



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil

Compatibilidade de ETICS com suportes heterogéneos

SUSANA ISABEL GASPAR DA FONSECA

(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na área de
Especialização em Edificações

Orientador:

Mestre, Especialista do IPL, Paulo Alexandre Pereira Malta da Silveira Ribeiro

Júri:

Presidente:

Doutor, Filipe Manuel Vaz Pinto Almeida Vasques

Vogais:

Doutora, Maria Dulce e Silva Franco Henriques

Mestre, Especialista do IPL, Paulo Alexandre Pereira Malta da Silveira Ribeiro

Setembro 2021

RESUMO

A presente dissertação, com o título “Compatibilidade de ETICS com Suportes Heterogéneos”, está inserida na área de revestimentos de paredes de edifícios, sendo o único foco os Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS) aplicáveis em paramentos exteriores de edifícios.

O estudo desenvolvido e apresentado neste documento teve como propósito a análise das características da argamassa de colagem deste tipo de sistemas quando aplicada em diferentes suportes, determinando assim a influência do suporte no desempenho de ETICS.

Para tal, foram analisados 2 tipos de suportes (suportes de tijolo cerâmico e de betão) separadamente, de forma a simular as zonas onde há suportes com características diferentes (designado por heterogeneidade do suporte), como as zonas de ligação parede – pilar/viga, características de obra nova.

Este estudo permite dar resposta e compreender as causas intrínsecas de problemas que surgem em ETICS quando aplicados em diferentes suportes, pois suportes diferentes originam diferentes ligações ao sistema.

Para este estudo, foi desenvolvida uma campanha experimental de acordo com as regras e procedimentos de ensaio especificados no EAD 040083-00-0404. Em alguns casos, foram adaptados os métodos de ensaio e requisitos com base nos existentes e, quando necessário, foram desenvolvidos métodos de ensaio específicos.

A campanha experimental permitiu caracterizar os dois tipos de suportes e a argamassa de colagem aplicada sobre os mesmos, para analisar o desempenho e a compatibilidade da argamassa de colagem de ETICS ao suporte, sobretudo ao nível do desempenho à água da argamassa de colagem assim como da aderência da argamassa de colagem ao suporte.

PALAVRAS-CHAVE

ETICS

Suportes

Suportes heterogéneos

Argamassa de colagem

ABSTRACT

The present dissertation, entitled “Compatibility of ETICS with Heterogeneous Substrates”, is inserted in the area of wall cladding of buildings, with the only focus being the External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) applicable to exterior walls of buildings.

The study developed and presented in this document aimed to analyze the characteristics of the bonding mortar of this type of systems when applied to different substrates, thus determining the influence of the substrate on the performance of ETICS.

For that reason, two types of substrates (ceramic brick and concrete substrates) were analyzed separately, in order to simulate the areas where there are substrates with different characteristics (called substrate heterogeneity), such as the wall – column/beam connection areas, characteristic of new construction.

This study allows to answer and understand the intrinsic causes of problems that arise in ETICS when applied to different substrates, because different substrates create different connections to the system.

For this study, an experimental campaign was developed according to the test rules and procedures specified in EAD 040083-00-0404. In some cases, test methods and requirements have been adapted on the basis of existing ones and, when necessary, specific test methods have been developed.

The experimental campaign allowed the characterization of the two types of substrates and the bonding mortar applied to them, to analyze the performance and compatibility of the ETICS bonding mortar to the substrate, especially in terms of the water performance of the bonding mortar as well as the adherence of the bonding mortar to the substrate.

KEYWORDS

ETICS

Substrate

Heterogeneous substrates

Adhesive mortar

AGRADECIMENTOS

O Trabalho Final de Mestrado, embora resulte de um esforço pessoal, não é um trabalho possível sem um sistema de suporte que torne o resultado final alcançável.

O meu primeiro agradecimento vai para o meu orientador, o Engenheiro Malta da Silveira, pela constante disponibilidade e compreensão, e pelo otimismo contagiante e motivador.

À Engenheira Sofia Malanho do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos Departamento de Edifícios do Laboratório Nacional de Engenharia Civil pelo apoio e acompanhamento de todo o Trabalho Final de Mestrado e respetiva campanha experimental.

Ao meu colega e amigo David Leonardo, pelas palavras de incentivo e por me ter disponibilizado grande parte dos materiais que tornaram possível a campanha experimental.

Ao Sr. Acácio Monteiro, Técnico de Laboratório do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos do Departamento de Edifícios do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, que me apoiou em todos os trabalhos laboratoriais.

Ao Engenheiro Gil Jeurissen Rosa, do Núcleo de Betões, Pedras e Cerâmicos do Departamento de Materiais do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pela disponibilidade na realização das placas de betão que foram usadas na campanha experimental.

À Engenheira Maria do Rosário Veiga, Chefe do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos, por me ter possibilitado a realização da campanha experimental no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Aos meus colegas de curso que se tornaram amigos para a vida, pela partilha desta jornada académica e pelas experiências que me proporcionaram.

Aos meus pais, Elsa e José, um eterno agradecimento por todas as oportunidades que me concederam, que foram inúmeras, e pelo apoio que me deram durante a elaboração desta dissertação.

E, por último, o meu agradecimento mais emotivo, e também eterno, vai para a minha avó Judite, que fez questão de tornar esta caminhada possível.

Para Judite e Mafalda
in memoriam

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. JUSTIFICAÇÃO DO TEMA	1
1.3. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	2
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. ETICS.....	4
2.1. GENERALIDADES	4
2.2. CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA	5
2.2.1. Isolante térmico	6
2.2.2. Sistema de fixação	8
2.2.3. Camada de base	11
2.2.4. Rede de fibra de vidro	12
2.2.5. Primário de regularização	13
2.2.6. Camada de acabamento	13
2.3. APLICAÇÃO	14
2.3.1. Preparação do suporte.....	15
2.3.2. Fixação do isolante	16
2.3.3. Aplicação do revestimento do isolante	17
2.3.4. Aplicação do acabamento.....	18
2.4. PATOLOGIA.....	18
2.5. MANUTENÇÃO	20
2.5.1. Anomalias cromáticas ou estéticas.....	21
2.5.2. Anomalias de planeza	22
2.5.3. Anomalias de rotura de materiais	23
2.6. CARACTERÍSTICAS GERAIS, VANTAGENS E DESVANTAGENS	24
3. DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA.....	28
4. CAMPANHA EXPERIMENTAL.....	30
4.1. ESTRATÉGIA.....	30
4.2. METODOLOGIA.....	30
4.3. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS	32
4.3.1. Determinação da consistência por espalhamento da argamassa em pasta.....	34
4.3.2. Determinação da massa volúmica da argamassa em pasta	39
4.3.3. Ensaio de avaliação de características mecânicas por ultrassons.....	41
4.3.4. Ensaio de absorção de água sob baixa pressão	42

4.3.5.	Medição com humidímetro portátil	44
4.3.6.	Determinação da porosidade aberta e das massas volúmicas aparente e real.....	45
4.3.7.	Determinação do teor de humidade.....	48
4.3.8.	Determinação do coeficiente de capilaridade de suportes para ensaios de aderência.....	50
4.3.9.	Determinação da aderência ao suporte do revestimento	52
5.	ANÁLISE DE RESULTADOS	56
5.1.	DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA POR ESPALHAMENTO DA ARGAMASSA EM PASTA	56
5.2.	DETERMINAÇÃO DA MASSA VOLÚMICA DA ARGAMASSA EM PASTA... 57	
5.3.	ENSAIO DE AVALIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS POR ULTRASSONS	58
5.4.	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO	73
5.5.	MEDIÇÃO COM HUMIDÍMETRO PORTÁTIL.....	89
5.6.	DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE ABERTA E DAS MASSAS VOLÚMICA APARENTE E REAL	90
5.7.	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE.....	93
5.8.	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CAPILARIDADE DE SUPORTES PARA ENSAIOS DE ADERÊNCIA.....	95
5.9.	DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA AO SUPORTE DO REVESTIMENTO... 97	
5.10.	ANÁLISE GLOBAL	101
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Aspeto final do sistema ETICS.	5
Figura 2.2 - Componentes de um sistema ETICS. 1 – Suporte (não faz parte do ETICS, mas recebe o ETICS), 2 – Sistema de fixação, neste caso sistema colado com argamassa de colagem, 3 – Isolante térmico, neste caso EPS, 4 – Camada de base, que contém rede de fibra de vidro embebida na argamassa; 5 – Primário de regularização, 6 – Acabamento.	6
Figura 2.3 - Sistemas ETICS com diferentes isolantes: a) - Lã Mineral, b) - Aglomerado de cortiça expandida.	8
Figura 2.4 - Sistema ETICS com isolante térmico fixado por colagem aplicado sobre murete para ensaio laboratorial [14].	9
Figura 2.5 - Isolante térmico de sistema ETICS fixado por sistema mecânico composto por perfis verticais e cavilhas plásticas [14].	10
Figura 2.6 – Sistema ETICS colado com fixação mecânica suplementar: Isolante térmico fixado por colagem e com recurso a cavilhas plásticas como fixação complementar.	10
Figura 2.7 – Representação de isolante térmico aplicado com as juntas verticais desencontradas e com recurso a fixação mecânica suplementar [10].	16
Figura 2.8 – Representação da aplicação de elementos de reforço nas arestas da fachada após aplicação do isolante térmico [10].	17
Figura 2.9 - Representação da aplicação dos elementos de reforço em vãos [10].	17
Figura 2.10 - Crescimento biológico [19].	22
Figura 2.11 - Visualização de juntas entre placas de isolante [19].	23
Figura 2.12 - Lacuna de material provocada pelo choque da porta [19].	24
Figura 4.1 - Aplicação da argamassa de colagem com 10 mm de espessura no suporte.	31
Figura 4.2 - Pesagem do pó.	34
Figura 4.3 - Misturador a trabalhar a velocidade lenta enquanto se adiciona água.	35
Figura 4.4 - Pasta homogénea sem grumos.	35
Figura 4.5 - Disco da mesa de espalhamento e molde antes do ensaio.	36
Figura 4.6 - Primeira camada de argamassa de colagem compactada com 10 pancadas.	36

Figura 4.7 - Segunda camada de argamassa de colagem compactada com 10 pancadas.....	37
Figura 4.8 - Molde com superfície lisa após se retirar o excesso de pasta.	37
Figura 4.9 a), b) e c) – Remoção do molde.	38
Figura 4.10 a), b) e c) - Espalhamento da argamassa em pasta.....	38
Figura 4.11 - Medição do espalhamento com craveira.	39
Figura 4.12 a) e b) - Pesagem da cápsula de 1 dm ³	40
Figura 4.13 a), b) e c) - Enchimento e compactação da cápsula.	40
Figura 4.14 a), b) e c) - Enchimento da cápsula até transbordar e remoção do excesso.	41
Figura 4.15 - Pesagem da cápsula cheia com a pasta.	41
Figura 4.16 – Medição da velocidade de ondas ultrassónicas por transmissão indireta.....	42
Figura 4.17 a) e b) - Tubos de Karsten aplicados em superfícies verticais e superfícies horizontais.	43
Figura 4.18 a) e b) - Tubos de Karsten com água.	44
Figura 4.19 – Humidímetro portátil.	45
Figura 4.20 a), b) e c) - Extração de amostras dos provetes de argamassa de colagem aplicada em betão e em tijolo cerâmico.....	46
Figura 4.21 - Amostras extraídas de provetes para determinação da porosidade aberta.	46
Figura 4.22 - Exsicador contendo as amostras.....	47
Figura 4.23 - Elementos usados no ensaio: 1 - Bomba, 2 - Sílica, 3 - Exsicador, 4 - Água destilada.....	47
Figura 4.24 - Pesagem hidrostática.	48
Figura 4.25 a) e b) - Amostras extraídas de provetes para determinação do teor de humidade.....	49
Figura 4.26 a) e b) - Estufa ventilada e colocação dos tabuleiros na estufa. ...	49
Figura 4.27 a) e b) - Pesagem das amostras a cada 24 horas.	50
Figura 4.28 a) e b) - Amostras apoiadas em elementos e face das amostras em contacto com a água.....	51
Figura 4.29 a) e b) - Amostras com face em contacto com um pano húmido e pesagem das amostras após face em contacto com a água.....	51
Figura 4.30 a), b) e c) - Execução de carotes nos provetes.....	52
Figura 4.31 - Colagem das pastilhas metálicas.	53
Figura 4.32 - Esquema em corte da incisão para realização do arrancamento por tração [11]: 1 – pastilha metálica; 2 – argamassa de colagem; 3 – suporte.	53

Figura 4.33 a), b) e c) - Montagem do aparelho de arrancamento.....	54
Figura 4.34 a) e b) - Pastilhas metálicas após arrancamento em tijolo cerâmico e em betão.....	54
Figura 4.35 - Imersão da camada adesiva dos provetes durante 48 horas.....	55
Figura 5.1 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de tijolo ETi-2/17-1.....	61
Figura 5.2 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de tijolo ETi-2/17-2.....	61
Figura 5.3 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de tijolo ETi-2/17-3.....	62
Figura 5.4 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de betão ETi-2/17-B1.....	64
Figura 5.5 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de betão ETi-2/17-B2.....	65
Figura 5.6 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de betão ETi-2/17-B3.....	65
Figura 5.7 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de argamassa em tijolo ETi-2/17-8.....	67
Figura 5.8 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de argamassa de tijolo ETi-2/17-9.....	68
Figura 5.9 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de argamassa de betão ETi-2/17-B7.....	70
Figura 5.10 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de argamassa de betão ETi-2/17-B8.....	71
Figura 5.11 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de argamassa de betão ETi-2/17-B9.....	71
Figura 5.12 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 1.....	76
Figura 5.13 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 2.....	76
Figura 5.14 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 3.....	77
Figura 5.15 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B1.....	79
Figura 5.16 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B2.....	80

Figura 5.17 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B3.....	80
Figura 5.18 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 7.....	83
Figura 5.19 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 8.....	83
Figura 5.20 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 9.....	84
Figura 5.21 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B7...	87
Figura 5.22 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B8...	87
Figura 5.23 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B9...	88

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Condutibilidade térmica de isolantes.	7
Tabela 2.2 - Comparação entre fixação por colagem e fixação mecânica.	11
Tabela 2.3 - Fases da aplicação de ETICS.	15
Tabela 2.4 - Causas de anomalias registadas em ETICS [18].	19
Tabela 2.5 - Ocorrência de anomalias em ETICS [18].	19
Tabela 2.6 - Características dos componentes de ETICS.	25
Tabela 4.1 - Identificação e objetivo de ensaios realizados em cada tipo de componente.	32
Tabela 5.1 - Resultados obtidos do espalhamento da argamassa em pasta. ...	56
Tabela 5.2 - Verificação dos resultados do espalhamento.	56
Tabela 5.3 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica.	57
Tabela 5.4 - Massa volúmica da argamassa em pasta.	58
Tabela 5.5 - Verificação da diferença entre a massa volúmica de cada provete e o valor médio.	58
Tabela 5.6 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de tijolo ETi-2/17-1 e valores médios.	59
Tabela 5.7 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de tijolo ETi-2/17-2 e valores médios.	59
Tabela 5.8 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de tijolo ETi-2/17-3 e valores médios.	60
Tabela 5.9 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de betão ETi-2/17-B1 e valores médios.	62
Tabela 5.10 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de betão ETi-2/17-B2 e valores médios.	63
Tabela 5.11 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de betão ETi-2/17-B3 e valores médios.	63
Tabela 5.12 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de argamassa em tijolo ETi-2/17-8 e valores médios.	66
Tabela 5.13 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de argamassa em tijolo ETi-2/17-9 e valores médios.	66
Tabela 5.14 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de argamassa em betão ETi-2/17-B7 e valores médios.	68
Tabela 5.15 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de argamassa em betão ETi-2/17-B8 e valores médios.	69

Tabela 5.16 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de argamassa em betão ETi-2/17-B9 e valores médios.	69
Tabela 5.17 - Valores da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas em diferentes meios e respetivas média e desvio-padrão.....	72
Tabela 5.18 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 1.	74
Tabela 5.19 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 2.	74
Tabela 5.20 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 3.	75
Tabela 5.21 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B1.....	77
Tabela 5.22 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B2.....	78
Tabela 5.23 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B3.....	78
Tabela 5.24 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 7.	81
Tabela 5.25 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 8.	81
Tabela 5.26 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 9.	82
Tabela 5.27 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B7.	84
Tabela 5.28 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B8.	85
Tabela 5.29 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B9.	86
Tabela 5.30 - Valores da quantidade de água absorvida por área em função de determinado intervalo de tempo em diferentes provetes e respetivas média e desvio-padrão.	88
Tabela 5.31 - Valores do teor de humidade superficial de cada provete e respetivas médias e desvio-padrão.....	89
Tabela 5.32 - Valores da porosidade aberta, massa volúmica aparente e massa volúmica real de provetes de tijolo cerâmico.....	91
Tabela 5.33 - Valores da porosidade aberta, massa volúmica aparente e massa volúmica real de provetes de betão.	91

Tabela 5.34 - Valores da porosidade aberta, massa volúmica aparente e massa volúmica real de provetes de argamassa em tijolo cerâmico.	92
Tabela 5.35 - Valores da porosidade aberta, massa volúmica aparente e massa volúmica real de provetes de argamassa em betão.	92
Tabela 5.36 - Valores médios da porosidade aberta, da massa volúmica aparente e da massa volúmica real de cada tipo de provete e respetivos desvios-padrão.	93
Tabela 5.37 - Valores das pesagens dos provetes antes de se iniciar o ensaio e a cada 24h após colocação em estufa ventilada.	94
Tabela 5.38 - Valores do teor de humidade total perdido em cada provete, e respetivas médias e desvios-padrão.	95
Tabela 5.39 - Valores do coeficiente de capilaridade e respetiva média e desvio-padrão dos provetes de tijolo cerâmico.	96
Tabela 5.40 - Valores do coeficiente de capilaridade e respetiva média e desvio-padrão dos provetes de betão.	97
Tabela 5.41 - Modos de rotura.	98
Tabela 5.42 - Resultados do ensaio de aderência para provetes em condições de aderência a seco.	98
Tabela 5.43 - Resultados do ensaio de aderência após a imersão durante 48 h e secagem de 2 h dos provetes.	99
Tabela 5.44 - Resultados do ensaio de aderência após a imersão durante 48 h e secagem de 7 dias dos provetes.	100
Tabela 5.45 - Quadro-resumo dos resultados dos ensaios. Legenda: (*) – resultado inconclusivo; (**) – ensaio não definido para o provete em questão.	102

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Área
A_f	Área da face imersa do provete
APFAC	Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS
C	Coefficiente de absorção de água por capilaridade
CEN	Comité Europeu de Normalização
CO ₂	Dióxido de Carbono
CUAP	<i>Common Understanding of Assessment Procedure</i>
DH	Documento de Homologação
EAD	<i>European Assessment Document</i> (Documento de Avaliação Europeu)
EEE	Espaço Económico Europeu
EN	Norma Europeia
EOTA	<i>European Organization for Technical Assessment</i>
EPS	Poliestireno Expandido Moldado
ETA	<i>European Technical Assessment</i> (Avaliação Técnica Europeia)
ETAG	<i>European Technical Approval Guideline</i>
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite System</i>
F_a	Força de arrancamento
F_c	Força de arrancamento corrigida
φ	Diâmetro
ICB	Aglomerado de Cortiça Expandida
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
m	Massa
M_0	Massa inicial do provete
m_d	Massa do provete seco
m_h	Massa do provete saturado imerso
M_i	Massa final do provete
m_s	Massa do provete saturado
MW	Lã Mineral
NP	Norma Portuguesa
NRI	Núcleo de Revestimentos e Isolamentos
OEN	Organismos Europeus de Normalização
P_0	Porosidade aberta

PVC	Policloreto de Vinilo (plástico)
Q_i	Quantidade de água absorvida por unidade de tempo
R^2	Fator de correlação
RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
ρ	Massa volúmica
ρ_b	Massa volúmica aparente
ρ_r	Massa volúmica real
ρ_{rh}	Densidade da água
RPC	Regulamento dos Produtos de Construção
RPE	Revestimento Plástico Espesso
TAB	<i>Technical Assessment Body</i>
σ	Tensão
T_i	Intervalo de tempo
URPa	Unidade de Revestimentos de Paredes
V	Volume
w	Teor de humidade
W_i	Quantidade de água absorvida por unidade de tempo por unidade área
XPS	Poliestireno Expandido Extrudido

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Os Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior, mais conhecidos por ETICS, cuja sigla provém da designação em inglês *External Thermal Insulation Composite System*, são sistemas que permitem o isolamento térmico de um edifício pelo exterior. São considerados sistemas inovadores e são muito usados na construção por apresentarem bons resultados e a sua aplicação ser relativamente fácil e pouco intrusiva.

Estes sistemas pretendem melhorar o conforto térmico dos edifícios, conferindo mais conforto aos utilizadores e reduzir os custos e desperdícios de energia associados a esse mesmo conforto térmico.

A crescente utilização destes sistemas, e o facto de se considerarem sistemas inovadores, torna pertinente uma análise mais detalhada do seu desempenho.

A presente dissertação foi desenvolvida com base numa campanha experimental realizada na Unidade de Revestimentos de Paredes (URPa) do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos (NRI) do Departamento de Edifícios do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, sob o acompanhamento da Engenheira Sofia Malanho.

1.2. Justificação do tema

É do senso comum que uma fachada de um edifício apresenta elementos não estruturais, como é o caso da alvenaria de tijolo, e elementos estruturais, como é o caso do betão armado. Estes dois elementos, de características muito distintas, servem, inúmeras vezes, de suporte a ETICS.

Pelo parágrafo anterior se conclui que o suporte, onde a maioria destes sistemas são aplicados (fachadas), não é homogéneo, podendo apresentar também outros elementos, como azulejos, pinturas, argamassas, entre outros. Ainda, e tendo em conta a evolução de materiais e métodos construtivos (como é o caso de blocos de argila expandida), os próprios elementos que possam vir a servir de suporte a ETICS poderão originar diferentes comportamentos por parte do sistema. Assim, a heterogeneidade do suporte, e, conseqüentemente, os diferentes materiais que servem de suportes, serviu de ponto de partida para o estudo da sua influência no desempenho dos sistemas.

O tema da dissertação tem como objetivo averiguar de que forma o suporte tem influência no comportamento de ETICS. Uma vez que o EAD 040083-00-0404 [1] prevê a aplicação de ETICS em betão e alvenaria, mas só refere a exigência do produto de colagem ao betão, a definição e execução de uma campanha experimental para analisar o comportamento do produto de colagem quando aplicado em betão e tijolo cerâmico tornou-se no objeto desta dissertação.

Para tentar compreender a influência das características dos suportes no desempenho global dos sistemas aplicados, a campanha experimental realizada envolveu ensaios não previstos no EAD 040083-00-0404 [1].

1.3. Objetivos da dissertação

Os principais objetivos deste estudo são os seguintes:

- a) Análise do comportamento da argamassa de colagem quando aplicada em suportes distintos ou heterogéneos (como é o caso das zonas de ligação);
- b) Observação e caracterização dos possíveis problemas que possam surgir nos sistemas quando aplicados em diferentes suportes ou em suportes constituídos por mais do que um elemento;
- c) Estabelecimento de uma campanha experimental que consiga analisar o comportamento e os problemas resultantes do referido nas alíneas anteriores;
- d) Contribuição para o desenvolvimento de ETICS com um melhor desempenho e mais adaptado ao seu campo de aplicação.

1.4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em 6 capítulos.

O primeiro capítulo (Introdução) aborda o âmbito da dissertação, fazendo o respetivo enquadramento

O segundo capítulo (ETICS) reúne a revisão bibliográfica, pretendendo ser uma introdução ao tema, estando dividido em subcapítulos que abordarão a constituição dos sistemas ETICS, a aplicação e manutenção dos mesmos, anomalias e suas causas mais comuns e vantagens e desvantagens.

No terceiro capítulo (Documentação técnica) é abordada a legislação europeia e nacional relativa a produtos de construção, bem como a normalização referente a estes sistemas.

O quarto capítulo (Campanha experimental) é inteiramente dedicado à metodologia da campanha experimental. Nele constam a descrição completa e detalhada dos ensaios e respetivos objetivos.

É no quinto capítulo (Análise de resultados) que é feita a análise individual e global dos resultados.

E, por fim, no sexto capítulo (Considerações finais) estão descritas as conclusões retiradas de todo o trabalho efetuado e propostas para trabalhos futuros.

2. ETICS

2.1. Generalidades

O sector da construção civil tem vindo a desenvolver, cada vez mais, metodologias e produtos que promovem a minoração da pegada ecológica, atuando, sobretudo, no sentido de reduzir as necessidades térmicas dos edifícios [2].

Devido ao acentuado consumo de energia para proporcionar conforto térmico aos utilizadores de edifícios, tornou-se importante modernizar termicamente os edifícios existentes, pois são os que apresentam mais falhas a esse nível [3].

O isolamento térmico de edifícios através das fachadas exteriores tem um efeito significativo na redução do consumo de energia nos edifícios, o que leva à redução das emissões de CO₂. Aplicar um sistema de isolamento térmico no exterior da fachada de um edifício pode ser encarado como um investimento económico com grandes benefícios para o utilizador, não só económicos, pela poupança de energia, mas também em termos de conforto [3].

No caso das fachadas, torna-se importante selecionar soluções de revestimento compatíveis com o tipo de suporte do edifício, tanto em obras novas ou de reabilitação, pois serão a proteção das zonas opacas dos edifícios e estarão em contacto direto com os agentes de degradação.

Os Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior, mais conhecidos pela sigla ETICS que deriva da terminologia anglo-saxónica *External Thermal Insulation Composite System*, são um caso particular de soluções de isolamento térmico aplicáveis em fachadas exteriores dos edifícios mais comum, cujo processo construtivo permite atuar, precisamente, no sentido da redução das necessidades energéticas dos edifícios, possibilitando a sua aplicação em diversos tipos de suportes, apresentando também versatilidade arquitetónica e facilidade de aplicação.

A aplicação destes sistemas possibilita os mais variados tipos de acabamentos (Figura 2.1) e confere melhorias significativas do isolamento térmico quer da construção nova quer das obras de reabilitação.



Figura 2.1 - Aspeto final do sistema ETICS.

Apesar da sua existência no mercado europeu remontar os anos 50 do século passado, os ETICS são considerados sistemas inovadores para os quais ainda se continuam a realizar estudos. Em Portugal, surgiram nos anos 80 do século XX mas a sua vulgarização e crescente aceitação e popularidade só aconteceu nos últimos 15 anos [4].

O crescente uso destes sistemas em Portugal está essencialmente associado aos requisitos legais relativos ao conforto higrotérmico e à eficiência energética, que visam responder às preocupações com o consumo de energia e proteção ambiental, como é o caso do, já revogado, RCCTE (Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios) [5] e, atualmente, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) [6] e o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço (RECS) [7], que são resultado de legislação a nível Europeu sobre a matéria, como é o caso da Diretiva Europeia 2010/31/EU [8], alterada pela Diretiva Europeia (EU) 2018/844 [9]. Estes sistemas são considerados uma das soluções mais eficientes para se obterem edifícios com elevado desempenho, respeitando os requisitos de eficiência energética, enquanto proporcionam conforto térmico no espaço interior [10].

2.2. Constituição do sistema

Os ETICS são sistemas comercializados sob a forma de *kit* e aplicados *in situ*, camada a camada, por aplicadores especializados com formação adequada. A sua

aplicação é destinada ao exterior de edifícios e a superfícies planas e verticais, nomeadamente, a fachadas.

Estes sistemas são compostos por um isolante térmico seguido de uma camada de base, na qual está incorporada uma rede de fibra de vidro. Sobre a camada de base é aplicado o primário de regularização e, por fim, a aplicação do sistema fica concluída com o acabamento. A camada de isolante térmico, aplicada na face exterior da parede, pode ser fixada ao suporte por um produto de colagem ou por fixação mecânica, podendo nalguns casos optar-se por ambas [11].

