

MARIA CAMILA NARVAEZ SEGURA

**ESTUDO DE SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO
EM TANQUE DE PISCINAS**



2023

MARIA CAMILA NARVAEZ SEGURA

**ESTUDO DE SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO
EM TANQUE DE PISCINAS**

**Mestrado em Engenharia Civil
Especialidade em Construção**

Trabalho realizado sob a orientação de:

Miguel José Pereira das Dores Santos de Oliveira

Maria de Fátima Silva Marques Tavares Farinha



2023

ESTUDO DE SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO EM TANQUE DE PISCINAS

Declaração de autoria da obra

Declaro ser o autor desta obra, que é original e inédita. Os autores e obras consultados são devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluídas.

MARIA CAMILA NARVAEZ SEGURA

©2023, MARIA CAMILA NARVAEZ SEGURA

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

*Aos meus pais
e
ao meu irmão
por serem sempre o meu todo.*

AGRADECIMENTOS

A dissertação de mestrado representa a concretização de um desafio pessoal. A conceção desta, pressupõe um trabalho pessoal de muita motivação, investigação, empenho e inspiração. No entanto, não é um trabalho individual sendo fruto de vários contributos. Finalizado este, gostaria de deixar o meu agradecimento a todos os que contribuíram para o sucesso do mesmo. Um agradecimento especial aos meus pais Luis Gerardo, Maria del Cármen e ao meu irmão Sergio que mesmo estando longe, deram-me sempre apoio, carinho, força e que em muito contribuíram para que nunca desistisse do propósito de realizar esta dissertação.

Ao projeto ECOPOOL+++ , que foi cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Centro e pelo Programa Operacional Regional do Algarve através do FEDER, em co-promoção entre Cristal Construções, Materiais e Obras de Construção Civil Lda; Itecons-Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade; Itelmatis Lda. e Universidade do Algarve agradeço o apoio financeiro concedido para este trabalho e a partilha de conhecimentos e cooperação de todos os parceiros.

Agradeço aos meus orientadores, Professor Miguel Oliveira e Professora Fátima Farinha, por terem aceite ser meus orientadores e pela disponibilidade que tiveram em me esclarecer e orientar.

Ao meu colega Eng. João Mendes, um grande obrigado pela disponibilidade que sempre teve para me dar apoio, me orientar e me acompanhar desde o início até o último dia deste trabalho. Finalmente, agradeço à minha “mãe portuguesa” a Fátima que teve muita paciência com a minha impaciência e que sempre me motivou e acreditou em mim.

O meu profundo Obrigada!

RESUMO

As piscinas exteriores aquecidas envolvem consumos de energia muito elevados, pelo que, encontrar soluções que permitam minimizar as perdas de energia através da envolvente e, em particular, pelo tanque, contribuirá de forma decisiva para a sustentabilidade destes equipamentos.

A presente dissertação tem por base o estudo de um sistema inovador de isolamento térmico pelo interior do tanque, com elevada durabilidade e manutenção reduzida, que permita diminuir as perdas de energia e consequentemente, as necessidades de aquecimento da água. O sistema em estudo explorou um conceito semelhante ao ETICS - External Thermal Insulation Composite Systems, frequentemente aplicado na envolvente exterior de paredes de edifícios com o propósito da melhoria do seu desempenho térmico, mas no caso das piscinas com reservas do ponto de vista do impacto a nível de estabilidade mecânica e por inerência da capacidade de impermeabilização nas piscinas.

O trabalho levado a efeito consistiu em estudos laboratoriais referentes a sistemas que incorporam placas de isolamento de diferentes materiais (face de avaliação e seleção do material), bem como a campanha experimental realizada no protótipo e em paredes de teste com placas de isolamento térmico ICB (Insulation Cork Board). Verificou-se que a solução desenvolvida apresenta resultados promissores no que respeita à capacidade de impermeabilização à água sob pressão, suscetibilidade à fissuração, resistência ao impacto e também no que se refere à resistência à aderência. Nesta fase, os resultados obtidos evidenciam um comportamento adequado face ao desempenho pretendido.

Palavras-Chave: Piscinas aquecidas, Isolamento térmico, Sistema inovador, Eficiência energética.

ABSTRACT

Heated outdoor swimming pools involve very high energy consumption, so finding solutions that allow minimizing energy losses through the surroundings and, in particular, through the tank, will make a decisive contribution to the sustainability of these equipment.

The present dissertation is based on the study of an innovative thermal insulation system inside the tank, with high durability and low maintenance, which allows reducing energy losses and, consequently, the water heating needs. The system under study will explore a concept similar to the ETICS - External Thermal Insulation Composite Systems, often applied in the exterior coating of building walls with the aim of improving their thermal performance, but in the case of pools with reserves with mechanical stability and waterproofing capacity in swimming pools.

The work carried out consisted of laboratory tests referring to systems that incorporate insulation boards of different materials (material evaluation and selection), as well as the results of the experimental campaign carried out on the prototype and on test walls with thermal insulation boards ICB. It was verified that the developed solution presents promising results in terms of waterproofing capacity to water under pressure, susceptibility to cracking, resistance to impact and also in terms of resistance to adherence. At this stage, the results obtained show adequate behaviour in relation to the intended performance.

Keywords: Heated pools, Thermal insulation, Innovative system, Energy efficiency.

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento Geral	1
1.2	Motivação e Objetivos	2
1.3	Estrutura do Trabalho	3
2	Sistemas de Isolamento Térmico	5
2.1	Isolamento Térmico	5
2.1.1	Isolamento pelo Exterior.....	7
2.1.2	Isolamento pelo Interior.....	7
2.1.3	Isolamento Intermédio	8
2.1.4	Resistência Térmica.....	8
2.1.5	Durabilidade	9
2.2	Aplicação em Piscinas	9
2.2.1	Poliestireno Expandido (EPS)	10
2.2.1.1	Caraterísticas e Propriedades.....	10
2.2.1.2	Uso e Aplicações	12
2.2.2	Poliestireno Extrudido (XPS)	14
2.2.2.1	Caraterísticas e Propriedades.....	14
2.2.2.2	Uso e Aplicações	16
2.2.3	Cortiça Expandida	17
2.2.3.1	Caraterísticas e Propriedades.....	18
2.2.3.2	Uso e Aplicação.....	18
2.2.4	Vidro Celular	19
2.2.4.1	Caraterísticas	20
2.3	O sistema ETICS.....	22
2.3.1	Caraterísticas.....	23
2.3.2	Constituintes do Sistema	23
2.3.3	Análise Técnica	26
3	Caso de Estudo: Protótipo	29
3.1	Enquadramento Geral	29
3.2	Caraterização do Protótipo.....	32
3.3	Processo Construtivo dos Tanques em Betão	33
3.4	Ensaaios Laboratoriais: Seleção do Isolante Térmico	35
3.4.1	Capacidade de Impermeabilização	37
3.4.2	Resistência a Carga Pontual.....	38
3.4.3	Análises de Resultados	39
3.4.4	Conclusões dos Ensaaios Laboratoriais.....	42
3.5	Componentes do Sistema.....	43
3.5.1	Camada de Isolamento Térmico: ICB	43
3.5.2	Argamassa de Camada Base.....	47
3.5.3	Argamassa de Impermeabilização	49
3.5.4	Argamassa de Colagem ao Revestimento Cerâmico.....	51

3.5.5	Argamassa de Juntas	54
3.6	Resumo do sistema.....	54
4	Campanha de ensaios	57
4.1	Enquadramento Geral.....	57
4.2	Descrição da Campanha	58
4.3	Tipo de Amostras	60
4.4	Inspeções Visuais	61
4.4.1	Objetivo.....	61
4.4.2	Metodologia	61
4.4.3	Equipamento e Amostras	61
4.4.4	Execução no Protótipo	64
4.5	Ensaio de Percussão	65
4.5.1	Objetivo.....	65
4.5.2	Metodologia	65
4.5.3	Execução no Protótipo	66
4.6	Impermeabilização à Água – Tubo de Karsten	67
4.6.1	Procedimento de Ensaio.....	67
4.6.2	Objeto.....	67
4.6.3	Equipamento e Amostras	67
4.6.4	Metodologia	68
4.6.5	Localização no Protótipo	69
4.7	Resistência ao Impacto – Martinet Baronnie: Pendulo de Esfera	71
4.7.1	Objeto.....	71
4.7.2	Equipamento e Amostras	71
4.7.3	Metodologia	72
4.7.4	Execução no Protótipo	72
4.8	Resistência ao Impacto – Martinet Baronnie: Penetração Controlada.....	74
4.8.1	Objeto.....	74
4.8.2	Equipamento e Amostras	75
4.8.3	Metodologia	75
4.8.4	Execução no Protótipo	76
4.9	Resistência ao Impacto – Pendulo de Smith	79
4.9.1	Procedimento de Ensaio.....	79
4.9.2	Objetivo.....	79
4.9.3	Equipamento e Amostras	79
4.9.4	Metodologia	79
4.9.5	Execução no Protótipo	80
4.10	Ensaio de Arrancamento	81
4.10.1	Procedimento de Ensaio.....	81
4.10.2	Objeto.....	82
4.10.3	Equipamento e Amostras	82
4.10.4	Metodologia	83
4.10.5	Execução no Protótipo	84
4.11	Simulações de Carga	88
4.12	Resumo Experimental	89
5	Análises de resultados	91
5.1	Inspeções Visuais	91
5.2	Ensaio de Percussão	99
5.3	Impermeabilização a Água – Tubo de Karsten	99

5.4	Resistência ao Impacto – Martinet Baronnie: Pendulo de Esfera.....	101
5.5	Resistência ao Impacto – Martinet Baronnie: Penetração Controlada.....	103
5.6	Resistência ao Impacto – Pêndulo de Smith.....	105
5.7	Ensaio de Arrancamento	106
6	Ficha Técnica.....	111
6.1	Enquadramento	111
6.2	Utilizações.....	111
6.3	Componentes Principais do Sistema.....	112
6.4	Condições Gerais de Aplicação do Sistema.....	113
6.5	Aplicação do Sistema.....	113
7	Conclusões.....	117
	Referências	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Isolamento exterior (Construterm, 2020)	7
Figura 2 Isolamento interior (Knauf, 2023).....	8
Figura 3 Isolamento intermédio EPS (Ursa, 2021).....	8
Figura 4 Placas poliestireno expandido EPS (Industrias de Poliestireno Expandido, 2021)	10
Figura 5 Cofragem perdida com EPS (Industrias de Poliestireno Expandido, 2021).....	12
Figura 6 Montagem de cofragem perdida (Sistems, 2021).....	13
Figura 7 Betonagem em blocos de EPS (Sistems, 2021).....	13
Figura 8 Exemplo de piscina com blocos de EPS (Sistems, 2021)	13
Figura 9 Placas de XPS (Telhado, 2023)	14
Figura 10 Isolamento com placas XPS em taque de piscinas (Romão, 2015).....	17
Figura 11 Isolamento com placas XPS no solo (Romão, 2015)	17
Figura 12 Isolamento com placas de ICB em pavimentos (esquerda) e fachadas (direita) (Sofalca, 2012).....	19
Figura 13 Material de vidro celular (Foamglas, 2012)	21
Figura 14 Panéis de vidro celular (Foamglas, 2012)	21
Figura 15 Piscina com isolamento de vidro celular (Amo, 2020)	22
Figura 16 Constituição do sistema ETICS (SECIL, 2023).....	24
Figura 17 Localização do protótipo	30
Figura 18 Imagens 3D do protótipo (Arq Mário Martins).....	30
Figura 19 Planta do piso térreo e cobertura	31
Figura 20 Corte transversal do protótipo	31
Figura 21 Corte longitudinal do protótipo	31
Figura 22 Cofragem perdida – Tanque principal e tanques secundários	34

Figura 23 Cofragem perdida (direita) e montagem da armadura no tanque principal (esquerda).....	34
Figura 24 Pormenor caleira. (direita) e montagem de tubagens e equipamentos (esquerda)	35
Figura 25 Betonagem do tanque principal.....	35
Figura 26 Regularização da superfície – aplicação de reboco.....	35
Figura 27 Montagem armadura nos tanques secundários.....	35
Figura 28 Fluxograma ensaio: capacidade de impermeabilização	36
Figura 29 Fluxograma do ensaio: resistência de carga pontual	37
Figura 30 Ensaio laboratorial: capacidade de impermeabilização.....	38
Figura 31 Ensaio laboratorial: resistência a carga pontual	39
Figura 32 Instalação de placas isolantes em fila e remate da esquina.(Merino, 2016).....	45
Figura 33 Detalhe da Instalação de placas isolantes no suporte (Merino, 2016).....	45
Figura 34 Exemplo da colocação de espigas ou buchas por unidade de superfície. (Merino, 2016)	46
Figura 35 Aplicação do ICB no interior do tanque do protótipo	46
Figura 36 Aplicação de fixações no interior do tanque do protótipo (direita) tanque de compensação (esquerda)	46
Figura 37 Aplicação da argamassa de camada base com rede de fibra de vidro no interior do tanque.....	48
Figura 38 Argamassa de camada base com rede de fibra de vidro no interior do tanque secundário (direita) e do tanque principal (esquerda).....	49
Figura 39 Pormenor da estrutura até a camada base.....	49
Figura 40 Aplicação da argamassa de impermeabilização com rede de fibra de vidro no interior do tanque (a).....	51
Figura 41 Aplicação da argamassa de impermeabilização com rede de fibra de vidro no interior do tanque (b)	51
Figura 42 Revestimento cerâmico aplicado no protótipo.	52

Figura 43 Aplicação da argamassa de colagem no revestimento cerâmico no interior do tanque (a)	53
Figura 44 Aplicação da argamassa de colagem no revestimento cerâmico no interior do tanque (b)	53
Figura 45 Detalhe da esquina na aplicação da argamassa de colagem no revestimento cerâmico no interior do tanque	53
Figura 46 Rejuntamento do revestimento cerâmico no interior do tanque (a)	54
Figura 47 Rejuntamento do revestimento cerâmico no interior do tanque(b)	54
Figura 48 Tanques e casa das máquinas	56
Figura 49 Parede experimental	59
Figura 50 Pormenor da parede experimental.....	59
Figura 51 Parede experimental – camada de impermeabilização com rede de fibra de vidro	60
Figura 52 Pastilha bem colada (esquerda) e pastilha mal colada (direita).....	60
Figura 53 Câmara térmica GTC 400 C Professional	62
Figura 54 Termómetro de infravermelhos ScanTemp 410.....	62
Figura 55 Microscópio de fissuras.....	63
Figura 56 Localização das amostras	63
Figura 57 Temperatura recolhidas às 13h30 - Amostra 1.....	64
Figura 58 Temperatura recolhidas às 13h30 - Amostra 2.....	64
Figura 59 Temperatura recolhidas às 13h30 - Amostra 3.....	64
Figura 60 Temperatura recolhidas às 13h30 - Amostra 4.....	65
Figura 61 Temperatura recolhidas às 13h30 - Amostra 5.....	65
Figura 62 Martelo de borracha usado no ensaio de percussão	66
Figura 63 Identificação das zonas ocas (esquerda) e execução do mapeamento das áreas de risco (direita)	67
Figura 64 Mapeamento das áreas de risco – Ensaio de percussão parede experimental ..	67

Figura 65 Equipamento tubos Karsten (Pereira N. B., 2015) (E205, 2013).....	68
Figura 66 Tanque secundário: parede (esquerda) e pavimento (direita)	69
Figura 67 Tanque principal: amostras na parede	70
Figura 68 Parede experimental 1 – Bem colada, amostras no pavimento	70
Figura 69 Parede experimental 2 – Mal colada, amostras na parede (esquerda) e no pavimento (direita).....	70
Figura 70 Equipamento de Martinet-Baronnie	71
Figura 71 Aparelho de Martinet-Baronnie – Pêndulo de esfera	71
Figura 72 Ensaio de choque de esfera (Malanho & Veiga , 2018).....	72
Figura 73 Início do ensaio (esquerdo) marcação do diâmetro da moosa (médio) medição do diâmetro da moosa (direita) Ensaio de choque de esfera – Tanque secundário	73
Figura 74 Ensaio de choque de esfera – Parede experimental 1 – Bem colada.....	73
Figura 75 Ensaio de choque de esfera – Parede experimental 1 – Bem colada.....	74
Figura 76 Ensaio de choque de esfera – Parede experimental 2 – Mal colada.....	74
Figura 77 Aparelho de Martinet-Baronnie – Penetração controlada	75
Figura 78 Ensaio de perfuração controlada (Malanho & Veiga , 2018).....	76
Figura 79 Equipamento de Martinet-Baronnie - penetração controlada (esquerda) e acessórios (direita)	77
Figura 80 Ensaio de penetração controlada – Tanque secundário.....	77
Figura 81 Parede experimental 1 – Bem colada, execução do ensaio (direita), amostras (esquerda).....	78
Figura 82 Parede experimental 2 - Mal colada, pastilha (esquerda) cruzamento de juntas (meio), junta vertical (direita)	78
Figura 83 Parede experimental 2 - Mal colada, amostras experimentais	78
Figura 84 Esclerómetro Schmidt Hammer	79
Figura 85 Ensaio Pendulo de Schmidt – Tanque secundário.....	81
Figura 86 Ensaio Pendulo de Schmidt – Parede experimental	81

Figura 87 DYNA Proceq: Pull-off Tester Z16	82
Figura 88 Delimitação de pontos a ensaiar Parede experimental 1 – Bem colada (Esquerda), Parede experimental 2 - mal colada (Direita).....	85
Figura 89 Preparação pastilhas metálicas	85
Figura 90 Amostras coladas (Esquerda), início do ensaio (Direita) na parede experimental 2 – mal colada	86
Figura 91 Arrancamento das amostras na parede experimental 2 – mal colada.....	86
Figura 92 Resultado do arrancamento das amostras na parede experimental 2 – mal colada	86
Figura 93 Fixação amostras (Esquerda), Amostras coladas (Direita) na parede experimental 1 – bem colada	87
Figura 94 Distribuição das amostras parede experimental 1 – bem colada.....	87
Figura 95 Primeira amostra do ensaio (Esquerda), Registro de dados (Direita) na parede experimental 1 – bem colada	88
Figura 96 Arrancamento de amostras experimentais.....	88
Figura 97 Registro de temperaturas P1- Este.....	92
Figura 98 Registro de temperaturas P2 – Sul	93
Figura 99 Registro de temperaturas P3- Oeste	93
Figura 100 Registro de temperaturas P4 – Norte.....	94
Figura 101 Registro de temperaturas – Fundo.....	95
Figura 102 Registro de temperaturas – Ambiente	95
Figura 103 Registro de temperaturas globais	97
Figura 104 Mapeamento zonas ocas – Parede experimental mal colada.....	99
Figura 105 Absorção da água – parede piscina (esquerda) peça experimental 1 - bem colada chão (direita).....	100
Figura 106 Parede experimental 2 mal colada parede (esquerda) e chão (direita)	101
Figura 107 Diâmetro médio das mossas	102

Figura 108 Resultados do ensaio de choque de Esfera – PE 1 bem colada.....	103
Figura 109 Resultados do ensaio de choque de Esfera – PE 2 mal colada.....	103
Figura 110 Profundidades de penetração obtidas no ensaio de penetração controlada ..	104
Figura 111 Parede experimental 1 – Bem colada, amostras	104
Figura 112 Parede experimental 2 - Mal colada, pastilha (esquerda) cruzamento de juntas (meio), junta vertical (direita)	105
Figura 113 Componentes principais do sistema	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação de materiais isolantes térmicos (Cano, 2017).....	6
Tabela 2 Características Técnicas do EPS 100 de acordo com EN13163:2012 (Romão, 2015)	11
Tabela 3 Dados Técnicos – Placas de XPS (Morteros de Galicia, 2021).....	15
Tabela 4 Resultados ensaio: capacidade de impermeabilização.....	39
Tabela 5 Resultados ensaio de carga pontual XPS	39
Tabela 6 Resultados ensaio de carga pontual ICB.....	40
Tabela 7 Resultados ensaio de carga pontual ICB com uma rede e módulo de elasticidade baixo	40
Tabela 8 Resultados ensaio de carga pontual ICB com uma rede e argamassa de impermeabilização.....	41
Tabela 9 Propriedades físicas das placas ICB	44
Tabela 10 Desempenhos declarados argamassa de camada base (Weber S. G., 2021).....	48
Tabela 11 Desempenhos declarados argamassa de impermeabilização (Weber S. G., 2021)	50
Tabela 12 Desempenhos declarados argamassa de colagem. (Weber S. G., 2021).....	52
Tabela 13 Tabela resumo – Ordem do sistema.....	55
Tabela 14 Tabela resumo – Requisitos principais	55
Tabela 15 Classificação de dureza de ponta (RILEM, 1997).....	80
Tabela 16 Velocidade de carregamento (BSI, 2016).....	83
Tabela 17 Resumo campanha experimental tendo como parâmetro principal os ensaios.....	89
Tabela 18 Resumo campanha experimental tendo como parâmetro principal a localização (Fonte própria).....	89
Tabela 19 Resumo dos resultados – Registro de temperaturas.....	96

Tabela 20 Resumo dos resultados – Zonas ocas	99
Tabela 21 Percentagem da água absorvida segundo a zona avaliada – Parede experimental 1	100
Tabela 22 Percentagem da água absorvida segundo a zona avaliada - Parede experimental 2	101
Tabela 23 Resumo de resultados segundo a zona avaliada.....	102
Tabela 24 Valores médios dos resultados do ensaio de penetração controlada.....	104
Tabela 25 Indicador de qualidade em função do índice esclerométrico (OS-120, 2017)	105
Tabela 26 Resumo dos resultados – Ensaio pendulo de Smith.....	106
Tabela 27 Resumo dos resultados – Ensaio arrancamento na parede experimental 1	106
Tabela 28 Resumo dos resultados – Ensaio arrancamento na parede experimental 2.....	108

1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

As piscinas exteriores são equipamentos atrativos, muito comuns em moradias, condomínios e centros turísticos, sobretudo nos países do sul da Europa, como Portugal, Espanha, Itália, Chipre e Malta. Nos meses de verão, as altas temperaturas e a radiação solar, estimulam atividades ao ar livre e em contato com a água. Estas piscinas são normalmente utilizadas em períodos curtos do ano, muito dependentes de bom tempo, geralmente limitado ao período de verão (4-5 meses) (Farinha, et al., 2022). A fim de aumentar os períodos de utilização, a água tem que ser aquecida, com altos custos financeiros e de impacto ambiental.

As piscinas exteriores aquecidas envolvem um consumo energético muito elevado (Jimenez, Carrilo, & Alvarado, 2015) (Jordaan & Narayanan, 2019). Isso se deve, principalmente, às perdas de calor por evaporação da água para o ar circundante, perdas de calor por radiação para o céu e à convecção da superfície da água (Jimenez S. A., 1995). Existem também perdas por condução através das paredes e piso para o solo, no caso de uma estrutura enterrada, ou para o ar circundante, no caso de uma estrutura não enterrada. Soluções para minimizar as perdas de calor pelas paredes, pelo fundo do tanque e pela superfície da água, contribuem para o aumento da eficiência energética e, conseqüentemente, são um pilar para a sustentabilidade das piscinas (Farinha, et al., 2021).

A região do Algarve é um dos destinos turísticos mais procurados da Europa e devido às excelentes condições climáticas, é a região mais “sobrecarregada” de Portugal continental

INTRODUÇÃO

no que diz respeito ao número de piscinas. Estima-se que a região tenha mais de 30000 piscinas exteriores, algumas das quais com sistemas de aquecimento da água baseados em energias não renováveis. Na região algarvia, a temperatura da água oferece níveis confortáveis para banho e atividades de lazer apenas no verão e, mesmo assim, apenas quando a quantidade de radiação solar direta é suficiente. Se a radiação solar não for suficiente para compensar as perdas de calor, outros sistemas de produção de energia, como bombas de calor elétricas ou caldeiras a gás, têm que ser utilizadas para manter a temperatura da água em níveis confortáveis, o que não é nada sustentável.

As piscinas exteriores são, equipamentos onde se deve explorar a eficiência do uso de energia e água, pois representam um grande campo para diminuir os impactos ambientais bem como os custos associados ao seu funcionamento.

1.2 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Existem piscinas em todo o mundo, como espaço de lazer e desporto. No entanto, nas regiões onde as estações do ano variam significativamente e o sol não é suficiente durante todo o ano para aquecer naturalmente a água, estes equipamentos ou não são utilizados ou a água tem de ser aquecida, dando origem a um grande consumo de energia com enormes custos de exploração e ambientais.

A motivação principal para o desenvolvimento desta investigação é melhorar o desempenho de piscinas exteriores, visto que uma grande quantidade de energia é necessária para manter estes equipamentos em uso no inverno, sendo fundamental dotar estes equipamentos de um comportamento mais sustentável e amigo do meio ambiente.

É objetivo central deste trabalho o estudo de sistemas de isolamento térmico, a serem aplicados em tanques de piscinas novas ou existentes. Para o efeito são analisadas diversas soluções com diferentes materiais de isolamento térmico, acompanhar-se-á a execução de ensaios laboratoriais bem como a execução *in situ* de ensaios no protótipo construído. Como resultado final elaborar-se-á a ficha técnica do sistema, com a indicação das diferentes camadas e espessuras, regras de aplicação e características dos materiais selecionados.

Os objetivos específicos compreendem a definição das diversas camadas que compõem o sistema, características, espessuras e desempenho do sistema de isolamento térmico a aplicar no caso de estudo.

Para o efeito fixaram-se as seguintes tarefas principais:

- Analisar o estado da arte, dos materiais de isolamentos térmicos existentes no mercado e que se usam com frequência na construção de piscinas ou edifícios;

- Estudar o ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) como uma solução construtiva aplicada na envolvente dos edifícios, avaliando a composição do sistema, as principais vantagens e desvantagens;
- Estabelecer os requisitos das camadas que constituem o sistema de isolamento térmico a aplicar, com o intuito de desenvolver um sistema semelhante ao ETICS;
- Definir as propriedades e características das camadas, (argamassas, isolante térmico, cola, revestimento, espessuras, ordem, coeficientes térmicos, etc.);
- Acompanhar a construção do protótipo e acompanhar os ensaios experimentais *in situ* e em laboratório, analisando o cumprimento dos requisitos e exigências que deverá contemplar;
- Elaborar a ficha técnica do sistema integrando as regras de montagem e controlo da qualidade da execução *in situ*, bem como recomendações para a sua aplicação.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se estruturado em 4 etapas principais:

- A primeira etapa consiste no domínio do estado da arte efetuando-se para o efeito pesquisas bibliográficas, estudos preliminares e análise de modelos existentes ou que se enquadram na mesma linha de investigação criando assim uma base de dados para armazenar a informação recolhida;
- A segunda etapa corresponde no estudo da solução, analisando para o efeito, diferentes materiais de isolamento térmico, caracterizando o seu desempenho térmico, mecânico, durabilidade, bem como a forma de aplicação;
- Na terceira parte, procede-se ao acompanhamento da construção do protótipo bem como à realização de ensaios laboratoriais e *in situ*, nomeadamente, ensaios de impermeabilidade, colagem e aderência entre as camadas, resistência ao impacto e ensaios de arrancamento;
- Finalmente é elaborada a ficha técnica do sistema, com a indicação da tipologia das diferentes camadas, espessuras, regras de aplicação e características dos materiais.

O presente documento está estruturado em 7 capítulos principais:

1. Neste 1º capítulo - Introdução, é apresentada uma breve contextualização sobre o tema, enfatizando a importância da eficiência energética das piscinas no contexto do setor da construção. Além disso, é descrita a motivação fundamental e são apresentados os

INTRODUÇÃO

- principais objetivos a serem alcançados nesta dissertação bem como a estrutura da mesma;
2. No segundo capítulo – Sistemas de Isolamento Térmico, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os sistemas de isolamento térmico. É ainda realizada uma descrição da constituição do sistema ETICS, apresentando as suas principais vantagens, desvantagens e os principais pormenores construtivos do sistema;
 3. No terceiro capítulo – Caso de Estudo: Solução do Isolamento Térmico, é apresentada a descrição e construção do protótipo, bem como, são estudadas as diversas camadas do sistema analisando fatores como: espessuras, ordem e coeficiente de transmissão térmica;
 4. No quarto capítulo – Campanha de Ensaios, é feito o acompanhamento da construção do protótipo, bem como, dos ensaios *in-situ* á nova solução do material de isolamento térmico (continuidade, impermeabilidade, resistência ao impacto e aderência entre as camadas) no sentido de verificar os requisitos e exigências que devem contemplar;
 5. No quinto capítulo – Análises de resultados, são analisados os resultados dos ensaios realizados e verificando o desempenho o sistema;
 6. No sexto capítulo – Ficha Técnica, é apresentada a ficha técnica do sistema incluindo a descrição das regras de execução e controlo da qualidade bem como as recomendações para a sua aplicação;
 7. Por último, nas Conclusões, são sintetizadas as conclusões do trabalho desenvolvido e as possibilidades de investigação futura.

2

SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

2.1 ISOLAMENTO TÉRMICO

A aplicação de isolamento térmico na envolvente dos edifícios surge como uma necessidade para atender às exigências atuais, tanto devido à legislação vigente como à busca por edifícios mais confortáveis e com menor consumo energético.

Assim, o isolamento térmico da envolvente é um componente de extrema importância para alcançar a eficiência energética dos edifícios, pois atua como barreira contra a transmissão térmica por condução (Brito, 2010), contribuindo para manter um ambiente quente no inverno e fresco no verão no interior dos edifícios. Portanto, a utilização desse sistema é fundamental para garantir o conforto térmico dos ocupantes e evitar consumos energéticos excessivos em climatização.

Considera-se isolante térmico um material cuja condutividade térmica seja inferior a 0,05 W/m·°C e aplicado em alguma camada cuja resistência térmica seja igual ou superior a 0,30 m²·°C/W (REH, 2021). A característica mais significativa dos materiais isolantes térmicos é, portanto, a sua condutibilidade térmica, esta é a propriedade do material que indica a sua facilidade de conduzir o calor λ (W/m·°C), sendo que se procuram materiais com um valor baixo pois isso significa um melhor isolamento) (Cano, 2017). No entanto, devem também apresentar outras propriedades, como, a não absorção de humidade, resistência mecânica adequada à utilização, resistência ao fogo, ausência de odor, durabilidade, entre outras.

Existem várias opções disponíveis no mercado de materiais de isolamento térmico bem como formas de aplicação. Dentro dos principais tipos, destacam-se as seguintes possibilidades de aplicação de acordo com a superfície a ser isolada (Jové, 2017), podem ser aplicados em diferentes orientações, como horizontal, vertical ou inclinada. Além disso, podem ser materiais rígidos, flexíveis, desintegrados ou espumas. Quanto à forma, estão disponíveis em mantas, placas, painéis e granulados. Quanto ao método de instalação, podem ser colados, pregados, sobrepostos ou projetados. É ainda possível colocá-los tanto pelo exterior quanto pelo interior ou em caixas de ar (Madariaga, 2005).

Os materiais de isolamento térmico devem ainda ser selecionados levando em consideração sua capacidade de resistir a cargas, humidade, exposição à radiação solar e ao ambiente.

Segundo (Cano, 2017) os critérios de seleção dos materiais isolantes podem ser classificados de acordo com a sua origem, como se observa na Tabela 1, apresentando os seguintes valores de condutividade térmica e resistência à compressão.

Tabela 1 Classificação de materiais isolantes térmicos (Cano, 2017)

Origem	Material isolante	Condutividade λ (w/m·C)	Resistência à compressão (kPa)
Inorgânico	Lã de Vidro	0,040	16
	Lã De Rocha	0,040	68
	Vidro Celular	0,038	785
	Argila Expandida	0,20	700
	Vermiculite	0,019	200
Sintético. Orgânico	Poliestireno Expandido (EPS)	0,037	300
	Poliestireno Extrudido (XS)	0,037	200
	Poliuretano (PUR)	0,040	200
	Espuma Fenólica	0,044	200
	Espuma Elastómera	0,050	200
	Policloreto de Vinil	0,034	800
Natural. Orgânico	Aglomerado Negro de Cortiça	0,045	180
	Cortiça Natural	0,045	180
	Fibra de Madeira	0,016	290
	Pasta de Madeira	0,018	78

A nível da Europa, os materiais isolantes mais usados são as placas de poliestireno expandido moldado (EPS) e os painéis de lã mineral (MW). Em países como Áustria, Itália e Suíça, usam também, placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB – Insulation CorkBoard). Em Portugal usa-se principalmente o EPS em placas com espessuras da ordem

de 40 a 80 mm, mas também se usa bastante o poliestireno expandido extrudido (XPS) e o ICB (Veiga & Santos, 2009).

