas também do material que se perdeu, pelo que não está contemplado no gráfico seguinte.

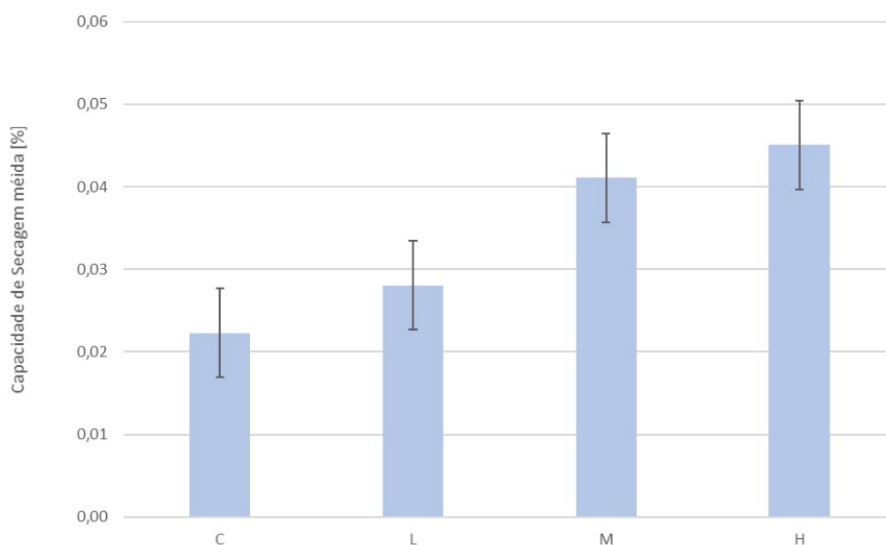


Figura 4.12 - Capacidade de secagem das unidades em estudo ao fim de 96 horas desde a realização do ensaio de capilaridade

Durante o processo de secagem não foi observada qualquer alteração na aparência das unidades, nem nos tijolos nem nos adobes, pelo que se conclui que não existe qualquer contaminação de sais.

## 4.10 Adsorção e desadsorção ao vapor de água

Na Figura 4.13 é possível observar as curvas médias para cada unidade de alvenaria para a adsorção e desadsorção. Da observação dos resultados é possível concluir que o adobe é a unidade com maior capacidade de adsorção e desadsorção  $1,3 \text{ g/m}^2$  e  $1 \text{ g/m}^2$ , respetivamente. O comportamento médio dos adobes deve-se principalmente à mineralogia da argila refletindo a sua alta higroscopicidade (Lima et al., 2020). Os tijolos apresentam comportamentos muito semelhantes entre si em relação a este fator.

Semelhante aos resultados obtidos por Liuzzi et al. (2017), foi possível verificar que quanto maior a quantidade de matéria orgânica presente nas amostras em estudo (no caso, argamassa com incorporação de fibras de oliveira), melhor as propriedades higroscópicas que são apresentadas. No entanto no caso dos tijolos, para algumas percentagens de adição, não existe grandes diferenças no aumento da sua capacidade.

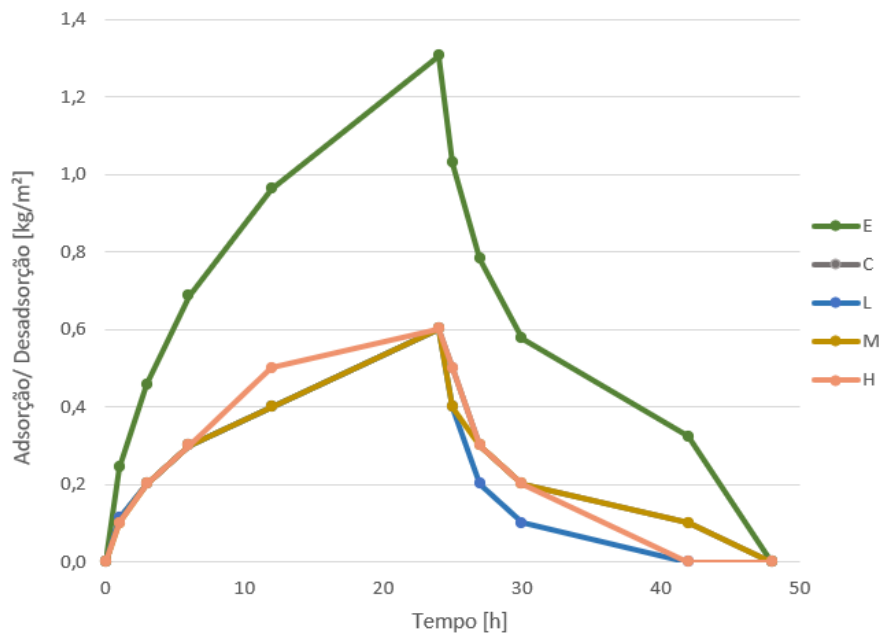


Figura 4.13 - Curvas de adsorção e desadsorção de vapor de água dos vários tipos de unidades de alvenaria

## 4.11 Discussão final

No presente subcapítulo é feita uma síntese dos resultados obtidos, expostos na Tabela 4.4. Através dessa tabela é possível analisar o comportamento de todas as unidades de alvenaria em relação ao tijolo de controlo. Verifica-se que a incorporação de caroço de azeitona nos tijolos maciços provoca uma diminuição da massa volúmica, sendo o melhor resultado apresentado pelos tijolos de maior teor do resíduo. Estes dados são possíveis de explicar uma vez que, quanto maior a presença de matéria orgânica, neste caso o caroço de azeitona, maior a quantidade que desaparece (é torrefeita) quando os tijolos são cozidos, tornando-os mais leves, uma vez que ficam mais porosos. Desta forma, existe uma diminuição da condutibilidade térmica, como confirmado através dos ensaios, pois o ar presente nos poros do tijolo torna-os menos condutores do calor. Ficam assim com melhor comportamento térmico, característica benéfica a todas as construções, uma vez que diminui as perdas de energia para o exterior. No entanto, a porosidade criada conduz a um aumento da absorção de água por capilaridade (o que por seu lado implicará um aumento da condutibilidade térmica quando os tijolos estão húmidos), embora também a uma maior capacidade de secagem da água absorvida. Os adobes apresentam os melhores resultados de adsorção e desadsorção. Essa propriedade, devida

à argila não cozida, promove o equilíbrio da humidade relativa, libertando-a quando o ambiente se encontra seco e captando-a quando se encontra mais húmido.