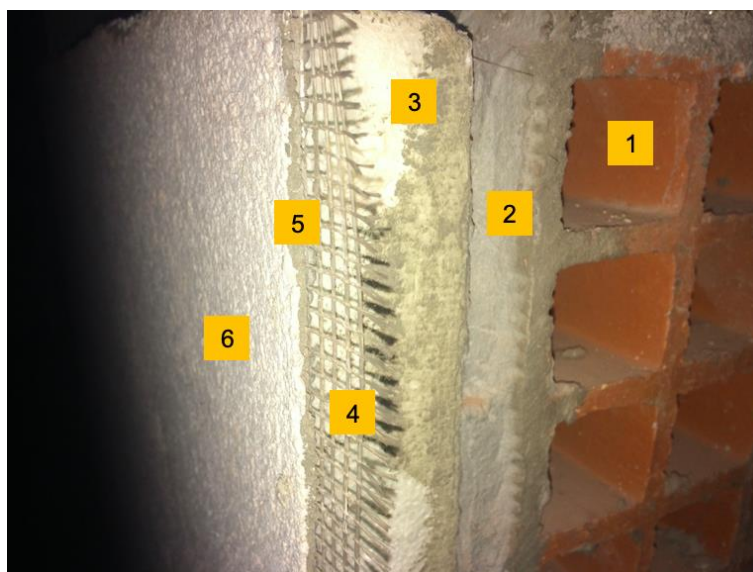


Figura 2.2 - Componentes de um sistema ETICS. 1 – Suporte (não faz parte do ETICS, mas recebe o ETICS), 2 – Sistema de fixação, neste caso sistema colado com argamassa de colagem, 3 – Isolante térmico, neste caso EPS, 4 – Camada de base, que contém rede de fibra de vidro embebida na argamassa; 5 – Primário de regularização, 6 – Acabamento.

2.2.1. Isolante térmico

Segundo o ponto ii) do anexo II do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) [5], já revogado, “«Isolante térmico» é o material de condutibilidade térmica inferior a $0,065 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, ou cuja resistência térmica é superior a $0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ”.

O isolante térmico é o material responsável pelo isolamento térmico que recobre toda a fachada de um edifício em forma de camada contínua. Caracteriza-se por ser um produto pré-fabricado que tem como função o aumento da resistência térmica da parede exterior, reduzindo, deste modo, a transmissão térmica. Ao processo de redução da

transferência de calor, no caso em estudo entre o exterior e o interior do edifício, dá-se a designação de isolamento térmico.

A redução de fluxo térmico é quantificada pela condutibilidade térmica, o que significa que, quanto menor a condutibilidade térmica, maior será a capacidade de isolamento térmico do material em causa.

Tabela 2.1 - Condutibilidade térmica de isolantes.

Isolante térmico	Condutibilidade térmica [W/(m.°C)] [12]
EPS	0,037 – 0,055
XPS	0,037
ICB	0,045
MW	0,040 – 0,045

Para além da baixa condutibilidade térmica, os isolantes devem apresentar outras características, de forma a contribuir para o bom funcionamento do sistema, como é o caso de um baixo módulo de elasticidade transversal, para não provocarem degradação da camada de base, de alguma resistência à absorção de água, pois a presença de humidade provoca um aumento da condutibilidade térmica e diminuição da resistência térmica, e, por fim, uma boa permeabilidade ao vapor de água [13].

A espessura das placas de isolante térmico é, geralmente, ditada em função da resistência térmica que se pretende obter, mas consideram-se normais as espessuras compreendidas entre os 40 e os 100 mm. As espessuras mais comuns em Portugal variam entre os 40 e os 60 mm [14].

Relativamente aos tipos de isolantes térmicos, os mais utilizados na Europa são o EPS (poliestireno expandido moldado), o XPS (poliestireno expandido extrudido), o ICB (aglomerado de cortiça expandida) (Figura 2.3 b)) e a MW (lã mineral) (Figura 2.3 a)). Em Portugal o EPS é o material isolante mais utilizado, contudo, os restantes mencionados têm vindo a ganhar uma expressão considerável no mercado português, principalmente o XPS e o ICB [14].



Figura 2.3 - Sistemas ETICS com diferentes isolantes: a) - Lã Mineral, b) - Aglomerado de cortiça expandida.

De uma forma geral, o isolante térmico é o componente do ETICS que contribui para o conforto quer de inverno, quer de verão, uma vez que dificulta as trocas de energia com o exterior [4] [10].

2.2.2. Sistema de fixação

A fixação do isolante térmico dos sistemas ETICS, que é colocado na face exterior dos paramentos, pode ser assegurada por um produto de colagem (Figura 2.4) ou por fixação mecânica, ainda que, em alguns casos, pode ser assegurada por ambos os métodos [11].



Figura 2.4 - Sistema ETICS com isolante térmico fixado por colagem aplicado sobre murete para ensaio laboratorial [14].

Os sistemas colados (Figura 2.4) são os mais utilizados e o produto usado na colagem, geralmente, pode também ser usado na execução da camada de base [14]. A colagem pode ser assegurada de três formas: por uma camada contínua do produto de colagem; parcialmente, através de um cordão perimetral; e, finalmente, por pontos. Este método de fixação pode, ou não, ser reforçado por fixações mecânicas, de forma a evitar a descolagem das placas de isolante térmico durante o processo de secagem do produto de colagem e assegurar a estabilidade do sistema ao suporte. O recurso à fixação mecânica como reforço da colagem é muito usual [11].

Os produtos de colagem utilizados para assegurar a aderência das placas de isolante térmico ao suporte geralmente apresentam, na sua constituição, argamassa mista de cimento e resina [14].

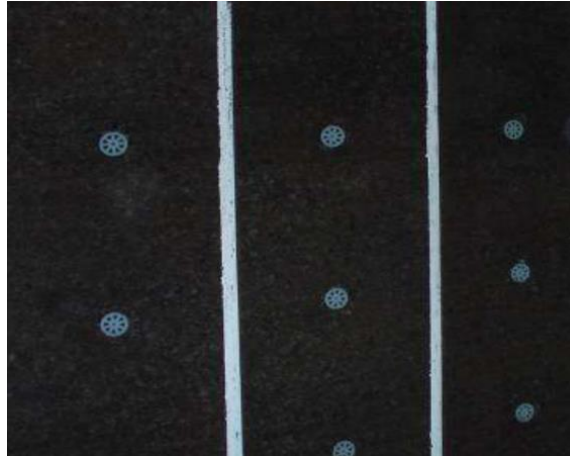


Figura 2.5 - Isolante térmico de sistema ETICS fixado por sistema mecânico composto por perfis verticais e cavilhas plásticas [14].

A fixação mecânica pode ser feita através de ancoragens ou perfis de PVC ou metálicos ancorados ao suporte, onde irão encaixar as placas de isolante térmico [14] (Figura 2.5).

Os sistemas de fixação mecânica podem ainda ser reforçados, como no caso dos sistemas de fixação por colagem, com uma argamassa de colagem complementar. Este reforço irá garantir que o isolante térmico não sofrerá empolamentos, assegurando, desta forma, a planeza do isolante térmico [11].



Figura 2.6 – Sistema ETICS colado com fixação mecânica suplementar: Isolante térmico fixado por colagem e com recurso a cavilhas plásticas como fixação complementar.

Ainda relativamente aos sistemas de fixação mecânica, é importante fazer referências às cavilhas plásticas. Estas asseguram a transferência de esforços de tração e/ou corte induzidas para o suporte, através da zona das ancoragens, e podem ser também usadas como fixação complementar à fixação por colagem, como se pode ver

na Figura 2.6. As cavilhas terão que cumprir os requisitos especificados no EAD 330196-00-0604 [15].

Tabela 2.2 - Comparação entre fixação por colagem e fixação mecânica.

Fixação por colagem	Fixação mecânica
<u>Sistema puramente colado</u> : apenas fixado com recurso a produto de colagem.	<u>Sistema puramente fixado mecanicamente</u> : apenas fixado por meios mecânicos.
<u>Sistema colado com fixação mecânica suplementar</u> : recurso a fixação mecânica para evitar o risco de destacamento, embora a ligação seja assegurada, na totalidade, pela colagem.	<u>Sistema fixado mecanicamente com colagem suplementar</u> : recurso à colagem para assegurar a planeza do sistema, embora a ligação seja assegurada, na totalidade, pela fixação mecânica.

2.2.3. Camada de base

A camada de base é aplicada diretamente sobre o isolante e tem como principal função assegurar a proteção do mesmo a ações mecânicas e, sobretudo, à água [16].

Como já foi referido no ponto anterior (Sistema de fixação), é muito comum a utilização do produto de colagem, usado na fixação das placas de isolante térmico ao suporte, na execução da camada de base [14]. A camada de base, geralmente constituída por uma argamassa mista de cimento e resina, pode ser aplicada de uma vez ou em duas subcamadas, garantindo sempre que é incorporada uma rede de fibra de vidro [17].

Relativamente às características que a camada de base deve apresentar para assegurar a proteção do isolante, estas acabam por estar relacionadas umas com as outras, acabando, de certa forma, por se complementarem.

A incorporação da rede de fibra de vidro permite minimizar a ocorrência de fissuração da camada de base, melhorando também a resistência à perfuração e ao choque [14]. Contudo, para além da incorporação de uma rede de fibra de vidro, a resistência à fissuração da camada de base pode, também, ser assegurada pelo reajuste da dosagem de ligante da argamassa, pelo baixo módulo de elasticidade da camada, de forma a poder acompanhar as deformações do isolante, e pela boa aderência da camada de base ao isolante térmico [16].

A resistência à fissuração, e conseqüentemente ao choque e perfuração, é importante pois, quando perante um destes casos, a penetração da água acontece, dando origem à perda de resistência térmica do isolante caso a água o atinja [16].

Outras características importantes que a camada de base apresenta, e que são conseguidas pela composição da camada, são a baixa absorção de água por capilaridade e a permeabilidade ao vapor de água. A baixa absorção de água por capilaridade dificulta a penetração de água no sistema e conseqüente proteção do isolante térmico, de forma a preservar as suas características. A permeabilidade ao vapor de água previne a retenção de água no seu interior e evita fenômenos de condensação no isolante térmico [16].

2.2.4. Rede de fibra de vidro

A rede de fibra de vidro, como já foi referido atrás, é incorporada na camada de base com o intuito de controlar a abertura de fissuras dessa mesma camada, mas não só, serve também para melhorar a resistência ao choque do sistema [14].

Estes sistemas, por estarem sujeitos a grandes amplitudes térmicas e por serem compostos por camadas com diferentes condutibilidades térmicas e coeficientes de dilatação térmica, geram tensões de tração no interior das camadas e tensões de corte nas interfaces. A introdução de redes de fibra de vidro na camada de base atua no sentido de reforçar a resistência à tração dessa mesma camada, promovendo o bom desempenho do sistema [14].

Na camada de base podem ser aplicadas dois tipos de redes: normal e reforçada. A rede de fibra de vidro normal é aplicada em toda a camada, sendo o remate feito por sobreposição e tem como função melhorar a resistência mecânica da camada. A reforçada serve de complemento à normal, também embebida na camada de base mas aplicada sem sobreposição, sendo a sua incorporação adequada em zonas mais expostas a choques, pois contribuem para o aumento da resistência a essas solicitações [11] [16].

É importante referir que a proteção contra álcalis deve ser assegurada, isto porque o cimento presente na camada de base contém álcalis que são responsáveis pela diminuição da resistência mecânica e da elasticidade das redes de fibra de vidro [16].

A rede de fibra de vidro pode ainda ser usada para reforçar zonas pontuais e tendencialmente mais frágeis, como é o caso dos vértices dos vãos [17].

2.2.5. Primário de regularização

A aplicação do primário de regularização tem como principal objetivo promover a boa aderência do acabamento à camada de base. Este primário prepara a superfície incrementando os níveis de aderência pretendidos para o acabamento [11].

2.2.6. Camada de acabamento

São diversos os tipos de camadas de acabamento adotadas nos sistemas ETICS. Estas podem ser constituídos por uma pintura especialmente formulada, por um revestimento plástico espesso (RPE) de ligante sintético, mineral ou misto [14], ou por outros revestimentos não previstos no EAD 040083-00-0404 [1], como é o caso dos ladrilhos cerâmicos [17] e outros elementos colados [14].

A camada de acabamento, apesar de apresentar uma função maioritariamente decorativa, devendo conferir e manter um bom aspeto estético ao longo do tempo, acaba por ter uma função de proteção, permitindo contribuir para a resistência aos choques e complementar a impermeabilidade do sistema sem reduzir excessivamente a permeabilidade ao vapor de água [16].

Relativamente às características que a camada de acabamento deve apresentar, para além da resistência aos choques, impermeabilidade à água e permeabilidade ao vapor de água, já referidas, esta deve também ser flexível, de forma a poder acompanhar possíveis variações térmicas, de cores claras, facilitando uma coloração uniforme e minimizando a absorção da radiação solar (e conseqüentemente evitar possíveis variações adimensionais que possam originar fissuração), resistente aos raios ultravioletas e resistente à colonização biológica, pois as superfícies com texturas rugosas podem possibilitar a retenção de água, mantendo-se húmidas por longos períodos de tempo, propiciando o desenvolvimento de micro-organismos [16].

É importante que se evitem as cores escuras pois a temperatura da fachada pode exceder facilmente os 50 °C, devido à exposição solar, o que acelera a degradação dos materiais que constituem o sistema [10].

De referir que a compatibilidade mecânica, geométrica e química entre a camada de acabamento e a camada de base é um fator igualmente importante [17].

2.3. Aplicação

Todo o processo envolvido na aplicação dos sistemas ETICS remete para as mais variadas operações. Tanto fabricantes, como fornecedores, como a bibliografia da especialidade, reúnem linhas de orientação, conselhos práticos, imposições e listas, mais ou menos extensas, acerca da correta aplicação destes sistemas.

É importante também referir que há medidas que devem ser tomadas antes de se proceder à aplicação do sistema. Essas medidas preparatórias passam pela remoção de eventuais cabos ou tubagens exteriores (sistemas de drenagem pluvial, cabos elétricos, cabos telefónicos, tubos de gás, entre outros) das fachadas, pela atenção às condições atmosféricas (temperatura, humidade, vento e insolação), pois estas irão influenciar o desempenho do sistema, e pela escolha cuidadosa do sistema, cujos componentes devem adequar-se ao projeto.

A correta aplicação destes sistemas é de elevada importância pois irá influenciar diretamente o desempenho dos sistemas, quer em termos de conforto térmico, quer em termos de poupança de energia e terá influência no aspeto estético final e na durabilidade dos sistemas.

A APFAC (Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS) desenvolveu um documento [10] que descreve as condições técnicas gerais que deverão reger a execução de ETICS, disponibilizado *online*, permitindo disseminar a forma correta de aplicação destes sistemas e promovendo o seu bom desempenho. Ao tornar esta informação acessível a qualquer pessoa, é permitido ao usuário entender de que forma pode tirar partido do melhor desempenho possível do sistema.

De uma maneira geral e sucinta, e com base no documento elaborado pela APFAC, intitulado “ETICS – Manual de Aplicação” [10], a execução de um sistema ETICS pode reunir metodologia apresentada na Tabela 2.3

Tabela 2.3 - Fases da aplicação de ETICS.

Preparação do suporte	A preparação deve ser adequada ao tipo de suporte onde se vai aplicar o sistema.
Fixação do isolante	Esta atividade compreende a execução de juntas desencontradas e aplicação de elementos de reforço das arestas.
Aplicação do revestimento do isolante	Engloba a aplicação da camada de base e da rede de fibra de vidro.
Aplicação do acabamento	Engloba a aplicação do primário de regularização e do acabamento.

Com base no mesmo documento, “ETICS – Manual de Aplicação” [10], foram desenvolvidos os seguintes pontos acerca das fases de aplicação de ETICS.

2.3.1. Preparação do suporte

A superfície que irá receber o ETICS deve estar limpa, isenta de sujidade, gordura, vestígios de óleos de descofragem, resíduos de poeiras ou qualquer outra matéria que impossibilite ou comprometa a colagem das placas de isolante ao suporte. A superfície não pode apresentar irregularidades de planimetria ou zonas de destacamento, e as características mecânicas do suporte devem ser apropriadas à fixação do sistema.

Consoante o tipo de suporte, pode-se proceder à lavagem com água (com ou sem aditivos) de modo a remover resíduos existentes.

Sempre que se verifiquem zonas de destacamento de pintura ou reboco deve-se analisar a aderência da camada em questão e proceder à sua regularização.

Paredes sujeitas à ascensão de água por capilaridade ou antigas, espessas e muito porosas, não são suportes adequados a estes sistemas pois sofrem alterações nas condições de evaporação, originando um agravamento da carga de humidade na parede.

Nas fachadas com revestimentos cerâmicos (sem valor arquitetónico) é necessário assegurar que os elementos estejam com boa aderência ao suporte e os que se encontrem em fase de destacamento devem ser removidos e colados através de uma argamassa adequada, de forma a assegurar a regularização do suporte. Neste tipo

de suporte, em que a fachada apresenta revestimento cerâmico, deve ser considerada a fixação mecânica do sistema ETICS.

No caso de o suporte apresentar fissuras, é necessário analisar as suas causas de forma a selecionar uma intervenção adequada antes de se aplicar o sistema.

2.3.2. Fixação do isolante

O caso mais comum é a fixação dos painéis por colagem.

A aplicação dos painéis isolantes é feita de baixo para cima, sendo o lado maior do painel colocado na posição horizontal. As juntas verticais devem ser desencontradas e devem ser encostadas sem folgas, podendo ou não ser travadas nas esquinas e no centro dos painéis com recurso a cavilhas plásticas como fixação mecânica suplementar, como se exemplifica na Figura 2.7.



Figura 2.7 – Representação de isolante térmico aplicado com as juntas verticais desencontradas e com recurso a fixação mecânica suplementar [10].

A colagem dos painéis ao suporte é realizada com argamassa de colagem. Esta pode ser espalhada na totalidade ou disposta em forma de pontos e cordões perimetrias, devendo ser consultada a ficha técnica do produto em questão no sentido de procurar entender qual a indicação do fabricante sobre a forma de colagem.

De forma a evitar pontes térmicas, é muito importante ter em consideração duas situações:

- A argamassa adesiva não pode refluir nas juntas;
- Caso existam folgas nas juntas, o preenchimento deve ser feito com material isolante e nunca com a argamassa.

Nos remates dos painéis isolantes (peitoris, caixilhos, ...) deve ser prevista uma junta, de pelo menos 5 mm, que deverá ser preenchida com material elástico impermeável compatível com o material da placa isolante.

Após a fixação do isolante térmico, procede-se à aplicação dos elementos de reforço nas arestas da fachada (contorno de vãos, esquinas) e nos cantos das aberturas de vãos, como representado na Figura 2.8.



Figura 2.8 – Representação da aplicação de elementos de reforço nas arestas da fachada após aplicação do isolante térmico [10].

Relativamente a aberturas de vãos, como é o caso das janelas, o reforço adicional deve ser feito com retângulos de rede de fibra de vidro posicionados a 45° relativamente ao padrão de fissuração das zonas frágeis dos vãos, como representado na Figura 2.9.



Figura 2.9 - Representação da aplicação dos elementos de reforço em vãos [10].

2.3.3. Aplicação do revestimento do isolante

Relativamente à aplicação da camada de base e da rede de fibra de vidro, é importante consultar as indicações do fabricante da argamassa para ter uma informação correta acerca da espessura das subcamadas da camada de base.

Normalmente (e salvo raras exceções), a camada de base é aplicada em duas subcamadas, cada uma com 2 mm de espessura. A primeira camada deve ser

executada com uma talocha dentada de 50 mm (dente de 6 mm), garantindo uma espessura de 2 mm, aplicando-se sobre a mesma a rede de fibra de vidro que deve ficar esticada e embebida na camada de argamassa.

É importante assegurar uma sobreposição da rede de pelo menos 10 cm entre faixas de rede de forma a dar continuidade aos esforços.

A segunda subcamada deve ser executada após endurecimento da primeira e deve ocultar completamente a rede de fibra-de-vidro, formando uma superfície plana e uniforme.

2.3.4. Aplicação do acabamento

É muito comum a argamassa usada na camada de base ser usada também como primário de regularização [17]. Trata-se de uma camada fina [11] que deve ser aplicada sobre a camada de base quando esta estiver completamente seca.

O acabamento pode ser executado quando o primário de regularização estiver completamente seco, devendo ser respeitado o período de secagem indicado pelo fabricante.

Após a secagem do acabamento, deve-se aplicar um cordão de material selante elástico nas zonas entre os elementos de contorno (caixilhos e etc.) e a superfície do acabamento, de forma a garantir a selagem destas zonas.

2.4. Patologia

As anomalias, também designadas por patologia, deficiências ou ainda irregularidades, podem surgir devido a vários fatores. Má seleção de materiais, aplicação ou montagem deficientes, uso de mão-de-obra não especializada, erros de utilização, entre outros, são possíveis causas para as anomalias que se vão verificando.

Como é espectável, todas as anomalias contribuem para o mau desempenho do sistema, podendo, em alguns casos, implicar consequências a nível da segurança, consoante o seu nível de gravidade. Contudo, não importa apenas reparar as anomalias, mas sim determinar as suas causas e aplicar medidas preventivas, sempre que for possível, de forma a assegurar o bom desempenho do sistema ETICS.

Foi elaborado em Portugal um estudo denominado “Levantamento estatístico da inspeção, diagnóstico e reparação de ETICS em paredes” [18], com o intuito de analisar sistemas ETICS já aplicados. Foram inspecionadas 146 fachadas, sendo esta amostra

o objeto de análise, observando-se, assim, um total de 36 430 m² de sistemas ETICS. A amostra analisada possui diferentes orientações solares e diferentes idades de aplicação do sistema. Os resultados referentes às causas das anomalias registadas podem ser analisados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Causas de anomalias registadas em ETICS [18].

Causas das anomalias registadas	Incidência
Ações exteriores	26%
Ações ambientais	24%
Execução	16%
Conceção	14%
Manutenção	11%
Seleção de materiais	9%

É claro, pela análise da Tabela 2.4, que as anomalias resultantes da execução dos sistemas ETICS apenas aparecem na terceira posição e que as anomalias resultantes da conceção apenas aparecem na quarta posição. As ações exteriores e as ações ambientais são os principais fatores que promovem o aparecimento de anomalias em sistemas ETICS.

Relativamente às anomalias verificadas nestes sistemas, o mesmo estudo refere que a sua expressão se insere maioritariamente no campo da estética, como se pode ver pela Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Ocorrência de anomalias em ETICS [18].

Patologia	Incidência
Crescimento biológico	55,5%
Outros tipos de alteração da cor (manchas de sujidade e humidade)	48,6%
Marcas de escorrências	43,2%
Irregularidades na superfície	32,9%
Fissuração orientada	32,2%
Lacuna de material	28,8%

Deficiência de planeza	26%
Visualização das juntas entre placas	15,8%
Empolamento do acabamento	8,9%
Graffiti	8,2%
Fissuração não orientada	7,5%
Empolamento das placas	4,8%
Destacamento do acabamento	4,1%
Manchas de oxidação	4,1%
Deterioração do recobrimento das cantoneiras	3,4%
Eflorescências	1,4%
Descolamento parcial do sistema	0,7%
Descolamento total do sistema	0%

As ações exteriores e ambientais, associadas à orientação das fachadas, fazem com que estes sistemas estejam propensos a desenvolver anomalias consideradas estéticas ou cromáticas, como é o caso do crescimento biológico, manchas de sujidade, humidade e escorrências. As fachadas orientadas a norte têm maior probabilidade de desenvolver este tipo de anomalias devido à menor exposição solar [18].

O mesmo estudo [18] refere ainda que os sistemas com mais de 15 anos têm maior probabilidade de apresentar anomalias.

Outro fator que dita o desempenho global dos sistemas, e as respetivas características, pondo em causa a compatibilidade dos diferentes componentes presentes nos sistemas ETICS, é a utilização de sistemas não homologados [17].

Através da campanha experimental realizado no âmbito desta dissertação, pretende-se analisar de que forma o desempenho dos sistemas homologados pode ser influenciado pelo suporte, tentando compreender se o tipo de suporte contribui para o surgimento de anomalias específicas, sobretudo ao nível da aderência do sistema ao suporte.

2.5. Manutenção

De acordo com o EAD 040083-00-0404 [1], um sistema ETICS executado corretamente deverá ter como referência uma vida útil superior a 25 anos.

Contudo, e como em qualquer obra de engenharia, a manutenção torna-se indispensável para prolongar a vida útil do edificado. Por isso, há dois tipos de manutenção que podem ser realizadas: a manutenção preventiva e a corretiva.

A manutenção preventiva está focada no planejamento de ações periódicas de manutenção, com objetivo de avaliar o estado geral do sistema, garantindo o seu bom desempenho. Tem as vantagens de permitir planejar operações de manutenção e custos associados, prevenir ou minimizar o aparecimento de anomalias e detetar precocemente necessidades de intervenção.

A manutenção corretiva acontece quando se detetam anomalias, quer de ordem estética, quer as que comprometam a integridade do edificado, implicando uma intervenção, de forma a restaurar as condições iniciais. As medidas de correção podem ser frequentes ou de maior gravidade caso não se adotem estratégias de manutenção preventiva ou não se realizem inspeções periódicas.

Pelo estudo referido no capítulo 2.4, “Levantamento estatístico da inspeção, diagnóstico e reparação de ETICS em paredes” [18], as anomalias podem ser agrupadas em três tipos: anomalias cromáticas ou estéticas (49%), anomalias de planeza (27%) e anomalias de rotura de materiais (24%).

O surgimento de anomalias assenta, maioritariamente, em dois momentos temporais: a fase inicial, que está relacionada com a conceção e execução do sistema, que pode originar diversas anomalias se o sistema for concebido ou executado de forma incorreta, e a fase de exposição, que está ligada a anomalias resultantes da exposição do sistema ao ambiente onde está inserido, como as causas ambientais e as ações exteriores [18].

A manutenção ou reparação de anomalias pode dar-se em três níveis diferentes dos sistemas ETICS: superfície (45%), camada de acabamento (34%) e sistema (27%) [18].

2.5.1. Anomalias cromáticas ou estéticas

No grupo de anomalias cromáticas ou estéticas estão inseridos, por ordem decrescente de predominância, o crescimento biológico, outros tipos de alteração da cor (manchas de sujidade e humidade), as marcas de escorrência, os *graffiti*, as manchas de oxidação e as eflorescências [18].

Estas anomalias resultam essencialmente da exposição dos sistemas às ações exteriores e ambientais, sendo as mais significativas o crescimento biológico (Figura 2.10), as manchas de sujidade e humidade e as marcas de escorrência [18].



Figura 2.10 - Crescimento biológico [19].

Neste grupo de anomalias específico, as medidas de manutenção adotadas mais comuns são ao nível da superfície e são a limpeza da superfície e a aplicação de protetor de superfícies [18].

Sendo este o grupo de anomalias mais comum, a limpeza, sem dúvida, a técnica de manutenção mais comum destes sistemas.

2.5.2. Anomalias de planeza

Neste grupo de anomalias estão inseridas, por ordem decrescente de ocorrência, as irregularidades na superfície, a deficiência de planeza, a visualização das juntas entre placas, o empolamento do acabamento e o empolamento das placas [18].

Verifica-se que as anomalias de planeza têm origem, maioritariamente, na fase inicial, ou seja, na fase de aplicação do sistema e resultam essencialmente de falhas de execução [18], como é o caso, por exemplo, da visualização das juntas entre placas (Figura 2.11), cujas placas podem ter sido aplicadas com um afastamento desadequado, por isso é importante agir de forma a prever este tipo de anomalias. Neste grupo de anomalias, a prevenção é importante e assenta, essencialmente, na correta aplicação do sistema [19].



Figura 2.11 - Visualização de juntas entre placas de isolante [19].

Contudo, em termos de medidas de manutenção, sobretudo corretiva, estas podem ser ao nível da camada de acabamento, como o caso da substituição integral ou parcial do acabamento e a aplicação de novo acabamento sobre o existente, ou ao nível do sistema, como o caso da reparação de juntas, a aplicação de novo material adesivo e/ou fixadores mecânicos e, ainda, a correção de disposições construtivas geométricas [18].

2.5.3. Anomalias de rotura de materiais

No grupo de anomalias de rotura de materiais estão inseridas, por ordem decrescente de predominância, a fissuração orientada, a lacuna de material, a fissuração não orientada, o destacamento do acabamento, a deterioração do recobrimento das cantoneiras, descolamento parcial do sistema, descolamento total do sistema [18].

A origem deste tipo de anomalias está relacionada essencialmente com uma deficiente aplicação das placas de isolante, incorreta aplicação da rede de fibra de vidro, espessura insuficiente da camada de base, incompatibilidade entre camada de base e acabamento, incompatibilidade da argamassa de colagem com o suporte (que pode estar relacionado também com o suporte apresentar uma superfície que não foi preparada para receber o sistema EITCS), entre outras, incluindo a negligência humana (Figura 2.12) [19]. Este grupo de anomalias tem origem essencialmente na fase inicial (embora a fase de exposição também contribua para este tipo de anomalias, se bem que em menor escala), ou seja, na fase de execução do sistema ETICS, por isso, e tal como no ponto anterior, é importante atuar de forma a prevenir o surgimento deste tipo de anomalias através de uma correta aplicação dos sistemas [18].