2.1.1 ISOLAMENTO PELO EXTERIOR

O isolamento de fachadas é um exemplo fundamental, já que neste caso pode-se perder mais de 20% da energia que é usada para aquecer ou arrefecer o edifício (Espeso & Pérez, 2002). Ao isolar o edifício na sua face exterior, este estará protegido na sua totalidade. Este sistema é praticado em países como Alemanha, Portugal, França e Suíça. Em Espanha o seu aparecimento é mais recente (Santolino S. , 1987).

A principal vantagem do isolamento pelo exterior é que este forma uma camada que protege integralmente a construção contra os fenómenos térmicos como se mostra na Figura 1. No isolamento pelo exterior, a superfície do edifício é revestida com material isolante que é colado às paredes por massas adesivas e/ou por fixações mecânicas assegurando o seu perfeito acabamento.



Figura 1 Isolamento exterior (Construterm, 2020)

2.1.2 ISOLAMENTO PELO INTERIOR

O isolamento térmico pelo interior é um sistema aplicado nas paredes, tetos e pisos pelo lado interior (Figura 2), sendo que neste caso não há um envolvimento integral do edifício, designadamente, da estrutura existindo pontes térmicas.

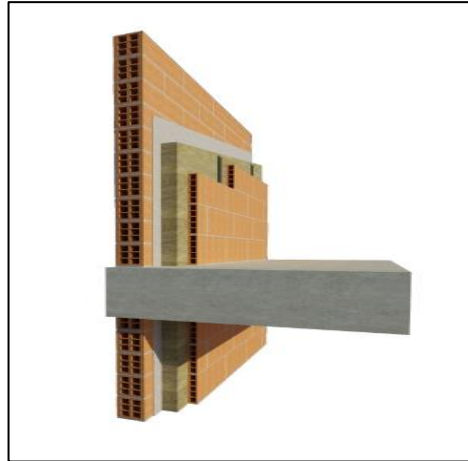


Figura 2 Isolamento interior (Knauf, 2023)

2.1.3 ISOLAMENTO INTERMÉDIO

A solução passa pela colocação de um elemento isolante, entre os dois panos de parede. Esta solução é de especial interesse em soluções de paredes com caixa de ar, bastante frequente em Espanha e Portugal (Figura 3).

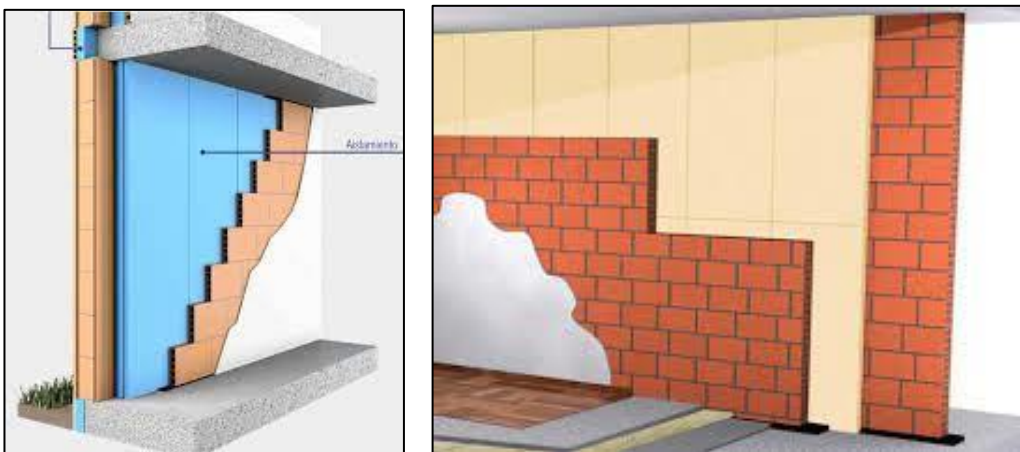


Figura 3 Isolamento intermédio EPS (Ursa, 2021)

2.1.4 RESISTÊNCIA TÉRMICA

Tal como referido anteriormente a resistência térmica é a característica principal dos materiais isolantes térmicos.

Para materiais homogêneos, a resistência térmica obtém-se através da divisão da espessura do material pela sua condutibilidade térmica (λ). Pelo que para quantificar a resistência térmica total de um sistema, ou seja, com diferentes camadas, somamos as resistências térmicas parciais de cada material, conforme a equação seguinte (Perdigão, 2013).

$$R_T = \frac{e_{material A}}{\lambda_{material A}} + \frac{e_{material B}}{\lambda_{material B}} + \dots + \frac{e_{material C}}{\lambda_{material C}}$$

A escolha do material isolante térmico, bem como a espessura de cada camada, depende portanto, da região climática onde nos encontramos sendo definida conforme a resistência térmica que se pretende obter (Pina dos Santos & Matias, 2006) Em Portugal as espessuras variam entre os 40 e 80 mm (Pina dos Santos & Matias, 2006).

2.1.5 DURABILIDADE

A durabilidade na construção é uma temática cada vez mais importante, pois está intrinsecamente ligada à qualidade de construção e tempo de vida útil do edifício. O conhecimento da vida útil dos materiais e elementos de construção é essencial para a seleção dos mesmos e para a definição de metodologias e utilização e manutenção dos edifícios (Sousa, 2010).

A durabilidade do isolamento térmico depende de vários fatores como por exemplo a humidade, estando muito dependentes da exposição aos agentes atmosféricos (Techics, 2021).

No caso da durabilidade dos sistemas de isolamento térmico, todos os componentes devem manter as suas propriedades durante a vida útil do edifício, em condições normais de uso e manutenção.

Apesar das elevadas exigências dos materiais que integram o sistema de isolamento térmico o desempenho final depende em grande parte de uma aplicação correta e rigorosa. Se existirem falhas a este nível, o comportamento e a durabilidade do sistema estão necessariamente comprometidos (Veiga & Santos, 2009).

2.2 APLICAÇÃO EM PISCINAS

Da pesquisa bibliográfica realizada, não se encontraram casos de estudos significativos de utilização de sistemas de isolamento térmico em piscinas.

Dos materiais existentes no mercado, consideram-se com potencial de utilização em piscinas, o poliestireno expandido EPS, o poliestireno extrudido XPS, a cortiça expandida (ICB) e o vidro celular.

Para a aplicação em piscinas (novas ou a reabilitar) exige-se que o sistema apresente rigidez, de forma a assegurar resistência mecânica à pressão da água, deformabilidade limitada, impermeabilidade, entre outras.

2.2.1 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

O poliestireno expandido, EPS (Expanded Polystyrene), é um material plástico celular rígido fabricado a partir da moldagem de grânulos de poliestireno expansíveis que têm uma estrutura de célula fechada cheia de ar. O EPS é conhecido por toda uma série de nomes comuns como esferovite, ou pelos seus nomes comerciais Porexpan® ou Styropor® (Horcajada, 2005).

A matéria-prima, o poliestireno expansível, é obtida pela polimerização do estireno em água com a introdução de um agente expensor, o pentano. O produto final é composto de pérolas de diâmetro médio de 3,5 mm. A porosidade do material é calculada a partir das densidades da espuma e do poliestireno compacto, tendo um valor da ordem de 98,8% (Nadège Bouchonneau, 2010).

Tal com referido o poliestireno expandido - EPS é obtido a partir do poliestireno expansível após três fases de fabricação (Figura 4):

1. Pré-expansão - o vapor de água dilata o pentano e expande os grânulos até 50 vezes o seu volume inicial;
2. Maturação dos grânulos pré-expandidos de forma a garantir a sua estabilização física;
3. Moldagem - as pérolas pré-expandidas são introduzidas num molde fechado, submetidas a uma injeção de vapor, as pérolas expandem-se novamente ocupando todo o espaço do molde, soltando-se entre si para formar um bloco (Sundolitt, 2018).



Figura 4 Placas poliestireno expandido EPS (*Industrias de Poliestireno Expandido, 2021*)

2.2.2 CARATERÍSTICAS E PROPRIEDADES

O EPS tem como principais características a incombustibilidade notável em comparação com materiais de construção tradicionais, como cimento, cal, gesso; não é atacado por argamassas e betões e ainda a baixa densidade aparente do EPS. As placas de EPS devem ser coladas com adesivos de dispersão, adesivos de resina reativa e betume quente até 80 °C, porém, são

atacados pela maioria dos adesivos que contêm solventes, tintas, óleos, adesivos à base de alcatrão, etc.

A predominância do EPS no mercado da construção está, sobretudo, relacionada com a sua leveza (massa volúmica situada entre os 10 e os 30 kg/m³), custo reduzido e boa capacidade de isolamento térmico devido à sua estrutura de células fechadas, preenchidas de ar, que dificultam a transmissão de calor. Segundo Madariaga (Madariaga, 2005) e Lopes (Lopes, 2011) o poliestireno expandido moldado apresenta, as seguintes características principais:

- Facilidade de manuseamento e instalação em virtude da sua leveza;
- Boa resistência à compressão e quanto maior a sua densidade, melhor o seu comportamento compressivo, apresenta uma deformação compressiva de 2% ou menos após 50 anos;
- Boa resistência térmica, resistência mecânica e é pouco sensível à água, além de absorver os deslocamentos diferenciais de origem térmica ou de outras origens, sem introduzir tensões excessivamente elevadas no revestimento;
- Insensibilidade à humidade, garantindo, assim as constâncias das suas características térmicas e mecânicas, mesmo sob ação da humidade, a absorção de água situa-se entre 1 e 3%;
- Quimicamente resistente, sendo compatível com a maioria dos materiais correntemente utilizados na construção civil;
- Sua versatilidade permite que seja fabricado numa grande variedade de tamanhos e formas, ajustando-se, por isso, às necessidades específicas da arquitetura do edifício onde será aplicado.

A Tabela 2 apresenta a condutibilidade térmica, resistência à compressão e à flexão segundo a espessura nominal das placas para o EPS100.

Tabela 2 Características Técnicas do EPS 100 de acordo com EN13163:2012 (Romão, 2015)

Espessura Nominal (mm)	Resistência Térmica Declarada (m ² .°C/W)	Condutibilidade Térmica Declarada (W/m. °C)	Resistência a compressão a 10% Deformação (KPa)	Resistência a flexão (KPa)
20	0.50	0.040	100	150
25	0.65	0.040		
30	0.75	0.039		
35	0.90	0.039		
40	1.05	0.039		
50	1.30	0.038		

SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

60	1.55	0.038		
80	2.10	0.038		
100	2.60	0.038		
120	3.15	0.038		
150	3.90	0.038		

2.2.3 USO E APLICAÇÕES

O EPS na construção civil é utilizado principalmente como isolamento térmico na envolvente dos edifícios, mas também como aligeiramento de alguns elementos construtivos como elementos de cofragem perdida em lajes (Industrias de Poliestireno Expandido, 2021).

Este sistema construtivo é conhecido internacionalmente como ICF (Insulated Concrete Forms) e tem a vantagem que a peça (Figura 5) ficando perpetuamente na estrutura conferindo-lhe um excelente isolamento térmico.

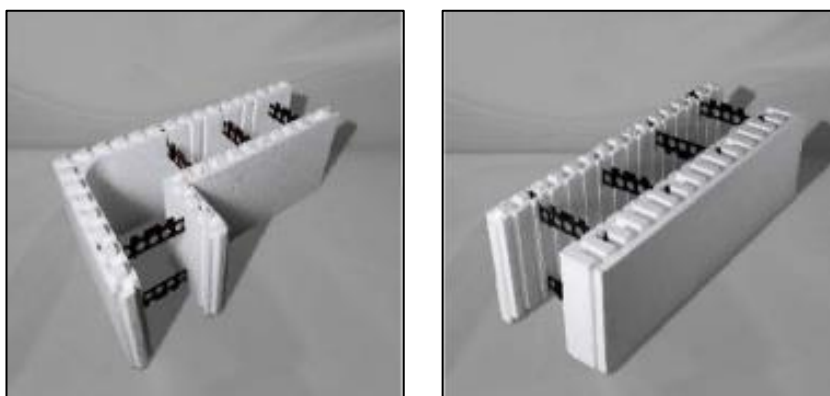


Figura 5 Cofragem perdida com EPS (*Industrias de Poliestireno Expandido, 2021*)

Em obras que envolvam elementos à base de betão armado, a cofragem representa uma parcela significativa do custo da obra. Tem sido uma preocupação constante desenvolver sistemas que possibilitem agilizar a instalação da cofragem, através, por exemplo, de painéis pré-fabricados que permitem encurtar prazos de execução e a necessidade de mão de obra especializada.

Um dos painéis de cofragem de maior sucesso são os de EPS, por se tratar de um material leve, facilmente manejável no local e adaptável às características do projeto construtivo. Refere-se a uma cofragem formada por uma combinação de peças moldadas de alta densidade (25 kg/m^3) e diferentes morfologias que apresenta uma baixa condutividade térmica, é leve, resistente à compressão e baixa absorção de água.

O bloco de EPS é preenchido com betão, contém armadura vertical e horizontal amarrada como se mostra na Figura 6, formando uma estrutura totalmente autoportante, e que, além

disso e graças aos seus 5 ou 10 centímetros por cada lado, isola termicamente a água da sua piscina, mantendo até 8°C a mais de temperatura (Sistems, 2021).

A sua aplicação em piscinas, como se mostra nas Figuras 7 e 8 permite que toda a estrutura seja betonada ao mesmo tempo, servindo a cofragem de isolamento, resultando numa solução de rápida execução.



Figura 6 Montagem de cofragem perdida (Sistems, 2021)



Figura 7 Betonagem em blocos de EPS (Sistems, 2021)



Figura 8 Exemplo de piscina com blocos de EPS (Sistems, 2021)

2.2.4 POLIESTIRENO EXTRUDIDO (XPS)

O poliestireno extrudido ou “XPS”, é uma espuma rígida de poliestireno com estrutura celular fechada. É um material termoplástico produzido pela extrusão da mistura fluída de poliestireno e um gás espumante, por exemplo, dióxido de carbono (Rodriguez, 2015).

A estrutura celular totalmente fechada do poliestireno extrudido confere-lhe excelentes propriedades de não absorção de água e isolamento térmico. A elevada rigidez da estrutura celular, devido à elevada homogeneidade das células, proporciona uma capacidade de resistência mecânica muito elevada.

É correntemente utilizado como material de isolamento na construção civil, apresentando-se com textura gofrada e com encaixes perimetral macho fêmea, (Perfil em “L”) como se mostra na Figura 9. Para além de possuir uma excelente resistência às trocas térmicas (cerca de 20% superior que o poliestireno expandido - EPS), as placas do poliestireno extrudido possuem uma excelente resistência às ações mecânica e ambientais, sendo largamente utilizadas nas chamadas coberturas invertidas em que o isolamento térmico se encontra por cima da impermeabilização (Romão, 2015).

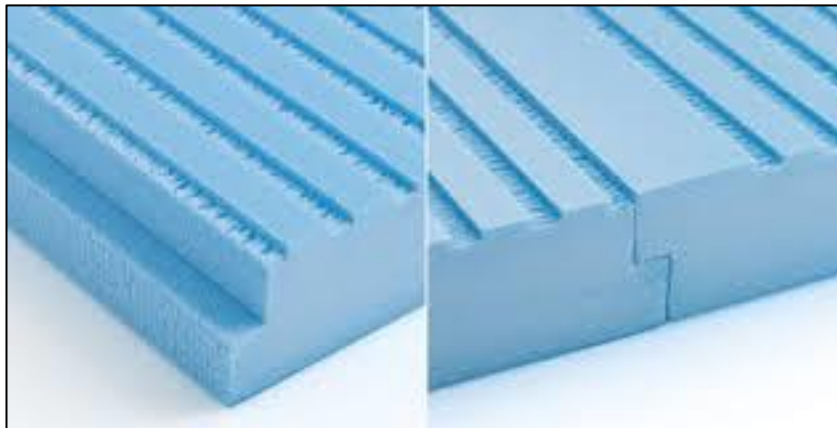


Figura 9 Placas de XPS (Telhado, 2023)

2.2.5 CARATERÍSTICAS E PROPRIEDADES

Segundo Rodrigues (Rodriguez, 2015) e Romão (Romão, 2015) as suas principais características são:

- Coeficiente de condutibilidade térmica baixo (0,045 w/m·C);
- Absorção de água muito reduzida, a estrutura de célula fechada do XPS permite que seja um produto com uma absorção total de água de imersão a longo prazo inferior a 0,7%;
- Capilaridade nula;

- São muito resistentes à difusão do vapor de água e não são afetadas por ciclos repetidos de gelo-degelo;
- Retardadores de chama que o tornam resistente ao fogo, resultando num produto classe E;
- Elevada resistência mecânica, nomeadamente à compressão;
- Elevada estabilidade dimensional, densidade homogénea e insensibilidade ao ataque de ácidos e bases;
- Compatível com os materiais de construção convencionais (argamassas de cimento, cal, gesso, etc.);
- Fácil de transportar, cortar e aplicar, não contém CFC'S nem HCFC'S e é 100% reciclável.

A Tabela 3 sintetiza os dados técnicos do material conforme as suas propriedades e a respetiva norma.

Tabela 3 Dados Técnicos – Placas de XPS (*Morteros de Galicia, 2021*)

Propriedades				Unidades	Norma EN	XPS
Tipo de tomada (perfil)						Reto (perfil I)
Superfície						Sem pele e estampado
Dimensões				mm	EN 822	1250 x 600
Tolerância de espessuras					EN 823	T3 (± 1 mm)
Resistência à compressão (10% de deformação) -CS (10/Y)300				kPa	EN826	300
Condutividade térmica declarado λ_d (Após 25 anos)	20 mm	30 mm	40 mm	W/m K	EN 12667	0.033
	50 mm	60 mm	80 mm			0.035
	100 mm					0.037
Resistência térmica declarado λ_d (Após 25 anos)	20 mm	30 mm	40 mm	m ² K/W	EN 12667	0.60 0,90 1.20
	50 mm	60 mm	80 mm			1.40 1,70 2,25
	100 mm					2.70
Resistência à difusão de vapor de água - MU50					EN 12086	≥ 50
Absorção total de água de imersão a longo prazo WL (T) 1,5				(% V/V)	EN 12087	≤ 1.5
Resistência à tração perpendicular às cargas - TR400				kPa	EN 1607	≥ 400
Resistência ao cisalhamento - SS150				kPa	EN 12090	≥ 150
Estabilidade dimensional DS (TH) a 70° C e 90% de humidade				%	EN 1604	≤ 5

Reação ao fogo (Euroclasse)		EN 12501 - 1	E
-----------------------------	--	-----------------	---

2.2.6 USO E APLICAÇÕES

Devido à sua elevada resistência mecânica e tolerância à água, é um material que tem uma multiplicidade de aplicações na construção. É utilizado como isolamento para pavimentos, paredes e coberturas. Nas coberturas invertidas, o isolamento térmico é colocado em cima da impermeabilização, uma disposição que prolonga a vida útil da cobertura, uma vez que a impermeabilização não sofre a ação da intempérie e das mudanças bruscas de temperatura que eventualmente a deterioram. No entanto, devido ao peso reduzido do XPS, necessita ser aplicado para evitar que seja sugado pelo vento, pelo que nas coberturas invertidas mais comuns utilizam-se materiais pesados, como, cascalho ou lajetas como revestimento final (Rodriguez, 2015).

É um material de resistência ao fogo de classe E, (Aipex, 2019) sofrendo alterações dimensionais irreversíveis quando expostas a altas temperaturas por longos períodos. A temperatura máxima de trabalho em serviço permanente é de +75°C, sendo o valor mínimo de -50°C. Não é um material propício ao aparecimento de bolor e quaisquer outras eflorescências e não têm qualquer valor nutritivo para roedores ou insetos.

Não é afetado pela chuva, neve ou gelo, quando adequadamente aplicado, a vida útil destas placas é estimada em período igual ao da vida útil do edifício ou construção em que se inserem (Romão, 2015).

A sua utilização em tanques de piscinas (Figuras 10 e 11) evita perdas de energia, com a consequente redução de custos de aquecimento da água, além de ter as seguintes vantagens principais:

- Fácil instalação, devido à colocação lateral das placas que permite um encaixe perfeito pela sua facilidade de corte;
- Alta resistência mecânica (até 700kPa) que permite absorver cargas do solo (aplicado pelo exterior) ou da água (aplicado pelo interior);
- As pontes térmicas são minimizadas, uma vez que o isolamento se adapta à forma do tanque, da fundação e os pode revestir continuamente;
- O risco de condensação no interior é reduzido, bem como a formação de mofo, uma vez que o XPS tem uma elevada resistência à transmissão do vapor de água;
- Por sua alta resistência e por ser colocado na parte externa, protege impermeabilização estrutural contra danos mecânicos.

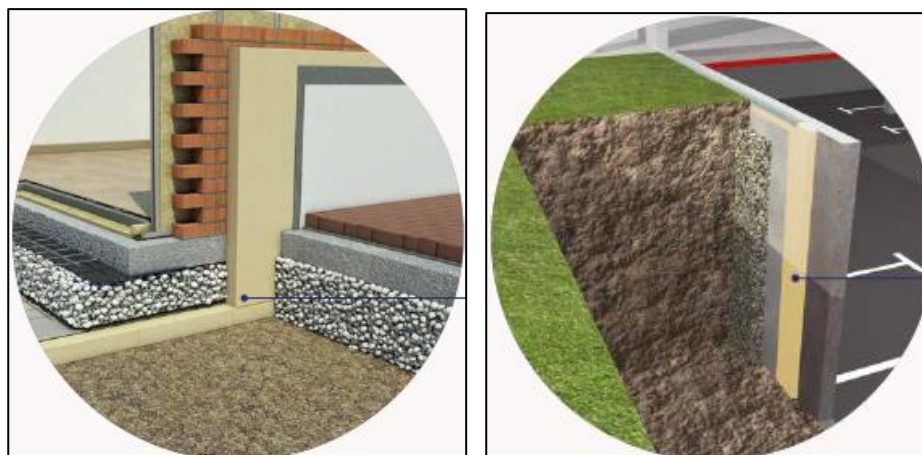


Figura 10 Isolamento com placas XPS em taque de piscinas (Romão, 2015)



Figura 11 Isolamento com placas XPS no solo (Romão, 2015)

2.2.7 CORTIÇA EXPANDIDA

O aglomerado de cortiça expandida, designado em inglês, por "Insulation Cork Board" (ICB), é um produto vegetal que resulta da cortiça de sobreiro, um recurso natural renovável. A sua leveza, elasticidade e impermeabilidade a gases e líquidos conferem-lhe propriedades isolantes de calor, frio, som e de vibrações (Romão, 2015), bem como a sua fácil manutenção, durabilidade e possibilidade de reciclagem completa no final da vida útil de um edifício destacam sua faceta ecológica (Neto, 2012).

Sendo altamente versátil, desempenha um papel vital na economia portuguesa, uma vez que Portugal é o maior produtor mundial de cortiça (Neto, 2012). Apenas o vapor de água integra o seu processo de fabricação, o que o torna um material altamente sustentável.

2.2.8 CARATERÍSTICAS E PROPRIEDADES

As propriedades mais significativas do ICB, para aplicações em soluções de isolamento térmico de edifícios, são (Sofalca, 2012):

- Resistência térmica proporcionada pela espessura usual de aplicação, 300 a 600mm garantem facilmente a obtenção dos valores de K (coeficiente de transmissão térmica 0,045 w/m·C) preconizados para paredes das construções na atual regulamentação das características térmicas dos edifícios;
- Permeabilidade ao vapor de água elevada, cerca de 386 ng/Pa.sm²;
- Resistência à compressão, com valores compreendidos entre 100 e 200 kPa, o que lhe permite suportar cargas relativamente elevadas sem apresentar deformações excessiva;
- Resistência à coesão, propriedade importante quando as placas têm de suportar esforços de tração perpendicular às faces principais, da ordem de 50kPa;
- Boa estabilidade dimensional face às variações significativas da temperatura e da humidade relativa;
- Não apresenta problemas de compatibilidade com outros materiais de construção com os quais esteja em contacto. Assim, não existem problemas de interação química com substâncias contidas noutros produtos, nomeadamente, plastificantes, solventes, resinas, compostos aromáticos ou ligantes hidráulicos;
- 100% natural e reciclável, baixa energia incorporada no processo de fabrico;
- Estabilidade mecânica e longa durabilidade, mantendo as características técnicas;
- Elevada elasticidade e estabilidade dimensional.

2.2.9 USO E APLICAÇÃO

As qualidades únicas do ICB oferecem vantagens difíceis de equiparar. É constituído por milhões de células suberosas, ou seja, cada célula funciona como um isolante acústico, térmico e amortecedor em miniatura. A elevada elasticidade permite recuperar a sua forma vezes sem conta, indiferentemente da intensidade de uso ou do período de tempo. Estas qualidades únicas tornam-na ideal para ser utilizada como isolante acústico e térmico durante um longo período de vida. Algumas recolhas realizadas em edifícios com mais de 50 anos mostraram que, após esse período, o aspeto e as propriedades essenciais das placas de aglomerado de cortiça expandida se mantinham inalteradas (Romão, 2015).

Alguns exemplos de aplicação (Sofalca, 2012):

- Acústico: Correção acústica, isolamento de ruídos aéreos e de percussão;

- Antivibrático: Isolamento antivibrático, juntas de dilatação contínua, descontínua e descontinuidade estrutural de paredes;
- Fachadas: Solução ETICS, Polysterm, Fachada ventilada;
- Coberturas planas: Ajardinada, acessibilidade limitada, ilimitada e soluções de refletividade;
- Isolamento em pavimento radiante;
- Regranulado: Incorporação no betão, enchimento da caixa de ar;
- Revestimento pelo exterior de forma visível;
- Isolamento de coberturas inclinadas, na laje de betão e de cobertura plana em laje de esteira.

Este sistema de isolamento e revestimento de fachadas caracteriza-se por: economia de energia, redução de pontes térmicas, aumento da inércia térmica, diminuição da espessura das paredes, melhoria da impermeabilidade das paredes, diminuição do risco de condensação, aumento da durabilidade das fachadas e reabilitação de fachadas sem perturbação dos seus ocupantes (Sofalca, 2012).

O revestimento de piso é em geral assente sobre uma betonilha previamente realizada sobre o aglomerado de cortiça com interposição de uma folha de plástico ou de um feltro betuminoso como se mostra na Figura 12.



Figura 12 Isolamento com placas de ICB em pavimentos (esquerda) e fachadas (direita)
(Sofalca, 2012)

2.2.10 VIDRO CELULAR

O vidro celular, também conhecido como vidro expandido, é um material leve, com milhões de poros extremamente finos fechados hermeticamente, (Campos, 2021) tendo por base pó de

vidro cozido. Para além de ser utilizado como isolante térmico tem utilização para proteção contra o fogo.

A produção de espuma de vidro remonta à década de 30 do século passado, muitos autores mencionam que este material foi descoberto por um cientista soviético, mas o material não teve grande procura até final do século XX. O vidro celular ganhou popularidade ao perceber o seu alto desempenho, como isolante térmico e a consciência que começou a ser tomada em relação à pegada de carbono. (Dickey & Oslica, 2008)

O vidro celular é aplicado como material isolante devido à sua baixa condutividade térmica, sua baixa densidade e sua alta porosidade (Petersen, Yue, & König, 2015). O seu processo de fabrico, é proveniente de vidro branco reciclado, através de diferentes processos termoquímicos, o pó de vidro se expande, criando bolhas no seu interior em vácuo parcial, pelo que, se obtém um material com condutividade térmica muito baixa, em torno de $0,048 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ (VidrioWeb, 2018) (Campos, 2021).

2.2.11 CARATERÍSTICAS

O vidro celular é caracterizado por ser um material rígido e muito leve com densidade que varia entre $157\text{-}170 \text{ kg/m}^3$ (Figura 13) sendo ideal para isolamento térmico.

Apresenta as seguintes características principais (Campos, 2021) (VidrioWeb, 2018) (Polydros, 2020):

- É usado como isolamento de pisos, paredes e tetos bem como para prevenir pontes térmicas;
- Possui propriedades de impermeabilidade à água, vapor de água, higiene e assepsia que lhe conferem grande durabilidade, estabilidade dimensional e não-deformabilidade;
- Resistente a microrganismos, bactérias, roedores, aves e pragas em geral pelo que se torna em um material favorável para ser utilizado em laboratórios, hospitais, ou centros de saúde;
- Não possui propriedades de combustão o que o torna um material resistente ao fogo;
- Fácil de trabalhar e cortar;
- Eco amigável desde o seu fabrico até sua reciclagem;
- Tem uma alta resistência à compressão.



Figura 13 Material de vidro celular (*Foamglas, 2012*)

Podem ser encontrados em painéis (Figura 14) com uma densidade de 130 a 150 kg/m³ e uma resistência à compressão entre 700 kPa a 900 kPa. O formato padrão é 800 x 600 mm, com espessuras de 40 a 120 mm em incrementos de 20 mm (*Foamglas, 2012*).



Figura 14 Painéis de vidro celular (*Foamglas, 2012*)

Segundo Amo (*Amo, 2020*) encontra-se na cidade de Málaga, Espanha um caso de estudo onde o objetivo da intervenção foi fornecer uma resposta de isolamento no tanque principal de uma piscina onde se procurava uma redução estável da ponte térmica (piscina 21 °C / solo 15 °C) (*Figura 15*).

As condições procuradas para a seleção do material foram: bom isolante, impermeável, resistente à putrefação ou alteração e insensível a produtos químicos. Além disso, que fosse um material incompressível, sendo este fator fundamental na escolha, pois a fadiga do material e sua deformação sob carga permanente limitam as possibilidades de uso, pelo que a resistência à compressão tinha que estar garantida. Assim, o vidro celular foi considerado como a melhor opção.

Para avaliar o uso do vidro celular, foi analisado o seu comportamento sob carga constante sem deformação. Dando a seguinte estrutura no modelo no caso de estudo (*Amo, 2020*):

SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

1. Limpeza do betão de suporte;
2. Instalação de isolamento de vidro celular tipo FOAMGLAS® FLOOR BOARD (120 x 60 cm) com juntas estanques, com garantia térmica ao longo do tempo, impermeável à água e ao vapor, e resistência à compressão de 9 ou 16 kg/cm²;
3. Camada de separação posicionada com sobreposição;
4. Betão projetado;
5. Tratamento impermeabilizante;
6. Acabamento Gresite.



Figura 15 Piscina com isolamento de vidro celular (Amo, 2020)

2.3 O SISTEMA ETICS

A sigla ETICS, do inglês, “External Thermal Insulation Composite Systems”, que em português significa, Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior é um tipo de sistema de isolamento térmico pelo exterior aplicado em construções novas ou reabilitação (Coimbra, 2019).

O isolamento térmico dos edifícios é utilizado em Portugal desde a década dos 90, com a entrada em vigor do RCCTE (Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios) (Veiga & Santos, 2009).

Assim, no intuito do cumprimento do regulamento, começaram-se a aplicar materiais isolantes térmicos em novas construções e em reabilitações, sendo que a aplicação pelo interior seria mais indicada em reabilitações onde a fachada da obra tivesse um grande valor arquitetónico e pelo exterior em novas construções ou em reabilitações de grande envergadura.

O ETICS é assim uma solução tecnológica eficiente, versátil e simples de aplicar (Veiga & Santos, 2009) apresentando grandes vantagens ao nível higrotérmico devido à colocação

estratégica do material pelo exterior, bem como, uma manutenção e reparação fácil de executar (Pereira F. P., 2009).

Finalmente, todos os produtos que queiram entrar no mercado europeu catalogados como uma solução construtiva ETICS (ETAG004, 2000) deverão ter a aprovação técnica da guia europeia 004, (ETAG 004) que define os requisitos, métodos de verificação, critérios de avaliação do desempenho, a conceção e execução, entre outros do sistema.

2.3.1 CARATERÍSTICAS

As principais características do ETICS são (Pereira F. P., 2009), (APFAC, 2015) (Tesa, 2018):

- Eficiente, não só por diminuir a perda do calor do interior do edifício para o exterior no período de Inverno, mas também por prevenir a entrada do calor no Verão;
- Proporciona a renovação das fachadas com vários tipos de acabamentos, permitindo diversidade arquitetónica de fácil integração em diferentes ambientes urbanos ou rurais. O aspeto estético é geralmente obtido por um revestimento acrílico, pintura texturada ou colagem de elementos de revestimento ligeiros;
- Eficaz para a resolução de anomalias em rebocos ou revestimentos antigos como fissuras, manchas, irregularidades etc.;
- Proteção das alvenarias e elementos estruturais. O sistema ETICS aumenta a durabilidade das alvenarias e dos elementos estruturais, pois providencia uma proteção destes elementos em relação às solicitações higrotérmico a que os edifícios estão sujeitos no seu tempo de vida útil;
- Economia de energia e respeito pelo ambiente. Com a aplicação dos sistemas ETICS, os níveis estimados de poupança energética estão entre 30% a 50%. Esta poupança de energia é refletida na energia que é gasta no arrefecimento ou aquecimento dos edifícios, para além de que a utilização destes sistemas reduz a utilização destes equipamentos que contribuem para o aumento da pegada de carbono na atmosfera;
- Reabilitação sem desalojamento. A nível de montagem e aplicação dos sistemas ETICS, outra vantagem que lhe está associada é o facto de ser possível a execução de todos os trabalhos sem ser necessário o realojamento dos utilizadores do edifício.