No que diz respeito às propriedades mecânicas, os tijolos com incorporação de caroço de azeitona apresentam significativamente um melhor desempenho nos ensaios desenvolvidos em comparação aos adobes, mas nem sempre melhores face ao tijolo de controlo, como seria expectável. Para o ensaio de resistência à abrasão os tijolos com caroço de azeitona apresentaram uma maior perda de massa face ao tijolo de controlo. Esta situação pode ser explicada devido à maior facilidade de perda de material devido a serem mais porosos. No ensaio de dureza superficial é o tijolo de controlo que apresenta os maiores resultados, visto apresentar menos poros superficiais e estes serem menos fundos, pelo que a energia medida pelo durómetro é superior. No entanto, para o ensaio de erosão por gotejamento e comportamento à exposição natural, os tijolos com adição do resíduo apresentaram resultados semelhantes aos tijolos de controlo. Assim apesar do tijolo de controlo apresentar melhores propriedades mecânicas, os tijolos com incorporação de caroço de azeitona apresentam valores bastante semelhantes, pelo que a utilização do resíduo (e o seu teor) não tem grande impacto na avaliação das suas capacidades mecânicas analisadas.

Posto isto, é possível concluir que, comparativamente com os adobes ou com o tijolo de controlo, os tijolos com caroço de azeitona apresentam no seu todo propriedades equivalentes ou até melhores para o uso na construção (e.g.: propriedades físico-mecânicas e higrotérmicas). No que diz respeito aos diferentes teores de caroço de azeitona, a amostra desenvolvida com maior teor é a que mais se destaca uma vez que, dum modo geral, apresenta melhores propriedades face a outros teores. O facto de escoar maiores quantidades de caroço de azeitona é também um fator a ter em conta, uma vez que reduz mais a utilização de recursos naturais finitos como também permite escoar resíduos tóxicos, sendo por isso uma enorme vantagem para o meio ambiente. No entanto, eventual redução que possa ocorrer na resistência à compressão pode condicionar aplicações estruturais que requeiram elevada resistência. Este não é o caso da maior parte das utilizações de tijolo na construção nova corrente.

Tabela 4.4 - Síntese qualitativa dos resultados obtidos para os ensaios realizados

	Tijolo de Controlo	Adobe	Tijolo com menor teor de resíduo (L)	Tijolo com médio teor de resíduo (M)	Tijolo com elevado teor de resíduo (H)
Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	1793,47	▲	▼	▼	▼
Condutibilidade térmica [W/(m.K)]	0,44	▲	▼	▼	▼
Resistência à abrasão-Escova intermédia [g]	0,10	▼	▼	▼	▼
Resistência à abrasão-Escova dura [g]	1,75	▼	▼	▼	▼
Dureza superficial por durómetro [graus Shore A]	84,31	▼	▼	▼	▼
Erosão por gotejamento [mm]	0	▼	=	=	=
Perda de massa por exposição natural [g]	-83,94	●	▼	▼	▼
Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten [ml]	838,00	▼	▲	▲	▲
Coefficiente de absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten [kg/m <sup>2</sup> √min]	815,48	▼	▲	▲	▲
Adsorção ao vapor de água ao fim de 24h [kg/m <sup>2</sup> ]	0,6	▲	▲	▲	▲
Tempo para desadsorção ao vapor de água [g/m <sup>2</sup> ]	48h	▲	▲	▲	▲
Coefficiente de capilaridade, 60s [kg/(m <sup>2</sup> √min)]	136,70	●	▲	▲	▲

	Tijolo de Controlo	Adobe	Tijolo com menor teor de resíduo (L)	Tijolo com médio teor de resíduo (M)	Tijolo com elevado teor de resíduo (H)
Coeficiente de secagem [kg/(m <sup>2</sup> .√min)]	95,80	●	▼	▼	▼

**Nota:** Setas verdes - Melhoria da característica em estudo face ao tijolo de controlo por aumento/diminuição; Setas vermelhas - Declínio da característica em estudo face ao tijolo de controlo por aumento/ diminuição; Seta cinzenta - Aumento/diminuição da característica não significativo; Circunferência negra - Impossibilidade de estudo do requisito por degradação da unidade em estudo; = - Igual comportamento face à unidade de controlo cozida; aumento/diminuição da característica não significativo.

## CONCLUSÕES

No presente capítulo apresentam-se considerações finais, definidas através dos resultados obtidos ao longo dos ensaios, relacionando-os entre si e validados através de comparações realizadas com trabalhos feitos por outros autores. São também apresentadas sugestões para trabalhos futuros, nomeadamente que ensaios podem ser realizados de forma a aumentar o conhecimento da incorporação do resíduo de caroço de azeitona em tijolos maciços e de adobes produzidos atualmente de forma tradicional.

### 5.1 Considerações finais

A presente dissertação teve início com uma contextualização do crescimento e desenvolvimento da indústria do azeite nos últimos tempos. Abordou-se ainda o crescimento populacional, e o aumento da pressão de produção de todas as indústrias, levando a maiores gastos energéticos e à geração de maiores quantidades de resíduos, sejam sólidos, líquidos ou gasosos. A gestão adequada desses resíduos torna-se um desafio, à medida que a sua quantidade aumenta, especialmente se os processos industriais não forem eficientes. Esse consumo tem impacto não só nos recursos naturais como também pode contribuir para a emissão de gases com efeitos de estufa.

A campanha experimental permitiu avaliar o comportamento da utilização de um dos resíduos provenientes da produção do azeite, no caso o caroço de azeitona, na incorporação de tijolos maciços com três teores diferentes, L (*Low waste brick*), M (*Medium waste brick*) e H (*High waste brick*), e ainda compará-los com adobes, produzidos de forma semelhante à dos tijolos de controlo mas sem cozedura. O estudo da viabilidade da utilização deste resíduo em tijolos maciços foi feita através de ensaios mecânico e térmicos. Todos os ensaios realizados tiveram por base normas europeias e procedimentos de ensaio para unidades de alvenaria cerâmicas (Tabela 3.6) e a norma alemã DIN18947 (NABau, 2013b) para os adobes.

Tendo em consideração os resultados obtidos e analisando-os no seu conjunto, conclui-se que a porosidade existente no tijolo com maior teor de caroço de azeitona confere-lhe

melhores requisitos funcionais. A presença do caroço de azeitona na mistura provoca uma diminuição da massa volúmica, devido à criação de espaços de ar criados durante o processo de cozedura, o que por sua vez irá contribuir para uma diminuição da condutibilidade térmica.

Comparativamente aos adobes, todos os tijolos apresentam uma capacidade higroscópica bastante inferior. Os tijolos apresentam entre si valores muito semelhantes de capacidade de absorver e de se libertar de água, independentemente da quantidade de incorporação de caroço de azeitona. O tijolo H, com maior teor de resíduo, apresenta uma capacidade higroscópica superior face aos tijolos C, L e M, de controlo e com mais baixo e intermédio teores de resíduo.

O facto dos tijolos com resíduo terem uma grande quantidade de espaços de ar comparativamente aos de controlo, reduz alguma da sua resistência superficial, uma vez que apresenta maior facilidade na perda de finos; no entanto, como apresenta poros pouco fundos, apresenta uma boa dureza superficial. Esta categoria de unidades foi estudada quando sujeita à exposição natural e apenas apresentou uma alteração na sua coloração, facto que pode ser explicado por alguns finos ricos em argila terem sido perdidos e uma fissuração muito ligeira, praticamente impercetível.