Figura 2.12 - Lacuna de material provocada pelo choque da porta [19].

Em termos de técnicas de manutenção, estas podem ocorrer ao nível do acabamento, como o caso do preenchimento ou colmatação de fissuras e a substituição integral ou parcial do acabamento, ou ao nível do sistema, como o caso da proteção de cantos salientes, a colmatação de perfurações ou de lacunas de material, a reparação de juntas, a aplicação de novo material adesivo e/ou fixadores mecânicos, a correção de disposições construtivas geométricas e, ainda, a substituição integral ou parcial do sistema [18].

2.6. Características gerais, vantagens e desvantagens

A principal característica destes sistemas é, como já foi referido anteriormente, promover o isolamento térmico dos edifícios.

Embora possa parecer que o isolante térmico é o único responsável pelo isolamento térmico, são também os restantes componentes do sistema que tornam possível o isolamento térmico dos edifícios. Cada um deles contribui de diferentes formas para o bom desempenho dos ETICS, assegurando a proteção e desempenho correto do isolante térmico. A Tabela 2.6 resume a contribuição de cada componente para o desempenho final do sistema.

Tabela 2.6 - Características dos componentes de ETICS.

Componente do sistema	Característica
Isolante térmico	Responsável pelo isolamento térmico.
Camada de base	Proteção do isolante térmico.
Rede de fibra-de-vidro	Evitar ocorrência de fissuração da camada de base e melhorar a resistência ao choque.
Primário de regularização	Promover a aderência do acabamento à camada de base.
Acabamento	Função decorativa, embora também possa ter uma função protetora.

Relativamente às restantes características que estes sistemas apresentam, como um todo, estas podem ser agrupadas em dois grandes grupos: vantagens e desvantagens.

Das diversas vantagens, podem-se destacar as seguintes:

- Redução do consumo de energia resultante da melhoria da eficiência energética, uma vez que este sistema dificulta a permuta de energia com o exterior [2] [3] [19];
- Maior conforto térmico, permitindo manter os edifícios quentes no inverno e frescos no verão [20];
- Eliminação de pontes térmicas e diminuição da ocorrência de condensações na superfície interior das paredes da envolvente, reduzindo a probabilidade de formação de bolores e fungos no interior das habitações [10];
- Proteção das alvenarias e elementos estruturais devido à redução do gradiente de temperaturas a que são sujeitas as camadas interiores das paredes, protegendo de possíveis movimentos diferenciais resultantes de grandes variações de temperatura e que reduzem a durabilidade dos edifícios [10];
- Não interferem com a área útil das frações, quando aplicados em edifícios existentes, uma vez que são aplicados pelo exterior [16];
- Permitem a diminuição da espessura das paredes exteriores, quando aplicados em construção nova, e conseqüente redução de cargas permanentes sobre a estrutura, permitindo igualmente, à semelhança dos

edifícios já existentes, o aumento da área habitável [20], para a mesma área bruta;

- Quando se trata da reabilitação de edifícios, o incómodo causado aos habitantes é reduzido uma vez que não é necessária a desocupação da habitação [20];
- Melhoria da impermeabilização da parede exterior, uma vez que o sistema funciona como barreira de proteção à ação da chuva (este aspeto é importante pois grande parte dos edifícios em utilização apresentam fraca estanquidade à água, contudo é importante manter a permeabilidade ao vapor de água [16]) [20];
- Grande variedade de acabamentos [10] [16] [17] [21];
- Podem ser aplicados sobre suportes constituídos por diferentes materiais, com condições de aderência também distintas (por exemplo suportes de betão e alvenaria de tijolo, assim como azulejos e reboco) [2] [10] [14];

Os sistemas ETICS, embora apresentem um elevado número de vantagens, possuem algumas características que podem ser consideradas como desvantagens. Saliem-se, de seguida, alguns aspetos que podem conduzir à não eleição deste tipo de sistemas de isolamento térmico:

- O investimento inicial para colocação destes sistemas é considerado elevado, embora a longo prazo a redução dos custos energéticos, associados ao conforto térmico, compense esse mesmo custo inicial;
- A aplicação destes sistemas torna-se complicada e difícil em fachadas com muitas aberturas e pormenores arquitetónicos complexos, exigindo um elevado número de recortes e remates nas zonas de arestas e pontos singulares, aumentando a probabilidade de futuras anomalias;
- O aumento da espessura da fachada, resultante da colocação destes sistemas, poderá ser incompatível com alguns elementos presentes nas fachadas, como o caso de tubagens exteriores, peitoris, ombreiras, podendo implicar a remoção dessas mesmas tubagens exteriores e a substituição de peitoris, vergas ou ombreiras;
- Apenas uma equipa especializada pode proceder à aplicação destes sistemas;
- Os sistemas apresentam elevada suscetibilidade ao choque, necessitando sobretudo de reforço nas zonas de grande acessibilidade e concentração de pessoas [16];

- Propiciam o desenvolvimento de colonização biológica, sobretudo em fachadas orientadas a norte [18];
- Pode ocorrer a descaracterização da fachada, uma vez que a aplicação destes sistemas resulta no revestimento da superfície opaca da fachada, sobretudo quando a ela está associado um valor histórico, cultural ou arquitetónico que seria relevante preservar [16];
- Estes sistemas só podem ser aplicados mediante condições climatéricas favoráveis à sua aplicação;
- Não são adequados a edifícios antigos, nomeadamente edifícios anteriores ao uso de betão armado, por apresentarem paredes espessas e porosas, uma vez que dificultam a evaporação da humidade contida no interior deste tipo de paredes, podendo originar a sua degradação [14] [16].

3. DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

Os sistemas ETICS, apesar dos mais de sessenta anos de existência, são considerados sistemas inovadores para os quais ainda não há uma norma europeia harmonizada.

Segundo o Regulamento (UE) N.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de março de 2011 [22] (correntemente designado por Regulamento dos Produtos de Construção (RPC) e que gere a marcação CE), “A marcação CE deverá ser a única marcação de conformidade do produto de construção com o desempenho declarado e com os requisitos aplicáveis por força da legislação de harmonização da União. Todavia, podem ser utilizadas outras marcações, desde que contribuam para melhorar a proteção dos utilizadores de produtos de construção e não estejam abrangidas pela legislação de harmonização da União em vigor.”, ou seja, e de acordo com o Decreto-Lei n.º 130/2013 de 10 de setembro de 2013 [23], “A marcação CE significa a conformidade do produto de construção com o desempenho declarado pelo fabricante, criando as condições para a livre circulação desses produtos em todo o Espaço Económico Europeu (EEE) e na Turquia.”

Posto isto, os produtos de construção têm que possuir uma marcação CE, no caso de o fabricante pretender que estes sejam comercializados no Espaço Económico Europeu e na Turquia. É também claro que, no caso de um fabricante pretender que o seu produto seja apenas comercializado no seu país, não existe a necessidade de se obter uma marcação CE desde que se comprove que o produto está em conformidade com as especificações técnicas em vigor no país onde se pretende que este venha a ser comercializado. No caso de produtos portugueses, é o LNEC a entidade que permite a emissão de um documento que indica que o produto em questão satisfaz as disposições regulamentares de Portugal. Esse documento é denominado de Documento de Homologação (DH) [24].

As regras da marcação CE dos produtos de construção entraram em vigor a 1 de julho de 2013, através do Regulamento dos Produtos de Construção (RPC) [22] e, atualmente, a marcação CE é atribuída através de dois tipos de especificações técnicas, que indicam que o produto ou sistema apresenta conformidade [25]:

- a. Normas Europeias (Normas EN) (ou Normas Europeias Harmonizadas quando não existem Normas EN);
- b. Avaliações Técnicas Europeias (ETA – *European Technical Assessment*), anteriormente chamadas de Aprovações Técnicas Europeias (*European Technical Approval*).

As Normas Europeias são desenvolvidas por Organismos Europeus de Normalização (OEN) reconhecidos, como é o caso, no que diz respeito a produtos de construção, do Comité Europeu de Normalização (CEN) [26].

As Avaliações Técnicas Europeias (ETA) são concedidas com base em Documentos de Avaliação Europeus (EAD – *European Assessment Document*). A elaboração de EAD é feita por um grupo de peritos representantes dos membros da EOTA (*European Organization for Technical Assessment*) e permite que sejam concedidas ETA a sistemas e produtos inovadores, comprovando a conformidade dos mesmos a nível europeu [25].

Atualmente, os EAD vieram substituir os ETAG (*European Technical Approval Guideline*) e os CUAP (*Common Understanding of Assessment Procedure*) que serviam de guias para a atribuição de Aprovações Técnicas Europeias (que atualmente se chamam Avaliações Técnicas Europeias). Os CUAP eram elaborados para produtos ou sistemas para os quais não existiam ETAG. A partir de 1 de julho de 2013, para os produtos ou sistemas para os quais não existam EAD, é possível solicitar a um Organismo de Avaliação Técnica (TAB – *Technical Assessment Body*) que elabore um EAD [27].

Os sistemas ETICS são objeto do EAD 040083-00-0404 [1], que veio substituir o ETAG 004 [11]. Este documento permite a análise do comportamento global dos sistemas ETICS, para a concessão de Avaliações Técnicas Europeias (ETA) [1].

4. CAMPANHA EXPERIMENTAL

4.1. Estratégia

De forma a compreender a compatibilidade de ETICS com diferentes suportes, o foco desta dissertação foi o estudo da ligação suporte – sistema, tendo o estudo recaído sobre a compatibilidade da argamassa de colagem com os dois suportes mais correntemente utilizados em obra: tijolo cerâmico e betão.

Esse estudo assenta na caracterização destes dois tipos de suportes e análise da argamassa de colagem quando aplicada nos diferentes suportes. Assim, foi permitido determinar a influência dos suportes no desempenho da argamassa de colagem.

O estudo da ligação suporte – sistema não englobou a aplicação da totalidade do ETICS para não envolver mais variáveis, permitindo uma análise mais objetiva. Pela mesma razão se optou pela utilização de somente uma argamassa de colagem, comum no mercado.

Foram realizados ensaios que não estavam previstos no EAD 040083-00-0404 [1], adaptados a este tipo de sistemas [17].

4.2. Metodologia

Tendo em conta a estratégia definida, foram escolhidos para ensaio dois tipos de suportes mais comuns: tijolo cerâmico e betão. Relativamente à argamassa de colagem, considerou-se apropriada para ensaio uma argamassa comercializada no mercado com ETA [28] emitida pelo LNEC.

Os tijolos usados como suportes foram tijolos cerâmicos tradicionais, disponíveis no mercado, de dimensões 30 cm x 20 cm x 15 cm.

Os provetes de betão, de dimensões 27,5 cm x 15 cm x 5 cm, foram realizados no Núcleo de Betões, Pedra e Cerâmicos do Departamento de Materiais do LNEC segundo a seguinte composição: rácio de água/cimento de 0,45, brita de dimensões inferiores a 15 mm, percentagem de agregados/areia de 50/50. O betão fabricado em laboratório, com uma resistência à tração de 1,5 N/mm² e um teor de humidade inferior a 3 %, cumpriu os requisitos mínimos impostos no EAD 040083-00-0404 [1]. Esta composição é a usada na Unidade de Revestimentos de Paredes (URPa), do LNEC, nos ensaios a sistemas de ETICS para emissão de ETA.

A argamassa de colagem utilizada em todos os provetes foi a mesma e a sua aplicação proveio de 3 amassaduras diferentes elaboradas nas mesmas condições, com os mesmos critérios e no mesmo dia, de forma a não criar condições diferentes de aplicação. De acordo com a Ficha Técnica do fabricante, a espessura de colagem adotada foi de 10 mm (Figura 4.1).



Figura 4.1 - Aplicação da argamassa de colagem com 10 mm de espessura no suporte.

Para estudar os suportes e a argamassa quando aplicada em diferentes suportes, foram consideradas, para ensaio, duas variáveis e duas condições das variáveis. As variáveis dizem respeito ao tipo de suporte, ou seja, o objeto da análise. As condições das variáveis permitem determinar de que forma o objeto de análise influencia o resultado final. De forma sucinta:

- Variáveis: betão, tijolo.
- Condições das variáveis: com e sem argamassa de colagem.

Desta forma, podemos caracterizar os provetes ensaiados em quatro tipos:

- Suporte de tijolo;
- Suporte de betão;
- Argamassa aplicada sobre suporte de tijolo (argamassa aplicada sobre suporte de tijolo cerâmico ensaiada após 28 dias de secagem);
- Argamassa aplicada sobre suporte de betão (argamassa aplicada sobre suporte de betão ensaiada após 28 dias de secagem).

Adicionalmente a estes quatro tipos de provetes, foi também ensaiada a argamassa de colagem em pasta aquando da sua preparação.

4.3. Descrição dos ensaios

A campanha experimental foi definida tendo como objetivo estudar a ligação suporte – sistema. Por essa razão, a análise da presença de água nesta ligação foi considerada necessária para este estudo. Assim, fatores como a porosidade, teor de humidade e absorção de água são determinantes para tentar interpretar, por exemplo, a aderência do sistema ao suporte.

A Tabela 4.1 reúne os ensaios realizados de forma a caracterizar tanto os suportes como a argamassa de colagem quando aplicada em diferentes suportes, permitindo encontrar respostas para a ligação suporte – sistema.

Tabela 4.1 - Identificação e objetivo de ensaios realizados em cada tipo de componente.

Componente	Ensaio	Objetivo do ensaio
Argamassa de colagem em pasta	Determinação da consistência por espalhamento da argamassa em pasta	Confirmar que os valores estão de acordo com a Norma Europeia EN 1015-3 de forma a garantir a correta consistência da argamassa.
	Determinação da massa volúmica da argamassa em pasta	Confirmar que os valores estão de acordo com as especificações do fabricante e com a Norma Europeia EN 1015-6, de forma a garantir o correto desempenho da argamassa.
Suporte (Betão / Tijolo)	Ensaio de avaliação de características mecânicas por ultrassons	Comparar as características mecânicas de cada suporte, nomeadamente a homogeneidade de cada tipo de suporte, densidade, presença de fissuras, etc.
	Ensaio de absorção de água sob baixa pressão (Tubos de Karsten)	Comparar a capacidade de absorção de água de cada tipo de suporte para, conseqüentemente, entender a sua influência nas características da argamassa de colagem quando aplicada em diferentes suportes.

		Medir a presença de água na face do suporte que vai receber a argamassa de forma a perceber a influência da humidade superficial na ligação da argamassa de cola ao suporte.
	Determinação da porosidade aberta e das massas volúmicas aparente e real	Determinar a percentagem de poros em cada tipo de suporte, com o intuito de comparar a influência da porosidade na absorção de água.
	Determinação do teor de humidade	Determinar a influência do teor de humidade em cada tipo de suporte no desempenho final da argamassa de colagem.
	Determinação do coeficiente de capilaridade de suportes para ensaios de aderência	Determinar a influência da capilaridade em cada tipo de suporte na aderência e desempenho final da argamassa de colagem.
	Ensaio de avaliação de características mecânicas por ultrassons	Comparar as características mecânicas (fissuração, densidade, etc.) da argamassa de colagem quando aplicada em diferentes tipos de suportes.
Argamassa de colagem endurecida aplicada no suporte e com 28 dias de secagem	Ensaio de absorção de água sob baixa pressão (Tubos de Karsten)	Determinar se a capacidade de absorção de água da argamassa é influenciada pelo tipo de suporte onde é aplicada, comparando os valores com outros ensaios.
	Medição com humidímetro portátil	Perceber se a humidade superficial da argamassa de colagem pode ser influenciada pelo tipo de suporte.
	Determinação da porosidade aberta e das massas volúmicas aparente e real	Compreender se a porosidade da argamassa de colagem pode ser influenciada pelos tipos de suportes seleccionados.

Determinação do teor de humidade	Determinar se o teor de humidade da argamassa de colagem está ligado com as características do suporte.
Determinação da aderência ao suporte do revestimento	Determinar a influência do suporte na aderência da argamassa.

4.3.1. Determinação da consistência por espalhamento da argamassa em pasta

Este ensaio foi realizado segundo a Norma Europeia EN 1015-3 [29] e incide sobre dois provetes extraídos de duas amostras de amassadura preparadas de acordo com a Norma Europeia EN 1015-2 [30].

Pretende-se, com este ensaio, determinar a consistência da argamassa de colagem, de modo a verificar a correta execução da argamassa.

Para determinar a consistência por espalhamento, tornou-se fundamental preparar a argamassa. De acordo com Ficha Técnica do fabricante, cada saco de 25 kg deve ser amassado com 6 a 7 litros de água [31]. Para este ensaio foram realizadas duas amassaduras, cada uma com 3 kg de pó para 0,72 litros de água, de onde se retirou um provete por cada amassadura.

O pó foi colocado no misturador e procedeu-se à sua pesagem (Figura 4.2).



Figura 4.2 - Pesagem do pó.

De seguida, colocou-se o misturador a trabalhar em velocidade lenta (Figura 4.3).



Figura 4.3 - Misturador a trabalhar a velocidade lenta enquanto se adiciona água.

Foi-se adicionando água num intervalo de tempo de 30 segundos e prolongou-se a amassadura em velocidade lenta durante mais 60 segundos. O resultado final, de acordo com o previsto, foi uma pasta homogénea e sem grumos (Figura 4.4).



Figura 4.4 - Pasta homogénea sem grumos.

Após a obtenção da pasta homogénea e sem grumos, reuniram-se as condições para determinar a consistência da argamassa em pasta por espalhamento.

Como referido anteriormente, realizaram-se duas amassaduras, por isso o processo descrito em baixo foi repetido para os dois provetes. Antes de ensaiar o primeiro provete, executaram-se dez pancadas com a mesa de espalhamento, por forma a garantir o bom funcionamento da mesma. A limpeza do disco da mesa de espalhamento e do molde foi sempre assegurada antes do ensaio de cada amostra (Figura 4.5).



Figura 4.5 - Disco da mesa de espalhamento e molde antes do ensaio.

No molde, posicionado no centro do disco, introduziu-se a pasta em duas camadas. A primeira camada, sensivelmente até meio do molde (Figura 4.6), foi compactada com 10 pancadas, com recurso a um pilão.



Figura 4.6 - Primeira camada de argamassa de colagem compactada com 10 pancadas.

A segunda camada, preenchida até à extremidade do molde, foi também compactada com 10 pancadas (Figura 4.7)



Figura 4.7 - Segunda camada de argamassa de colagem compactada com 10 pancadas.

Após a compactação da pasta introduzida no molde, foi retirado o excesso, de forma a assegurar que tanto o disco como o molde se encontravam limpos (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Molde com superfície lisa após se retirar o excesso de pasta.

Retirado o excesso de pasta no molde, formando uma superfície lisa (Figura 4.8), aguardaram-se 15 segundos, deixando a pasta repousar dentro do molde, até se retirar o molde. A remoção do molde foi feita na vertical, de forma lenta e cuidadosa (Figura 4.9).



Figura 4.9 a), b) e c) – Remoção do molde.

Uma vez removido o molde, deu-se início ao espalhamento do provete. Foram realizadas 15 pancadas em 15 segundos (Figura 4.10).



Figura 4.10 a), b) e c) - Espalhamento da argamassa em pasta.

Terminado o processo de espalhamento da pasta, mediu-se o diâmetro da pasta em duas direções perpendiculares (Figura 4.11), com aproximação ao mm, e registaram-se os valores.



Figura 4.11 - Medição do espalhamento com craveira.

Este procedimento foi repetido para o segundo provete retirado da segunda amassadura.

4.3.2. Determinação da massa volúmica da argamassa em pasta

Este ensaio foi realizado segundo a Norma Europeia EN 1015-3 [29] e incide sobre a extração de dois provetes de duas amassaduras preparada de acordo com a Norma Europeia EN 1015-2 [30].

Pretende-se, com este ensaio, determinar a massa volúmica da argamassa de colagem, de modo a comparar o resultado obtido com a Ficha Técnica do fabricante.

Este ensaio é antecedido pela amassadura da argamassa de colagem e pela determinação da consistência por espalhamento dessa mesma argamassa, ambas descritas em 4.3.1.

Tal como no ponto anterior (4.3.1), realizaram-se duas amassaduras, tendo sido retirado um provete de cada amassadura.

Antes de ensaiar o primeiro provete, realizou-se a pesagem da cápsula utilizada para acomodar a pasta (Figura 4.12).

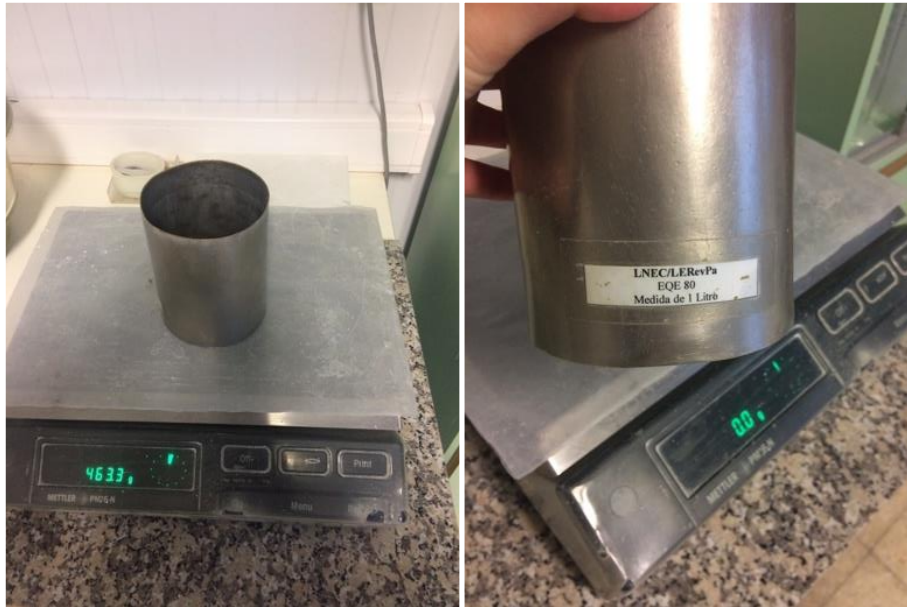


Figura 4.12 a) e b) - Pesagem da cápsula de 1 dm³.

O ensaio foi iniciado pelo enchimento da cápsula até meia altura. De seguida compactou-se a amostra com pancadas resultantes do levantamento da cápsula a uma altura de 30 mm, em lados alternados, até atingir as 10 pancadas (Figura 4.13).



Figura 4.13 a), b) e c) - Enchimento e compactação da cápsula.

Voltou a encher-se a cápsula, de forma a preencher o restante da cápsula, até atingir o topo, transbordando, e voltou a compactar-se do mesmo modo. O excesso de pasta foi removido com a espátula, deixando os bordos da cápsula limpos (Figura 4.14).



Figura 4.14 a), b) e c) - Enchimento da cápsula até transbordar e remoção do excesso.

Por último, pesou-se a cápsula com a pasta com aproximação a 1 g, tendo-se registado os valores (Figura 4.15).



Figura 4.15 - Pesagem da cápsula cheia com a pasta.

Este procedimento foi repetido para o segundo provete retirado da segunda amassadura.

4.3.3. Ensaio de avaliação de características mecânicas por ultrassons

Este ensaio baseia-se na Norma Portuguesa NP EN 12504-4:2007 [32].

Pretende-se, com este ensaio, medir a velocidade de propagação de ondas ultrassónicas através do material em estudo. Este ensaio, embora esteja indicado para argamassas, foi também executado nos suportes.

O ensaio é realizado com recurso a um aparelho de ultrassons. O aparelho é constituído por um módulo central, que emite as ondas e mede os tempos de transmissão em microssegundos, e dois transdutores que são posicionados em diferentes pontos do provete. Se os transdutores forem posicionados no mesmo plano, então estamos perante uma transmissão indireta (Figura 4.16), se forem posicionados em planos paralelos, estamos perante uma transmissão direta. Neste caso, foi realizada uma transmissão indireta.



Figura 4.16 – Medição da velocidade de ondas ultrassónicas por transmissão indireta.

Este ensaio foi realizado nos provetes de tijolo cerâmico e de betão e nos provetes de argamassa aplicada em tijolo cerâmico e em betão. Em todos os provetes foram marcados 15 pontos com intervalos de 1 cm. Colocou-se o transdutor recetor no ponto 0 e foi-se deslocando, ponto sobre ponto (até ao ponto 14), o transdutor emissor, garantindo que os transdutores apresentam uma inclinação de 45° , tal como se mostra na Figura 4.16.

Para cada ponto, em cada provete, foram registadas 3 medições que indicam o valor da velocidade de propagação das ondas entre o transdutor recetor e emissor, em microssegundos.

4.3.4. Ensaio de absorção de água sob baixa pressão

Este ensaio foi realizado com base na Norma Europeia EN 16302:2013 [33] e teve como objetivo determinar a permeabilidade à água dos provetes de tijolo cerâmico e de betão e dos provetes de argamassa aplicada em tijolo cerâmico e em betão.

Ao determinar o volume de água absorvido, sob baixa pressão, pelos provetes de tijolo cerâmico e de betão pretendeu-se determinar a permeabilidade à água dos diferentes materiais e de que forma podem condicionar a secagem da argamassa de colagem aplicada sobre os mesmos. No caso da argamassa de colagem, ao determinar a quantidade de água absorvida pela mesma quando aplicada em diferentes suportes, pretendeu-se avaliar de que forma as características da argamassa são determinadas pela superfície onde é aplicada, por exemplo, se a argamassa se torna mais porosa ou se apresenta mais fissuras num dos casos.

O ensaio traduziu-se pela fixação de 3 tubos de Karsten em cada provete, tendo-se recorrido a um material selante e adesivo para fixar os tubos aos provetes. Os tubos foram usados em superfícies verticais e horizontais, sendo que o tubo difere consoante o tipo de superfície. Quando se tratava de uma superfície vertical, o tubo usado tinha a forma de um cachimbo (Figura 4.17 a)). Para superfícies horizontais, o tubo tinha a forma apresentada na Figura 4.17 b).



Figura 4.17 a) e b) - Tubos de Karsten aplicados em superfícies verticais e superfícies horizontais.

Os dois tipos de tubos têm o mesmo funcionamento e constituição, apresentando uma graduação de 0 a 4 ml e a secção do tubo que encosta à superfície de ensaio é aberta.

A fixação dos tubos foi antecedida da limpeza da superfície a ensaiar (remoção de poeiras de forma a não interferir com a fixação dos tubos) e do cobrimento dos bordos dos tubos com o material selante e adesivo.



Figura 4.18 a) e b) - Tubos de Karsten com água.

Após a fixação dos tubos, estes encheram-se com água até à graduação 0 ml e iniciou-se o cronómetro (Figura 4.18). A cada 5 minutos foi feita a leitura e registo da quantidade de água absorvida, em ml, pela superfície em cada tubo. O ensaio terminou quando o cronómetro atingiu os 60 minutos.

4.3.5. Medição com humidímetro portátil

O humidímetro portátil (Figura 4.19) é um aparelho de utilização bastante simples que permite avaliar, *in situ* e de forma não destrutiva, o teor de humidade presente na superfície de um material.



Figura 4.19 – Humidímetro portátil.

O aparelho é encostado à superfície que se pretende analisar, empurrando-o contra a mesma, sendo o resultado lido no ecrã, em percentagem. Para cada provete, foram feitas 3 medições em diferentes zonas da superfície, registando-se os valores.

A medição do teor de humidade superficial foi efetuada na camada superficial quer dos provetes de tijolo cerâmico e de betão quer dos provetes de argamassa de colagem aplicada em tijolo cerâmico e em betão.

4.3.6. Determinação da porosidade aberta e das massas volúmicas aparente e real

Este ensaio apoia-se na Norma Portuguesa NP EN 1936:2008 [34].

A determinação da porosidade aberta e das massas volúmicas aparente e real tem como base o método da pesagem hidrostática. Este método consiste na eliminação do ar presente nos poros do material em estudo seguido do seu preenchimento com água, utilizando uma bomba de vácuo e um exsiccador, terminando com a pesagem hidrostática dos provetes.

O estudo da porosidade de cada elemento (tijolo cerâmico e betão) foi importante para entender de que forma a porosidade de cada tipo de suporte influencia o desempenho da argamassa e de que forma a porosidade da argamassa é influenciada pelo tipo de suporte.