2.3.2 CONSTITUINTES DO SISTEMA

Um sistema é um grupo de elementos de construção que se unem entre eles, para formar uma estrutura (TERSATE, 2020). O sistema ETICS é um conjunto de materiais tendo como elemento principal um material isolante colado à parede geralmente por adesivo misto ou por

fixação mecânica. O isolamento é protegido por um revestimento que é aplicado diretamente nas placas em duas camadas de argamassa entre as quais é colocada uma malha de reforço para finalmente adicionar o acabamento (Arnabat, 2011).

Segundo Veiga (Veiga, et al., 2004), os ETICS são constituídos por:

- Um material isolante térmico fixo diretamente à parede (quer seja por colagem ou por fixação mecânica);
- Elementos de fixação: cola, fixações mecânicas, ou quando for preciso ambos;
- Armadura de fibra de vidro;
- Uma camada de base de revestimento ou primário;
- Acabamento, ou vários em alternativa, com diferentes aspetos e texturas;
- Elementos adicionais, como perfis de proteção de aresta lateral ou de extremidades superiores ou inferiores, perfis de recobrimento, por exemplo de peitoril ou de platibanda, etc.

A Figura 16 representa os vários elementos que integram o sistema ETICS e que se detalham em seguida:

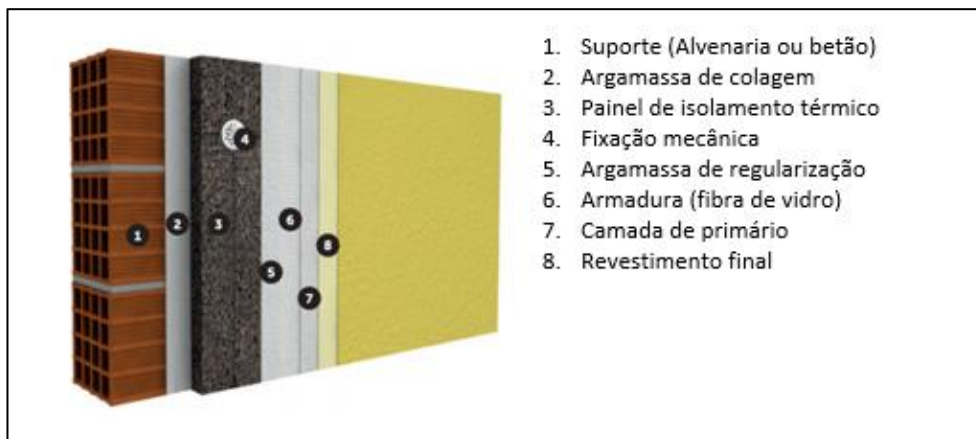


Figura 16 Constituição do sistema ETICS (SECIL, 2023)

1. **Suporte:** O sistema ETICS visa ser aplicado em superfícies planas verticais de construções novas ou existentes tais como:

- a) Suportes em alvenaria de tijolo, pedra ou betão celular.
- b) Suportes em betão armado ou alvenaria rebocada
- c) Painéis prefabricados de betão
- d) Suporte em blocos de betão leve ou argila expandida

Estos suportes, constituem as paredes do edifício, sendo que estas já contemplam requisitos de resistência mecânica (cargas estáticas e dinâmicas) e estanquidade ao ar. (Pereira F. P., 2009)

2. **Argamassa de Colagem:** o produto utilizado para colagem permite a ligação e aderência entre o suporte e as placas do isolante térmico. É normalmente constituído por uma argamassa mista de cimento e resina, que é aplicada sobre o isolante (Veiga & Santos, 2009). Em geral, este produto é prefabricado, sendo necessária a adição de água, um ligante, em geral resina, ou 30% do peso do produto em cimento Portland.
Nas construções novas, frequentemente, os sistemas ETICS são fixados ao suporte por colagem, sendo aplicado em pontos, em faixas, ou em toda a superfície de contacto do isolante com a parede.
3. **Painel de isolamento térmico:** O isolamento térmico permitido pela ETAG004, pode ser constituído por materiais plásticos celulares, EPS (poliestireno expandido moldado), XPS (poliestireno expandido extrudido), lã mineral (MW) ou cortiça expandida (ICB).
O material mais usado nestes sistemas é o poliestireno extrudido (XPS) em placas, com massa volúmica compreendida entre 15 e 20 kg/m³. A sua principal função é conferir ao sistema propriedades de resistência térmica. A sua espessura pode ser variável e definida de acordo com o coeficiente de transmissão térmico que se pretende atingir.
4. **Fixação mecânica:** Os sistemas de fixação mecânica são elementos complementários à fixação por colagem. Normalmente, fixações como as ancoragens plásticas, destinam-se a fixar temporalmente as placas de isolamento até a secagem da cola e assim evitar quedas em caso de descolagem. Também, são utilizados, quando o suporte não oferece condições de aderência para uma fixação por colagem.
5. **Argamassa de regularização:** Esta é constituída geralmente por uma argamassa mista de cimento, resina e areia. Logo, o produto a usar poderá ser idêntico ao produto de colagem, aplicado numa camada de pequena espessura (3 a 5 mm) e em várias passagens sobre o isolamento, de forma a permitir o completo recobrimento da armadura.
Esta argamassa tem que ter uma boa aderência ao isolante, elevada resistência à fendilhação, reduzida capilaridade e suficiente resistência mecânica à perfuração e aos choques de corpo duro (Veiga & Santos, 2009).
6. **Armadura (fibra de vidro):** O revestimento é sempre armado, como o objetivo de melhorar a resistência à fendilhação e aos choques, distinguindo-se dois tipos de armaduras:
 - a) Uma armadura normal, constituída por uma rede de fibra de vidro, com proteção a ação dos alcalis. Deve estar incorporada nas subcamadas da camada base, melhorando a resistência mecânica do reboco, fendilhação do revestimento (gerado pelas variações térmica) e contribuir para resistência aos choques do sistema.

- b) Uma armadura reforçada, com o intuito de incrementar significativamente a resistência aos choques nas zonas mais críticas tais como zonas baixas às rãs de chão.

É importante destacar, que a dimensão da malha e a massa por unidade de superfície devem ser compatíveis com a argamassa para a execução da camada de base, ou seja, de acordo com a granulometria e a textura da argamassa. (LNEC, 2017).

7. **Camada de primário:** A camada de primário é muito fina e à base de resinas em solução aquosa que é aplicado sobre a camada base e serve como preparação para a aplicação do revestimento final. Pode, no entanto, não existir.

O primário é uma pintura opaca à base de resinas em solução aquosa, que é aplicada sobre a camada de base. A função deste, é regular a absorção e melhorar a aderência da camada de acabamento

8. **Revestimento final:** O acabamento final normalmente é constituído por uma pintura especial ou por um revestimento plástico espesso (RPE) ou ainda por outros revestimentos não abrangidos pelo Guia (EOTA, 2000) como é o caso dos revestimentos descontínuos tais como os ladrilhos cerâmicos (VEIGA M. R., 2010 a)) (VEIGA M. R., 2010).

Os acabamentos deverão contribuir para a resistência aos choques e ainda conferir impermeabilidade ao sistema, não reduzindo de uma forma excessiva a permeabilidade ao vapor de água. Por outro lado, o acabamento tem uma função decorativa, ou seja, deve conferir e manter ao longo do tempo um bom aspeto estético. (Malanho S. d., 2011)

9. **Elementos Auxiliares:** São elementos adicionais, como perfis metálicos que têm como função reforçar zonas mais suscetíveis a fissuração, como arestas, peitoris e platibandas; Destinam-se a reforçar as arestas do sistema, de forma a proteger os pontos singulares do sistema de choques mecânicos, do contacto com a água, ou ainda a facilitar o escoamento de água. Estes acessórios devem ser resistentes à corrosão e ter formatos apropriados às funções a que se destinam. (EOTA, 2000) (Veiga & Dos santos Pina , 2009 b))

2.3.3 ANÁLISE TÉCNICA

Segundo vários autores (Malanho S. d., 2011) (Oliveira, 2011) (Veiga & Santos, 2009) e (Veiga, et al., 2004) as principais vantagens do sistema ETICS são:

- Tem uma eficiência muito elevada no isolamento térmico, já que permitem a aplicação de diferentes espessuras de isolante, redução das pontes térmicas e perdas de calor através da envolvente vertical sem pormenores construtivos complexos;

- Garante um aumento da proteção das paredes e da estrutura face a agentes atmosféricos (choques térmicos, radiação solar, etc.) reduzindo os movimentos diferenciais da alvenaria e estrutura por origem térmico, além de aumentar a durabilidade destes;
- Elevada inércia térmica dos edifícios, dado que a maior parte da massa das paredes se encontra pelo interior da camada de isolamento térmico. Este facto traduz-se na melhoria do conforto térmico de Inverno, por aumento dos ganhos solares úteis, e também de verão devido à capacidade de regulação da temperatura interior;
- Contribui para a impermeabilização das paredes, quando executado corretamente, o sistema proporciona uma excelente proteção contra a água, graças às várias camadas aplicadas sendo altamente estanque;
- Oferece uma ampla variedade de acabamentos e texturas, preservando o aspeto estético desejado;
- Reduz o risco de condensação superficial interna, prevenindo problemas como fungos, mofo e danos nos revestimentos;
- Permite a redução da espessura das paredes externas, aumentando a área útil disponível comparativamente à solução de parede dupla;
- Proporciona o conforto interior do espaço a utilizar e uma poupança energética, porque permite uma economia de energia devido à redução das necessidades de aquecimento e de arrefecimento do ambiente interior.

Por outro lado, as principais desvantagens associadas aos ETICS, são:

- A reação ao fogo é mais elevada que as soluções de revestimento habitualmente usadas;
- O sistema exige uma correta aplicação e mão-de-obra especializada;
- Nos pontos singulares do sistema é necessário aplicar perfis metálicos de reforço e acabamento, e reforçar as zonas mais frágeis com dupla aplicação de armadura (rede fibra vidro);
- A aplicação do sistema é afetada pelas condições climáticas (temperatura, chuva, vento, etc.) no momento da sua execução;
- O custo inicial é mais elevado que o custo das soluções tradicionais, designadamente da parede dupla. No entanto, deve ser considerado nos benefícios referentes aos ganhos inerentes em energia, em conforto e em durabilidade da construção.

3

CASO DE ESTUDO: PROTÓTIPO

3.1 ENQUADRAMENTO GERAL

Foi desenvolvida uma solução de isolamento térmico baseada no conceito de Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS), comumente utilizado como revestimento externo de edifícios. Essa solução foi concretizada na construção de um protótipo de piscina sustentável, visando consolidar o conhecimento em relação à sua aplicação, execução, realização de testes "*in situ*" e análise do comportamento do material.

No âmbito do projeto ECOPOOL+++, foi construído um protótipo de piscina sustentável, constituído por um tanque com 10 m (comprimento) x 5 m (largura) x 1,5 m (altura média), apresentando um ligeiro declive para a linha central da maior dimensão, onde estão localizados os ralos de aspiração de fundo.

O protótipo contemplou a construção dos seguintes elementos:

- Um tanque de compensação com volume aproximado de 10 m³, localizado ao longo de uma das dimensões menores da piscina, junto à casa das máquinas.
- A casa das máquinas está localizada junto ao tanque de compensação, como acima foi referido, tendo 10 m² de área e 2 m de altura mínima, disponibilizando a área da cobertura inclinada, para albergar 25 m² de coletores solares planos.
- Um tanque de recolha com volume entre 10 a 15 m³, para recolha e decantação da água resultante da lavagem dos filtros, com o objetivo de ser aproveitada para rega. No

CASO DE ESTUDO: PROTÓTIPO

entanto antes de entrar em funcionamento é estabelecido como tanque experimental para esta dissertação.

- O protótipo foi construído de forma que a piscina possa funcionar em “*overflow*” em três de seus lados, havendo para isso uma calreira que circunda todo o tanque, com uma cota de cerca de 50 cm abaixo do seu topo. Esta solução deve-se à conceção arquitetónica da piscina, que tem uma sobre-elevação de 40 cm relativamente ao pavimento.

Na Figura 17 apresenta-se o local de implantação, que é junto à Casa do Reitor, na Universidade do Algarve, no Campus da Penha.



Figura 17 Localização do protótipo



Figura 18 Imagens 3D do protótipo (Arq Mário Martins)

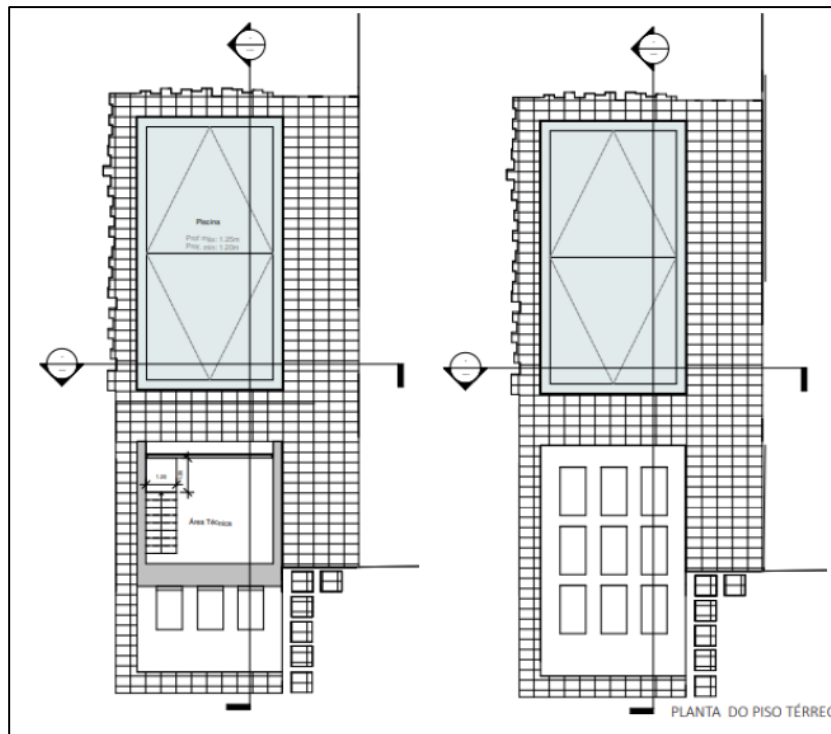


Figura 19 Planta do piso térreo e cobertura

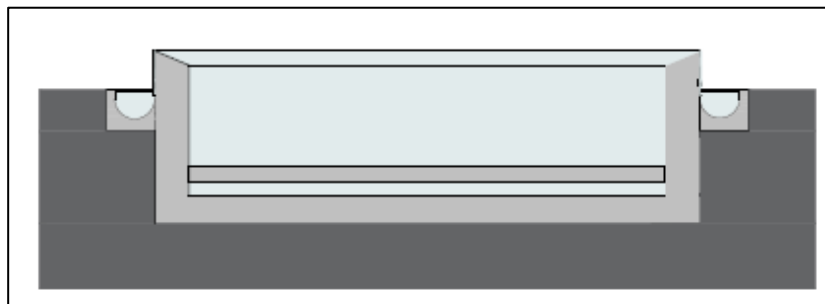


Figura 20 Corte transversal do protótipo

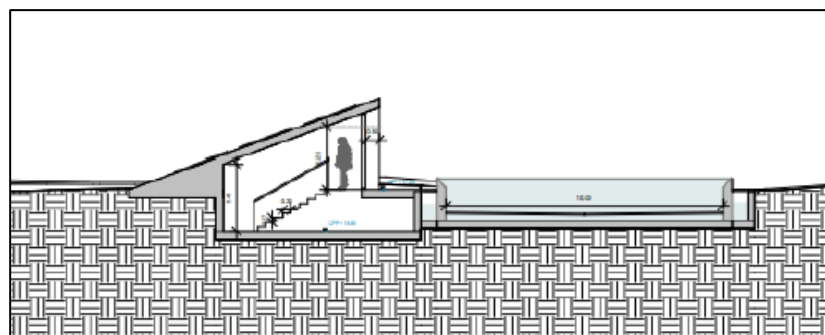


Figura 21 Corte longitudinal do protótipo

Relativamente ao sistema de isolamento térmico, são ao longo deste capítulo, definidas as funções e requisitos a impor nas camadas que constituem o novo sistema, bem como em termos globais, através da seguinte estrutura:

CASO DE ESTUDO: PROTÓTIPO

1. Suporte de betão (envolvente do tanque);
2. Camada de isolamento térmico;
3. Argamassa da camada de base;
4. Argamassa de impermeabilização;
5. Argamassa de colagem do revestimento cerâmico;
6. Revestimento cerâmico;
7. Argamassa de juntas

3.2 CARATERIZAÇÃO DO PROTÓTIPO

Verificou-se que o sistema deverá assegurar, não só, a limitação de perdas de calor pelo revestimento interior, mas também, um bom desempenho mecânico. Por tanto, foram estabelecidos alguns requisitos que as camadas que constituem o sistema devem cumprir, respondendo positivamente aos seguintes requisitos:

Os requisitos do sistema de isolamento térmico pelo interior da piscina foram estabelecidos junto da equipa de investigação do projeto ECOPOOL +++ com a colaboração da Weber, parceiro deste projeto com vasta experiência no desenvolvimento e aplicação deste tipo de produtos.

Camada de isolamento térmico:

1. Condutibilidade térmica reduzida;
2. Resistência à compressão;
3. Deformabilidade.

Argamassa da camada de base:

1. Resistência ao impacto, provendo proteção do painel isolante;
2. Resistência a fissuração durante utilização, que implica alguma capacidade de deformação;
3. Conferir rigidez para suportar todo o sistema;
4. Capacidade de deformação equilibrada com rigidez (Balanço adequado entre os pontos 2 e 3).

Argamassa de impermeabilização:

1. Resistência a fissuração durante utilização, sobre camada de base semi-compressível;
2. Resistência adesiva adequada;
3. Resistência ao impacto;
4. Resistência ao empoamento (pressão negativa da água).

Argamassa de colagem de revestimento cerâmico:

1. Boa aderência ao revestimento final (geralmente cerâmico);
2. Deformabilidade elevada (baixa suscetibilidade à fendilhação).

Argamassa de juntas:

1. Resistência química;
2. Modulo de elasticidade compatível com os restantes elementos do sistema.

3.3 PROCESSO CONSTRUTIVO DOS TANQUES EM BETÃO

Para iniciar a construção do tanque em betão vulgos piscina, realizaram-se os seguintes trabalhos:

- Antes da movimentação de terra, foi encerrado o local, realizou-se a limpeza da área de trabalho e executou-se o cangalho (marcação da obra);
- A seguir, foram realizados os movimentos de terra das escavações para fazer a fundação da piscina. A escavação e delimitação do tanque foi realizada por meios mecânicos;
- Concluída a escavação do terreno, foram levantadas as paredes (cofragem perdida), dando forma ao tanque da piscina, tanques secundários e casa das máquinas, para isto foram utilizados blocos de cimento com as seguintes dimensões: 50x20x15 cm. Como se mostra nas Figuras 22 e 23;
- O solo da escavação foi preenchido com uma camada de 5 a 10 cm de cascalho compactado para minimizar os efeitos de possíveis assentamentos;
- Em seguida, foi colocada em duas camadas em paredes e pisos, uma armadura de 10 mm em malha quadrada de 20 cm de ferro e na metade desta uma malha eletrossoldada de 5 x 5 cm, separadas por treliças de 10 cm de altura formadas por 3 espaçadores de varão de aço, formando quadrados uniformes, como se mostra nas Figuras 23 e 24;
- O processo de betonagem dos elementos verticais e horizontais foi realizado com betão projetado;

CASO DE ESTUDO: PROTÓTIPO

- Após conclusão da betonagem do tanque principal, foi repetido o mesmo processo construtivo para os tanques de compensação ou secundários como se mostra na Figura 27.



Figura 22 Cofragem perdida – Tanque principal e tanques secundários



Figura 23 Cofragem perdida (direita) e montagem da armadura no tanque principal (esquerda)



Figura 24 Pormenor caleira. (direita) e montagem de tubagens e equipamentos (esquerda)



Figura 25 Betonagem do tanque principal



Figura 26 Regularização da superfície – aplicação de reboco



Figura 27 Montagem armadura nos tanques secundários

3.4 ENSAIOS LABORATORIAIS: SELEÇÃO DO ISOLANTE TÉRMICO

As soluções ETICS apresentam vantagens térmicas e económicas, no entanto, quando utilizadas no interior de piscinas, podem revelar algumas fragilidades, essencialmente no que diz respeito à sua capacidade de impermeabilização, mas também à resistência mecânica.

Por isso, foram efetuados ensaios laboratoriais para avaliar o impacto de ações externas consideradas críticas: foi analisado o desempenho de duas soluções diferentes no que diz respeito ao contacto permanente com água na última camada do sistema, ou imediatamente abaixo do revestimento final (ver Figura 28), e também no que diz respeito à resistência a cargas pontuais (ver Figura 29).

Foram seleccionadas duas soluções de revestimento com base em componentes ETICS já existentes no mercado, ambas contendo a mesma argamassa de colagem, mesma camada base e argamassa de impermeabilização armada com rede de fibra de vidro.

Foi utilizado isolamento térmico de 50 mm de espessura: a primeira solução consistiu em XPS (poliestireno extrudido) e o segundo ICB (cortiça expandida).

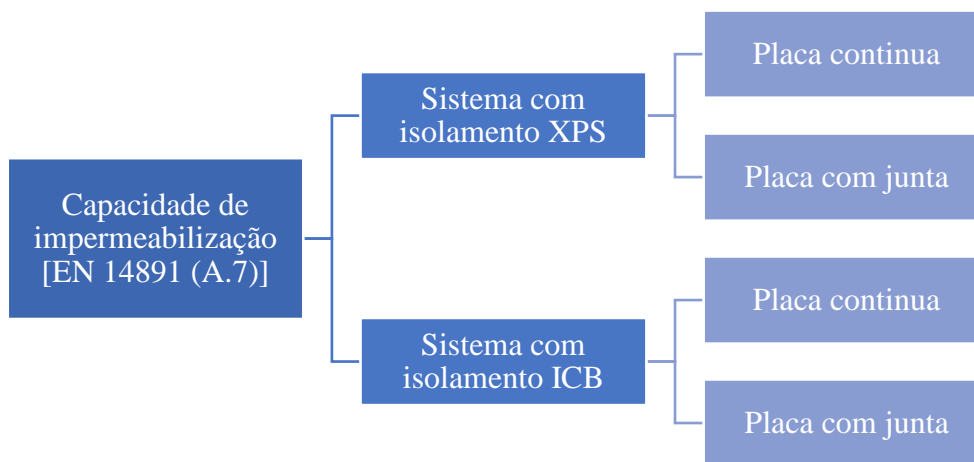


Figura 28 Fluxograma ensaio: capacidade de impermeabilização

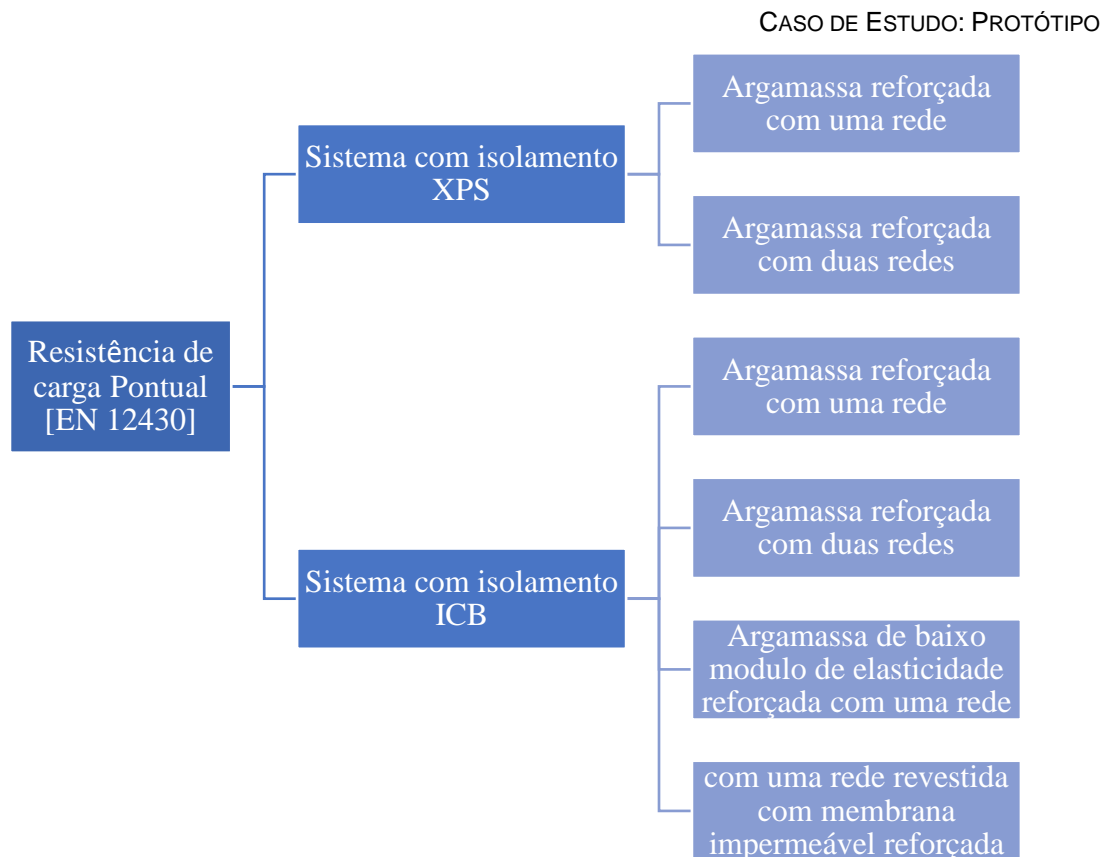


Figura 29 Fluxograma do ensaio: resistência de carga pontual

3.4.1 CAPACIDADE DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Os provetes foram preparados em suportes de betão com dimensões de 150 mm x 150 mm, mantidos por um período mínimo de 28 dias em condições de cura.

Foram preparados seis provetes por amostra, sendo três aplicados com uma única peça de isolamento térmico contínuo de 150 mm x 150 mm, e os outros três provetes foram preparados com 2 peças contíguas de 75 mm x 150 mm, a fim de simular o desempenho dos materiais nas juntas das placas de isolamento térmico. Após a aplicação e cura de todas as camadas, as faces laterais e a base dos provetes foram revestidas com uma borracha impermeabilizante líquida.

Os provetes foram mantidos com a face do revestimento exposta à água a pressão constante de 150 kPa (Figura 30), em uma área restrita circular de 100 mm de diâmetro, por 7 dias, assim, a determinação da massa seca dos provetes realizada antes do início do ensaio e a massa dos provetes ao final dos 7 dias permitiu a medição da quantidade de água absorvida em cada amostra.

Figura 31 Ensaio laboratorial: resistência a carga pontual**3.4.3 ANÁLISES DE RESULTADOS****Capacidade de impermeabilização**

Nas amostras com o isolamento XPS obtiveram-se valores baixos e semelhantes, independentemente da existência de uma junta. Nas amostras com o isolamento ICB a variação de massa para os provetes com junta é um pouco maior, no entanto, não muito significativa (Tabela 4).

Tabela 4 Resultados ensaio: capacidade de impermeabilização

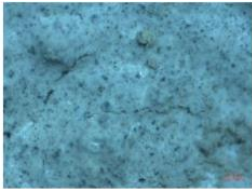
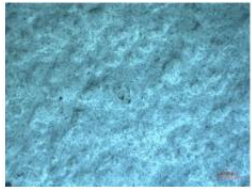
Isolamento termico do material		massa inicial (g)	massa final (g)	Variação da massa(água absorvida)		
XPS	Continua	3871,68	3874,72	0,08	0,7	0,1
		3724,13	3726,85	0,07		
		3917,84	3920,12	0,06		
	Com junta	3697,89	3700,83	0,08	0,08	
		3779,12	3782,05	0,08		
		3781,9	3784,82	0,08		
ICB	Continua	4035,71	4037,51	0,04	0,02	0,1
		4347,7	4347,75	0,00		
		4027,38	4027,43	0,00		
	Com junta	3999,78	3939,88	0,00	0,12	
		4230,58	4234,08	0,08		
		3747,71	3757,85	0,27		

As duas amostras, quer seja XPS ou ICB com ou sem revestimento contínuo, apresentam variações de massa muito baixas e, como tal, absorção de água praticamente insignificante.

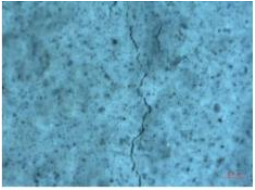
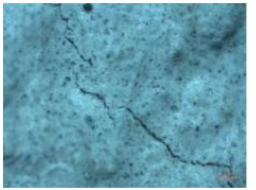
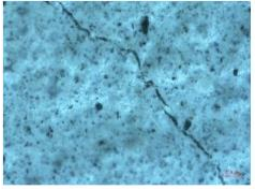
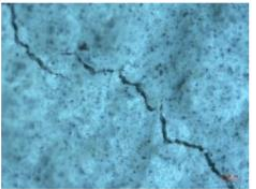
Resistência a carga pontual

Nas amostras com o isolamento XPS a rede adicional não melhora significativamente o comportamento do sistema em ambos os casos (uma ou duas redes) a deformação sofrida não apresenta recuperação e apresenta fissuração a partir de 5% (Tabela 5).

Tabela 5 Resultados ensaio de carga pontual XPS

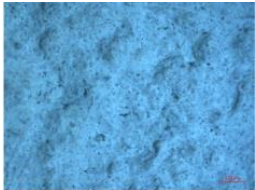
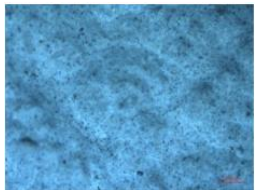
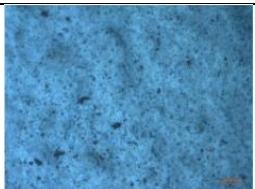
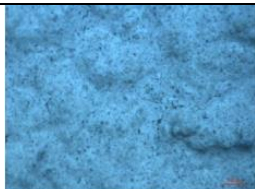
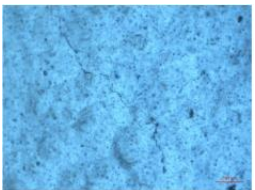
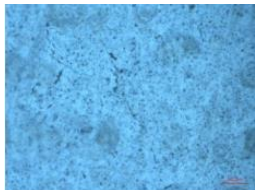
XPS simples com 1 rede			XPS simples com 2 redes		
Deformação	Carga (N)	Observação no microscópio	Deformação	Carga (N)	Observação no microscópio
1,5%	2801		2,0 %	1741	

CASO DE ESTUDO: PROTÓTIPO

2,0%	3477		5,0 %	4285	
10%	5356		10,0 %	5671	

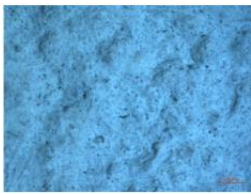
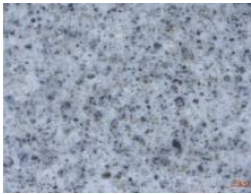
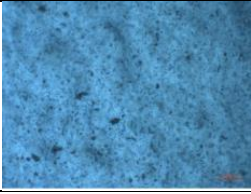
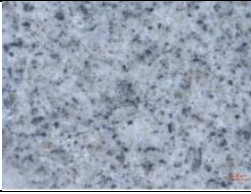
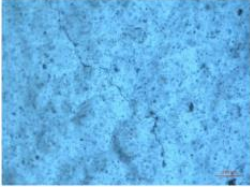

Nas amostras com o isolamento ICB a fissuração não foi muito significativa para as duas amostras, bem como não se observaram diferenças significativas entre elas, as duas apresentam alguma fissuração, muito ligeira, para 10% de deformação. Nenhuma deformação permanente foi observada (Tabela 6).

Tabela 6 Resultados ensaio de carga pontual ICB

ICB simples com 1 rede			ICB simples com 2 redes		
Deformação	Carga (N)	Observação no microscópio	Deformação	Carga (N)	Observação no microscópio
5,0%	1445		5,0 %	1817	
8,0%	1829		8,0 %	2439	
10,0%	1964		10,0 %	2528	

Os provetes com argamassa de baixo módulo de elasticidade reforçada com uma rede apresentaram baixa fissuração nas duas amostras (Tabela 7).