Posto isto, é possível concluir que, comparativamente com os tijolos de controlo em estudo, os tijolos com caroço de azeitona apresentam melhores propriedades para o uso na construção (e.g.: propriedades físicas, higroscópicas e mecânicas).

Os adobes não podem ser expostos ao ambiente exterior sem qualquer tipo de revestimento na sua superfície, como foi possível observar no ensaio de comportamento à exposição natural. No entanto apresentam características muito interessantes para usos em ambientes interiores, sobretudo devido às suas propriedades higroscópicas.

Uma vez que os tijolos com resíduo apresentam uma elevada absorção de água comparativamente ao de controlo, se colocados em ambiente exterior, a água neles incorporada irá aumentar a sua condutibilidade térmica. Desta forma a água facilita as trocas de energia, pelo que a resistência térmica, característica inversamente proporcional da condutibilidade térmica, irá diminuir. Menor resistência térmica implica maiores perdas de calor; logo, maiores consumos de energia serão necessários para manutenção do ambiente interior. Assim o uso dos tijolos com resíduo em ambiente exterior sem revestimento, embora durável, não contribui para a eficiência energética da parede em termos de conforto interior.

No que diz respeito aos diferentes teores de caroço de azeitona, a amostra desenvolvida com maior teor é a que mais se destaca, uma vez que, de um modo geral, apresenta melhores propriedades face aos outros teores. No entanto, ressalta-se o facto de não ter sido possível

realizar o ensaio de resistência à compressão. Assim para além de se ter obtido uma unidade de alvenaria que possibilita uma boa eficiência energética dos espaços, é produzida com uma diminuição das necessidades energéticas, pois não só se está a reduzir a utilização de recursos naturais finitos, como também permite escoar um resíduo tóxico para o planeta, sendo por isso uma solução que agrada a todos.

## 5.2 Trabalhos Futuros

Para aprofundar a pesquisa realizada nesta dissertação e aprofundar a compreensão das características estudadas, sugere-se a realização de ensaios complementares de modo a validar os resultados obtidos e investigar por completo a introdução de caroço de azeitona em tijolos maciços.

Sugere-se o ensaio de resistência à compressão, permeabilidade ao vapor de água, resistência ao fogo e ensaio à contaminação biológica.

Sugere-se ainda o estudo de teores superiores a 3(terra):1(carço) para tijolos maciços, como a possibilidade de incorporação de resíduos de caroço de azeitona em adobes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAYA-LETELIER, G., CONCHA-RIEDEL, J., ANTICO, F. C., VALDÉS, C., CÁCERES, G. (2018). Influence of natural fiber dosage and length on adobe mixes damage-mechanical behavior. *Construction and Building Materials*, 174, 645–655.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.151>
- ASTM Standards (2000). ASTM D2240-00 - Standard test method for rubber property – durometer hardness. West Conshohocken, United States
- ASTM Standards (2004). ASTM C 1498:04 - Standard test method for hygroscopic sorption isotherms of building materials. West Conshohocken, United States.
- BAIO DIAS, A. (2009). “Manual de Alvenaria de Tijolo”, APICER
- BÖHM, J., GOUVEIA, D. (2013). O grande livro de oliveira e do azeite: Portugal olícola. Dinalivro.  
<http://id.bnportugal.gov.pt/bib/bibnacional/1852138>
- BRITO, M. R., MARVILA, M. T., LINHARES, T., AZEVEDO, A. (2023). Evaluation of the properties of adobe blocks with clay and manure. *Buildings*, 13(3), 657–657.  
<https://doi.org/10.3390/buildings13030657>
- CEN (1998). EN 1015-1: 1998 - Methods of test for mortars for masonry. Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis). Brussels
- CEN (2011a). EN 772-11 - Methods of test for masonry units - Part 11: Determination of water absorption of aggregate concrete, autoclaved aerated concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry units. Brussels
- CEN (2011b). EN 772-16 - Methods of test for masonry units - Part 16: Determination of dimensions. Brussels
- CEN (2012). EN 16302 - Conservation of cultural heritage - Test methods - Measurement of water absorption by pipe method. Brussels

- CEN (2013). EN 16322 - Conservation of cultural heritage - Test methods - Determination of drying properties. Brussels
- CEN (2015). EN 772-1:2011+A1 - Method of test for masonry units - Part 1: Determination of compressive strength. Brussels
- CEN (2021). EN 772-21 - Methods of test for masonry units - Part 21: Determination of water absorption of clay and calcium silicate masonry units by cold water absorption. Brussels
- CHRAIBI, H., EL ABBASSI, F.-E., SAKAMI, S., KCHIKACH, A. (2022). Investigation on the use of co-products from olive oil industry in earth bricks. *Materials Today: Proceedings*, 58, 1044–1048. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.039>
- COLETTI, C., BRAGIÉ, E., MARIA CHIARA DALCONI, MAZZOLI, C., HEIN, A., MARITAN, L. (2023). A new brick-type using grape stalks waste from wine production as pore-agent. *Open Ceramics*, 14, 100365–100365. <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2023.100365>
- COSTA, H. N., PINHEIRO, L. T., CHARLYS, F., EDUARDO, A. (2014). Avaliação de tijolos de adobe com adição de cinzas e fibras do coco. *Encontro Nacional de Tecnologia Do Ambiente Construído*. <https://doi.org/10.17012/entac2014.55>
- DE LA CASA, J. A., CASTRO, E. (2014). Recycling of washed olive pomace ash for fired clay brick manufacturing. *Construction and Building Materials*, 61, 320–326. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.026>
- DJADOUF, S., CHELOUAH, N., TAHAKOURT, A. (2020). The influence of the addition of ground olive stone on the thermo-mechanical behavior of compressed earth blocks. *Matériaux & Techniques*, 108(2), 203. <https://doi.org/10.1051/mattech/2020023>
- EL HAMMOUTI, A., CHARAI, M., MEZRHAB, A., KARKRI, M. (2022). Fired and unfired clay bricks incorporating olive pomace: A comparative study. *Materials Today: Proceedings*, 60(1), 359-364. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.243>
- ELICHE-QUESADA, D., LEITE-COSTA, J. (2016). Use of bottom ash from olive pomace combustion in the production of eco-friendly fired clay bricks. *Waste Management*, 48, 323–333. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.042>
- ERLANDSSON, M., BORG, M. (2003). Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions, and operation services - today practice and development needs. *Building and Environment*, 38(7), 919–938. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(03\)00031-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(03)00031-3)
- GOMES, D. (2012). Construção sustentável em blocos de terra compactada. Tese de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal  
<https://hdl.handle.net/1822/29575>