Para este ensaio foram extraídas amostras dos provetes de argamassa de colagem aplicada em cada tipo de suporte (Figura 4.20), com o intuito de retirar do provete (argamassa + suporte) a parte referente à argamassa, de forma a que a amostra fosse constituída somente pela argamassa, sem resíduos de tijolo cerâmico ou betão.



Figura 4.20 a), b) e c) - Extração de amostras dos provetes de argamassa de colagem aplicada em betão e em tijolo cerâmico.

Os provetes de tijolo cerâmico e de betão também não foram ensaiados na sua totalidade, sobretudo devido à dimensão dos mesmos. Foram também retiradas amostras dos provetes de tijolo cerâmico e de betão.

Por cada tipo de componente a ensaiar (tijolo cerâmico, betão, argamassa em tijolo cerâmico e argamassa em betão), selecionaram-se 3 amostras, sendo que cada uma delas era proveniente de provetes diferentes (Figura 4.21).



Figura 4.21 - Amostras extraídas de provetes para determinação da porosidade aberta.

O ensaio foi iniciado com a pesagem de cada uma das amostras, a seco.

Depois da pesagem, as amostras foram colocadas no exsiccador (Figura 4.22) com sílica ligado à bomba de vácuo, baixando-se a pressão gradualmente até atingir os 40 kPa. Esta depressão foi mantida durante 24 horas de modo a eliminar o ar contido nos poros abertos das amostras.

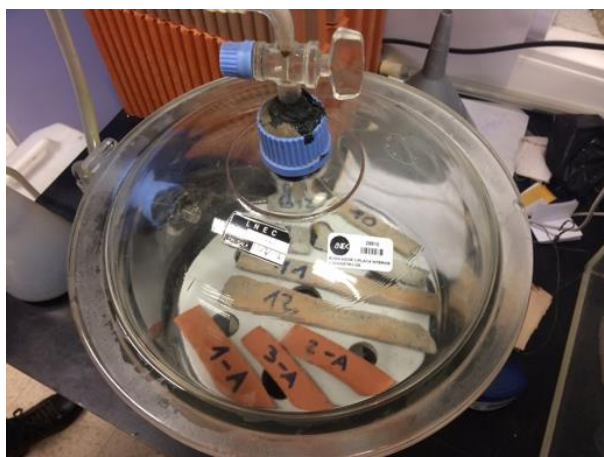


Figura 4.22 - Exsicador contendo as amostras.

Ao fim dessas 24 horas, introduziu-se água destilada com um caudal constante e que permita que as amostras fiquem completamente imersas em 15 minutos. A depressão manteve-se durante mais 24 horas, desta vez com as amostras imersas.



Figura 4.23 - Elementos usados no ensaio: 1 - Bomba, 2 - Sílica, 3 - Exsicador, 4 - Água destilada.

Ao fim desse tempo a bomba é desligada e o exsicador é aberto. A pesagem hidrostática das amostras é feita 30 minutos após a abertura do exsicador (Figura 4.24).

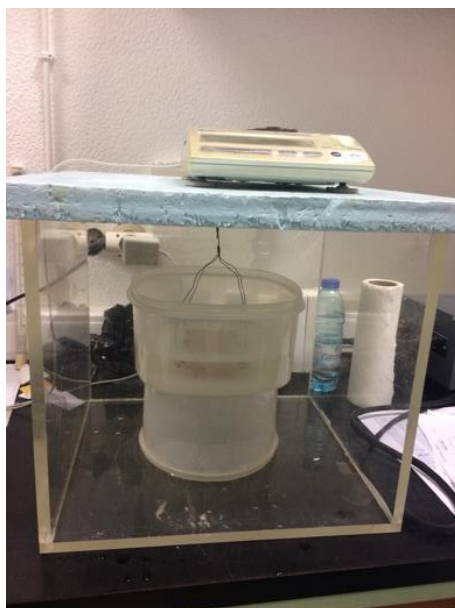


Figura 4.24 - Pesagem hidrostática.

A pesagem das amostras saturadas é feita à medida que a pesagem hidrostática das amostras é realizada. As amostras são retiradas da água e envoltas num pano húmido, para retirar o excesso de água, e seguidamente pesadas na balança.

O ensaio fica concluído com as pesagens, em gramas, das amostras.

4.3.7. Determinação do teor de humidade

A determinação do teor de humidade é obtida através do método termogravimétrico e tem como base a EN ISO 12570:2000 [35] e a NP EN 1097-5:2011 [36].

Pretendeu-se, com este ensaio, determinar o teor de humidade dos dois tipos de suportes e da argamassa aplicada em cada um deles de forma a entender qual a influência na argamassa de colagem da água naturalmente presente nos suportes e, conseqüentemente, na ligação. Pretendeu-se também avaliar de que forma o teor de humidade dos suportes influencia o teor de humidade da argamassa quando aplicada em diferentes suportes.

Tal como no ponto anterior (4.3.6), foram ensaiadas 3 amostras de cada tipo de elemento em análise.



Figura 4.25 a) e b) - Amostras extraídas de provetes para determinação do teor de humidade.

O ensaio foi iniciado com a pesagem de cada amostra, em gramas. De seguida, os tabuleiros com as amostras (Figura 4.25) foram colocados em estufa ventilada a 105°C (Figura 4.26).



Figura 4.26 a) e b) - Estufa ventilada e colocação dos tabuleiros na estufa.

A cada 24 horas as amostras eram pesadas (Figura 4.27) e foram pesadas até massa constante, ou seja, até a variação entre três pesagens consecutivas ser igual ou inferior a 0,1% da massa total da amostra.

O ensaio ficou concluído ao fim de 96 horas (4 dias).



Figura 4.27 a) e b) - Pesagem das amostras a cada 24 horas.

4.3.8. Determinação do coeficiente de capilaridade de suportes para ensaios de aderência

Este ensaio é realizado segundo a Norma Europeia EN 772-11 [37] e incide sobre os suportes. As amostras retiradas dos provetes de tijolo cerâmico e betão usadas no ensaio descrito em 4.3.7 foram também usadas neste ensaio.

O estudo da capilaridade dos suportes permite entender a natureza da ligação suporte – sistema. A argamassa de colagem, quando aplicada, possui água que irá ascender nos suportes por capilaridade e, conseqüentemente, influenciar a ligação e o desempenho final da argamassa de colagem.

A determinação do coeficiente de capilaridade obriga a uma secagem das amostras em estufa ventilada a 105°C até massa constante. Este passo foi realizado através do ensaio anterior (4.3.7).

Concluído o ensaio descrito em 4.3.7, deu-se início à determinação do coeficiente de capilaridade.

Retiradas as amostras da estufa, deixaram-se arrefecer durante uns minutos em ambiente controlado, de forma a não absorver a humidade do ar, e procedeu-se à sua pesagem, em gramas.

O intuito é colocar uma das faces das amostras em contacto com a água e, para isso, foi necessário medir as dimensões da face de cada amostra a imergir de forma a calcular a área da face em contacto com a água.

Após a medição, as amostras foram colocadas no tabuleiro, apoiadas em elementos que permitissem o contacto da água com a face a imergir, como mostra a Figura 4.28 a) e b).



Figura 4.28 a) e b) - Amostras apoiadas em elementos e face das amostras em contacto com a água.

As faces foram imersas em água, até sensivelmente 5 mm, durante 60 segundos. Após os 60 segundos, as amostras foram retiradas do tabuleiro e retirou-se a água superficial das faces com recurso a um pano húmido (Figura 4.29 a)) e pesaram-se novamente as amostras (Figura 4.29 b)).



Figura 4.29 a) e b) - Amostras com face em contacto com um pano húmido e pesagem das amostras após face em contacto com a água.

4.3.9. Determinação da aderência ao suporte do revestimento

O ensaio de aderência foi realizado com base na Norma Europeia EN 1015-12 [38], obedecendo às exigências descritas no EAD 040083-00-0404 [1], e permite estudar a influência do tipo de suporte na aderência da argamassa de colagem.

Este ensaio foi realizado em 3 provetes de argamassa de colagem aplicada em tijolo cerâmico e em 3 provetes de argamassa de colagem aplicada em betão e precedeu a aplicação da mesma nos provetes de tijolo cerâmico e de betão com 28 dias de secagem.

Ao fim dos 28 dias de secagem da argamassa de colagem, foram feitas 5 incisões em cada provete com recurso a uma caroteadora (Figura 4.30). Foi fundamental assegurar um afastamento de 30 mm entre incisões e os bordos do provete, como exigido pela Norma Europeia [38] e pelo EAD [1]. Pelos mesmos documentos, e pela especificação do fabricante [31], a camada de argamassa tem 10 mm de espessura.



Figura 4.30 a), b) e c) - Execução de carotes nos provetes.

De seguida, procedeu-se à colagem das pastilhas metálicas (Figura 4.31), de diâmetro igual ao da incisão da caroteadora, evitando que o excesso de cola altere o diâmetro efetivo dessa zona. Foi usada uma cola epoxídica de dois componentes de secagem rápida disponível no mercado.



Figura 4.31 - Colagem das pastilhas metálicas.

A Figura 4.32 demonstra, em corte, o esquema da incisão, que atinge a superfície do suporte e corta na totalidade a argamassa de colagem onde a pastilha metálica irá aderir.

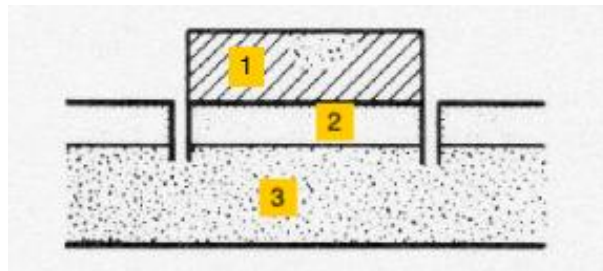


Figura 4.32 - Esquema em corte da incisão para realização do arrancamento por tração [11]: 1 – pastilha metálica; 2 – argamassa de colagem; 3 – suporte.

Aguardaram-se 24 horas para a secagem da cola e procedeu-se com o ensaio.

Cada tipo de provete (argamassa aplicada em suporte de tijolo cerâmico argamassa aplicada em suporte de betão) foi ensaiado em 3 condições diferentes, de forma a simular o envelhecimento natural: em condições secas, após imersão da camada adesiva (argamassa de colagem) em água durante 2 dias e secagem de 2 horas e, por fim, após imersão da camada adesiva em água durante 2 dias e secagem de 7 dias.

A primeira condição de ensaio é o arrancamento das pastilhas metálicas por tração em condições secas (Figura 4.33 a)).



Figura 4.33 a), b) e c) - Montagem do aparelho de arrancamento.

Nas pastilhas metálicas colocaram-se os parafusos (Figura 4.33 b)) que permitem o arrancamento das mesmas por parte do aparelho de arrancamento.

O aparelho de arrancamento possui uma manivela (Figura 4.33 c)) que é responsável pela força de arrancamento. A velocidade da rotação deve ser constante e tal que a rotura se dê num período entre 20 e 60 segundos.

Após o arrancamento das pastilhas metálicas (Figura 4.34), faz-se o registo da força de arrancamento em Newton, que pode ser lida no aparelho, e analisa-se o tipo de rotura.



Figura 4.34 a) e b) - Pastilhas metálicas após arrancamento em tijolo cerâmico e em betão.

Tanto a segunda condição de ensaio (arrancamento das pastilhas metálicas após imersão da camada adesiva em água durante 2 dias e secagem de 2 horas) como a terceira (arrancamento das pastilhas metálicas após imersão da camada adesiva em água durante 2 dias e secagem de 7 dias) englobaram a imersão (Figura 4.35) e secagem dos provetes antes da realização do arrancamento.



Figura 4.35 - Imersão da camada adesiva dos provetes durante 48 horas.

O procedimento de arrancamento referido para as condições em seco é o mesmo para estas duas condições, com a exceção de que a camada adesiva é mergulhada em água durante dois dias e só após secagem (de 2 horas num caso, e 7 dias noutro) é que se realiza o arrancamento das pastilhas metálicas.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. Determinação da consistência por espalhamento da argamassa em pasta

Pelo descrito em 4.3.1, os dados obtidos para análise foram os diâmetros dos dois provetes de argamassa em pasta em duas direções perpendiculares. Os resultados estão indicados na Tabela 5.1

Tabela 5.1 - Resultados obtidos do espalhamento da argamassa em pasta.

	Resultados	
	Diâmetro segundo x (mm)	Diâmetro segundo y (mm)
Provete 1	140,63	147,44
Provete 2	140,10	145,86

A análise dos resultados passou pelo cálculo da média e verificação de que a diferença entre cada valor e a média não excede 10%.

Pela Tabela 5.2 é possível verificar que, em ambos os provetes e em ambas as direções, a diferença entre a média e cada valor não excede os 10% exigidos pela Norma Europeia EN 1015-3 [29].

Tabela 5.2 - Verificação dos resultados do espalhamento.

	Espalhamento					Média
	Resultados		Média por provete	Confirmação segundo x	Confirmação segundo y	
	Diâmetro segundo x (mm)	Diâmetro segundo y (mm)		< 10%	< 10%	
Provete 1	140,63	147,44	144,04	-2,36%	2,36%	143,51
Provete 2	140,10	145,86	142,98	-2,01%	2,01%	

Ainda pela Norma Europeia EN 1015-3 [29], os valores do espalhamento devem ser verificados de acordo com a Ficha Técnica do fabricante. Na ausência de valores referentes ao espalhamento na Ficha Técnica, como é o caso, estes devem ser verificados pela tabela 2 da Norma Europeia EN 1015-2 [30]. Pela referida tabela, esses valores devem encontrar-se entre os 165 mm e os 185 mm.

Como se pode ver pela Tabela 5.2, os valores encontram-se ligeiramente abaixo dos limites estabelecidos. Estes valores são justificados pelo tipo de argamassa que estamos a ensaiar: uma argamassa de colagem. Os limites estabelecidos são definidos para argamassas tradicionais, por isso é normal os valores de espalhamento da argamassa de colagem serem inferiores pois trata-se de uma argamassa mais aglutinante.

5.2. Determinação da massa volúmica da argamassa em pasta

Os resultados do procedimento de ensaio descrito em 4.3.2 estão indicados na Tabela 5.3. O ensaio ficou concluído com a pesagem de cada provete (cápsula + argamassa em pasta).

Tabela 5.3 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica.

	Resultados	
	m cápsula (g)	m cápsula + argamassa (g)
Provete 1	463,30	1 790,10
Provete 2	463,30	1 784,30

A massa volúmica de cada provete, neste caso, foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$m_{argamassa} = m_{cápsula+argamassa} - m_{cápsula} \quad (1)$$

A equação (1) pode ser justificada pelo volume da cápsula, de 1 dm³, logo, pela fórmula da massa volúmica e pelos valores da massa do provete 1:

$$\rho_{argamassa} = \frac{m_{argamassa}}{V_{argamassa}} = \frac{1790,10 - 463,30}{1} = 1326,80 \text{ g/dm}^3 \quad (2)$$

Em que ρ é a massa volúmica, m é a massa e V é o volume.

Então, pela equação (2) verifica-se que o valor da massa volúmica, neste caso, é igual ao valor da massa.

Assim, os valores da massa volúmica calculados para cada provete estão representados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Massa volúmica da argamassa em pasta.

	Resultados		ρ argamassa (kg/m ³)
	m cápsula (g)	m cápsula + argamassa (g)	
Provete 1	463,30	1 790,10	1 326,80
Provete 2	463,30	1 784,30	1 321,00

Após o cálculo da massa volúmica de cada provete, calculou-se o valor médio, com aproximação à unidade como referido em 4.3.2, e verificou-se que a diferença entre cada valor da massa volúmica e a média é inferior a 10%. Essa verificação está apresentada na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Verificação da diferença entre a massa volúmica de cada provete e o valor médio.

	ρ argamassa (kg/m ³)	Média (kg/m ³)	Confirmação
			< 10%
Provete 1	1 326,80	1 324	0,22%
Provete 2	1 321,00		-0,22%

De acordo com a Ficha Técnica do fabricante [31], o valor da massa volúmica da argamassa de colagem em pasta deve apresentar o valor de 1400 kg/m³. Embora ligeiramente inferior, considera-se verificado o valor da massa volúmica uma vez que os valores podem variar ligeiramente consoante as condições de aplicação, como referido nessa mesma Ficha Técnica.

5.3. Ensaio de avaliação de características mecânicas por ultrassons

Como referido no ponto 4.3.3, os resultados obtidos foram as medições dos tempos que a onda ultrassónica demora a percorrer uma determinada distância. Em cada provete foram marcados 14 pontos representativos das distâncias e, para cada distância, foram feitas 3 medições de tempo.

Para cada distância foi calculado o valor médio do tempo, de forma a traçar um gráfico com os pares de valores (tempo, distância) para cada provete. A inclinação da reta obtida pelos pontos marcados no gráfico indica a velocidade de propagação das ondas em cada provete.

Foram analisados 3 provetes de tijolo cerâmico, 3 provetes de betão, 2 provetes de argamassa em tijolo cerâmico (devido à impossibilidade da leitura do aparelho no terceiro provete por razões desconhecidas) e 3 provetes de argamassa em betão.

Os registos do tempo em função da distância, bem como os valores médios, para os provetes de tijolo cerâmico encontram-se nas Tabela 5.6, Tabela 5.7 e Tabela 5.8.

Tabela 5.6 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de tijolo ETi-2/17-1 e valores médios.

E T i - 2/17 - 1				
Dist. (m)	Tempo (s)			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (s)
0,01	3,080E-05	3,140E-05	3,140E-05	3,12E-05
0,02	3,830E-05	3,800E-05	3,850E-05	3,83E-05
0,03	4,550E-05	4,570E-05	4,570E-05	4,56E-05
0,04	5,350E-05	5,320E-05	5,350E-05	5,34E-05
0,05	5,910E-05	5,950E-05	5,950E-05	5,94E-05
0,06	6,170E-05	6,270E-05	6,220E-05	6,22E-05
0,07	6,400E-05	6,400E-05	6,400E-05	6,40E-05
0,08	6,730E-05	6,790E-05	6,750E-05	6,76E-05
0,09	7,400E-05	7,440E-05	7,350E-05	7,40E-05
0,10	7,910E-05	7,770E-05	7,650E-05	7,78E-05
0,11	8,130E-05	8,110E-05	8,100E-05	8,11E-05
0,12	8,380E-05	8,430E-05	8,470E-05	8,43E-05
0,13	8,910E-05	9,010E-05	9,080E-05	9,00E-05
0,14	9,470E-05	9,160E-05	9,160E-05	9,26E-05

Tabela 5.7 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de tijolo ETi-2/17-2 e valores médios.

E T i - 2/17 - 2				
Dist. (m)	Tempo (s)			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (s)
0,01	3,190E-05	3,210E-05	3,210E-05	3,20E-05
0,02	3,730E-05	3,890E-05	3,870E-05	3,83E-05
0,03	4,570E-05	4,640E-05	4,660E-05	4,62E-05
0,04	5,130E-05	5,150E-05	5,170E-05	5,15E-05

0,05	5,740E-05	5,740E-05	5,740E-05	5,74E-05
0,06	6,160E-05	6,260E-05	6,230E-05	6,22E-05
0,07	6,830E-05	6,660E-05	6,550E-05	6,68E-05
0,08	7,060E-05	8,180E-05	6,880E-05	7,37E-05
0,09	7,260E-05	7,340E-05	7,320E-05	7,31E-05
0,10	7,820E-05	7,860E-05	7,860E-05	7,85E-05
0,11	8,040E-05	8,080E-05	8,060E-05	8,06E-05
0,12	8,510E-05	8,510E-05	8,430E-05	8,48E-05
0,13	8,710E-05	8,740E-05	8,760E-05	8,74E-05
0,14	9,180E-05	9,160E-05	9,160E-05	9,17E-05

Tabela 5.8 - Tempo de propagação da onda ultrassônica em função da distância do provete de tijolo ETi-2/17-3 e valores médios.

E T i - 2/17 - 3				
Dist. (m)	Tempo (s)			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (s)
0,01	3,300E-05	3,200E-05	3,200E-05	3,23E-05
0,02	3,970E-05	3,860E-05	3,860E-05	3,90E-05
0,03	4,600E-05	4,630E-05	4,590E-05	4,61E-05
0,04	5,310E-05	5,310E-05	5,350E-05	5,32E-05
0,05	5,980E-05	6,010E-05	5,960E-05	5,98E-05
0,06	6,530E-05	6,550E-05	6,420E-05	6,50E-05
0,07	7,120E-05	7,080E-05	7,080E-05	7,09E-05
0,08	7,110E-05	7,130E-05	7,130E-05	7,12E-05
0,09	7,260E-05	7,260E-05	7,300E-05	7,27E-05
0,10	7,610E-05	7,610E-05	7,640E-05	7,62E-05
0,11	8,040E-05	7,910E-05	7,910E-05	7,95E-05
0,12	8,380E-05	8,380E-05	8,380E-05	8,38E-05
0,13	8,760E-05	8,760E-05	8,710E-05	8,74E-05
0,14	9,150E-05	9,020E-05	9,020E-05	9,06E-05

Os gráficos obtidos pelos pares de valores (tempo médio, distância) para os provetes de tijolo cerâmico podem ser vistos nas Figura 5.1, Figura 5.2 e Figura 5.3.

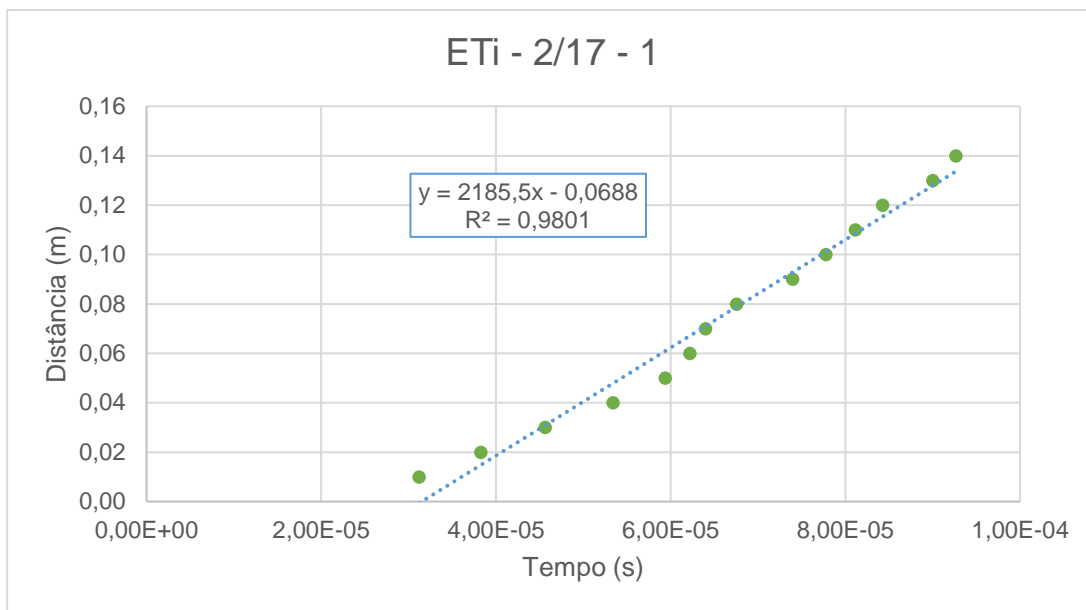


Figura 5.1 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de tijolo ETi-2/17-1.

Pela equação do gráfico da Figura 5.1, podemos aferir que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de tijolo ETi-2/17-1 é de 2185,47 m/s.

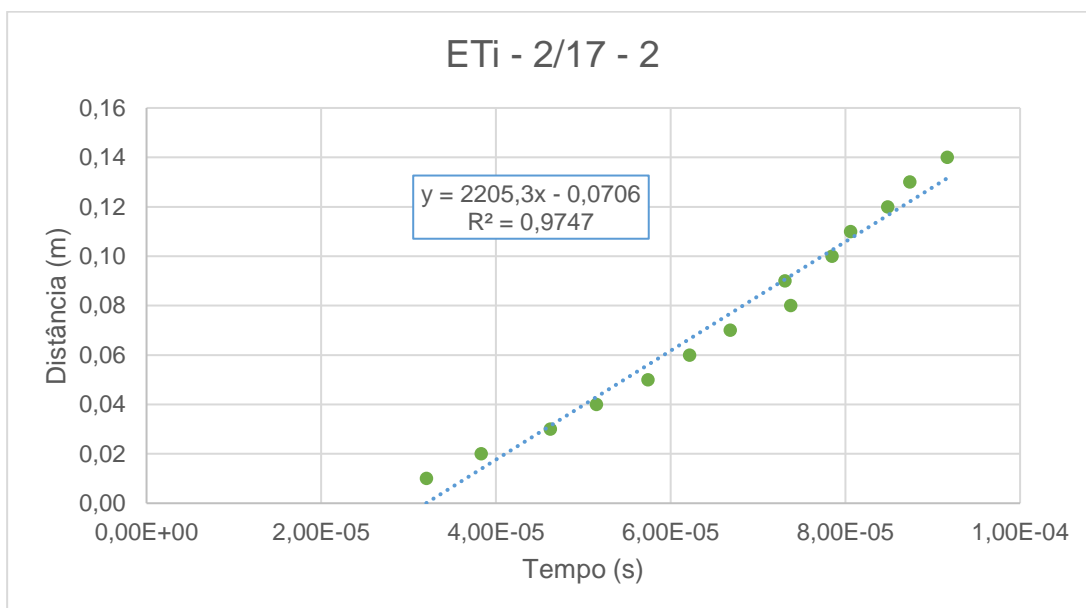


Figura 5.2 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de tijolo ETi-2/17-2.

Pela equação do gráfico da Figura 5.2, podemos aferir que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de tijolo ETi-2/17-2 é de 2205,27 m/s.

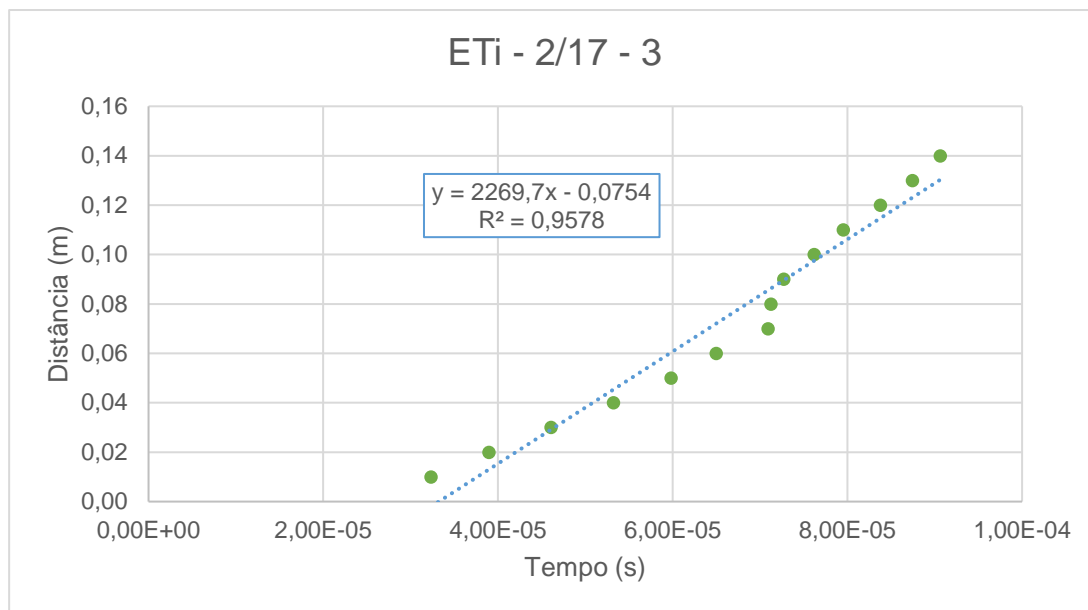


Figura 5.3 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de tijolo ETi-2/17-3.

Pela equação do gráfico da Figura 5.3, podemos aferir que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de tijolo ETi-2/17-3 é de 2269,70 m/s.

Os registos do tempo em função da distância, bem como os valores médios, para os provetes de betão estão indicados nas Tabela 5.9, Tabela 5.10 e Tabela 5.11.

Tabela 5.9 - Tempo de propagação da onda ultrassônica em função da distância do provete de betão ETi-2/17-B1 e valores médios.