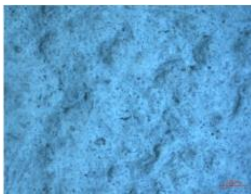
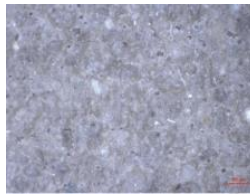
Tabela 7 Resultados ensaio de carga pontual ICB com uma rede e módulo de elasticidade baixo

ICB simples com 1 rede			ICB simples com 1 rede e baixo ME		
Deformação	Carga (N)	Observação no microscópio	Deformação	Carga (N)	Observação no microscópio
5,0%	1445		2,0 %	353	
8,0%	1829		5,0 %	1480	
10%	1964		10,0 %	1971	

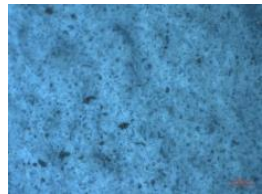
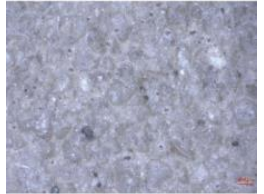
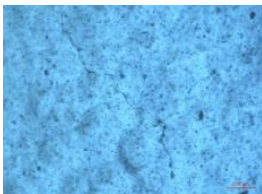
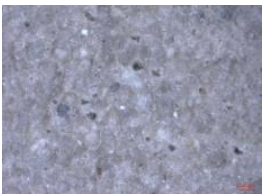
Para a deformação de 10%, os provetes de ICB apresentam danos menos significativos que os provetes de XPS.

Para a argamassa de impermeabilização, com 10% de deformação, não foi observada ao microscópio a ocorrência de microfissuras. A natureza desta argamassa, que apresenta menor rigidez que a argamassa de reforço, e maior elasticidade, parece ter um papel importante nessas condições, assim, nenhuma deformação permanente foi observada para a amostra da membrana impermeabilizante (Tabela 8).

Tabela 8 Resultados ensaio de carga pontual ICB com uma rede e argamassa de impermeabilização

ICB simples com 1 rede			ICB simples com 1 rede e revestimento com argamassa de impermeabilização		
Deformação	Carga (N)	Observação no microscópio	Deformação	Carga (N)	Observação no microscópio
5,0%	1445		2,0 %	353	

CASO DE ESTUDO: PROTÓTIPO

8,0%	1829		5,0 %	1480	
10%	1964		10,0 %	1971	

Após a desconstrução dos provetes com a argamassa de impermeabilização submetidos a este ensaio em condições extremas, verificou-se que a camada de argamassa de reforço localizada imediatamente abaixo estava fissurada, embora a membrana não apresentasse sinais de fratura.

3.4.4 CONCLUSÕES DOS ENSAIOS LABORATORIAIS

- Foram analisadas duas soluções semelhantes, em que se variou o tipo de isolamento térmico, sendo a camada superficial uma argamassa com rede de fibra de vidro (uma camada) revestida por uma membrana (argamassa) impermeabilizante;
- Não foram observadas diferenças significativas nos provetes com ou sem junta;
- Verificou-se que, para as duas soluções, a absorção de água sob pressão foi praticamente nula, pelo que estas poderão ser soluções eficazes para o revestimento interior de piscinas;
- A presença de duas telas não é relevante na argamassa de reforço (camada base);
- Para a mesma deformação, os provetes de ICB apresentam danos menos significativos que os provetes de XPS;
- Considerando a fissuração da camada de base, questiona-se se a argamassa desta camada não deveria apresentar propriedades mecânicas mais próximas da própria argamassa impermeabilizante;
- Reduzir o módulo de elasticidade da argamassa de reforço de 7,0 GPa para 4,0 GPa não é suficiente, e não promove significativa diferenças de desempenho, já que fissuras também são observadas para este caso;
- O baixíssimo módulo de elasticidade da membrana impermeabilizante utilizada, estimado em cerca de 0,05 GPa, terá sem dúvida um papel fundamental na prevenção de fissuras;

- Os resultados do ensaio de carga pontual mostram a importância da existência da argamassa de impermeabilização no que diz respeito à ocorrência de cargas pontuais que possam danificar o sistema de revestimento e que serão ainda mais relevantes face a um sistema rígido (suporte de betão) para a prevenção de infiltrações.

Com base nos resultados destes ensaios, foi selecionada a solução com isolamento térmico de cortiça expandida ICB pelo interior do tanque, com argamassa de reforço (camada base) com uma rede de fibra de vidro imersa e argamassa de impermeabilização. Como revestimento final foi escolhida uma solução de ladrilhos cerâmicos.

3.5 COMPONENTES DO SISTEMA

Neste item pretende-se caracterizar as composições das argamassas e isolamento que constituem o sistema de revestimento da piscina. Pretende-se caracterizar argamassas com características específicas destinadas à camada de base do revestimento, impermeabilização, colagem nas paredes e nas juntas do revestimento cerâmico.

Estabeleceu-se, perante a necessidade de ter um sistema com alguma rigidez, a utilização de isolamento térmico ICB. Será constituído por painéis de isolamento com 6 cm de espessura, argamassa de base reforçada com rede de fibra de vidro, membrana de impermeabilização, cimento cola para ladrilhos, revestimento cerâmico e argamassa de juntas. Os produtos utilizados para cada camada, fornecidos pela Weber, cumprem os requisitos estabelecidos previamente no que respeita a resistência adesiva, módulo de elasticidade e deformabilidade.

Bem como, se documenta com fotografias o processo da aplicação dos materiais no protótipo, principalmente na envolvente do tanque principal. Logo, far-se-á uma descrição detalhada dos materiais a usar:

3.5.1 CAMADA DE ISOLAMENTO TÉRMICO: ICB

Apesar do isolamento térmico ter como principal função conferir resistência térmica ao sistema, este deve possuir características mecânicas que permitam suportar cargas de impacto (possuir resistência à deformação) e à sua fixação mecânica (como complemento à colagem).

As placas de cortiça expandida usadas como isolamento térmico em ETICS devem cumprir com as especificações técnicas da norma EN-13170 e ter a marcação CE correspondente com a referida norma.

A estrutura alveolar da cortiça, bem como a sua baixa condutividade, fazem com que tenha como principal característica o seu isolamento térmico. Esta estrutura confere-lhe uma grande elasticidade, pelo que resiste a elevadas pressões de carga.

Na Tabela 9 pode-se observar diferentes características e algumas das suas propriedades físicas e mecânicas regulamentadas pela especificação técnica EN13170:2008 para as placas de ICB.

Tabela 9 Propriedades físicas das placas ICB

Características Essenciais	Desempenho
Massa Volúmica / Densidade	< 120 Kg/m ³
Coefficiente de Condutibilidade Térmica	0.037 a 0.040 W/m.K
Tensão de rutura a flexão	≥ 130 KPa
Tensão de Compressão a 10%	≥ 110 KPa
Temperatura de utilização	-180 °C a + 140 °C
Permeância ao vapor de água	386 hg/ Pa.sm ²
Resistência a difusão do vapor de água	μ = 7 a 14
Classe de reação ao fogo (para situações expostas)	Classe E-s1-d0
Classe de reação ao fogo (para sistemas ETICS)	Classe B-s1-d0
Comprimento x largura	1000 x 5000 mm / 900 x 500 mm
Espessura	10 a 300 mm

Antes de começar com a fixação das placas devem-se respeitar algumas recomendações prévias decisivas na funcionalidade e durabilidade do sistema.

A colocação deve realizar-se com uma temperatura ambiente e do suporte compreendida entre +5 e +30° C (Merino, 2016). Em obras novas, deverão apresentar uma superfície plana, sem regularidades significativas ou desníveis superiores a 1 cm.

As placas isolantes deverão ser fixadas na horizontal em filas sucessivas, de abaixo para cima, apoiando cada linha de placas sobre a anterior a exceção da primeira que será apoiada no perfil inicial. Igualmente nas esquinas, os extremos das placas deverão ser alternados para melhorar o comportamento do sistema (Figura 32).

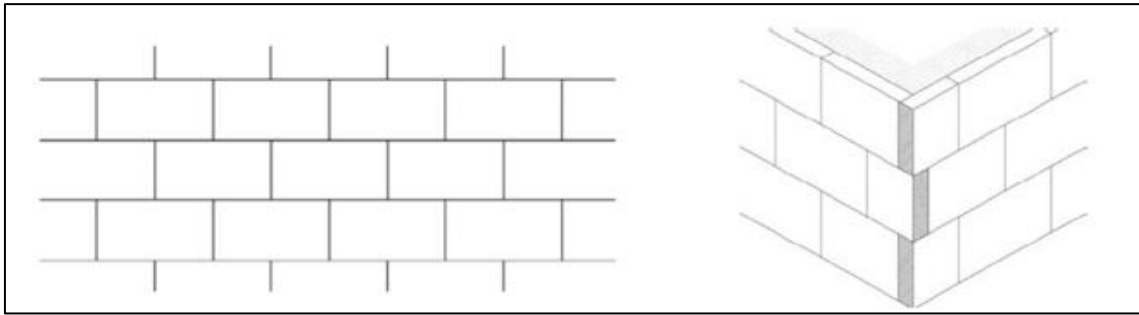


Figura 32 Instalação de placas isolantes em fila e remate da esquina. (Merino, 2016)

São coladas ao suporte, pela utilização da argamassa webertherm pro, aplicado em camada dupla (suporte de betão e no “tardoz” do ICB), com talocha denteada mínima de 9x9 mm (Figura 33). A utilização da cola cumpre as funções de suportar o material isolante sobre o paramento bem como restringir os movimentos de dilatação, contração, tração e compressão do isolamento.

A capacidade de aderência sobre a placa deve ser determinada conforme a norma UNE-EN 13494 segundo indica a Guia (ETAG004, 2000). Assim como, o valor mínimo exigido da resistência à tração que devem cumprir os adesivos deve ser maior o igual ao ponto de rotura à tração do material isolante a usar (ICB).

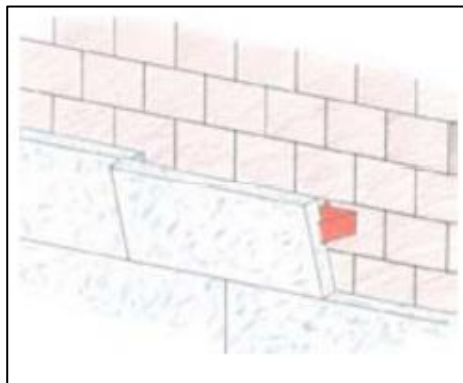


Figura 33 Detalhe da Instalação de placas isolantes no suporte (Merino, 2016)

Além da fixação por cola complementa-se a fixação dos painéis ICB por recurso a ancoragem mecânica, com aplicação de buchas webertherm bucha, com 4 a 6 unidades por placa. Na Figura 34 mostra-se um exemplo de colocação de buchas por unidade de superfície.

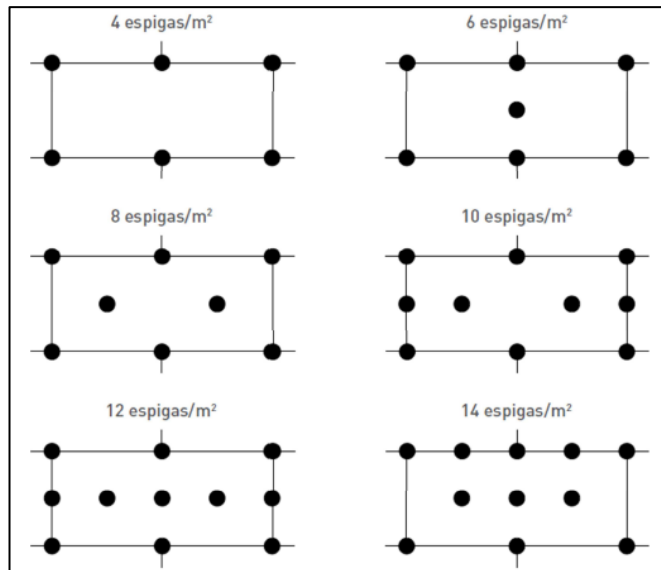


Figura 34 Exemplo da colocação de espigas ou buchas por unidade de superfície. (Merino, 2016)



Figura 35 Aplicação do ICB no interior do tanque do protótipo



Figura 36 Aplicação de fixações no interior do tanque do protótipo (direita) tanque de compensação (esquerda)

3.5.2 ARGAMASSA DE CAMADA BASE

Definiu-se que a camada de base, além de possuir características mecânicas favoráveis, por sua vez, terá como funções a proteção do painel isolante (ao impacto e à deformação) e o suporte do revestimento (incluindo a impermeabilização).

Para isto, impõem-se, como requisitos para esta camada, a resistência ao impacto e à fissuração, quando aplicada sobre um suporte compressível (material de isolamento). Esta camada deverá, pois, exibir alguma capacidade de deformação, mas rigidez suficiente para suportar todo o sistema.

A equipa do projeto estabeleceu que a argamassa da camada de base, aplicada com uma espessura entre 5 a 8 mm (Figura 37 a 39) (reforçada com rede de fibra de vidro 4x4 m, 160 g/m²), deverá exibir uma aderência ao material isolante superior a 0,3 MPa, um módulo de elasticidade similar ou inferior a 5 GPa e uma deformação transversal superior a 5 mm.

Pelo que, baseado no trabalho desenvolvido pela equipa com a colaboração da Weber, foi definido o uso do seguinte material:

- WEBERTHERM PRO armado com rede de fibra de vidro, WEBERTHERM REDE NORMAL, (160g/m², abertura de malha de 4x4mm), garantindo uma espessura final entre 5 e 8 mm.

Verifica-se que o material proposto pode ser aplicado em suportes de placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB). Nas características de utilização destacam-se que tem uma espessura máxima de colagem de 10 mm e mínima final (em revestimento de placas) de 2,5 mm. O tempo de espera entre camadas é de 12 a 24 horas, bem como o tempo de espera para revestir é no mínimo 3 dias.

A Tabela 10, mostra os desempenhos declarados do material segundo a norma harmonizada EN998-1:2016, tendo um valor de 4 na avaliação e verificação da regularidade do desempenho.

Tabela 10 Desempenhos declarados argamassa de camada base (Weber S. G., 2021)

<ul style="list-style-type: none"> □ Desempenho(s) Declarado(s): 	<ul style="list-style-type: none"> □ Norma harmonizada: EN 998-1:2016
<ul style="list-style-type: none"> ● Reação ao fogo: A2-s1,d0 	Regulamento Delegado (EU) 2016/364
<ul style="list-style-type: none"> ● Absorção de água: W_c2 	
<ul style="list-style-type: none"> ● Permeabilidade ao vapor de água: $\mu \leq 20$ 	
<ul style="list-style-type: none"> ● Aderência: $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$ - FP: B 	
<ul style="list-style-type: none"> ● Condutibilidade térmica / Massa volúmica: $(\lambda_{10,dry}) 0,45 \text{ W/(m.K)}$ (valor tabelado; P=50%) 	
<ul style="list-style-type: none"> ● Durabilidade de todas as argamassas excepto OC: NPD 	
<ul style="list-style-type: none"> ● Substâncias perigosas: Consultar FDS 	

Por outra parte, a rede em fibra de vidro para reforço de revestimentos delgados tem utilizações como reforço anti fissuração de revestimentos delgados em argamassa cimentícia ou em pastas, em sistemas do tipo ETICS.

Conferem resistência e estabilidade ao revestimento, evitando o aparecimento de fissuras decorrentes das variações de temperatura, do movimento das placas de material de isolamento, ou de microfissuras no suporte. A rede contribui ainda para melhorar a resistência ao choque do revestimento em que está incorporada. Garantindo o cumprimento dos parâmetros definidos no projeto.

Esta informação, poderá ser acrescentada e verificada nas ficha técnica, segurança e declaração de desempenho dos materiais aqui referidos.

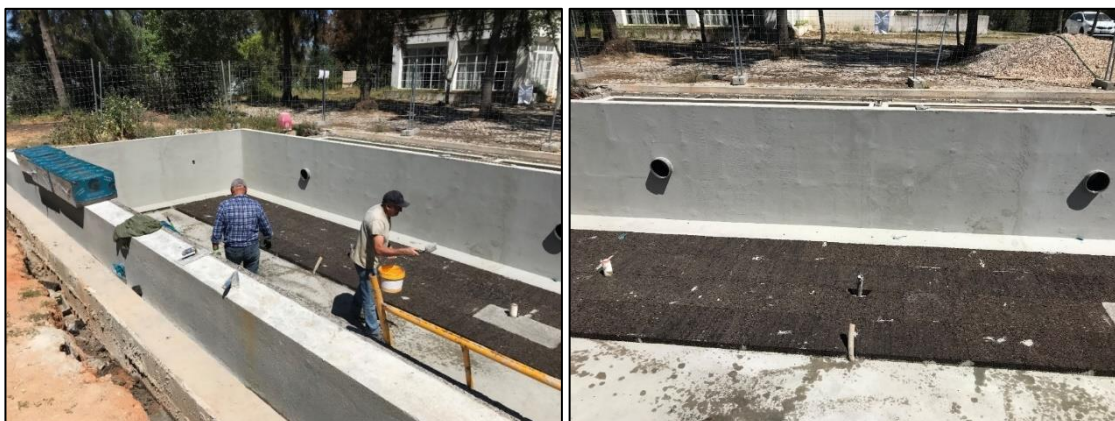


Figura 37 Aplicação da argamassa de camada base com rede de fibra de vidro no interior do tanque



Figura 38 Argamassa de camada base com rede de fibra de vidro no interior do tanque secundário (direita) e do tanque principal (esquerda)



Figura 39 Pormenor da estrutura até a camada base

3.5.3 ARGAMASSA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

A argamassa de impermeabilização tem como principal função garantir a impermeabilização do sistema. Impõem-se, neste caso, como requisitos a resistência ao impacto e a resistência à fissuração quando aplicada sobre um suporte semi-compressível (camada de base), mas também resistência ao empolamento quando submetido a pressão negativa da água.

A argamassa/membrana de impermeabilização deverá, por sua vez, exibir um alongamento de 5 a 10 %, uma aderência superior a 1 MPa, um módulo de elasticidade similar ou inferior a 5 GPa e uma resistência à fissuração conforme preconizado na norma EN 14891.

Pelo que baseado no trabalho desenvolvido pela equipa de investigação e análise do projeto ECOPOOL +++, com a colaboração da Weber, foi definido o uso do seguinte material:

- WEBERDRY 824 reforçado com rede de fibra de vidro WEBERDRY REDE 90, garantindo uma espessura final entre 0,8 e 1mm.

A Weber 824 é uma argamassa monocomponente, revestível com cerâmica ou pedra, flexível de impermeabilização, apta para contacto direto e permanente com água potável.

Normalmente, tem utilizações em paredes e pavimentos em áreas, piscinas, varandas e terraços, reservatórios de água para consumo humano (depósitos e tanques) e superfícies microfissuradas à base de cimento.

A Tabela 11, mostra os desempenhos declarados do material segundo a norma harmonizada EN14891:2012/AC:2012, tendo um valor de 3 na avaliação e verificação da regularidade do desempenho.

Tabela 11 Desempenhos declarados argamassa de impermeabilização (*Weber S. G., 2021*)

Desempenho(s) Declarado(s):	Norma harmonizada: EN 14891:2012/AC:2012
• Tensão de aderência inicial por tração: $\geq 1,6 \text{ N/mm}^2$	
• Impermeabilidade à água: sem penetração	
• Capacidade para resistência às fissuras: $\geq 0,95 \text{ mm}$; Condições Normais	
• Durabilidade à tensão de aderência à tração sob ação do calor: - Tensão de aderência após acção do calor: $\geq 1,8 \text{ N/mm}^2$	
• Durabilidade à tensão de aderência à tração sob ação da água / humidade: - Tensão de aderência após contacto com a água: $\geq 0,7 \text{ N/mm}^2$	
• Durabilidade à tensão de aderência à tração em contacto com água de cal: - Tensão de aderência após contacto com a água de cal: $\geq 0,9 \text{ N/mm}^2$	
• Durabilidade à tensão de aderência à tração de ciclos de gelo-degelo: - Tensão de aderência após ciclos de gelo-degelo: $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$	
• Libertação de substâncias perigosas: Consultar FDS	

A Weberdry rede 90, resiste a alcalinidade do cimento, melhorando o desempenho mecânico das membranas de impermeabilização (Figura 40 e 41). Comumente tem utilizações para o reforço mecânico da argamassa de impermeabilização em camada fina e da membrana monocomponente flexível de impermeabilização melhorando a resistência à fissuração e conferindo uma maior estanquidade.

Apresenta ainda, melhoria de resistência ao choque de revestimentos de acabamento decorativos, melhoria do comportamento à fissuração de gessos e estuques de gesso para paredes interiores, melhoria do desempenho de revestimentos tradicionais.

Esta informação, poderá ser acrescentada e verificada nas ficha técnica, segurança e declaração de desempenho dos materiais aqui referidos.



Figura 40 Aplicação da argamassa de impermeabilização com rede de fibra de vidro no interior do tanque (a)



Figura 41 Aplicação da argamassa de impermeabilização com rede de fibra de vidro no interior do tanque (b)

3.5.4 ARGAMASSA DE COLAGEM AO REVESTIMENTO CERÂMICO

A argamassa de colagem/cimento-cola tem como principal função a fixação do revestimento cerâmico, pelo que se impõe como requisitos principais a boa aderência e deformabilidade elevada. Esta argamassa deverá apresentar uma aderência superior a 0,5 MPa, uma deformação transversal superior a 2,5 mm e um módulo de elasticidade similar ou inferior a 5 GPa (Figura 43 e 44).

Pelo que novamente, baseado no trabalho desenvolvido pela equipa de investigação e análise do projeto ECOPOOL +++ com a colaboração da Weber, foi definido o uso do seguinte material:

- WEBERCOL FLEX XL BRANCO.

CASO DE ESTUDO: PROTÓTIPO

Colagem de cerâmica, pedra natural e mosaico hidráulico de grandes formatos em situações de elevada exigência, em interior e exterior. Tem utilização multisuportes, excelente deformabilidade e é adequado para grandes formatos.

A Tabela 12, mostra os desempenhos declarados do material segundo a norma harmonizada EN12004:2007+A1:2012, tendo um valor de 3+, 4 na avaliação e verificação da regularidade do desempenho.

Tabela 12 Desempenhos declarados argamassa de colagem. (Weber S. G., 2021)

□ Desempenho(s) Declarado(s):	□ Norma harmonizada: EN 12004:2007+A1:2012
● Reação ao fogo: Classe E a) [WFT] Decisão Comissão 2010/81/CE. Regulamento Delegado (EU) 2016/364.	
● Aderência:	
- Tensão de aderência inicial à tração: $\geq 1 \text{ N/mm}^2$	
● Durabilidade:	
- Tensão de aderência à tração após envelhecimento por ação do calor: $\geq 1 \text{ N/mm}^2$	
- Tensão de aderência à tração após imersão em água: $\geq 1 \text{ N/mm}^2$	
- Tensão de aderência à tração após ciclos de gelo-degelo: $\geq 1 \text{ N/mm}^2$	
● Libertação de substâncias perigosas: Consultar FDS	

Esta informação, poderá ser acrescentada e verificada nas ficha tecnica, segurança e declaração de desempenho dos materiais aqui referidos

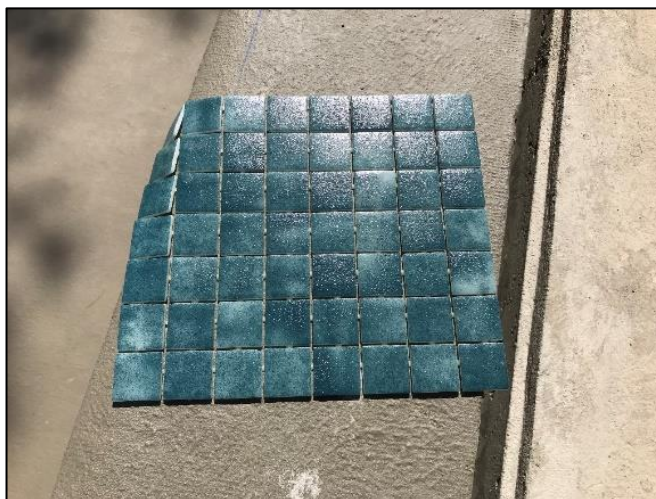


Figura 42 Revestimento cerâmico aplicado no protótipo.



Figura 43 Aplicação da argamassa de colagem no revestimento cerâmico no interior do tanque (a)

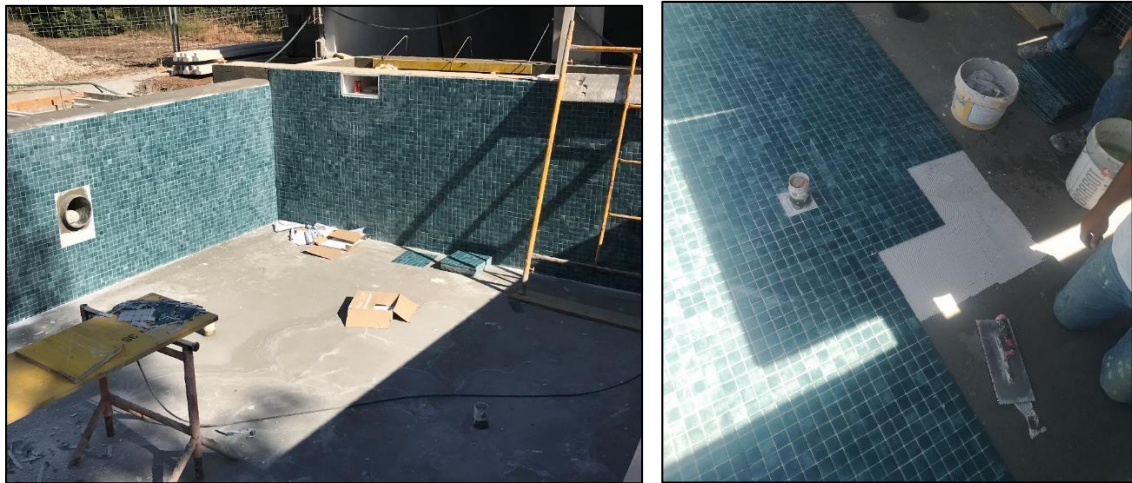


Figura 44 Aplicação da argamassa de colagem no revestimento cerâmico no interior do tanque (b)



Figura 45 Detalhe da esquina na aplicação da argamassa de colagem no revestimento cerâmico no interior do tanque

3.5.5 ARGAMASSA DE JUNTAS

A argamassa de juntas, por sua vez, terá, ainda, que garantir a resistência química do sistema. No entanto este material não se encontrava ainda disponível no mercado pela Weber, pelo que foi feita uma produção específica para a aplicação no protótipo e posterior análise do mesmo.

A argamassa a aplicar para refechamento das juntas dos elementos cerâmicos deve também conservar uma boa resistência à compressão quando submetida a ataque químico. Deverá, ainda, exibir propriedades flexíveis nas situações em que esse comportamento é requerido (Figura 46 e 47).



Figura 46 Rejuntamento do revestimento cerâmico no interior do tanque (a)



Figura 47 Rejuntamento do revestimento cerâmico no interior do tanque(b)

3.6 RESUMO DO SISTEMA

Finalmente, este capítulo conclui-se com a apresentação de duas Tabelas resumo onde se mostra a ordem específica das camadas do sistema, a espessura da camada e se descrevem as funções principais. A Tabela 14, mostra os requisitos principais que foram definidos para o bom desempenho do conjunto bem como as propriedades e valores limites para responder aos requisitos.

Tabela 13 Tabela resumo – Ordem do sistema

Camada do sistema	Espessura	Função
Isolamento térmico	60 mm	<ol style="list-style-type: none"> 1. Minimizar perdas de calor pela envolvente do tanque 2. Garantir resistência à compressão e deformabilidade.
Camada de base	5 a 8 mm	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proteção do painel isolante: 2. Resistir ao impacto e deformação. 3. Suportar a aplicação do revestimento.
Argamassa de impermeabilização	0.8 a 1 mm	<ol style="list-style-type: none"> 1. Impedir a penetração de água
Argamassa de colagem pastilha	0.8 a 1 mm	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fixar adequadamente o revestimento cerâmico
Argamassa de juntas	3 mm	<ol style="list-style-type: none"> 1. Assegurar o refechamento dos espaços entre ladrilhos.

Tabela 14 Tabela resumo – Requisitos principais

Camada do sistema	Requisitos principais	Propriedades e valores limite para responder aos requisitos
Isolamento térmico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Condutibilidade térmica reduzida. 2. Resistência à compressão. 3. Deformabilidade. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Condutibilidade térmica inferior a 0,05 W/m.K 2. Resistência à compressão > 100 kPa (10% deformação)
Camada de base	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resistência impacto. 2. Resistência à fissuração durante utilização, que implica alguma capacidade de deformação. 3. Capaz de conferir rigidez para suportar todo o sistema. 4. Balanço adequado entre os pontos 2 e 3. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aderência ao material isolante > 0,3 MPa (ou coesivo pelo isolante, se inferior). 2. Deformação transversal > 2,5 mm. 3. Módulo Elasticidade < 8 GPa
Argamassa de impermeabilização	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resistência à fissuração durante utilização, sobre camada de base semi-compressível. 2. Resistência adesiva adequada. 3. Resistência ao impacto. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alongamento 5 a 10 % (ou, eventualmente, de 10 a 50 %) e deformabilidade até 10% sem ocorrência de fissuração. 2. Aderência > 1 MPa. 3. Absorção de água sob pressão < 1%.

	4. Resistência ao empolamento (pressão negativa da água).	
Argamassa de colagem pastilha	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aderência 2. Deformabilidade 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aderência > 0,5 MPa (para todas as condições da norma, relativamente à pastilha escolhida). 2. Deformação transversal > 2,5 mm (ou 5 mm)
Argamassa de juntas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resistência química 2. Módulo de elasticidade compatível com os restantes elementos do sistema 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resistência compressão sob ataque químico 2. Avaliar possibilidade de junta elástica do tipo mástique com módulo de elasticidade < 1 GPa ou, em alternativa, argamassa cimentícia com módulo de elasticidade entre 5 e 15 GPa.

As seguintes Figuras apresentam o protótipo com a aplicação do sistema anteriormente descrito.



Figura 48 Tanques e casa das máquinas

4

CAMPANHA DE ENSAIOS

4.1 ENQUADRAMENTO GERAL

Neste capítulo, descreve-se a campanha experimental que permitiu analisar o comportamento mecânico e a resistência do sistema proposto por meio de diferentes ensaios executados no protótipo descrito.

A campanha esta composta por oito ensaios “*in-situ*”. Estes estão divididos por ensaios destrutivos e não destrutivos como se mostra a continuação. Além do protótipo, foi construída uma parede experimental para os ensaios destrutivos e os ensaios não destrutivos serão realizados nos tanques secundários tendo as mesmas condições e características do tanque principal.

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

1. Inspeções visuais;
2. Ensaio de percussão;
3. Ensaio de absorção de água – Tubos de Karsten;
4. Simulações de carga.

ENSAIOS DESTRUTIVOS

1. Resistência ao impacto – Resistência superficial com choque de esfera;
2. Resistência ao impacto – Penetração controlada;

3. Determinação da resistência superficial – Pêndulo de Smith;
4. Determinação da resistência adesiva.

4.2 DESCRIÇÃO DA CAMPANHA

A campanha de ensaios foi realizada em duas etapas diferentes do processo construtivo do protótipo: A primeira realizou-se durante a construção (argamassa de impermeabilização) e a segunda após a conclusão do protótipo (revestimento cerâmico), no entanto como a campanha se executou em tanques diferentes os ensaios foram realizados em simultâneo.

Nesta campanha definiram-se três fases as quais foram realizadas no tanque principal, tanque secundário e na parede experimental.

FASE 1 – TANQUE SECUNDÁRIO

A execução dos ensaios nesta amostra foi realizada durante a construção do tanque secundário. Esta bateria de ensaios realizou-se após a aplicação da argamassa de impermeabilização com o intuito de analisar o comportamento das camadas até ao dito material

FASE 2 – TANQUE PRINCIPAL

A execução dos ensaios nesta amostra realizou-se após a construção do tanque principal e do tanque de compensação do protótipo.

Nesta etapa realizaram-se quatro ensaios não destrutivos que foram: Inspeções visuais, ensaio de percussão, tubos de Karsten e simulações de carga. O alcance de esta dissertação, não considerará o ensaio de simulações de carga, no entanto, será realizada uma breve descrição e será mencionado durante o capítulo para após conclusão desta tese ter a possibilidade de continuar em futuras linhas de investigação.

