



Universidade de Aveiro

Ano 2021

**FRANCISCO INÁCIO
FILHO DOS REIS
CORSINO**

**ENSAIOS EXPERIMENTAIS DE CARACTERIZAÇÃO
DE ADOBE**



Universidade de Aveiro

Ano 2021

**FRANCISCO INÁCIO
FILHO DOS REIS
CORSINO**

**ENSAIOS EXPERIMENTAIS DE CARACTERIZAÇÃO
DE ADOBE**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Aníbal Guimarães da Costa, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação científica da Doutora Alice Tavares, Investigadora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof.^a Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues

Professora Auxiliar c/ Agregação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Paulo Sousa Costa de Miranda Guedes

Professor Associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa

Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Aníbal da Costa, agradeço a disponibilidade e todos os ensinamentos que foram muito importantes ao longo da realização desta dissertação.

À coorientadora, Doutora Alice Tavares, o agradecimento pela disponibilidade demonstrada, pela partilha de conhecimentos e ajuda na resolução de problemas que foram aparecendo ao longo da dissertação. Ao coorientador, Engenheiro Jorge Fonseca, o agradecimento também pela disponibilidade e pela ajuda fornecida mais uma vez muito obrigado por tudo.

Aos meus pais, irmãos, namorada e todas as famílias e colegas timorenses, pelo apoio e ajuda constante, que se revelou fulcral e que me ajudaram a atingir os objetivos pretendidos.

Aos meus amigos Albino da Costa, Nuno Valente, João Capão, Diego Mendes, Lucas Rodrigues, Rui Pinto, Tiago Cunha, Cátia, Eva e Chanio que conheci ao longo da vida académica em Aveiro, um agradecimento pelas múltiplas experiências que vivenciámos juntos.

Muito obrigado por tudo meu Deus e Irmão Jesus

palavras-chave

adobe, ensaios mecânicos, absorção capilar, dissolução ácida, granulométrica, ultrassons.

resumo

Na região Aveiro, a construção em adobe foi uma técnica muito utilizada até ao final da primeira metade do século XX. Muitos dos edifícios existentes na cidade de Aveiro ainda são em adobe.

Estes estudos têm como objetivo entender melhor as características do adobe através de ensaios laboratoriais, nomeadamente: mecânicos, absorção capilar, dissolução ácida, granulometria e ultrassons.

Keywords

Adobe, Mechanical tests, capillary absorption, acid dissolution, granulometry, ultrasounds.

Abstract

In Aveiro region, adobe construction was a widely used technique until the end of the first half of the 20th century.

This study aims to better understand the characteristics of adobe blocks through laboratory tests, namely: mechanical, capillary absorption, acid dissolution, granulometry and ultrasounds (Pundit).

Índice

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivo.....	1
1.3	Estrutura da dissertação.....	2
2	ESTADO DE ARTE	5
2.1	Técnicas de construção de alvenaria de adobe.....	5
2.2	Exposição de alguns estudos técnicos já realizados.....	7
2.3	O adobe em Aveiro	17
3	RECOLHA DE AMOSTRA, PREPARAÇÃO DOS PROVETES	19
3.1	Objetivo do estudo	19
3.2	recolha dos adobes	19
4	DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS	23
4.1	Análise A Granulométrica.....	23
4.2	DISSOLUÇÃO ÁCIDA	25
4.3	ULTRA SONS (PUNDIT).....	27
4.4	ENSAIOS DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE.....	29
4.5	RESISTÊNCIA MECÂNICA	32
4.5.1	Compressão seca e saturada	32
4.5.2	Ensaio cíclico em compressão.....	33
4.5.3	Flexão	34
5	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS ENSAIOS.....	37
5.1	NOMENCLATURA DOS PROVETES	37
5.2	Ensaio experimentais de caraterização de adobe	39
5.2.1	Análise granulométrica	39
5.2.2	Dissolução ácida.....	47

5.2.3	Velocidade de propagação de Ultrassons (Pundit).....	48
5.2.4	Absorção por Capilaridade.....	61
5.2.5	Ensaio de flexão e compressão em paralelos.....	74
5.2.6	Ensaio de Compressão Simples.....	80
6	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTO FUTUROS.....	93
6.1	CONCLUSÕES.....	93
6.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	94

Índice de Figuras

Figura 1 – Ferramentas utilizadas no fabrico de blocos de adobe.....	6
Figura 2 – Adobe em tijolo (Pet, 2019).....	6
Figura 3 - Observa-se a mistura de areia, cal e fibras de palha num molde de madeira com as dimensões do bloco de adobe e a disposição de adobes para secar ao ar livre (Araújo, 2004).....	7
Figura 4 – Gráfico de relação da força aplicada na parede no plano com o deslocamento de topo medido, à esquerda e à direita	9
Figura 5 - Gráfico da correlação entre o modulo de elasticidade e de resistência à compressão simples.	13
Figura 6 - Gráfico da correlação entre o módulo de elasticidade e de resistência à tração	13
Figura 7 - Curvas de absorção capilar dos provetes de argamassa imersos parcialmente na solução aquosa cloreto de sódio (Azevedo, 2013).....	15
Figura 8 - Curvas de absorção capilar dos provetes de argamassa imerso parcialmente em água (Azevedo, 2013).....	15
Figura 9 - Curvas de absorção capilar dos provetes de argamassa imersos parcialmente na solução aquosa de sulfato de sódio (Azevedo, 2013).....	16
Figura 10 - Os provetes de adobe que estavam no laboratorio do departamento engenharia civil da universidade de Aveiro.....	20
Figura 11 - Processo de corte dos adobes existentes.....	20
Figura 12 - Provetes de adobes em forma de cubos e paralelogramas	21
Figura 13 - Peneiros da serie ASTM utilizados na peneiração dos agregados.....	24
Figura 14 - Os aparelhos e utensílios	25
Figura 15 - Agregada mistura com HCl em cima do fogão.....	26
Figura 16 - Aparelho de Pundit	28
Figura 17 - Provetes dentro da estufa ventilada	29
Figura 18 - Ensaio de absorção por capilaridade a decorrer dentro de um tabuleiro plástico e com um temporizador.....	30
Figura 19 - Cálculo do coeficiente de AC e B.....	31
Figura 20 - a) Ensaio de compressão de provete L1_fc_dry_3, b) Ensaio de compressão com dimensão 16 x 4 x 4 cm ³	33
Figura 21 - Ensaio de compressão de provete L2_cyclic	34

Figura 22 - – a) Ensaio de flexão com dimensão 16 x 4 x 4 cm ³ , b) Ensaio de flexão com dimensão 28 x 7 x 7 cm ³	36
Figura 23 - Procedimento para a caracterização da granulometria: a) determina de adobe, b) peneiração (ASTM)	39
Figura 24 - Curvas de todas as granulometrias	47
Figura 25 - Ensaio de flexao do provete L2_fxk_2.....	74
Figura 26 - Gráfico dos ensaios de flexão	75
Figura 27 - Ensaio de compressão de um dos provetes de adobe.....	76
Figura 28 - grafico dos ensaios de compressão	77
Figura 29 - Procedimento do ensaio: a) e b) configuração do ensaio da flexão, c) Aspeto geral da rotura por flexão.....	79
Figura 30 - Instalação do ensaio de compressão	81
Figura 31 - Curvas médias da compressão secos	82
Figura 32 - Curvas medias da compressão saturada.....	84
Figura 33 - Curvas médias da compressão fc_H ₂ O.....	85
Figura 34 - Curvas médias da compressão fc_NaCl	85
Figura 35 - Curvas médias da compressão fc_Na ₂ SO ₄	86
Figura 36 - Ensaio cíclico de provete L8.....	87
Figura 37 - Curvas da compressão cíclico.....	88
Figura 38 – Correlação Linear entre Modulo elasticidade e fc_NaCl.....	89
Figura 39 – Correlação Exponencial entre fc_dry e fc_NaCl	89
Figura 40 – Correlação logarítmica entre cap. H ₂ O e cap. Na ₂ SO ₄	90
Figura 41 – Correlação polinomial entre fc_dry e fc_NaCl.....	90
Figura 42 – Correlação De potência entre fc_dry e fc_NaCl	91

Índice de Tabela

Tabela 1 – Resultado médio dos ensaios de compressão simples sobre os provetes das casas e muros	10
Tabela 2 – Resultado dos ensaios de absorção e de penetração capilar	11
Tabela 3 – Resultado médios obtidos dos ensaios de compressão simples e de compressão diametral dos provetes de adobe	12
Tabela 4 - Valores médios da tensão de compressão nos provetes cúbicos de adobe (Sarrico 2014)...	14
Tabela 5 - Coeficiente de capilaridade dos provetes de argamassa, imerso parcialmente em Água, Cloreto de Sódio e Sulfato de Sódio (Azevedo 2013).....	16
Tabela 6 - Nome dos lotes	37
Tabela 7 - Síntese dos provetes preparados dos adobes para cada ensaio.....	38
Tabela 8 - Distribuição granulometria obtida após a peneiração do agregado L1a.....	39
Tabela 9 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L1b.....	40
Tabela 10 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L2.....	40
Tabela 11 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L3.....	41
Tabela 12 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L4.....	41
Tabela 13 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L5a.....	42
Tabela 14 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L5b.....	42
Tabela 15 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L6.....	43
Tabela 16 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L7.....	43
Tabela 17 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L8.....	44
Tabela 18 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L9.....	44
Tabela 19 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L10a.....	45
Tabela 20 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L10b.....	45
Tabela 21 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L11.....	46
Tabela 22 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração do agregado L12.....	46
Tabela 23 - Resultados dos ensaios de dissolução ácida.....	48
Tabela 24 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe Lote1.....	49
Tabela 25 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 2.....	50

Tabela 26 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo elasticidade dos provetes de adobe lote 3	51
Tabela 27 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo elasticidade dos provetes de adobe lote 4.	52
Tabela 28 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo elasticidade dos provetes de adobe lote 5.	53
Tabela 29 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo elasticidade dos provetes de adobe lote 6.	54
Tabela 30 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo elasticidade dos provetes de adobe lote 7.	55
Tabela 31 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo elasticidade dos provetes de adobe lote 8.	56
Tabela 32 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo elasticidade dos provetes de adobe lote 9.	57
Tabela 33 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo elasticidade dos provetes de adobe lote 10.	58
Tabela 34 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo elasticidade dos provetes de adobe lote 11.	59
Tabela 35 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo elasticidade dos provetes de adobe lote 12.	60
Tabela 36 - Resultados das curvas de absorção capilar com água (H ₂ O).....	62
Tabela 37 - Resultados médios das curvas de absorção capilar com água (H ₂ O)	65
Tabela 38 - Resultados das curvas de absorção capilar com cloreto de sódio (NaCl)	66
Tabela 39 - – Resultados médios das curvas de absorção capilar com Cloreto de Sódio (NaCl)	69
Tabela 40 - Resultados das curvas de absorção capilar com Sulfato de Sódio (Na ₂ SO ₄)	70
Tabela 41 - resultados médios das curvas de absorção capilar com Sulfato de Sódio (Na ₂ SO ₄)	73
Tabela 42 - Resultados médios da tensão de flexão	74
Tabela 43 - Resultados médios da tensão de compressão dos provetes de adobe.	76
Tabela 44 - Valores das tensões de flexão dos provetes de adobe.	79
Tabela 45 - Valores da tensão de compressão nos provetes.....	81
Tabela 46 - Valores da tensão de compressão cíclicos.....	87

Lista de Símbolos e Abreviatura

σ – Tensão

ρ – Densidade da água

B - Coeficiente de penetração capilar

C - Coeficiente de absorção de água por capilaridade

m_r – Massa do filtro com resíduo

m_o – Massa do filtro

m_a – Massa de amostra

Ed - Módulo de elasticidade em MPa

V - Velocidade de propagação do som em km/s.

M_w – Massa molar da água

M – Massa do provete no instante

M_o – Massa seca do provete

S – Área da base do provete em contacto com água/solução

F – Carga aplicada em N

l – Distância entre os suportes inferiores em mm

b – Largura do provete em mm

d – Altura do provete em mm

AC - Coeficiente de absorção de água capilar, em $\text{g/m}^2 \cdot \text{sec}^{1/2}$;

mm – Milímetro

MPa - Mega Pascal

δ - Coeficiente de Poisson

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

O adobe é um dos materiais de construção mais antigos da Arquitetura vernácula, composto por terra crua, água e fibras naturais, tendo sido utilizado por civilizações no Egipto e Mesopotâmia. A utilização do adobe encontra-se disseminada por diversas partes do mundo. A terra ideal para fabricar o adobe tem de ter 15% a 30% de argila para poder dar uma boa liga, pois quando se usa terra com muita argila o bloco pode sofrer retrações e rachar e quando se usa pouca argila o bloco não fica com coesão suficiente e pode desagregar.

O adobe é um bloco com a forma de um paralelepípedo que foi muito utilizado na construção civil até meados do século XX. Foi uma das primeiras invenções do homem e amplamente usada ao longo dos tempos para construir edifícios. Na sua evolução o homem continuou a experimentar pela prática e a investigar para melhorar a características destes materiais no sentido de encontrar matérias-primas mais eficientes na produção de blocos de adobe. Assim, os adobes não desapareceram da vida quotidiana humana em várias regiões no mundo e ainda hoje se utilizam estas matérias para a construção civil.

Em Portugal existem, essencialmente, dois tipos de adobe, o adobe de terra (só com terra, água e eventualmente palha) e o outro tipo é o adobe de cal que é muito utilizado na região centro de Portugal. A caracterização mecânica dos blocos de adobe é um conhecimento fundamental no apoio à realização de projetos de reabilitação e reforço deste tipo de alvenaria resistente (Varum et al, 2006).

1.2 OBJETIVO

Esta dissertação tem como objetivo estudar algumas propriedades do adobe através de uma pesquisa e ensaios efetuados no laboratório. Deste modo, pretende-se verificar a composição e as características físicas e mecânicas dos adobes. Os objetivos específicos do estudo são a realização de ensaios que permitam conhecer o seguinte:

-
- Conhecer granulometrias, percentagem de ligante e agregado, resistência à compressão e flexão, módulos de elasticidade, de adobes retirados de edifícios da região Centro de Portugal;
 - Analisar a forma como diferentes tipos de adobes se comportam à ação da água por capilaridade;
 - Analisar o impacto na resistência dos adobes dos sais presentes na água na absorção por capilaridade;
 - Conhecer quais os efeitos na resistência à compressão dos adobes quando se faz variar determinadas características, como seja o facto de o provete estar seco (dry) ou saturado (sat); provetes que tinham sido ensaiados à capilaridade: com água (H₂O), cloreto de sódio (NaCl), sulfato de sódio (Na₂SO₄). Para além disso foram realizados ensaios cíclicos:
 - Fc_dry
 - Fc_sat
 - Fc_Cap_H₂O
 - Fc_Cap_NaCl
 - Fc_Cap_Na₂SO₄
 - Cíclico

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação divide-se em seis capítulos, sendo o presente capítulo uma introdução ao tema em estudo, onde se enquadra o tema, os objetivos e se apresenta a estrutura destes documentos.

No segundo capítulo, aborda-se o estado da arte, descrevem-se as campanhas experimentais realizadas “in situ” e em laboratório, sintetizando-se a informação de alguns estudos de investigação já realizados e também se apresentam técnicas de construção de alvenaria de adobe.

No terceiro capítulo apresentam-se os objetivos de estudo e descreve-se a recolha de amostras e a preparação dos provetes nas suas várias dimensões.

No quarto capítulo apresenta-se os tipos de ensaios, descrevem-se os procedimentos dos ensaios realizados sobre o adobe: (i) Análise a Granulométrica, (ii) Dissolução Ácida, (iii) Ultrassons (Pundit), (iv) Absorção por Capilaridade e (v) Resistência mecânica (compressão seca, saturada e flexão).

No quinto capítulo são descritos e analisados os resultados de todos os ensaios, assim como apresentados os gráficos de Tensão vs Extensão resultantes das leituras dos sensores aplicados. Estes resultados foram corrigidos com o programa Origin.

No sexto e último capítulo apresentam-se as conclusões relativamente ao caso de estudo, sendo também sugeridas algumas propostas para desenvolvimentos futuros.

Por fim são apresentados os anexos, nos quais se encontram os mapas de danos detalhados, tais como as tabelas de resultados dos ensaios de adobe e fotografias dos mesmos.

2 ESTADO DE ARTE

Neste capítulo será apresentada a recolha de informação de estudos sobre o adobe para permitir um melhor enquadramento para o trabalho realizado.

2.1 TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE ALVENARIA DE ADOBE

Dentro do contexto mundial, a importância da utilização da terra como material de construção demonstra uma importante relevância dentro dos contextos social, patrimonial e arquitetónico.

No fabrico dos blocos de adobe as ferramentas podem variar consoante a função e tamanho dos blocos. Atualmente, para encontrar este tipo de ferramenta é difícil, porque praticamente já não existem exemplares utilizados no fabrico de adobes, contudo, alguns museus mantêm o interesse em preservar este tipo de utensílios. O fabrico dos blocos de adobe exige diversos tipos de ferramentas para escavar, compactar, moldar, para a cofragem, entre outras funções consoante a tarefa pretendida.

A terra era escavada manualmente com uma enxada, até profundidade abaixo da terra vegetal e terra apropriada, depois procedia-se ao peneiramento da terra, de modo a eliminar paus ou pedras, e assim, facilitar a posterior homogeneização e mistura dos materiais entre agregados e ligante (a cal), de modo a garantir a qualidade dos adobes. A mistura e amassadura também era normalmente executada manualmente com uma enxada. A argamassa era cuidadosamente traçada de modo a obter uma mistura consistente e trabalhável para se proceder ao enchimento dos moldes.

À medida, que se enchiam os moldes, os blocos eram compactados manualmente através de um maço tipo “pilão”, repetindo a sequência até preencher o molde. O excesso para além do molde era removido com uma simples colher de pedreiro.

Na produção de adobes, as ferramentas utilizadas eram simples, mas duráveis e executavam várias funções (Oliveira Brasil, 2016).



Figura 1 – Ferramentas utilizadas no fabrico de blocos de adobe
(Oliveira Brasil, 2016)

O adobe é composto por argila, areia, água e também outros componentes naturais que são utilizados em blocos crus. Geralmente são utilizados em alvenaria, muros, barreiras e nas construções. Os blocos de adobe são produzidos praticamente sem dispêndio de energia (Figura 2) uma vez que não necessitam de serem cozidos como sucede com os tijolos



Figura 2 – Adobe em tijolo (Pet, 2019)

cerâmicos, uma vez que são obtidos no próprio terreno da obra e moldados em formas de madeira com as mãos ou com utensílios. Além disso, a argila é uma excelente reguladora de humidade, derivado da sua elevada capilaridade e os blocos são também isolantes térmicos e acústicos, gerando uma economia de energia para os moradores de edifícios de adobe.

Depois de preparada a mistura, de areia, cal e/ou fibras, esta é colocada em moldes de madeira, Figura 3, comprimida através de apiloamento e nivelada manualmente com uma superfície plana, retirado o molde para secarem. A secagem dos blocos de adobe prontos

para a cura ao ar, durante 4 semanas ou mais, tempo durante o qual são rodados para permitirem uma secagem uniforme em todas as faces (Araujo, 2004).



Figura 3 - Observa-se a mistura de areia, cal e fibras de palha num molde de madeira com as dimensões do bloco de adobe e a disposição de adobes para secar ao ar livre (Araújo, 2004)

2.2 EXPOSIÇÃO DE ALGUNS ESTUDOS TÉCNICOS JÁ REALIZADOS

Em Portugal existem muitos estudos que foram realizados para determinar as características mecânicas e físicas dos adobes, sendo que parte desses estudos se apresentam na forma de dissertações de mestrado. A grande maioria desses estudos são realizados por docentes e alunos da Universidade de Aveiro, que pelo facto de se encontrar na região de Aveiro onde mais predomina a construção em adobe, foca grande parte dos seus estudos nesta técnica de construção de alvenarias em adobe.

(Varum et al, 2006) desenvolveram um estudo sobre as características do adobe obtidas a partir de ensaios sobre amostras de blocos de adobe, ensaios sobre argamassa de junta e reboco e sobre muretes. Estas amostras foram retiradas de várias casas e muros de modo que os valores obtidos fossem o mais representativos possível das construções existentes. Foram recolhidas as amostras de adobe com carotes cilíndricos e com um diâmetro entre 70 e 90 milímetro e altura igual ao dobro do diâmetro. Foram realizados ensaios de compressão simples com o fim de determinar a resistência mecânica do adobe. Nesse estudo pode verificar-se que as amostras da casa 5 e casa 10 sobre os carotes de adobe mostrou o resultado médio do módulo de elasticidade de 392MPa, da resistência à compressão de 2,07MPa e da deformação para a resistência máxima de 0,012 mm/mm.

Os ensaios de compressão de argamassas de assentamento foram obtidos sob a forma de provetes com uma dimensão de 4 x 4 cm e com uma espessura semelhante à da junta de assentamento. Na construção dos muretes foi formulada uma argamassa em laboratório em que a cal foi usada como ligante, para que a argamassa fosse o mais semelhante possível às argamassas utilizadas nas construções. Esta argamassa foi realizada sob a forma de prismas com dimensões de 4 x 4 x 16 cm³ que foram ensaiados inicialmente à flexão e com as duas metades resultantes foram ensaiados à compressão simples. O valor médio da resistência à compressão das argamassas formuladas foi de 1,42MPa, sendo que os valores médios das argamassas recolhidas foram semelhantes, com a diferença de terem uma maior variabilidade. (Varum et al, 2006)

Relativamente aos muretes, foram realizados os ensaios do módulo de elasticidade transversal e a resistência ao corte para cada série de murete ensaiada cerca de 1/10 dos correspondentes módulos de elasticidade e resistência á compressão avaliados nos ensaios de compressão perpendicular às juntas, obtiveram-se os resultados médios de murete da casa 5 e murete da casa 10, os resultados do módulo elasticidade é 179MPa, resistência compressão é 1,08MPa, e resistência ao corte é 0,115MPa, (Varum et al, 2006).

Com este resultado deste estudo, deduz-se que existe uma correlação entre as resistências de compressão perpendicular à argamassa de assentamento dos muretes e a resistência à compressão simples dos blocos de adobe. Também se concluiu que nos ensaios de corte, nos muretes constituídos por adobe com resistência mais baixa também se adquiriram valores de resistência ao corte mais baixos. Os valores do módulo de elasticidade transversal e da resistência ao corte são 10% dos valores do módulo de elasticidade e da resistência à compressão dos ensaios de compressão perpendicular às juntas, (Varum et al, 2006).

Em 2008, Pereira (Pereira, 2008), realizou ensaios cíclicos numa parede de uma construção em estudo, no plano e fora do plano, tendo sido executados, numa primeira fase, ensaios cíclicos semi-destrutivos no plano e na segunda fase, os ensaios cíclicos destrutivos fora do plano, impondo-se forças controladas e registando-se os correspondentes valores de deslocamento em vários pontos da parede. Na figura 4 representa-se o gráfico que relaciona a força aplicada na parede no plano com o deslocamento de topo medido, à esquerda e à direita.

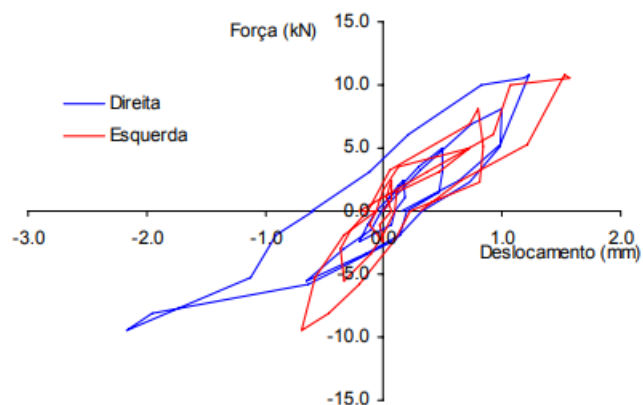


Figura 4 – Gráfico de relação da força aplicada na parede no plano com o deslocamento de topo medido, à esquerda e à direita

Da análise dos resultados dos ensaios apresentados nos gráficos anteriores observa-se que a força horizontal máxima aplicada na parede foi de 10.7kN. Não se elevou a carga a um nível superior, até à rotura, para que fosse possível realizar um segundo ensaio cíclico fora do plano. Da análise dos gráficos que relacionam os deslocamentos no topo da parede (à esquerda e à direita) com a força aplicada e a evolução da energia dissipada, pode-se verificar diferenças significativas, devido ao comportamento não simétrico da parede. Contudo, ambos apresentam a mesma tendência. De uma forma global, e apesar das diferenças na evolução força-deslocamento, a rigidez inicial medida em ambas as faces da parede é semelhante. No gráfico representado, relaciona-se a força aplicada à parede do plano com o deslocamento medido no topo. A força máxima aplicada na parede foi de 0,69kN, sendo um nível de força muito baixo comparado com a força horizontal aplicada no plano que foi 10,7kN.

Em 2009, Martins (Martins, 2009) realizou uma análise granulométrica de agregados que foram extraídos de blocos de adobe originários de alvenarias existentes na região de Aveiro, tendo como base técnica a especificação *NP 1379 (1376)* (Varum, 2008). Após a análise granulométrica, foram retirados provetes cilíndricos de adobe dos blocos, tendo essas carotes sido ensaiadas à compressão simples de acordo com a norma *RILEM CPC4* (RILEM, 1991) e algumas delas foram também ensaiadas à compressão diametral segundo o *RILEM CPC6* (RILEM, 1994). Estes ensaios de compressão foram realizados com níveis de humidade dos provetes diferentes, desde a saturação até à humidade de equilíbrio. Foram

realizados também ensaios de absorção de água com a finalidade de se determinar os coeficientes de absorção e de penetração capilar de acordo com o *RILEM CPC4* (RILEM, 1991)) e também o *prEN 15801* (Standard, 2008) e da capacidade de absorção total de água. Por último foi realizado um ensaio de compressão simples à argamassa de reboco do adobe. Relativamente à análise granulométrica, foram peneiradas as amostras selecionadas do adobe de 3 muros e de uma casa, sendo que, o resultado mostrou que os adobes provenientes da casa foram classificados como areia média (com granulometria predominante entre 0,2 mm e 0,6 mm) e os três muros foram classificadas como areias grossas (com granulometria predominante entre 0,6 mm e 2,0 mm). Os agregados ensaiados demonstraram ser constituídos quase exclusivamente por areias, com uma fração fina silto-argilosa muito reduzido ou mesmo inexistente.

Com os resultados obtidos, os agregados das amostras revelaram corresponder a terras sem aptidão própria para serem utilizadas isoladamente, sem correção, como material de construção na produção de adobes, apresentando uma percentagem de siltes e argilas muito reduzida face ao teor de agregados, constituídos fundamentalmente por areia. Segundo o diagrama triangular da Escala de Atterberg, concluiu-se que as terras utilizadas nas alvenarias são um "solo arenoso - predominância de areias, com o aspeto de uma argamassa de reboco" (Martins, 2009).

Na tabela seguinte, foram obtidos os resultados médios das casas e os muros sobre os ensaios de compressão simples dos provetes de adobe.