ETi - 2/17 - B1				
Dist. (m)	Tempo (s)			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (s)
0,01	2,960E-05	2,900E-05	2,890E-05	2,92E-05
0,02	3,400E-05	3,300E-05	3,310E-05	3,34E-05
0,03	3,730E-05	3,730E-05	3,730E-05	3,73E-05
0,04	4,160E-05	4,160E-05	4,160E-05	4,16E-05
0,05	4,670E-05	4,670E-05	4,670E-05	4,67E-05
0,06	5,130E-05	5,130E-05	5,150E-05	5,14E-05
0,07	5,430E-05	5,450E-05	5,450E-05	5,44E-05
0,08	5,870E-05	5,870E-05	5,830E-05	5,86E-05
0,09	6,550E-05	6,550E-05	6,550E-05	6,55E-05
0,10	7,120E-05	7,050E-05	7,050E-05	7,07E-05
0,11	7,450E-05	7,400E-05	7,400E-05	7,42E-05

0,12	8,030E-05	7,930E-05	7,930E-05	7,96E-05
0,13	8,300E-05	8,300E-05	8,280E-05	8,29E-05
0,14	9,920E-05	9,920E-05	9,920E-05	9,92E-05

Tabela 5.10 - Tempo de propagação da onda ultrassônica em função da distância do provete de betão ETi-2/17-B2 e valores médios.

E T i - 2/17 - B2				
Dist. (m)	Tempo (s)			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (s)
0,01	2,910E-05	2,930E-05	2,930E-05	2,92E-05
0,02	3,320E-05	3,320E-05	3,330E-05	3,32E-05
0,03	3,790E-05	3,790E-05	3,790E-05	3,79E-05
0,04	4,110E-05	4,180E-05	4,180E-05	4,16E-05
0,05	4,760E-05	4,760E-05	4,760E-05	4,76E-05
0,06	4,970E-05	4,940E-05	4,960E-05	4,96E-05
0,07	5,460E-05	5,480E-05	5,490E-05	5,48E-05
0,08	5,680E-05	5,650E-05	5,630E-05	5,65E-05
0,09	6,400E-05	6,340E-05	6,290E-05	6,34E-05
0,10	6,740E-05	6,740E-05	6,740E-05	6,74E-05
0,11	7,530E-05	7,650E-05	7,650E-05	7,61E-05
0,12	7,770E-05	7,770E-05	7,780E-05	7,77E-05
0,13	8,700E-05	8,420E-05	8,390E-05	8,50E-05
0,14	9,400E-05	9,400E-05	9,400E-05	9,40E-05

Tabela 5.11 - Tempo de propagação da onda ultrassônica em função da distância do provete de betão ETi-2/17-B3 e valores médios.

E T i - 2/17 - B3				
Dist. (m)	Tempo (s)			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (s)
0,01	2,690E-05	2,720E-05	2,690E-05	2,70E-05
0,02	3,140E-05	3,140E-05	3,140E-05	3,14E-05
0,03	3,540E-05	3,540E-05	3,540E-05	3,54E-05
0,04	3,960E-05	3,960E-05	3,960E-05	3,96E-05
0,05	4,470E-05	4,450E-05	4,470E-05	4,46E-05
0,06	5,000E-05	4,960E-05	4,960E-05	4,97E-05

0,07	5,310E-05	5,190E-05	5,190E-05	5,23E-05
0,08	5,680E-05	5,680E-05	5,680E-05	5,68E-05
0,09	6,100E-05	6,150E-05	6,080E-05	6,11E-05
0,10	6,860E-05	6,790E-05	6,810E-05	6,82E-05
0,11	7,440E-05	7,400E-05	7,380E-05	7,41E-05
0,12	7,690E-05	7,770E-05	7,720E-05	7,73E-05
0,13	8,130E-05	8,130E-05	8,100E-05	8,12E-05
0,14	8,620E-05	8,540E-05	8,400E-05	8,52E-05

Os gráficos obtidos pelos pares de valores (tempo médio, distância) para os provetes de betão podem ser vistos nas Figura 5.4, Figura 5.5 e Figura 5.6.

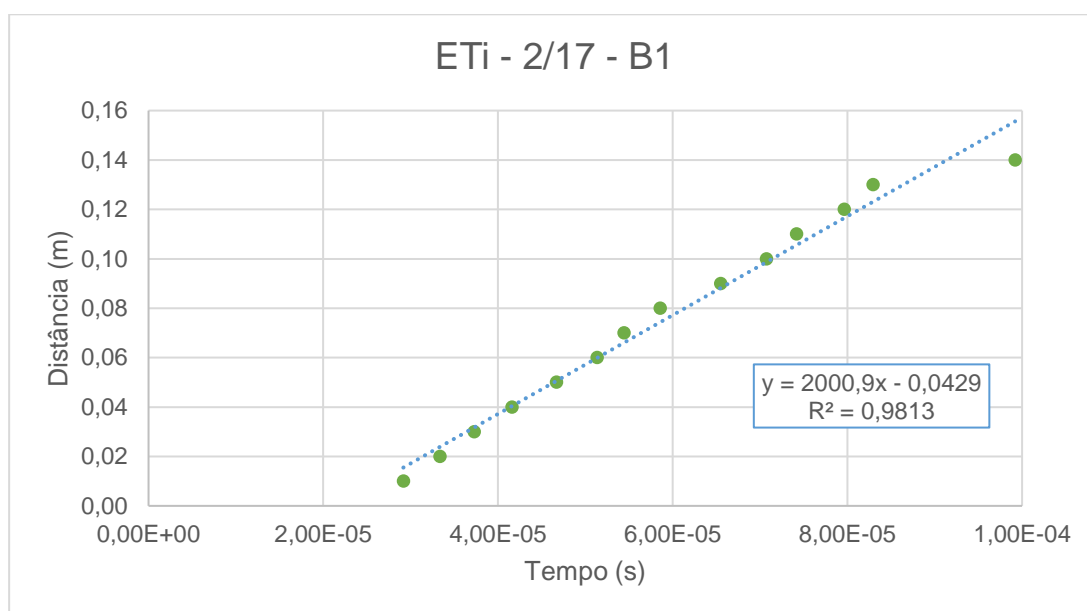


Figura 5.4 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de betão ETi-2/17-B1.

Pela equação do gráfico da Figura 5.4, podemos aferir que a velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de betão ETi-2/17-B1 é de 2000,93 m/s.

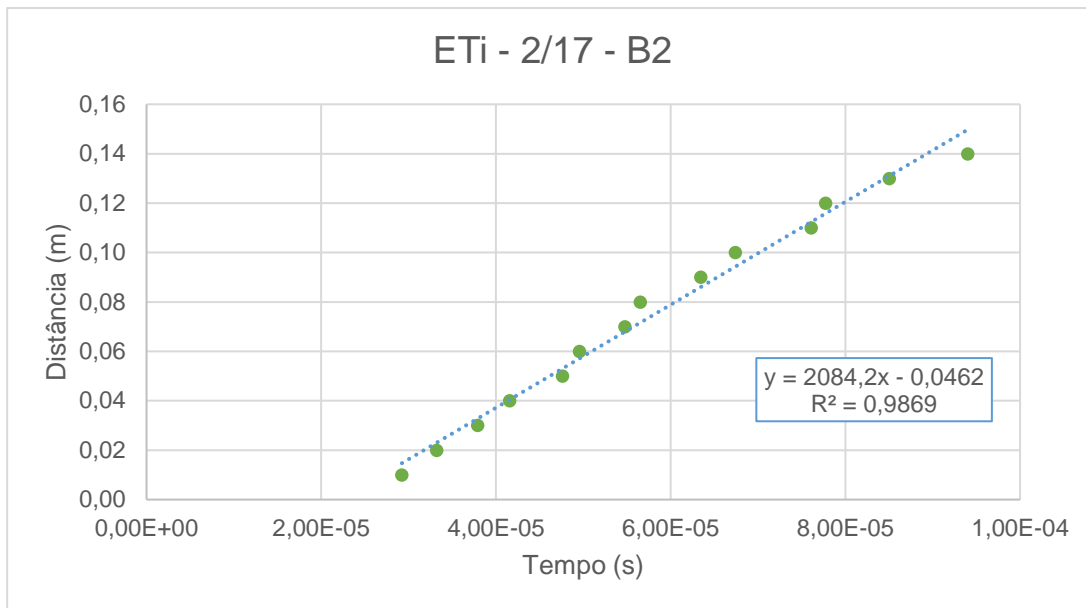


Figura 5.5 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de betão ETi-2/17-B2.

Pela equação do gráfico da Figura 5.5, podemos aferir que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de betão ETi-2/17-B2 é de 2084,24 m/s.

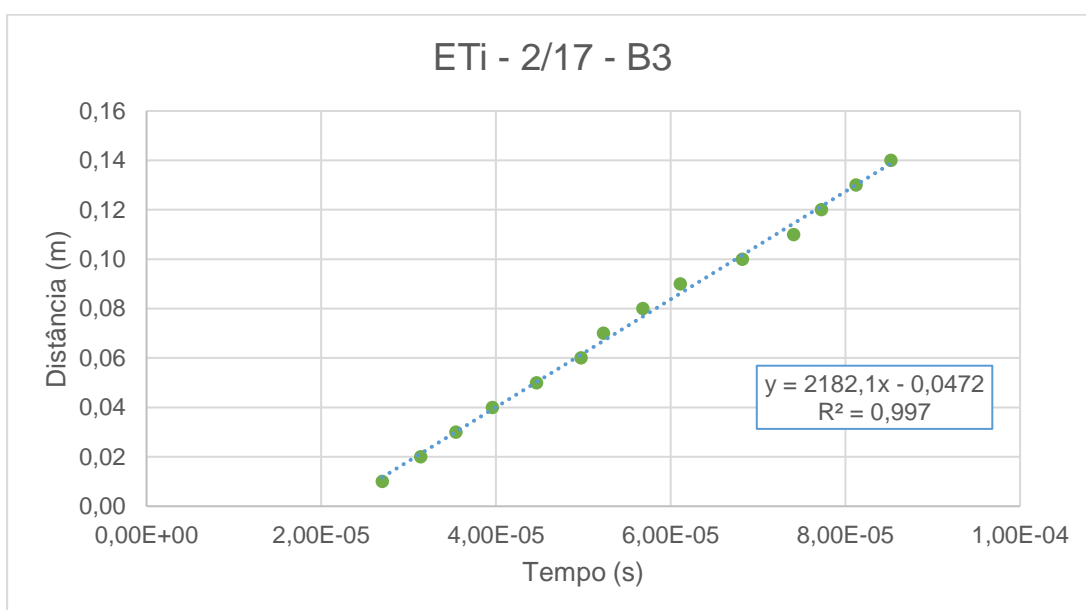


Figura 5.6 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de betão ETi-2/17-B3.

Pela equação do gráfico da Figura 5.6, podemos aferir que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de betão ETi-2/17-B3 é de 2182,12 m/s.

Os registos do tempo em função da distância, bem como os valores médios, para os provetes de argamassa em tijolo cerâmico estão indicados nas Tabela 5.12 e Tabela 5.13.

Tabela 5.12 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de argamassa em tijolo ETi-2/17-8 e valores médios.

ETi - 2/17 - 8				
Dist. (m)	Tempo (s)			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (s)
0,01	1,370E-05	1,350E-05	1,350E-05	1,36E-05
0,02	1,920E-05	1,920E-05	1,920E-05	1,92E-05
0,03	2,570E-05	2,570E-05	2,540E-05	2,56E-05
0,04	2,960E-05	2,980E-05	2,980E-05	2,97E-05
0,05	3,390E-05	3,390E-05	3,390E-05	3,39E-05
0,06	3,830E-05	3,810E-05	3,830E-05	3,82E-05
0,07	4,240E-05	4,240E-05	4,240E-05	4,24E-05
0,08	4,670E-05	4,670E-05	4,670E-05	4,67E-05
0,09	4,980E-05	4,980E-05	4,980E-05	4,98E-05
0,10	5,490E-05	5,490E-05	5,490E-05	5,49E-05
0,11	5,790E-05	5,750E-05	5,750E-05	5,76E-05
0,12	6,210E-05	6,140E-05	6,200E-05	6,18E-05
0,13	6,550E-05	6,550E-05	6,570E-05	6,56E-05
0,14	7,060E-05	7,080E-05	7,000E-05	7,05E-05

Tabela 5.13 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de argamassa em tijolo ETi-2/17-9 e valores médios.

ETi - 2/17 - 9				
Dist. (m)	Tempo (s)			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (s)
0,01	1,850E-05	1,650E-05	1,650E-05	1,72E-05
0,02	2,250E-05	2,190E-05	2,190E-05	2,21E-05
0,03	2,700E-05	2,700E-05	2,700E-05	2,70E-05
0,04	3,280E-05	3,280E-05	3,310E-05	3,29E-05
0,05	3,860E-05	3,860E-05	3,870E-05	3,86E-05
0,06	4,380E-05	4,400E-05	4,400E-05	4,39E-05

0,07	4,910E-05	4,840E-05	4,840E-05	4,86E-05
0,08	5,180E-05	5,240E-05	5,240E-05	5,22E-05
0,09	5,840E-05	5,820E-05	5,820E-05	5,83E-05
0,10	6,270E-05	6,270E-05	6,290E-05	6,28E-05
0,11	6,570E-05	6,620E-05	6,550E-05	6,58E-05
0,12	6,860E-05	6,890E-05	6,870E-05	6,87E-05
0,13	7,450E-05	7,390E-05	7,320E-05	7,39E-05
0,14	9,990E-05	1,004E-04	9,950E-05	9,99E-05

Por falhas de leitura do aparelho no provete ETi – 2/17 – 7, não foi possível registar os valores das velocidades nesse provete.

Os gráficos obtidos pelos pares de valores (tempo médio, distância) para os provetes de argamassa em tijolo cerâmico podem ser vistos nas Figura 5.7 e Figura 5.8.

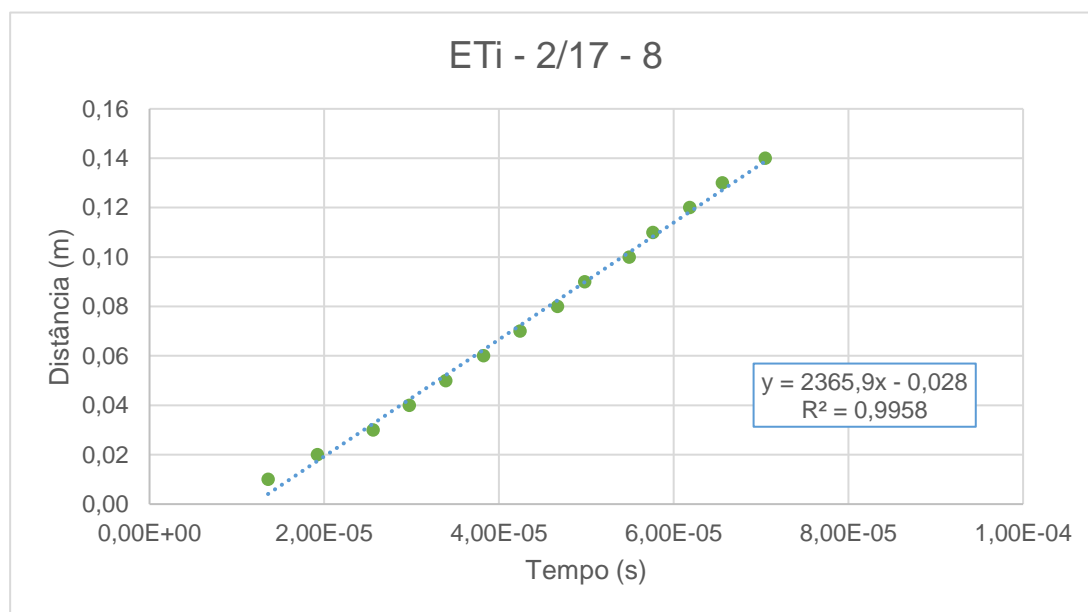


Figura 5.7 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de argamassa em tijolo ETi-2/17-8.

Pela equação do gráfico da Figura 5.7, podemos aferir que a velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de argamassa em tijolo ETi-2/17-8 é de 2365,88 m/s.

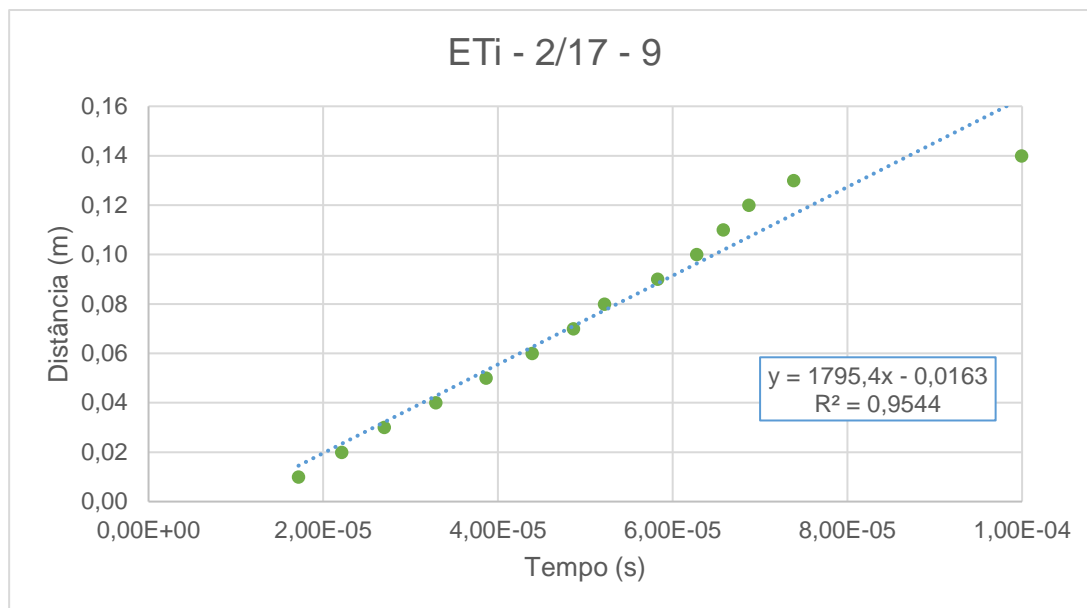


Figura 5.8 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de argamassa de tijolo ETi-2/17-9.

Pela equação do gráfico da Figura 5.8, podemos aferir que a velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de argamassa em tijolo ETi-2/17-9 é de 1795,43 m/s.

Por último, os registos do tempo em função da distância, bem como os valores médios, para os provetes de argamassa em betão estão indicados nas Tabela 5.14, Tabela 5.15 e Tabela 5.16.

Tabela 5.14 - Tempo de propagação da onda ultrassónica em função da distância do provete de argamassa em betão ETi-2/17-B7 e valores médios.

ETi - 2/17 - B7				
Dist. (m)	Tempo (s)			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (s)
0,01	1,510E-05	1,510E-05	1,510E-05	1,51E-05
0,02	2,000E-05	2,000E-05	2,000E-05	2,00E-05
0,03	2,510E-05	2,510E-05	2,510E-05	2,51E-05
0,04	2,950E-05	2,950E-05	2,950E-05	2,95E-05
0,05	3,290E-05	3,290E-05	3,290E-05	3,29E-05
0,06	3,530E-05	3,550E-05	3,550E-05	3,54E-05
0,07	3,950E-05	4,020E-05	3,950E-05	3,97E-05
0,08	4,280E-05	4,200E-05	4,260E-05	4,25E-05
0,09	4,320E-05	4,320E-05	4,290E-05	4,31E-05

0,10	4,450E-05	4,450E-05	4,410E-05	4,44E-05
0,11	5,050E-05	4,930E-05	4,790E-05	4,92E-05
0,12	7,170E-05	7,170E-05	7,190E-05	7,18E-05
0,13	7,380E-05	7,390E-05	7,390E-05	7,39E-05
0,14	7,700E-05	7,720E-05	7,700E-05	7,71E-05

Tabela 5.15 - Tempo de propagação da onda ultrassônica em função da distância do provete de argamassa em betão ETi-2/17-B8 e valores médios.

E T i - 2/17 - B8				
Dist. (m)	Tempo (s)			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (s)
0,01	1,600E-05	1,600E-05	1,580E-05	1,59E-05
0,02	2,190E-05	2,190E-05	2,170E-05	2,18E-05
0,03	4,160E-05	4,160E-05	4,180E-05	4,17E-05
0,04	4,460E-05	4,480E-05	4,480E-05	4,47E-05
0,05	4,950E-05	4,930E-05	4,930E-05	4,94E-05
0,06	5,380E-05	5,380E-05	5,380E-05	5,38E-05
0,07	5,700E-05	5,700E-05	5,700E-05	5,70E-05
0,08	6,030E-05	6,030E-05	6,030E-05	6,03E-05
0,09	6,330E-05	6,300E-05	6,300E-05	6,31E-05
0,10	6,660E-05	6,620E-05	6,620E-05	6,63E-05
0,11	7,060E-05	7,060E-05	7,060E-05	7,06E-05
0,12	7,110E-05	7,080E-05	7,060E-05	7,08E-05
0,13	7,390E-05	7,390E-05	7,390E-05	7,39E-05
0,14	7,820E-05	7,780E-05	7,790E-05	7,80E-05

Tabela 5.16 - Tempo de propagação da onda ultrassônica em função da distância do provete de argamassa em betão ETi-2/17-B9 e valores médios.

E T i - 2/17 - B9				
Dist. (m)	Tempo (s)			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (s)
0,01	1,520E-05	1,550E-05	1,550E-05	1,54E-05
0,02	2,160E-05	2,070E-05	2,070E-05	2,10E-05
0,03	2,660E-05	2,640E-05	2,640E-05	2,65E-05
0,04	3,030E-05	3,040E-05	3,040E-05	3,04E-05

0,05	4,970E-05	4,970E-05	4,970E-05	4,97E-05
0,06	5,390E-05	5,390E-05	5,390E-05	5,39E-05
0,07	5,770E-05	5,770E-05	5,750E-05	5,76E-05
0,08	6,200E-05	6,110E-05	6,160E-05	6,16E-05
0,09	6,490E-05	6,470E-05	6,470E-05	6,48E-05
0,10	6,780E-05	6,740E-05	6,740E-05	6,75E-05
0,11	7,040E-05	7,040E-05	7,000E-05	7,03E-05
0,12	7,320E-05	7,340E-05	7,320E-05	7,33E-05
0,13	7,790E-05	7,790E-05	7,860E-05	7,81E-05
0,14	8,100E-05	8,120E-05	8,120E-05	8,11E-05

Os gráficos obtidos pelos pares de valores (tempo médio, distância) para os provetes de argamassa em betão podem ser vistos nas Figura 5.9, Figura 5.10, e Figura 5.11.

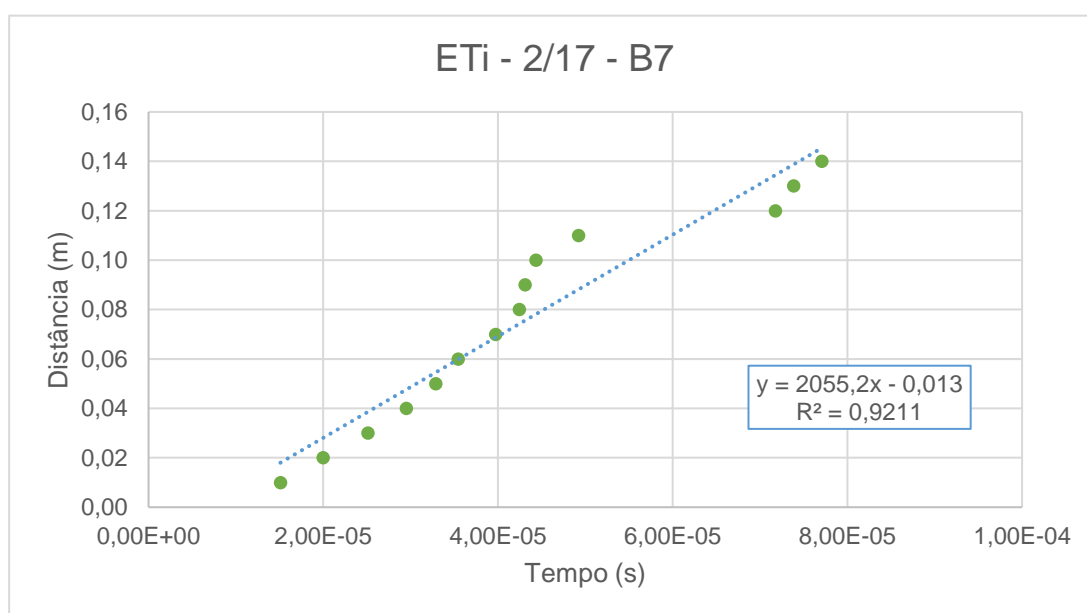


Figura 5.9 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de argamassa de betão ETi-2/17-B7.

Pela equação do gráfico da Figura 5.9, podemos aferir que a velocidade de propagação de ondas ultrassónicas no provete de argamassa em betão ETi-2/17-B7 é de 2055,15 m/s.

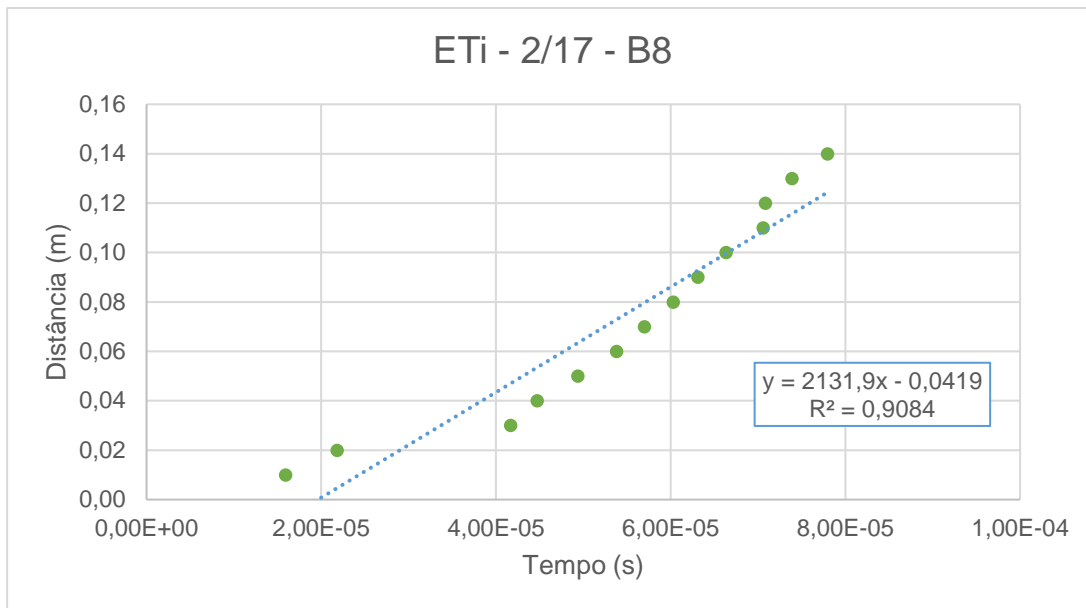


Figura 5.10 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de argamassa de betão ETi-2/17-B8.

Pela equação do gráfico da Figura 5.10, podemos aferir que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de argamassa em betão ETi-2/17-B8 é de 2131,93 m/s.

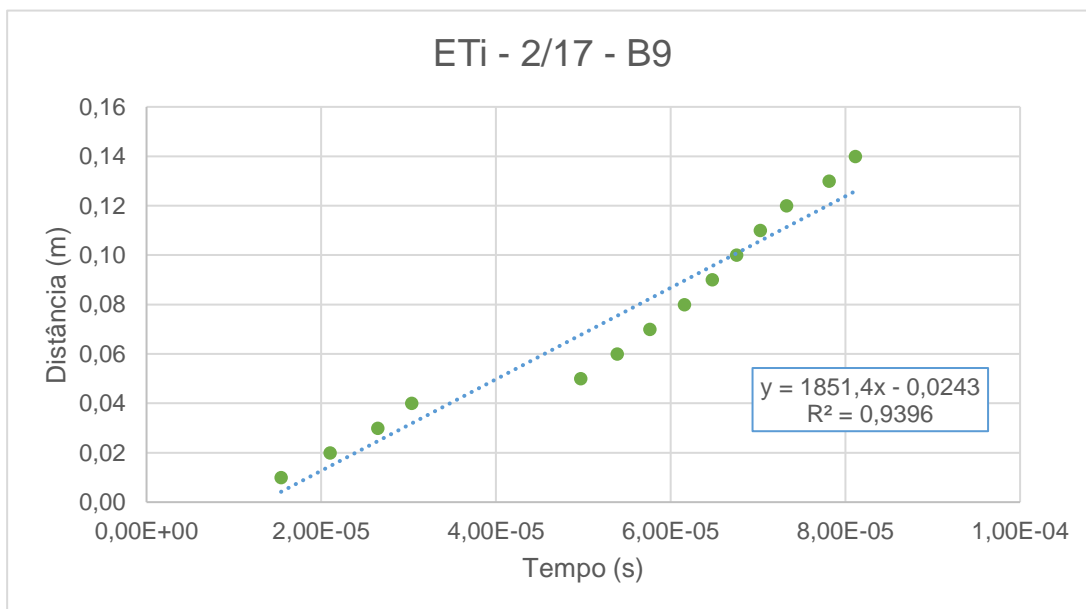


Figura 5.11 - Gráfico da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de argamassa de betão ETi-2/17-B9.