FASE 3 – PAREDE EXPERIMENTAL

Com a finalidade de não destruir o protótipo nem o tanque de compensação, foi prevista a execução de uma parede experimental tendo duas vertentes de análise para realizar a campanha de ensaios destrutivos. A primeira vertente foi construída nas mesmas condições do tanque do protótipo, o que permite considerar que o comportamento do material será o mais próximo/semelhante ao existente. A segunda vertente, foi construída com o revestimento cerâmico “mal colado”, avaliando assim qual será o comportamento do material nestas condições.

Nesta parede (Figuras 49-52) levaram-se a cabo os seis ensaios “*in-situ*” de forma sequencial a aproveitar o máximo de dados recolhidos:

1. Ensaio de percussão;
2. Ensaio de absorção de água – Tubos de Karsten;
3. Resistência ao impacto – Resistência superficial com choque de esfera;
4. Resistência ao impacto – Penetração controlada;
5. Determinação da resistência superficial – Pendulo de Smith;
6. Determinação da resistência adesiva.



Figura 49 Parede experimental



Figura 50 Pormenor da parede experimental



Figura 51 Parede experimental – camada de impermeabilização com rede de fibra de vidro



Figura 52 Pastilha bem colada (esquerda) e pastilha mal colada (direita)

4.3 TIPO DE AMOSTRAS

Definiram-se as seguintes amostras:

1. **Inspecções visuais:** todas as superfícies dentro do tanque (4 paredes e chão) com uma área a inspecionar de 0.5 x 0.5 m.
2. **Ensaio de percussão:** todas as superfícies e zonas críticas como Parede-Parede, Chão-Parede, Esquinas.
3. **Ensaio de absorção de água – Tubos de Karsten:** 3 amostras nas zonas críticas como Paredes, Chão e Juntas.
4. **Simulações de carga:** protótipo e tanque de compensação 1 vez por semana durante 1 mês.
5. **Resistência ao impacto – Resistência superficial com choque de esfera:** pelo menos 3 amostras, distribuídas no suporte.

6. **Resistência ao impacto – Penetração controlada:** pelo menos 3 amostras, distribuídas no suporte.
7. **Determinação da resistência superficial – Pêndulo de Smith:** pelo menos 10 amostras distribuídas no suporte com áreas ou painéis menores que $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ e não maiores a $1 \times 1 \text{ m}^2$.
8. **Determinação da resistência adesiva:** pelo menos 5 amostras distribuídas no suporte com dimensões mínimas de $550 \times 150 \times 50 \text{ mm}$.

4.4 INSPEÇÕES VISUAIS

4.4.1 OBJETIVO

O objetivo é avaliar e identificar a existência de fissuração em diferentes zonas da envolvente do tanque da piscina após a aplicação do revestimento cerâmico.

4.4.2 METODOLOGIA

- Definir zonas de ensaio para inspecionar periodicamente (manhã, meio dia, tarde), tendo como critério de escolha as zonas que apresentem inexistência de fissuração ou menor grau desta;
- No período de uma semana, far-se-á um registro fotográfico das temperaturas a que se encontra o envolvente do tanque;
- As zonas que apresentem fissuração serão monitorizadas para determinarem o seu desenvolvimento ao longo do período do ensaio.

4.4.3 EQUIPAMENTO E AMOSTRAS

Para medição e registro de dados foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Câmara térmica GTC 400 C Professional da marca Bosch (Figura 53).
Resolução do sensor infravermelho 160×120 ;
Sensibilidade Térmica $< 50 \text{ mK}$;
Amplitude de medição -10°C ate $+400^\circ\text{C}$.



Figura 53 Câmara térmica GTC 400 C Professional

- Termómetro de infravermelhos ScanTemp 410 da marca TFA DOSTMANN (Figura 54).

Amplitude de medição -60°C e $+500^{\circ}\text{C}$.



Figura 54 Termómetro de infravermelhos ScanTemp 410

- Microscópio de fissuras da marca AVONGARD (Figura55)

Resolução: 0.02mm

Amplitude de medição: 4.00mm

Ampliação geral x40



Figura 55 Microscópio de fissuras

Foram definidas cinco zonas de ensaios com uma área $0,25\text{m}^2$ ($0,50 \times 0,50 \text{ m}$) com as seguintes localizações (Figura 56):

- Amostra 1: Parede interior virada a Este;
- Amostra 2: Parede interior virada a Sul;
- Amostra 3: Parede interior virada a Oeste;
- Amostra 4: Parede interior virada a Norte;
- Amostra 5: Pavimento.

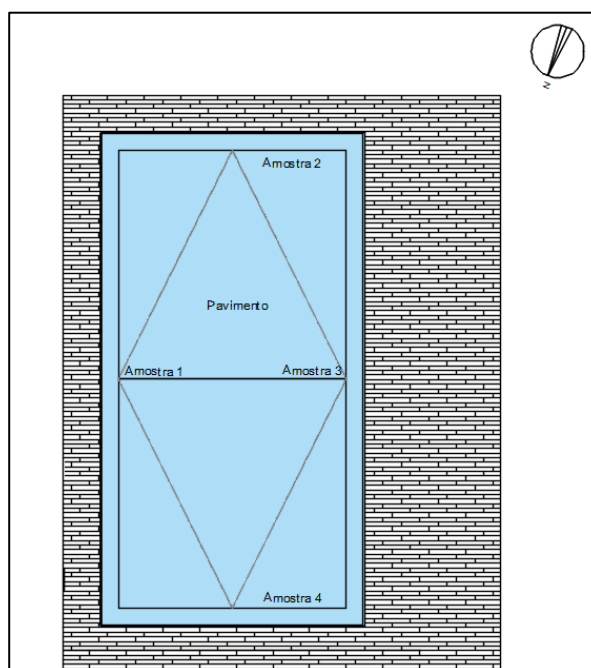


Figura 56 Localização das amostras

4.4.4 EXECUÇÃO NO PROTÓTIPO

O ensaio teve início no dia 16/05/23 pelas 13h30 com a primeira recolha de dados do dia, e foram definidas as horas de recolha dos restantes dados, sendo estas às 09h00, 13h30 e as 17h30, bem como a temperatura do ambiente em cada amostra.

Nas Figuras 57, 58, 59, 60 e 61 podem-se observar os resultados obtidos nas zonas das cinco amostras, tendo a possibilidade de diferenciar quais são os pontos de temperaturas máximas e mínimas, bem como as temperaturas nas zonas das amostras.

Os dados recolhidos no presente ensaio serão apresentados no capítulo seguinte.

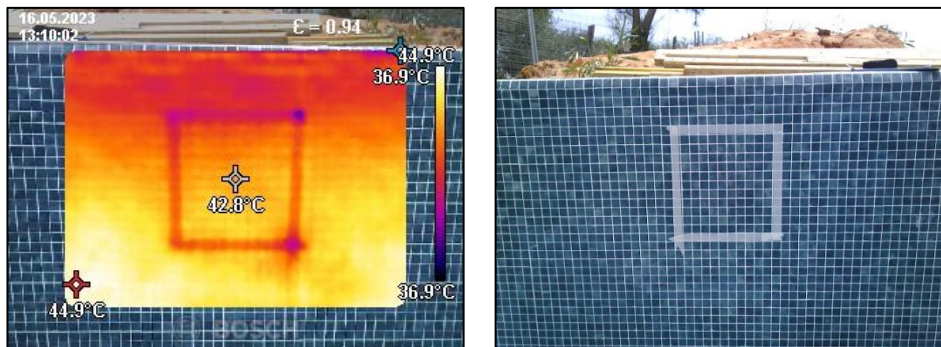


Figura 57 Temperatura recolhidas às 13h30 - Amostra 1

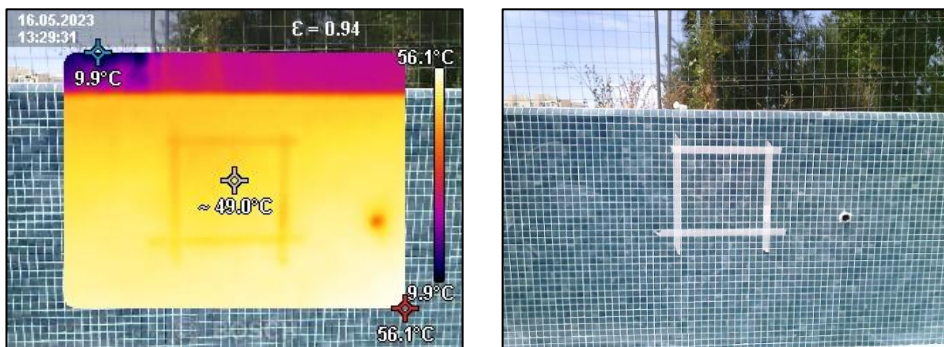


Figura 58 Temperatura recolhidas às 13h30 - Amostra 2

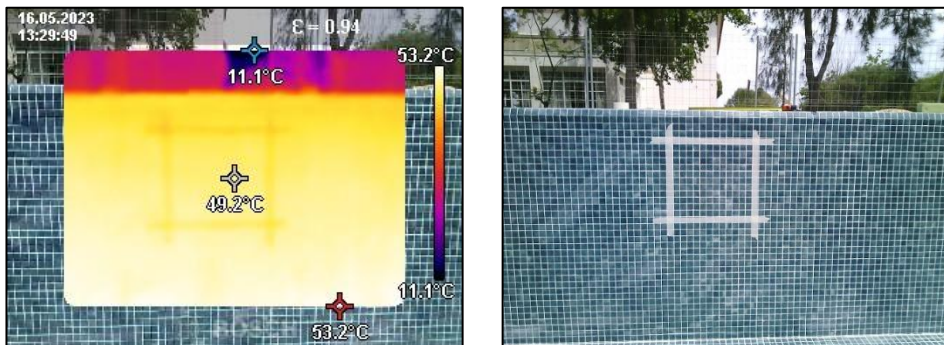


Figura 59 Temperatura recolhidas às 13h30 - Amostra 3

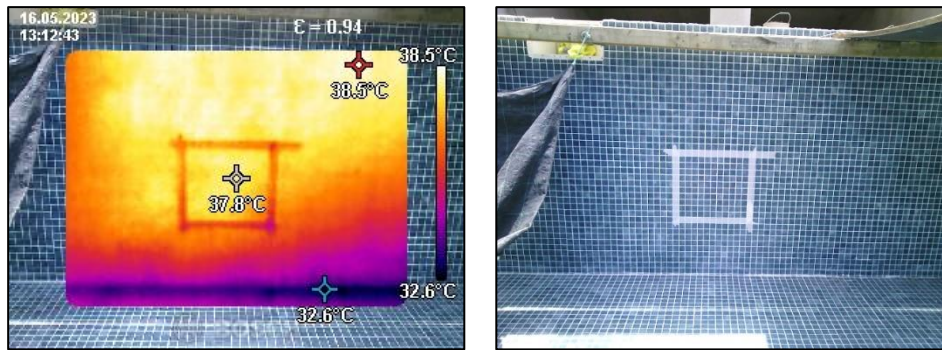


Figura 60 Temperatura recolhidas às 13h30 - Amostra 4

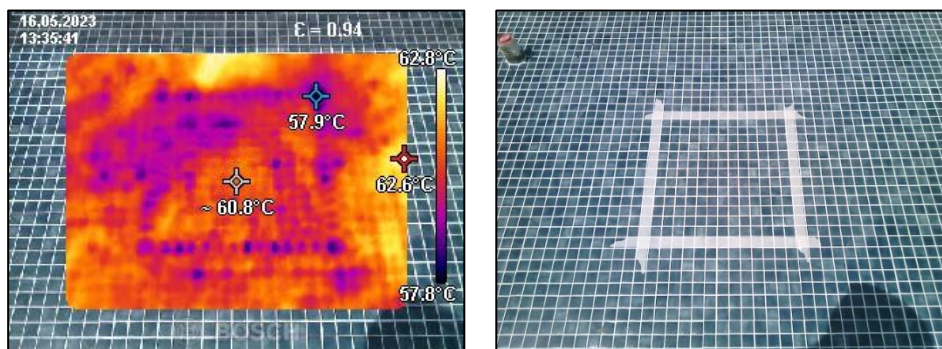


Figura 61 Temperatura recolhidas às 13h30 - Amostra 5

4.5 ENSAIO DE PERCUSSÃO

4.5.1 OBJETIVO

O objetivo do ensaio é avaliar e identificar a existência de fissuração em diferentes zonas: entre paredes, chão e parede e esquinas, permitindo localizar possíveis zonas ocas. Assim como, inspeção visual com registo fotográfico, mapeamento e medição de fissuras e zonas ocas existentes.

4.5.2 METODOLOGIA

Deve-se realizar o teste de percussão utilizando um martelo metálico de borracha ou de nylon sendo o procedimento o seguinte:.

- Produzir impactos leves, não contundentes com o martelo indicam o estado do revestimento.
- Avaliar as seguinte zonas: Parede-Parede, Chão -Parede e Esquinas.
- Se o barulho for cavo ou oco, indica que o revestimento não esta bem aderido ao suporte o que pode resultar em infiltrações ou fissuras.

- Em caso de existir zonas ocas, fazer mapeamento da área de risco.

4.5.3 EXECUÇÃO NO PROTÓTIPO

Para este ensaio o equipamento adotado foi um martelo de borracha preta, como se mostra na Figura 62.

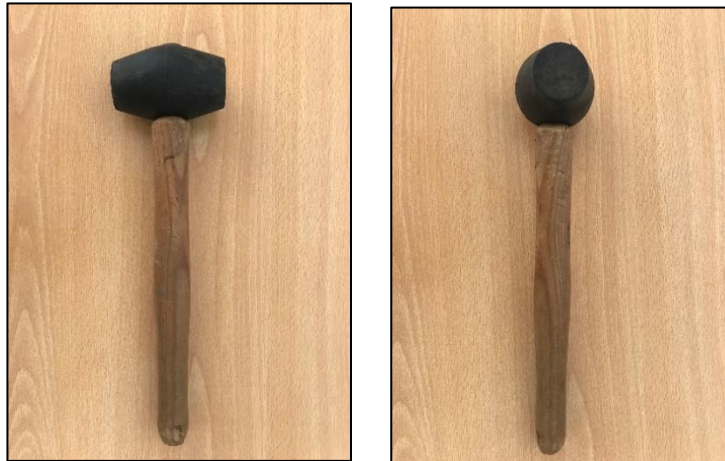


Figura 62 Martelo de borracha usado no ensaio de percussão

Inicialmente, foram inspecionadas as paredes do tanque principal do protótipo, as paredes experimentais 1 – bem colada e experimental 2 – mal colada. Tendo-se verificado que quer na parede bem colada, quer no tanque do protótipo as camadas do material são homogêneas e contínuas. Não havendo imperfeições nestas duas amostras, continuou-se o ensaio na parede experimental 2 - mal colada.

Como se mostra nas Figuras 63 e 64, produziram-se impactos leves, não contundentes avaliando continuamente as paredes e o pavimento. De acordo com o som da percussão realizou-se o mapeamento das zonas ocas ou mal coladas tendo-se determinado que a area mal colada era substancialmente superior a area bem executada.



Figura 63 Identificação das zonas ocas (esquerda) e execução do mapeamento das áreas de risco (direita)



Figura 64 Mapeamento das áreas de risco – Ensaio de percussão parede experimental

4.6 IMPERMEABILIZAÇÃO À ÁGUA – TUBO DE KARSTEN

4.6.1 PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Para a realização deste ensaio segue-se a norma RILEM Test Method N. 11.4 - ASTM E 514 (PROSOCO, 2021)

4.6.2 OBJETO

A medição da absorção de água a baixa pressão (também chamada de medição do tubo Karsten) é um método definido nos regulamentos internacionais do RILEM-25-PEM. (PROSOCO, 2021)

O método de ensaio RILEM II.4 fornece um método simples para medir o volume de água absorvido por um material dentro de um período de tempo especificado. O teste pode ser realizado no local ou em laboratório e pode ser usado para medir o transporte vertical ou horizontal da água.

4.6.3 EQUIPAMENTO E AMOSTRAS

O equipamento necessário para medir a absorção de água sob baixa pressão é simples. O teste pode ser realizado no local ou em laboratório com um aparelho de teste disponível em duas formas. Um é concebido para aplicação em superfícies verticais e mede o transporte horizontal

de água, ou seja, sua resistência à penetração da chuva impulsionada pelo vento. Um segundo aparelho é concebido para aplicação em superfícies horizontais e mede o transporte vertical.

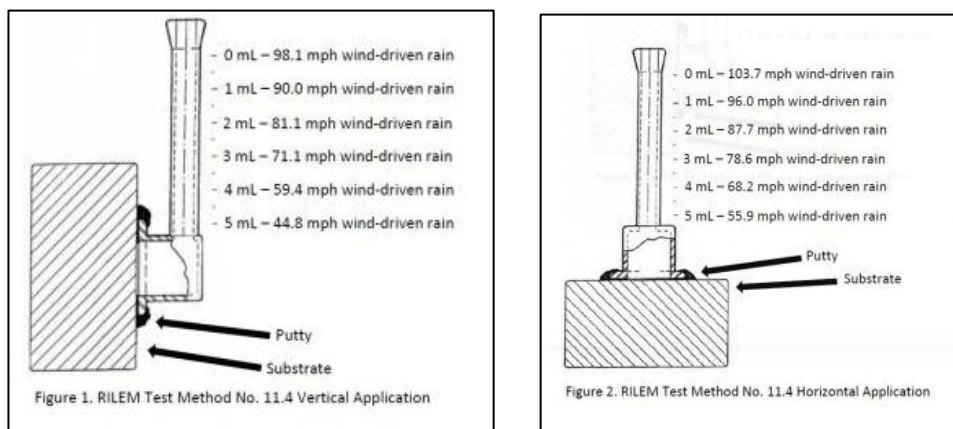


Figura 65 Equipamento tubos Karsten (*Pereira N. B., 2015*) (*E205, 2013*)

A Figura 65 - esquerda ilustra o aparelho para **superfícies verticais**. A sua superfície plana e circular (na extremidade inferior do tubo) é fixada na superfície da alvenaria por meio da interposição de um pedaço de material adesivo apropriado. A extremidade inferior aberta do tubo tem uma área de 4,9 cm². O tubo vertical é graduado de 0 a 5 ml com cada gradação representando um incremento de 0,5 ml. A altura total da coluna de água aplicada à superfície, medida do ponto central da borda plana e circular até a gradação superior, é de 12 cm. Isso corresponde a uma pressão de 1177,2 Pa, ou uma pressão de vento dinâmica de 157,8 Km/h (Prosoco, 2020).

A Figura 65 - direita ilustra o aparelho para aplicação em **superfícies horizontais**. O tubo horizontal é graduado da mesma forma que o tubo vertical. A altura total da coluna de água aplicada à superfície, medida da borda plana e circular até a gradação superior, é de 13,4 cm. Isso corresponde a uma pressão de 1314,5 Pa, ou uma pressão de vento dinâmica de 166,8 km/h (Prosoco, 2020).

As medições irão decorrer em três áreas específicas: camada de impermeabilização, no chão e na junta do material.

4.6.4 METODOLOGIA

Define-se o procedimento do ensaio da seguinte forma:

1. O tubo Karsten é fixado com uma tira de massa de vidraceiro entre a borda plana e circular do tubo e o material de alvenaria (superfície de teste);
2. O tubo é preenchido com água usando um borrifador, até o nível zero (marca 0);

3. A quantidade de água absorvida pelo material durante um determinado período de tempo é lido diretamente no tubo graduado;
4. Os períodos de tempo apropriados para o teste dependem da porosidade do material sobre o qual a medição está sendo feita, geralmente intervalos de 5, 10, 15, 20, 30 e 60 minutos fornecem os dados mais úteis;
5. O grau de absorção de água corresponde à diferença de nível após 5 e após 60 minutos expresso em ml;
6. Este valor representa a quantidade de água que pode ser absorvida pelo substrato no espaço de tempo considerado;
7. Na prática, devem ser realizadas pelo menos 2 medições: uma no reboco ou pedra natural e outra na junta.

4.6.5 LOCALIZAÇÃO NO PROTÓTIPO

A primeira localização onde foi realizado este ensaio foi no tanque secundário do protótipo, com o intuito de medir a absorção de água na camada de impermeabilização. Para isto, foram fixados com plasticina tres tubos verticais na parede e três tubos horizontais no pavimento do tanque como se mostra na Figura 66.

Em seguida, foram preenchidos com água os tubos e cronometraram-se intervalos de 5, 10, 15, 20, 30, 60 e 120 min verificando positivamente que ao finalizar o tempo estabelecido não houve nenhuma absorção de água neste material (camada de impermeabilização).



Figura 66 Tanque secundário: parede (esquerda) e pavimento (direita)

Na realização do ensaio no tanque principal e nas duas vertentes da parede experimental, foi realizado o mesmo procedimento que no tanque secundario, no entanto, a recolha dos dados realizou-se em tres zonas especificas como se mostra nas Figuras 67,68 e 69. Junta vertical, cruzamento das juntas e pastilha, com o intuito de avaliar o comportamento segundo a

dimensão da área de absorção, verificando assim que a absorção da água poderia ter um comportamento lineal: a maior área de junta maior absorção de água.

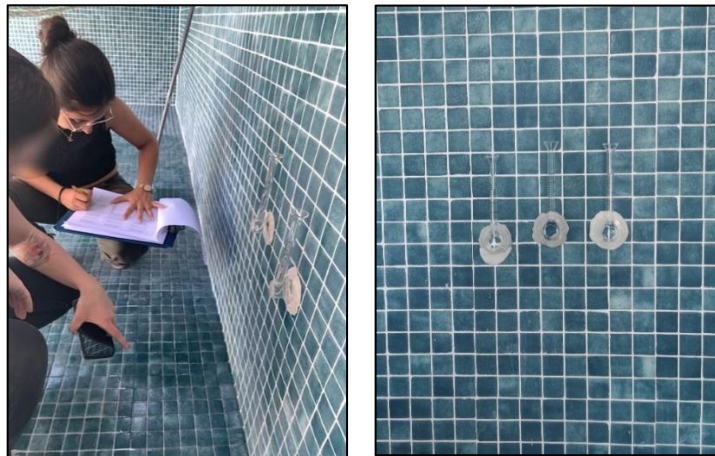


Figura 67 Tanque principal: amostras na parede



Figura 68 Parede experimental 1 – Bem colada, amostras no pavimento

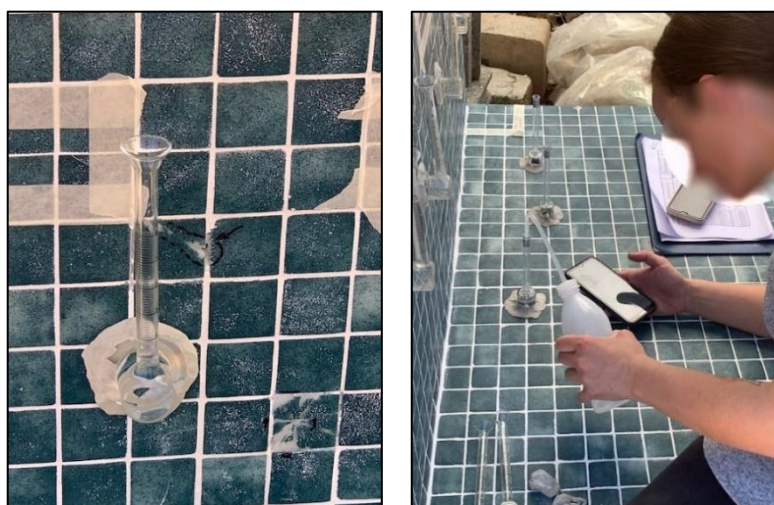


Figura 69 Parede experimental 2 – Mal colada, amostras na parede (esquerda) e no pavimento (direita)

4.7 RESISTÊNCIA AO IMPACTO – MARTINET BARONNIE: PENDULO DE ESFERA

4.7.1 OBJETO

O teste tem como objetivo determinar a resistência ao impacto de corpos duros em superfícies e a deformabilidade superficial com uma energia de 3J no impacto.

A resistência ao impacto é avaliada a partir de o diâmetro da marca produzida na superfície testada e o tipo de degradação resultante. (Tavares, Magalhães, Veiga, & Aguiar , 2013)

4.7.2 EQUIPAMENTO E AMOSTRAS

- Aparelho Martinet Baronnie, possui um braço com 0,6 m de comprimento, e na sua extremidade uma esfera de aço com 50 mm de diâmetro e massa de 0,5 kg, produzindo um choque com energia de 3 Joules (Figura 70 e 71).
- Régua para medição de precisão 1 mm.
- Recomenda-se a execução do ensaio em pelo menos 5 pontos distintos de cada superfície a ensaiar.

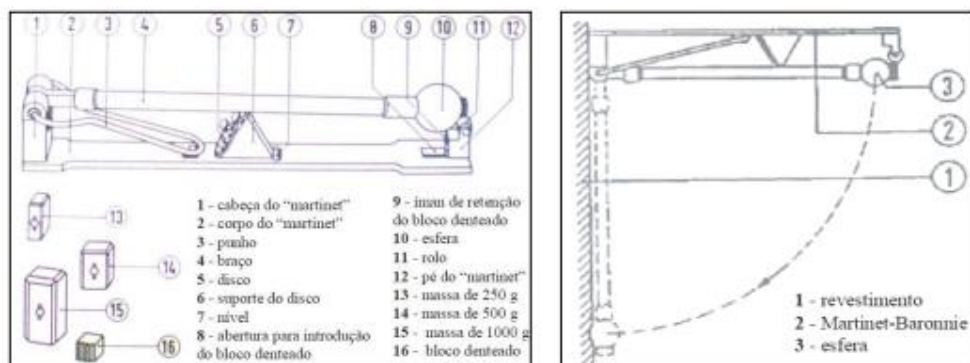


Figura 70 Equipámento de Martinet-Baronnie



Figura 71 Aparelho de Martinet-Baronnie – Pêndulo de esfera

4.7.3 METODOLOGIA

Define-se o procedimento do ensaio da seguinte forma:

- Os pontos são selecionados a partir do material sobre o qual o ensaio será realizado;
- O aparelho de Martinet Baronnie é posicionado horizontalmente, colocando a esfera perpendicularmente ao material de ensaio, para garantir uma queda livre na superfície (Figura 72);
- Consequentemente, deve ser medido o diâmetro da deformação causada por cada impacto da esfera de aço;
- Este procedimento será realizado para cada um dos pontos inicialmente selecionados

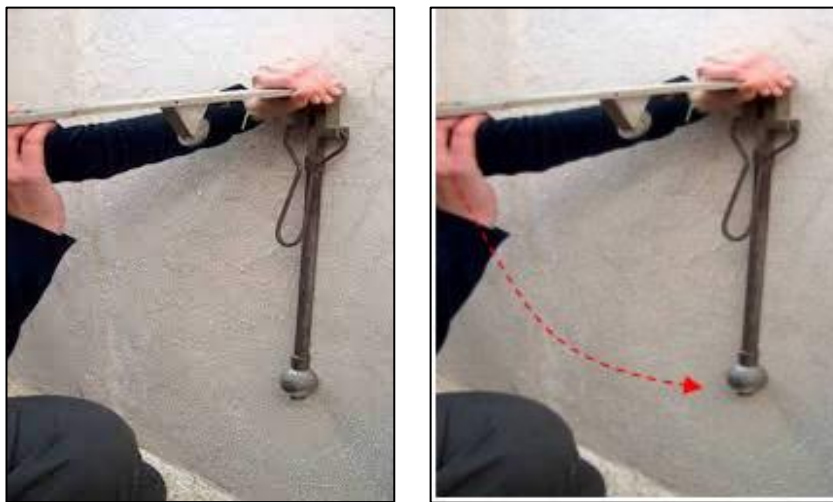


Figura 72 Ensaio de choque de esfera (Malanho & Veiga , 2018)

A resistência ao impacto é avaliada a partir do diâmetro da marca produzida na superfície testada e o tipo de degradação resultante. Pode-se dizer que quanto menor o diâmetro do impacto, maior a resistência do reboco. No entanto, deve ter-se em consideração que um diâmetro relativamente elevado pode significar um bom resultado, desde que não seja acompanhado de fissuração, uma vez que indica uma elevada deformabilidade, característica muito vantajosa numa argamassa de substituição. (Veiga & Carvalho , 2000)

4.7.4 EXECUÇÃO NO PROTÓTIPO

A execução deste ensaio, iniciou-se no tanque secundário como se mostra na Figura 73. Foram realizadas recolhas de três amostras distribuídas no suporte de três paredes do tanque, obtendo-se na totalidade nove amostras de dados em todas as superfícies.

Para tal, o equipamento foi posicionado horizontalmente garantindo uma queda livre na superfície, após do impacto, foi feita a marcação do diâmetro da mocha e finalmente medida a deformação do mesmo. Este procedimento foi realizado para cada uma das amostras.



Figura 73 Início do ensaio (esquerdo) marcação do diâmetro da mocha (médio) medição do diâmetro da mocha (direita) Ensaio de choque de esfera – Tanque secundário

A segunda etapa deste ensaio, foi realizada nas duas vertentes da parede experimental, realizando o mesmo procedimento que no tanque secundário. As amostras neste caso foram definidas para a zona da junta vertical, cruzamento das juntas e na pastilha como se mostra nas seguintes Figuras.

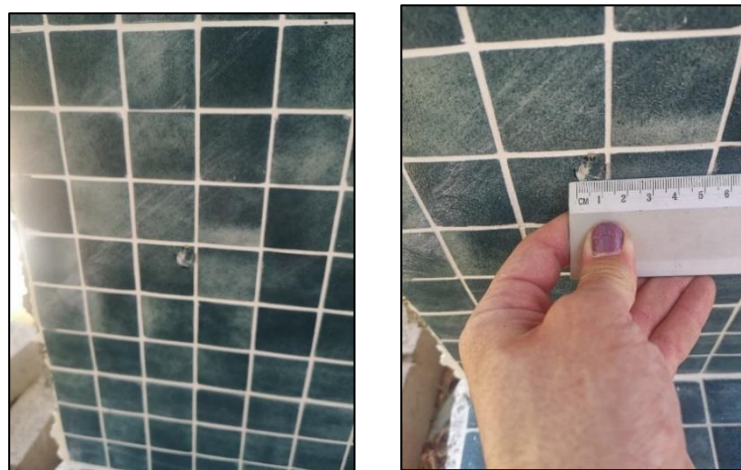


Figura 74 Ensaio de choque de esfera – Parede experimental 1 – Bem colada



Figura 75 Ensaio de choque de esfera – Parede experimental 1 – Bem colada



Figura 76 Ensaio de choque de esfera – Parede experimental 2 – Mal colada

4.8 RESISTÊNCIA AO IMPACTO – MARTINET BARONNIE: PENETRAÇÃO CONTROLADA

4.8.1 OBJETO

Este método permite avaliar qualitativamente a resistência de cada camada e pode ser útil para obter informações sobre a resistência mecânica das camadas internas, permitindo assim uma avaliação de sua condição. (Tavares, Magalhães, Veiga, & Aguiar, 2013).

Este teste, consiste em provocar a penetração de uma punção de aço, com uma escala graduada em milímetros, com vários impactos de energia constante numa superfície. Assim, pode ser registrada a penetração da argamassa com cada impacto.

4.8.2 EQUIPAMENTO E AMOSTRAS

- Aparelho Martinet Baronnie (Figura 77).
- Régua para medição de precisão 1 mm.
- Pregos de aço.
- Recomenda-se a execução do ensaio em pelo menos 3 pontos distintos da superfície a ensaiar.



Figura 77 Aparelho de Martinet-Baronnie – Penetração controlada

4.8.3 METODOLOGIA

Define-se o procedimento do ensaio da seguinte forma:

- Os pontos selecionados na superfície são ajustados para executar o teste;
- Um prego é colocado no ponto selecionado;
- O equipamento é montado contra a superfície a ser testada, mantendo o acessório e a haste de aço em contato com a superfície;
- A posição inicial do prego é marcada com um lápis;
- O braço do equipamento é montado perpendicularmente ao prego de aço (Figura 78);
- Deixa-se cair a massa e certifique-se de que é apenas um contato;
- Após o primeiro impacto, destaca-se a haste que corresponde à profundidade da primeira penetração;
- Repetiu-se o procedimento anterior por mais 2 vezes para cada ponto a ensaiar;
- Com uma régua de precisão 0,1 mm, mediram-se as profundidades das 3 penetrações.