Tabela 1 – Resultado médio dos ensaios de compressão simples sobre os provetes das casas e muros

Provete	Propriedades Mecânicas	
	Resistência à Compressão Provetes "secos" (MPa)	Deformação no Pico (%)
Casa	1,013	9,153
Muro	1,085	7,205

Num estudo realizado por Martins (Martins, 2009), em que se efetuaram ensaios de resistência à tração obtidos a partir dos ensaios de compressão diametral, para adobes de

casas e adobes de muros, obtiveram-se valores médios de 0,17MPa e 0,22MPa, respetivamente. No mesmo estudo, obteve-se o valor médio do ensaio de compressão simples da argamassa de reboco de 2,8MPa. Deduziu-se que esse valor, que é superior ao valor da resistência à compressão do adobe, se deve à maior quantidade de cal presente na argamassa, relativamente ao adobe usado na alvenaria. Completando com ensaios de absorção, os valores obtidos são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 2 – Resultado dos ensaios de absorção e de penetração capilar

Proвете	Coefficiente de Absorção ($\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)	Coefficiente de penetração Capilar ($\text{cm/s}^{1/2}$)	Absorção Total (7 dias de imersão) (%)
Valores médios obtidos	172,2	0,158	14,9

Nos resultados na tabela 2 constatou-se que o adobe é um material com elevada porosidade e que é bastante permeável, fundamentalmente devido ao sistema poroso de elevada conectividade entre poros, que permite o fluxo eficaz de água capilar, que se alcançam os elevados valores dos coeficientes de absorção e penetração capilar obtidos nos ensaios realizados.

Silveira (Silveira et al, 2012) fez um estudo das características mecânicas do bloco de adobe presente em paredes de habitações e de muros exteriores que dividem terrenos. Desses blocos foram retirados provetes cilíndrico com aproximadamente 80 a 90 mm de diâmetro. Os provetes foram depois ensaiados à compressão simples e à compressão diametral, tendo sido retirados os valores médios da resistência à compressão simples e à tração do adobe e consecutivamente os valores médios dos módulos elasticidades e da extensão média no pico de tensão. Após a realização dos ensaios, apresentaram-se os resultados médios na tabela seguinte.

Tabela 3 – Resultado médios obtidos dos ensaios de compressão simples e de compressão diametral dos provetes de adobe

Construção	Tensão de Compressão Média (MPa)	Módulo de Elasticidade Médio (MPa)	Deformação média na Tensão Máxima (%)	Tensão de Tração Média (MPa)
Casa	1,32	225	9,8	0,17
Muros de divisão de terras	1,03	147	10,3	0,22
Todas as construções	1,17	187	10,1	0,19

A tensão de compressão sobre os blocos de adobe provenientes dos muros, apresenta valor médio de 1,03MPa, sendo este 78% inferior ao valor médio do adobe proveniente de casas, que é de 1,32MPa. Também se verificou que os valores no caso das casas apresentam maiores desvios relativamente ao seu valor médio comparativamente com os valores dos muros. Em relação às tensões de tração, o valor médio da tensão de tração dos muros é superior ao valor do adobe das casas, sendo este último aproximadamente 78% do valor da tensão de tração média no adobe das casas. A extensão média na tensão de pico em muros é de 10,3% enquanto nos adobes das casas é de 9,8%. A variabilidade entre os valores médios nas casas é maior comparativamente com os muros.

No módulo de elasticidade o valor médio para adobes provenientes das casas é de 225MPa e de 147MPa nos muros, sendo este cerca de 65% do valor do módulo de elasticidade nas casas. A variabilidade dos resultados nas amostras das casas é maior comparativamente com os muros. Foi também estudada a correlação entre os módulos de elasticidade e as tensões de compressão e de tração, sendo estas apresentadas nas figuras seguintes.

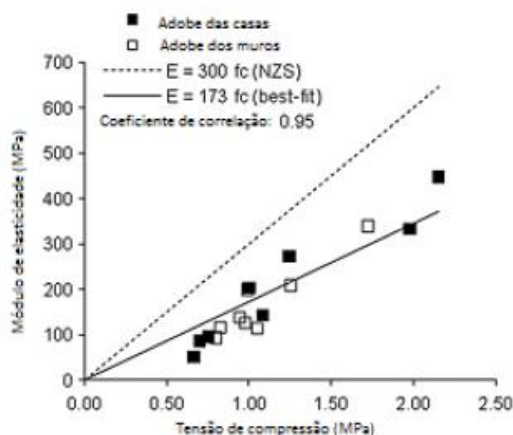


Figura 5 - Gráfico da correlação entre o módulo de elasticidade e de resistência à compressão simples.

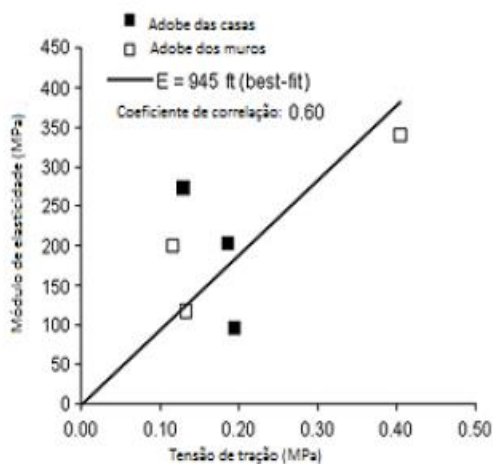


Figura 6 - Gráfico da correlação entre o módulo de elasticidade e de resistência à tração

Esta correlação obtida nos ensaios foi comparada com a correlação proposta pelo NZS 4297(Standard, 1998) para alvenarias de adobe no caso da compressão simples. Concluindo, os resultados médios obtidos foram apresentados na Tabela 3. A alta variabilidade nos resultados era expectável devido à grande heterogeneidade dos diferentes adobes e devido também às variáveis presentes na produção dos blocos de adobe e também na sua cura. (Silveira et al, 2012)

(Sarrico, 2014) realizou um estudo aprofundado ao comportamento dos elementos estruturais das habitações em adobe realizando ensaios em laboratório da caracterização granulométrica de areia e terra constituintes de argamassa de assentamento, do seu módulo de elasticidade e da sua tensão de compressão e flexão, da resistência à flexão de blocos individuais de adobe e compressão de provetes de adobe, da resistência ao corte da interface entre a argamassa de assentamento e os blocos de adobe em muretes construídos em laboratório e também ensaios de arrancamento de blocos de adobe. Os ensaios de flexão e compressão foram realizados respeitando a cronologia de ensaios dos muretes de adobe, os provetes foram colocados em estufa e uma temperatura de 25°C e com uma humidade relativa 65%.

Os ensaios de compressão em provetes de adobe, foram utilizados como base com a norma RILEM LUMA1 – Compressive strength of masonry units (RILEM, 1991b). Os provetes foram cortados de cubo com a medida de 9 x 9 x 9 cm³. O ensaio foi realizado numa prensa marca ELE Múltiplex 50-E, e o valor da carga de compressão aplicada é feita da medição da deformação de um anel metálico de 50kN colocado na superfície superior do provete. Na seguinte tabela apresentados os valores médios durante o ensaio e o valor corresponde calculado da carga de rotura aplicada.

Nas tabelas seguintes apresentam-se os valores médios da tensão de compressão dos provetes.

Tabela 4 - Valores médios da tensão de compressão nos provetes cúbicos de adobe (Sarrico, 2014)

Proвете	Deslocamento (mm)	Força (N)	Área (mm²)	Tensão (MPa)
Valores médios obtidos	0,287	6884,743	7617,442	0,901
Média				0,901
Desvio Padrão				0,463
CoV (%)				51,347

O valor médio da tensão de compressão foi de 0,901MPa, sendo que o coeficiente de variação foi de 51,347%, demonstrando a grande dispersão de tensões obtidas ao longo do ensaio.

Em 2013, (Azevedo, 2013) realizou um estudo no âmbito da degradação dos edifícios por ação dos sais solúveis, esta dissertação procurou avaliar a influência de vários sais solúveis na absorção capilar e na secagem de dois materiais porosos representativos das correntes em edifícios antigos.

Os ensaios de absorção por capilaridade foi efetuado com base no procedimento nºII6 “Water Absorption Coefficient (Capillarity)” (Standard, 2002). Os resultados obtidos nas pesagens dos ensaios, obtém-se a curva de absorção capilar, que expressa a quantidade de água absorvida por unidade de superfície em função da raiz quadrada do tempo decorrido em segundos. O declive do primeiro troço linear corresponde ao coeficiente de absorção capilar ou coeficiente de capilaridade. Nas seguintes tabelas e figuras apresentam-se os resultados e as curvas de absorção capilar para argamassa de cal e aéreas sobre capilaridade de água (H_2O), cloreto de sódio ($NaCl$) e sulfato de sódio (Na_2SO_4) (Azevedo, 2013).

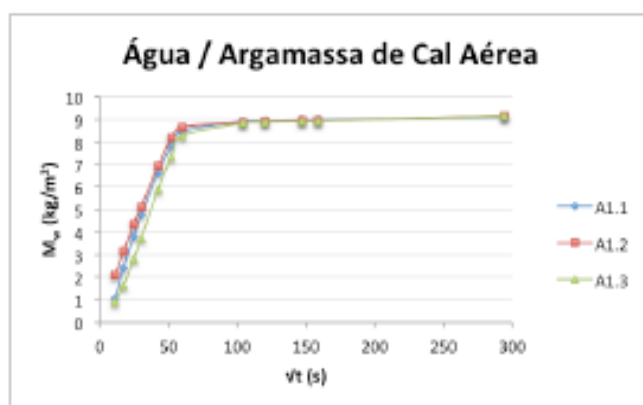


Figura 8 - Curvas de absorção capilar dos provetes de argamassa imerso parcialmente em água (Azevedo, 2013).

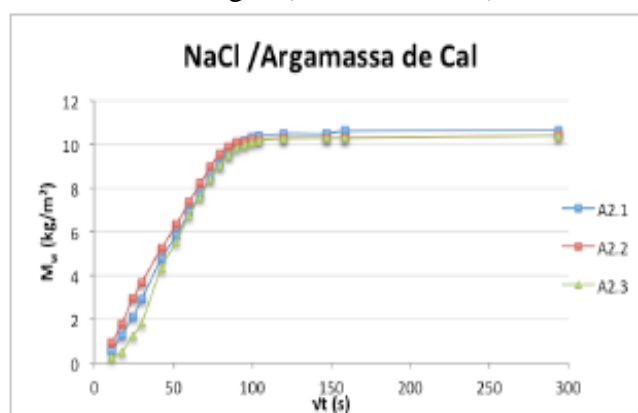


Figura 7 - Curvas de absorção capilar dos provetes de argamassa imersos parcialmente na solução aquosa cloreto de sódio (Azevedo, 2013)

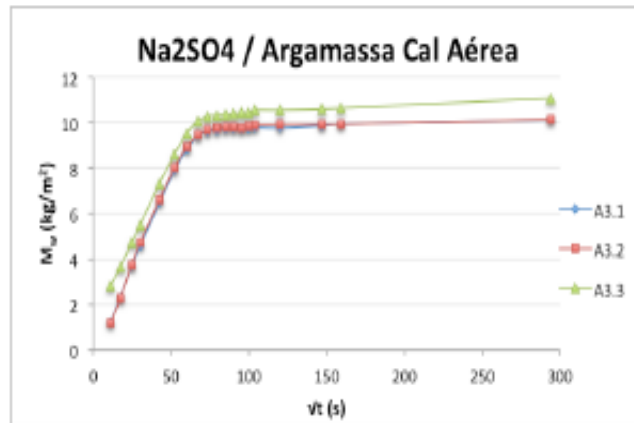


Figura 9 - Curvas de absorção capilar dos provetes de argamassa imersos parcialmente na solução aquosa de sulfato de sódio (Azevedo, 2013).

De seguida tabela, mostrou os resultados dos ensaios da capilaridade dos provetes de argamassa em água, cloreto de sódio e sulfato de sódio.

Tabela 5 - Coeficiente de capilaridade dos provetes de argamassa, imerso parcialmente em Água, Cloreto de Sódio e Sulfato de Sódio (Azevedo, 2013).

Coeficiente de capilaridade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{1/2}$)			
Provete	Média	Desvio padrão	Coeficiente de Variação (%)
H ₂ O	0,1642	0,0012	7,30%
NaCl	0,135	0,004	2,90%
Na ₂ SO ₄	0,1617	0,0159	9,80%

Destes três ensaios, o resultado de sulfato de sódio mostrou-se mais alto comparado com o da água e do cloreto de sódio- O desvio padrão é o mais alto na argamassa com o valor 0,0159 e coeficiente de variação 9,80%.

2.3 O ADOBE EM AVEIRO

Em Portugal, a construção em adobe está representada na sua grande maioria na região centro litoral (Fernandes & Tavares, 2016), principalmente na região de Aveiro devido a abundância de água, que é um elemento fundamental na produção de adobe.

Segundo dados fornecidos pela Câmara Municipal de Aveiro, cerca de um quarto das construções existentes na cidade de Aveiro são em adobe, sendo que esse número aumenta para 40% se nos referirmos a todo o distrito. O fabrico de adobe atingiu tal expressão, que este envolveu a participação de fornecedores de terra e de cal, produtores de adobe e construtores, sendo que o sucesso deste material se deveu principalmente às características das matérias-primas, sendo que os blocos eram fabricados com areia grosseira misturada com cal, (Varum, 2010).

Meneses (Meneses et al, 2011) realizou ensaios de compreensão e caracterização do comportamento térmico da construção. Foram construídas três células à escala $\frac{1}{4}$ com adobes de diferentes composições. Em Aveiro os blocos de adobe de casas apresentam as dimensões de $0,45 \times 0,30 \times 0,15 \text{m}^3$. Os blocos de adobe para a construção das células foram obtidos por corte de adobes provenientes de uma demolição que ocorreu na zona de Aveiro. Os blocos de adobe foram construídos com adição de cortiça tendo-se procurado a composição ideal de adição de cortiça no adobe. A composição dos blocos de adobe tem diferentes percentagem e granulometrias de cortiça e com relação ao peso total. Nos dias de hoje, o adobe pode ser encontrado num variado leque de construções tais como edifícios de pequenas e grandes dimensões, muros, poços de água, armazéns e igrejas.

Era habitual a adição de cal ou palha com o intuito de melhorar a performance mecânica que era pretendida para os blocos de adobe. As dimensões correntes dos blocos eram de $0,45 \times 0,3 \times 0,11 \text{m}^3$ e de $0,45 \times 0,2 \times 0,11 \text{m}^3$, sendo que na primeira situação os blocos eram utilizados em habitações e na segunda situação os blocos eram utilizados em muros. Excepcionalmente eram construídas fundações em pedra onde as paredes assentavam, devido à grande capacidade do adobe em absorver água. Nas situações em que as paredes assentavam diretamente no solo, foram detetados problemas graves de humidade

ascensional. Devido à resistência limitada do adobe, foram utilizadas soluções que apesar de serem simples, incrementavam estabilidade estrutural às construções. Exemplo disso era a utilização de barrotes de madeira ou então de arcos realizados com madeira, pedra, tijolo e também em adobe. Estas soluções visavam uma melhoria da resistência através de uma melhor distribuição das cargas nos vãos das aberturas. (Varum et al, 2012)

3 RECOLHA DE AMOSTRA, PREPARAÇÃO DOS PROVETES

3.1 OBJETIVO DO ESTUDO

Depois do exposto no estado da arte, esta dissertação terá como objetivo complementar a bibliografia existente sobre as técnicas e características da construção em adobe. A informação contida nesta dissertação e recolhida até aos dias de hoje e a que será elaborada em estudos futuros, poderão ser aproveitados para a elaboração de uma norma nacional para a construção neste tipo de alvenarias, que terá uma grande utilidade nos trabalhos de reabilitação estrutural e até na construção de novos empreendimentos em adobe.

Neste estudo foram realizados doze ensaios que servirão para compreender o comportamento mecânico e físico entre o adobe e a presentes em exemplares construídos em laboratório. Foram realizados doze ensaios de forma em cubos e paralelogramas de reduzida dimensão e um ensaio de arrancamento de blocos de adobe.

Para complementar os ensaios referidos, foram também realizados ensaios de caracterização dos materiais constituintes dos elementos em estudo, nomeadamente ensaios de granulometria, ensaios de ultrassons (Pundit), ensaio por capilaridade, dissolução acida e também de compressão e flexão de provetes de adobe.

3.2 RECOLHA DOS ADOBES

Os adobes já existiam na cave do laboratório do Departamento da Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, tendo sido recolhidos 4 blocos de adobe de cada uma das 12 amostras provenientes de diferentes regiões, as suas dimensões variavam em média entre os $29 \times 42 \times 10 \text{ cm}^3$. Os provetes necessários para realização dos ensaios foram preparados, sendo estes utilizados para fazer a pesquisa.

Os provetes de adobe seleccionados apresentam diferenças evidentes no tamanho dos blocos e nas cores que estes tinham. Na figura10 mostra-se os blocos de adobe já preparados para cortar.



Figura 10 - Os provetes de adobe que estavam no laboratório do departamento engenharia civil da universidade de Aveiro.

Cada bloco de adobe foi cortado em provetes mais pequenos com as dimensões $9 \times 9 \times 9 \text{ cm}^3$ em cubos e paralelogramas com dimensões $28 \times 7 \times 7 \text{ cm}^3$, $24 \times 6 \times 6 \text{ cm}^3$, $24 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$, $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$, figura 11. Foram escolhidos adobes que já tinham sido utilizados noutros estudos que incluíram também ensaios de capilaridade e onde avaliava sobretudo a secagem.



Figura 11 - Processo de corte dos adobes existentes

Os cortes dos adobes foram efetuados com o auxílio de uma máquina de corte húmido, figura 11. Após o corte os provetes (ver figura 12) foram colocadas em estufa a 60°C durante 24 horas para secar e foram deixados à temperatura e humidade ambiente durante 7 dias previamente à realização dos ensaios.



Figura 12 - Provetes de adobes em forma de cubos e paralelogramas

4 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

Neste capítulo iremos descrever os procedimentos dos ensaios da granulometria, dissolução acida, Ultrassons (pundit), capilaridade e resistência mecânica (compressão seca e saturada e flexão).

4.1 ANÁLISE A GRANULOMÉTRICA

Neste contexto torna-se previamente aos estudos das propriedades físicas e mecânicas de cada uma das amostras de adobes, realizando-se uma análise específica, através da análise dos seus agregados (CEN, 1999).

Nos procedimentos experimentais levados a cabo destacam-se em seguintes etapas:

- 1) Fazer destorroamento das amostras ou desagregação dos agregados com recurso a um almofariz e pilão, com cuidado de não partir os inertes.
- 2) Secar em estufa durante 24 horas (1 dia) com a temperatura de 110 ± 5 °C até obter massa constante.
- 3) Tirar as amostras dentro da estufa e deixar arrefecer dentro do exsiccador ± 20 minutos, pesar e registar os resultados.
- 4) Seguidamente, preparar os peneiros, figura 13, colocar as amostras e efetuar a peneiração de forma mecânica durante 10 minutos, fazendo passar a amostra por uma série de peneiros de malha de dimensão decrescentes. Foi utilizada a série ASTM com o número de diâmetro são: 1”, 3/4”, 3/8”, 4, 10, 20, 40, 60, 140 e 200 microns.



Figura 13 - Peneiros da serie ASTM utilizados na peneiração dos agregados.

- 5) Finalmente, realizam-se as pesagens das frações retidas, retirando as partículas alojadas na malha com uma trincha.
- 6) Com base nestas passagens procede-se finalmente ao traçado das curvas granulométricas pretendidas.

Para calcular a percentagem de finos (f) que passa através do peneiro $63\ \mu\text{m}$, de acordo com a seguinte equação. (IPQ 2000)

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$

Onde:

M_1 – Massa seca do provete de ensaio em Kg

M_2 – Massa seca do material com granulometria superior a $63\ \mu\text{m}$, em Kg

P – Massa do material peneirado retido no recipiente do fundo, em Kg

4.2 DISSOLUÇÃO ÁCIDA

O laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro possui um procedimento de ensaio para determinação do resíduo de insolúveis em ácido clorídrico, (Insolúveis, 2014).

Os aparelhos e utensílios são, figura 14:

- Balança permitindo pesagens um rigor de 0,1 mg
- Placa de aquecimento
- Exsicador
- Papel de filtro
- Material de vidro de laboratório



Figura 14 - Os aparelhos e utensílios

Os procedimentos experimentais executam-se em seguintes etapas:

- 1) Preparar todas as amostras e fazer destorroamento ou desagregação dos agregados a usar com o recurso de um almofariz e pilão.
- 2) Colocar todas as amostras destorroadas em estufa à temperatura de 110 ± 5 °C até 24 horas (1 dia).
- 3) Tirar as amostras da estufa e deixar arrefecer dentro do exsicador ± 20 minutos.
- 4) Pesar as amostras com 50 gramas dentro do copo de vidro de 250 ml, pesar o papel de filtro e também taça de porcelana e registar o valor.
- 5) Molhar a amostra com um pouco de água. Juntar cuidadosamente 100 ml de ácido clorídrico (*HCl*) e mexer a mistura com *HCl*,

-
- 6) Colocar a mistura de ácido e agregados em cima do fogão para ferver durante 2 minutos e deixar repousar alguns minutos, figura 15.
 - 7) Filtrar a suspensão obtida e arrastar todas as partículas do resíduo para o filtro.
 - 8) As amostras já está a secar, tirar e pôr para taça de porcelana e deixar a secar dentro da estufa com a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ até a massa constante.



Figura 15 - Agregada mistura com HCl em cima do fogão

O cálculo da quantidade resíduo insolúveis em HCl é realizado do seguinte modo. (Insolúveis e Hcl, 2014)

$$\%Res_{\text{insolúvel}} = \frac{m_r - m_o}{m_a} \times 100$$

Onde:

m_r – Massa do filtro com resíduo (g)

m_o – Massa do filtro (g)

m_a – Massa de amostra (g)

4.3 ULTRASSONS (PUNDIT)

O ensaio de ultrassons ou PUNDIT é uma técnica não destrutiva que consiste na determinação da velocidade de propagação de um impulso entre os dois pontos, recetor e emissor, para obter informações das características mecânicas do material, a integridade física e existência como fissuração, degradação ou vazios.

O módulo de elasticidade é a razão entre a tensão (exercida) e extensão (sofrida) de um determinado material. Segundo Coelho (Coelho, Pacheco, e Said 2009) este é o parâmetro que realmente permite determinar a deformabilidade e a capacidade de uma argamassa para acomodar deformações. É possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico recorrendo a equipamentos de ultrassons (Pundit).

Neste ensaio foi utilizado um equipamento do Pundit (PROCEQ 2017) para diversas aplicações inclusive as seguintes:

- Medição da velocidade do pulso
- Medição da extensão do trajeto
- Avaliação de uniformidade
- Medição da velocidade da superfície
- Medição da profundidade da fissura
- Estimar o módulo de elasticidade dinâmico de amostra (com transdutores de onda)
- Estimar a resistência à compressão usando a velocidade de pulso ou em combinação com um esclerometro.

O procedimento padrão para a medição da velocidade de propagação de ondas sonoras é:

- 1) Medir e pesar todas as amostras.
- 2) Calibrar o PUNDIT utilizado o bloco de calibração é 026.0 μ s, (Figura 16).



Figura 16 - Aparelho de Pundit

- 3) Acoplar os transdutores à amostra aplicando gel ou massa de acoplamento nos transdutores e nas duas extremidades da amostra.
- 4) Posicione os transdutores.
- 5) Efetuar pelo menos 3 medições.
- 6) Guardar o resultado.

Através do manual técnico do aparelho de Pundit, foi possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico pela seguinte equação:

$$E_d = \frac{\rho \times v^2 \times (1 + \delta) \times (1 - 2\delta)}{(1 - \delta)}$$

Onde:

E_d - módulo de elasticidade em MPa;

δ - coeficiente de Poisson;

ρ - densidade;

V - Velocidade de propagação do som em km/s.

4.4 ENSAIOS DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

O ensaio de absorção por capilaridade foi efetuado com base no Procedimento nºII.6 ‘‘Water Absorption Coefficient (Capillarity)’’ (Standard, 2002) da RILEM (Standard, 2002). O ensaio teve como objetivo determinar e avaliar o coeficiente de capilaridade dos provetes de adobe ou argamassa na presença de água (ensaio que serviu como referência). O ensaio foi realizado sobre 108 provetes, 36 capilaridade com água (H_2O), 36 capilaridade com cloreto de sódio ($NaCl$) e 36 de capilaridade com sulfato de sódio (Na_2SO_4), utilizando-se três provetes de cada lote de adobe para cada solução (água + seis sais).

Quanto maior o número de provetes para a mesma situação, maior será a confiança nos resultados experimentais e maior a sensibilidade para os resultados obtidos, detetando-se eventuais erros ou discrepâncias.

Antes de se iniciarem os ensaios objeto de estudo, realizou-se um ensaio preliminar com a água e com a solução aquosa salina de cloreto de sódio de modo a estabelecer a periodicidade das pesagens.

Os procedimentos padrões para a determinação da absorção por capilaridade destacam-se em seguintes etapas:

- 1) Inicialmente os provetes foram secos em estufa ventilada a $60^{\circ}C$, até se obter massa constante, ver figura 17.



Figura 17 - Provetes dentro da estufa ventilada

-
- 2) Após este processo, os provetes foram colocados em tabuleiro de plástico, imersos parcialmente nas soluções salinas, assentes numa malha geotêxtil, permanecendo a altura da lamina líquida 5mm - 10mm acima da face inferior dos provetes, ver figura 18.



Figura 18 - Ensaio de absorção por capilaridade a decorrer dentro de um tabuleiro plástico e com um temporizador.

A periodicidade de pesagem efetuada foi de: 1min, 2min, 3min, 5min, 10min, 15min, 30min, 45min, 60min, 1h15, 1h30, 2h, 2h30, 3h, 4h, 5h, 6h, 7h, 8h e 8h;

Monitorizou-se o processo somente até as 8h uma vez que se verificou ser o tempo suficiente para o peso dos provetes estabilizar e para se obter a curva de absorção capilar até à estabilização, isto é, até à entrada em patamar no gráfico tempo vs absorção.

A capilaridade é a capacidade que uma determinada argamassa tem de absorver água, de forma natural, sem existirem pressões, devido apenas à sua rede de poros e a impermeabilidade é a capacidade de uma argamassa para impedir a penetração de água, sob uma determinada pressão.

A água absorvida por unidade da área (M_w) é expressa por seguinte equação: (Standard 2002)

$$M_w = \frac{M - M_0}{S}$$

Onde:

M – Massa do provete no instante

M_0 – massa seca do provete

S – área da base do provete em contacto com água/solução

Os resultados obtidos nas pesagens dos ensaios, permitiu a obtenção da curva de absorção capilar, que expressa a quantidade de água absorvida por unidade de superfície (kg/m^2) em função da raiz quadrada do tempo decorrido ($\text{s}^{1/2}$), em segundos. O declive do primeiro troço linear corresponde ao coeficiente de absorção capilar ou coeficiente de capilaridade (C). Após o ensaio de absorção por capilaridade os cubos foram guardados novamente para ensaiar a compressão. (Standard, 2008)

O coeficiente de absorção de água da capilaridade (AC) é a inclinação da secção linear da curva obtida que traça a variação de massa por área versus tempo, e deve ser calculada por regressão linear, utilizando pelo menos 5 pontos alinhados sucessivos, figura 19.