Pela equação do gráfico da Figura 5.11, podemos aferir que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no provete de argamassa em betão ETi-2/17-B9 é de 1851,40 m/s.

De uma forma geral, podemos fazer uma análise global e comparativa dos resultados deste ensaio através da Tabela 5.17.

Tabela 5.17 - Valores da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em diferentes meios e respectivas média e desvio-padrão.

	Provetes	Velocidade (m/s)	Média (m/s)	Desvio-padrão (m/s)
Suporte de tijolo	E T i - 2/17 - 1	2 185,47	2 220,15	44,04
	E T i - 2/17 - 2	2 205,27		
	E T i - 2/17 - 3	2 269,70		
Suporte de betão	E T i - 2/17 - B1	2 000,93	2 089,09	90,69
	E T i - 2/17 - B2	2 084,24		
	E T i - 2/17 - B3	2 182,12		
Argamassa em tijolo	E T i - 2/17 - 8	2 365,88	2 080,65	403,37
	E T i - 2/17 - 9	1 795,43		
	-	-		
Argamassa em betão	E T i - 2/17 - B7	2 055,15	2 012,83	144,98
	E T i - 2/17 - B8	2 131,93		
	E T i - 2/17 - B9	1 851,40		

É possível verificar que os provetes de tijolo cerâmico apresentam um desvio-padrão inferior ao do betão, e uma velocidade de propagação de ondas superior à do betão. Este facto pode ser explicado pelo tijolo cerâmico apresentar um meio mais homogéneo quando comparado com o do betão, que, pela sua composição, apresenta um meio heterogéneo. Pela análise individual do fator de correlação de cada provete (R^2), podemos ver que, em todos os casos, o valor é bastante próximo de 1, o que indica que os provetes não apresentam fissuração.

Pela análise dos provetes de argamassa aplicada sobre os suportes, a velocidade de propagação de ondas na argamassa parece não ter sido influenciada pelo suporte. Contudo, pela observação dos valores do desvio-padrão dos provetes de argamassa, verifica-se a impossibilidade de confirmar a veracidade desse facto, sobretudo porque a falta de um registo de velocidades de propagação de ondas de um provete de argamassa em tijolo cerâmico contribui para que este ensaio seja inconclusivo. Porém, analisando os valores de R^2 para cada provete de argamassa, verifica-se que são ligeiramente inferiores nos de betão e mais baixos que qualquer outro provete. Isto pode indicar uma ligeira presença de descontinuidades que podem resultar do processo de secagem da argamassa.

5.4. Ensaio de absorção de água sob baixa pressão

Segundo o ensaio descrito em 4.3.4, foram feitas as leituras da quantidade de água absorvida em ml. Sabendo os valores do diâmetro dos tubos de Karsten, calculou-se a quantidade de água absorvida por intervalo de tempo por unidade de área (W_i) pela equação (3):

$$W_i = \frac{Q_i}{A} \quad (3)$$

Em que Q_i é a água absorvida medida a cada intervalo de tempo. O valor da área (A) é obtida através da equação (4):

$$A = \pi. (\varphi/2)^2 \quad (4)$$

Após o cálculo da quantidade da água absorvida por unidade de tempo de cada tubo, por provete, fez-se a média do valor de quantidade de água absorvida por unidade de área para cada intervalo de tempo.

Com esses valores elaborou-se o gráfico para cada provete, da quantidade de água absorvida por unidade de área por intervalo de tempo.

Foram analisados 3 provetes de tijolo cerâmico, 3 provetes de betão, 3 provetes de argamassa em tijolo cerâmico e 3 provetes de argamassa em betão, cada um com 3 tubos de Karsten.

Os registos da quantidade de água em função do tempo, bem como os valores médios da quantidade de água absorvida por unidade de área, em ml/cm², para os provetes de tijolo cerâmico encontram-se nas Tabela 5.18, Tabela 5.19 e Tabela 5.20.

Tabela 5.18 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 1.

ETi - 2/17 - 1							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	2,7		2,7		2,7		
Área (cm ²)	5,73		5,73		5,73		
Tempo (min)	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	
5	0,30	0,05	0,50	0,09	0,40	0,07	0,07
10	0,50	0,09	0,65	0,11	0,40	0,07	0,09
15	0,70	0,12	0,90	0,16	0,80	0,14	0,14
20	0,80	0,14	1,10	0,19	1,00	0,17	0,17
25	1,00	0,17	1,30	0,23	1,20	0,21	0,20
30	1,15	0,20	1,50	0,26	1,40	0,24	0,24
35	1,30	0,23	1,70	0,30	1,60	0,28	0,27
40	1,40	0,24	1,80	0,31	1,70	0,30	0,29
45	1,55	0,27	2,00	0,35	2,00	0,35	0,32
50	1,70	0,30	2,20	0,38	2,10	0,37	0,35
55	1,80	0,31	2,30	0,40	2,30	0,40	0,37
60	1,90	0,33	2,50	0,44	2,50	0,44	0,40

Tabela 5.19 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 2.

ETi - 2/17 - 2							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	2,7		2,7		2,7		
Área (cm ²)	5,73		5,73		5,73		
Tempo (min)	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	
5	0,40	0,07	0,30	0,05	0,20	0,03	0,05
10	0,60	0,10	0,60	0,10	0,40	0,07	0,09
15	0,90	0,16	0,90	0,16	0,65	0,11	0,14
20	1,10	0,19	1,00	0,17	0,80	0,14	0,17
25	1,25	0,22	1,20	0,21	0,90	0,16	0,20
30	1,40	0,24	1,40	0,24	1,00	0,17	0,22
35	1,55	0,27	1,50	0,26	1,15	0,20	0,24
40	1,70	0,30	1,60	0,28	1,30	0,23	0,27

45	1,80	0,31	1,80	0,31	1,40	0,24	0,29
50	2,00	0,35	1,90	0,33	1,50	0,26	0,31
55	2,10	0,37	2,00	0,35	1,60	0,28	0,33
60	2,25	0,39	2,15	0,38	1,70	0,30	0,36

Tabela 5.20 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 3.

ETi - 2/17 - 3							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	2,5		2,5		2,5		
Área (cm ²)	4,91		4,91		4,91		
Tempo (min)	ml	ml/cm2	ml	ml/cm2	ml	ml/cm2	
5	0,40	0,08	0,30	0,06	0,30	0,06	0,07
10	0,70	0,14	0,60	0,12	0,60	0,12	0,13
15	0,90	0,18	0,75	0,15	0,80	0,16	0,17
20	1,20	0,24	0,90	0,18	1,00	0,20	0,21
25	1,40	0,29	1,10	0,22	1,20	0,24	0,25
30	1,60	0,33	1,30	0,26	1,40	0,29	0,29
35	1,70	0,35	1,40	0,29	1,50	0,31	0,31
40	1,90	0,39	1,60	0,33	1,60	0,33	0,35
45	2,10	0,43	1,70	0,35	1,80	0,37	0,38
50	2,20	0,45	1,80	0,37	1,90	0,39	0,40
55	2,30	0,47	2,00	0,41	2,10	0,43	0,43
60	2,50	0,51	2,20	0,45	2,20	0,45	0,47

Os gráficos obtidos pelos pares de valores (quantidade de água absorvida por área, tempo) para os provetes de tijolo cerâmico podem ser vistos nas Figura 5.12, Figura 5.13 e Figura 5.14.

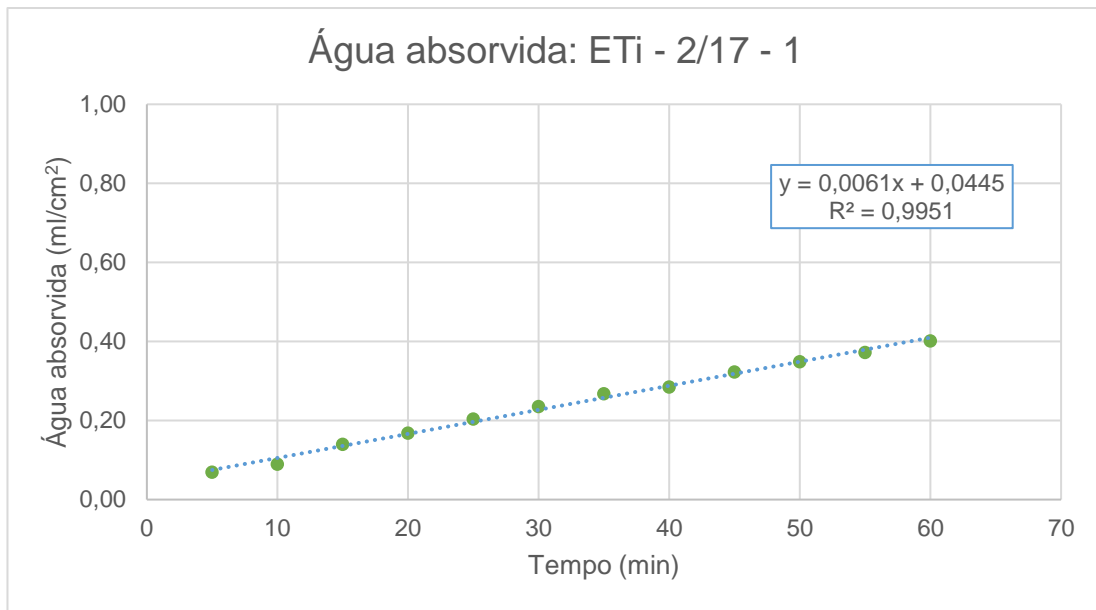


Figura 5.12 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 1.

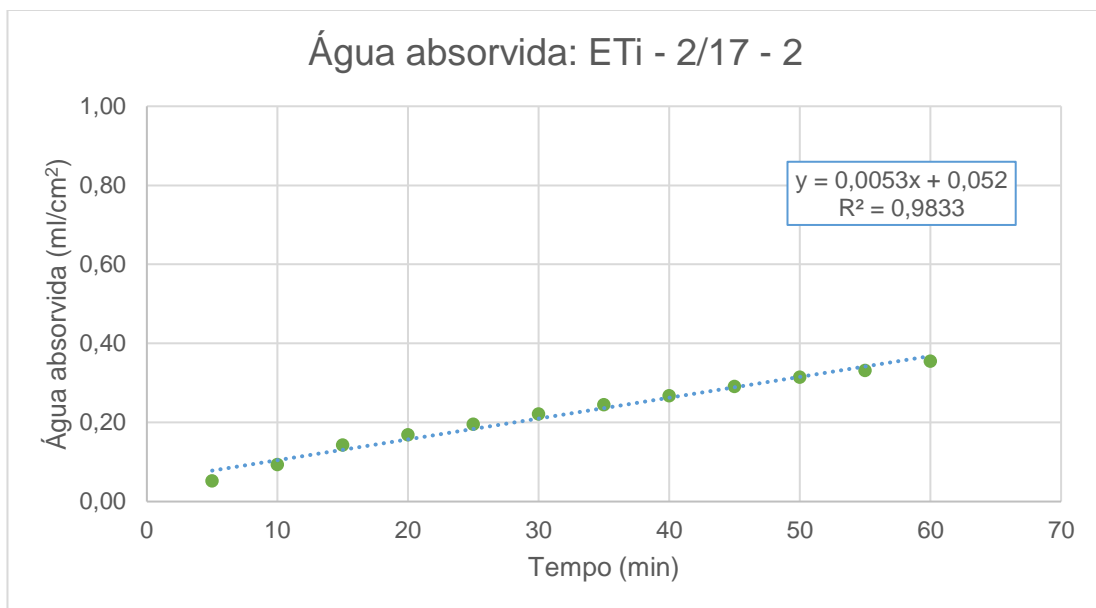


Figura 5.13 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 2.

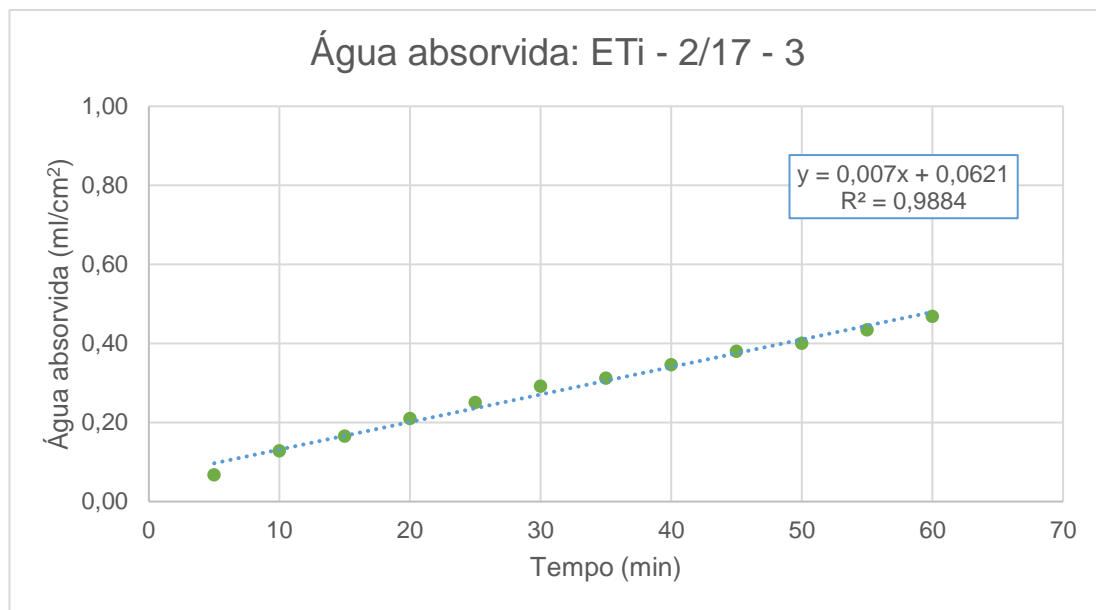


Figura 5.14 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de tijolo ETi - 2/17 - 3.

Os registos da quantidade de água em função do tempo, bem como os valores médios da quantidade de água absorvida por unidade de área, em ml/cm², para os provetes de betão encontram-se nas Tabela 5.21, Tabela 5.22 e Tabela 5.23.

Tabela 5.21 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B1.

ETi - 2/17 - B1							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	2,7		2,7		2,7		
Área (cm ²)	5,73		5,73		5,73		
Tempo (min)	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	
5	0,20	0,03	0,20	0,03	0,20	0,03	0,03
10	0,30	0,05	0,30	0,05	0,30	0,05	0,05
15	0,35	0,06	0,40	0,07	0,40	0,07	0,07
20	0,40	0,07	0,45	0,08	0,50	0,09	0,08
25	0,50	0,09	0,50	0,09	0,60	0,10	0,09
30	0,50	0,09	0,55	0,10	0,70	0,12	0,10
35	0,55	0,10	0,60	0,10	0,80	0,14	0,11
40	0,60	0,10	0,60	0,10	0,80	0,14	0,12
45	0,70	0,12	0,70	0,12	0,90	0,16	0,13
50	0,70	0,12	0,70	0,12	0,90	0,16	0,13

55	0,70	0,12	0,70	0,12	1,00	0,17	0,14
60	0,75	0,13	0,80	0,14	1,00	0,17	0,15

Tabela 5.22 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B2.

ETi - 2/17 - B2							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	2,7		2,7		2,7		
Área (cm ²)	5,73		5,73		5,73		
Tempo (min)	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	
5	0,20	0,03	0,20	0,03	0,20	0,03	0,03
10	0,40	0,07	0,40	0,07	0,60	0,10	0,08
15	0,50	0,09	0,50	0,09	0,80	0,14	0,10
20	0,70	0,12	0,60	0,10	1,00	0,17	0,13
25	0,80	0,14	0,70	0,12	1,20	0,21	0,16
30	0,90	0,16	0,80	0,14	1,40	0,24	0,18
35	1,10	0,19	0,90	0,16	1,50	0,26	0,20
40	1,20	0,21	1,00	0,17	1,70	0,30	0,23
45	1,30	0,23	1,10	0,19	1,80	0,31	0,24
50	1,40	0,24	1,20	0,21	1,90	0,33	0,26
55	1,50	0,26	1,30	0,23	2,10	0,37	0,29
60	1,60	0,28	1,40	0,24	2,20	0,38	0,30

Tabela 5.23 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B3.

ETi - 2/17 - B3							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	2,5		2,5		2,5		
Área (cm ²)	4,91		4,91		4,91		
Tempo (min)	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	
5	0,05	0,01	0,10	0,02	0,10	0,02	0,02
10	0,10	0,02	0,15	0,03	0,20	0,04	0,03
15	0,20	0,04	0,20	0,04	0,20	0,04	0,04
20	0,20	0,04	0,25	0,05	0,30	0,06	0,05
25	0,25	0,05	0,25	0,05	0,35	0,07	0,06

30	0,30	0,06	0,30	0,06	0,40	0,08	0,07
35	0,30	0,06	0,30	0,06	0,40	0,08	0,07
40	0,40	0,08	0,40	0,08	0,50	0,10	0,09
45	0,40	0,08	0,40	0,08	0,50	0,10	0,09
50	0,40	0,08	0,40	0,08	0,50	0,10	0,09
55	0,40	0,08	0,40	0,08	0,50	0,10	0,09
60	0,45	0,09	0,45	0,09	0,55	0,11	0,10

Os gráficos obtidos pelos pares de valores (quantidade de água absorvida por área, tempo) para os provetes de betão podem ser vistos nas Figura 5.15, Figura 5.16 e Figura 5.17.

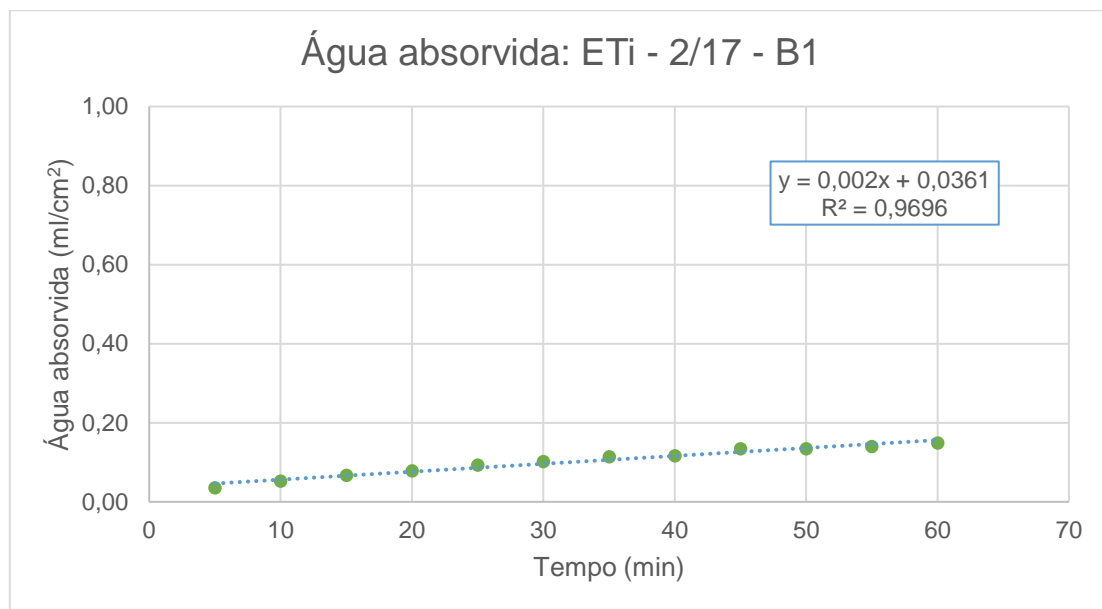


Figura 5.15 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B1.

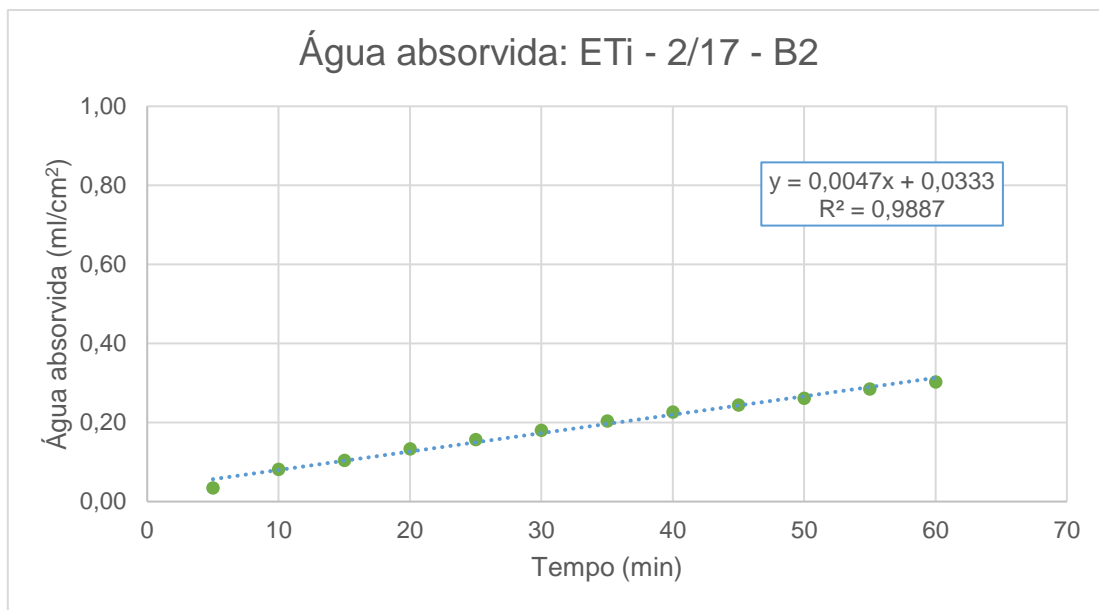


Figura 5.16 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B2.

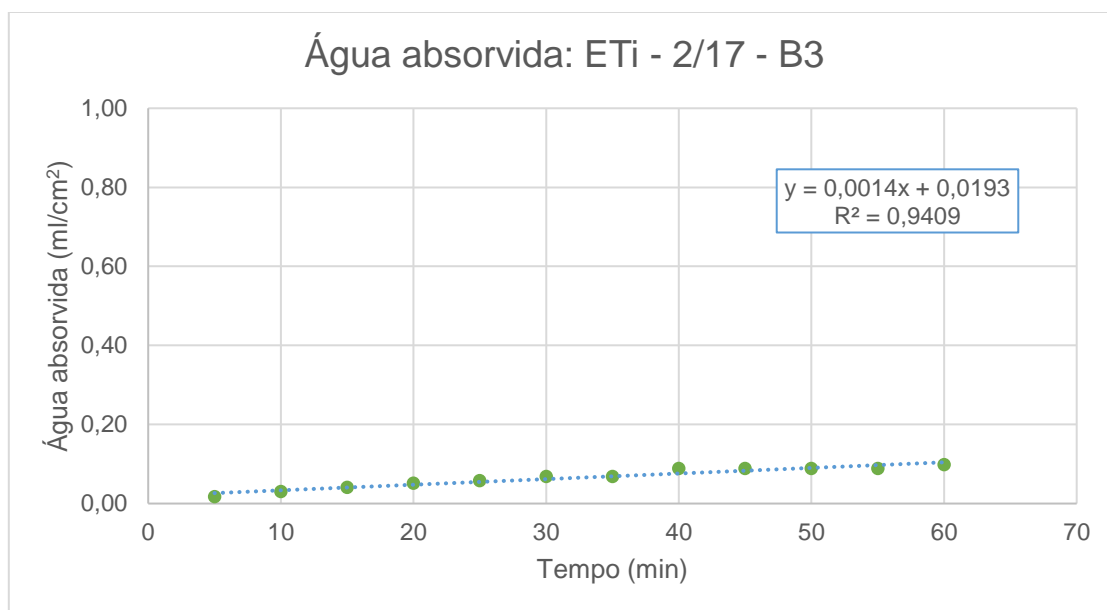


Figura 5.17 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de betão ETi - 2/17 - B3.

Os registos da quantidade de água em função do tempo, bem como os valores médios da quantidade de água absorvida por unidade de área, em ml/cm², para os provetes de argamassa em tijolo cerâmico encontram-se nas Tabela 5.24, Tabela 5.25 e Tabela 5.26.

Tabela 5.24 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 7.

ETi - 2/17 - 7							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	2,7		2,7		2,7		
Área (cm ²)	5,73		5,73		5,73		
Tempo (min)	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	
5	0,90	0,16	1,10	0,19	1,00	0,17	0,17
10	1,30	0,23	1,60	0,28	1,50	0,26	0,26
15	1,50	0,26	1,90	0,33	1,70	0,30	0,30
20	1,70	0,30	2,10	0,37	1,90	0,33	0,33
25	1,80	0,31	2,30	0,40	2,00	0,35	0,36
30	2,00	0,35	2,50	0,44	2,20	0,38	0,39
35	2,10	0,37	2,60	0,45	2,30	0,40	0,41
40	2,20	0,38	2,70	0,47	2,40	0,42	0,42
45	2,30	0,40	2,80	0,49	2,50	0,44	0,44
50	2,40	0,42	2,90	0,51	2,50	0,44	0,45
55	2,50	0,44	3,00	0,52	2,60	0,45	0,47
60	2,60	0,45	3,10	0,54	2,70	0,47	0,49

Tabela 5.25 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 8.

ETi - 2/17 - 8							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	2,7		2,7		-		
Área (cm ²)	5,73		5,73		-		
Tempo (min)	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	
5	0,80	0,14	0,90	0,16	-	-	0,15
10	1,10	0,19	1,30	0,23	-	-	0,21
15	1,40	0,24	1,50	0,26	-	-	0,25
20	1,60	0,28	1,70	0,30	-	-	0,29
25	1,80	0,31	1,90	0,33	-	-	0,32
30	1,90	0,33	2,00	0,35	-	-	0,34
35	2,10	0,37	2,10	0,37	-	-	0,37
40	2,20	0,38	2,30	0,40	-	-	0,39

45	2,30	0,40	2,40	0,42	-	-	0,41
50	2,50	0,44	2,50	0,44	-	-	0,44
55	2,60	0,45	2,60	0,45	-	-	0,45
60	2,70	0,47	2,70	0,47	-	-	0,47

Tabela 5.26 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 9.

ETi - 2/17 - 9							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	-		2,5		2,5		
Área (cm ²)	-		4,91		4,91		
Tempo (min)	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	
5	-	-	1,60	0,33	1,40	0,29	0,31
10	-	-	2,30	0,47	1,90	0,39	0,43
15	-	-	2,70	0,55	2,10	0,43	0,49
20	-	-	2,90	0,59	2,30	0,47	0,53
25	-	-	3,10	0,63	2,50	0,51	0,57
30	-	-	3,30	0,67	2,60	0,53	0,60
35	-	-	3,40	0,69	2,70	0,55	0,62
40	-	-	3,50	0,71	2,80	0,57	0,64
45	-	-	3,60	0,73	2,90	0,59	0,66
50	-	-	3,70	0,75	2,90	0,59	0,67
55	-	-	3,80	0,77	3,00	0,61	0,69
60	-	-	3,90	0,79	3,10	0,63	0,71

Os gráficos obtidos pelos pares de valores (quantidade de água absorvida por área, tempo) para os provetes de argamassa em tijolo cerâmico podem ser vistos nas Figura 5.18, Figura 5.19 e Figura 5.20.