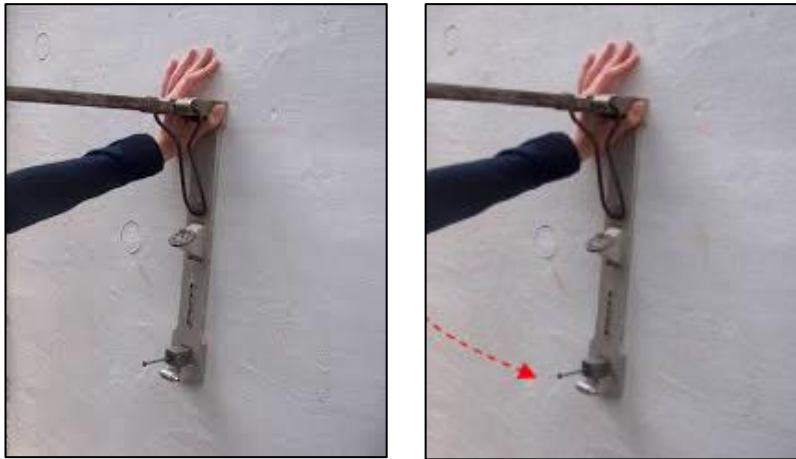


Figura 78 Ensaio de perfuração controlada (*Malanho & Veiga , 2018*)

A resistência ao impacto é avaliada a partir da penetração produzida na superfície testada. Pode-se dizer que quanto menor profundidade do impacto, maior a resistência no suporte. (Lucas Lino, 2013)

4.8.4 EXECUÇÃO NO PROTÓTIPO

A execução deste ensaio, iniciou-se novamente no tanque secundário como se mostra na Figura 79. Foram realizadas recolhas de três amostras distribuídas no suporte de três paredes do tanque, obtendo-se na totalidade nove amostras de dados em todas as superfícies.

Primeiro, foi posicionado o equipamento horizontalmente garantindo uma queda livre sobre um prego e a haste de aço em contato com a superfície. A posição inicial do prego foi marcada com um marcador e a seguir deixou-se cair o braço do aparelho, após do impacto, foi registada a marcação da profundidade no prego e repetiu-se o procedimento por mais duas vezes em cada amostra. Finalmente com uma régua mediram-se as profundidades das 3 penetrações. Este procedimento foi realizado para cada uma das amostras de todo o ensaio.



Figura 79 Equipamento de Martinet-Baronnie - penetração controlada (esquerda) e acessórios (direita)



Figura 80 Ensaio de penetração controlada – Tanque secundário

A segunda etapa deste ensaio, foi realizada nas duas vertentes da parede experimental (Figura 81 e 82), realizando o mesmo procedimento que no tanque secundário. As amostras neste caso foram definidas para a zona da junta vertical, cruzamento das juntas e na pastilha como se mostra nas Figura 83. Apresentando sensivelmente melhores resultados na parede experimental 1 – Bem colada.

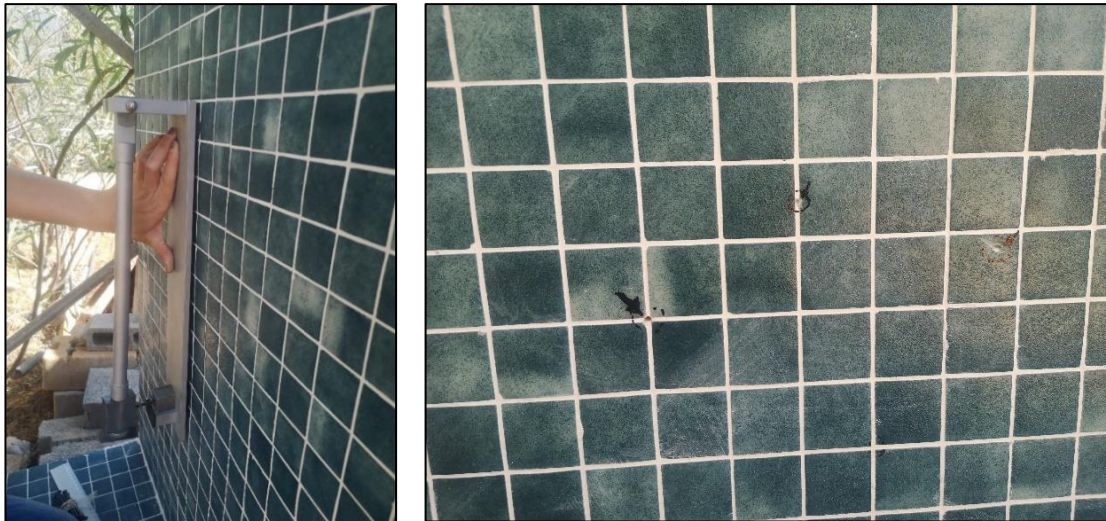


Figura 81 Parede experimental 1 – Bem colada, execução do ensaio (direita), amostras (esquerda)



Figura 82 Parede experimental 2 - Mal colada, pastilha (esquerda) cruzamento de juntas (meio), junta vertical (direita)

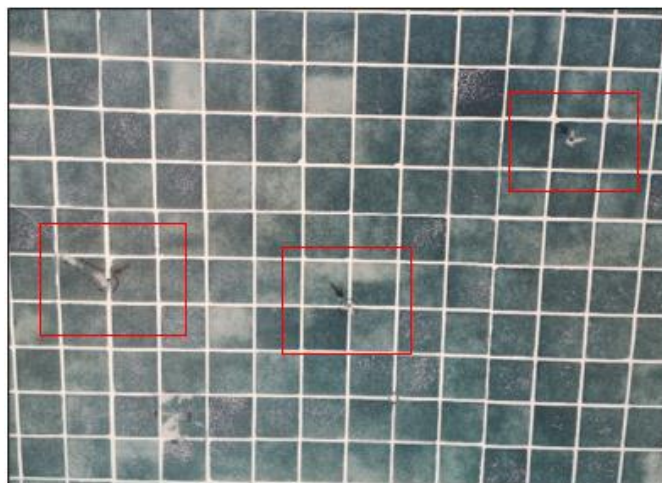


Figura 83 Parede experimental 2 - Mal colada, amostras experimentais

4.9 RESISTÊNCIA AO IMPACTO – PENDULO DE SMITH

4.9.1 PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Para a realização deste ensaio segue-se a norma EN 12504-2 (CEN, 2016)

RILEM TC 127-MS: TEST FOT MASONRY MATERIALS AND STRUCTURES (RILEM, 1997)

4.9.2 OBJETIVO

O ensaio com esclerómetro pendular tem como objetivo avaliar a resistência mecânica das camadas superficiais de reboco, através da medição da dureza superficial. As durezas podem ser medidas em termos de classes de dureza.

4.9.3 EQUIPAMENTO E AMOSTRAS

O aparelho a usar no ensaio é um esclerómetro Schmidt Hammer PM (Figura 84), que produz uma energia de impacto em Jules, sendo indicado para ensaio de revestimentos e alvenarias.

O ensaio, tem como base a norma EN 12504-2 (CEN, 2001), que define um mínimo de 9 leituras por superfície, sendo que cada um dos pontos definidos para leitura deve distar pelo menos 25 mm de cada um dos outros.

As medições devem ser realizadas em áreas ou painéis não menores que 0,5 x 0,5 m² e não maiores que 1 x 1 m² pelo que no caso poder-se-á definir 10 pontos por cada superfície ensaiada do protótipo.



Figura 84 Esclerómetro Schmidt Hammer

4.9.4 METODOLOGIA

Define-se o procedimento do ensaio da seguinte forma:

1. Preparar a superfície e definir os pontos a ensaiar em cada superfície;

2. Encostar o aparelho à parede experimental, fazendo coincidir a zona de impacto da massa com o ponto definido;
3. Libertar o pêndulo, através do botão de disparo e a massa de impacto embaterá sobre a superfície do revestimento;
4. Registrar o índice esclerométrico (valor resultante do ressalto do pêndulo) em cada ponto avaliado. (Lucas Lino, 2013).

Após a conclusão do ensaio, apresentam-se os valores médios e respetivos desvios-padrão do índice esclerométrico, resultantes de avaliação da dureza superficial. Estes valores resultam da média aritmética das leituras efetuadas nos 10 pontos definidos na parede experimental.

Seguindo a especificação da norma EN 12504-2, devese descartar-se todos os valores que diferissem mais de seis unidades do valor médio.

A norma RILEM MS-D.7 (RILEM, 1997) estabelece uma análise da qualidade da superfície, através da análise do índice esclerométrico obtido, em que a qualidade aumenta proporcionalmente à dureza superficial, como se mostra na Tabela 15.

Tabela 15 Classificação de dureza de ponta (RILEM, 1997)

Classe	Dureza	Qualidade indicada
0 (Zero)	<15	Muito fraco
A	15-25	Fraço
B	25-35	Moderado
C	35-45	Normal
D	45-55	Bom
E	>55	Muito bom

4.9.5 EXECUÇÃO NO PROTÓTIPO

Deu-se início a este ensaio no tanque secundário como se mostra na Figura 85, definindo dez pontos a ensaiar distribuídos em cada superfície, estes dados foram recolhidos em três das quatro paredes do tanque.

No procedimento a seguir encostou-se o esclerómetro à parede coincidindo a zona de impacto com o ponto a avaliar, libertou-se o pendulo e registou-se o valor resultante do ressalto do pendulo em cada ponto.

Este procedimento foi realizado para cada uma das amostras de todo o ensaio.



Figura 85 Ensaio Pêndulo de Schmidt – Tanque secundário

A segunda etapa deste ensaio, foi realizada nas duas vertentes da parede experimental (Figura 86), realizando o mesmo procedimento que no tanque secundário. As amostras neste caso foram definidas para a zona da junta vertical, cruzamento das juntas e na pastilha quer na parede quer no pavimento experimental.

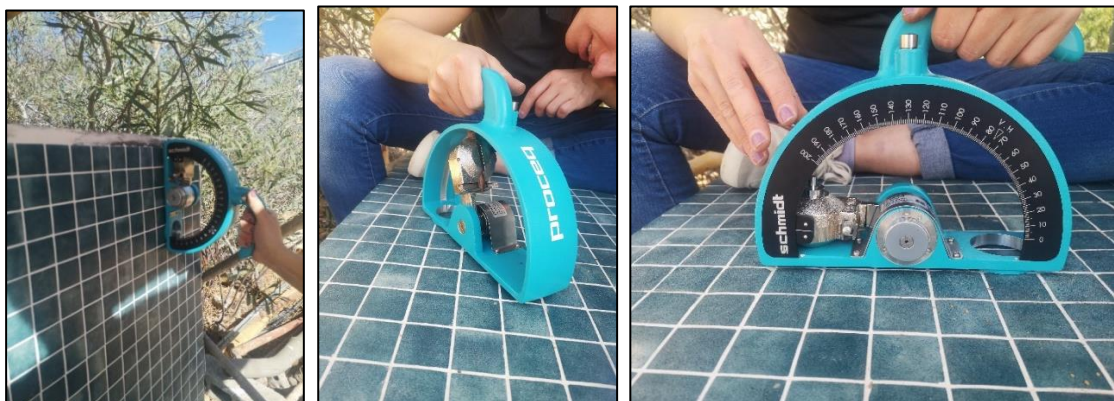


Figura 86 Ensaio Pêndulo de Schmidt – Parede experimental

4.10 ENSAIO DE ARRANCAMENTO

4.10.1 PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Para a realização deste ensaio segue a norma 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. (EN 1015 - 12, 2016)

4.10.2 OBJETO

O ensaio de determinação da resistência adesiva, arrancamento ou *pull-off*, como indica o seu nome permite determinar a força de adesão (adesiva ou coesiva) entre camadas com a superfície, em zonas com e sem impacto prévio (BSI, 2016).

A resistência adesiva é determinada pela tensão máxima de tração aplicada por uma força direta perpendicular à superfície da argamassa; a tensão de tração é aplicada por uma placa de tração definida e fixada à área de ensaio da superfície da argamassa.

4.10.3 EQUIPAMENTO E AMOSTRAS

A referida norma descreve, detalhadamente, a preparação das amostras a ensaiar, no caso de argamassas, e recomenda a realização de cinco amostras por revestimento, testadas com uma idade de 28 dias. A argamassa deve ser testada sobre placas de betão com dimensões mínimas de 550mm x 150mm x 50 mm. A argamassa fresca deve ser aplicada nas placas de betão de forma a atingir uma espessura de 10 ± 1 mm.

Durante o período de cura (28 dias), as amostras devem ser armazenadas num saco de polietileno estanque ao ar e selado a uma temperatura de $20^\circ \pm 2^\circ \text{C}$ durante 7 dias. Após este período, devem ser removidas do saco e conservadas à mesma temperatura e a uma humidade de $65 \pm 5\%$ nos restantes 21 dias, condições essas que devem ser as mesmas existentes durante a realização do ensaio. (Antunes Lopes, 2012).

No ensaio será utilizado o seguinte equipamento (Figura 87):

- DYNA Proceq: Pull-off Tester Z16



Figura 87 DYNA Proceq: Pull-off Tester Z16

4.10.4 METODOLOGIA

Define-se o procedimento do ensaio da seguinte forma:

1. Deverão colar-se as pastilhas metálicas sobre as áreas delineadas com cola e deixar secar, tendo o cuidado de:
 - a. Garantir que a cola em excesso na superfície não caía para a zona de corte envolvente;
 - b. Garantir que as pastilhas não saíam do sítio enquanto a cola seca, para isso pode-se colocar fita cola, segurando, assim, as pastilhas a superfície.
2. Usando a máquina do teste, aplicar a força de tração perpendicular à área do teste. Aplica-se a carga sem impacto e com uma velocidade uniforme;
3. Usa-se uma velocidade tal que a tensão aumente na faixa de 0,003 N/ (mm².s) a 0,100 N/ (mm².s) de acordo com a resistência de aderência esperada e que a rutura ocorra entre o intervalo de 20s a 60s; (Ver a Tabela 16)
4. Regista-se a força máxima aplicada. Rejeitam-se todos os ensaios onde o modo da falha é a fratura na camada de cola entre a placa principal da tração e a argamassa.

Tabela 16 Velocidade de carregamento (BSI, 2016)

Expected adhesive strength	Loading rate
(N/mm ²)	(N/mm ² × s)
< 0,2	0,003 - 0,010
0,2 - < 0,5	0,011 - 0,025
0,5 - 1,0	0,026 - 0,050
> 1,0	0,050 - 0,100

De acordo com a referida norma, a rotura pode ocorrer de 3 maneiras diferentes:

- rotura adesiva – fratura padrão “a”: A rotura ocorre na interface entre a argamassa e o suporte (Figura 1);
- rotura coesiva – fratura padrão “b”: A rotura ocorre pela argamassa, no seu interior (Figura 2);
- rotura coesiva – fratura padrão “c”: A rotura ocorre pelo suporte, no seu interior (Figura 3).

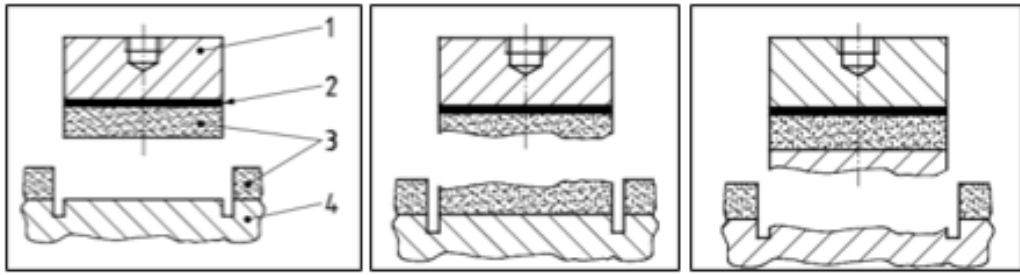


Figura 1

Figura 2

Figura 3

Onde:

- | | |
|------------------------------|--------------|
| 1. Placa principal da tração | 3. Argamassa |
| 2. Camada adesiva | 4. Suporte |

Se a rotura for adesiva, a tensão que se obtém pelo ensaio, representa a tensão de aderência. Caso a rotura seja coesiva, o valor da tensão obtido é como um limite inferior do real. O valor de tensão de aderência de cada provete individual é obtido através da seguinte equação, com arredondamento a 0,05 N/mm²:

$$f_u = \frac{F_u}{A}$$

Onde:

- f_u – Tensão de aderência (N/mm²);
 F_u – Força máxima (N);
 A – área da secção do provete (mm²).

4.10.5 EXECUÇÃO NO PROTÓTIPO

A realização deste ensaio foi feita em duas etapas. Teve início na parede experimental mal colada com preparação do suporte e a delimitação dos pontos a avaliar como se mostra na Figura 88. Após a delimitação dos pontos, com uma rebarbadora de disco pequeno fez-se um corte pelas juntas que contornam uma pastilha (área aproximada de 4x4cm) até a zona da camada base em todos os pontos a ensaiar.

Em seguida procedeu-se a colar as pastilhas nos pontos já preparados e deixaram-se secar durante um dia, garantindo que as pastilhas não saíram do sítio.

No dia seguinte usando o equipamento do teste como se mostra na Figura 91, aplicou-se a força de arrancamento com uma velocidade uniforme em cada uma das amostras, registrando os dados do tipo de rotura.



Figura 88 Delimitação de pontos a ensaiar Parede experimental 1 – Bem colada (Esquerda), Parede experimental 2 - mal colada (Direita)



Figura 89 Preparação pastilhas metálicas



Figura 90 Amostras coladas (Esquerda), início do ensaio (Direita) na parede experimental 2 – mal colada



Figura 91 Arrancamento das amostras na parede experimental 2 – mal colada



Figura 92 Resultado do arrancamento das amostras na parede experimental 2 – mal colada

A segunda etapa deste ensaio, foi realizada na parede experimental 1 – Bem colada, realizando o mesmo procedimento que na parede experimental 2 – mal colada como se mostra nas seguintes Figuras.

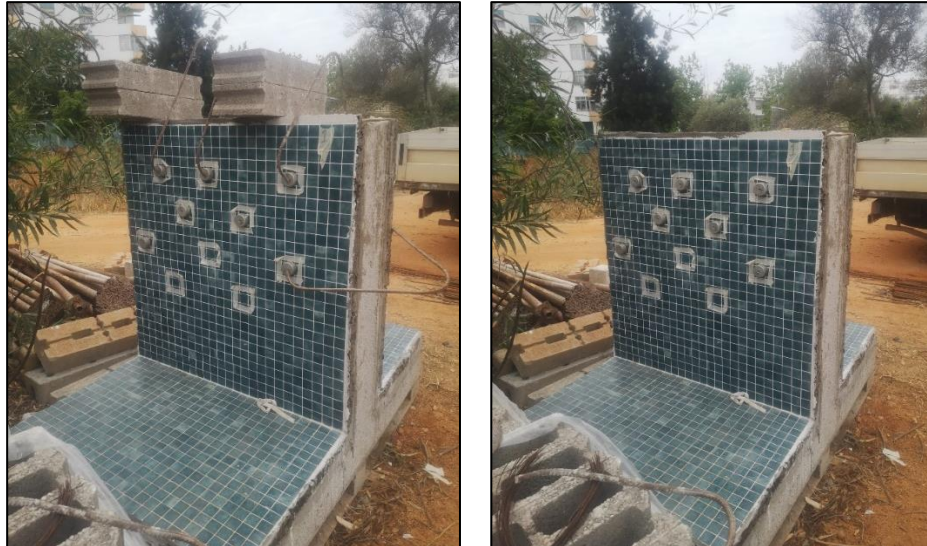


Figura 93 Fixação amostras (Esquerda), Amostras coladas (Direita) na parede experimental
1 – bem colada



Figura 94 Distribuição das amostras parede experimental 1 – bem colada



Figura 95 Primeira amostra do ensaio (Esquerda), Registro de dados (Direita) na parede experimental 1 – bem colada



Figura 96 Arrancamento de amostras experimentais

4.11 SIMULAÇÕES DE CARGA

Para a análise do comportamento do material implementado no protótipo, foi proposto a simulação de carga e descarga (volume da água), mediante o enchimento e esvaziamento do tanque principal para o tanque de compensação (de forma a reaproveitar a água do ensaio).

Teve como objetivo principal determinar as deformações do sistema de revestimento, submetidos a vários ciclos, definindo uma frequência recorrente de pelo menos uma vez por semana durante 4 semanas.

Gerando assim, que a estrutura esteja exposta a possíveis variações nas zonas críticas como: esquinas e juntas de pavimento. É de importância para o projeto identificar quais seriam os pontos fracos dos elementos construtivos submetidos a diferentes ciclos de carga em contexto real.

Durante e após a realização das simulações será feita novamente esta campanha de ensaios com o intuito de obter dados experimentais para a determinação de parâmetros conclusivos do comportamento da estrutura que possam ser comparados e analisados com os dados obtidos com a campanha inicial descrita nesta dissertação. Este ensaio iniciou-se no mês de julho de 2023, pelo que embora tivesse existido um acompanhamento inicial não foi possível incluir os resultados finais no presente documento.

4.12 RESUMO EXPERIMENTAL

Com o intuito de dar continuidade e facilitar a esta campanha experimental, se realizaram as seguintes Tabelas resumo:

Tabela 17 Resumo campanha experimental tendo como parâmetro principal os ensaios

RESUMO CAMPANHA LABORATORIAL IN-SITU				
Estabilidade do Sistema Pós Construção – Ensaios não Destrutivos				
Ensaio	Finalidade	Localização teste	Nº Amostras	Dimensões das Amostras
1.	Avaliação da continuidade das camadas em zonas específicas	Tanque Piscina Parede Experimental	Protótipo Geral	Paredes Parede - Parede Chão - Parede Esquinas
2.	Ensaio de absorção de água - Tubos de Karsten	Tanque Piscina Parede Experimental Tanque secundário	3	Paredes Chão Junta
3.	Simulações de carga	Tanque piscina Tanque de Compensação	Protótipo Geral - 1 vez por semana durante 1 mês	Paredes Parede - Parede Chão - Parede Esquinas
Ensaios Intrusivos ou Destrutivos				
Ensaio	Finalidade	Localização teste	Nº Amostras	Dimensões das Amostras
4	Resistência ao impacto Martinet-Baronnie - Resistência superficial com choque de esfera	Parede Experimental Tanque secundário	3 (Parede de 1,5m x 1,5m)	Distribuído no suporte
	Resistência ao impacto Martinet-Baronnie - Penetração controlada	Parede Experimental Tanque secundário	3 (Parede de 1,5m x 1,5m)	Distribuído no suporte
5	Determinação da resistência superficial - Pêndulo de Smith	Parede Experimental Tanque secundário	10 (Parede de 1,5m x 1,5m)	Áreas ou painéis menores que 0,5 x 0,5 m ² e não maiores 1 x 1 m ²
6	Determinação da resistência adesiva	Parede Experimental Tanque secundário	5 (Parede de 1,5m x 1,5m)	Dimensões mínimas de 550x150x50 mm - idade 28 dias

Tabela 18 Resumo campanha experimental tendo como parâmetro principal a localização

(Fonte própria)

RESUMO CAMPANHA LABORATORIAL IN-SITU			
Localização do teste	Acabamento	Ensaios	Execução dos ensaios
Tanque piscina	Pastilha	Inspeções visuais Ensaio Percussão	Pós construção

CAMPANHA DE ENSAIOS

		Tubos de Karsten	
Tanque Experimental	Camada de Impermeabilização	Tubos de Karsten Martinet Baronnie Pêndulo de Smith	Pós construção
Parede Experimental	Pastilha mal colada	Ensaio de Percussão Tubos de Karsten Martinet Baronnie Pêndulo de Smith Resistencia Adhesiva	Pós construção
	Pastilha Bem colada	Ensaio de Percussão Tubos de Karsten Martinete Baronnie Pendulo de Smith Resistência Adesiva	

5

ANÁLISES DE RESULTADOS

5.1 INSPEÇÕES VISUAIS

Salientam-se alguns dos aspetos mais importantes da recolha de dados:

- No desenvolvimento do ensaio foram recolhidos dados durante oito dias, três vezes ao dia, no entanto na análise dos dados não se consideram os dados recolhidos no dia 16/05 (primeiro dia) dado que só se recolheram dados ao meio-dia (amostra inicial) pelo que não permite ver a variação da temperatura apresentada;
- Efetuou-se registo de temperaturas de dois equipamentos em simultâneo, sendo estes identificados no capítulo anterior;
- Para a presente análise, dado que a variação apresentada entre os dados recolhidos nos equipamentos era entre 2,5°C a 3°C, e câmara termográfica era o equipamento com maior precisão, foram considerados esses dados para os resultados;
- Aquando da recolha das temperaturas, registou-se também a temperatura ambiente verificada na hora de cada uma das recolhas;
- Para melhor compreensão do comportamento das temperaturas registadas no protótipo, foi elaborada uma descrição sucinta das condições climáticas observadas nesse dia, Ex: muito ou pouco nebulado, quente ou fresco;
- O levantamento das fissuras provenientes do presente ensaio, face a sua dimensão foram apenas descritas por elemento a analisar.

ANÁLISES DE RESULTADOS

Com o intuito de facilitar a leitura e análise dos dados, foram criados seis gráficos de linhas para os diferentes locais de recolha de dados mostrando a variação das temperaturas ao longo do dia, bem como um sétimo gráfico com todos os dados recolhidos quer por elemento quer por dia / hora.

Apresenta-se a primeira amostra deste ensaio na Figura 97, no horário das 09h00 registam-se temperaturas entre os 21°C e 28°C. A exceção do dia 24/05 que atingiu a temperatura máxima de 42,3°C foi considerado um erro de leitura e não deve ser considerado.

Ao meio dia, subiram as temperaturas registando dados entre os 31°C e 37°C e ao finalizar da tarde registrou-se valores entre os 24°C e os 30°C.

- T° Máxima: 37°C as 09h00
- T° Mínima: 21,9°C as 09h00

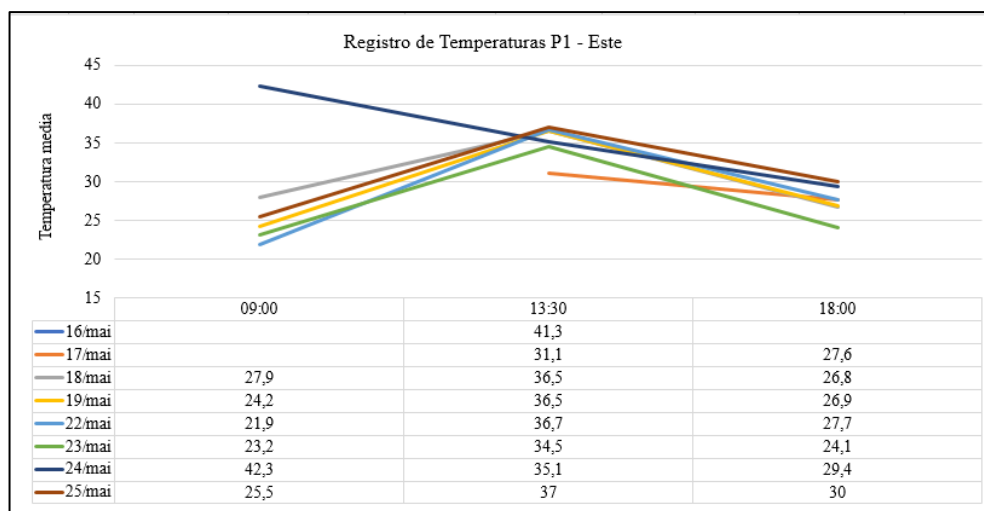


Figura 97 Registo de temperaturas P1- Este

A segunda amostra (Figura 98) no horário das 09h00 registam-se temperaturas entre os 19°C e 23°C à exceção do dia 24/05 que atingiu a temperatura máxima nesse horário tendo um valor de 33°C, o ponto máximo de temperatura nesta amostra foi atingido ao medio dia, registando temperaturas entre os 33°C e 48°C e ao finalizar da tarde registrou-se valores entre os 24°C e os 33°C.

- T° Máxima: 48 °C as 13h30
- T° Mínima: 19,6 °C as 09h00

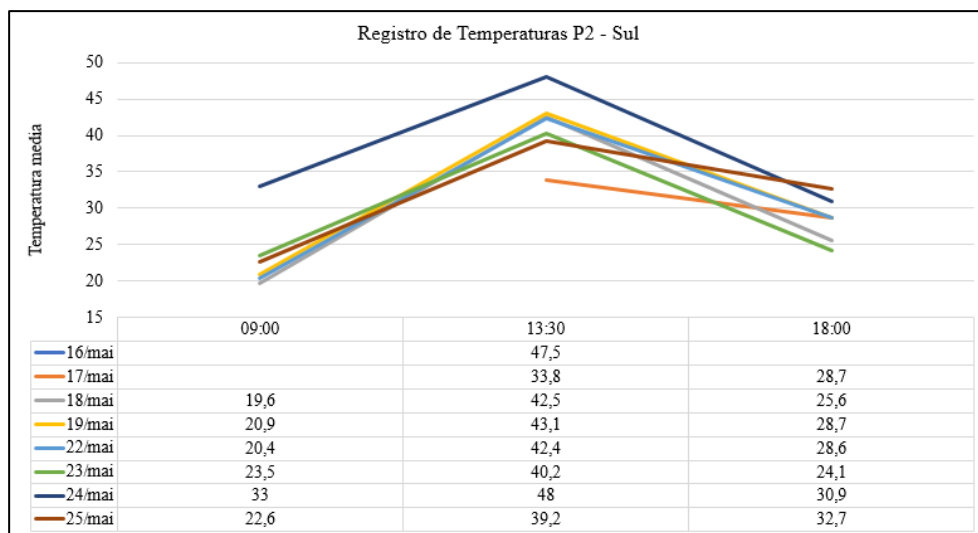


Figura 98 Registro de temperaturas P2 – Sul

Na terceira parede (Figura 99) no horário das 09h00 registam-se temperaturas entre os 19°C e 23°C a exceção do dia 24/05 que atingiu a temperatura máxima nesse horário tendo um valor de 26,2°C, logo, acrescentou a temperatura ao medio dia, registando temperaturas entre os 36°C e 51°C e ao finalizar da tarde atingiu o ponto máximo de temperatura com valores entre os 36°C e os 44°C, no entanto, novamente no dia 24/05 atingiu a temperatura máxima nessa parede tendo um valor de 51,1°C e um valor mínimo do dia 23/05 de 23,7°C relacionado com a condição climática desse dia tendo-se descrito como dia muito nebulado e frio.

- T° Máxima: 51,1°C as 18h00
- T° Mínima: 19,1°C as 09h00

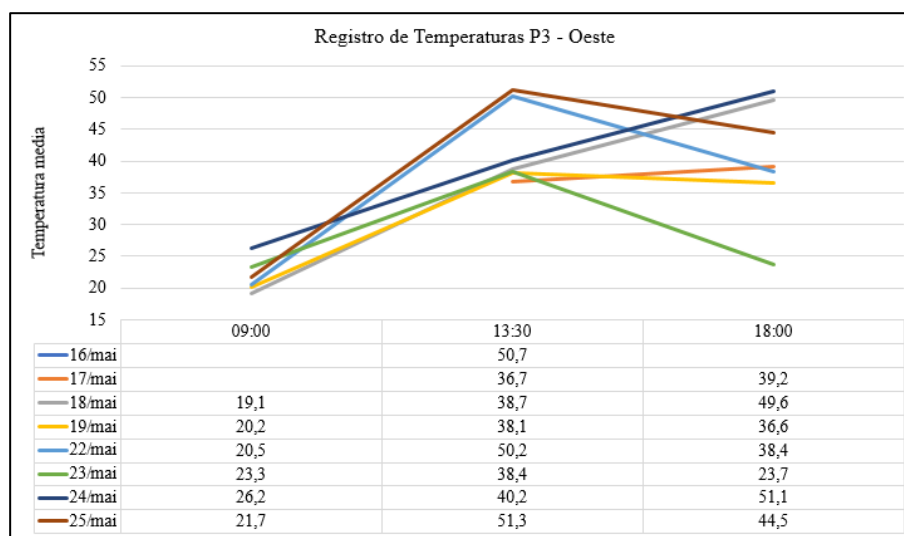


Figura 99 Registro de temperaturas P3- Oeste

Na quarta parede (Figura 100) no horário das 09h00 registam-se temperaturas entre os 18°C e 23°C à exceção do dia 24/05 que atingiu a temperatura máxima nesse horário tendo um valor

ANÁLISES DE RESULTADOS

de 25,5°C, logo, acrescentou a temperatura ao meio dia, registando temperaturas entre os 31°C e 38°C e ao finalizar da tarde atingiu o ponto máximo de temperatura com valores entre os 24°C e os 40°C, novamente no dia 24/05 atingiu a temperatura máxima nessa parede tendo um valor de 40,8°C e um valor mínimo do dia 23/05 de 24°C relacionado com a condição climática desse dia tendo se descrito como dia nebulado e frio.