O coeficiente de penetração de água capilar (B) é representado pela inclinação da curva obtida reportando a altura de migração da água da frente (H_i) versus tempo (t_i)^{1/2}, e deve ser calculada por regressão linear, ver na figura 19. (Standard 2008)

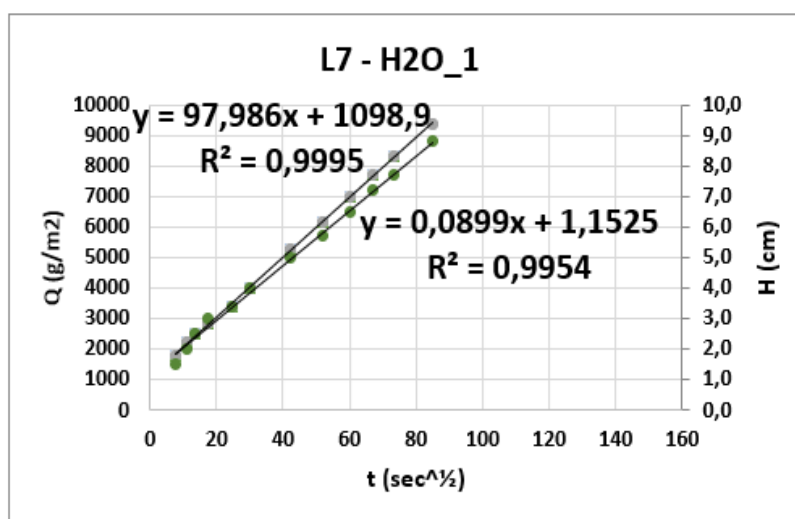


Figura 19 - Cálculo do coeficiente de AC e B

4.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA

Foram realizados provetes para serem ensaiados à flexão e compressão. Os provetes utilizados nos ensaios de absorção por capilaridade foram também submetidos aos ensaios de compressão, após secagem do ensaio de capilaridade a temperatura e humidade ambiente.

4.5.1 Compressão seca e saturada

Os ensaios nos quais foi efetuada a compressão seca e saturada são:

- Fc_dry
- Fc_sat
- Cap_H₂O
- Cap_NaCl
- Cap_Na₂SO₄
- Paralelogramas com dimensão 16 x 4 x 4 cm³

Os ensaios de compressão dos provetes de adobe foram cortados diretamente a partir dos blocos de adobe. Como base para este ensaio, foi utilizada a norma RILEM LUMA1 – Compressive strength of masonry units. (RILEM, 1991)

Foram cortados em forma de cubo, aproximadamente com as medidas 9 x 9 x 9 cm³ devido à altura mínima dos blocos de adobe ser 10 cm. Estes ensaios foram cortados com um disco metálico arrefecido com água e em seguida foram secos numa estufa a 60°C durante 24 horas para ser retirada toda a humidade adquirida durante o corte.

A resistência à compressão é dada pela equação: (CEN, 2009)

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Onde:

f_c – Resistência à compressão, em MPa (N/mm²)

F – Carga máxima à rotura, em N

A_c – Área da secção transversal do provete na qual a força de compressão foi

Aplicada, em mm².

Na figura 20, mostram-se duas imagens sobre os ensaios de compressão. Na figura 20a) utilizou-se uma célula de carga com 25 kN de capacidade em compressão e sensores de deslocamento linear variável do tipo LVDT para aferir os deslocamentos ocorridos na chapa colocada sobre o provete e na figura 20b) aplicou-se uma carga entre 50 N/s a 500 N/s, sendo que a rotura deve ocorrer entre 30 e 90 segundos após o início do ensaio.



Figura 20 - a) Ensaio de compressão de provete L1_fc_dry_3, b) Ensaio de compressão com dimensão 16 x 4 x 4 cm³

4.5.2 Ensaio cíclico em compressão

Foram realizados os ensaios cíclicos com a mesma prensa utilizada para a compressão seca e saturada, tendo os provetes sido cortados em forma de cubo, aproximadamente com as medidas 9 x 9 x 9 cm³ devido á altura mínima dos blocos de adobe ser 10 cm. Estes provetes foram cortados com um disco metálico arrefecido com água e em seguida foram secos numa estufa a 60°C durante 24 horas para ser retirada toda a humidade adquirida durante o corte.

A resistência à compressão em ensaio cíclico é dada pela equação: (CEN, 2009)

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Onde:

f_c – Resistência à compressão, em MPa (N/mm²)

F – Carga máxima à rotura, em N

A_c – Área da secção transversal do provete na qual a força de compressão foi Aplicada, em mm^2 .

Na figura 21 evidencia-se os ensaios cíclicos com uma célula de carga com 25 kN de capacidade em compressão e sensores de deslocamento linear variável do tipo LVDT para aferir os deslocamentos ocorridos na chapa colocada sobre o provete.



Figura 21 - Ensaio de compressão de provete L2_cyclic

4.5.3 Flexão

Respeitando o que está na norma EN 1015-11 (1999), para o ensaio de flexão os provetes foram colocados numa máquina que aplica uma carga entre 10N/s a 50N/s, sendo que a rotura ocorre entre 30 e 90 segundos após o início do ensaio. Os provetes têm uma dimensão de $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ e o vão de apoio utilizado foi de 10 centímetros.

O cálculo da tensão de flexão dos provetes obtém-se a partir da seguinte equação: (British Standard, 2009)

$$f = \frac{F \times l}{b \times d^2}$$

em que:

F – Carga aplicada em N

l – Distância entre os suportes inferiores em mm

b – Largura do provete em mm

d – Altura do provete em mm

Foi também realizado um ensaio de flexão com a medida de 20 x 5 x 5 cm³, 24 x 6 x 6 cm³ e 28 x 7 x 7 cm³ para determinar a tensão de flexão dos adobes, realizaram-se ensaios de flexão recorrendo á norma RILEM LUMA2 – Flexural strength of masonry units (RILEM, 1991).

O ensaio realizou-se utilizando um pórtico metálico em que estava acoplado um servo-atuador verticalmente. Esse atuador serviu para aplicar a força vertical descendente sobre os adobes para que pudesse ser realizado este ensaio. Foi utilizada uma célula de carga de carga de 25kN de forma a aferir com maior precisão a força aplicada aos adobes.

As barras metálicas que serviram como apoios tinham um diâmetro de 35 milímetros e na barra central foram colocados dois sensores de fio de modo a medir a deformação, tendo sempre em conta a distância mínima permitida pela norma, (British Standard, 2009). Depois de colocados os adobes, procedeu-se á medição da distância entre as barras metálicas e conferiu-se que estas estariam paralelas entre si.

O valor da tensão é obtido a partir da fórmula:

$$f_{cf} = \frac{3 \times F \times l}{2 \times d_1 \times d_2^2}$$

Em que:

F – Força máxima aplicada no provete em Newton

L – Distancia entre os eixos das barras de suporte em mm

d₁ e d₂ – secção transversal de dimensão lateral em mm

Na figura 22, mostra-se o ensaio de flexão em diferente prensa. Na figura 22a) está-se a aplicar uma carga entre 50 N/s a 500 N/s, sendo que a rotura deve ocorrer entre 30 e 90 segundos após o início do ensaio com a dimensão de 16 x 4 x 4 x cm³, e na figura 22b) foi utilizada uma célula de carga de carga de 25kN de forma a aferir com maior precisão a força aplicada aos adobes com a dimensão 20 x 5 x 5 cm³, 24 x 6 x 6 cm³ e 28 x 7 x 7 x cm³.



a)



b)

Figura 22 - a) Ensaio de flexão com dimensão 16 x 4 x 4 cm³, b) Ensaio de flexão com dimensão 28 x 7 x 7 cm³

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS ENSAIOS

5.1 NOMENCLATURA DOS PROVETES

Os ensaios foram realizados sobre adobes provenientes de doze lotes provenientes de diferentes zonas da região de Aveiro, de acordo com a tabela abaixo.

Tabela 6 - Nome dos lotes

LOTE	Proveniência
1	Vera Cruz, Aveiro
2	ADOBE GAFANHA DE AQUEM, Ílhavo
3	Monte, Murtosa
4	OLIVEIRINHA, Aveiro
5	Aveiro
6	Rua João Carlos Gomes, Ílhavo
7	VAGOS, Aveiro
8	ESTAÇÃO, AVEIRO
9	ARCOS, ANADIA
10	VISTA ALEGRE, Ílhavo
11	RUA DE JOAO MOURA N:17, Aveiro
12	MOITA, OLIVEIRINHA

A nomenclatura dos provetes utilizados nos ensaios é dada na tabela 6. Os provetes provenientes dos 12 lotes de diferentes adobes, foram organizados em 7 grupos. A que correspondem os ensaios de capilaridade acrescidos de amostras cortadas para execução de ensaio seco e saturado. Para cada grupo foram ensaiados no mínimo 3 provetes de cada lote.

Tabela 7 - Síntese dos provetes preparados dos adobes para cada ensaio

Ensaio		
L1_fc_sat_1	L	Lote de adobe
	L1	número do lote/identificação do lote
	fc_sat	resistência em compressão saturada
	1 = i	número da amostra
L1_fc_dry_1	L	Lote de adobe
	L1	número do lote/identificação do lote
	fc_dry	resistência em compressão molhado
	1 = i	número da amostra
L1_cap_H2O_1	L	Lote de adobe
	L1	número do lote/identificação do lote
	cap_H ₂ O	capilaridade em água
	1 = i	número da amostra
L1_cap_NaCl_1	L	Lote de adobe
	L1	número do lote/identificação do lote
	cap_NaCl	capilaridade em cloreto de sódio
	1 = i	número da amostra
L1_cap_NaSO_1	L	Lote de adobe
	L1	número do lote/identificação do lote
	cap_Na ₂ SO ₄	capilaridade em sulfato de sódio
	1 = i	número da amostra
L1-fxk2_1	L	Lote de adobe
	L1	número do lote/identificação do lote
	Fxk ₂	compressão em paralelo
	1 = i	número da amostra
L1_Cyclic	L	Lote de adobe
	L1	número do lote/identificação do lote

5.2 ENSAIOS EXPERIMENTAIS DE CARATERIZAÇÃO DE ADOBE

5.2.1 Análise granulométrica

Os adobes recolhidos são constituídos essencialmente por solos arenosos, verificando-se a presença de argila e de cal aérea, a olho nu, em alguns destes. A composição granulometria foi efetuada pela análise da granulometria por peneiração seca NORMA e em peneiros standard ASTM-E.11, figura 23



Figura 23 - Procedimento para a caracterização da granulometria: a) determina de adobe, b) peneiração (ASTM)

As pesagens obtidas para cada lote são apresentadas nas tabelas 8 a 22 e na Figura 24 apresenta-se as curvas granulométricas

Tabela 8 - Distribuição granulometria obtida após a peneiração dos agregados L1a

L1 a					
Peneiro			Massa total da amostra: 532,00 (g)		
n.º	abertura (mm)	Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
4	4,76	7,40	1,4%	1,4%	98,6%
10	2,00	15,90	3,0%	4,4%	95,6%
20	0,850	74,10	13,9%	18,3%	81,7%
40	0,425	212,90	40,0%	58,3%	41,7%
60	0,250	98,30	18,5%	76,8%	23,2%
140	0,106	47,20	8,9%	85,7%	14,3%
200	0,075	11,40	2,1%	87,8%	12,2%
<200	0,001	64,60	12,1%	100,0%	0,0%
Total		531,80			

Tabela 9 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L1b

L1 b					
Massa total da amostra:			625,00	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	36,70	5,9%	5,9%	94,1%
4	4,76	39,30	6,3%	12,2%	87,8%
10	2,00	105,30	16,8%	29,0%	71,0%
20	0,850	145,00	23,2%	52,2%	47,8%
40	0,425	89,00	14,2%	66,4%	33,6%
60	0,250	64,20	10,3%	76,7%	23,3%
140	0,106	72,20	11,6%	88,3%	11,7%
200	0,075	17,10	2,7%	91,0%	9,0%
<200	0,001	56,10	9,0%	100,0%	0,0%
Total		624,90			

Tabela 10 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L2

L2					
Massa total da amostra:			556,70	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	2,00	0,4%	0,4%	99,6%
4	4,76	14,60	2,6%	3,0%	97,0%
10	2,00	63,30	11,4%	14,4%	85,6%
20	0,850	166,20	29,9%	44,2%	55,8%
40	0,425	197,60	35,5%	79,7%	20,3%
60	0,250	59,90	10,8%	90,5%	9,5%
140	0,106	26,70	4,8%	95,3%	4,7%
200	0,075	5,50	1,0%	96,2%	3,8%
<200	0,001	20,80	3,7%	100,0%	0,0%
Total		556,60			

Tabela 11 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L3

L3					
Massa total da amostra:				550,30	(g)
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	1,60	0,3%	0,3%	99,7%
4	4,76	4,70	0,9%	1,1%	98,9%
10	2,00	17,90	3,3%	4,4%	95,6%
20	0,850	80,60	14,6%	19,0%	81,0%
40	0,425	253,50	46,1%	65,1%	34,9%
60	0,250	121,60	22,1%	87,2%	12,8%
140	0,106	38,10	6,9%	94,1%	5,9%
200	0,075	4,20	0,8%	94,9%	5,1%
<200	0,001	28,00	5,1%	100,0%	0,0%
Total		550,20			

Tabela 12 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L4

L4					
Massa total da amostra:				676,90	(g)
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	49,80	7,4%	7,4%	92,6%
4	4,76	58,30	8,6%	16,0%	84,0%
10	2,00	110,40	16,3%	32,3%	67,7%
20	0,850	146,50	21,6%	53,9%	46,1%
40	0,425	92,60	13,7%	67,6%	32,4%
60	0,250	66,80	9,9%	77,5%	22,5%
140	0,106	71,90	10,6%	88,1%	11,9%
200	0,075	16,40	2,4%	90,5%	9,5%
<200	0,001	64,10	9,5%	100,0%	0,0%
Total		676,80			

Tabela 13 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L5a

L5 a					
Massa total da amostra:			547,50	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	4,40	0,8%	0,8%	99,2%
4	4,76	15,80	2,9%	3,7%	96,3%
10	2,00	87,50	16,0%	19,7%	80,3%
20	0,850	180,10	32,9%	52,6%	47,4%
40	0,425	133,40	24,4%	76,9%	23,1%
60	0,250	60,70	11,1%	88,0%	12,0%
140	0,106	28,30	5,2%	93,2%	6,8%
200	0,075	7,00	1,3%	94,5%	5,5%
<200	0,001	30,20	5,5%	100,0%	0,0%
Total		547,40			

Tabela 14 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L5b

L5 b					
Massa total da amostra:			550,60	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
4	4,76	6,60	1,2%	1,2%	98,8%
10	2,00	38,30	7,0%	8,2%	91,8%
20	0,850	148,00	26,9%	35,0%	65,0%
40	0,425	139,80	25,4%	60,4%	39,6%
60	0,250	108,70	19,7%	80,2%	19,8%
140	0,106	43,20	7,8%	88,0%	12,0%
200	0,075	14,30	2,6%	90,6%	9,4%
<200	0,001	51,60	9,4%	100,0%	0,0%
Total		550,50			

Tabela 15 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L6

L6					
Massa total da amostra:			772,20	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	42,30	5,5%	5,5%	94,5%
4	4,76	57,40	7,4%	12,9%	87,1%
10	2,00	85,10	11,0%	23,9%	76,1%
20	0,850	258,30	33,4%	57,4%	42,6%
40	0,425	176,60	22,9%	80,3%	19,7%
60	0,250	54,30	7,0%	87,3%	12,7%
140	0,106	38,50	5,0%	92,3%	7,7%
200	0,075	12,00	1,6%	93,8%	6,2%
<200	0,001	47,50	6,2%	100,0%	0,0%
Total		772,00			

Tabela 16 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L7

L7					
Massa total da amostra:			860,50	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	13,60	1,6%	1,6%	98,4%
3/8"	9,51	94,40	11,0%	12,6%	87,4%
4	4,76	87,40	10,2%	22,7%	77,3%
10	2,00	107,50	12,5%	35,2%	64,8%
20	0,850	213,40	24,8%	60,0%	40,0%
40	0,425	118,50	13,8%	73,8%	26,2%
60	0,250	97,90	11,4%	85,1%	14,9%
140	0,106	87,40	10,2%	95,3%	4,7%
200	0,075	17,80	2,1%	97,4%	2,6%
<200	0,001	22,50	2,6%	100,0%	0,0%
Total		860,40			

Tabela 17 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L8

L8					
Massa total da amostra:			928,60	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
4	4,76	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
10	2,00	3,80	0,4%	0,4%	99,6%
20	0,850	59,00	6,4%	6,8%	93,2%
40	0,425	356,90	38,4%	45,2%	54,8%
60	0,250	270,60	29,1%	74,3%	25,7%
140	0,106	167,80	18,1%	92,4%	7,6%
200	0,075	34,50	3,7%	96,1%	3,9%
<200	0,001	35,60	3,8%	100,0%	0,0%
Total		928,20			

Tabela 18 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L9

L9					
Massa total da amostra:			741,90	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	21,40	2,9%	2,9%	97,1%
4	4,76	45,70	6,2%	9,0%	91,0%
10	2,00	202,80	27,3%	36,4%	63,6%
20	0,850	314,30	42,4%	78,7%	21,3%
40	0,425	67,40	9,1%	87,8%	12,2%
60	0,250	27,90	3,8%	91,6%	8,4%
140	0,106	29,40	4,0%	95,6%	4,4%
200	0,075	10,40	1,4%	97,0%	3,0%
<200	0,001	22,60	3,0%	100,0%	0,0%
Total		741,90			

Tabela 19 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L10a

L10 a					
Massa total da amostra:			966,20	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	1,80	0,2%	0,2%	99,8%
4	4,76	14,60	1,5%	1,7%	98,3%
10	2,00	45,40	4,7%	6,4%	93,6%
20	0,850	234,60	24,3%	30,7%	69,3%
40	0,425	376,90	39,0%	69,7%	30,3%
60	0,250	154,20	16,0%	85,6%	14,4%
140	0,106	69,30	7,2%	92,8%	7,2%
200	0,075	24,80	2,6%	95,4%	4,6%
<200	0,001	44,50	4,6%	100,0%	0,0%
Total		966,10			

Tabela 20 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L10b

L10 b					
Massa total da amostra:			1357,30	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	270,60	19,9%	19,9%	80,1%
3/4"	19,0	22,60	1,7%	21,6%	78,4%
3/8"	9,51	197,20	14,5%	36,1%	63,9%
4	4,76	174,40	12,8%	49,0%	51,0%
10	2,00	156,30	11,5%	60,5%	39,5%
20	0,850	173,50	12,8%	73,3%	26,7%
40	0,425	159,70	11,8%	85,0%	15,0%
60	0,250	114,40	8,4%	93,5%	6,5%
140	0,106	44,60	3,3%	96,8%	3,2%
200	0,075	12,50	0,9%	97,7%	2,3%
<200	0,001	31,30	2,3%	100,0%	0,0%
Total		1357,10			

Tabela 21 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L11

L11					
Massa total da amostra:			722,10	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	1,50	0,2%	0,2%	99,8%
4	4,76	4,50	0,6%	0,8%	99,2%
10	2,00	35,50	4,9%	5,7%	94,3%
20	0,850	148,10	20,5%	26,3%	73,7%
40	0,425	264,30	36,6%	62,9%	37,1%
60	0,250	163,60	22,7%	85,5%	14,5%
140	0,106	66,90	9,3%	94,8%	5,2%
200	0,075	13,50	1,9%	96,6%	3,4%
<200	0,001	24,00	3,3%	100,0%	0,0%
Total		721,90			

Tabela 22 - Distribuição granulométrica obtida após a peneiração dos agregados L12

L12					
Massa total da amostra:			853,70	(g)	
Peneiro		Massa retida (g)	% retida	% acumulada retida	% acumulada passada
n.º	abertura (mm)				
1"	24,5	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,0	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
3/8"	9,51	15,30	1,8%	1,8%	98,2%
4	4,76	4,40	0,5%	2,3%	97,7%
10	2,00	173,60	20,3%	22,6%	77,4%
20	0,850	337,50	39,5%	62,2%	37,8%
40	0,425	136,00	15,9%	78,1%	21,9%
60	0,250	86,60	10,1%	88,3%	11,7%
140	0,106	51,70	6,1%	94,3%	5,7%
200	0,075	24,90	2,9%	97,2%	2,8%
<200	0,001	23,60	2,8%	100,0%	0,0%
Total		853,60			

Na seguinte figura mostra-se todas as curvas das granulometrias.

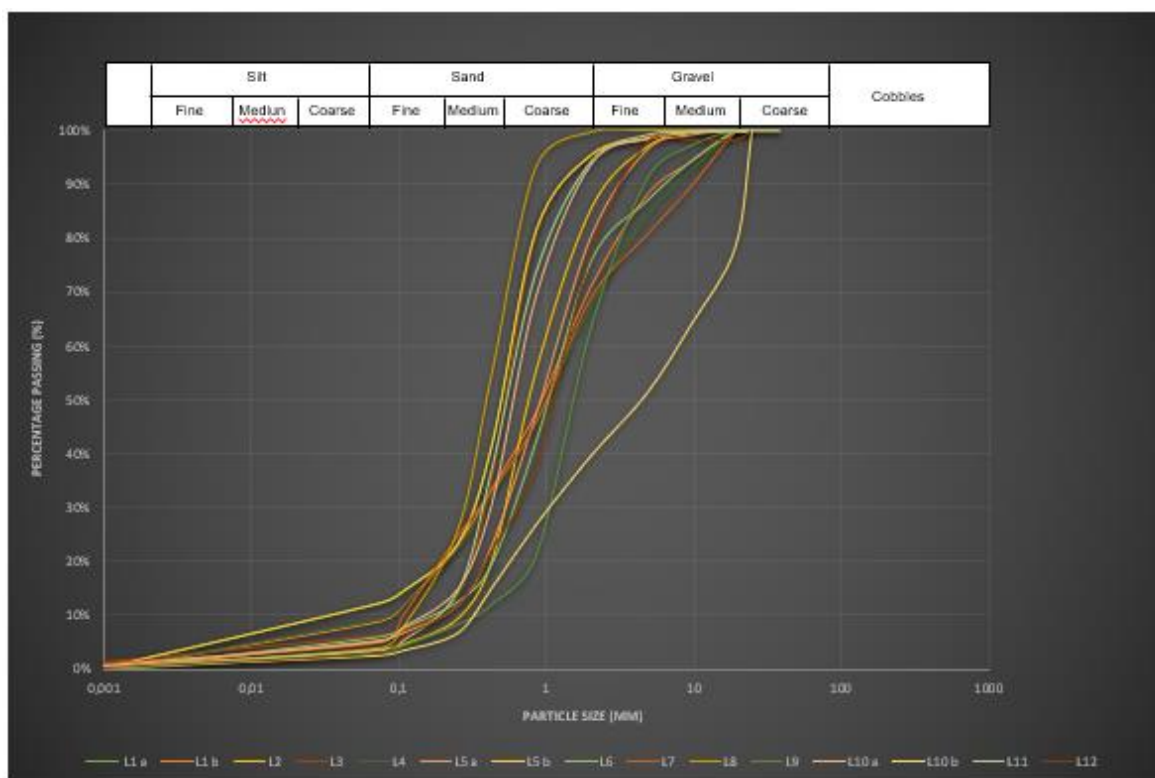


Figura 24 - Curvas de todas as granulometrias

O resultado das granulometrias mostrou que o provete de L10b é mais grosso comparativamente com os outros provetes, sendo que a maioria dos agregados que compõem os adobes existentes nas construções estudadas foram classificados como areias grossas. No entanto, embora menos comum, também surgem amostras com maior índice de finos. O provete de L10 teve o agregado de dimensões superiores a 24,5mm.

5.2.2 Dissolução ácida

Foi realizada a dissolução de adobe em ácido clorídrico de forma a calcular os resíduos insolúveis, ou seja, para determinar aproximadamente o traço da composição presente nos adobes. Este ensaio segue a norma interna aplicada no laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, (Insolúveis e HCl, 2014).

Na tabela 23 mostram-se os resultados calculado da quantidade resíduos insolúveis em HCl:

Tabela 23 - Resultados dos ensaios dissolução acida.

Lotes	Filtro (g)	Massa Inicial (g)	Massa do filtro com resíduo (g)	%Res. Ins.
1A	1,38	50,04	51,10	99,4
1B	1,39	50,03	50,80	98,8
2	1,35	50,03	49,70	96,6
3	1,37	50,03	50,93	99,1
4	1,35	50,03	51,00	99,2
5A	1,35	50,03	51,30	99,8
5B	1,38	50,08	50,70	98,5
6	1,37	50,06	50,31	97,8
7	1,41	50,08	50,59	98,2
8	1,39	50,08	51,35	99,8
9	1,41	50,10	50,80	98,6
10A	1,38	50,06	51,20	99,5
10B	1,40	50,07	50,90	98,9
11	1,38	50,06	51,04	99,2
12	1,40	50,07	50,40	97,9

O resultado dos ensaios de dissolução acida que apresentam as amostras com menor percentagem de resíduos insolúveis é o provete de L2 com 96,6% e a maior percentagem de resíduo insolúveis são os provetes L5a e L8 com 99,8%. Todas as amostras apresentam elevada percentagem de resíduo insolúvel, mostrando a grande quantidade de agregado não reativos ao ataque de ácido.

5.2.3 Velocidade de propagação de Ultrassons (Pundit)

A velocidade de propagação de ultrassons (Pundit) corresponde ao quociente entre a distância percorrida pela onda e o tempo que ela levou a percorrer a distância entre transdutores e que é registado pelo equipamento.

O módulo de elasticidade foi calculado recorrendo ao *Pundit*. O *Pundit* não oferece uma medida do módulo direto, o *Pundit* regista o tempo, em microssegundos, que demora o sinal emitido pelo transdutor emissor a chegar ao transdutor recetor.

Nas tabelas 24 a 35 mostram-se os resultados obtidos para o módulo de elasticidade através da aplicação da técnica de ultrassons.

Tabela 24 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe Lote1

Lote 1				
Provete	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
6x6x24	1,245	0,461	1481,3	1867
6x6x24	1,076	0,5	1629,7	1596
6x6x24	1,361	0,509	1696,5	1984
fc_dry	1,796	1,445	1653,2	2962
fc_dry	1,822	1,472	1675,1	2925
fc_dry	1,616	1,436	1649,5	2585
fc_sat	1,801	1,233	1706,2	2908
fc_sat	1,339	1,17	1649,7	2400
fc_sat	1,297	1,255	1732,3	2303
cap_NaCl	1,594	1,232	1684,7	2568
cap_NaCl	1,228	1,188	1676,9	2175
cap_NaCl	1,420	1,227	1704,6	2315
cap_NaSO	1,453	1,188	1628,0	2382
cap_NaSO	1,275	1,17	1663,6	2233
cap_NaSO	1,594	1,196	1650,0	2641
cap_H2O	1,476	1,213	1719,7	2430
cap_H2O	1,173	1,236	1671,0	2090
cap_H2O	1,147	1,198	1678,7	1978
cíclico	1,127	1,195	1666,1	1892
Média				2328,15
Desvio Padrão				370,24
CoV %				16%

O valor médio do módulo de elasticidade de L1 foi de 2328,15MPa com um coeficiente de variação de 16%.