- GONÇALVES, S. (2016). Blocos de terra comprimida com incorporação de outros materiais. Tese de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal <https://hdl.handle.net/1822/49454>
- ICONTEC (2004). NTC 5324: 2004 - Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo. Condiciones de entrega. Bogotá.
- INE (Instituto Nacional de Estatística) (2023). Campanha oleícola de 2022 é a quarta melhor de sempre, apesar da redução de 40% da produção de azeite - janeiro de 2023. PREVISÕES AGRÍCOLAS. [Online]. Disponível em: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_destaques&DESTAQUES-dest\\_boui=581118399&DESTAQUESmodo=2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUES-dest_boui=581118399&DESTAQUESmodo=2). [Acedido em 16 março 2024].
- IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera) (2024). <https://www.ipma.pt/pt/index.html> (acedido em 18 de fevereiro de 2024)
- IPQ (2000). NP EN 1097-3:2000 – Ensaios para determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Método para determinação da massa volúmica e dos vazios. Caparica.
- IPQ (2002). NP EN 772-13. Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 13: Determinação da massa volúmica real seca e da massa volúmica aparente seca de blocos para alvenaria (excepto blocos de pedra natural). Caparica
- IPQ (2002). NP EN 1097-5. Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 5: Determinação do teor de humidade por secagem em estufa ventilada. Caparica.
- IPQ (2016). NP EN 771-1+A1 - Especificações para unidades de alvenaria. Parte 1: Unidades cerâmicas (tijolos cerâmicos). Caparica
- KIKI, G. J. D., NSHIMIYIMANA, P., KOUCHADÉ, C., MESSAN, A., HOUNGAN, A. C., ANDRÉ, P. (2023). Physico-mechanical and durability performances of compressed earth blocks incorporating quackgrass straw: An alternative to fired clay. *Construction and Building Materials*, 403, 133064–133064. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133064>
- LA RUBIA-GARCÍA, M. D., YEBRA-RODRÍGUEZ, Á., ELICHE-QUESADA, D., CORPAS-IGLESIAS, F. A., LÓPEZ-GALINDO, A. (2012). Assessment of olive mill solid residue (pomace) as an additive in lightweight brick production. *Construction and Building Materials*, 36, 495–500. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.009>
- LIMA, J., FARIA, P., SILVA, A. S. (2020). Earth Plasters: The Influence of Clay Mineralogy in the Plasters' Properties. *International Journal of Architectural Heritage*, 14(7), 948–963. <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1727064>

- LIUZZI, S., RUBINO, C., STEFANIZZI, P., PETRELLA, A., BOGHETICH, A., CASAVOLA, C., PAPALETTERA, G. (2018). Hygrothermal properties of clayey plasters with olive fibers. *Construction and Building Materials*, 158, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.013>
- LÓPEZ GÓMEZ, M., CULTRONE, G. (2023). The Use of Expanded Polystyrene and Olive Stones in the Manufacture of Lightweight Bricks: Evaluation of Their Properties and Durability. *Materials*, 16(4), 1330. <https://doi.org/10.3390/ma16041330>
- MALANHO, S. VEIGA, R. (2010). – Análise do comportamento mecânico em laboratório e in situ de revestimentos pré-doseados de cimento. Congresso APFAC 2010 (CD).
- NABau (2024a). DIN 18945: 2013 - Earth blocks – Terms and definitions, requirements, test methods. Berlin
- NABau (2024b). DIN 18947 – Earth plasters – Terms and definitions, requirements, test methods. Berlin.
- NZS (New Zealand Standards) (2000). NZS 4298:1998/A1:2000 Materials and workmanship for earth buildings. – Apêndice E: Erosion test (Geelong method). Wellington, New Zealand.
- PINTO, F. (2020). Caracterização de resíduo de azeitona e de placas compósitas com esse resíduo para a construção. Tese de Mestrado, NOVA School of Science and Technology, Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal  
[https://run.unl.pt/bitstream/10362/10132/1/Ferreira\\_2013.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/10132/1/Ferreira_2013.pdf)
- Preceram - Indústrias de Construção, S.A. (2016). Tijolos Cerâmicos. O tijolo líder em Portugal. Pombal, Portugal
- RAMOS, L., STURM, T., LOURENÇO, P. B., CAMPOS-COSTA, A. (2015). Construir com blocos de terra compactada em países sísmicos. Seminário Paredes de Alvenaria, Lisboa
- ROIG, A., CAYUELA, M. L., SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. (2006). An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Management*, 26(9), 960–969. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.07.024>
- RUIZ, E. H., LUNA, J. A. M. (1983). Cartilla de pruebas de campo para la selección de tierras en la fabricación de Adobes. CONESCAL.
- SANTOS, T. (2014). Argamassa de terra para rebocos interiores. Ensaios de caracterização e influência da formulação. Tese de Mestrado, NOVA School of Science and Technology, Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal  
<http://hdl.handle.net/10362/13047>

- SANTOS, T., GOMES, R., FARIA, P. (2019). Assessment of natural aging and ecological surface treatments in earth renders. *Conservar Património*, 35, 31–44.  
<https://doi.org/10.14568/cp2019005>
- SCIANCELEPORE, V., DE STEFANO, G., PIACQUADIO, P. (2000). Effects of the cold percolation system on the quality of virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(11), 680–683.  
[https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200011\)102:11%3C680::aid-ejlt680%3E3.0.co;2-6](https://doi.org/10.1002/1438-9312(200011)102:11%3C680::aid-ejlt680%3E3.0.co;2-6)
- SOLÍS-GUZMÁN, J., MARRERO, M., RAMÍREZ-DE-ARELLANO, A. (2013). Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain). *Ecological Indicators*, 25, 239– 249.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.008>
- SOUSA, J. A. (2020). A importância dos tijolos ecológicos na construção sustentável. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, 32(1), 45-58.
- SUTCU, M., SAVAS, O., EMRE, Y., OSMAN, G. (2016). Effect of Olive Mill Waste Addition on the Properties of Porous Fired Clay Bricks Using Taguchi Method. *Journal of Environmental Management*, 181, 185–92. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.023>
- Telheiro de São Pedro (2023). - <https://telheirodesaopedro.pt/> (acedido em 15 de setembro de 2023)
- URBANO, D. (2015). Qual é a pegada ambiental de uma solução modular? Abordagens numa análise de caso. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal



## ANEXOS

### A.1. Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão não foi realizado uma vez que foi verificada uma avaria nas células de carga da máquina universal Zwick/Rowell do DEC. A resistência à compressão ( $\text{N/mm}^2$ ) pode ser determinada a partir do coeficiente entre a força máxima aplicada e a área de atuação da força, Equação 7.

$$\sigma_{\text{compressão}} = \frac{F_{\text{máx}}}{A} \quad (7)$$

Na equação,  $F_{\text{máx}}$  corresponde à carga máxima à compressão (N) e  $A$  à área da secção comprimida.