- T° Máxima: 40,8 °C as 18h00
- T° Mínima: 18,2 °C as 09h00

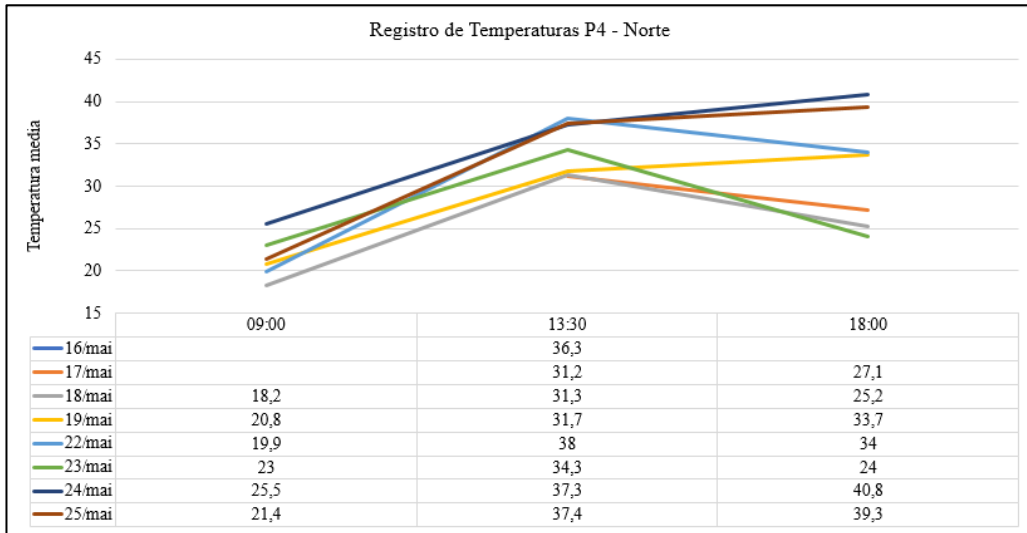


Figura 100 Registo de temperaturas P4 – Norte

Na amostra final – Fundo do tanque (Figura 101) no horário das 09h00 registam-se temperaturas entre os 14°C e 26°C, logo ao meio dia, registaram-se temperaturas máximas entre os 40°C e 59°C, novamente no dia 24/05 atingiu a temperatura máxima tendo um valor de 59,1°C e ao final da tarde atingiram-se valores entre os 20°C e os 40°C.

- T° Máxima: 59,1 °C as 13h30
- T° Mínima: 14,4 °C as 09h00

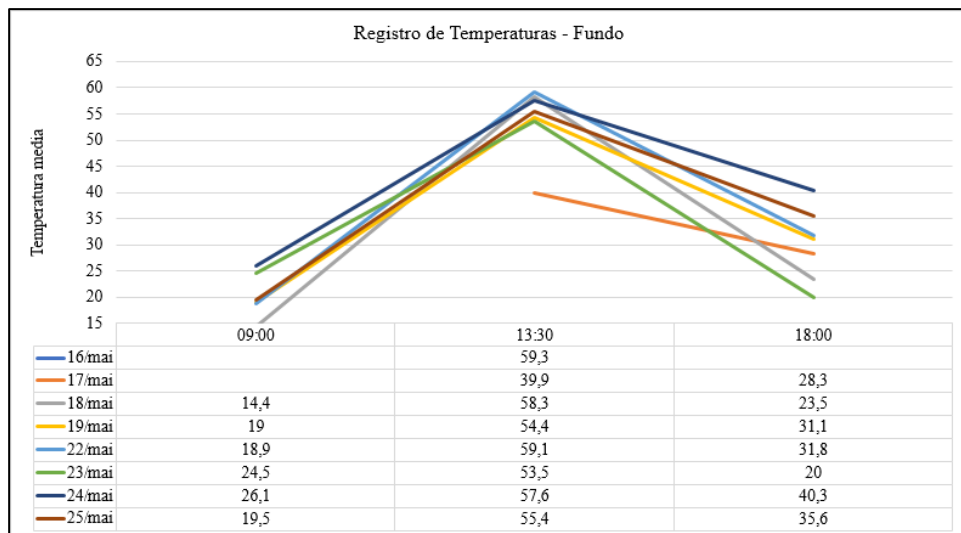


Figura 101 Registo de temperaturas – Fundo

Na Figura 102 mostra-se o registo da temperatura ambiente verificada na hora de cada uma das recolhas, com o intuito de comparar e quantificar a diferença do valor da temperatura nos elementos da envolvente do tanque com a variação climática nos dias das recolhas.

Observações do Ensaio:

17/05 – Dia nebulado / Frio

18/05 – Dia com sol / Fresco

19/05 – Dia com sol / Fresco

22/05 – Dia nebulado / Fresco

23/05 – Dia muito nebulado / Frio

24/05 – Dia com sol / Muito quente

25/05 – Dia com sol / Quente

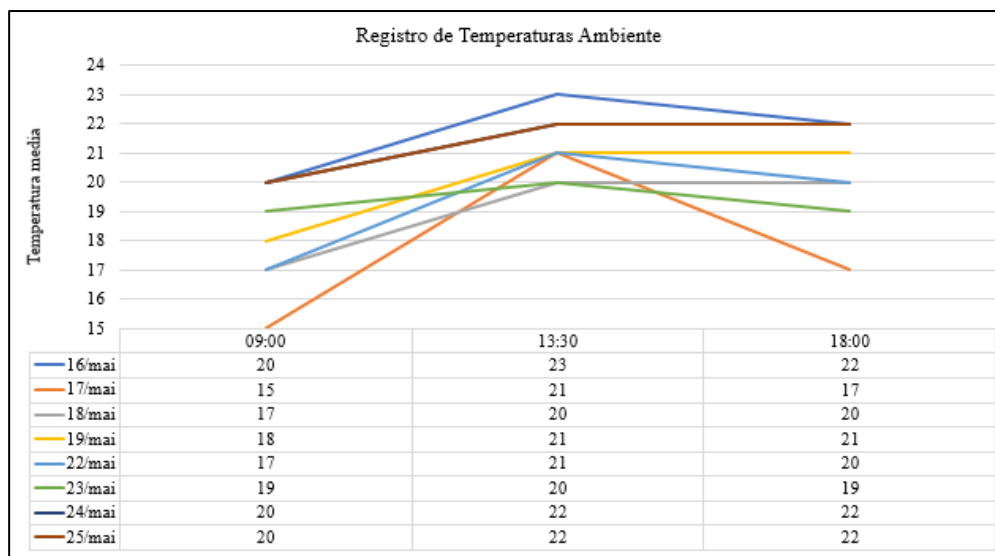


Figura 102 Registo de temperaturas – Ambiente

Finalmente, a Figura 103 do registo global das temperaturas, como se esperava, mostra um comportamento “semelhante”, dado que na maioria dos casos apresenta temperaturas baixas no horário da manhã, sobe a temperatura até o meio dia e ao final da tarde diminui novamente o grau de calor.

Os valores máximos de temperatura do ensaio foram registados no fundo do tanque (min e max), devido a este elemento estar todo o dia exposto ao sol e em constante variação da temperatura.

Caso contrário, os valores máximos e mínimos da envolvente do tanque (paredes) estiveram sempre condicionados a orientação de cada elemento, como se mostra na Tabela 19.

Em relação à diferença de temperatura do ambiente e os valores máximos atingidos no protótipo, a maior temperatura no momento da recolha, foi de 22°C pelo que sendo o tanque o elemento com a temperatura max (59,1°C), este apresentou um aumento na sua temperatura de 37,1°C, bem como a temperatura mínima atingida foi de 14,4°C comparada com a temperatura no ambiente (15°C), teve uma diminuição de 0,6°C.

Tabela 19 Resumo dos resultados – Registo de temperaturas

Amostra - Orientação	Tº min. °C	Tº max. °C	Horário Atingido Tº max.	Observações zona de ensaio
Parede 1 - Este	21,9	37	09h00	Sem fissuração
Parede 2 - Sul	19,6	48	13h00	Alta fissuração
Parede 3 - Oeste	19,1	51,3	18h00	Sem fissuração
Parede 4 - Norte	18,2	40,8	18h00	Fissuração média
Fundo do tanque	14,4	59,1	13h00	Baixa fissuração

Levantamento de Fissuras

- **Parede 1 – Este:** Não apresenta fissuração em juntas horizontais e verticais nem nos cruzamentos de junta;
- **Parede 2 – Sul:** Apresenta alta fissuração em toda a sua área, quer em juntas quer nos cruzamento de junta, além da formação de fissuras no meio da juntas horizontais. O tamanho das juntas apresentadas varia entre 0,04 mm e 0,20 mm;
- **Parede 3 – Oeste:** Não apresenta fissuração significativa na sua área;
- **Parede 4 – Norte:** Apresenta fissuração média nas juntas verticais e horizontais, bem como nos cruzamentos das mesmas. O tamanho das juntas apresentadas varia entre 0,04 mm e 0,25 mm;
- **Fundo do tanque:** Apresenta baixo nível de fissuração na sua área.

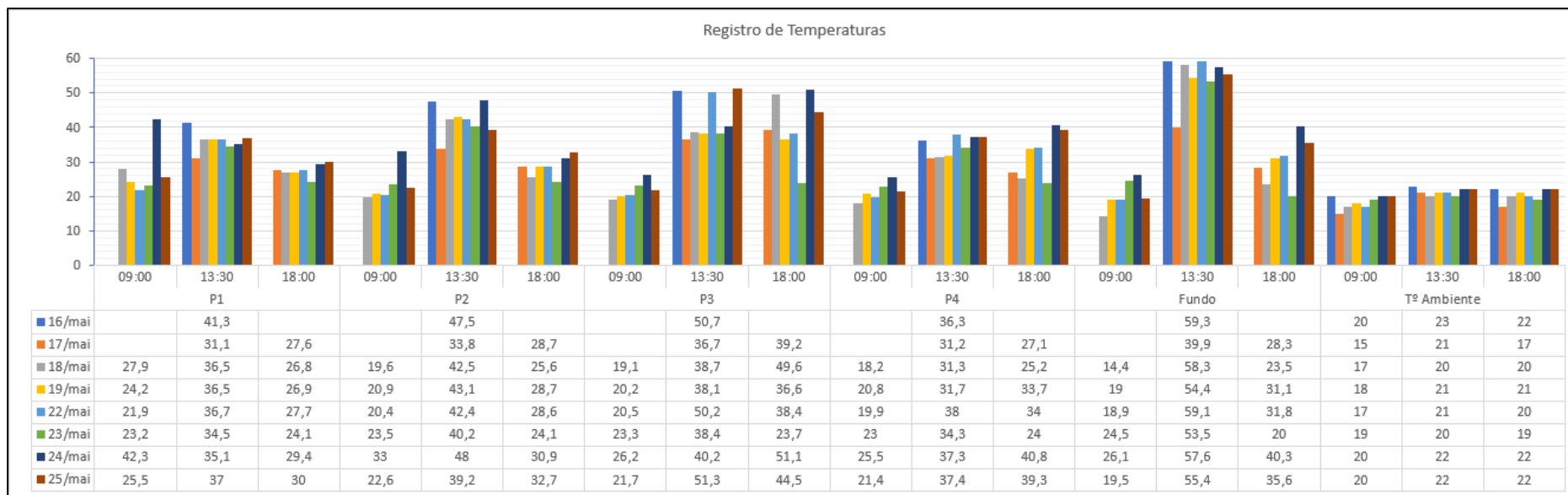


Figura 103 Registro de temperaturas globais

5.2 ENSAIO DE PERCUSSÃO

Inicialmente, foram inspecionadas as paredes do tanque principal do protótipo e as paredes experimental 1 – bem colada e experimental 2 – mal colada. Tendo-se verificado que quer na parede bem colada, quer no tanque do protótipo as camadas do material são homogêneas e contínua, pelo que não se encontraram zonas ocas ou com imperfeições.

Apresenta-se na Figura 104 e Tabela 20 o mapeamento das zonas identificadas na parede experimental 2 – mal colada como ocas e a percentagem correspondente segundo o elemento inspecionado, bem como as zonas onde as camadas encontram-se homogêneas e contínuas (zona com fita cola).

- Dimensões da parede: 1,04m x 1,08m Área: 1,12 m²
- Dimensões do pavimento: 1,04m x 0,64m Área: 0,66 m²

Tabela 20 Resumo dos resultados – Zonas ocas

Elemento	Área (m2)	Área bem colada (m2)	Área oca (m2)	% zona oca
Parede	1,12	0,18	0,94	83,97 %
Chão	0,67	0,02	0,64	96,84 %



Figura 104 Mapeamento zonas ocas – Parede experimental mal colada

5.3 IMPERMEABILIZAÇÃO A ÁGUA – TUBO DE KARSTEN

A primeira localização onde foi realizado este ensaio foi no tanque secundário do protótipo avaliando a absorção de água na camada de impermeabilização, após o tempo estabelecido (60

ANÁLISES DE RESULTADOS

min) verificou-se positivamente que não houve absorção de água no material, tendo sido testados quer o paramento vertical, quer o paramento na horizontal.

A segunda amostra realizou-se numa das paredes do protótipo e no chão da peça experimental 1 – bem colada (mesmas condições que o protótipo), avaliando assim a absorção de água no revestimento cerâmico.

As curvas de absorção de água foram determinadas considerando o volume de água vs. tempo como se mostra na Figura 105, onde se observa que as zonas das juntas e as pastilhas absorve menos água quando comparado com o cruzamento das juntas.

A maior quantidade de absorção da água pode ser relacionada com a área de absorção e a porosidade do material, sendo que a pastilha é cerâmica pouco porosa e o cruzamento das juntas apresenta aproximadamente o dobro da área quer na junta horizontal quer na junta vertical.

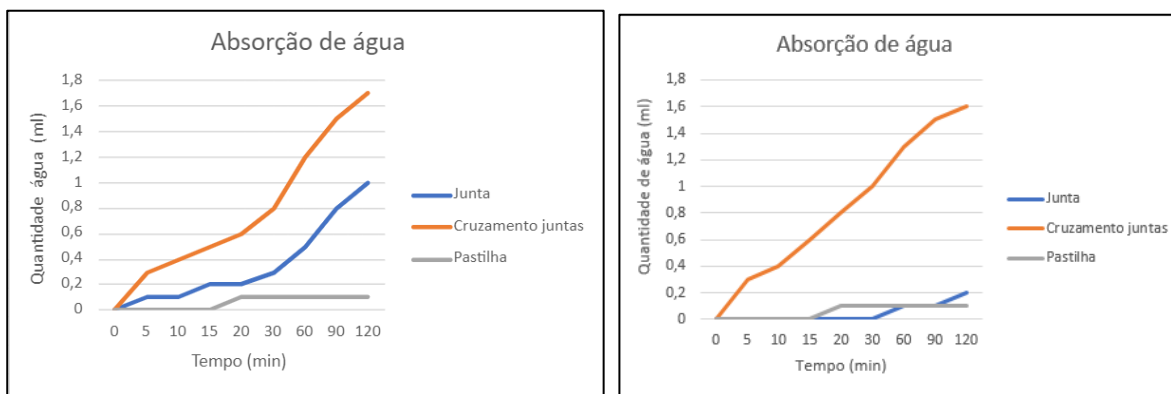


Figura 105 Absorção da água – parede piscina (esquerda) peça experimental 1 - bem colada chão (direita)

Apresenta-se na Tabela 21, a percentagem de água máxima absorvida durante o ensaio em cada amostra, verificando que a absorção da água no chão apresenta melhores resultados nas três zonas do que na parede.

Tabela 21 Percentagem da água absorvida segundo a zona avaliada – Parede experimental 1

Zona de absorção	Piscina (bem colada) - Parede		PE 1 (bem colada) - Chão	
	Água max. absorvida (ml)	% Água absorvida	Água max. absorvida (ml)	% Água absorvida
Cruzamento de juntas	1,7	42,5	1,6	40
Juntas	1,0	25,0	0,2	5,0
Pastilha	0,1	2,5	0,1	2,5

A terceira amostra realizou-se na peça experimental 2 – mal colada e como mostra na curva de absorção de água (Figura 106) o comportamento nesta foi bastante pior comparado com a

PE1 – bem colada e o protótipo, já que numa das zonas atingiu o valor máximo do ensaio (4 ml) num tempo de 15 min, bem como a sua percentagem de absorção nas duas vertentes (parede e chão) foram maiores. Estes valores podem estar relacionados com a má execução da colagem do revestimento, produzindo-se alta fissuração nas zonas das juntas e zonas ocas no paramento.

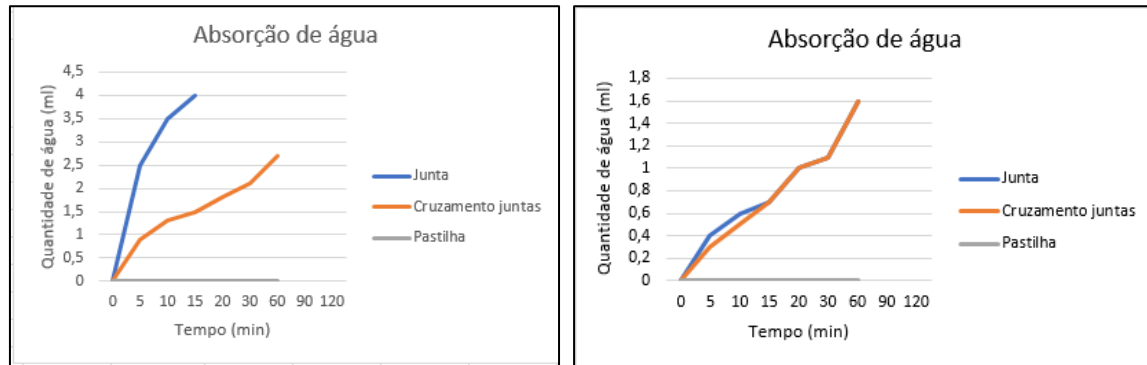


Figura 106 Parede experimental 2 mal colada parede (esquerda) e chão (direita)

Apresenta-se na Tabela 22, a percentagem de água máxima absorvida durante o ensaio em cada amostra, verificando que a absorção da água no chão apresenta melhores resultados nas três zonas do que na parede.

Tabela 22 Percentagem da água absorvida segundo a zona avaliada - Parede experimental 2

Zona de absorção	PE2 (mal colada) - Parede		PE 2 (mal colada) - Chão	
	Água max. Absorvida (ml)	% Água absorvida	Água max. absorvida (ml)	% Água absorvida
Cruzamento de juntas	2,7	67,5	1,6	40
Juntas	4	100	1,6	40
Pastilha	0	0	0	0

5.4 RESISTÊNCIA AO IMPACTO – MARTINET BARONNIE: PENDULO DE ESFERA

Os resultados obtidos no ensaio do choque de esfera apresentam-se na Tabela 23 e nas Figuras 108 e 109, assim, o ensaio iniciou-se no tanque secundário onde as amostras foram uniformemente distribuídas no suporte, a seguir, nas paredes experimentais, quer bem colada, quer mal colada os dados foram recolhidos com a seguinte ordem: cruzamento das juntas, na junta vertical e no meio da pastilha cerâmica.

Devido à diferença do tipo de acabamento no tanque (flexível) e na parede experimental (cerâmico) não se pode comparar os resultados entre os mesmos.

Observou-se que a argamassa de impermeabilização regista baixos diâmetros de impacto, uma vez que esta tem alta capacidade de absorção de energia e deformabilidade, recuperando facilmente a sua condição inicial.

Nas duas vertentes do revestimento cerâmico, teve-se melhor resistência ao impacto nas zonas das juntas (argamassa de juntas) e na amostra do meio da pastilha registou-se o pior cenário na parede experimental 2 – mal colada.

Tabela 23 Resumo de resultados segundo a zona avaliada

Suporte		Localização amostras	Diâmetro (cm)	Diâmetro medio (cm)	Desvio padrão (cm)
Elemento	Revestimento				
Tanque secundário	Argamassa de impermeabilização	Suporte	1,0	1,40	0,4
			1,7		
			1,5		
PE 1 - Bem colada	Pastilha cerâmica	C. juntas	1,3	1,43	0,7
		Junta	0,8		
		Pastilha	2,2		
PE 2 - Mal colada	Pastilha cerâmica	C. Juntas	0,0	1,23	1,6
		Junta	0,7		
		Pastilha	3,0		

Na média dos diâmetros obtidos, a amostra da parede experimental 2- mal colada regista uma maior resistência ao impacto por ter o valor mais baixo em comparação com a parede bem colada como se mostra na Figura 107, provavelmente relacionado com a maior capacidade de absorção de energia.

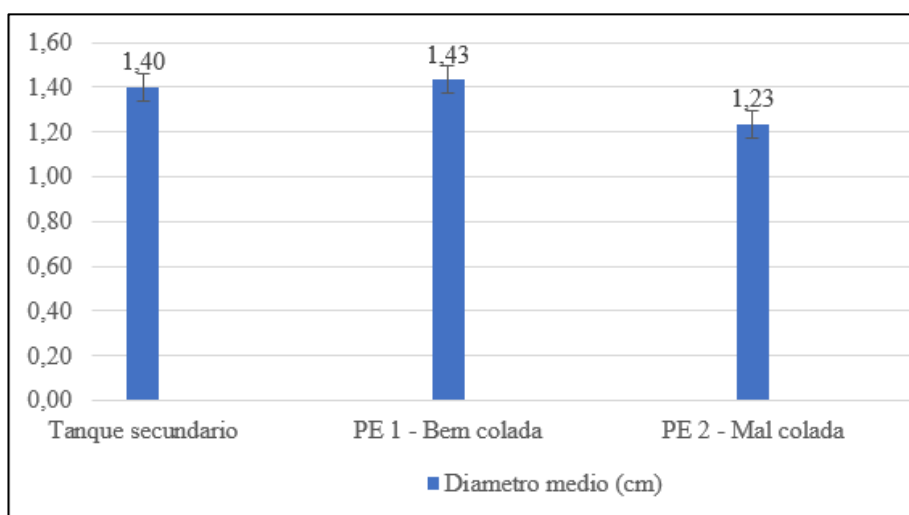


Figura 107 Diâmetro médio das massas



Figura 108 Resultados do ensaio de choque de Esfera – PE 1 bem colada



Figura 109 Resultados do ensaio de choque de Esfera – PE 2 mal colada

5.5 RESISTÊNCIA AO IMPACTO – MARTINET BARONNIE: PENETRAÇÃO CONTROLADA

Apresentam-se os resultados na Tabela 24 e na Figura 110. Verifica-se que a argamassa de impermeabilização é a que apresenta uma profundidade de penetração total mais elevada, e por isso menor resistência em todas as amostras recolhidas.

No caso das paredes experimentais, apresenta uma melhor resistência a vertente da PE1 – bem colada, verificando um muito bom comportamento na argamassa das juntas bem como um valor na média da profundidade muito baixo. Os resultados evidenciam um ganho de resistência ao impacto significativo quando à impermeabilização se acrescentam os revestimentos finais.

Tabela 24 Valores médios dos resultados do ensaio de penetração controlada

Suporte		Penetração (cm)				Media (cm)	Desvio Padrão
Elemento	Localização ensaio	1ª penetração	2ª penetração	3ª penetração	total		
Tanque secundário	Parede 1	2,6	1,1	0,0	3,7	3,6	0,3
	Parede 2	2,0	1,8	0,0	3,8		
	Parede 3	3,2	0,0	0,0	3,2		
PE 1 - Bem colada	Meio da pastilha	0,4	0,0	0,6	1,0	0,6	0,4
	Cruzamento juntas	0,1	0,0	0,1	0,2		
	Junta	0,5	0,0	0,0	0,5		
PE 2 - Mal colada	Meio da pastilha	0,2	0,5	0,5	1,2	1,6	0,9
	Cruzamento juntas	0,5	0,5	0,0	1,0		
	Junta	0,4	0,4	1,8	2,6		

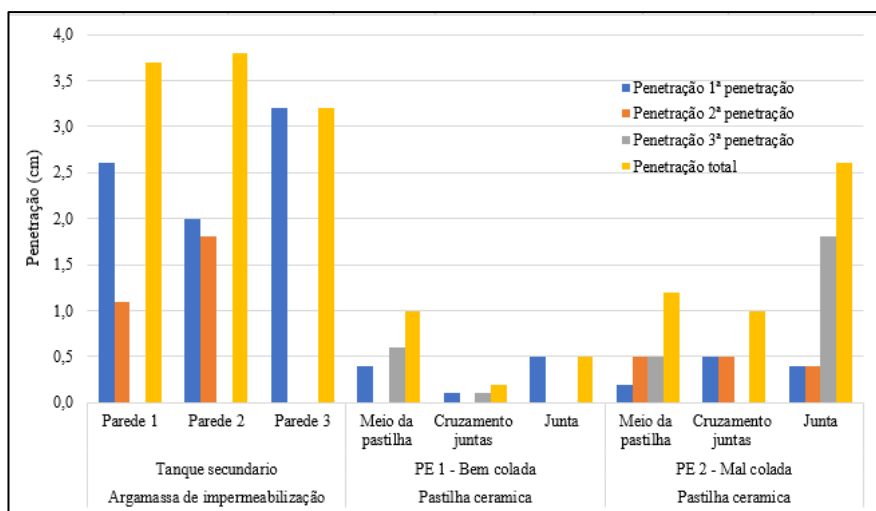


Figura 110 Profundidades de penetração obtidas no ensaio de penetração controlada



Figura 111 Parede experimental 1 – Bem colada, amostras

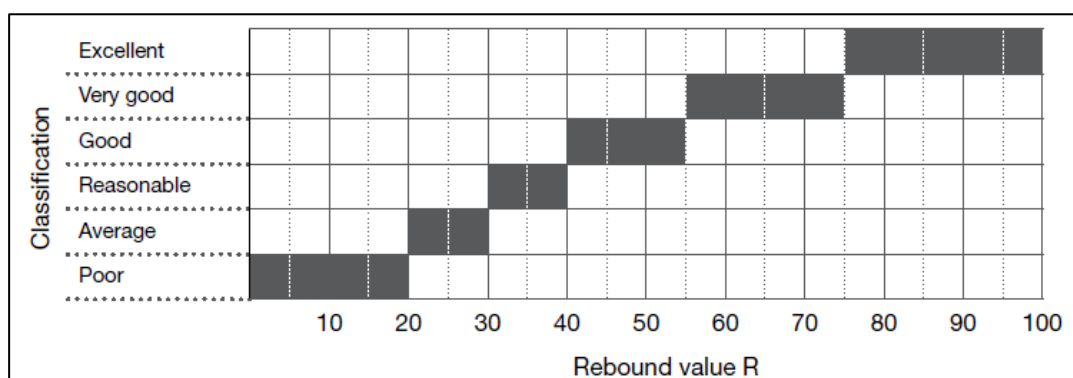


Figura 112 Parede experimental 2 - Mal colada, pastilha (esquerda) cruzamento de juntas (meio), junta vertical (direita)

5.6 RESISTÊNCIA AO IMPACTO – PÊNDULO DE SMITH

Segundo o manual do procedimento do ensaio (OS-120, 2017) e a norma RILEM MS-D.7 (RILEM, 1997) estabelecem uma análise da qualidade do material, através da análise do índice esclerométrico obtido, em que a qualidade aumenta proporcionalmente à dureza superficial (Tabela 25).

Tabela 25 Indicador de qualidade em função do índice esclerométrico (OS-120, 2017)



Assim, na Tabela 26 apresentam-se os valores médios, respectivos desvios-padrão do índice esclerométrico e o indicador de qualidade resultantes. Estes valores resultam da média aritmética das leituras efetuadas nos 10 pontos definidos para cada suporte. Seguindo a especificação da norma EN 12504-2, descartaram-se todos os valores que diferissem mais de seis unidades do valor médio.

Na análise dos resultados, é possível constatar que a parede experimental 1 – bem colada regista os valores mais elevados de dureza superficial obtendo um indicador de qualidade de “muito bom” e “excelente” nas suas medições. Como seria de esperar, a parede experimental 2 – mal colada apresenta valores inferiores, no entanto estes são favoráveis em cada superfície.

Finalmente, o material com menor valor de resistência foi a argamassa de impermeabilização apresentando valores do índice esclerométrico inferiores, apesar disso, todos os suportes testados apresentam comportamento favorável na sua resistência superficial.

Tabela 26 Resumo dos resultados – Ensaio pendulo de Smith

Suporte		fc medio (N/mm ²)	Desvio Padrão	Índice esclerométrico	Indicador de qualidade
Elemento	Localização ensaio				
Tanque secundário	Parede 1	11,1	1,0	66,0	Muito bom
	Parede 2	8,6	2,2	57,0	Bom
	Parede 3	11,3	0,6	68,0	Muito bom
PE 1 - Bem colada	Impacto vertical	11,6	1,4	70,5	Muito bom
	Impacto horizontal	13,2	2,1	83,0	Excelente
PE 2 - Mal colada	Impacto vertical	11,7	2,0	70,0	Muito bom
	Impacto horizontal	9,7	1,1	67,0	Muito bom

5.7 ENSAIO DE ARRANCAMENTO

Foi realizado o ensaio “Pull-off” para avaliar a resistência adesiva da argamassa, de acordo com a EN 1015–12:2016 (CEN, 2016). Estão indicados na Tabela 27, os resultados obtidos na parede experimental 1 - bem colada e os padrões de fratura. Todas as amostras apresentaram um padrão de fratura tipo “b” ou “b-c”, correspondendo a uma fratura de coesão, ocorrendo na própria argamassa ou pelo suporte.







Tabela 27 Resumo dos resultados – Ensaio arrancamento na parede experimental 1

Parede Bem Colada				
Amostras	Tensão (N/mm ²)	Área medida (mm ²)	Força de rotura (N)	Tipo de rotura
1	0,34	1600	544	Rotura coesiva “b”
8	0,26	1600	416	Rotura coesiva “b - c”
9	0,27	1600	432	Rotura coesiva “b - c”
11	0,47	1600	752	Rotura coesiva “b”
6	0,33	1600	528	Rotura coesiva “b”
7	0,32	1600	512	Rotura coesiva “b - c”

Como se observa nas seguintes Figuras, a rotura ocorre pela zona mais fragilizada de todo o conjunto do sistema, confirmando isso apresenta-se duas vertentes dos resultados:

- A primeira, apresenta três amostras que tiveram uma rotura pela argamassa e pelo suporte sendo a rotura tipo “b-c” apresentando menor tensão de rotura com valores entre 0,26 e 0,32 N/mm².
- A segunda vertente apresenta 3 amostras com valores maiores de tensão entre 0.33 a 0.47 N/mm² e rotura só na argamassa da cola.

No entanto, na maioria dos casos o tardoz da pastilha saiu sem muito material, o que significa que estamos perante a uma argamassa que confere o resultado da resistência pretendido.

		
A1 – Rotura coesiva “b”	A8 – Rotura coesiva “b - c”	A9 – Rotura coesiva “b - c”
		
A11 – Rotura coesiva “b”	A6 – Rotura coesiva “b”	A7 – Rotura coesiva “b - c”

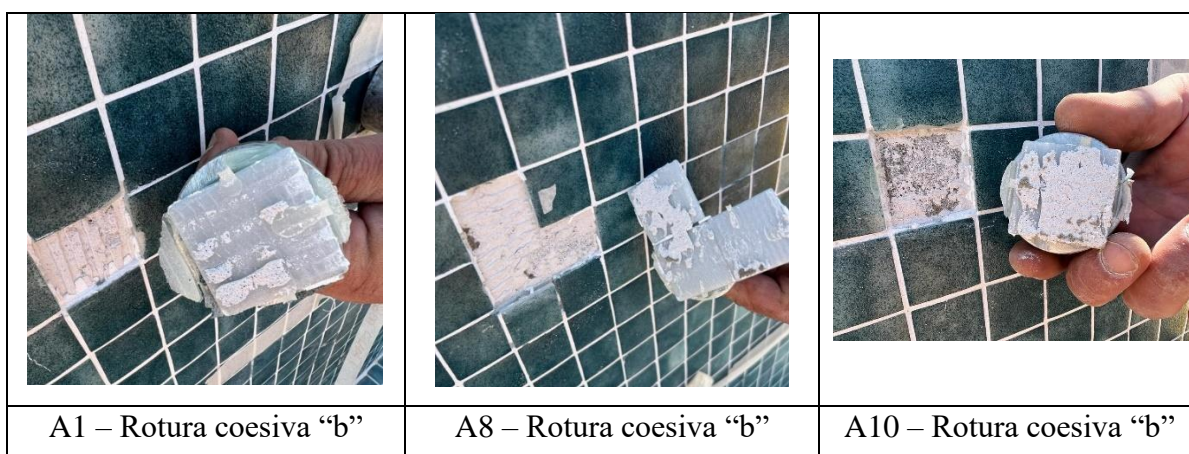
Estão indicados na Tabela 28, os resultados obtidos na parede experimental 2 – mal colada e os padrões de fratura. Todas as amostras apresentaram um padrão de fratura tipo “b” com a exceção de uma delas que corresponde a tipo “b-c”, correspondendo a uma fratura de coesão, ocorrendo na própria argamassa ou pelo suporte.