Tabela 25 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 2.

Lote 2				
Provete	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
4x4x16	1,339	0,461	1481,3	1983
4x4x16	1,436	0,5	1629,7	2341
4x4x16	1,324	0,509	1696,5	2246
6x6x24	1,696	1,445	1653,2	2805
6x6x24	1,551	1,472	1675,1	2599
6x6x24	1,623	1,436	1649,5	2678
cap_NaSO	1,408	1,233	1706,2	2402
cap_NaSO	1,263	1,17	1649,7	2083
cap_NaSO	1,372	1,255	1732,3	2377
cap_H2O	1,196	1,232	1684,7	2015
cap_H2O	1,216	1,188	1676,9	2040
cap_H2O	1,236	1,227	1704,6	2107
fc_dry	1,327	1,188	1628,0	2160
fc_dry	1,411	1,17	1663,6	2348
fc_dry	1,360	1,196	1650,0	2244
fc_sat	1,521	1,213	1719,7	2616
fc_sat	1,344	1,236	1671,0	2245
fc_sat	1,397	1,198	1678,7	2346
cap_NaCl	1,370	1,195	1666,1	2283
cap_NaCl	1,285	1,203	1667,5	2144
cap_NaCl	1,472	1,159	1591,3	2342
cíclico	1,438	1,136	1567,3	2254
Média				2302,51
Desvio Padrão				213,17
CoV %				9%

O valor médio do módulo de elasticidade de L2 foi de 2302,51MPa com um coeficiente de variação de 9%.

Tabela 26 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 3

Lote 3				
Proвете	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
4x4x16	0,959	0,345	1664,9	1596
4x4x16	0,907	0,3474	1711,0	1552
4x4x16	1,073	0,367	1638,0	1757
4x4x16	0,965	0,354	1702,7	1643
5x5x20	0,948	0,697	1681,0	1594
5x5x20	0,944	0,675	1550,8	1464
6x6x24	1,009	1,37	1592,1	1606
6x6x24	0,964	1,42	1552,6	1497
6x6x24	0,902	1,472	1685,5	1520
7x7x28	0,998	2,173	1663,6	1660
7x7x28	1,021	2,311	1661,6	1696
7x7x28	1,063	2,258	1666,7	1771
fc_dry	0,991	1,21	1644,8	1630
fc_dry	1,089	1,18	1573,9	1713
fc_dry	1,078	1,239	1652,4	1781
cap_NaCl	1,134	1,18	1639,7	1859
cap_NaCl	1,191	1,208	1647,4	1962
cap_NaCl	1,111	1,214	1654,6	1838
fc_sat	1,160	1,217	1615,0	1873
fc_sat	1,050	1,275	1654,7	1737
fc_sat	1,050	1,217	1627,9	1709
cap_NaSO	1,218	1,187	1574,7	1918
cap_NaSO	1,027	1,223	1682,4	1728
cap_NaSO	1,164	1,206	1628,7	1896
cap_H2O	1,060	1,198	1609,5	1705
cap_H2O	1,008	1,24	1664,4	1679
cap_H2O	1,155	1,232	1675,1	1935
cíclico	1,087	1,23	1623,3	1764
Média				1717,23
Desvio Padrão				132,28
CoV %				8%

O valor médio do módulo de elasticidade de L3 foi de 1717,23MPa com um coeficiente de variação de 8%.

Tabela 27 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 4.

Lote 4				
Provete	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
5x5x20	1,317	0,824	1820,2	2397
6x6x24	1,176	1,409	1695,6	1994
6x6x24	1,247	1,419	1663,0	2073
6x6x24	1,255	1,496	1716,2	2153
7x7x28	1,526	2,615	1745,9	2663
7x7x28	1,263	2,58	1774,1	2241
7x7x28	1,405	2,551	1814,1	2549
cap_NaCl	1,713	1,294	1755,5	3007
cap_NaCl	1,396	1,277	1751,1	2445
cap_NaCl	1,510	1,31	1813,1	2738
fc_dry	1,252	1,302	1778,0	2227
fc_dry	1,079	1,258	1741,1	1879
fc_dry	1,275	1,286	1746,3	2226
cap_NaSO	1,392	1,297	1852,7	2578
cap_NaSO	1,252	1,21	1764,8	2209
cap_NaSO	1,250	1,289	1779,4	2224
cap_H2O	1,362	1,28	1800,1	2451
cap_H2O	1,262	1,263	1807,9	2282
cap_H2O	1,545	1,325	1819,4	2812
fc_sat	1,249	1,281	1764,4	2204
fc_sat	1,479	1,301	1799,1	2661
fc_sat	1,423	1,28	1746,0	2485
cíclico	1,398	1,262	1719,0	4805
Média				2491,46
Desvio Padrão				561,70
CoV %				23%

O valor médio do módulo de elasticidade de L4 foi de 2491,45MPa com um coeficiente de variação de 23%.

Tabela 28 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 5.

Lote 5				
Provete	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
7x7x28	1,499	2,293	1649,1	2472
7x7x28	1,506	2,299	1648,5	2483
7x7x28	1,449	2,179	1637,7	2373
fc_dry	1,670	1,304	1724,5	2880
fc_dry	1,699	1,276	1671,2	2839
fc_dry	1,586	1,277	1696,3	2690
cap_NaSO	1,568	1,275	1671,9	2621
cap_NaSO	1,442	1,299	1759,3	2536
cap_NaSO	1,547	1,282	1752,9	2711
cap_NaCl	1,564	1,279	1690,6	2644
cap_NaCl	1,473	1,338	1787,6	2633
cap_NaCl	1,464	1,246	1644,5	2407
fc_sat	1,553	1,364	1751,3	2721
fc_sat	1,498	1,359	1786,9	2678
fc_sat	1,457	1,345	1788,0	2606
cap_H2O	1,430	1,348	1775,4	2539
cap_H2O	1,671	1,257	1678,8	2805
cap_H2O	1,398	1,361	1783,3	2493
cíclico	1,438	1,332	1766,7	2541
Média				2614,33
Desvio Padrão				137,53
CoV %				5%

O valor médio do módulo de elasticidade de L5 foi de 2614,33MPa com um coeficiente de variação de 5%.

Tabela 29 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 6.

Lote 6				
Provete	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
7x7x28	2,292	2,308	1788,5	4099
7x7x28	2,694	2,483	1793,0	4831
7x7x28	2,336	2,28	1740,7	4067
cap_H2O	2,114	1,224	1709,9	3615
cap_H2O	1,936	1,25	1740,9	3370
cap_H2O	2,308	1,207	1664,8	3842
fc_dry	1,714	1,228	1734,1	2973
fc_dry	2,221	1,241	1739,6	3864
fc_dry	1,765	1,148	1595,3	2815
cap_NaSO	2,342	1,246	1749,0	4097
cap_NaSO	2,289	1,291	1836,3	4203
cap_NaSO	1,492	1,198	1764,2	2632
fc_sat	2,625	1,237	1789,4	4697
fc_sat	2,010	1,251	1791,6	3602
fc_sat	1,994	1,276	1929,4	3848
cap_NaCl	1,523	1,173	1668,2	2541
cap_NaCl	1,699	1,21	1715,9	2915
cap_NaCl	1,636	1,246	1735,4	2839
cíclico	2,068	1,164	1725,8	3569
Média				3600,91
Desvio Padrão				655,17
CoV %				18%

O valor médio do módulo de elasticidade de L6 foi de 3600,91MPa com um coeficiente de variação de 18%.

Tabela 30 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 7.

Lote 7				
Provete	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
6x6x24	2,170	1,568	1892,8	4108
6x6x24	2,108	1,474	1733,2	3654
6x6x24	2,127	1,578	1840,7	3914
cap_NaCl	2,323	1,387	1827,5	4246
cap_NaCl	2,116	1,265	1805,0	3819
cap_NaCl	2,036	1,304	1783,0	3630
fc_dry	1,919	1,314	1798,6	3451
fc_dry	1,768	1,298	1760,4	3112
fc_dry	2,197	1,353	1823,6	4006
fc_sat	1,806	1,397	1902,2	3436
fc_sat	1,883	1,322	1805,0	3398
fc_sat	1,808	1,353	1847,8	3341
cap_NaSO	1,416	1,343	1905,2	2697
cap_NaSO	1,877	1,414	1929,4	3622
cap_NaSO	1,838	1,286	1807,6	3322
cap_H2O	1,629	1,372	1902,0	3098
cap_H2O	1,499	1,334	1788,7	2680
cap_H2O	1,788	1,268	1815,7	3246
cíclico	1,821	1,298	1731,2	3153
Média				3470,19
Desvio Padrão				421,95
CoV %				12%

O valor médio do módulo de elasticidade de L7 foi de 3470,19MPa com um coeficiente de variação de 12%.

Tabela 31 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 8.

Lote 8				
Provete	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
4x4x16	1,147	0,3998	1540,2	1767
4x4x16	1,150	0,3657	1496,3	1721
5x5x20	1,126	0,7724	1602,3	1804
5x5x20	1,291	0,7124	1579,5	2039
6x6x24	1,285	1,285	1605,9	2064
6x6x24	1,139	1,301	1604,4	1828
7x7x28	1,216	2,451	1603,1	1949
7x7x28	1,178	2,459	1637,0	1929
7x7x28	1,179	2,456	1606,1	1894
fc_dry	1,150	1,221	1659,6	1908
fc_dry	1,117	1,2	1587,9	1774
fc_dry	1,142	1,221	1651,1	1886
cap_H2O	1,140	1,218	1623,0	1850
cap_H2O	1,133	1,196	1610,5	1825
cap_H2O	1,077	1,205	1624,6	1750
cap_NaCl	1,134	1,182	1645,0	1865
cap_NaCl	1,055	1,185	1637,6	1727
cap_NaCl	1,017	1,17	1625,6	1653
fc_sat	1,033	1,213	1623,4	1678
fc_sat	0,997	1,183	1602,9	1598
fc_sat	1,090	1,203	1631,8	1779
cap_NaSO	0,962	1,219	1679,7	1617
cap_NaSO	1,058	1,21	1627,6	1723
cap_NaSO	0,979	1,194	1641,1	1606
cíclico	0,987	1,228	1623,5	1603
Média				1793,34
Desvio Padrão				128,04
CoV %				7%

O valor médio do módulo de elasticidade de L8 foi de 1793,34MPa com um coeficiente de variação de 7%.

Tabela 32 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 9.

Lote 9				
Provete	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
4x4x16	1,912	0,451	1660,1	3174
4x4x16	1,903	0,425	1636,1	3114
4x4x16	1,904	0,544	1737,0	3308
5x5x20	1,872	0,798	1700,5	3183
5x5x20	2,090	0,957	1769,9	3699
5x5x20	1,740	0,888	1689,8	2941
6x6x24	1,725	1,653	1736,2	2996
6x6x24	1,903	1,766	1654,3	3148
6x6x24	1,627	1,713	1759,6	2863
7x7x28	1,943	2,575	1815,5	3528
7x7x28	1,569	2,368	1654,4	2595
7x7x28	1,698	2,486	1734,7	2946
cap_NaSO	1,886	1,282	1742,5	3287
cap_NaSO	1,857	1,372	1768,1	3284
cap_NaSO	1,463	1,312	1788,6	2616
cap_H2O	1,664	1,251	1706,2	2840
cap_H2O	1,585	1,288	1749,5	2773
cap_H2O	1,763	1,25	1703,4	3004
cap_NaCl	1,629	1,32	1764,7	2875
cap_NaCl	1,568	1,297	1789,3	2806
cap_NaCl	1,796	1,297	1711,8	3075
fc_dry	1,817	1,309	1820,4	3307
fc_dry	1,750	1,288	1768,3	3094
fc_dry	1,576	1,298	1780,0	2805
fc_sat	1,712	1,293	1805,3	3091
fc_sat	1,706	1,337	1826,9	3117
fc_sat	1,785	1,306	1743,4	3112
cíclico	1,609	1,232	1653,0	2659
Média				3044,23
Desvio Padrão				255,92
CoV %				8%

O valor médio do módulo de elasticidade de L9 foi de 3044,23MPa com um coeficiente de variação de 8%.

Tabela 33 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 10.

Lote 10				
Provete	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
6x6x24	1,985	1,518	1686,8	3349
6x6x24	1,765	1,505	1702,7	3006
6x6x24	1,813	1,459	1627,8	2951
cap_NaCl	2,355	1,415	1797,0	4232
cap_NaCl	2,177	1,41	1894,8	4125
cap_NaCl	2,847	1,419	1876,1	5340
fc_dry	1,582	1,523	1996,9	3158
fc_dry	2,607	1,463	1965,2	5124
fc_dry	1,750	1,238	1707,4	2988
fc_sat	1,761	1,462	1952,0	3438
fc_sat	2,033	1,419	1916,4	3896
fc_sat	1,546	1,251	1692,6	2618
cap_NaSO	2,420	1,561	2095,2	5071
cap_NaSO	2,432	1,408	1921,5	4672
cap_NaSO	2,681	1,336	1924,8	5161
cap_H2O	2,100	1,288	1769,2	3716
cap_H2O	1,762	1,323	1866,4	3288
cap_H2O	2,235	1,333	1816,9	4060
cíclico	1,722	1,299	1764,3	3038
Média				3854,16
Desvio Padrão				848,31
CoV %				22%

O valor médio do módulo de elasticidade de L10 foi de 3854,16MPa com um coeficiente de variação de 22%.

Tabela 34 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 11.

Lote 11				
Provete	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
4x4x16	1,262	0,42	1584,1	1999
4x4x16	1,320	0,401	1682,0	2220
4x4x16	1,293	0,366	1519,4	1965
5x5x20	1,160	0,886	1621,7	1881
5x5x20	1,172	0,819	1522,1	1783
6x6x24	1,236	1,475	1530,5	1892
7x7x28	1,230	2,268	1647,0	2026
7x7x28	1,099	2,242	1634,4	1797
cap_NaCl	1,440	1,109	1573,2	2265
cap_NaCl	1,294	1,168	1645,5	2129
cap_NaCl	1,283	1,144	1634,5	2097
cap_H2O	1,333	1,188	1701,6	2268
cap_H2O	1,304	1,126	1604,6	2093
cap_H2O	1,347	1,135	1601,2	2157
fc_dry	1,307	1,152	1638,2	2141
fc_dry	1,472	1,137	1640,6	2416
fc_dry	1,359	1,141	1616,9	2198
cap_NaSO	1,255	1,09	1589,5	1994
cap_NaSO	1,259	1,147	1639,7	2065
cap_NaSO	1,201	1,171	1649,3	1981
fc_sat	1,337	1,111	1560,5	2087
fc_sat	1,321	1,177	1650,1	2180
fc_sat	1,289	1,048	1567,1	2020
cíclico	1,204	1,118	1640,8	1976
Média				2067,99
Desvio Padrão				149,01
CoV %				7%

O valor médio do módulo de elasticidade de L11 foi de 2067,99MPa com um coeficiente de variação de 7%.

Tabela 35 - Valores da densidade, velocidade de propagação do som e do módulo de elasticidade dos provetes de adobe lote 12.

Lote 12				
Proвете	Velocidade Km/s	Massa Kg	Densidade (ρ) Kg/m³	Módulo de Elasticidade Mpa
4x4x16	1,767	0,448	1698,1	3000
4x4x16	1,665	0,437	1614,1	2687
4x4x16	1,636	0,44	1718,8	2812
4x4x16	1,335	0,414	1755,8	2344
5x5x20	1,583	0,911	1678,9	2657
5x5x20	1,385	0,867	1708,7	2366
6x6x24	1,507	1,281	1710,8	2578
7x7x28	1,248	2,248	1688,2	2106
7x7x28	1,437	2,200	1670,1	2401
cap_NaSO	1,670	1,183	1742,7	2911
cap_NaSO	1,533	1,187	1727,4	2648
cap_NaSO	1,575	1,229	1732,9	2729
fc_dry	1,450	1,183	1694,6	2457
fc_dry	1,270	1,202	1714,3	2176
fc_dry	1,533	1,185	1748,5	2681
cap_NaCl	1,235	1,225	1739,3	2149
cap_NaCl	1,274	1,184	1795,0	2287
cap_NaCl	1,528	1,227	1765,5	2698
fc_sat	1,426	1,166	1804,1	2572
fc_sat	1,563	1,219	1700,0	2658
fc_sat	1,512	1,203	1786,3	2701
cap_H2O	1,395	1,168	1768,0	2466
cap_H2O	1,317	1,164	1780,7	2345
cap_H2O	1,458	1,16	1735,1	2529
cíclico	1,504	1,111	1652,4	2486
Média				2537,78
Desvio Padrão				225,54
CoV %				9%

O valor médio do módulo de elasticidade de L12 foi de 2537,78MPa com um coeficiente de variação de 9%.

Com base nestes resultados no laboratório, os resultados da velocidade de propagação de ultrassons (Pundit) que se mostrou nas tabelas 24 até 35, sendo que, o maior valor médio do módulo de elasticidade é do provete L10 que foi de 3854,16MPa com um coeficiente de variação de 22%, e o valor mínimo do módulo elasticidade é do provete L3 que foi de 1717,23MPa com um coeficiente de variação de 8%, significa que houve uma pequena dispersão nos valores dos módulos de elasticidades obtidos ao longo do ensaio.

5.2.4 Absorção por Capilaridade

Características da absorção por capilaridade, fornece a informação importante relativamente a suscetibilidade da entrada de água. A absorção por capilaridade determina-se expressando a variação da massa do provete durante o processo de absorção em função da raiz quadrada do tempo.(Standard, 2002)

Com os resultados obtidos nas pesagens dos ensaios, obtém-se a curva de absorção capilar, que expressa a quantidade de água absorvida por unidade de superfície (kg/m^2) em função da raiz quadrada do tempo decorrido ($\text{s}^{1/2}$), em segundos. O declive do primeiro troço linear corresponde ao coeficiente de absorção capilar ou coeficiente de capilaridade (C). Após o ensaio de absorção por capilaridade os cubos foram guardados novamente para ensaiar à compressão. (Standard, 2008)

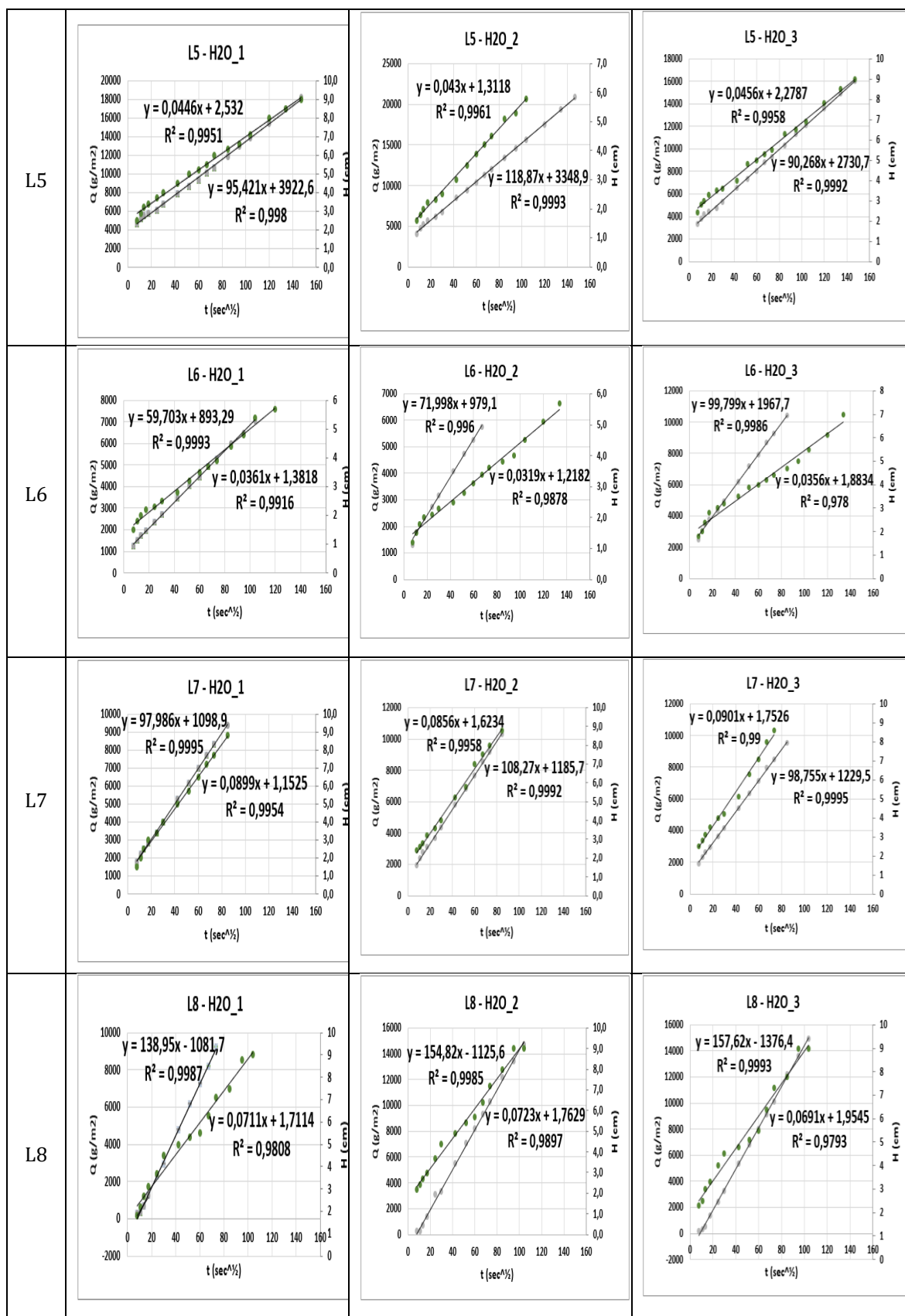
Neste estudo foram utilizados 3 provetes de adobe por cada um dos lotes. Portanto para os 3 ensaios de capilaridade usou-se 36 provetes de adobe.

5.2.4.1 Capilaridade com água

Os ensaios foram efetuados com água destilada, à temperatura ambiental de 21°C e humidade 66%. Na tabela 36, 38 e 40 mostram-se as curvas de absorção por capilaridade com a água, cloreto de sódio e sulfato de sódio.

Tabela 36 - Resultados das curvas de absorção capilar com água (H₂O)

L1	<p>L1 - H2O_1</p> <p>$y = 0,0955x + 0,6324$ $R^2 = 0,9897$</p> <p>$y = 218,76x + 45,418$ $R^2 = 0,9985$</p>	<p>L1 - H2O_2</p> <p>$y = 0,0965x + 0,964$ $R^2 = 0,9974$</p> <p>$y = 201,63x + 1419$ $R^2 = 0,9992$</p>	<p>L1 - H2O_3</p> <p>$y = 189,78x + 1898,1$ $R^2 = 0,9854$</p> <p>$y = 0,1075x + 0,7386$ $R^2 = 0,9948$</p>
L2	<p>L2 - H2O_1</p> <p>$y = 0,0758x + 2,0864$ $R^2 = 0,9757$</p> <p>$y = 119,36x + 3632,8$ $R^2 = 0,995$</p>	<p>L2 - H2O_2</p> <p>$y = 0,0818x + 1,9607$ $R^2 = 0,9723$</p> <p>$y = 106,69x + 3306,2$ $R^2 = 0,9961$</p>	<p>L2 - H2O_3</p> <p>$y = 0,0867x + 1,7635$ $R^2 = 0,9844$</p> <p>$y = 109,76x + 1795,3$ $R^2 = 0,998$</p>
L3	<p>L3 - H2O_1</p> <p>$y = 0,1726x + 0,8876$ $R^2 = 0,9996$</p> <p>$y = 220,61x + 3753$ $R^2 = 0,991$</p>	<p>L3 - H2O_2</p> <p>$y = 0,1291x + 1,6377$ $R^2 = 0,9809$</p> <p>$y = 238,65x + 3500,4$ $R^2 = 0,9956$</p>	<p>L3 - H2O_3</p> <p>$y = 0,1199x + 1,869$ $R^2 = 0,9893$</p> <p>$y = 234,56x + 4356,3$ $R^2 = 0,9952$</p>
L4	<p>L4 - H2O_1</p> <p>$y = 0,1198x + 0,782$ $R^2 = 0,9931$</p> <p>$y = 210,16x + 3315,8$ $R^2 = 0,9966$</p>	<p>L4 - H2O_2</p> <p>$y = 0,107x + 0,8202$ $R^2 = 0,9863$</p> <p>$y = 201,49x + 2772,2$ $R^2 = 0,9967$</p>	<p>L4 - H2O_3</p> <p>$y = 0,0892x + 1,4957$ $R^2 = 0,99$</p> <p>$y = 191,29x + 2719,4$ $R^2 = 0,9973$</p>



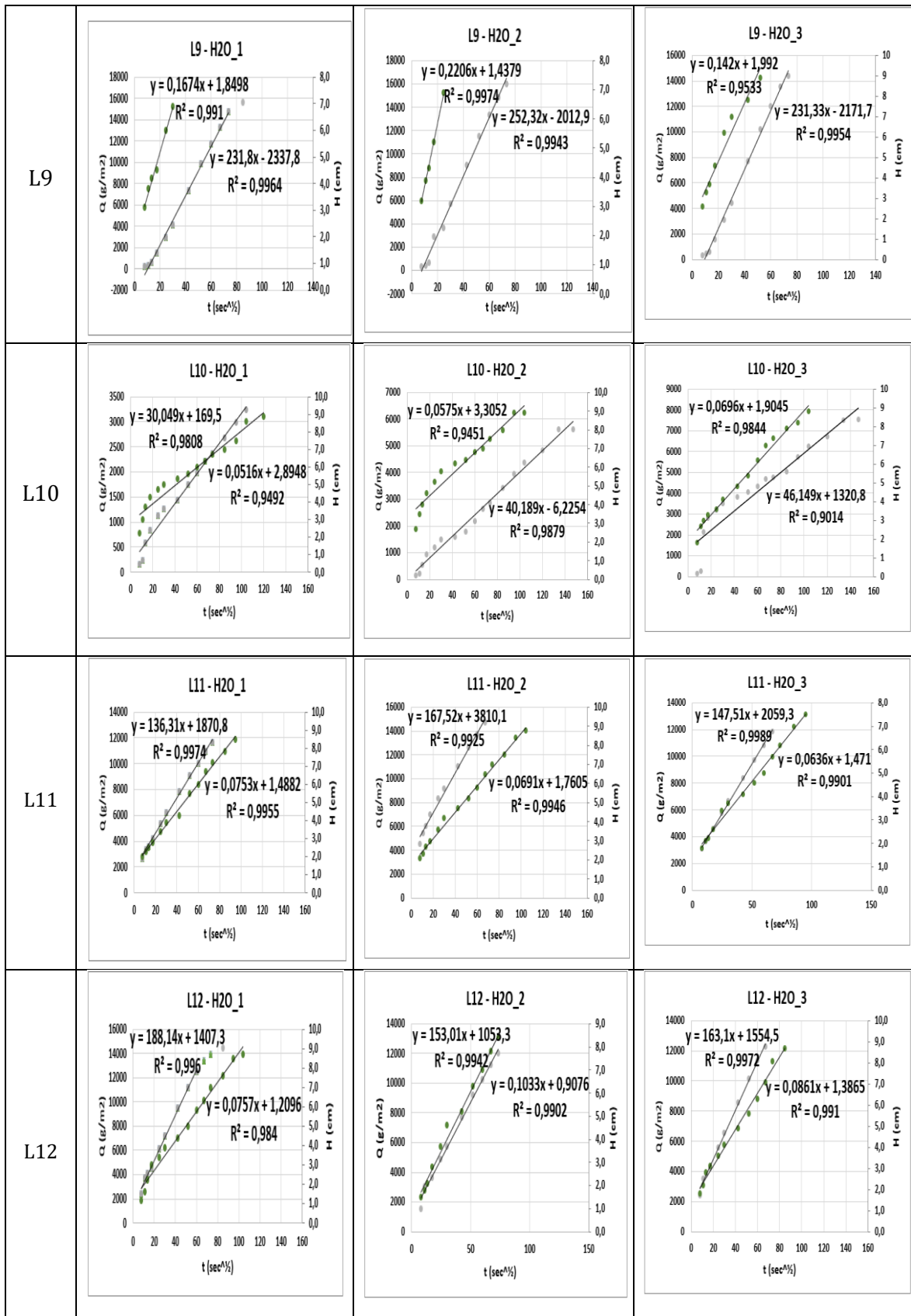


Tabela 37 - Resultados médios das curvas de absorção capilar com água (H₂O)

Cap_H2O		
Provete	AC	B
	Kg/m ² /s ^{1/2}	(cm. s ^{1/2})
	Média	Média
1	0,203	0,100
2	0,112	0,081
3	0,231	0,141
4	0,201	0,105
5	0,102	0,044
6	0,077	0,035
7	0,102	0,089
8	0,150	0,071
9	0,228	0,177
10	0,039	0,060
11	0,150	0,070
12	0,168	0,088
MÉDIA	0,147	0,088
DES. PADRAO	0,059	0,038
COV. %	40%	43%

Relativamente aos valores obtidos com água pura, o valor máximo de absorção capilar foi obtido para L3 com o valor 0,231 Kg/m²/s^{1/2} e valor de coeficiente de penetração de água foi 0,141 cm. s^{1/2}, o valor mínimo foi L10 com 0,039 Kg/m²/s^{1/2} e valor de coeficiente de penetração de água foi 0,061 cm. s^{1/2}. O valor médio de todos os provetes de absorção capilar com água pura foi de 0,147 Kg/m²/s^{1/2} com um coeficiente de variação de 40%.