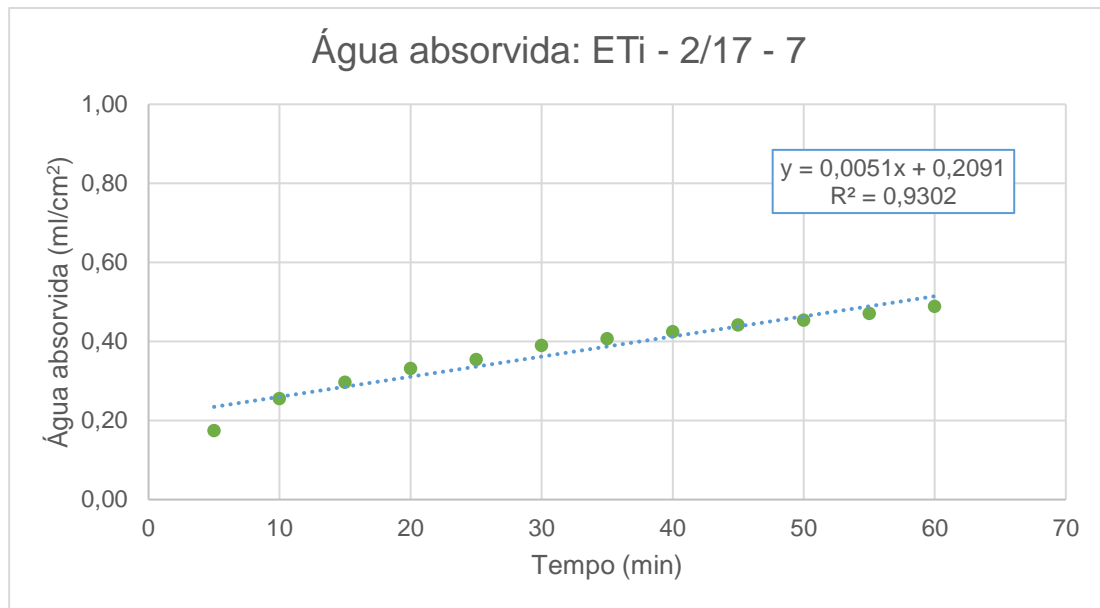


Figura 5.18 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 7.

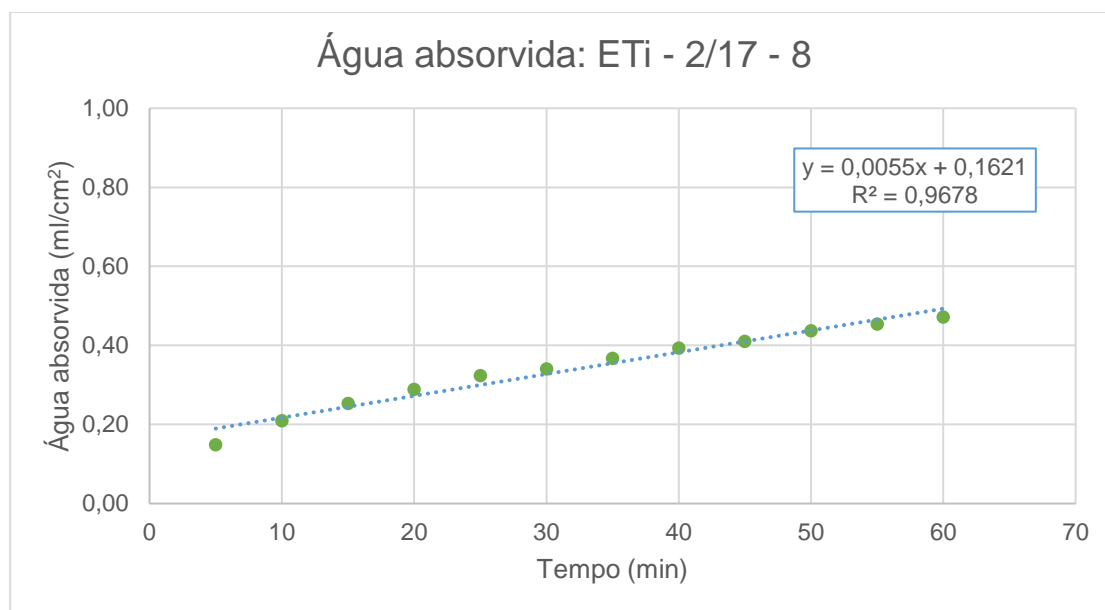


Figura 5.19 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 8.

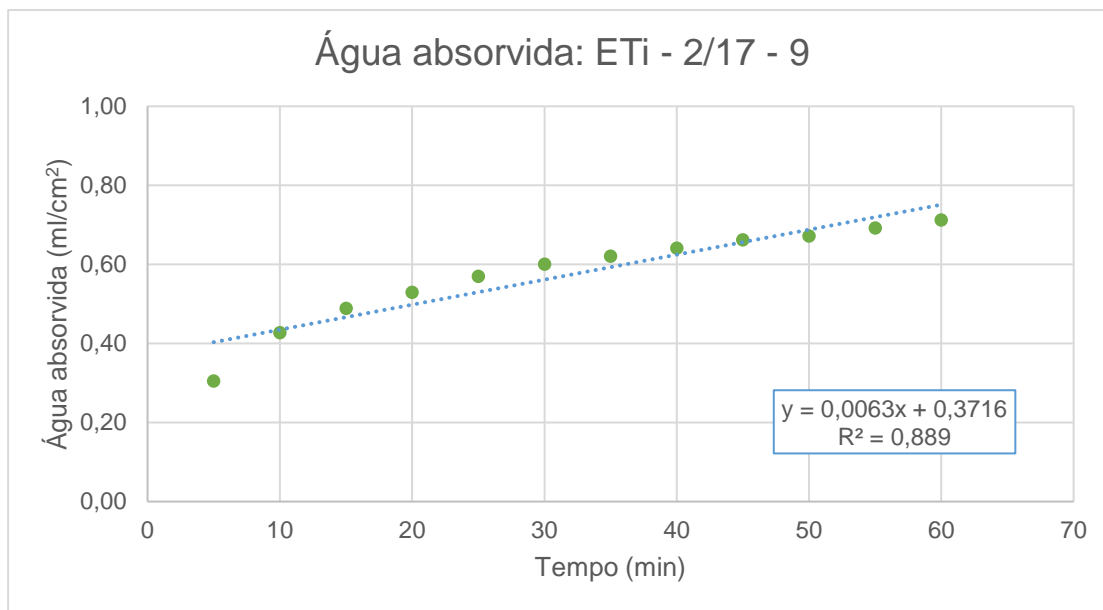


Figura 5.20 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em tijolo ETi - 2/17 - 9.

Os registos da quantidade de água em função do tempo, bem como os valores médios da quantidade de água absorvida por unidade de área, em ml/cm², para os provetes de argamassa em betão encontram-se nas Tabela 5.27, Tabela 5.28 e Tabela 5.29.

Tabela 5.27 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B7.

ETi - 2/17 - B7							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	2,7		2,7		-		
Área (cm ²)	5,73		5,73		-		
Tempo (min)	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	
5	0,60	0,10	0,40	0,07	-	-	0,09
10	0,80	0,14	0,60	0,10	-	-	0,12
15	0,90	0,16	0,70	0,12	-	-	0,14
20	0,90	0,16	0,80	0,14	-	-	0,15
25	1,00	0,17	0,90	0,16	-	-	0,17
30	1,10	0,19	1,00	0,17	-	-	0,18
35	1,20	0,21	1,05	0,18	-	-	0,20
40	1,30	0,23	1,10	0,19	-	-	0,21
45	1,30	0,23	1,20	0,21	-	-	0,22

50	1,40	0,24	1,25	0,22	-	-	0,23
55	1,50	0,26	1,30	0,23	-	-	0,24
60	1,50	0,26	1,40	0,24	-	-	0,25

O Tubo 3 do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B7 vazou, por isso não pôde ser contabilizado.

Tabela 5.28 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B8.

ETi - 2/17 - B8							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	2,7		2,7		2,7		
Área (cm ²)	5,73		5,73		5,73		
Tempo (min)	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	
5	0,20	0,03	0,30	0,05	0,50	0,09	0,04
10	0,30	0,05	0,40	0,07	0,70	0,12	0,06
15	0,30	0,05	0,50	0,09	0,70	0,12	0,07
20	0,40	0,07	0,60	0,10	0,80	0,14	0,09
25	0,40	0,07	0,70	0,12	0,90	0,16	0,10
30	0,40	0,07	0,70	0,12	1,00	0,17	0,10
35	0,40	0,07	0,80	0,14	1,00	0,17	0,10
40	0,50	0,09	0,80	0,14	1,10	0,19	0,11
45	0,55	0,10	0,90	0,16	1,15	0,20	0,13
50	0,60	0,10	0,90	0,16	1,20	0,21	0,13
55	0,60	0,10	1,00	0,17	1,30	0,23	0,14
60	0,70	0,12	1,00	0,17	1,30	0,23	0,15

Tabela 5.29 - Quantidade de água absorvida em função de determinado intervalo de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B9.

ETi - 2/17 - B9							
	Tubo 1		Tubo 2		Tubo 3		W _i média (ml/cm ²)
φ (cm)	2,5		2,5		2,5		
Área (cm ²)	4,91		4,91		4,91		
Tempo (min)	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	ml	ml/cm ²	
5	0,50	0,10	0,60	0,12	0,50	0,10	0,11
10	0,80	0,16	0,90	0,18	0,70	0,14	0,17
15	1,00	0,20	1,10	0,22	0,90	0,18	0,21
20	1,10	0,22	1,20	0,24	1,00	0,20	0,23
25	1,20	0,24	1,30	0,26	1,10	0,22	0,25
30	1,30	0,26	1,40	0,29	1,20	0,24	0,28
35	1,30	0,26	1,50	0,31	1,20	0,24	0,29
40	1,40	0,29	1,60	0,33	1,30	0,26	0,31
45	1,50	0,31	1,60	0,33	1,40	0,29	0,32
50	1,50	0,31	1,70	0,35	1,50	0,31	0,33
55	1,60	0,33	1,80	0,37	1,50	0,31	0,35
60	1,60	0,33	1,80	0,37	1,50	0,31	0,35

Os gráficos obtidos pelos pares de valores (quantidade de água absorvida por área, tempo) para os provetes de argamassa em betão podem ser vistos nas Figura 5.21, Figura 5.22 e Figura 5.23.

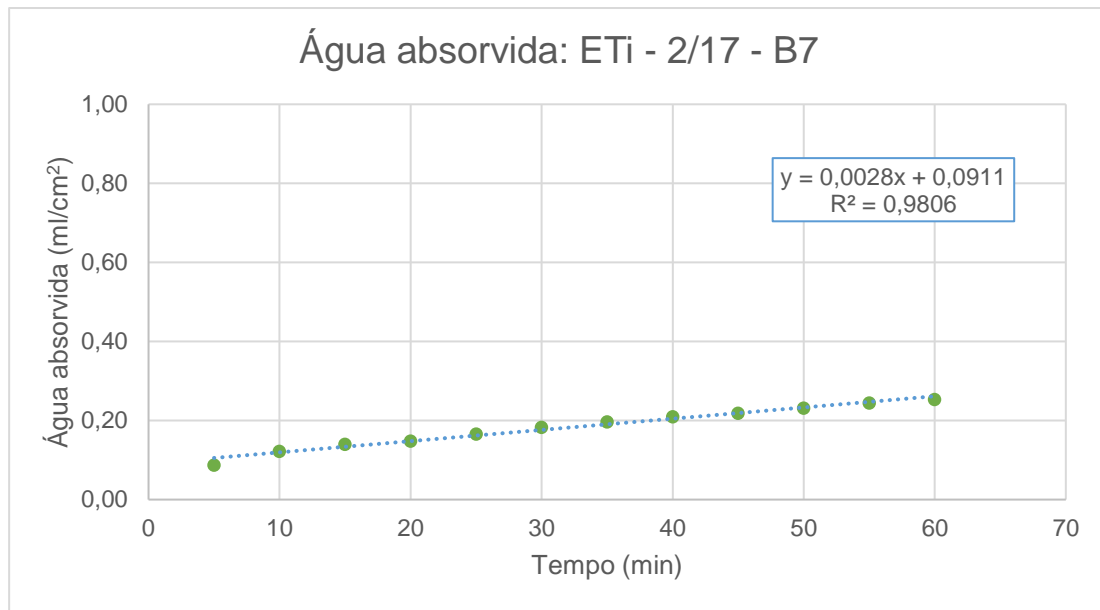


Figura 5.21 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B7.

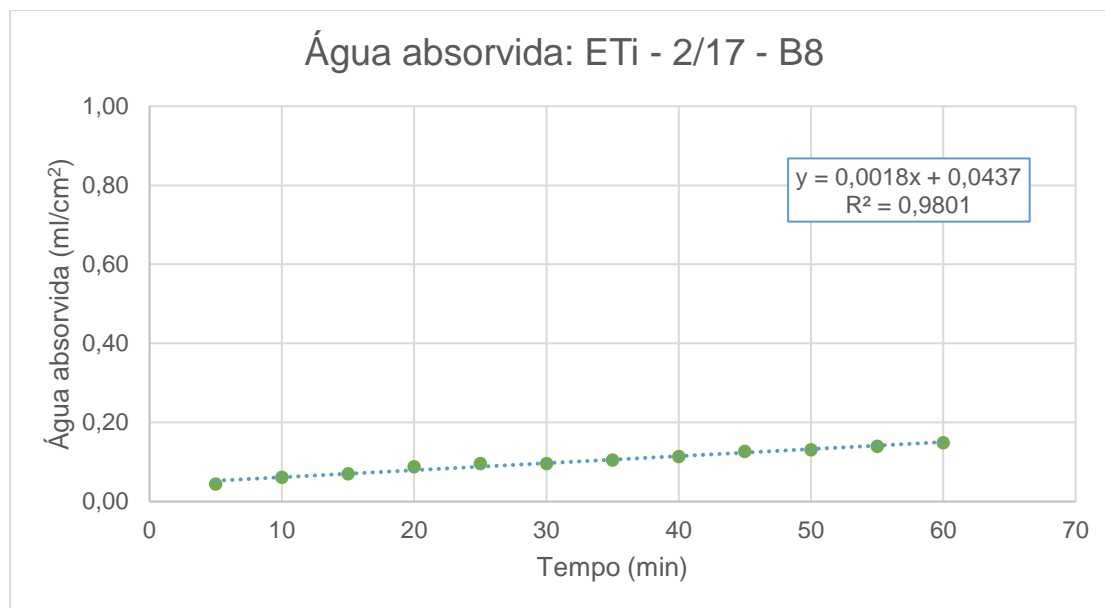


Figura 5.22 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B8.

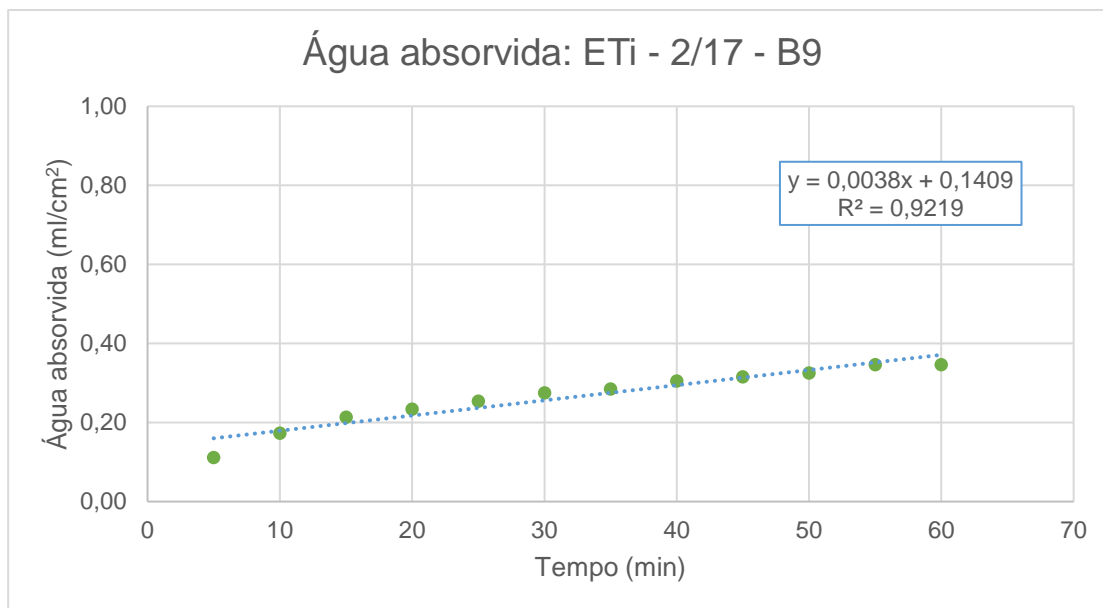


Figura 5.23 - Gráfico da quantidade de água absorvida por área em função de determinado período de tempo do provete de argamassa em betão ETi - 2/17 - B9.

De uma forma geral, podemos fazer uma análise global e comparativa dos resultados deste ensaio através da Tabela 5.30.

Tabela 5.30 - Valores da quantidade de água absorvida por área em função de determinado intervalo de tempo em diferentes provetes e respetivas média e desvio-padrão.

	Provetes	W _i (ml/cm ²) em 60 min	Média	Desvio-padrão
Suporte de tijolo	ETi - 2/17 - 1	0,40	0,40	0,06
	ETi - 2/17 - 2	0,36		
	ETi - 2/17 - 3	0,47		
Suporte de betão	ETi - 2/17 - B1	0,15	0,15	0,11
	ETi - 2/17 - B2	0,30		
	ETi - 2/17 - B3	0,10		
Argamassa em tijolo	ETi - 2/17 - 7	0,49	0,49	0,13
	ETi - 2/17 - 8	0,47		
	ETi - 2/17 - 9	0,71		
Argamassa em betão	ETi - 2/17 - B7	0,25	0,25	0,10
	ETi - 2/17 - B8	0,15		
	ETi - 2/17 - B9	0,35		

Através da análise da Tabela 5.30, fica claro que a quantidade de água absorvida por área em função de determinado tempo (W_i), quando comparada entre os suportes, é superior no tijolo cerâmico. Este facto pode dever-se à porosidade do tijolo cerâmico.

No caso das argamassas, é notório que a argamassa aplicada em tijolo cerâmico tem um valor de quantidade de água absorvida por área em função de determinado tempo (W_i) muito superior ao da argamassa aplicada em betão. Logo, o suporte parece influenciar a capacidade de absorção de água da argamassa de colagem endurecida quando aplicada em diferentes suportes.

5.5. Medição com humidímetro portátil

O procedimento deste ensaio, descrito no ponto 4.3.5, é bastante simples. O valor lido pelo aparelho, corresponde ao valor do teor de humidade superficial, em percentagem. Esses valores, para cada provete, foram registados e procedeu-se ao cálculo da respetiva média e desvio-padrão, como indicado na Tabela 5.31.

Tabela 5.31 - Valores do teor de humidade superficial de cada provete e respetivas médias e desvio-padrão.

	Provetes	Medição	Média	Desvio-padrão
Suporte de tijolo	ETi-2/17-4	0,00%	0,03%	0,06%
	ETi-2/17-5	0,00%		
	ETi-2/17-6	0,10%		
Suporte de betão	ETi-2/17-B4	4,40%	4,30%	0,26%
	ETi-2/17-B5	4,50%		
	ETi-2/17-B6	4,00%		
Argamassa em tijolo	ETi-2/17-7	0,00%	0,07%	0,12%
	ETi-2/17-8	0,20%		
	ETi-2/17-9	0,00%		
Argamassa em betão	ETi-2/17-B7	0,20%	0,20%	0,20%
	ETi-2/17-B8	0,40%		
	ETi-2/17-B9	0,00%		

Numa primeira análise da Tabela 5.31, verifica-se que o provete de betão apresenta um teor de humidade superficial bastante superior a qualquer outro tipo de provete. Este facto pode dever-se à presença natural de água que faz parte da

constituição do betão. Sendo o tijolo cerâmico mais poroso, e estando em ambiente de temperatura e humidade controladas, é natural que os valores de teor de humidade sejam muito próximo de zero, pois não é um material que apresente água na sua constituição.

Numa análise mais profunda, sobretudo sobre os provetes com argamassa, os valores são, em ambos os casos, muito próximos de zero. Porém, e por observação da média em conjunto com o desvio-padrão e com os valores obtidos em cada provete, é possível verificar que a argamassa em tijolo cerâmico tem uma tendência ligeira para apresentar um teor de humidade superficial mais próximo de zero.

5.6. Determinação da porosidade aberta e das massas volúmica aparente e real

Através do ensaio descrito em 4.3.6, foi possível registar o valor da massa de cada provete seco (m_d), o valor da massa de cada provete saturado imerso (pesagem hidrostática) (m_h) e o valor da massa de cada provete saturado (m_s).

Com os resultados obtidos do ensaio, foi possível calcular a porosidade aberta de cada provete (P_0), a massa volúmica aparente (ρ_b) e a massa volúmica real (ρ_r) através das seguintes equações:

$$P_0 = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100 \quad (5)$$

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \rho_{rh} \quad (6)$$

$$\rho_r = \frac{m_d}{m_d - m_h} \times \rho_{rh} \quad (7)$$

Pela equação (5) pode-se verificar que o resultado da porosidade aberta é dado em percentagem e que nas equações (6) e (7), ρ_{rh} é a massa volúmica da água e tem o valor de 997 kg/m³.

De seguida, calculou-se a média e o desvio-padrão para cada tipo de provete. Foram analisados 3 provetes de tijolo cerâmico, 3 provetes de betão, 3 provetes de argamassa em tijolo cerâmico e 3 provetes de argamassa em betão.

Os resultados referentes aos provetes de tijolo cerâmico são apresentados na Tabela 5.32.

Tabela 5.32 - Valores da porosidade aberta, massa volúmica aparente e massa volúmica real de provetes de tijolo cerâmico.

Provetes	Pesagem a seco	Pesagem após 24h vácuo + 24h imersão		Cálculos		
		Imersa	Saturada	P ₀ (%)	ρ _b (kg/m ³)	ρ _r (kg/m ³)
	m _d (g)	m _h (g)	m _s (g)			
ETi-2/17-1-A	51,71	32,14	57,28	22,16%	2 050,71	2 634,38
ETi-2/17-2-A	36,42	22,68	40,42	22,55%	2 046,83	2 642,70
ETi-2/17-3-A	36,22	22,54	40,10	22,10%	2 056,45	2 639,72
Valores médios				22,27%	2051,33	2638,93
Desvio-padrão				0,25%	4,84	4,22

Os resultados referentes aos provetes de betão são apresentados na Tabela 5.33.

Tabela 5.33 - Valores da porosidade aberta, massa volúmica aparente e massa volúmica real de provetes de betão.

Provetes	Pesagem a seco	Pesagem após 24h vácuo + 24h imersão		Cálculos		
		Imersa	Saturada	P ₀ (%)	ρ _b (kg/m ³)	ρ _r (kg/m ³)
	m _d (g)	m _h (g)	m _s (g)			
ETi-2/17-B1-A	655,77	399,89	683,68	9,83%	2 303,83	2 555,11
ETi-2/17-B2-A	531,96	324,51	556,89	10,73%	2 282,31	2 556,59
ETi-2/17-B3-A	406,49	247,52	423,85	9,85%	2 298,36	2 549,35
Valores médios				10,14%	2 294,83	2 553,68
Desvio-padrão				0,51%	11,18	3,82

Os resultados referentes aos provetes de argamassa em tijolo cerâmico estão apresentados na Tabela 5.34

Tabela 5.34 - Valores da porosidade aberta, massa volúmica aparente e massa volúmica real de provetes de argamassa em tijolo cerâmico.

Provetes	Pesagem a seco	Pesagem após 24h vácuo + 24h imersão		Cálculos		
		Imersa	Saturada	P ₀ (%)	ρ _b (kg/m ³)	ρ _r (kg/m ³)
	m _d (g)	m _h (g)	m _s (g)			
ETi-2/17-10	8,42	4,34	10,44	33,11%	1 376,19	2 057,53
ETi-2/17-11	28,32	14,74	34,88	32,57%	1 401,94	2 079,16
ETi-2/17-12	32,21	16,80	38,96	30,46%	1 449,16	2 083,93
Valores médios				32,05%	1 409,09	2 073,54
Desvio-padrão				1,40%	37,01	14,07

Os resultados referentes aos provetes de argamassa em betão estão apresentados na Tabela 5.35.

Tabela 5.35 - Valores da porosidade aberta, massa volúmica aparente e massa volúmica real de provetes de argamassa em betão.

Provetes	Pesagem a seco	Pesagem após 24h vácuo + 24h imersão		Cálculos		
		Imersa	Saturada	P ₀ (%)	ρ _b (kg/m ³)	ρ _r (kg/m ³)
	m _d (g)	m _h (g)	m _s (g)			
ETi-2/17-B10	16,15	8,06	19,93	31,84%	1 356,49	1 990,30
ETi-2/17-B11	13,20	6,64	16,44	33,06%	1 342,90	2 006,16
ETi-2/17-B12	11,41	5,83	13,98	31,53%	1 395,80	2 038,67
Valores médios				32,15%	1 365,06	2 011,71
Desvio-padrão				0,81%	27,47	24,66

Pela análise da Tabela 5.36, em que se pode ver os valores médios da porosidade aberta, da massa volúmica aparente e da massa volúmica real de cada tipo de provete, constata-se que o tijolo cerâmico apresenta uma porosidade superior ao betão. Naturalmente, e como já se sabia antes, o tijolo cerâmico é mais poroso que o betão, apresentando cerca do dobro da porosidade.

Tabela 5.36 - Valores médios da porosidade aberta, da massa volúmica aparente e da massa volúmica real de cada tipo de provete e respetivos desvios-padrão.

Provete	Valores médios			Desvio-padrão		
	P ₀ (%)	ρ _b (kg/m ³)	ρ _r (kg/m ³)	P ₀ (%)	ρ _b (kg/m ³)	ρ _r (kg/m ³)
Tijolo	22,27%	2 051,33	2 638,93	0,25%	4,84	4,22
Betão	10,14%	2 294,83	2 553,68	0,51%	11,18	3,82
Argamassa em tijolo	32,05%	1 409,09	2 073,54	1,40%	37,01	14,07
Argamassa em betão	32,15%	1 365,06	2 011,71	0,81%	27,47	24,66

É possível verificar que os valores da massa volúmica aparente da argamassa endurecida aplicada tanto em tijolo cerâmico como em betão são superiores ao valor da massa volúmica aparente em pasta, calculada em 5.2, cujo valor médio é 1324 kg/m³. Esta diferença pode dever-se à presença de vestígios de tijolo cerâmico e de betão nas amostras de argamassa.

Relativamente aos valores da massa volúmica aparente e real dos dois tipos de suportes (tijolo cerâmico e betão), podemos verificar que o tijolo cerâmico sem vazios tem maior massa volúmica real que o betão. Contudo, e visto que o tijolo cerâmico apresenta maior porosidade que o betão, a sua massa volúmica aparente é inferior à do betão, precisamente pelo volume que os seus poros ocupam.

No que diz respeito à argamassa de colagem, parece que o suporte não causa grande influência quer na porosidade da argamassa, quer nas massas volúmicas aparente e real. Mesmo em termos dos valores do desvio-padrão, que são relativamente próximos, não há uma diferença significativa que levante questões sobre a eventualidade do suporte poder influenciar quer a porosidade, quer as massas volúmicas aparente e real.

5.7. Determinação do teor de humidade

De acordo com o descrito no ponto 4.3.7, após este ensaio são obtidas as pesagens dos provetes, a cada 24 h, quando inseridos numa estufa ventilada, e, claro, antes de se iniciar o ensaio.

Foram ensaiados 3 provetes de tijolo cerâmico, 3 provetes de betão, 3 provetes de argamassa em tijolo cerâmico e 3 provetes de argamassa em betão.

Na Tabela 5.37 estão os valores das pesagens, com intervalos a cada 24 h.

Tabela 5.37 - Valores das pesagens dos provetes antes de se iniciar o ensaio e a cada 24h após colocação em estufa ventilada.

Provetes		Pesagem antes da estufa (g)	Pesagem a cada 24 h (g)			
		0 h	24 h	48 h	72 h	96 h
		m (g)	m _{d1} (g)	m _{d2} (g)	m _{d3} (g)	m _{d4} (g)
Tijolo	ETi-2/17-1-B	45,85	45,73	45,72	45,72	45,72
	ETi-2/17-2-B	34,95	34,84	34,84	34,84	34,84
	ETi-2/17-3-B	38,77	38,65	38,65	38,65	38,65
Betão	ETi-2/17-B1-B	611,87	601,75	601,50	601,48	601,43
	ETi-2/17-B2-B	533,51	524,88	524,68	524,64	524,58
	ETi-2/17-B3-B	490,48	481,38	481,24	481,18	481,13
Argamassa em tijolo	ETi-2/17-13	27,65	27,33	27,31	27,23	27,23
	ETi-2/17-14	26,57	26,23	26,21	26,16	26,16
	ETi-2/17-15	27,87	27,54	27,50	27,50	27,48
Argamassa em betão	ETi-2/17-B13	49,32	48,68	48,64	48,60	48,58
	ETi-2/17-B14	26,69	26,33	26,32	26,28	26,27
	ETi-2/17-B15	42,57	42,00	41,96	41,92	41,88

Após o registo das pesagens sucessivas, e assim que os valores estabilizaram, como descrito no ponto 4.3.7, calculou-se o teor de água (w) total perdido de cada provete, em percentagem, através da equação (8):

$$w = \frac{m - m_d}{m_d} \times 100 \quad (8)$$

Em que m é o valor da massa de cada provete antes de ser introduzido na estufa e m_d é o valor da massa de cada provete seco registado no fim do ensaio, neste caso, ao fim de 96 h.