O ensaio de compressão, dependendo da forma de execução, pode traduzir vários resultados, sobretudo se o ensaio realizado contemplar unidades com e sem tratamento térmico, como seria o caso do ensaio que se iria realizar. Se o ensaio realizado tiver a mesma velocidade, pode ser verificada a deformação entre as unidades para a mesma velocidade, e analisar o estado de deformação de uma ou ambas; se a velocidade de aplicação da carga for diferente, pode ser analisado a resistência máxima à compressão da unidade cozida e qual a deformação do adobe ensaiado. A velocidade da realização do ensaio permite assistir de forma gradual ou repentina à deformação dos adobes: com menor velocidade, aparecimento gradual da fissuração e destacamentos; com maior velocidade, desintegração repentina da unidade. Os ensaios seriam feitos em unidades de alvenaria virgens (ainda não ensaiados), e noutras provenientes de outros ensaios, mecânicos e físicos, nomeadamente com contacto com água. Desta forma seria possível comparar resultados, e analisar se a eventual degradação promovida pelos ensaios anteriores têm alguma influência na resistência à compressão e se sim, quantificá-la.

Na literatura analisada tem sido notória uma diminuição da capacidade resistente com a incorporação de resíduos. Por exemplo como a incorporação de cinzas de bagaço foi possível observar uma diminuição da resistência à compressão com o aumento do teor incorporado (El Hammouti et al., 2022).

## A.2. Resultados intermédios obtidos nos diversos ensaios realizados

### Cálculo da massa volúmica para unidades E

E - Bloco de Terra							Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	
Provetes	Comprimento [cm]	Largura [cm]	Altura [cm]	Volume [cm <sup>3</sup> ]	Massa[g]	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Média	DP
E1	21,92	10,75	4,87	1147,57	2168,83	1889,94	1879,53	76,18
E2	21,93	10,76	5,23	1234,11	2221,37	1799,98		
E3	21,22	10,78	4,93	1127,75	2202,62	1953,12		
E4	21,93	10,84	5,01	1190,98	2243,63	1883,85		
E5	21,33	10,75	4,89	1121,26	2173,22	1938,19		
E6	21,84	10,93	5,04	1203,10	2217,95	1843,52		
E7	21,50	10,81	4,93	1145,81	2221,74	1939,02		
E8	21,81	10,77	5,21	1223,80	2233,46	1825,03		
E9	21,54	10,83	4,99	1164,06	2263,43	1944,43		
E10	21,48	10,82	5,70	1324,76	2239,85	1690,76		
E11	21,81	10,73	4,95	1158,41	2184,12	1885,45		
E12	21,35	10,84	5,00	1157,17	2269,29	1961,07		

### Cálculo da massa volúmica para unidades C

C - Controlo							Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	
Provetes	Comprimento [cm]	Largura [cm]	Altura [cm]	Volume [cm <sup>3</sup> ]	Massa[g]	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Média	DP
C1	21,56	10,72	5,16	1192,60	2164,26	1814,75	1793,47	58,41
C2	21,63	10,95	5,56	1316,88	2198,64	1669,59		
C3	21,67	10,82	5,34	1252,07	2182,15	1742,84		
C4	21,71	10,71	5,18	1204,42	2224,53	1846,97		
C5	21,34	11,10	5,11	1210,43	2261,94	1868,71		
C6	21,92	11,09	5,12	1244,64	2229,63	1791,39		
C7	21,84	11,12	5,21	1265,30	2233,97	1765,56		
C8	21,91	10,85	5,35	1271,82	2245,74	1765,77		
C9	21,83	11,04	5,05	1217,07	2274,12	1868,53		
C10	21,96	10,71	5,08	1194,77	2151,34	1800,63		

## Cálculo da massa volúmica para unidades L

LW - Low Waste Brick							Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	
Provetes	Comprimento [cm]	Largura [cm]	Altura [cm]	Volume [cm <sup>3</sup> ]	Massa[g]	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Média	DP
L1	22,22	11,25	5,12	1279,87	2056,34	1606,68	1563,07	55,95
L2	22,13	11,14	4,94	1217,85	1944,32	1596,52		
L3	22,53	11,39	5,24	1344,67	1977,44	1470,57		
L4	22,56	11,42	5,12	1319,09	1984,19	1504,21		
L5	22,14	11,13	4,96	1222,23	2006,62	1641,76		
L6	22,29	11,22	5,12	1280,48	2086,44	1629,42		
L7	22,26	11,56	5,16	1327,80	2043,91	1539,32		
L8	22,33	11,24	5,05	1267,50	1988,44	1568,79		
L9	22,24	11,36	5,35	1351,66	2008,81	1486,18		
L10	22,27	11,21	5,12	1278,19	2053,72	1606,74		
L11	22,31	10,99	5,28	1294,59	1998,26	1543,55		

## Cálculo da massa volúmica para unidades M

MW - Medium Waste Brick							Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	
Provetes	Comprimento [cm]	Largura [cm]	Altura [cm]	Volume [cm <sup>3</sup> ]	Massa[g]	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Média	DP
M1	22,51	11,22	4,89	1235,03	1994,93	1615,29	1542,98	44,63
M2	22,23	11,42	5,09	1292,18	1993,11	1542,44		
M3	22,54	11,28	4,75	1207,69	1937,82	1604,56		
M4	22,37	11,34	5,04	1278,53	1947,66	1523,36		
M5	22,14	11,24	5,1	1269,15	1971,21	1553,17		
M6	22,24	11,34	5,21	1313,97	1961,24	1492,61		
M7	22,26	11,42	5,25	1334,60	1977,73	1481,89		
M8	22,27	11,22	5,08	1269,34	1942,75	1530,52		

## Cálculo da massa volúmica para unidades H

HW - Hight Waste Brick							Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	
Provetes	Comprimento [cm]	Largura [cm]	Altura [cm]	Volume [cm <sup>3</sup> ]	Massa[g]	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Média	DP
H1	22,63	11,40	5,29	1364,72	1901,98	1393,67	1430,59	42,13
H2	22,47	11,32	5,23	1330,30	1959,73	1473,14		
H3	22,54	11,18	5,23	1317,95	1905,97	1446,17		
H4	22,23	11,25	5,12	1280,45	1875,70	1464,88		
H5	22,02	11,26	5,07	1257,08	1959,23	1457,34		
H6	22,53	11,33	5,18	1322,27	1831,99	1481,71		
H7	22,23	11,21	5,31	1323,24	1784,57	1348,63		
H8	22,45	11,32	5,31	1349,45	1891,67	1401,81		
H9	22,22	11,33	5,20	1309,11	1843,19	1407,97		