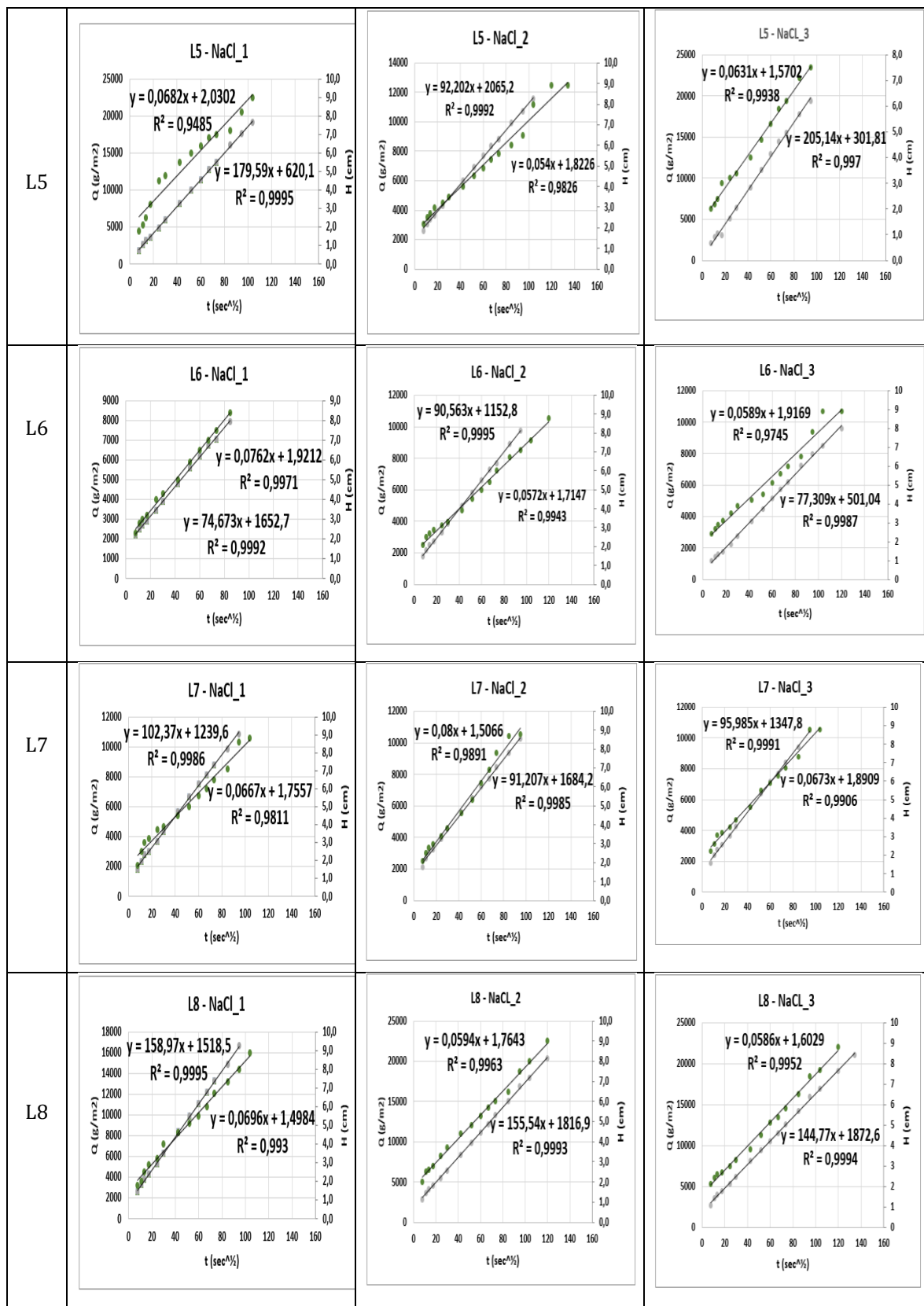
Para se obter uma ideia comparativa do valor de absorção por capilaridade dos provetes, recorreu-se á análise da dissertação mestrado de (Azevedo, 2013) em que obteve o valor de 0,1642 Kg/m²/s^{1/2}. Verifica-se que é um pouco superior ao valor médio do resultado obtido nos ensaios realizados. No entanto, este valor enquadra-se bem no intervalo de valores (0,039 Kg/m²/s^{1/2} - 0,231 Kg/m²/s^{1/2}). De referir ainda que este autor usou provetes cúbicos mais pequenos com a dimensão 5 x 5 x 5 cm³.

5.2.4.2 Capilaridade com cloreto de sódio.

Neste estudo usou-se o composto químico de Cloreto de sódio com 264,7 g/l de água destilada.

Tabela 38 - Resultados das curvas de absorção capilar com cloreto de sódio (NaCl)

L1	<p>L1 - NaCl_1</p> <p>$y = 0,1165x + 1,7349$ $R^2 = 0,9965$</p> <p>$y = 257,97x + 1198,2$ $R^2 = 0,9963$</p>	<p>L1 - NaCl_2</p> <p>$y = 0,1147x + 1,8965$ $R^2 = 0,9967$</p> <p>$y = 265,89x + 1530,1$ $R^2 = 0,9957$</p>	<p>L1 - NaCl_3</p> <p>$y = 0,1149x + 2,1017$ $R^2 = 0,992$</p> <p>$y = 272,43x + 1407,2$ $R^2 = 0,9957$</p>
L2	<p>L2 - NaCl_1</p> <p>$y = 0,077x + 3,1428$ $R^2 = 0,9882$</p> <p>$y = 118,38x + 2920,4$ $R^2 = 0,9976$</p>	<p>L2 - NaCl_2</p> <p>$y = 0,0859x + 3,3041$ $R^2 = 0,9826$</p> <p>$y = 162,93x + 2334,4$ $R^2 = 0,996$</p>	<p>L2 - NaCl_3</p> <p>$y = 126,83x + 3602,2$ $R^2 = 0,9973$</p> <p>$y = 0,0927x + 2,5766$ $R^2 = 0,9828$</p>
L3	<p>L3 - NaCl_1</p> <p>$y = 0,111x + 1,5973$ $R^2 = 0,9894$</p> <p>$y = 298,89x + 2350$ $R^2 = 0,9979$</p>	<p>L3 - NaCl_2</p> <p>$y = 0,12x + 1,3374$ $R^2 = 0,9986$</p> <p>$y = 267,62x + 2356,8$ $R^2 = 0,9987$</p>	<p>L3 - NaCl_3</p> <p>$y = 0,1227x + 1,757$ $R^2 = 0,9922$</p> <p>$y = 301,25x + 2013,1$ $R^2 = 0,9982$</p>
L4	<p>L4 - NaCl_1</p> <p>$y = 0,082x + 1,314$ $R^2 = 0,9923$</p> <p>$y = 153,91x + 1019,6$ $R^2 = 0,9992$</p>	<p>L4 - NaCl_2</p> <p>$y = 171,82x + 1473$ $R^2 = 0,9992$</p> <p>$y = 0,0768x + 1,4879$ $R^2 = 0,9823$</p>	<p>L4 - NaCl_3</p> <p>$y = 158,06x + 1070,5$ $R^2 = 0,9942$</p> <p>$y = 0,0788x + 1,4767$ $R^2 = 0,9858$</p>



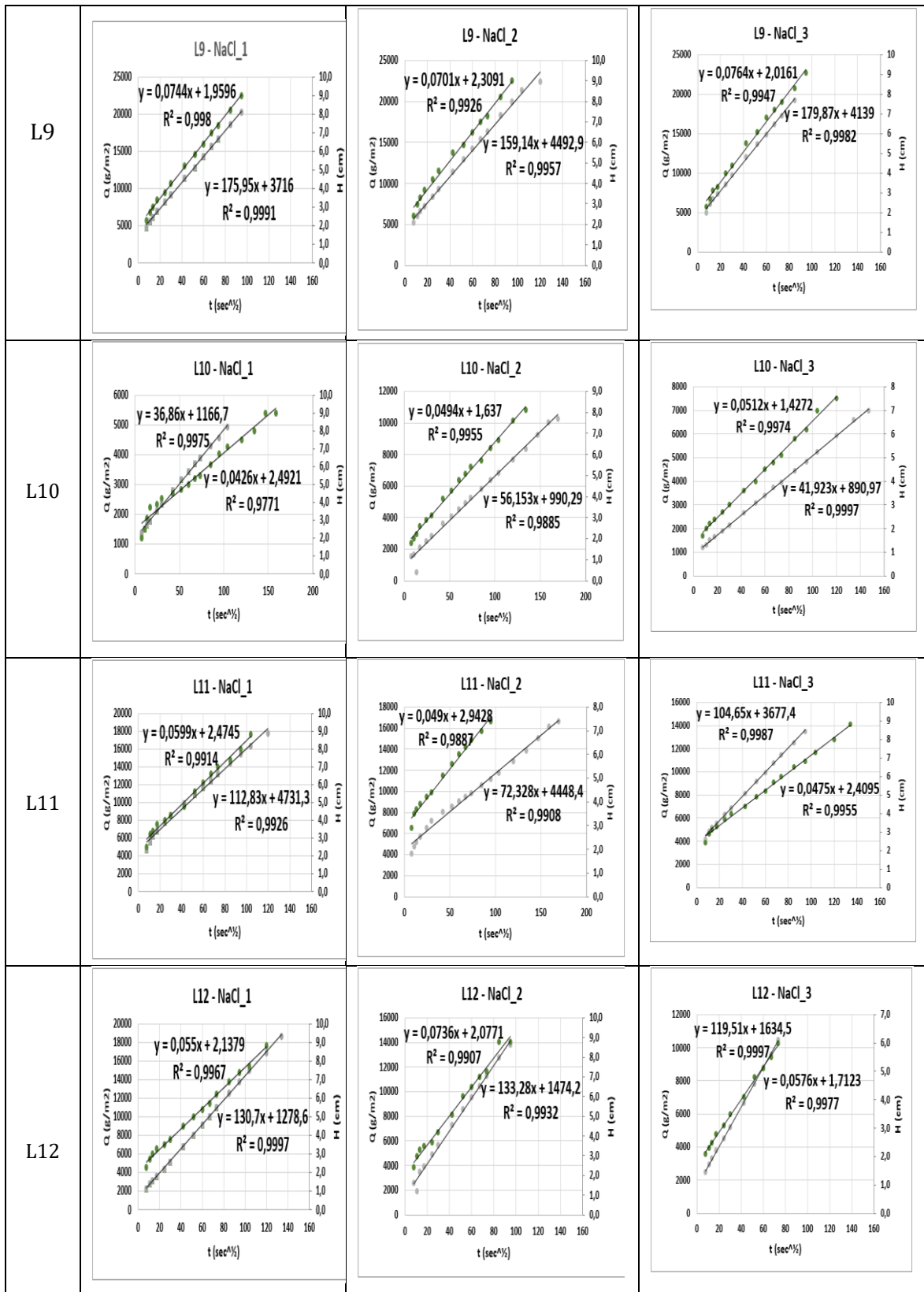


Tabela 39 - – Resultados médios das curvas de absorção capilar com Cloreto de Sódio (NaCl)

NaCl		
Provetes	AC	B
	Kg/m ² /s ^{1/2}	(cm. s ^{1/2})
	Média	Média
1	0,232	0,115
2	0,136	0,085
3	0,289	0,118
4	0,161	0,079
5	0,159	0,062
6	0,081	0,064
7	0,097	0,071
8	0,153	0,063
9	0,172	0,074
10	0,045	0,048
11	0,100	0,052
12	0,128	0,062
MÉDIA	0,146	0,074
DES. PADRÃO	0,064	0,021
COV %	44%	29%

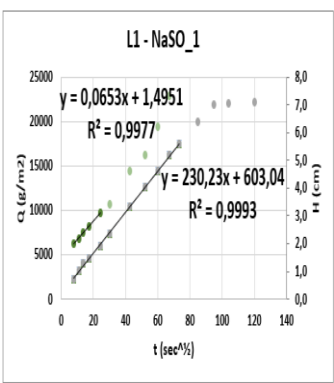
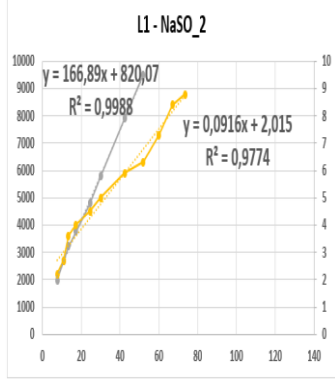
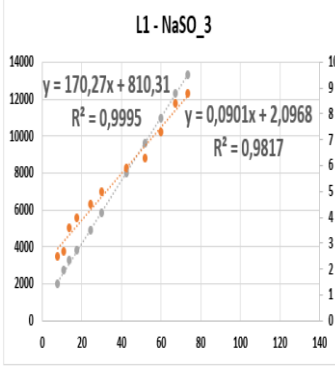
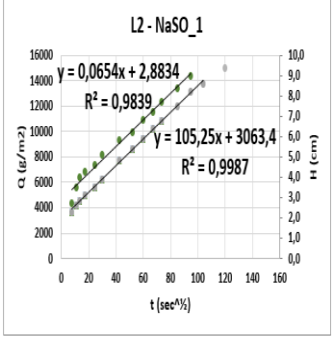
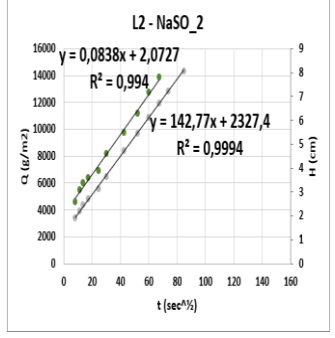
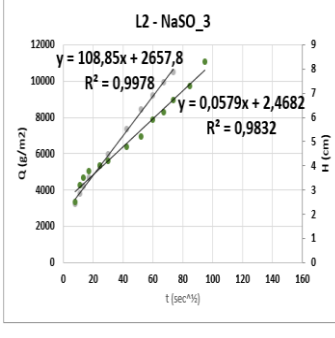
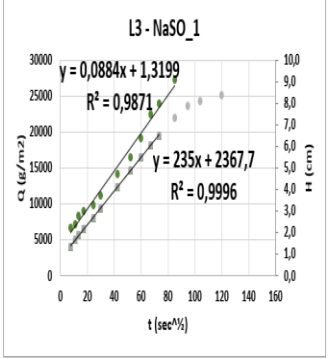
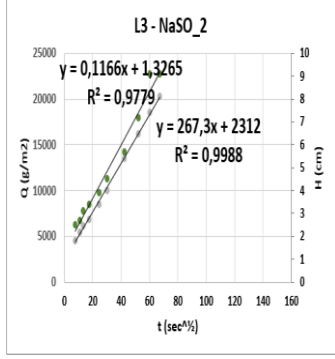
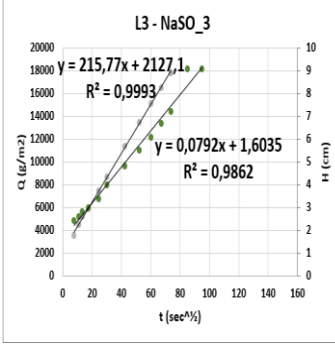
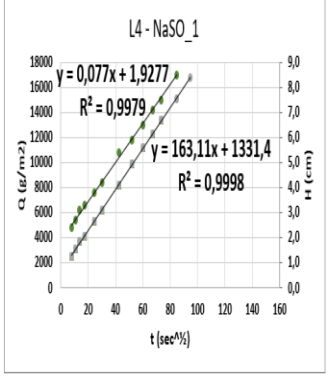
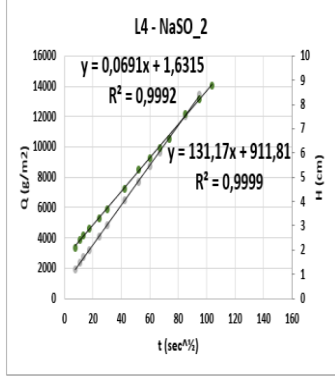
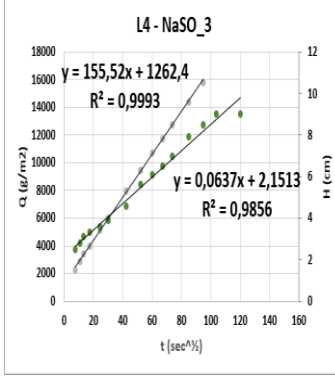
Relativamente aos valores obtidos com cloreto de sódio, o valor máximo de absorção capilar foi para L3 com o valor 0,289 Kg/m²/s^{1/2} e valor do coeficiente de penetração de água de 0,118 cm. s^{1/2}, o valor mínimo foi para L10 com 0,045 Kg/m²/s^{1/2} com o valor de coeficiente de penetração de água de 0,052 cm. s^{1/2}. O valor médio de todos os provetes de absorção capilar com cloreto de sódio foi de 0,146 Kg/m²/s^{1/2} com um coeficiente de variação de 44%.

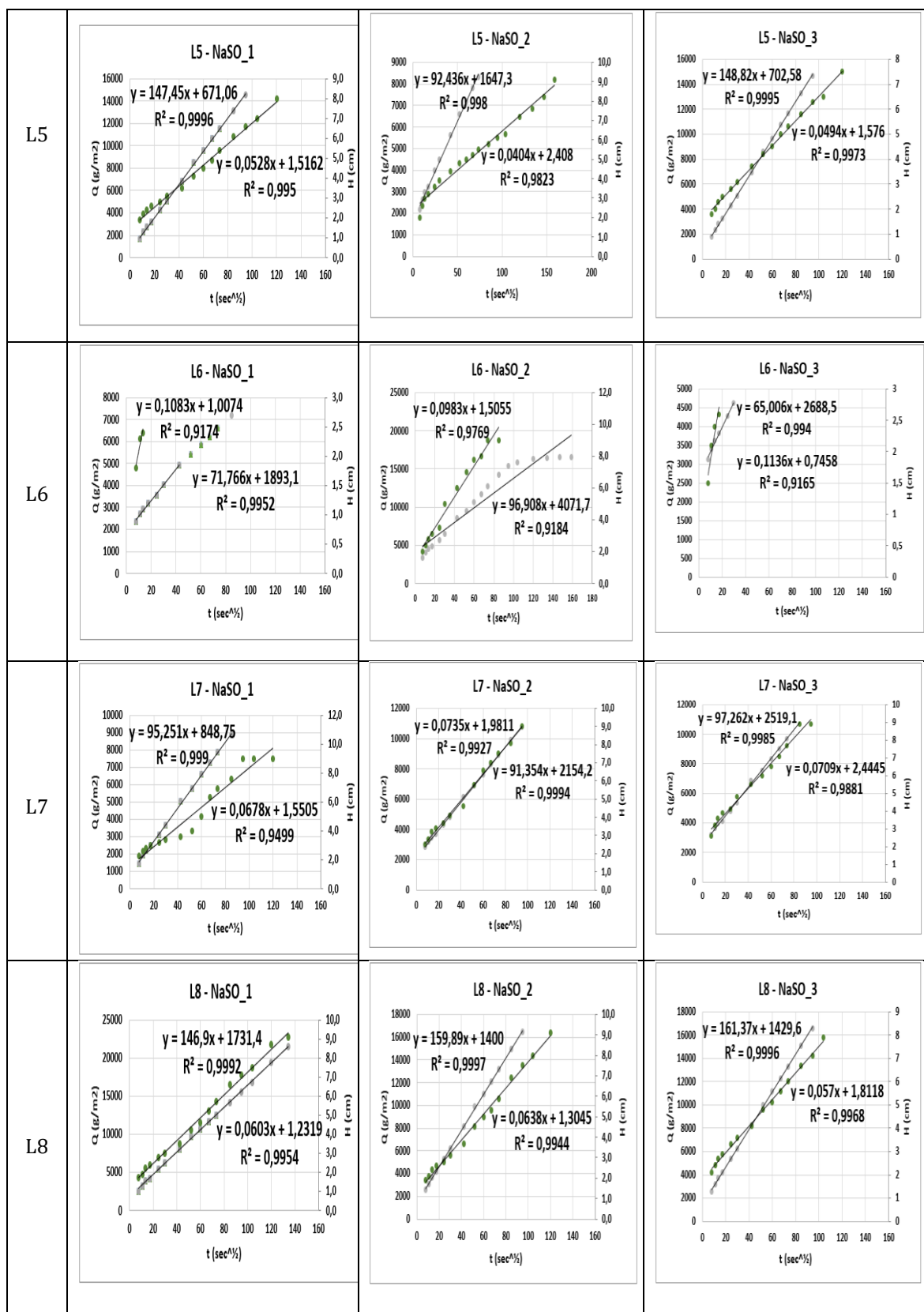
Para se obter uma ideia comparativa do valor de absorção por capilar dos provetes, recorreu á análise da dissertação mestrado de (Azevedo, 2013) em que também usou o NaCl e o resultado foi de 0,1350 Kg/m²/s^{1/2}, verificando-se é ligeiramente superior ao valor médio obtido neste trabalho, mas perfeitamente enquadrado no intervalo. No entanto, este autor usou provetes cúbicos mais pequenos com a dimensão 5 x 5 x 5 cm³.

5.2.4.3 Capilaridade com sulfato de sódio

Neste estudo usou-se o composto químico de sulfato de sódio com 163,2 g/l de água destilada.