Na Tabela 5.38, estão indicados os valores referentes ao teor de humidade total perdido, por provete, e a respetiva média e desvio-padrão para cada tipo de provete.

Tabela 5.38 - Valores do teor de humidade total perdido em cada provete, e respetivas médias e desvios-padrão.

Provetes		Teor humidade total perdido		
		w	Média	Desvio-padrão
Tijolo	ETi-2/17-1-B	0,28%	0,30%	0,02%
	ETi-2/17-2-B	0,32%		
	ETi-2/17-3-B	0,31%		
Betão	ETi-2/17-B1-B	1,74%	1,79%	0,13%
	ETi-2/17-B2-B	1,70%		
	ETi-2/17-B3-B	1,94%		
Argamassa em tijolo	ETi-2/17-13	1,54%	1,51%	0,08%
	ETi-2/17-14	1,57%		
	ETi-2/17-15	1,42%		
Argamassa em betão	ETi-2/17-B13	1,52%	1,59%	0,06%
	ETi-2/17-B14	1,60%		
	ETi-2/17-B15	1,65%		

Pela análise da Tabela 5.38, comprova-se que o betão apresenta um teor de humidade superior ao tijolo cerâmico, o que é natural uma vez que o betão apresenta água na sua constituição, e é higroscópico, e o tijolo cerâmico é mais poroso, não retendo tanta água no seu interior.

Relativamente ao teor de humidade da argamassa, quando aplicada em tijolo cerâmico ou em betão, é possível verificar uma diferença, embora que pequena. Porém, e sobretudo pelo valor muito baixo do desvio-padrão dos dois tipos de provetes de argamassa, conclui-se que o teor de humidade da argamassa parece ser ligeiramente influenciado pelo suporte.

5.8. Determinação do coeficiente de capilaridade de suportes para ensaios de aderência

Como referido no ponto 4.3.8, os provetes referentes ao tijolo cerâmico e ao betão provenientes do ensaio anterior foram usados neste ensaio porque o primeiro passo foi a secagem dos provetes até massa constante, passo que foi concluído no ensaio descrito em 4.3.7.

Uma vez que este ensaio tem o intuito de estudar a capilaridade de suportes, e conseqüentemente a eventual força da ligação sistema – suporte, apenas foram ensaiados 3 provetes de tijolo cerâmico e 3 provetes de betão.

Os valores da massa inicial de cada provete (M_0), dizem respeito à massa dos provetes após a sua secagem em estufa ventilada a 105°C até massa constante, portanto, quando terminado o ensaio descrito em 4.3.7.

Após o contacto da face dos provetes com a água, durante o intervalo de tempo de 60 segundos, como descrito em 4.3.7, efetuou-se a pesagem de cada provete de modo a ler-se o valor da massa do provete (M_i).

O coeficiente de absorção de água por capilaridade, (C), foi obtido através da equação (9):

$$C = \frac{M_i - M_0}{A_f \cdot \sqrt{T_i}} \quad (9)$$

Em que A_f é o valor da área da face imersa do provete e T_i é o intervalo de tempo, em segundos.

Na Tabela 5.39 e na Tabela 5.40, encontram-se os valores registados para cada provete de tijolo cerâmico e de betão de M_0 e M_i , assim como o cálculo do coeficiente de capilaridade e respetiva média e desvio-padrão.

Tabela 5.39 - Valores do coeficiente de capilaridade e respetiva média e desvio-padrão dos provetes de tijolo cerâmico.

Provetes de tijolo	M_0 (g)	M_i (g)	A_f (mm ²)	T_i (s)	C [g/(m ² .s ^{1/2})]
ETi-2/17-1-B	45,71	48,33	2 700,00	60	125,27
ETi-2/17-2-B	34,84	36,96	2 375,00	60	115,24
ETi-2/17-3-B	38,65	40,87	2 415,00	60	118,68
Média					119,73
Desvio-padrão					5,10

Tabela 5.40 - Valores do coeficiente de capilaridade e respetiva média e desvio-padrão dos provetes de betão.

Provetes de betão	M ₀ (g)	M _i (g)	A _f (mm ²)	T _i (s)	C [g/(m ² .s ^{1/2})]
ETi-2/17-B1-B	601,39	604,78	4 550,00	60	96,19
ETi-2/17-B2-B	524,52	527,69	4 760,00	60	85,98
ETi-2/17-B3-B	481,11	483,49	3 696,00	60	83,13
Média					88,43
Desvio-padrão					6,86

Pela observação dos valores do coeficiente de capilaridade nas Tabela 5.39 e Tabela 5.40, verifica-se que este é maior no tijolo cerâmico, o que é natural tendo em conta a sua porosidade.

5.9. Determinação da aderência ao suporte do revestimento

Através do descrito no ponto 4.3.9, fez-se o registo do diâmetro das pastilhas metálicas (φ), para cálculo da área através da equação (10), e o registo da força de arrancamento do aparelho (F_a), para cálculo da força de arrancamento corrigida (F_c) indicada na equação (11). A necessidade de corrigir a força de arrancamento está ligada ao aparelho em si, que refere a necessidade de se aplicar a correção referida.

$$A = \pi \cdot (\varphi/2)^2 \quad (10)$$

$$F_c = 0,99102 \times F_a - 0,0218 \quad (11)$$

Para além dos cálculos da área e da força de arrancamento, calculou-se a tensão de rotura, pela equação (12).

$$\sigma = \frac{F_c}{A} \quad (12)$$

Foi também observado e registado o modo de rotura, com o intuito de analisar onde ocorre a rotura do provete. Pela Tabela 5.41 é possível ver os diferentes modos de rotura que um provete pode apresentar.

Tabela 5.41 - Modos de rotura.

Rotura A	Rotura Adesiva (no plano do revestimento - suporte)
Rotura B	Rotura Coesiva (no seio da argamassa)
Rotura C	Rotura Coesiva (no seio do suporte)
Rotura D	Rotura pela cola

Nas tabelas de resultados, foram apresentados também os valores mínimos exigidos pelo EAD [1].

Na Tabela 5.42 estão apresentados os resultados referentes a provetes ensaiados a seco.

Na Tabela 5.43 é possível analisar os resultados relativos aos provetes que estiveram sujeitos a condições de imersão durante 48 h e 2 h de secagem.

Na Tabela 5.44 são apresentados os resultados referentes aos provetes que estiveram sujeitos a condições de imersão durante 48 h e 7 dias de secagem.

Tabela 5.42 - Resultados do ensaio de aderência para provetes em condições de aderência a seco.

Provete	Carote			Força arrancamento (N)		Modo de rotura	Tensão (N/mm ²)	Valores mínimos EAD (N/mm ²)
	Nº	Φ (mm)	A (mm ²)	Aparelho	Corrigida			
ETi-2/17-16 (Aderência da argamassa ao tijolo)	1	50	1 963,50	2 000,00	1 982,02	A	1,01	0,25
	2	50	1 963,50	2 000,00	1 982,02	A	1,01	0,25
	3	50	1 963,50	2 550,00	2 527,08	A	1,29	0,25
	4	50	1 963,50	1 950,00	1 932,47	A	0,98	0,25
	5	50	1 963,50	2 300,00	2 279,32	A	1,16	0,25
ETi-2/17-B16 (Aderência da argamassa ao betão)	1	50	1 963,50	2 700,00	2 675,73	C	1,36	0,25
	2	50	1 963,50	3 150,00	3 121,69	C	1,59	0,25
	3	50	1 963,50	3 300,00	3 270,34	C	1,67	0,25
	4	50	1 963,50	2 650,00	2 626,18	B	1,34	0,25
	5	50	1 963,50	3 200,00	3 171,24	B/C	1,62	0,25

Na Tabela 5.42 é possível verificar que os modos de rotura dos dois suportes são diferentes, quando ensaiados a seco. No tijolo cerâmico a rotura acontece no plano de revestimento – suporte, indicando uma rotura adesiva, enquanto que no betão a rotura acontece predominantemente ao nível do suporte, tratando-se de uma rotura coesiva. Este resultado é bastante curioso porque indica que há uma aderência por parte da argamassa de colagem muito superior ao suporte de betão quando comparado com o tijolo cerâmico, que apresenta uma rotura ao nível do plano argamassa - suporte. Mesmo nas pastilhas colocadas no provete de betão em que foi verificado outro modo de rotura, este deu-se na argamassa e não do plano da argamassa – suporte. Pode-se observar também que os valores da tensão são superiores no betão, que indica que a argamassa tem uma aderência superior no betão, em condições a seco.

Conclui-se que a ligação suporte – argamassa é mais forte no betão, em condições a seco.

Contudo, também indica que o betão é fraco e, apesar de ter sido elaborado de acordo com o exigido pelo EAD [1], com uma composição que permitisse uma tensão mínima de 1,5 N/mm², há zonas do provete em que essa tensão não é verificada. Essa causa é atribuída à fase de elaboração do betão.

Tabela 5.43 - Resultados do ensaio de aderência após a imersão durante 48 h e secagem de 2 h dos provetes.

Proвете	Carote			Força arrancamento (N)		Modo de rotura	Tensão (N/mm ²)	Valores mínimos EAD (N/mm ²)
	Nº	φ (mm)	A (mm ²)	Aparelho	Corrigida			
ETi-2/17-17 (Aderência da argamassa ao tijolo)	1	50	1 963,50	200,00	198,18	B	0,10	0,08
	2	50	1 963,50	250,00	247,73	B	0,13	0,08
	3	50	1 963,50	200,00	198,18	B	0,10	0,08
	4	50	1 963,50	300,00	297,28	B	0,15	0,08
	5	50	1 963,50	150,00	148,63	B	0,08	0,08
ETi-2/17-B17 (Aderência da argamassa ao betão)	1	50	1 963,50	1 150,00	1 139,65	B	0,58	0,08
	2	50	1 963,50	1 000,00	991,00	B	0,50	0,08
	3	50	1 963,50	800,00	792,79	B	0,40	0,08
	4	50	1 963,50	1 000,00	991,00	B	0,50	0,08
	5	50	1 963,50	1 100,00	1 090,10	B	0,56	0,08

Na Tabela 5.43, que apresenta os resultados do ensaio de aderência (ver ponto 4.3.9) quando os provetes são imersos em água durante 48 h e secos durante 2 h, é

possível verificar que o modo de rotura nos dois tipos de provetes é bastante claro e semelhante: todos eles apresentam um modo de rotura coesiva no seio da argamassa.

Porém, a diferença está no valor das tensões de rotura. É possível verificar que os valores obtidos nos provetes de betão são muito superiores e que os valores da tensão de rotura nos provetes de tijolo cerâmico estão muito próximos dos mínimos exigidos pelo EAD [1].

Sendo o modo de rotura dos dois tipos de provetes igual, é possível aferir que a aderência da argamassa ao betão é bastante superior, quando comparada com a aderência ao tijolo cerâmico.

Tabela 5.44 - Resultados do ensaio de aderência após a imersão durante 48 h e secagem de 7 dias dos provetes.

Provete	Carote			Força arrancamento (N)		Modo de rotura	Tensão (N/mm ²)	Valores mínimos EAD (N/mm ²)
	Nº	Φ (mm)	A (mm ²)	Aparelho	Corrigida			
ETi-2/17-18 (Aderência da argamassa ao tijolo)	1	50	1 963,50	2 100,00	2 081,12	A/B	1,06	0,25
	2	50	1 963,50	1 850,00	1 833,37	A/B	0,93	0,25
	3	50	1 963,50	1 900,00	1 882,92	A/B	0,96	0,25
	4	50	1 963,50	1 900,00	1 882,92	A/B	0,96	0,25
	5	50	1 963,50	2 000,00	1 982,02	A/B	1,01	0,25
ETi-2/17-B18 (Aderência da argamassa ao betão)	1	50	1 963,50	600,00	594,59	D	0,30	0,25
	2	50	1 963,50	1 700,00	1 684,71	C	0,86	0,25
	3	50	1 963,50	1 000,00	991,00	B/D	0,50	0,25
	4	50	1 963,50	2 550,00	2 527,08	B	1,29	0,25
	5	50	1 963,50	1 250,00	1 238,75	B	0,63	0,25

Na Tabela 5.44, que mostra os resultados do ensaio de aderência (ver ponto 4.3.9) quando os provetes são imersos em água durante 48 h e secos durante 7 dias, é possível verificar que o modo de rotura dos provetes de tijolo cerâmico é uniforme, enquanto que no caso dos provetes de betão isso não se verifica.

Analisando os resultados do modo de rotura nos provetes de betão, é possível verificar que o modo de rotura da pastilha metálica 1 foi pela cola, logo esse resultado é descartado. Eliminou-se também desta análise o resultado da pastilha metálica 2 por apresentar um modo de rotura ao nível do suporte com um valor de tensão de rotura do betão inferior ao mínimo definido pelo o EAD [1], que deveria ser de 1,5 N/mm².

Relativamente aos restantes modos de rotura, podemos verificar que nos provetes de betão o predominante foi o B, rotura coesiva no seio da argamassa, embora com valores um pouco díspares. No caso do tijolo cerâmico, a rotura acontece no plano da argamassa de colagem – suporte.

Comparando os valores das tensões de rotura dos provetes de tijolo cerâmico com os valores das tensões de rotura das pastilhas metálicas 4 e 5, pode-se observar que os valores da tensão de rotura (apesar da disparidade entre os valores das pastilhas metálicas 4 e 5) não apresentam diferença significativa entre eles o que permite concluir que a ligação argamassa de colagem – suporte, é mais forte quando a argamassa é aplicada em betão, uma vez que a rotura dos provetes de tijolo cerâmico se dá essencialmente, ao nível do planos do revestimento (argamassa) – suporte.

5.10. Análise global

Os resultados obtidos pelo ensaio de aderência (ver ponto 5.9) são bastante claros: há uma influência por parte do suporte na ligação da argamassa de colagem ao suporte. A argamassa de colagem apresenta uma ligação mais forte a suportes de betão.

Através da análise dos outros ensaios é possível averiguar a causa dos resultados do ensaio de aderência, uma vez que os outros ensaios permitem caracterizar tanto os suportes como a argamassa quando aplicada em diferentes suportes e, conseqüentemente, a ligação suporte – argamassa de colagem.

De acordo com o quadro-resumo apresentado na Tabela 5.45, é possível ter uma visão geral dos resultados:

Tabela 5.45 - Quadro-resumo dos resultados dos ensaios. Legenda: (*) – resultado inconclusivo; (**) – ensaio não definido para o provete em questão.

	Tijolo	Betão	Argamassa em tijolo	Argamassa em betão
Ensaio de avaliação de características mecânicas por ultrassons	+ homogéneo	- homogéneo	(*)	(*)
Ensaio de absorção de água sob baixa pressão	+ quantidade de água	- quantidade de água	+ quantidade de água	- quantidade de água
Medição com humidímetro portátil	- teor de humidade superficial	+ teor de humidade superficial	- teor de humidade superficial	+ teor de humidade superficial
Determinação da porosidade aberta e das massas volúmica aparente e real	+ porosidade	- porosidade	= porosidade	= porosidade
Determinação do teor de humidade	- teor de humidade	+ teor de humidade	- teor de humidade (ligeiro)	+ teor de humidade (ligeiro)
Determinação do coeficiente de capilaridade de suportes para ensaios de aderência	+ capilaridade	- capilaridade	(**)	(**)
Determinação da aderência ao suporte do revestimento	(**)	(**)	- forte	+ forte

Relativamente aos suportes, pelos ensaios é possível reter a seguinte informação e, conseqüentemente, caracterizar os suportes:

- O tijolo cerâmico é mais homogéneo que o betão;
- O tijolo cerâmico absorve mais água que o betão;
- O tijolo cerâmico apresenta menor teor de água superficial que o betão;
- O tijolo cerâmico é mais poroso que o betão;
- O tijolo cerâmico apresenta menor teor de humidade que o betão;
- O tijolo cerâmico absorve mais água por capilaridade;
- O tijolo cerâmico concede uma aderência inferior à argamassa.

Quanto à argamassa, quando aplicada em tijolo cerâmico, pode-se concluir que:

- Absorve mais água;
- Apresenta menor teor de humidade superficial;
- Apresenta uma porosidade semelhante à argamassa aplicada em betão;

- Apresenta um teor de humidade ligeiramente inferior ao da argamassa aplicada em betão;
- Apresenta valores mais baixos de aderência ao suporte.

Conclui-se, portanto, que tanto a porosidade do suporte como a presença de água na sua constituição causam influência nas características da argamassa de colagem e, conseqüentemente, ao nível da ligação suporte – argamassa de colagem.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desempenho dos ETICS é avaliado segundo o EAD 040083-00-0404 [1] designado *External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Renderings*.

Contudo, no EAD [1], e no que toca ao suporte, apenas é analisado o desempenho relativo à aderência do produto de colagem ao suporte, sendo o suporte preconizado nesse documento o betão. Uma vez que estes sistemas são aplicados em inúmeras superfícies, tornou-se pertinente o ensaio do seu desempenho num suporte muito comum: o tijolo cerâmico. Por essa razão se definiu uma campanha experimental capaz de avaliar e comparar o desempenho do produto quando aplicado em betão (como definido no EAD [1]) e em tijolo cerâmico (um suporte muito comum).

Para além de avaliar o desempenho, foi possível, através da definição de uma campanha experimental extra EAD [1], caracterizar tanto os suportes como a argamassa quando aplicada nos dois tipos de suportes. As variáveis foram, portanto, os dois tipos de suportes: tijolo cerâmico e betão.

Como era de esperar, os dois tipos de suportes apresentam valores diferentes no ensaio de absorção de água sob baixa pressão (5.4), superiores no caso do tijolo cerâmico. A argamassa, quando aplicada em suportes diferentes, também apresentou uma absorção superior no suporte de tijolo cerâmico. Concluiu-se que o suporte influencia o desempenho à água da argamassa aplicada. Contudo, ao nível da porosidade, massas volúmicas e teor de humidade, o suporte parece não causar diferenças significativas na argamassa de colagem.

Através da campanha experimental foi possível verificar que o tijolo cerâmico, enquanto suporte, confere menor aderência da argamassa de colagem. Foi possível verificar que a porosidade do tijolo cerâmico, bem como a reduzida presença de água na sua constituição, contribuem para este estado.

Embora a ligação da argamassa de colagem ao suporte seja mais forte em suportes de betão, não parece que a ligação a suportes de tijolo cerâmico destes sistemas esteja comprometida, uma vez que cumpre os requisitos mínimos exigidos, sobretudo porque, como referido no subcapítulo 2.4, as anomalias mais comuns que se têm registado são causadas por fatores externos. Não foi verificado nenhum descolamento parcial ou total da argamassa e ao nível da fissuração da argamassa quando aplicada em suportes diferentes, não foi possível analisar esse aspeto uma vez que o ensaio de ultrassons foi inconclusivo.

Uma vez que o suporte causa influência ao nível da ligação suporte – sistema, assim como no desempenho à água da argamassa aplicada, sugere-se a realização de estudos que tenham como foco estas conclusões, sobretudo ao nível da patologia.

Assim, para avaliar o aparecimento de anomalias a longo prazo em sistemas aplicados em diferentes tipos de suportes, propõem-se os seguintes trabalhos futuros:

- Análise da ligação suporte – argamassa de colagem ao fim de um período do tempo (com 1 ano de idade e após 2 anos) para perceber a influência do suporte a longo prazo no surgimento de anomalias. Neste caso deve ser replicada a campanha experimental presente nesta dissertação para os provetes de tijolo cerâmico, de betão, de argamassa em tijolo cerâmico e argamassa em betão, mas realizada ao fim de 1 ano e 2 anos. Através da campanha experimental, permite-se a caracterização dos suportes, como foi feito na presente dissertação, replicando condições reais de aplicação dos sistemas ETICS, como o caso de edifícios já existentes, e aferir o surgimento de anomalias a longo prazo em sistemas aplicados em diferentes suportes, também eles envelhecidos ou não. Portanto, sugerem-se, como provetes a ensaiar, os seguintes:
 - suportes de tijolo cerâmico envelhecidos 1 ano;
 - suportes de tijolo cerâmico envelhecidos 2 anos;
 - suportes de betão envelhecidos 1 ano;
 - suportes de betão envelhecidos 2 anos;
 - argamassa de colagem em tijolo cerâmico envelhecida 1 ano;
 - argamassa de colagem em tijolo cerâmico envelhecida 2 anos;
 - argamassa de colagem em betão envelhecida 1 ano;
 - argamassa de colagem em betão envelhecida 2 anos;
 - argamassa de colagem em tijolo cerâmico envelhecida 1 ano, aplicada em tijolo cerâmico envelhecido 1 ano;
 - argamassa de colagem em tijolo cerâmico envelhecida 2 anos, aplicada em tijolo cerâmico envelhecido 2 anos;
 - argamassa de colagem em betão envelhecida 1 ano, aplicada em betão envelhecido 1 ano;
 - argamassa de colagem em betão envelhecida 2 anos, aplicada em betão envelhecido 2 anos.
- Análise da ligação suporte – argamassa de colagem em que as variáveis são outros tipos de suportes. Novamente, replicando toda a campanha experimental descrita neste documento, fazendo uma caracterização dos suportes, comparando com os valores presentes nesta dissertação, e comparando também o desempenho da argamassa ao nível da aderência.

- Estudo da influência do suporte na ligação argamassa de colagem - isolante térmico, sobretudo ao nível da aderência do isolante térmico à argamassa de colagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “EAD 040083-00-0404 External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Renderings.” European Organisation for Technical Assessment (EOTA), Brussels, 2020.
- [2] A. C. Bojan, A. G. Popa, and A. Puskas, “Alternative Solution for Thermal Rehabilitation of Buildings with Polystyrene Panels,” *Procedia Engineering*, vol. 181. Elsevier, pp. 712–717, 2017.
- [3] R. Dylewski and J. Adamczyk, “Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls,” *Building and Environment*, vol. 46, no. 12. Elsevier Ltd, pp. 2615–2623, 2011.
- [4] Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS (APFAC), “Argamassas e Isolamentos Térmicos,” *Expresso*, no. N.º 2265. Expresso, 2016.
- [5] “Decreto-Lei N.º 40/90 de 6 de Fevereiro,” *Diário da República*, vol. I Série, no. N.º 31. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Lisboa, pp. 490–504, 1990.
- [6] “Portaria N.º 349-B/2013 de 29 de novembro,” *Diário da República*, vol. 1.ª série, no. N.º 232. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Lisboa, pp. 18–29, 2013.
- [7] “Portaria N.º 349-D/2013 de 2 de dezembro,” *Diário da República*, vol. 1.ª série, no. N.º 233. Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social, Lisboa, pp. 40–73, 2013.
- [8] “Directiva 2010/31/UE de 19 de Maio de 2010,” *Jornal Oficial da União Europeia*, no. L 153. Parlamento Europeu e do Conselho, Bruxelas, pp. 13–35, 2010.
- [9] “Diretiva (UE) 2018/844 de 30 de maio de 2018,” *Jornal Oficial da União Europeia*, no. L 156. Parlamento Europeu e do Conselho, Bruxelas, pp. 75–91, 2018.
- [10] Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETIC (APFAC), “ETICS - Manual de Aplicação,” 2015. [Online]. Available: <https://www.apfac.pt/uploads/documentos/APFAC-MANUAL-DE-APLICACAO-ETICS-2015-LQ.pdf>. [Accessed: 12-Dec-2020].
- [11] “ETAG 004 - Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering.” European Organisation for Technical Assessment (EOTA), Brussels, 2013.
- [12] P. dos Santos and L. Matias, “ITE 50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios.” Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 2006.

- [13] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), “Curso Isolamento Térmico.” Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 1995.
- [14] M. do R. Veiga and S. Malanho, “Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes,” *Atas do APFAC 2010 - 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Lisboa, Portugal*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 2010.
- [15] “EAD 330196-00-0604 Plastic anchors for Fixing of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering.” European Organisation for Technical Assessment (EOTA), Brussels, 2016.
- [16] M. R. Veiga and C. Pina-Santos, “Revestimentos de isolamento térmico de fachada: Eficiência, durabilidade e comprovação de qualidade,” *Construção Magazine*, vol. 32. pp. 12–18, 2009.
- [17] S. Malanho, “Avaliação do desempenho de etics com acabamento de ladrilhos cerâmicos,” Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade de Aveiro, 2011.
- [18] B. Amaro, D. Saraiva, J. de Brito, and I. Flores-Colen, “Levantamento estatístico da inspeção, diagnóstico e reparação de ETICS em paredes,” *4º Congresso Português de Argamassas e ETICS*. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2012.
- [19] T. Lopes, “Fenómenos de pré-patologia em manutenção de edifícios,” Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) - Universidade do Porto, 2005.
- [20] L. F. T. T. de Sousa, “Durabilidade da Construção. Estimativa da Vida Útil - ETICS,” Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) - Universidade do Porto, 2010.
- [21] C. Fernandes, J. De Brito, and C. O. Cruz, “Architectural integration of ETICS in building rehabilitation,” *Journal of Building Engineering*, vol. 5. Elsevier, pp. 178–184, 2016.
- [22] “Regulamento (UE) N.º 305/2011 de 9 de março de 2011,” *Jornal Oficial da União Europeia*, no. L88. Parlamento Europeu e do Conselho, Bruxelas, pp. 5–43, 2011.
- [23] “Decreto-Lei N.º 130/2013 de 10 de setembro,” *Diário da República*, vol. I Série, no. N.º 174. Ministério da Economia, Lisboa, pp. 5664–5668, 2013.
- [24] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), “Documentos de Homologação (DH),” 2021. [Online]. Available: <http://www.lnec.pt/pt/servicos/apreciacao-de-produtos-e-sistemas-de-construcao/documentos-de-homologacao-dh/>. [Accessed: 27-May-2021].
- [25] Comissão Europeia, “A Marcação CE dos Produtos de Construção, Passo a Passo,” 2013. [Online]. Available:

- <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/12318?locale=en>. [Accessed: 27-May-2021].
- [26] União Europeia, “Avaliação da conformidade,” 2021. [Online]. Available: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/compliance/conformity-assessment/index_pt.htm. [Accessed: 27-May-2021].
- [27] European Organisation for Technical Assessment (EOTA), “ETAGs used as EAD,” 2020. [Online]. Available: <https://www.eota.eu/en-GB/content/etags-used-as-ead/26/>. [Accessed: 27-May-2021].
- [28] “Avaliação Técnica Europeia - ETA 18/0150,” 2018. [Online]. Available: https://www.pt.weber/files/pt/2019-05/ETA_sistema_webertherm_classic.pdf. [Accessed: 10-May-2021].
- [29] “EN 1015-3:1999/A2:2006 Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).” European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2006.
- [30] “EN 1015-2:1998/A1:2006 Methods of test for mortar masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars.” European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2006.
- [31] “Ficha técnica do Sistema webertherm classic (argamassa weber therm pro),” 2021. [Online]. Available: [https://www.pt.weber/files/pt/2021-05/Ficha Técnica sistema webertherm classic.pdf](https://www.pt.weber/files/pt/2021-05/Ficha_Técnica_sistema_webertherm_classic.pdf). [Accessed: 27-May-2021].
- [32] “NP EN 12504-4:2007 Ensaio do betão nas estruturas - Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultra-sons.” Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa, 2007.
- [33] “EN 16302:2013 Conservation of cultural heritage - Test methods - Measurement of water absorption by pipe method.” European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2013.
- [34] “NP EN 1936:2008 Métodos de ensaio para pedra natural - Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta.” Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa, 2008.
- [35] “EN ISO 12570:2000/A1:2013 Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of moisture content by drying at elevated temperature.” European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2013.
- [36] “NP EN 1097-5:2011 Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 5: Determinação do teor de água por secagem em estufa ventilada.” Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa, 2011.
- [37] “EN 772-11:2011 Methods of test for masonry units - Part 11: Determination of

water absorption of aggregate concrete, autoclaved aerated concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water a.” European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2011.

- [38] “EN 1015-12:2016 Methods of test for mortar for masonry - Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates.” European Committee for Standardization (CEN), Brussels, 2016.