**Cálculo de resultados e Condições do ensaio de condutibilidade térmica:**

Unidades de Alvearia	Ponto A W/(m.K)	Temperatura [°C] e Humidade Relativa [%]	Ponto B W/(m.K)	Temperatura [°C] e Humidade Relativa [%]	Média W/(m.K)	DP	Média W/(m.K)	DP
E4	0,325	21,5°C e 69%	0,616	21,5°C e 67%	0,470	0,145	0,590	0,155
E5	0,793	21,5°C e 68%	0,459	21,7°C e 66%	0,626			
E6	0,693	21,7°C e 67%	0,655	21,5°C e 65%	0,674			
C4	0,449	21,8°C e 62%	0,533	21,5°C e 02%	0,491	0,042	0,437	0,077
C5	0,322	21,8°C e 62%	0,510	21,7°C e 62%	0,416			
C6	0,457	21,9°C e 62%	0,351	21,7°C e 62%	0,404			
L1	0,381	21,6°C e 60%	0,404	21,5°C e 58%	0,392	0,012	0,422	0,027
L2	0,379	21,5°C e 60%	0,409	21,4°C e 57%	0,394			
L3	0,399	21,5°C e 58%	0,330	19,5°C e 67%	0,365			
M1	0,358	20,6°C e 65%	0,366	21,4°C e 64%	0,362	0,004	0,384	0,015
M2	0,383	21,2°C e 64%	0,355	21,5°C e 64%	0,369			
M3	0,379	21,4°C e 64%	0,398	21,4°C e 65%	0,388			
H4	0,384	21,4°C e 65%	0,370	21,6°C e 71%	0,377	0,007	0,373	0,119
H5	0,378	21,4°C e 65%	0,687	21,5°C e 70%	0,533			
H6	0,353	21,4°C e 71%	0,363	21,5°C e 69%	0,358			





Resultado comparativo ao tempo anterior em gramas da massa de água adsorvida e desadsorvida:

Adsorção														
U.A	1h			3h			6h			12h			24h / 0h	
	HR=79,3%	Média	DP	HR=80%	Média	DP	HR=80%	Média	DP	HR=80%	Média	DP	HR=80%	
	ΔM 0h-1h (g)			ΔM 1h-3h (g)			ΔM 3h-6h (g)			ΔM 6h-12h (g)			ΔM 12h-24h (g)	
E4	2,0	1,9	0,1	1,7	1,7	0,0	1,8	1,8	0,0	2,3	2,2	0,1	2,8	
E5	1,8			1,7			1,8			2,2			2,7	
E6	2,0			1,7			1,8			2,1			2,7	
C4	0,8	0,9	0,1	0,6	0,7	0,1	0,8	0,9	0,0	0,9	1,0	0,1	1,4	
C5	0,9			0,8			0,9			1,1			1,3	
C6	1,0			0,8			0,9			1,1			1,3	
L1	0,9	0,9	0,1	0,8	0,9	0,1	0,8	0,8	0,1	0,8	0,9	0,1	1,1	
L2	0,9			1,0			0,7			1,1			1,0	
L3	1,0			0,9			1,0			0,9			1,1	
M1	1,1	1,1	0,1	0,7	0,8	0,1	1,0	0,9	0,1	1,0	1,0	0,1	1,2	
M2	1,1			0,8			0,8			0,9			1,1	
M3	1,0			0,9			0,9			1,1			1,0	
H4	1,1	1,0	0,1	0,9	1,0	0,1	0,9	0,9	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	
H5	0,9			1,1			0,9			1,1			0,9	
H6	0,9			1,0			1,0			1,0			1,2	

Desadsorção																	
Média	DP	1h		3h		6h		12h		24h		Média	DP				
		HR=51,5%	ΔM 0h-1h (g)	HR=50%	ΔM 1h-3h (g)	HR=50%	ΔM 3h-6h (g)	HR=50%	ΔM 6h-12h (g)	HR=50%	ΔM 12h-24h (g)						
2,7	0,1	-2,3	-2,2	0,1	-1,9	-2,0	0,1	-1,7	-1,6	0,0	-2,1	-2,0	0,1	-2,0	-2,3	0,2	
		-2,2			-2,1			-1,6			-1,6			-1,9			-2,4
		-2,1			-1,9			-1,6			-2,0			-2,4			
1,3	0,1	-1,1	-1,2	0,1	-1,1	-1,1	0,0	-0,8	-0,8	0,0	-0,9	-0,9	0,0	-0,4	-0,7	0,2	
		-1,2			-1,0			-0,8			-0,8			-0,9			-0,9
		-1,3			-1,1			-0,7			-1,0			-0,8			-0,8
1,1	0,1	-1,4	-1,4	0,0	-1,2	-1,2	0,0	-0,9	-0,9	0,0	-0,6	-0,9	0,2	-0,3	-0,2	0,1	
		-1,5			-1,3			-0,9			-0,9			-0,9			0,0
		-1,4			-1,2			-0,9			-0,9			-1,1			-0,3
1,1	0,1	-1,4	-1,4	0,0	-1,1	-1,1	0,0	-0,9	-0,9	0,0	-1,0	-0,9	0,1	-0,5	-0,5	0,0	
		-1,4			-1,2			-0,8			-0,8			-0,8			-0,5
		-1,4			-1,1			-0,9			-0,9			-1,0			-0,5
1,0	0,2	-1,1	-1,1	0,0	-1,5	-1,6	0,2	-0,9	-0,9	0,0	-0,9	-0,9	0,0	-0,5	-0,4	0,1	
		-1,2			-1,4			-0,9			-0,9			-0,9			-0,5
		-1,1			-1,9			-0,9			-0,9			-1,0			-0,2

Resultado de água absorvidos no tempo em estudo pelas diferentes unidades e coeficiente de absorção:

	Adicionado														
	10s	20s	30s	40s	50s	1	2	3	4	5	10	15	20	25	
E4	1	1	1	2	2	2	4	4	4	5	8	10	12	13	
E5	1	1	1	2	2	2	3	3	4	5	8	10	11	12	
E6	1	1	2	2	2	3	3	4	5	6	8	10	11	13	
C4	1	2	2	3	3	3	6	9	12	13	24	33	45	52	
C5	1	1	2	2	3	3	6	9	11	14	25	35	43	53	
C6	2	3	4	4	4	5	8	10	13	15	24	34	45	53	
L1	2	3	3	4	4	5	8	11	13	15	22	36	41	48	
L2	2	2	3	4	4	6	8	10	12	14	24	33	44	54	
L3	3	3	4	5	6	7	10	13	16	18	31	41	52	63	
M1	3	4	5	7	8	9	14	18	22	25	41	55	69	79	
M2	3	4	4	5	6	6	11	15	18	21	35	48	61	73	
M3	2	3	4	5	6	6	10	12	17	18	30	39	49	59	
H4	2	2	4	4	5	6	10	12	15	17	29	40	52	64	
H5	1	2	4	4	5	6	10	13	16	19	32	44	57	67	
H6	4	6	7	9	10	11	17	22	26	30	46	62	76	90	

30	35	40	45	50	55	60	$\Sigma$ absorvidos emlh[mL]
15	16	18	19	20	22	23	202
15	16	18	19	20	21	23	197
14	15	16	18	19	19	21	193
62	71	81	88	99	107	117	833
62	72	81	89	98	107	116	833
63	71	79	90	98	107	116	848
56	64	73	81	98	98	106	791
62	70	78	89	96	105	113	833
72	81	88	97	106	116	118	950
93	109	119	134	143	155	184	1296
83	93	103	114	122	133	145	1103
67	77	85	95	105	113	119	921
70	78	84	100	110	129	140	973
77	89	99	112	119	133	143	1052
102	115	126	138	150	162	172	1381