Tabela 40 - Resultados das curvas de absorção capilar com Sulfato de Sódio (Na₂SO₄)

L1	 <p>L1 - NaSO_1</p> <p>$y = 0,0653x + 1,4951$ $R^2 = 0,9977$</p> <p>$y = 230,23x + 603,04$ $R^2 = 0,9993$</p>	 <p>L1 - NaSO_2</p> <p>$y = 166,89x + 820,07$ $R^2 = 0,9988$</p> <p>$y = 0,0916x + 2,015$ $R^2 = 0,9774$</p>	 <p>L1 - NaSO_3</p> <p>$y = 170,27x + 810,31$ $R^2 = 0,9995$</p> <p>$y = 0,0901x + 2,0968$ $R^2 = 0,9817$</p>
L2	 <p>L2 - NaSO_1</p> <p>$y = 0,0654x + 2,8834$ $R^2 = 0,9839$</p> <p>$y = 105,25x + 3063,4$ $R^2 = 0,9987$</p>	 <p>L2 - NaSO_2</p> <p>$y = 0,0838x + 2,0727$ $R^2 = 0,994$</p> <p>$y = 142,77x + 2327,4$ $R^2 = 0,9994$</p>	 <p>L2 - NaSO_3</p> <p>$y = 108,85x + 2657,8$ $R^2 = 0,9978$</p> <p>$y = 0,0579x + 2,4682$ $R^2 = 0,9832$</p>
L3	 <p>L3 - NaSO_1</p> <p>$y = 0,0884x + 1,3199$ $R^2 = 0,9871$</p> <p>$y = 235x + 2367,7$ $R^2 = 0,9996$</p>	 <p>L3 - NaSO_2</p> <p>$y = 0,1166x + 1,3265$ $R^2 = 0,9779$</p> <p>$y = 267,3x + 2312$ $R^2 = 0,9988$</p>	 <p>L3 - NaSO_3</p> <p>$y = 215,77x + 2127,1$ $R^2 = 0,9993$</p> <p>$y = 0,0792x + 1,6035$ $R^2 = 0,9862$</p>
L4	 <p>L4 - NaSO_1</p> <p>$y = 0,077x + 1,9277$ $R^2 = 0,9979$</p> <p>$y = 163,11x + 1331,4$ $R^2 = 0,9998$</p>	 <p>L4 - NaSO_2</p> <p>$y = 0,0691x + 1,6315$ $R^2 = 0,9992$</p> <p>$y = 131,17x + 911,81$ $R^2 = 0,9999$</p>	 <p>L4 - NaSO_3</p> <p>$y = 155,52x + 1262,4$ $R^2 = 0,9993$</p> <p>$y = 0,0637x + 2,1513$ $R^2 = 0,9856$</p>



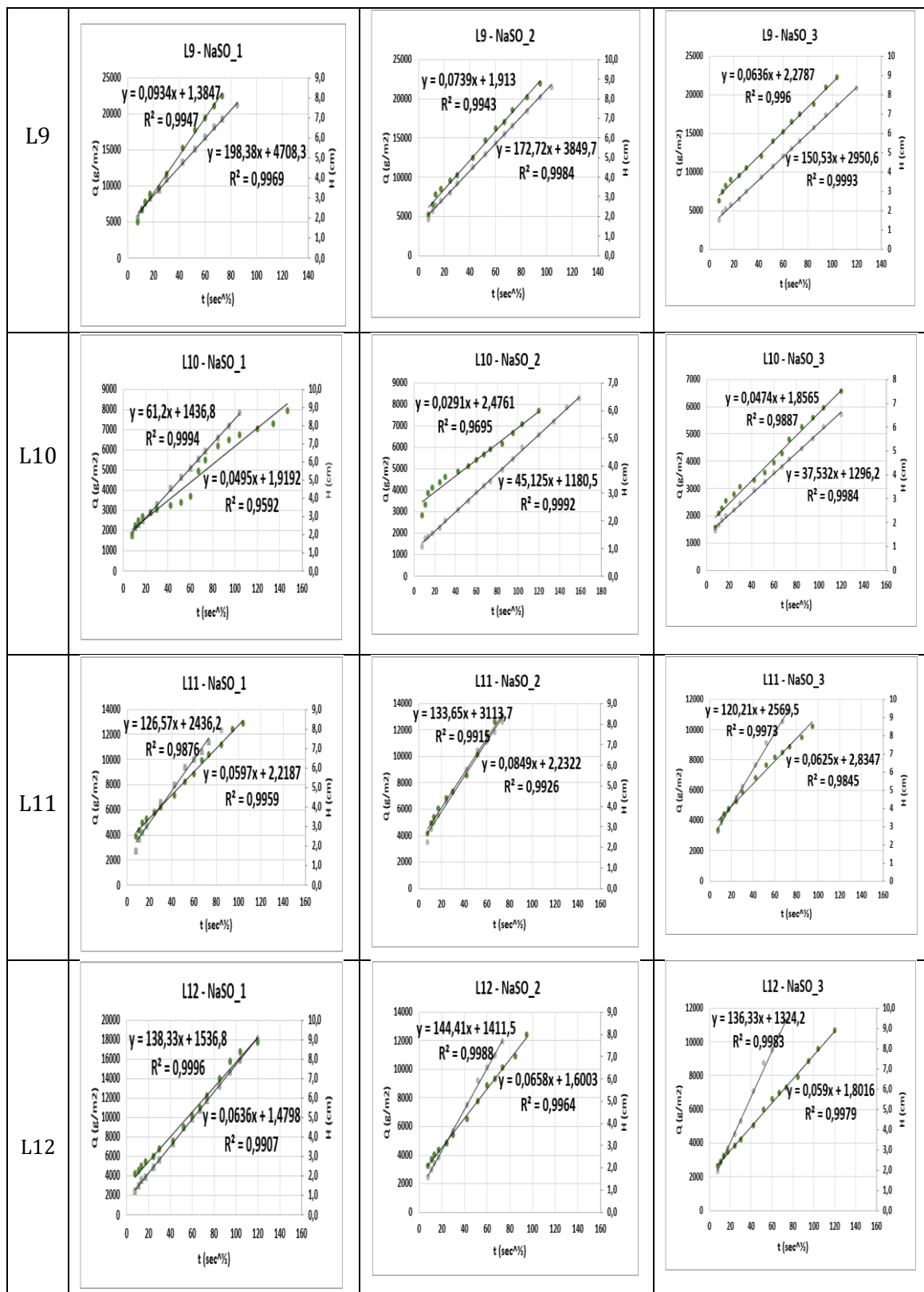


Tabela 41 - resultados médios das curvas de absorção capilar com Sulfato de Sódio (Na_2SO_4)

Na_2SO_4		
Provete	AC ($\text{Kg}/\text{m}^2/\text{s}^{1/2}$)	B ($\text{cm. s}^{1/2}$)
	Média	Média
1	0,189	0,082
2	0,119	0,069
3	0,239	0,095
4	0,150	0,070
5	0,130	0,048
6	0,078	0,107
7	0,095	0,071
8	0,156	0,060
9	0,174	0,077
10	0,048	0,042
11	0,127	0,069
12	0,140	0,063
MÉDIA	0,137	0,071
DES. PADRÃO	0,049	0,017
COV %	36%	24%

Relativamente aos valores obtidos com sulfato de sódio, o valor máximo de absorção capilar foi para L3 com o valor $0,239 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{s}^{1/2}$ e valor de coeficiente de penetração de água de $0,095 \text{ cm. s}^{1/2}$. O valor mínimo foi para L10 com $0,048 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{s}^{1/2}$ e valor de coeficiente de penetração de água de $0,042 \text{ cm. s}^{1/2}$. O valor médio de todos os provetes de absorção capilar com sulfato de sódio foi de $0,137 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{s}^{1/2}$ com um coeficiente de variação de 36%.

Para se obter uma ideia comparativa do valor de absorção por capilar dos provetes, recorreu á análise da dissertação mestrado de (Azevedo, 2013) em que usando também Na_2SO_4 obteve o resultado de $0,1617 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{s}^{1/2}$, verificando-se ser um pouco superior ao valor médio do trabalho realizado, mas enquadrado no intervalo ($0,048 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{s}^{1/2}$ - $0,239 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{s}^{1/2}$). No entanto, este autor usou provetes cúbicos mais pequenos com a dimensão $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$.

As principais conclusões que se podem tirar dos doze ensaios sobre absorção por capilar é que nos provetes L3 e L10, obtiveram-se os valores máximo e mínimo respetivamente e que o provete L3 é mais rápido a absorver e o provete L10 absorve muito lentamente quando comparados com os outros provetes. De todos os ensaios de absorção, os

provetes mais rápidos de absorver são os do cloreto de sódio, seguindo-se os da água e último os do sulfato de sódio.

5.2.5 Ensaios de flexão e compressão em paralelogramas

Respeitando o que está na norma EN 1015-11 (1999), para o ensaio de flexão os provetes foram colocados numa máquina que aplica uma carga entre 10N/s a 50N/s, sendo que a rotura ocorre entre 30 e 90 segundos após o início do ensaio. Os provetes têm uma dimensão de 16 x 4 x 4 cm³ e o vão de apoio utilizado foi de 10 centímetros, ver na figura 25. (British Standard, 2009)



Figura 25 - Ensaio de flexão do provete L2_fxk_2

As tabelas seguintes mostram os resultados médios obtidos nos ensaios de flexão dos provetes L2, L3, L8, L9, L11 e L12.

Tabela 42 - Resultados médios da tensão de flexão

Provete	Carga máx. aplicada (N)	Tensão máxima (N/mm ²)
L2	202,24	0,357
L3	75,5079	0,222
L8	104,688	0,253
L9	462,917	0,942
L11	129,219	0,314
L12	201,719	0,458
Média		0,424
Desvio Padrão		0,257
CoV (%)		60,4%

Entre estes seis provetes o valor máximo foi obtido no L9 com a tensão máxima 0,942MPa, sendo a tensão média de flexão de todos os provetes de 0,424MPa com um coeficiente de variação de 60,4%, havendo uma grande dispersão de valores das tensões ao longo do ensaio. Na figura 26 evidenciam-se estes resultados.

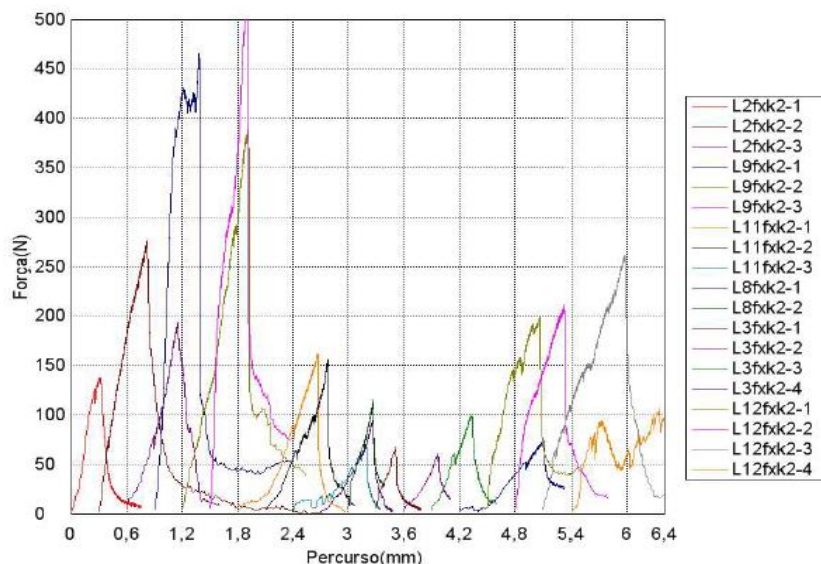


Figura 26 - Gráfico dos ensaios de flexão

Para se obter uma ideia comparativa do valor da tensão de flexão dos provetes, recorreu á análise:

- Da dissertação mestrado de (Sarrico, 2014), que realizou ensaios de flexão em provetes paralelogramas. O valor médio obtido foi de 0,309MPa com coeficiente de variação de 13,985%, não havendo uma grande dispersão.
- E à dissertação de mestrado de (Carvalho, 2011) em que obteve o valor médio à flexão 0,26MPa com coeficiente de variação 19,20%.

Os resultados obtidos neste estudo foram superiores, tendo-se obtido, para os provetes ensaiados o valor de 0,424MPa. No entanto, este valor para a média dos provetes é influenciado pelo resultado obtido para o provete L9, de 0,942MPa, nitidamente desproporcionado. Se retiramos este valor à média dos provetes de 16 x 4 x 4 cm³, teremos um valor de 0,321MPa, mais próximo dos valores obtidos na bibliografia.

Para o ensaio de compressão, a máquina de ensaios deve ser capaz de aplicar uma carga entre 50 N/s a 500 N/s, Figura 27, sendo que a rotura deve ocorrer entre 30 a 90 segundos após o início do ensaio.(CEN, 2009)



Figura 27 - Ensaio de compressão de um dos provetes de adobe

As tabelas seguintes mostram os resultados obtidos nos ensaios à compressão:

Tabela 43 - Resultados médios da tensão de compressão dos provetes de adobe.

Provete	Carga máx. aplicada (N)	Tensão máxima (N/mm ²)
L2	1414,07	0,884
L3	529,74	0,331
L8	919,583	0,575
L9	2001,36	1,251
L11	720,469	0,450
L12	1011,57	0,632
Média		0,687
Desvio Padrão		0,350
CoV (%)		51%

O resultado da tensão de compressão mostrou que o valor máximo obtido foi do lote L9 com a tensão máxima de 1,251MPa, e os valores da tensão média de compressão foi de 0,687MPa com um coeficiente de variação de 51%, mostrando-se estes resultados no gráfico da figura 28.

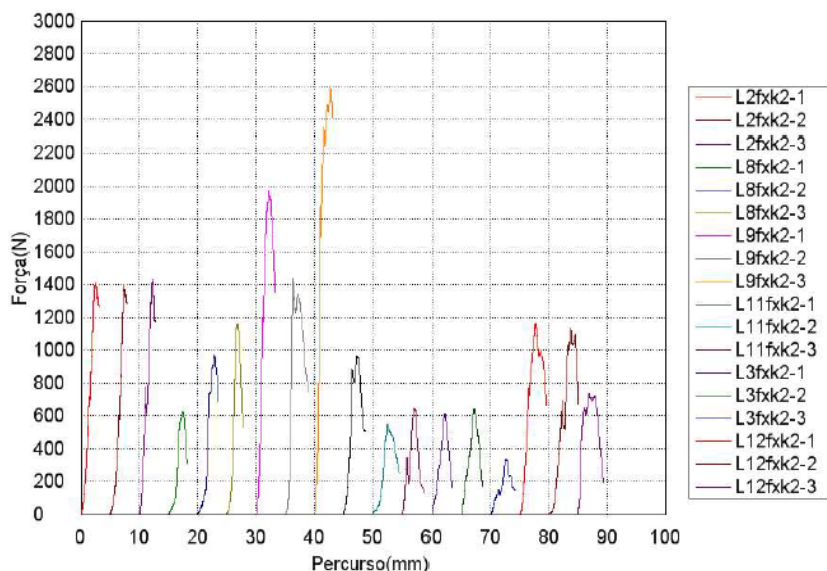


Figura 28 - gráfico dos ensaios de compressão

Para se obter uma ideia comparativa do valor da tensão de compressão dos provetes, recorreu á análise:

- Da dissertação mestrado de (Sarrico, 2014), em que realizou ensaios de compressão em provetes com dimensão $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, tendo obtido o valor médio de 0,720MPa com o coeficiente de variação de 15,278%, em que este valor significa que houve pouca dispersão.
- E na dissertação mestrado de (Carvalho, 2011) em que obteve valor médio à flexão de 0,47MPa com coeficiente de variação de 23,60%.

Os resultados obtidos neste estudo estão dentro da gama de valores obtidos nos trabalhos referidos anteriormente. O valor médio de 0,687MPa enquadra-se no intervalo 0,47MPa a 0,72MPa.

Foi também realizado um ensaio de flexão com a medida de $20 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$, $24 \times 6 \times 6 \text{ cm}^3$ e $28 \times 7 \times 7 \text{ cm}^3$ para determinar a tensão de flexão dos adobes, realizaram-se ensaios de

flexão recorrendo á norma RILEM LUMA2 – Flexural strength of masonry units (RILEM 1991).

O ensaio pode ser realizado numa máquina de compressão e devem ser utilizadas barras metálicas cilíndricas com um diâmetro nominal entre 25 e 40 milímetros tanto para o suporte como para a aplicação da força. O seu comprimento deve ter no mínimo o comprimento dos blocos mais 10 milímetros. Os eixos das barras de suporte devem estar distanciados de 15 a 25 milímetros das faces do adobe e a barra que aplica a força deve estar centrada entre as outras barras. Somente uma das barras deve ter a rotação impedida.

O ensaio realizou-se utilizando um pórtico metálico em que estava acoplado um servo-atuador verticalmente. Esse atuador serviu para aplicar a força vertical descendente sobre os adobes para que pudesse ser realizado este ensaio. Foi utilizada uma célula de carga de carga de 25kN de forma a aferir com maior precisão a força aplicada aos adobes. As barras metálicas que serviram como apoios tinham um diâmetro de 35 milímetros e na barra central foram colocados dois sensores de fio de modo a medir a deformação, tendo sempre em conta a distância mínima permitida pela norma. (British Standard, 2009). Depois de colocados os adobes, procedeu-se á medição da distância entre as barras metálicas e conferiu-se que estas estariam paralelas entre si. O peso da barra central juntamente com a força exercida pelos sensores de fio, colocados no piso do laboratório, foi 0,035kN que se adicionou à carga de flexão, sendo este procedimento visível na Figura 29.



a)



b)



c)

Figura 29 - Procedimento do ensaio: a) e b) configuração do ensaio da flexão, c) Aspeto geral da rotura por flexão

Os valores da tensão calculada apresentam-se na seguinte tabela:

Tabela 44 - Valores das tensões de flexão dos provetes de adobe.

Provete	Atuador (cm)	Força máxima (N)	cc_25 (kN)	Tensão (MPa)
L1	6x6x24	0,133	0,117	0,11
L2	6x6x24	0,289	0,285	0,24
L3	5x5x20	0,141	0,133	0,12
	6x6x24			
	7x7x28			
L4	5x5x20	0,227	0,219	0,16
	6x6x24			
	7x7x28			
L5	7x7x28	0,509	0,499	0,34
L6	7x7x28	0,737	0,741	0,52
L7	6x6x24	0,747	0,748	0,69
L8	5x5x20	0,235	0,228	0,17
	6x6x24			
	7x7x28			
L9	5x5x20	0,756	0,757	0,60
	6x6x24			
	7x7x28			
L10	6x6x24	0,649	0,647	0,55
L11	5x5x20	0,153	0,142	0,12
	6x6x24			
	7x7x28			
L12	5x5x20	0,305	0,298	0,27
	6x6x24			
	7x7x28			
Média				0,323
Desvio Padrão				0,201
CoV %				62%

O valor da tensão de flexão do adobe mostrou que o valor de L1 é muito inferior relativamente aos restantes valores, e o valor mais alto é o adobe de L7 com o valor de tensão de 0,69MPa. Assim sendo, o coeficiente de variação de 62% provem dos valores das tensões mais afastadas. a média calculada de 0,323MPa com um coeficiente de variação de 62%, provém das tensões dos restantes adobes ensaiados.

Comparando os resultados dos ensaios de flexão das dimensões 16 x 4 x 4 cm³, com os valores da tabela 45, verifica-se uma grande diminuição do valor da resistência á flexão para maiores dimensões, sendo que os resultados para provetes com maior dimensão que 16 x 4 x 4 cm³ representam entre 50% a 70% inferiores.

5.2.6 Ensaios de Compressão Simples

Os ensaios de compressão dos provetes de adobe foram cortados diretamente a partir dos blocos de adobe. Como base para este ensaio, foi utilizada a norma RILEM LUMA1 – Compressive strength of masonry units. (RILEM, 1991)

Foram cortados em forma de cubo, aproximadamente com as medidas 9 x 9 x 9 cm³ devido á altura mínima dos blocos de adobe ser 10 cm. Estes ensaios foram cortados com um disco metálico arrefecido com água e em seguida foram secos numa estufa a 60°C durante 24 horas para ser retirada toda a humidade adquirida durante o corte.

Os ensaios foram realizados num Servo atuador hidráulico com 200kN de capacidade em compressão e 200mm de curso. De modo a registar com maior definição a força aplicada e os deslocamentos ocorridos, utilizou-se uma célula de carga com 25kN de capacidade em compressão e sensores de deslocamento linear variável do tipo LVDT, denominados de sensor de fio para aferir os deslocamentos ocorridos na chapa colocada sobre o provete. Para uma distribuição regular da carga de compressão aplicada foi utilizada areia molhada tanto na superfície superior como inferior de apoio dos provetes. Foram ainda utilizados quatro sensores nas 4 faces dos provetes de modo a medir deformações. A chapa inferior com a massa de 4,144 kg e superior com uma massa de 4,125 kg.

A instalação do ensaio é apresentada na figura 30:

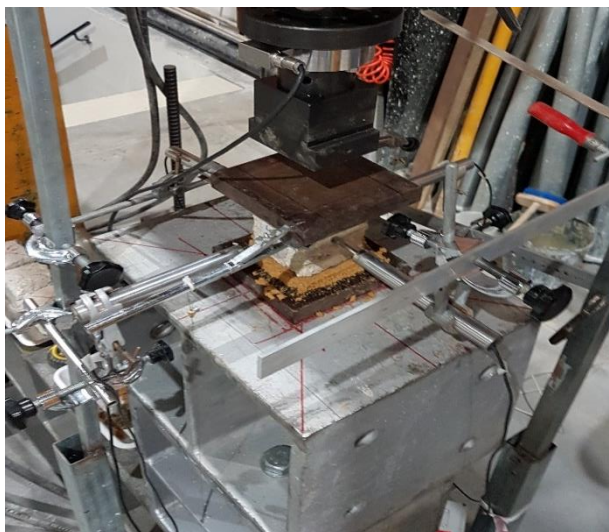


Figura 30 - Instalação do ensaio de compressão

A medição do valor da carga de compressão aplicada é feita a partir da célula de carga com 25kN de capacidade em compressão colocada na superfície superior do provete, tal como é apresentado na figura 31.

As tabelas seguintes mostram os resultados obtidos nos ensaios de compressão em cubos:

Tabela 45 - Valores da tensão de compressão nos provetes

Provete	Resistência a compressão MPa				
	fc_dry	fc_sat	fc_H ₂ O	fc_NaCl	fc_Na ₂ SO ₄
L1	0,557	0,526	0,435	0,601	0,762
L2	0,464	0,339	0,343	0,416	0,446
L3	0,372	0,285	0,268	0,294	0,459
L4	0,570	0,445	0,528	0,510	0,768
L5	0,917	0,636	0,846	0,897	1,092
L6	0,723	0,794	1,187	0,842	1,330
L7	0,609	0,596	0,983	0,534	1,174
L8	0,234	0,377	0,399	0,293	0,346
L9	0,745	0,732	0,689	0,578	1,193
L10	0,912	0,859	0,632	0,847	1,230
L11	0,370	0,347	0,400	0,345	0,499
L12	0,641	0,354	0,418	0,528	0,917
Média	0,593	0,524	0,594	0,557	0,851
Des. Padrão	0,203	0,203	0,271	0,202	0,338
CoV %	34%	36%	46%	36%	40%

A realização dos ensaios de caracterização mecânica permitiu a obtenção de resultados referentes às resistências à compressão simples dos provetes de adobe para o estado “seco e saturado”. Na tabela 46 encontram-se sintetizados, para cada ensaio, os resultados obtidos.

Nas figuras 31 a 36 mostram-se as curvas médias dos resultados da resistência em compressão. Foi usado um programa que se chama *Origin* para corrigir todos os gráficos das curvas.

5.2.6.1 Resistência a compressão em seco (fc_dry)

O resultado da resistência em compressão seco (fc_dry) mostra que o valor mais alto foi obtido no L5 e foi 0,917MPa e o valor mais baixo foi no L8 e foi 0,234MPa. O valor médio de compressão foi de 0,593MPa, sendo que o valor do coeficiente de variação foi de 34%.

Para se obter uma ideia comparativa do valor da tensão de compressão dos provetes secos, recorreu a uma avaliação da influência da absorção de água por capilaridade nas propriedades mecânicas do adobe da região de Aveiro (Martins et al., 2010), os provetes de adobe em forma cilíndrica e os resultados dos ensaios de compressão simples dos provetes secos, variam individualmente entre 0,54 e 2,02MPa.

Os resultados obtidos estão no intervalo dos resultados obtidos em (Martins et al. 2010).

Na seguinte figura mostrando-se as curvas médias dos resultados da resistência em compressão seco.

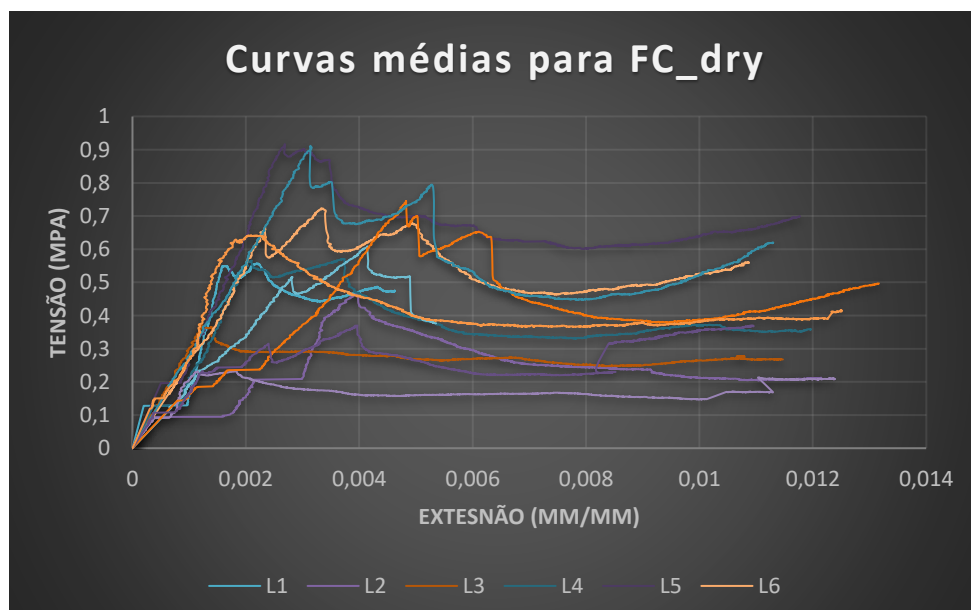


Figura 31 - Curvas médias da compressão secos

5.2.6.2 Resistência a compressão em saturado (f_{c_sat})

O resultado da resistência em compressão saturado (f_{c_sat}) mostra que o valor mais alto é o de L10 e foi 0,859MPa e o valor mais baixo é o de L3 e foi 0,285MPa. O valor médio de compressão saturado foi de 0,524MPa, sendo que o valor do coeficiente de variação foi de 36%, havendo uma grande dispersão de tensão obtidas ao longo do ensaio.

Para se obter uma ideia comparativa do valor da tensão de compressão dos provetes saturado, recorreu á análise:

- Da dissertação mestrado de (Sarrico, 2014), que realizou ensaios de compressão dos provetes de cubos com dimensões $9_{cm} \times 9_{cm} \times 9_{cm}$, mas foi realizado numa prensa de *ELE Multiplex 50-E*. Os valores médios obtidos foram de 0,901MPa com coeficiente de variação de 51,347%, demonstrando uma grande dispersão.
- E avaliação da influência da absorção de água por capilaridade nas propriedades mecânicas do adobe da região de Aveiro (Martins et al., 2010), ensaios realizados em provetes de adobe em forma cilíndrica e os resultados dos ensaios de compressão simples dos provetes saturado, variando individualmente entre 0,54 e 2,14MPa.

Os resultados mostram que o valor obtido está dentro do intervalo dos valores obtidos por (Martins et al., 2010) e é inferior ao obtido por (Sarrico, 2014).

A diferença entre a redução da resistência a compressão “seco e saturado” que o resultado mostrou na tabela 46, foram reduções percentuais entre 10% a 20%.

Na figura 32 mostra-se as curvas médias dos resultados da resistência em compressão f_{c_sat} .

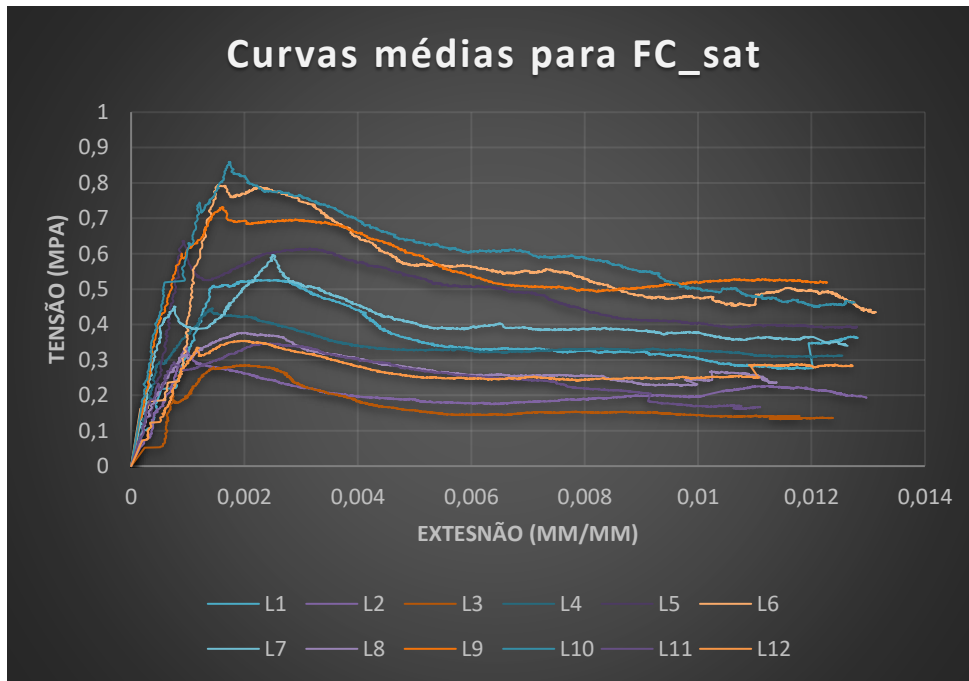


Figura 32 - Curvas medias da compressão saturada

5.2.6.3 Resistência a compressão em água ($f_{c_H_2O}$)

De seguida, o resultado da resistência em compressão $f_{c_H_2O}$ mostrando-se que o valor mais alto é o de L6 e foi 1,187MPa e o valor mais baixo é o de L3 e foi 0,268MPa. O valor médio de compressão H_2O foi de 0,594MPa, sendo que o valor do coeficiente de variação foi de 46%, demonstrando a grande dispersão de tensão obtidas ao longo do ensaio.

Na figura 33 mostram-se as curvas médias dos resultados da resistência em compressão $f_{c_H_2O}$.

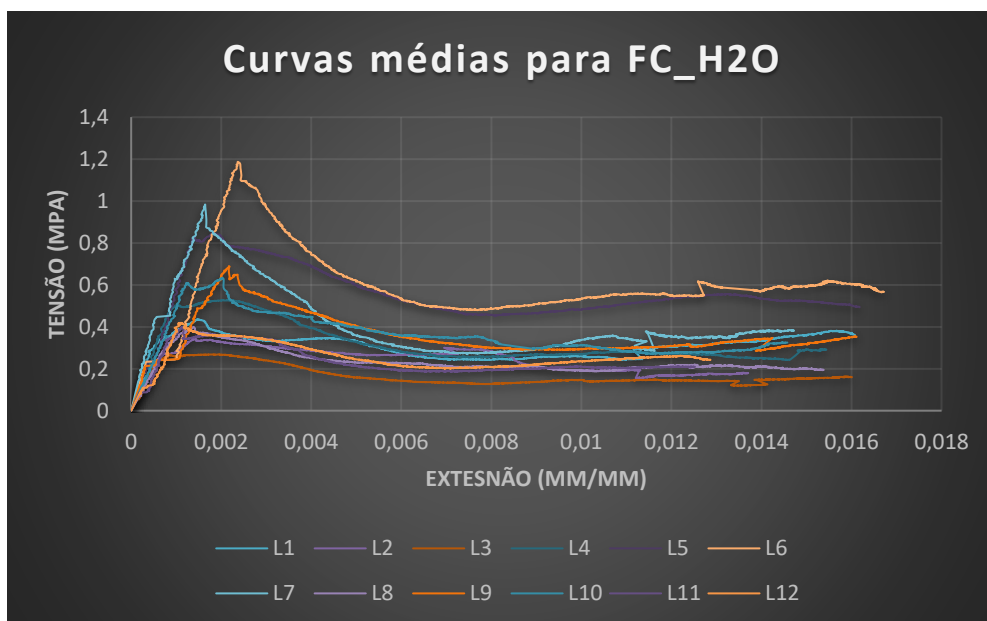


Figura 33 - Curvas médias da compressão fc_{H_2O}

5.2.6.4 Resistência a compressão em fc_{NaCl}

O resultado da resistência em compressão fc_{NaCl} mostra que o valor mais alto é o de L5 e foi 0,897MPa e o valor mais baixo é o de L8 com 0,293MPa. O valor médio de compressão NaCl foi de 0,557MPa, sendo que o valor do coeficiente de variação foi de 36%, havendo uma dispersão das tensões obtidas ao longo do ensaio.

Na figura 34 mostra-se as curvas médias dos resultados da resistência em compressão fc_{NaCl}

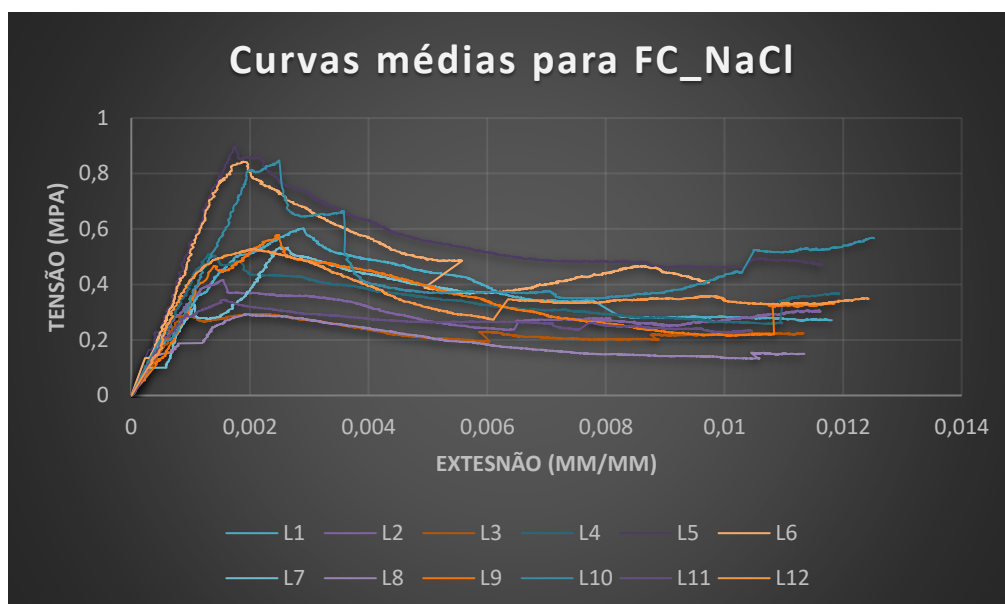


Figura 34 - Curvas médias da compressão fc_{NaCl}

5.2.6.5 Resistência a compressão em $f_{c_Na_2SO_4}$

O resultado da resistência em compressão $f_{c_Na_2SO_4}$ mostra que o valor mais alto é o de L6 e foi 1,330MPa e o valor mais baixo é o de L8 e foi 0,346MPa. O valor médio de compressão Na_2SO_4 foi de 0,851MPa, sendo que o valor do coeficiente de variação foi de 40%, havendo uma grande dispersão das tensões obtidas ao longo do ensaio.

Na figura 35 mostra-se as curvas médias dos resultados da resistência em compressão $f_{c_Na_2SO_4}$.

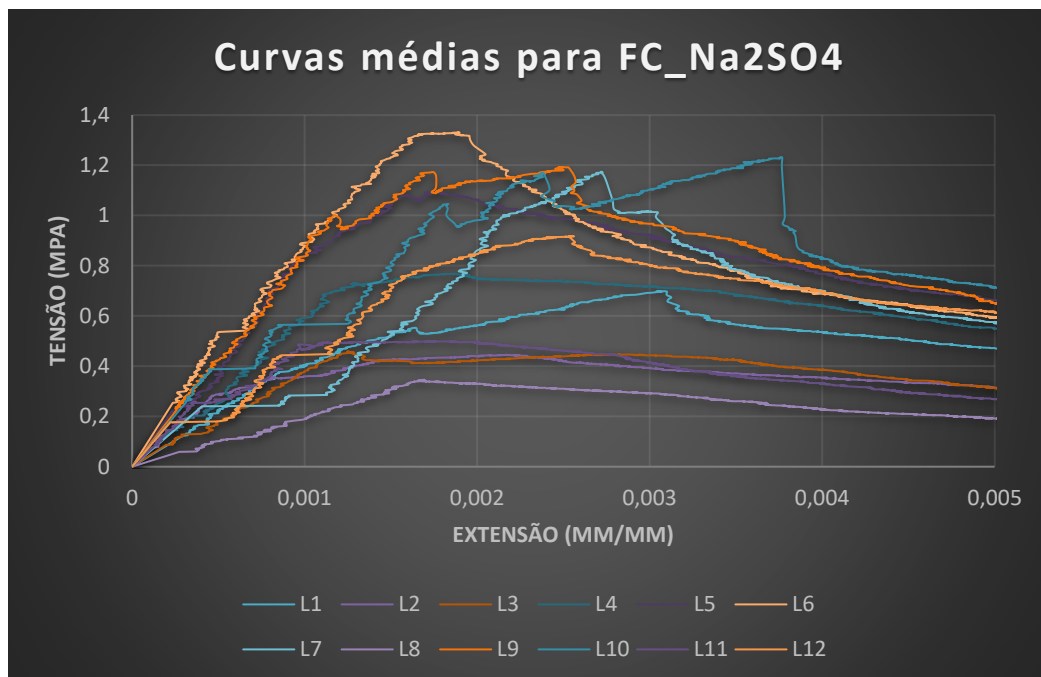


Figura 35 - Curvas médias da compressão $f_{c_Na_2SO_4}$

5.2.6.6 Ensaio cíclicos

Foram realizados os ensaios cíclicos com a mesma prensa e a mesma instrumentação, tendo os cubos ensaiados as medidas $9 \times 9 \times 9 \text{ cm}^3$ devido á altura mínima dos blocos de adobe ser 10 cm. Estes provetes foram cortados com um disco metálico arrefecido com água e em seguida foram secos numa estufa a 60°C durante 24 horas para ser retirada toda a humidade adquirida durante o corte. Na figura 36 apresenta-se uma imagem do esquema de ensaio.



Figura 36 - Ensaio cíclico de provete L8

Os resultados dos ensaios cíclicos mostram-se na seguinte tabela:

Tabela 46 - Valores da tensão de compressão cíclicos

Provete	Tensão Máxima (MPa)	Ext. Vert tensão máxima	Ext. hor. Tensão máxima	Módulos de elasticidades	
				E 30	E 30-60
L1	0,300	0,0128	0,383	126,64	454,68
L2	0,406	0,0036	0,027	93,51	571,41
L3	0,358	0,0061	0,149	216,24	656,43
L4	0,512	0,0121	0,186	247,74	375,26
L5	1,000	0,0262	0,998	341,56	503,93
L6	0,815	0,0102	0,072	62,58	434,13
L7	0,579	0,0158	1,139	234,45	535,73
L8	0,290	0,0108	0,243	156,01	537,17
L9	0,641	0,0135	0,294	171,51	763,45
L10	0,375	0,0036	0,972	99,56	427,44
L11	0,332	0,0069	0,057	280,62	563,43
L12	0,757	0,0091	0,053	601,11	1024,95
Media	0,530	0,0109	0,381	219,29	570,67
Des. Pa.	0,221	0,0059	0,393	139,98	170,42
CoV %	42%	54%	103%	64%	30%

Na figura 37 mostram-se as curvas dos resultados da resistência em compressão cíclicos.

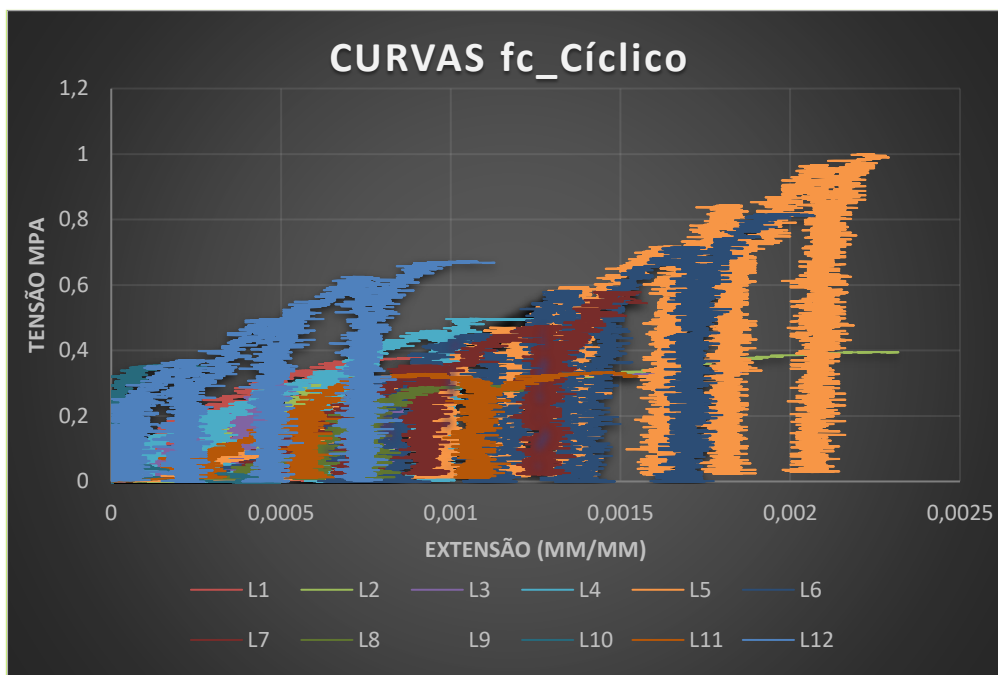


Figura 37 - Curvas da compressão cíclico

Para os resultados da tensão de compressão cíclicos o valor mais alto é o de L5 e foi 1,00MPa e o valor mais baixo é o de L8 e foi 0,290MPa. O valor médio do ensaio cíclico foi de 0,530MPa, sendo que o valor do coeficiente de variação foi de 42%, havendo uma grande dispersão das tensões obtidas ao longo do ensaio.

Os resultados deste ensaio evidenciaram a baixa resistência dos adobes ações horizontais e verticais. Procurou-se, portanto, proceder ao reforço do modelo, de modo a poder concluir se é ou não possível melhorar o comportamento deste tipo de adobe, quando sujeitas a ações sísmicas.

5.3 CORELAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS

Neste subcapítulo o autor desta tese fez correlação entre todos os resultados dos 12 ensaios realizados. A correlação, dependência ou associação é qualquer relação estatística (causal ou não causal) entre duas variáveis e correlação é qualquer relação dentro de uma ampla classe de relações estatísticas que envolva dependência entre duas variáveis. De seguida o autor mostrou-se na figura 38 a 42 sobre a correlação entre os resultados.

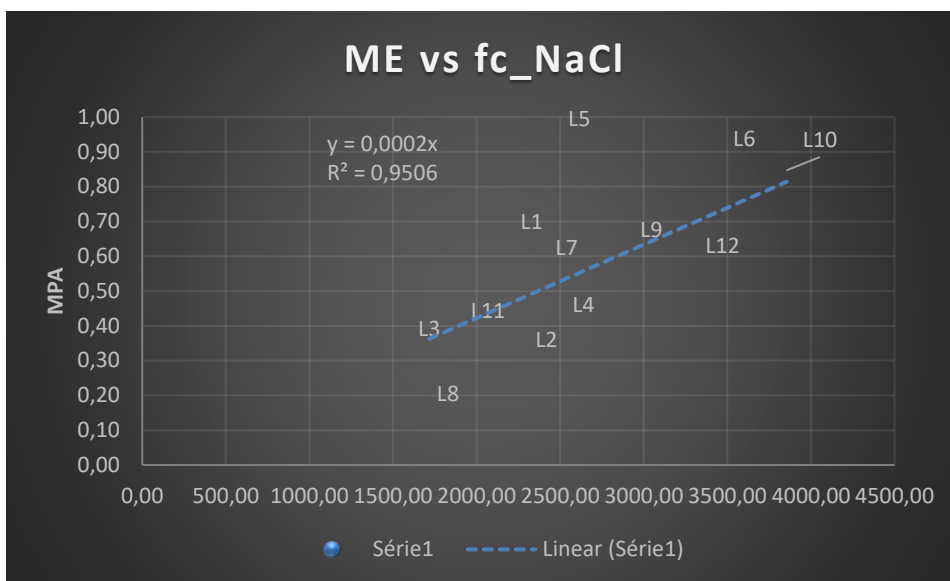


Figura 38 – Correlação Linear entre Modulo elasticidade e fc_NaCl

Na figura 38 mostrou-se que há correlação **linear** entre módulos elasticidade e fc_NaCl com o valor da linha tendência $R^2 = 0,9506$, significa que entre os dois ensaios existem correlação. Quanto mais alinhados estiverem os pontos à reta de tendência linear, maior deve ser a correlação linear entre as duas variáveis.

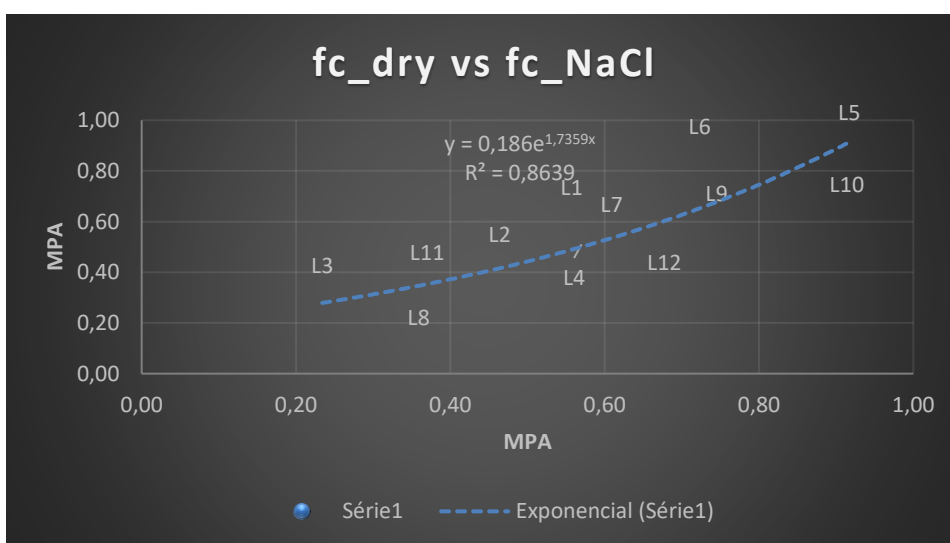


Figura 39 – Correlação Exponencial entre fc_dry e fc_NaCl

Na figura 39 mostrou-se que há correlação **exponencial** entre fc_dry e fc_NaCl com o valor da linha tendência $R^2 = 0,8918$, significa que entre neles há pouco correlação. Dever-se-á realizar mais ensaios de forma a verificar se o fator de correlação obtido se aproxima de um, diminuindo o erro associado a esta regressão.

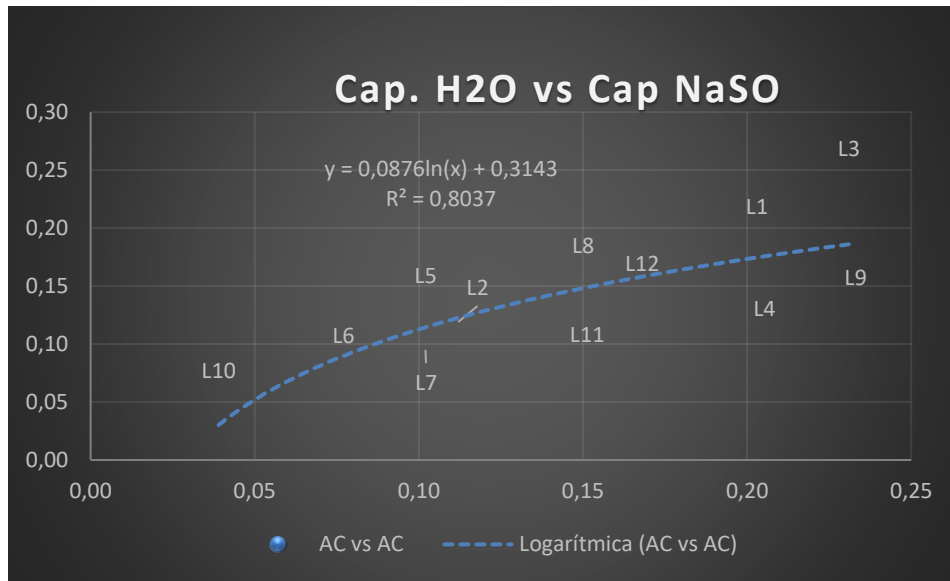


Figura 40 – Correlação logarítmica entre cap. H₂O e cap. Na₂SO₄

Na figura 40 mostrou-se que há correlação **logarítmica** entre cap. H₂O e cap. Na₂SO₄ com o valor da linha tendência $R^2 = 0,8037$, significa que entre neles há pouca correlação. Dever-se-á realizar mais ensaios de forma a verificar se o fator de correlação obtido se aproxima de um, diminuindo o erro associado a esta regressão.

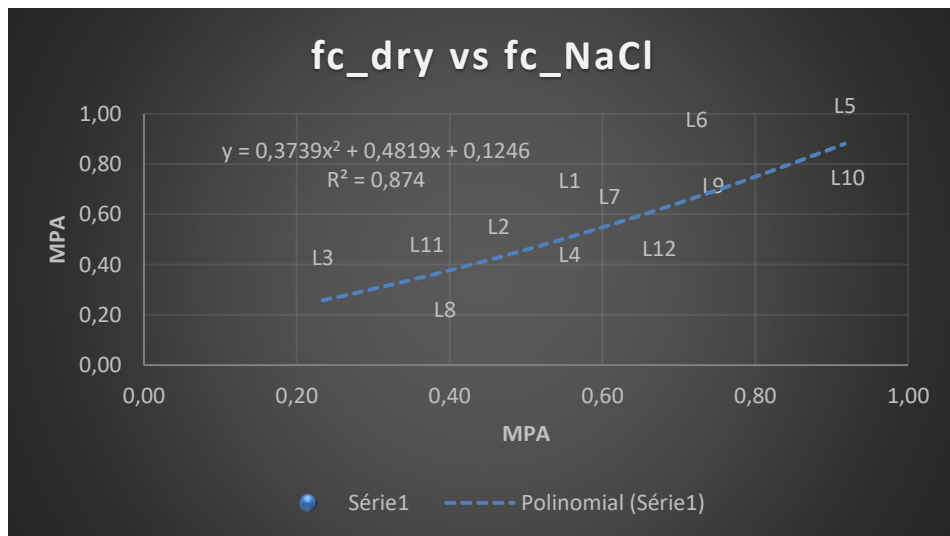


Figura 41 – Correlação polinomial entre fc_dry e fc_NaCl

Na figura 41 mostrou-se que há correlação **polinomial** entre fc_dry e fc_NaCl com o valor da linha tendência $R^2 = 0,874$, significa que entre neles há pouca correlação. Dever-se-á realizar mais ensaios de forma a verificar se o fator de correlação obtido se aproxima de um, diminuindo o erro associado a esta regressão.

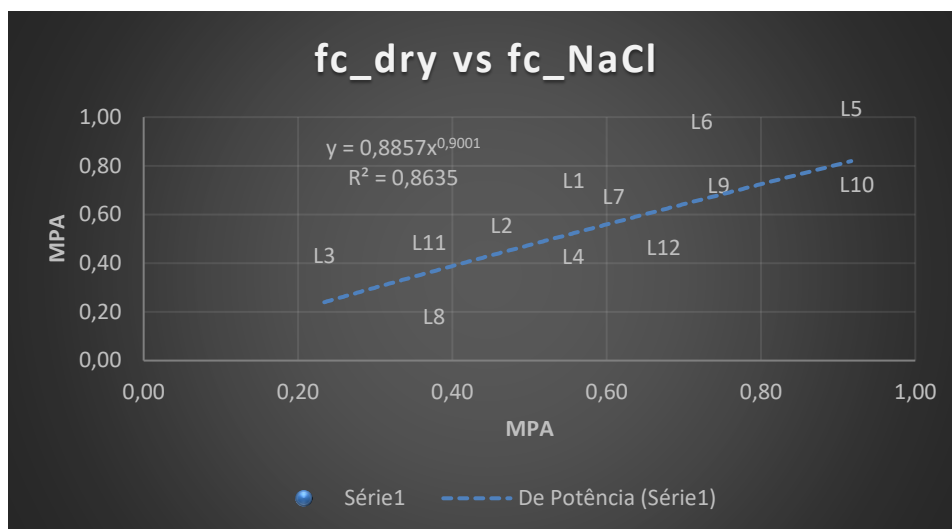


Figura 42 – Correlação De potência entre fc_dry e fc_NaCl

Na figura 41 mostrou-se que há correlação *De potência* entre fc_dry e fc_NaCl com o valor da linha tendência $R^2 = 0,8656$, significa que entre neles há pouca correlação. Dever-se-á realizar mais ensaios de forma a verificar se o fator de correlação obtido se aproxima de um, diminuindo o erro associado a esta regressão.

5.3.1 Relação entre tensão de compressão seca e saturada

Neste subcapítulo apresentam-se as diferenças entre os valores obtidos para os vários ensaios de compressão realizados sobre os provetes secos e saturados.

1. A tensão de compressão seca (fc_dry) é, em média, 17% superior à tensão de compressão saturada (fc_sat). Para L6 e L8 esta relação não se verifica tendo-se obtido valores de tensão de compressão saturada superiores á tensão de compressão seca.
2. A tensão de compressão seca (fc_dry) é, em média, 20,5% superior à tensão de compressão seca (fc_H₂O). Para L6, L7, L8 e L11 esta relação não se verifica tendo-se obtido valores de tensão de compressão seca (fc_H₂O) superiores á tensão de compressão seca (fc_dry).
3. A tensão de compressão seca (fc_dry) é, em média, 12,3% superior à tensão de compressão seca (fc_NaCl). Para L1, L6, e L8 esta relação não se verifica tendo-se

obtido valores de tensão de compressão seca (fc_{NaCl}) superiores á tensão de compressão seca (fc_{dry}).

4. A tensão de compressão seca ($fc_{Na_2SO_4}$) é, em média, 30,3% superior à tensão de compressão seca (fc_{dry}). Para L1 esta relação não se verifica tendo-se obtido valores de tensão de compressão seca (fc_{dry}) superiores á tensão de compressão seca ($fc_{Na_2SO_4}$).
5. A tensão de compressão seca (fc_{H_2O}) é, em média, 18,5% superior à tensão de compressão saturado (fc_{sat}). Para L1, L3, L9 e L10 esta relação não se verifica tendo-se obtido valores de tensão de compressão saturado superiores á tensão de compressão seca (fc_{H_2O}).
6. A tensão de compressão seca (fc_{NaCl}) é, em média, 16,4% superior à tensão de compressão saturado (fc_{sat}). Para L7, L8, L9, L10 e L11 esta relação não se verifica tendo-se obtido valores de tensão de compressão saturado superiores á tensão de compressão seca (fc_{NaCl}).
7. A tensão de compressão seca ($fc_{Na_2SO_4}$) é, em média, 38,8% superior à tensão de compressão saturado (fc_{sat}). Para L8 esta relação não se verifica tendo-se obtido valores de tensão de compressão saturado superiores á tensão de compressão seca ($fc_{Na_2SO_4}$).
8. A tensão de compressão seca (fc_{H_2O}) é, em média, 22,4% superior à tensão de compressão saturado (fc_{NaCl}). Para L4, L6, L7, L8, L19 e L11 esta relação não se verifica tendo-se obtido valores de tensão de compressão seca (fc_{NaCl}) superiores á tensão de compressão seca (fc_{H_2O}).
9. A tensão de compressão seca (fc_{NaCl}) é, em média, 17,7% superior à tensão de compressão saturado (fc_{H_2O}). Para L1, L2, L3, L5, L10 e L12 esta relação não se verifica tendo-se obtido valores de tensão de compressão seca (fc_{H_2O}) superiores á tensão de compressão seca (fc_{NaCl}).
10. A tensão de compressão seca ($fc_{Na_2SO_4}$) é, em média, 32,1% superior à tensão de compressão seca (fc_{H_2O}). Para L8 esta relação não se verifica tendo-se obtido valores de tensão de compressão seca (fc_{H_2O}) superiores á tensão de compressão seca ($fc_{Na_2SO_4}$).
11. A tensão de compressão seca ($fc_{Na_2SO_4}$) é, em média, 31,5% superior à tensão de compressão seca (fc_{NaCl}).

6 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTO FUTUROS

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões do presente trabalho e são referidas ainda algumas possibilidades de desenvolvimento futuro.

6.1 CONCLUSÕES

Com o trabalho apresentado pretendeu-se descrever as características e resistência mecânica dos adobes, dando a conhecer os passos na avaliação do comportamento de adobe.

A análise do resíduo insolúvel após a dissolução ácida permitiu verificar o decréscimo dos carbonatos, principalmente da calcite à exceção de uma das amostras onde a redução não foi muito significativa, podendo indicar a presença de cristais de maiores dimensões que não chegaram a ser totalmente dissolvidos.