Média[m]	DP	Ø tubo cm		ca [kg/m <sup>3</sup> /min]	Média [mL]
		Média	DP		
8	7,56	197,33	3,68	192,03	8
8	7,53				
8	6,74				
24	39,00	838,00	7,07	815,48	24
25	39,00				
24	38,31				
22	35,32				
24	37,68	858,00	67,28	834,94	24
31	40,73				
41	57,14				
35	48,12	1106,67	153,12	1076,92	35
30	39,95				
29	44,40				
32	47,55	1135,33	176,68	1104,82	32
46	57,17				

### Valores intermédios no cálculo da capilaridade e do coeficiente de capilaridade

Capilaridade										
	Área (mm <sup>2</sup> )	Massa inicial(g)	Média(g)	Massa após 60s(g)	$\Delta$ (g)	Média(g)	DP	M(kg/m <sup>2</sup> )	Média M (kg/m <sup>2</sup> )	DP
E4	23772,12	2237,51	2203,81	2217,71	-19,80	-17,42	2,78	-0,83	-0,74	0,12
E5	22929,75	2164,31		2145,11	-19,20					
E6	23871,12	2209,60		2196,35	-13,25					
C1	23112,32	2227,39	2241,88	2252,07	24,68	26,69	1,34	1,07	1,14	0,05
C2	23684,85	2265,41		2293,94	28,53					
C3	23446,94	2232,84		2259,69	26,85					
L1	24997,5	2057,01	1992,97	2093,50	36,49	36,37	0,42	1,46	1,45	0,01
L2	24652,82	1944,91		1980,64	35,73					
L3	25661,67	1976,99		2013,87	36,88					
M1	25256,22	1994,75	1975,80	2040,07	45,32	43,84	1,77	1,79	1,73	0,07
M2	25386,66	1993,86		2035,04	41,18					
M3	25425,12	1938,79		1983,80	45,01					
H4	25008,75	1875,70	1889,60	1920,91	45,21	44,55	0,44	1,81	1,77	0,03
H5	24794,52	1960,52		2004,71	44,19					
H6	25526,49	1832,59		1876,83	44,24					

**Coefficiente de Capilaridade**

Área (m <sup>2</sup> )	Mi(kg/m <sup>2</sup> )	M0(kg/m <sup>2</sup> )	CC [kg/(m <sup>2</sup> ·vmin)]	Média CC [kg/(m <sup>2</sup> ·vmin)]	DP
0,02	93,29	94,12	-99,95	-89,01	14,94
0,02	93,55	94,39	-100,48		
0,02	92,01	92,56	-66,61		
0,02	97,44	96,37	128,14	136,70	5,71
0,02	96,85	95,65	144,55		
0,02	96,37	95,23	137,42		
0,02	83,75	82,29	175,17	173,85	0,93
0,02	80,34	78,89	173,92		
0,03	78,48	77,04	172,46		
0,03	80,77	78,98	215,33	207,47	8,55
0,03	80,16	78,54	194,65		
0,03	78,03	76,25	212,44		
0,03	76,81	75,00	216,93	212,92	3,30
0,02	80,85	79,07	213,87		
0,03	73,52	71,79	207,97		

**Valores intermédios da capacidade de secagem das unidades ao longo do tempo e resultados da secagem indireta aos sais, respetivamente:**

	Massa inicial (g)	Wt (%)	Média Wt (%)	DP	Massa após 48h (g)	Wt (%)	Média Wt (%)	DP	Massa após 72h (g)	Wt (%)	Média (%)	DP	Massa após 96h (g)	Wt (%)	Média Wt (%)	DP
E4	2237,51	-0,88	-0,79	0,13	2202,41	-1,57	-1,39	0,13	2200,71	-1,64	-1,46	0,14	2198,70	-1,73	-1,54	0,15
E5	2164,31	-0,89			2135,62	-1,33			2133,74	-1,41			2131,66	-1,51		
E6	2209,6	-0,60			2181,59	-1,27			2180,7	-1,31			2179,44	-1,36		
C4	2227,39	1,11	1,19	0,06	2229,09	0,08	0,08	0,01	2227,47	0,00	0,00	0,00	2227,45	0,00	0,00	0,00
C5	2265,41	1,26			2267,53	0,09			2265,47	0,00			2265,46	0,00		
C6	2232,84	1,20			2234,65	0,08			2232,91	0,00			2232,89	0,00		
L1	2057,01	1,77	1,83	0,04	2058,94	0,09	0,10	0,00	2057,1	0,00	0,01	0,00	2057,09	0,00	0,01	0,00
L2	1944,91	1,84			1946,81	0,10			1945,12	0,01			1945,06	0,01		
L3	1976,99	1,87			1978,9	0,10			1977,2	0,01			1977,21	0,01		
M1	1994,75	2,27	2,22	0,11	1997,25	0,13	0,14	0,01	1995,21	0,02	0,02	0,01	1995,20	0,02	0,01	0,01
M2	1993,86	2,07			1996,76	0,15			1994,08	0,01			1993,82	0,00		
M3	1938,79	2,32			1941,7	0,15			1939,03	0,01			1938,89	0,01		
H4	1875,70	2,41	2,36	0,07	1878,86	0,17	0,15	0,02	1876,1	0,02	0,02	0,00	1875,90	0,01	0,01	0,00
H5	1960,52	2,25			1963,05	0,13			1960,96	0,02			1960,77	0,01		
H6	1832,59	2,41			1835,44	0,16			1832,89	0,02			1832,67	0,00		

	Massa inicial (g)	Massa após 96h(g)	Δ	Média	DP	Massa após 144h (g)	Δ	Média	DP
E4	2237,51	2198,70	-0,02	-0,02	0,00	2198,00	-0,02	-0,02	0,00
E5	2164,31	2131,66	-0,02			2131,65	-0,02		
E6	2209,60	2179,44	-0,01			2179,42	-0,01		
C4	2227,39	2227,45	0,00	0,00	0,01	2227,44	0,00	0,00	0,00
C5	2265,41	2265,46	0,00			2265,46	0,00		
C6	2232,84	2232,89	0,00			2232,88	0,00		
L1	2057,01	2057,09	0,00	0,00	0,00	2057,09	0,00	0,00	0,00
L2	1944,91	1945,06	0,00			1945,05	0,00		
L3	1976,99	1977,21	0,00			1977,09	0,00		
M1	1994,75	1995,21	0,00	0,00	0,00	1995,11	0,00	0,00	0,00
M2	1993,86	1993,92	0,00			1993,91	0,00		
M3	1938,79	1938,89	0,00			1938,88	0,00		
H4	1875,70	1875,90	0,00	0,00	0,00	1875,82	0,00	0,00	0,00
H5	1960,52	1960,77	0,00			1960,76	0,00		
H6	1832,59	1832,67	0,00			1832,63	0,00		