Os resultados obtidos de velocidade de ultrassons correspondem aos valores de peso volúmico mais elevados, podendo ser um indicador da maior compactação das amostras, como por exemplo a amostra do provete de L10.

O estudo da absorção de água por capilaridade revela maiores coeficientes de capilaridade nas doze amostras constituídas maioritariamente por areias, o que seria de esperar por ser um material bastante poroso e permeável. Quanto maior for a absorção de água por parte deste material, mais facilmente será danificado. Contudo, fatores como a maior presença de finos e a maior quantidade de ligante (cal) parecem impedir a absorção de água em algumas amostras, não sendo estes resultados totalmente conclusivos. Da mesma forma, no processo de secagem dos provetes, a amostra que apresenta o maior teor de finos e maior compactação é a que apresenta uma taxa de secagem mais lenta.

Após este estudo da caracterização dos materiais, procedeu-se ao estudo do comportamento do ensaio mecânico dos adobes, sendo que os resultados de resistência à compressão simples se apresentam na tabela 53, constatando que se estabeleceu uma correlação com os outros ensaios. O ensaio de granulometria ao provete L10 mostrou que é de areia mais grossa possui o maior valor médio do módulo de elasticidade e secagem mais

lenta do ensaio de capilaridade, ou seja, o resultado da compressão mostrou que o maior valor é o da provete L10. Ao contrário deste, o provete de L3 possui o menor valor médio do módulo da elasticidade e secagem mais rápida do ensaio de capilaridade, isto é, o resultado da compressão mostrou que o menor valor é o da provete L3. Em relação à resistência à flexão, não é possível estabelecer uma correlação direta com a resistência à compressão simples. A razão da não correlação destes parâmetros pode residir no facto da heterogeneidade deste tipo de material.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Os trabalhos aqui apresentados são um contributo ao conhecimento já acumulado e dados os resultados obtidos, que são muitos motivadores sugerem-se os seguintes trabalhos no futuro:

- Monitorização do processo de secagem dos provetes utilizados neste trabalho, para que se possa calcular o índice de secagem de forma mais adequada.
- Investigar melhor influência dos sais na absorção capilar de adobe, porque os adobes são um tipo de material extremamente relevante nas construções históricas a preservar e têm características de microestruturas muito próprias que interessa aprofundar para medidas mais adequadas em relação à ação dos sais.
- Aprofundamento dos estudos sobre todos os ensaios a adobes por forma a constituir-se uma base de dados, como um instrumento fundamental de caracterização das propriedades do mesmo adobe, de apoio à reabilitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIA

- Araujo, Antonio. 2004. «Conservação de edificios historicos em adobe.pdf».
- Azevedo, Joana. 2013. «A c s a s m p».
- British Standard. 2009. «Testing hardened concrete - Part 5: Flexural strength of test specimens». *BS En 12390-5:2009* (August):1–22.
- Carvalho, José Pedro Monteiro Ponces Rodrigues de. 2011. «Caracterização Material e Construtiva de Edifícios de Adobe em Aveiro». *Departamento de Engenharia Civil Mestre*:125.
- CEN. 1999. «Ensaio para a determinação das características geométricas dos agregados - Parte 2: Determinação da distribuição granulométrica: Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas (NP EN 933-2:1999)». 7.
- CEN. 2009. «Ensaio Betão Endurecido - Parte 3: Resistência à compressão de provetes (NP EN 12390-3: 2009)». 2003:21.
- Coelho, Ana Zulmira, Torgal F. Pacheco, e Jalali Said. 2009. *A Cal na Construção*.
- Fernandes, Maria e Tavares, Alice. 2016. *O adobe*. Editora Argumentum. ISBN 978-972-8479-95-4
- Humberto V, Anibal C. Henrique P. João A. sem data. «Ensaio de caracterização do comportamento estrutural de construções existente em adobe».
- Insolúveis, Determinação D. E. e E. M. Hcl. 2014. «PROCEDIMENTO». 3–5.
- IPQ. 2000. «- NP EN 933-1: Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração. Monte da Caparica.»
- Martins, Hermano Tiago Teixeira. 2009. «Caracterização Mecânica e Patológica das

-
- Alvenarias de Adobe de Aveiro». Tese de Mestrado, Universidade da Aveiro.
- Martins, Tiago, Humberto Varum, e Aníbal Costa. 2010. «Avaliação Da Influência Da Absorção De Água Por Capilaridade Nas Propriedades Mecânicas Do Adobe Da Região De Aveiro». *6 Atp / 9 Siacot* 1–12.
- Meneses, Tiago, Romeu Vicente, Aníbal Costa, António Figueiredo, Humberto Varum, e Nelson Soares. 2011. «Comportamento térmico de construções em alvenaria de adobe: ensaios experimentais sobre três células de teste à escala 1: 4».
- Oliveira Brasil, Cristiano Manuel. 2016. «Estudo Das Construções Tradicionais Em Adobe Na Região». *Instituto Politécnico de Tomar* 117.
- Pereira, Henrique Clemente. 2008. «Henrique Clemente».
- Pet, Programa. 2019. «Construção sustentável com adobe».
- PROCEQ. 2017. «Pundit Lab: instruções operacionais.»
- RILEM. 1991a. «RILEM Technical Recommendations for the testing and use of construction materials ». *LUMB5 - Short-term shear test for the interface between the masonry unit and mortar or moisture-insulating interlayer, TC 76 - LUM* .
- RILEM. 1991b. «RILEM Technical Recommendations for the testing and use of construction materials ». *LUMA1 - Compressive strength of masonry units (TC 76 - LUM)* .
- RILEM. 1991c. «RILEM Technical Recommendations for the testing and use of construction materials ». *LUMA2 - Flexural strength of masonry units (TC 76-LUM)* .
- RILEM. 1994. «“CPC 6 tension by splitting of concrete specimens, 1975.” ». *RILEM technical recommendations for the testing and use of construction materials* .
- Sarrico, Pedro Gabriel de Almeida,. 2014. «Caracterização mecânica de paredes e construções de alvenaria de adobe».
-

Silveira, Dora, Humberto Varum, Aníbal Costa, Tiago Martins, Henrique Pereira, e João Almeida. 2012. «Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions». *Construction and Building Materials* 28(1):36–44.

Standard, European. 2002. «NORMA Argamassas EN1015_18.pdf».

Standard, European. 2008. «EUROPÄISCHE NORM DRAFT Conservation of cultural property - Test methods - Determination of absorption by capillarity».

Standard, New Zealand. 1998. «Nzs 4297 : 1998».

Varum, Anibal, Dora s. sem data. «caracterização e reforço de construções em adobe».

Varum, Humberto, Aníbal Costa, Henrique Pereira, e João A. P. P. Almeida. 2006. «Comportamento estrutural de elementos resistentes em alvenaria de adobe». *TerraBrasil2006 - I Seminário Arquitetura e Construção com Terra no Brasil and IV Seminário Arquitectura de Terra em Portugal* 8.

Varum, Humberto et al. 2008. «Caracterização Do Comportamento Estrutural De Paredes De Alvenaria De Adobe». *Mecânica Experimental* Vol 15:23–32.

ANEXO I

❖ Resultados dos ensaios de flexão.

Palavra-chave	100 kN - 50 N/s	Nome do produto	Argamassas de cimento
Nome do arquivo do ensaio	Flex_adobe.xtal	Nome do arquivo do método	Flexao_EN1015.xmai
Data do relatório	24-07-2020	Data do ensaio	24-07-2020
Modo de ensaio	Simplex	Tipo de ensaio	Dobr.3ptos
Velocidade	50N/seg	Placa	Placa
Lote No:	6	Sub-Lote No:	4

Nome Parâmetros Unidade	Máx. Força Cálculo de áreas completas N	Máx. Tensão Cálculo de áreas completas N/mm ²	Ruptura_Força Sensibilidade: 5 N	Ruptura_Tempo Sensibilidade: 5 seg
L2fk2-1	137,500	0,23807	..	..
L2fk2-2	275,938	0,47949	256,250	25,3500
L2fk2-3	193,281	0,35423	..	..
Média	202,240	0,35726	256,250	25,3500
DesvioPadrão	69,6524	0,12074	..	..
Variação	0,34441	0,33795	..	..
L9fk2-1	465,625	0,99621	456,094	27,8000
L9fk2-2	394,375	0,90307	394,375	28,4000
L9fk2-3	528,750	0,92545	524,531	25,4000
Média	462,917	0,94158	458,333	27,2000
DesvioPadrão	67,2284	0,04862	65,1069	1,58745
Variação	0,14523	0,05164	0,14205	0,05836
L11fk2-1	162,031	0,35265	157,969	22,0000
L11fk2-2	156,250	0,41646	143,750	23,3000
L11fk2-3	69,3750	0,17263	..	..
Média	129,219	0,31391	150,860	22,6500
DesvioPadrão	51,9067	0,12645	7,10950	0,65000
Variação	0,40170	0,40281	0,04713	0,02870
L8fk2-1	94,3750	0,21977	..	..
L8fk2-2	115,000	0,28698	109,219	12,5000
Média	104,688	0,25338	109,219	12,5000
DesvioPadrão	14,5841	0,04752	..	..
Variação	0,13931	0,18757	..	..
L3fk2-1	67,6563	0,20806	67,6563	1,30000
L3fk2-2	60,7813	0,19152	..	..
L3fk2-3	99,8438	0,26327	..	..
L3fk2-4	73,7500	0,22472	..	..
Média	75,5079	0,22189	67,6563	1,30000
DesvioPadrão	17,0670	0,03073	..	..
Variação	0,22603	0,13851	..	..
L12fk2-1	198,438	0,43816	187,813	25,1000
L12fk2-2	210,938	0,42973	200,781	25,0000
L12fk2-3	261,875	0,61058	252,813	27,6500
L12fk2-4	135,625	0,35384	129,688	32,8500
Média	201,719	0,45808	192,774	27,6500
DesvioPadrão	51,9067	0,10851	50,5742	3,67718
Variação	0,25732	0,23688	0,26235	0,13299
TotalMédia	194,811	0,42447	240,078	23,0542
TotalDesvioPadrão	136,501	0,25668	113,320	6,55207
TotalVariação	0,70068	0,60471	0,47201	0,28420

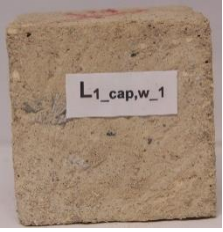



















❖ Resultados dos ensaios de compressão.





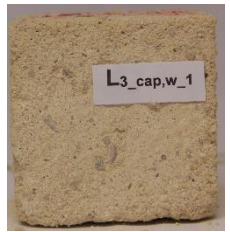



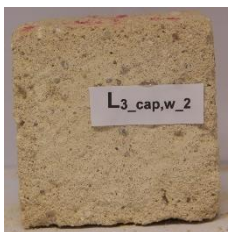
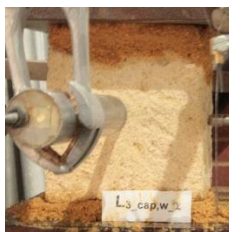


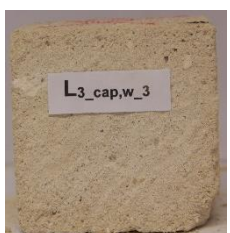











Palavra-chave	100 kN - 500 N/s	Nome do produto	Argamassas de cimento
Nome do arquivo do ensaio	Comp_adobe.xtai	Nome do arquivo do método	Compressao_EN1015.xmai
Data do relatório	27-07-2020	Data do ensaio	27-07-2020
Modo de ensaio	Simplex	Tipo de ensaio	Compressão
Velocidade	100N/seg	Placa	Placa
Lote No:	6	Sub-Lote No:	3




Nome Parâmetros	Máx_Força Cálculo de áreas completas Unidade N	Máx_Tensão Cálculo de áreas completas N/mm2	Ruptura_Força Sensibilidade: 1 N	Ruptura_Tempo Sensibilidade: 1 seg
L2fk2-1	1415,63	0,88477	..	..
L2fk2-2	1398,44	0,87402	..	..
L2fk2-3	1428,13	0,89258	..	..
Média	1414,07	0,88379	..	..
DesvioPadrão	14,9066	0,00932	..	..
Varição	0,01054	0,01054	..	..
L8fk2-1	628,125	0,39258	628,125	23,5000
L8fk2-2	970,313	0,60645	970,313	26,7000
L8fk2-3	1160,31	0,72520	1160,31	25,4500
Média	919,583	0,57474	919,583	25,2167
DesvioPadrão	269,695	0,16856	269,695	1,61271
Varição	0,29328	0,29328	0,29328	0,06395
L9fk2-1	1973,44	1,23340	1973,44	33,5500
L9fk2-2	1436,41	0,89775	1436,41	27,2000
L9fk2-3	2594,22	1,62139	2594,22	40,4500
Média	2001,36	1,25085	2001,36	33,7333
DesvioPadrão	579,410	0,36214	579,410	6,62690
Varição	0,28951	0,28951	0,28951	0,19645
L11fk2-1	965,625	0,60352	965,625	25,1000
L11fk2-2	550,313	0,34395	549,219	24,3000
L11fk2-3	645,469	0,40342	645,469	21,4000
Média	720,469	0,45030	720,104	23,6000
DesvioPadrão	217,577	0,13599	218,005	1,94679
Varição	0,30199	0,30199	0,30274	0,08249
L3fk2-1	613,438	0,38340	610,781	21,0500
L3fk2-2	641,250	0,40078	640,469	21,3000
L3fk2-3	334,531	0,20908	332,813	21,8500
Média	529,740	0,33109	528,021	21,4000
DesvioPadrão	169,627	0,10602	169,706	0,40927
Varição	0,32021	0,32021	0,32140	0,01912
L12fk2-1	1165,94	0,72871	1165,94	27,0000
L12fk2-2	1131,88	0,70742	1131,88	29,6000
L12fk2-3	736,875	0,46055	736,875	22,7000
Média	1011,57	0,63223	1011,57	26,4333
DesvioPadrão	238,497	0,14906	238,497	3,48473
Varição	0,23577	0,23577	0,23577	0,13183
TotalMédia	1099,46	0,68717	1038,13	26,0767
TotalDesvioPadrão	560,746	0,35047	542,055	4,77570
TotalVarição	0,51002	0,51002	0,52316	0,18314

ANEXO II

❖ Compressão em Cap_H₂O






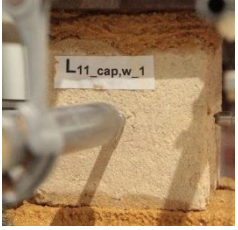

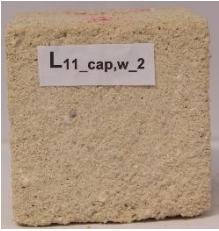
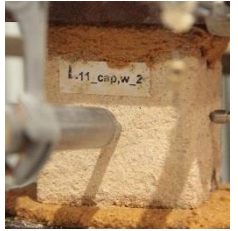


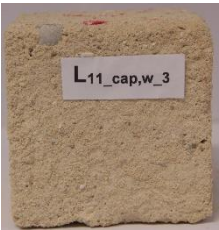









Cap_H ₂ O					
Provete	No.	Antes do ensaio		Após o ensaio	
L1	1				
	2				
	3				
L2	1				
	2				





	3				
L3	1				
	2				
	3				
L4	1				
	2				

	3				
L5	1				
	2				
	3				
L6	1				
	2				

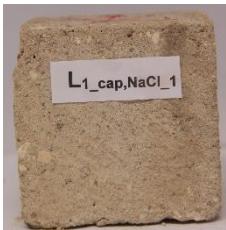


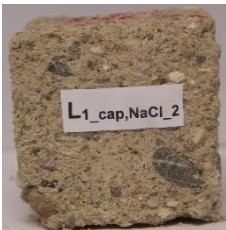





	3				
L7	1				
	2				
	3				
L8	1				
	2				







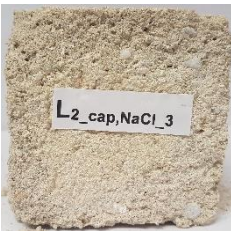





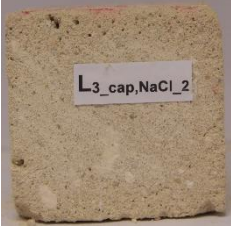


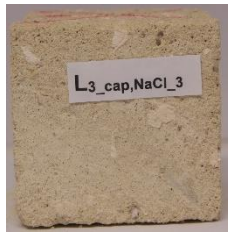


L8	3	 A square, light brown, porous material sample with a white label "L8_cap,w_3" in the center.	 The sample is being tested with a grey cylindrical probe. The probe is positioned at the bottom center of the sample.	 The sample is shown after testing, with a vertical crack running down the center and some material crumbling at the base.	 A close-up view of the sample after testing, showing a vertical crack and some crumbling material.
L9	1	 A square, reddish-brown, porous material sample with a white label "L9_cap,w_1" in the center.	 The sample is being tested with a grey cylindrical probe. The probe is positioned at the bottom center of the sample.	 The sample is shown after testing, with a vertical crack running down the center and some material crumbling at the base.	 A close-up view of the sample after testing, showing a vertical crack and some crumbling material.
	2	 A square, reddish-brown, porous material sample with a white label "L9_cap,w_2" in the center.	 The sample is being tested with a grey cylindrical probe. The probe is positioned at the bottom center of the sample.	 The sample is shown after testing, with a vertical crack running down the center and some material crumbling at the base.	 A close-up view of the sample after testing, showing a vertical crack and some crumbling material.
	3	 A square, reddish-brown, porous material sample with a white label "L9_cap,w_3" in the center.	 The sample is being tested with a grey cylindrical probe. The probe is positioned at the bottom center of the sample.	 The sample is shown after testing, with a vertical crack running down the center and some material crumbling at the base.	 A close-up view of the sample after testing, showing a vertical crack and some crumbling material.
L10	1	 A square, light grey, porous material sample with a white label "L10_cap,w_1" in the center.	 The sample is being tested with a grey cylindrical probe. The probe is positioned at the bottom center of the sample.	 The sample is shown after testing, with a vertical crack running down the center and some material crumbling at the base.	 A close-up view of the sample after testing, showing a vertical crack and some crumbling material.
	2	 A square, light grey, porous material sample with a white label "L10_cap,w_2" in the center.	 The sample is being tested with a grey cylindrical probe. The probe is positioned at the bottom center of the sample.	 The sample is shown after testing, with a vertical crack running down the center and some material crumbling at the base.	 A close-up view of the sample after testing, showing a vertical crack and some crumbling material.

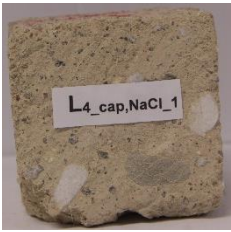








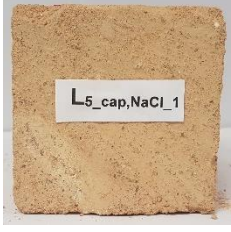


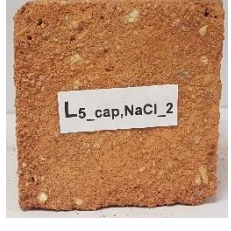


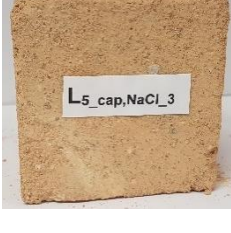


	3				
L11	1				
	2				
	3				
L12	1				
	2				




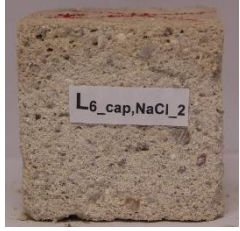


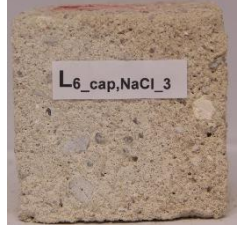








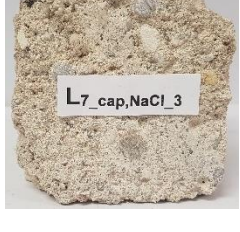


	3				
--	---	-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

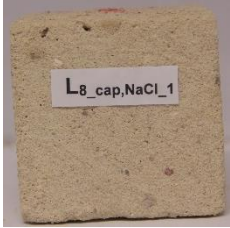





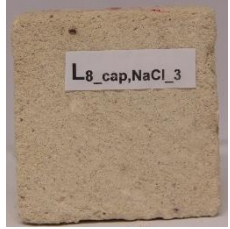








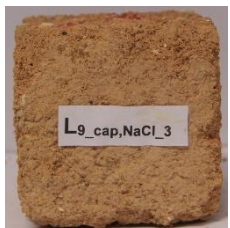


❖ Compressão em Cap_NaCl










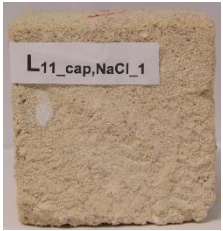





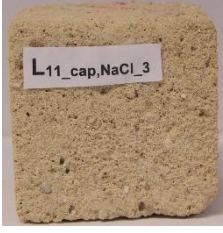


Cap_NaCl				
Provete	No.	Antes do ensaio		Após o ensaio
L1	1			
	2			
	3			










L2	1			
	2			
	3			
L3	1			
	2			
	3			

L4	1			
	2			
	3			
L5	1			
	2			
	3			













L6	1			
	2			
	3			
L7	1			
	2			
	3			








L8	1			
	2			
	3			
L9	1			
	2			
	3			








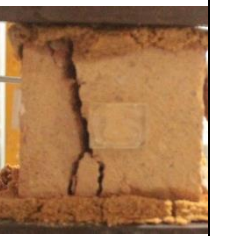



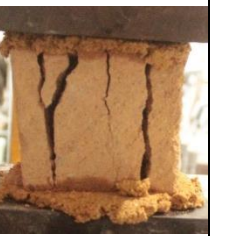



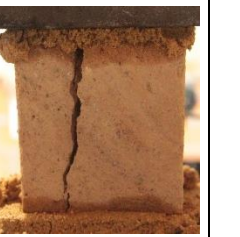








L10	1			
	2			
	3			
L11	1			
	2			
	3			

L12	1			
	2			
	3			











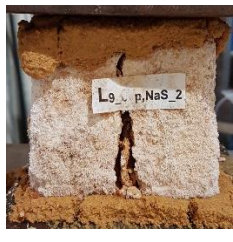









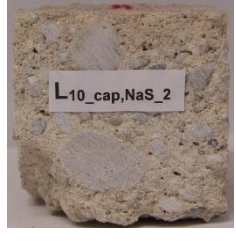


❖ Compressão em Cap_Na₂SO₄

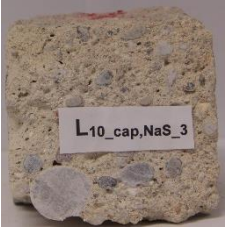

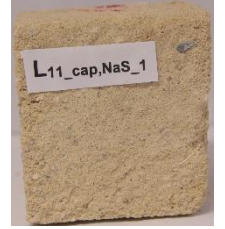








Cap_Na ₂ SO ₄					
Provete	No.	Antes do ensaio		Após o ensaio	
L1	1				
	2				
	3				
L2	1				
	2				

	3				
L3	1				
	2				
	3				
L4	1				
	2				

	3				
L5	1				
	2				
	3				
L6	1				
	2				









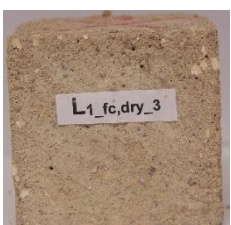



	3				
L7	1				
	2				
	3				
L8	1				
	2				

<p>L8</p>	<p>3</p>				
<p>L9</p>	<p>1</p>				
	<p>2</p>				
	<p>3</p>				
<p>L10</p>	<p>1</p>				
	<p>2</p>				





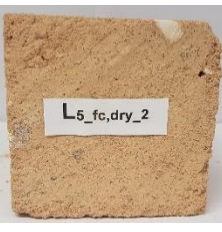


	3				
L11	1				
	2				
	3				
L12	1				
	2				








	3				
--	---	-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

❖ Compressão em Fc_dry

Fc_dry					
Provete	No.	Antes do ensaio		Após o ensaio	
L1	1				
	2				
	3				

L2	1				
	2				
	3				
L3	1				
	2				
	3				

L4	1				
	2				
	3				
L5	1				
	2				
	3				







L6	1				
	2				
	3				
L7	1				
	2				
	3				




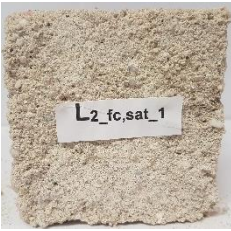











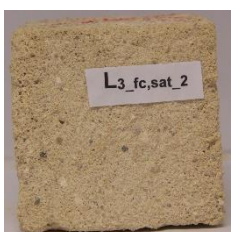


L8	1				
	2				
	3				
L9	1				
	2				
	3				

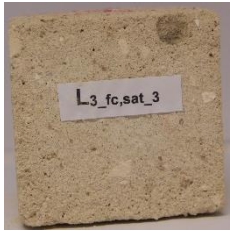
















L10	1				
	2				
	3				
L11	1				
	2				
	3				


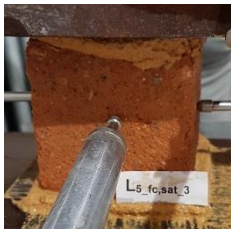










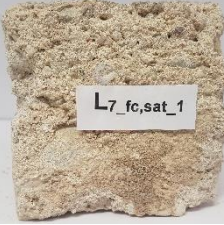





L12	1				
	2				
	3				




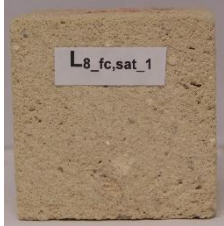














❖ Compressão em Fc_sat










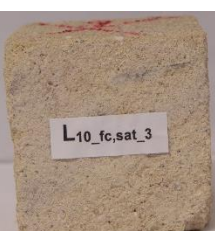


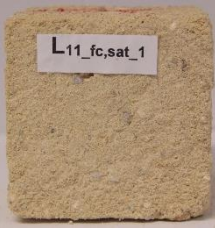





Fc_sat				
Provete	No.	Antes do ensaio		Após o ensaio
L1	1			
	2			

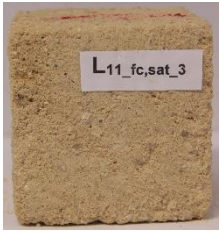


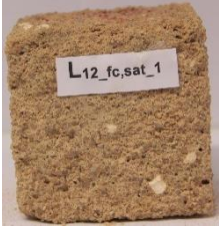








	3			
L2	1			
	2			
	3			
L3	1			
	2			

	3			
L4	1			
	2			
	3			
L5	1			
	2			





	3			
L6	1			
	2			
	3			
L7	1			
	2			

























	3			
L8	1			
	2			
L8	3			
L9	1			
	2			

















	3			
L10	1			
	2			
	3			
L11	1			
	2			

	3			
L12	1			
	2			
	3			

❖ Compressão em Cíclico

Cyclic				
Provete	Antes do ensaio	Após o ensaio		
L1				

L2				
L3				
L4				
L5				
L6				
L7				

<p>L8</p>				
<p>L9</p>				
<p>L10</p>				
<p>L11</p>				
<p>L12</p>	