### Resultados em massa do ensaio de exposição natural:

Unidade s de Alvenaria	choveu pouco					choveu									
	02/jun	07/jun	Δ	Média [g]	DP	09/jun	Δ	Média [g]	DP	10/jul	Δ	Média [g]	DP		
E1	2168,63	2146,63	-22,14	-23,30	0,78	2139,32	-6,77	-22,91	10,76	2132,54	-36,29	-41,33	7,76		
E2	2221,37	2198,07	-23,30			2183,08	-38,29			2168,39	-52,98				
E3	2202,62	2178,15	-24,47			2178,95	-23,67			2167,89	-34,73				
C1	2164,26	2171,42	7,16	5,24	1,28	2169,21	4,95	3,09	1,24	2167,97	3,71	2,10	1,08		
C2	2198,64	2203,29	4,65			2201,36	2,72			2199,74	1,10				
C3	2182,15	2186,05	3,90			2183,74	1,59			2183,63	1,48				
H1	1901,98	1916,17	14,19	10,21	2,65	1909,56	7,58	6,91	0,44	1905,11	3,13	3,62	0,64		
H2	1959,73	1966,11	6,38			1966,02	6,29			1964,32	4,59				
H3	1905,97	1916,03	10,06			1912,84	6,87			1909,12	3,15				

01/ago				22/ago				Choveu muito (antes da pesagem)				
04/set	Massa [g]	Δ	Média [g]	DP	Massa [g]	Δ	Média [g]	DP	Massa [g]	Δ	Média [g]	DP
2148,75	2116,11	-52,72	-56,49	4,26	2104,48	-64,35	-66,70	2,73	2151,53	-17,30	-14,66	3,01
	2158,48	-62,69			2150,57	-70,80			2204,83	-16,54		
	2167,53	3,27			2137,66	-64,96			2132,48	-10,14		
2185,55	2202,20	3,56	3,41	0,10	2163,98	-0,28	-0,36	0,18	2268,27	104,01	87,07	11,29
	2182,20	3,56			2198,01	-0,63			2283,58	84,94		
	2185,55	3,40			2181,99	-0,16			2254,42	72,27		
1908,28	1904,68	2,70	2,5833	0,18	1901,33	-0,65	-0,74	0,11	1988,16	86,18	87,67	3,55
	1962,47	2,74			1959,06	-0,67			2052,73	93,00		
	1908,28	2,31			1905,07	-0,90			1989,81	83,84		

05/set				06/set				08/set				
Massa [g]	Δ	Média [g]	DP	Massa [g]	Δ	Média [g]	DP	Massa [g]	Δ	Média [g]	DP	
2142,53	2147,18	-21,65	-33,95	17,42	2093,38	-75,45	-81,06	13,92	2072,6	-96,19	-99,86	11,20
	2201,25	-20,12			2155,58	-65,79			2134,6	-86,73		
	2268,58	104,32			2100,68	-101,94			2086	-116,67		
2249,56	2279,80	81,16	84,30	13,35	2211,00	46,74	46,52	0,60	2197,4	33,13	32,94	0,21
	2273,80	81,16			2244,26	45,62			2231,3	32,63		
	2249,56	67,41			2229,36	47,21			2215,2	33,07		
1980,01	1978,93	76,95	77,62	2,83	1936,23	34,25	33,05	2,26	1922	19,99	19,30	1,19
	2041,60	81,87			1994,97	35,24			1980,1	20,40		
	1980,01	74,04			1935,62	29,65			1923,5	17,51		



2 de junho de 2023



7 de junho de 2023



9 de junho de 2023



10 de julho de 2023



1 de agosto de 2023



22 de agosto de 2023



4 de setembro de 2023



5 de setembro de 2023



6 de setembro de 2023



8 de setembro de 2023



8 de novembro de 2023



## Resultados do ensaio de dureza superficial:

Unidades de Alveanria	Medições																Σ16 [graus Shore A]	Média [graus Shore A]	DP
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
E4	65	73	83	95	56	80	81	82	81	71	85	83	72	69	70	77	76,44	78,98	1,80
E5	90	81	79	90	80	85	67	70	70	80	61	90	92	72	90	90	80,44		
E6	75	70	90	85	91	82	80	62	72	82	78	82	90	83	82	77	80,06		
C4	81	76	84	83	89	81	90	84	92	83	94	91	84	90	74	79	84,69	84,31	3,63
C5	77	82	92	82	87	89	85	57	73	73	77	78	81	90	73	79	79,69		
C6	92	82	86	89	91	96	88	95	91	89	76	85	89	89	86	93	88,56		
L1	60	74	79	87	63	79	78	94	60	72	86	81	85	86	89	86	78,69	77,56	1,38
L2	65	75	79	81	66	73	72	86	62	84	90	81	86	86	85	83	78,38		
L3	62	72	78	85	60	73	71	79	60	70	83	86	82	85	83	81	75,63		
M1	92	89	78	80	94	82	77	92	86	92	90	52	81	86	42	90	81,44	75,52	4,95
M2	55	48	85	10	85	75	12	82	80	90	86	80	65	82	95	79	69,31		
M3	84	84	89	39	25	87	90	89	55	91	93	85	82	75	79	66	75,81		
H4	80	78	75	32	76	83	95	85	90	91	91	82	6	28	92	5	68,06	73,52	4,25
H5	90	80	71	45	75	92	79	55	89	96	92	91	35	94	14	87	74,06		
H6	91	82	91	85	91	94	85	92	85	19	90	88	82	35	95	50	78,44		

## Resistência à abrasão a seco escova intermedia e escova de aço, respetivamente:

Resistência à abrasão a seco									
Unidade s de Alveanri	Massa inicial (g)	m1-Escova intermédia(g)	Δ (g)	Média (g)	DP	m2-Escova de aço (g)	Δ (g)	Média (g)	DP
E4	2200,71	2200,37	0,34	0,32	0,02	2195,11	5,26	5,45	0,14
E5	2133,74	2133,44	0,3			2127,85	5,59		
E6	2180,70	2180,39	0,31			2174,89	5,50		
C4	2227,27	2227,19	0,08	0,10	0,02	2225,44	1,75	1,75	0,10
C5	2265,47	2265,34	0,13			2263,72	1,62		
C6	2230,71	2230,62	0,09			2228,75	1,87		
L1	2057,01	2056,81	0,20	0,25	0,05	2054,91	1,90	2,00	0,08
L2	1945,12	1944,81	0,31			1942,71	2,10		
L3	1977,20	1976,97	0,23			1974,98	1,99		
M1	1995,21	1994,95	0,26	0,28	0,03	1991,17	3,78	3,40	0,27
M2	1994,08	1993,76	0,32			1990,52	3,24		
M3	1939,03	1938,76	0,27			1935,57	3,19		
H4	1875,74	1875,46	0,28	0,30	0,02	1871,25	4,21	4,28	0,18
H5	1960,96	1960,64	0,32			1956,54	4,10		
H6	1832,89	1832,6	0,29			1828,07	4,53		





2024 SARA OLIVEIRA

EFEITO DE CAROÇO DE AZEITONA NAS CARACTERÍSTICAS DE TIJOLO MACIÇO E COMPARAÇÃO COM ADOBE