Tabela 28 Resumo dos resultados – Ensaio arrancamento na parede experimental 2

Parede Mal Colada				
Amostras	Tensão (N/mm ²)	Área medida (mm ²)	Força de rotura (N)	Tipo de rotura
1	0,27	1600	432	Rotura coesiva “b”
8	0,30	1600	480	Rotura coesiva “b”
10	0,45	1600	720	Rotura coesiva “b”
9	0,32	1600	512	Rotura coesiva “b”
11	0,36	1600	576	Rotura coesiva “b - c”
6	0,17	1600	272	Rotura coesiva “b”

Como se observa nas seguintes Figuras, a rotura ocorre pela zona mais fragilizada de todo o conjunto do sistema, confirmando isso apresenta-se os seguintes resultados:

- Uma amostra com rotura pela argamassa e suporte sendo tipo “b-c” e obtendo um valor medio de resistência;
- Duas amostras que tiveram uma rotura pela argamassa tipo “b” apresentando uma delas o valor máximo de tensão (0,45 N/mm²);
- Três amostras com os valores mais baixos de tensão entre 0,17 e 0,33 N/mm² e rotura só na argamassa da cola, nestes casos o tardo da pastilha saiu sem muito material e caso contrário que a parede experimental 1, e dado aos valores recolhidos significa que o material teve uma resistência mínima, isto devido a que a pastilha estava “mal colada” ao suporte.





A9 – Rotura Coesiva “b”



A11 – Rotura coesiva “b - c”



A6 – Rotura Coesiva “b”

6

FICHA TÉCNICA

6.1 ENQUADRAMENTO

Foi desenvolvida a ficha técnica do sistema proposto de isolamento térmico no interior da envolvente do tanque de piscinas (do tipo ETICS), baseado em placas isolantes de aglomerado de cortiça expandida (ICB) e argamassas. As placas isolantes tem certificação de Conformidade Ambiental ICEA nº 2009_005 (ICEA - Instituto per la Certificazione Ética ed Ambientale, Bolonha, Itália).

6.2 UTILIZAÇÕES

Revestimento isolante térmico interior do tipo ETICS para paredes e pavimento da envolvente do tanque de piscinas, incorporando placa isolante de origem natural e argamassas baseadas em cal (colagem e revestimento), com elevado contributo para a sustentabilidade ambiental na construção.

Reabilitação funcional (impermeabilidade, fissuração e estética) e melhoria de isolamento térmico de piscinas existentes com sistema do tipo ETICS incorporando placa isolante de origem natural e argamassas baseadas em cal (colagem e revestimento); permite a realização dos trabalhos totalmente pelo interior do tanque.

6.3 COMPONENTES PRINCIPAIS DO SISTEMA

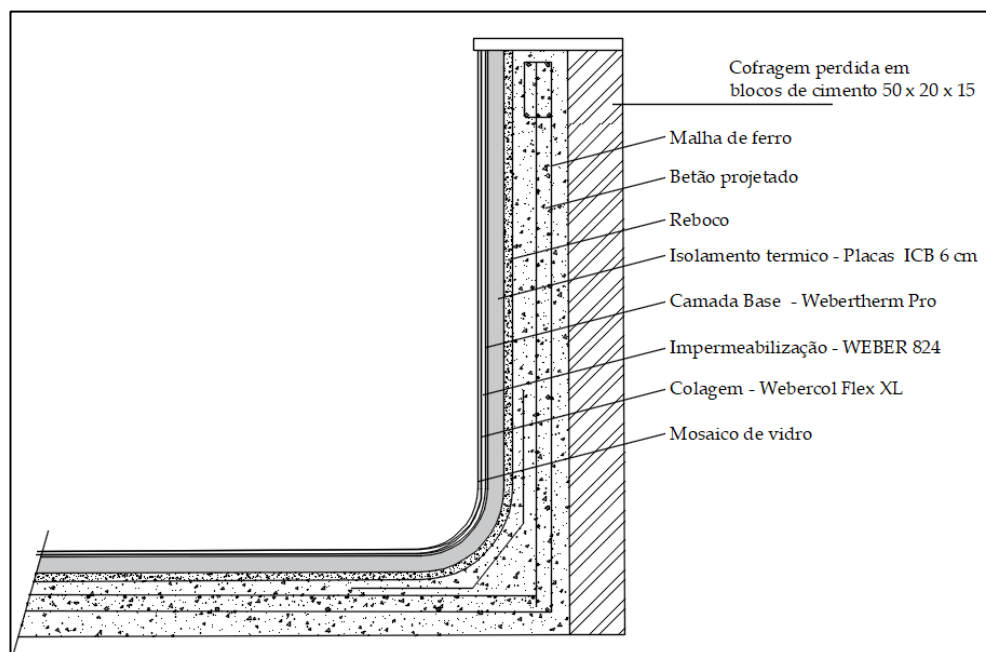


Figura 113 Componentes principais do sistema

Referem-se as fichas técnicas de cada material a utilizar no sistema

- Placas de isolamento - **Webertherm Cork**
<https://construir.saint-gobain.pt/Produtos/weber/webertherm-cork#descriptions>
- Argamassa de camada base: - **Webertherm pro e Webertherm rede normal**
<https://construir.saint-gobain.pt/Produtos/weber/webertherm-pro#descriptions>
<https://construir.saint-gobain.pt/Produtos/weber/webertherm-rede-normal#descriptions>
- Argamassa de impermeabilização - **Weberdry 824**
<https://construir.saint-gobain.pt/Produtos/weber/weberdry-824#descriptions>
- Redes de reforço em fibra de vidro: **Weberdry rede 90**
<https://construir.saint-gobain.pt/Produtos/weber/weberdry-rede-90>
- Argamassas de colagem e revestimento - **Webercol Flex XL Branco**
<https://construir.saint-gobain.pt/Produtos/weber/webercol-flex-xl>
- Fixação mecânica - **Webertherm bucha de fixação**
<https://construir.saint-gobain.pt/Produtos/weber/webertherm-bucha-de-fixacao>
- Revestimento cerâmico

6.4 CONDIÇÕES GERAIS DE APLICAÇÃO DO SISTEMA

- Não aplicar as argamassas com temperaturas atmosféricas inferiores a 5°C e superiores a 30°C.
- Evitar a aplicação dos materiais sob a incidência direta dos raios solares ou em exposição a vento forte.
- Não aplicar os materiais na eventualidade de poderem apanhar chuva enquanto não estiverem secos.
- Não iniciar a aplicação do sistema sobre suportes que não se encontrem em condições de estabilidade e secagem adequados.
- As placas isolantes são fixadas ao suporte por colagem com a(s) argamassa(s) especificadas e fixação mecânica adicional.
- O suporte para aplicação do sistema deverá apresentar superfície plana para permitir a colagem integral das placas isolantes.
- As esquinas do sistema deverão ser reforçadas com perfis adequados, em alumínio ou PVC perfurado, que incluam rede de fibra de vidro com proteção antialcalina (webertherm perfil de esquina).

6.5 APLICAÇÃO DO SISTEMA

Preparação do suporte

Em obras novas, os suportes deverão apresentar superfície plana (betão, cofragem perdida ou reboco com resistência adequada), não deverão ser absorventes, e devem estar isentos de poeiras ou óleos descofrantes. Suportes em betão degradado deverão ser reparados, incluindo o tratamento de armaduras se necessário. Reparar zonas fissuradas, sempre que as fissuras apresentem abertura superior a 0,5mm.

Em obras de reabilitação, os suportes deverão ser verificados do ponto de vista da sua consistência, degradação e fissuração, devendo ser removidas as zonas que não ofereçam condições e reparadas as zonas danificadas. Deverão também ser eliminados todos os resíduos e contaminações existentes na superfície, como sejam acumulações de sujidade ou proliferações de fungos ou musgos, através de aplicação de um agente de limpeza do tipo weberantimousse e lavagem com água limpa com pressão (a que seja necessária para garantir a eliminação dos resíduos). Em função dos danos causados pela operação de limpeza na superfície do revestimento original, poderá ser necessário repor a planimetria da superfície,

aplicando um barramento de regularização com webertherm pro (sobre superfície com absorção) ou weberplast renovation (sobre superfície sem absorção).

Montagem das placas de isolamento

O sistema deverá ser montado de baixo para cima, apoiando cada fiada de placas **webertherm cork** sobre a anterior. As placas isolantes serão coladas aos suportes novos em reboco ou betão com a argamassa à base de cal webertherm pro, aplicado em camada dupla (suporte de betão e no “tardoz” do ICB). Em obra de renovação, em que as placas isolantes serão coladas sobre suporte em pintura ou revestimento cerâmico, utilizar webertherm flex P.

As argamassas deverão ser aplicadas por barramento em toda a superfície da placa, com talocha denteada (dente 9x9 mm). As placas serão montadas em posição horizontal em fiadas sucessivas, de baixo para cima, contra fiadas em relação à fiada inferior. Do mesmo modo nas esquinas, os topos das fiadas de placas deverão ser alternados, para melhorar o travamento do sistema.

As placas serão colocadas na sua posição definitiva, pressionando contra o suporte de modo a esmagar a argamassa de colagem e ajustando os seus contornos e planimetria superficial com as placas adjacentes, de modo a não permitir folgas nas juntas e desalinhamentos na superfície dos panos de parede. A verticalidade e o ajustamento planimétrico de cada placa em relação às adjacentes deverão ser permanentemente verificados, usando régua de 2m e nível de bolha de ar.

Notas importantes:

- Qualquer menor cuidado tido na colocação das placas de isolamento, nomeadamente no que diz respeito à perfeição de planimetria em relação às adjacentes, poderá resultar em defeitos globais de planimetria;
- As camadas de argamassa de revestimento das placas não deverão utilizadas como expediente de resolução de defeitos graves de planimetria, já que a utilização de espessuras elevadas poderá originar o aparecimento de outras patologias (fissuras, ondulações, etc.).

Fixação mecânica das placas

É necessária a utilização de fixações mecânicas, complementares da colagem das placas webertherm cork. Este reforço de fixação será realizado pela instalação das buchas **webertherm bucha** (em suportes de alvenaria, reboco ou betão), na quantidade de pelo menos 6 unidades por cada m². As buchas deverão ter comprimento adequado à espessura da placa isolante a fixar.

As cabeças circulares das buchas deverão ser pressionadas de modo a esmagar a superfície da placa isolante, para que não fiquem salientes do plano da mesma. As pequenas cavidades resultantes deverão ser posteriormente preenchidas com argamassa de revestimento, numa operação prévia ao revestimento das placas.

Tratamento de pontos singulares

As arestas do sistema, em esquinas de paredes, degraus de escada ou outros deverão ser reforçadas usando o perfil webertherm perfil de esquina, em alumínio ou PVC, perfurados para a aderência das argamassas e incluindo rede de fibra de vidro com tratamento anti alcalino. Os perfis serão colados diretamente sobre as placas webertherm cork com a mesma argamassa utilizada na colagem das placas.

Revestimento das placas de isolamento

O revestimento das placas **webertherm cork** (camada base) será feito com a aplicação da argamassa cimentícia **webertherm pro**, em pelo menos duas camadas, incorporando uma armadura em rede de fibra de vidro com tratamento antialcalino (**webertherm rede normal**).

Os trabalhos de revestimento das placas de isolamento deverão ser realizados somente após o endurecimento da argamassa de colagem, estando garantida a estabilidade das placas.

A argamassa será aplicada por barramento, usando talocha metálica inoxidável, sendo a segunda camada aplicada após endurecimento da primeira. A primeira camada deverá ser aplicada com talocha dentada (dentes de 6 mm) para garantir uma espessura final de aproximadamente 5 a 8mm; sobre o material ainda fresco, esticar a rede de fibra de vidro e alisar suavemente a superfície com talocha lisa, incorporando a rede superficialmente na camada de argamassa. A sobreposição lateral entre tiras da rede de fibra de vidro deverá respeitar pelo menos 10 cm.

A espessura da(s) camada(s) de argamassa aplicada(s) sobre a rede de fibra de vidro deverá garantir a efetiva cobertura desta, não sendo admissível que seja perceptível ao olhar. A superfície de acabamento da argamassa de revestimento deverá resultar plana, sem ressaltos ou vincos e com textura constante ao longo da toda a extensão. Deixar secar as argamassas pelo menos 3 dias antes da aplicação do revestimento de acabamento.

Impermeabilização do suporte constituído por painéis isolantes de ICB

A impermeabilização do suporte será feita com a aplicação de uma camada da argamassa monocomponente **Weberdry 824**, incorporando uma armadura em rede de fibra de vidro com tratamento antialcalino (**weberdry 90**). Os trabalhos de impermeabilização do tanque deverão ser realizados somente após a secagem da argamassa de revestimento das placas.

FICHA TÉCNICA

Aplicar weberdry 824, usando talocha metálica. Aplicar a camada usando a face denteada de uma talocha metálica (4x4 mm), de modo a manter as formas do pente no suporte e garantir uma espessura final de aproximadamente 0.8 e 1mm. Incorporar a rede de fibra de vidro (weberdry rede 90 4 x 4 mm de 90 g/m²) na camada, e alisar suavemente a superfície com talocha lisa, incorporando a rede superficialmente na camada de argamassa e com este processo, proceder à regularização do material aplicado.

Aplicação do revestimento de pastilha cerâmica

Avaliar a tipologia de pastilha de vidro, sobretudo ao nível da constituição do seu tarsoz (papel, pontos silicone, rede de fibra de vidro colada...) Admitindo e assegurando a compatibilidade com argamassa-cola de base cementícia do tipo C2S2, proceder à colagem da pastilha com **webercol flex XL branco**.

Proceder ao rejuntamento com argamassa mineral de base cementícia, desenvolvida paralelamente ao projeto ECOPOOL (ainda não disponível no mercado)

Espalhar a cola em panos pequenos com uma talocha denteada de 4x4 ou 6x6mm adequada ao tamanho da peça, do suporte e do local. Apertar a peça contra o suporte para esmagar os cordões de cola, garantindo a totalidade da área preenchida. Bater as peças com a ajuda de um maço de borracha branco. Ocasionalmente, levantar a peça para verificar se há transferência da cola suficiente.

Aplicação da argamassa de juntas

A argamassa de juntas, não se encontra ainda disponível no mercado pela Weber, pelo que foi feita uma produção específica para a aplicação no protótipo e posterior análise do mesmo.

7

CONCLUSÕES

Neste capítulo apresentam-se as conclusões finais do estudo e avaliação do sistema de isolamento térmico no interior do tanque de piscinas. O trabalho desenvolvido teve uma forte componente experimental com alguma complexidade, quer no laboratório quer no protótipo realizado.

O comportamento dos ETICS com acabamento por pintura é avaliado de acordo com o Guia da EOTA designado por ETAG 004 “Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with rendering”, onde se encontram definidas as várias exigências e métodos de ensaio (Malanho S. d., 2011). No entanto a aplicação do acabamento cerâmico sobre o sistema ETICS confere ao sistema um comportamento diferente, bem como o seu uso no interior do tanque da piscina em relação a sua utilização em fachadas de edifícios, assim, analisaram-se diversas situações como: registo de temperaturas em todos os elementos do tanque, continuidade das camadas, impermeabilização, resistência de impacto em três vertentes (esfera, penetração e Smith) e resistência adesiva do sistema.

Em primeiro lugar, no registo de temperaturas e como se esperava, verificou-se um comportamento “semelhante” na média dos dados, dado que na maioria dos casos apresenta temperaturas baixas no horário da manhã, sobe a temperatura até o meio dia e ao final da tarde diminui novamente o grau de calor. Os valores máximos de temperatura do ensaio foram registados no fundo do tanque (min e max), devido a este elemento estar todo o dia exposto ao sol e em constante variação da temperatura. Caso contrário, os valores máximos e mínimos da envolvente do tanque (paredes) estiveram sempre condicionados à orientação de cada

CONCLUSÕES

elemento. Aquando do enchimento do tanque, poder-se-á comparar a temperatura de cada elemento, com o intuito de quantificar o ganho térmico e redução de custos energéticos que apresenta o protótipo em relação às piscinas sem isolamento térmico.

Em relação a continuidade das camadas, o sistema que apresentou um melhor comportamento a todos os ensaios foi a vertente da parede experimental – Bem colada, pelo que, comprovou-se que é um fator fundamental no comportamento do sistema que as camadas sejam homogêneas e contínuas evitando possíveis infiltrações ou patologias nos diferentes materiais.

A impermeabilização à água foi analisada através dos tubos de Karsten onde verificou-se satisfatoriamente que não se apresenta absorção de água na argamassa de impermeabilização, tendo sido testados quer o paramento vertical, quer o paramento na horizontal. A maior quantidade de absorção da água apresentou-se no revestimento na área das juntas da pastilha; está absorção pode ser relacionada com a área de absorção e a porosidade do material, sendo que a pastilha é cerâmica pouco porosa e o cruzamento das juntas apresenta aproximadamente o dobro da área quer na junta horizontal quer na junta vertical.

Face aos resultados obtidos neste ensaio, pode-se admitir que no enchimento do tanque da piscina a argamassa das juntas saturar-se-á e estabilizar-se-á face à absorção, tendo como barreira final o sistema a argamassa de impermeabilização, onde a sua absorção de água foi nula.

Nas vertentes da resistência ao impacto, devido à diferença do tipo de acabamento no tanque secundário - argamassa de impermeabilização (flexível) e na parede experimental – revestimento cerâmico (rígido) não se pode comparar os resultados entre os mesmos.

Observou-se que a argamassa de impermeabilização regista baixos diâmetros de impacto com esfera, uma vez que esta tem alta capacidade de absorção de energia e deformabilidade, recuperando facilmente a sua condição inicial, no entanto, apresenta uma profundidade de penetração total mais elevada na resistência a penetração.

Nas duas vertentes do revestimento cerâmico, teve-se melhor resistência ao impacto com esfera nas zonas das juntas (argamassa de juntas) que na amostra do meio da pastilha onde registou-se o pior cenário na parede experimental 2 – mal colada.

No caso da resistência a penetração as paredes experimentais, apresenta a melhor resistência a vertente da PE1 – bem colada, verificando um muito bom comportamento na argamassa das juntas bem como um valor na média da profundidade muito baixo.

O material com menor valor de resistência superficial foi a argamassa de impermeabilização apresentando valores do índice esclerométrico inferiores, apesar disso,

todos os suportes testados apresentam comportamento favorável na sua resistência superficial. Logo, os resultados evidenciam um ganho de resistência ao impacto significativo quando à impermeabilização se acrescentam os revestimentos finais.

Finalmente, para avaliar a resistência adesiva da argamassa, a rotura ocorre pela zona mais fragilizada de todo o conjunto do sistema. Na vertente da parede experimental – bem colada, na maioria dos casos o tardo da pastilha saiu sem muito material, no entanto apresentaram-se valores elevados de tensão, o que significa que estamos perante a uma argamassa que confere o resultado da resistência pretendido.

Caso contrário ao da parede experimental 2 onde apresentam-se amostras com os valores mais baixos de tensão entre 0,17 e 0,33 N/mm² e rotura só na argamassa da cola. Nestes casos o tardo da pastilha saiu sem muito material. Dado os valores registados significa que o material teve uma resistência mínima, isto devido a que a pastilha estava “mal colado” ao suporte.

Os resultados obtidos na campanha experimental executada permitiram validar o sistema testado nesta fase.

Como trabalhos futuros, entre outros, salienta-se a necessidade de:

- Concluir os ensaios de observação do comportamento do protótipo face aos ensaios de carga e descarga com água (ciclos de esvaziamento e enchimento);
- Avaliar a durabilidade e facilidade de manutenção do sistema a longo prazo no contexto de funcionamento real do protótipo;
- Comprovar a eficiência global do sistema em termos de ganhos térmicos (temperatura de conforto da água da piscina) versus custos de construção e manutenção, comparativamente a uma piscina tradicional nas mesmas condições.

REFERÊNCIAS

- A.C.F, I. -A. (2020). *Isolamento perfeito em qualquer ambiente*. Lisboa.
- Aipex. (2019). *Soluções de isolamento térmico com poliestireno extrudido (XPS) para uma construção sustentável*. Associação ibérica de poliestireno extrudido.
- AISLENVAS. (2021). *Sistemas Estructurales - Sistemas de encofrados, estructuras, muros y forhados para la construcción en EPS*. Alicante: Poligono Industrial.
- Amo, E. d. (31. 08 2020). *E-ficiencia*. Von Vidrio celular FOAMGLAS: la solución perfecta para el aislamiento del vaso de una piscina: <https://e-ficiencia.com/foamglas-solucion-para-el-aislamiento-del-vaso-de-una-piscina/> abgerufen
- Antunes Lopes, A. (2012). *Avaliação da variabilidade da técnica de ensaio pull-off na medição da resistência de aderência à tracção em revestimentos de ladrilhos cerâmicos e argamassas*. Lisboa: Instituto Superior Tecnico - Universidade de Lisboa.
- APFAC. (2015). *ETICS: External Thermal Insulation Composite Systems - Manual de Aplicacao*. Lisboa: Associação Portuguesa dos Fabricantes de argamassa de ETICS.
- Arnabat, I. (19. Septiembre 2011). *Calor y frio*. Von Calor y frio: (<https://www.caloryfrio.com/ahorro-energia/aislamiento-termico/etics-sistema-de-aislamiento-por-el-exterior-paso-a-paso.html>) abgerufen
- Brito, M. C. (2010). *Reabilitação de Fachadas e o seu Contributo Energético*. Lisboa: Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa.
- BSI, S. P. (2016). *Methods of test for mortar for masonry - Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates*. United Kingdom: British Standard.
- Campos, E. D. (2021). *Vidro espuma a partir de desecho de vidrio y perlita mineral como aislante termico*. Mexico: Universidad Autonoma de Nuevo León.
- Cano, M. P. (2017). *Aislantes Térmicos - Criterios de selección por requisitos energeticos*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- CEN, E. 1.-1. (2016). *Methods of test for mortar for masonry, Part 12: Determination of adhesive Strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates*. Brussels.
- Coimbra, J. (22. Agosto 2019). *LAF, Construction Managment*. Von Web site de LAF, Construction Managment: <https://lafconstruction.pt/big-buildings/o-que-e-sistema-etics/> abgerufen
- Construterm. (2020). *Isolamentos*. Von Construterm: <https://construterm.pt/isolamentos/> abgerufen
- Dickey, A., & Oslica, S. (1. February 2008). *Insulation Materials: Cellular Glass*. *Insulation Outlook Magazine*.
- E205, G. P. (2013). *Meting van de waterabsorptie via de methode van Kärsten*.
- 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*.

Referências

- EOTA. (2000). *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering*. Brussels: ETAG 004 .
- Espeso, J., & Pérez, E. (2002). *El poliestireno expandido, aplicaciones en la construcción*. Madrid: Revista de Plásticos Modernos.
- ETAG004. (2000). *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering, European Organisation for Technical Approvals*. Brussels.
- Farinha, F., Oliveira, M., Inverno, A., Segura, M., Carmo, F., & Matias, G. (2021). *ECOPOOL +++ PROJECT – INNOVATIVE HEATED OUTDOOR SWIMMING POOLS*. Coimbra - Portugal: Construction, energy environment and sustainability.
- Farinha, F., Oliveira, M., Matias, G., Inverno, A., Monteiro, J., & Cabrita, C. (2022). *Technological Measures to Reduce the Environmental Impact of Swimming Pools*. Portugal.
- Ferrari, S. (2011). *Análise da retenção de água em argamassas colantes de mercado*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Juiz de Fora e Universidade Federal de Minas Gerais.
- Foamglas, B. (2012). *Aislante térmico de vidrio celular - Guia de soluciones*. Foamglas.
- Horcajada, S. D. (2005). *El EPS en el envase y embalaje: El material, sus aplicaciones y radiografía del sector en España y Europa*. Madrid: Revista de Plásticos Modernos.
- Industrias de Poliestireno Expandido, G. C. (2021). *Construir Piscinas energeticamente Eficientes con Cypsablock*. Madrid: Grupo CYPESA.
- Infoconstrucción. (23. Setembro 2020). *Infoconstrucción*. Von Infoconstrucción: https://www.infoconstruccion.es/noticias/20200923/panel-impermeable-foamglas#disqus_thread abgerufen
- Jimenez, S. A. (1995). *Tomorrow's Energy Today for Cities and Counties Swimming Pools Warm Up to Energy-Saving Technologies*.
- Jimenez, S. A., Carrilo, V., & Alvarado, M. A. (2015). *Swimming Pool heating systems: A review of applied models*. TECCIENCIA.
- Jordaan, M., & Narayanan, R. (2019). *A numerical study on various heating options applied to swimming pool for energy saving*. Energy Procedia.
- Jové, F. (2017). *GFA / CONSTRUCCIÓN III (46833): MATERIALES Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS AISLANTES E IMPERMEABILIZANTES*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Knauf, I. (2023). *Revestimento pelo interior*. Knauf insulation.
- LNEC. (2017). Documento de homologação de redes para reforço de revestimentos de paredes VIPLÁS 50, VIPLÁS 95, VIPLÁS 100,. *Laboratorio Nacional de engenharia Civil, DH941*.
- Lopes, G. (2011). *Avaliação do Ciclo de Vida de dois materiais de isolamento utilizados na construção civil: o poliestireno expandido e o aglomerado de cortiça expandida*. . Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Lucas Lino, G. (2013). *Caracterização in situ de rebocos com base*. Lisboa: Faculdade de ciencias e tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.
- Madariaga, F. J. (2005). *Caracterización de mezclas de residuos de poliestireno expandido(EPS) conglomerados con yeso o escayola,su uso en la construcción*. Barcelona: Universidad Politecnica de Cataluya.
- Madrid, C. d. (2012). *Guia sobre materiales y eficiencia energetica*. Madrid: Consejería de Economía y hacienda, organización, dirección general de industria, energia y minas.
- Malanho, S. d. (2011). *Avaliação do desempenho de ETICS com acabamento de ladrilhos ceramicos*. Aveiro: Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil .

- Malanho, S., & Veiga, R. (2018). *Análise do comportamento mecânico em laboratório e in situ de revestimentos pré-doseados de cimento*. Portugal.
- Merino, B. G. (2016). *Fachadas eficientes Sistemas de aislamiento Térmico por el exterior (SATE)*. Valencia - España: Universidad Politecnica de Valencia .
- Morteros de Galicia, S. (2021). *Paneles de aislamiento de poliestireno extruido*. Coruña: Votorantim Cimentos España.
- Nadège Bouchonneau, A. R. (2010). *Análise da Absorção de Água em Dois Polímeros Expandidos: Desenvolvimento do Módulo de Flutuabilidade de um Mini-robô Submarino*. Brasil: Universidade de Fortaleza, ARMTEC Tecnologia em Robótica.
- Neto, V. E. (2012). *Aplicacoes moderna de aglomerado de cortica expandida (ICB) na construccao*. Porto: Universidade de Porto - Faculdade de Engenharia.
- Oliveira, J. (2011). *Metodologia de analise da patologia de fachadas de edificios recentes com sistema ETICS*. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto .
- OS-120, S. (2017). *Operating Instructions*. Proceq S.A.
- Perdigão, M. N. (2013). *Análise de Ciclo de Vida de duas soluções de ETICS*. Lisboa: INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA.
- Pereira, F. P. (2009). *Avaliação Laboratorial do desempenho do ETICS*. Porto: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto .
- Pereira, N. B. (2015). *Houselab - Building Evaluation*. Von Avaliacao da porosidade com tubo de Karsten: <http://houselab.pt/avaliacao-da-porosidade-com-tubo-de-karsten/abgerufen>
- Petersen, R., Yue, Y., & König, J. (2015). Fabrication of highly insulating foam glass made from CRT panel glass. *Science Direct*, 8.
- Pina dos Santos, C., & Matias, L. (2006). *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edificios*. Lisboa: LNEC.
- Polydros. (2020). Vidrio Celular - Aislamiento . *AISLAMIENTOS Y EFICIENCIA ENERGETICA EN FACHADAS*, 2.
- Prosoco. (2020). MEASUREMENT OF WATER ABSORPTION UNDER LOW PRESSURE. *Tech Note*, 5.
- PROSOCO, F. G. (2021). *MEASUREMENT OF WATER ABSORPTION UNDER LOW PRESSURE RILEM TEST METHOD – TEST NO. 11.4*. Tech note - Prosoco.
- RCCTE, D.-L. n. (2006). *Regulamento das características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Portugal: Diario da República.
- REH. (2021). *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios*.
- RILEM, 1. (1997). *Test for masonry materials and Structures*. Materials and Structures.
- Rodriguez, M. V. (2015). *Materiales Aislantes Sostenibles*. Badajoz: Universidad de Extremadura - Escuela Politecnica.
- Romão, M. d. (2015). *Contribuição do Isolamento Térmico para o aumento da Eficiência Energética em Edifícios, tesis*. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Santolino, S. (1987). *Materiales poliméricos en la construcción. Materiales aislantes*. Madrid: CSIC. 372: 769.: Revista de Plásticos Modernos.
- Santolino, S. (1987). *Materiales poliméricos en la construcción. Materiales aislantes*. Madrid: CSIC. 372: 769.: Revista de Plásticos Modernos.
- SECIL. (2023). *Secil Portugal*. Von Sistema Etics : <https://www.secil.pt/pt/solucoes/construcao-nova/isolamento-termico/sistema-etics---com-isolamento-eps--isovit-classico-abgerufen>
- Silveira Zeferino, T., & Guglielmi Antunes, E. (2019). *Tempo em aberto das argamassas colantes: uma análise da interferência do emboço e dos tipos de exposição*. Santa Catarina - Brasil : Revista técnico-científica da Engenharia Civil UNESC.

Referências

- Sistems, P. (2021). *Piscina Térmica Sistema PS Pools-500 Acabado con embaldosado cerámico*. Madrid: Cypsa Block Piscinas.
- Sofalca. (2012). *Aglomerado de cortica expandida ICB*. Abrantes – Portugal: Sofalca.
- Sousa, L. F. (2010). *Durabilidade da Construção. Estimativa da vida útil ETICS*. Porto: Universidade do Porto.
- Sundolitt. (2018). *Catalogo de productos para la construcción: Aislamiento y aligeramiento*. Madrid: Sundolitt.
- Tavares, M., Magalhães, A., Veiga, M., & Aguiar, J. (2013). *ANÁLISIS PREVIO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE REVESTIMIENTOS ANTIGUOS. EL DIAGNÓSTICO A TRAVÉS DE ENSAYOS IN SITU Y DE LABORATORIO. ALGUNOS CASOS DE ESTUDIO*. Lisboa: LNEC.
- Techics, T. (29. Setembro 2021). *Que aislante térmico elegir?* Von Tecnol Technics: <https://tecnol.es/shop/tecnol-basics/es/blog/post/que-aislante-termico-elegir.html#:~:text=La%20durabilidad%20del%20aislante&text=En%20cambio%2C%20un%20aislante%20t%C3%A9rmico,tener%20una%20vida%20%3BAtil%20mayor%20abgerufen>
- Telhado, X. (2023). *Brico Butikk*. Von https://www.bricobutikk.pt/products/placa-xps-telhado?variant=5895483785243¤cy=EUR&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=google+shopping&utm_campaign=gs-2018-11-22&utm_source=google&utm_medium=smart_campaign&gclid=CjwKCAjwzJmlBhBBEiwAEJyLu-o abgerufen
- TERSATE, G. (Agosto 2020). *Gecol*. Von Gecol: . (<https://www.gecol.com/sistema-sate-ventajas/#:~:text=Las%20siglas%20SATE%20significan%20Sistema,ellos%20para%20crear%20un%20conjunto.>) abgerufen
- Tesa, J. T. (2018). *Durabilidade de ETICS con elevada absorcao solar*. Porto : Universidade de Porto - Faculdade de Engenharia.
- Ursa. (2021). *Aislamiento Intermedio en Fachadas*. Von Ursa: <https://www.ursa.es/aplicacion/aislamiento-intermedio-en-fachadas-xps/> abgerufen
- Veiga, M. R., & Carvalho, F. (2000). Experimental characterization of lime based rendering and repointing mortars. Definition of relevant laboratorial and “in situ” tests. *Proceedings of the workshop Compatible Materials Recommendations for the Preservation of European Cultural Heritage*.
- Veiga, M. d., & Santos, C. P. (2009). Revestimentos de isolamento térmico de fachada: Eficiência, durabilidade e comprovação de qualidade. 11.
- Veiga, M. d., Viegas, J., Pinto, A., Sousa, H. d., Veiga, M., & Veiga, M. (2004). *Sessão de Atualização Técnica - A envolvente dos Edifícios*. Porto: Construção2004 - Repensar a construção.
- VEIGA, M. R. (2010 a)). *Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes*. Lisboa: LNEC.
- VEIGA, M. R. (2010). *Regras para a Concessão de uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) de Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS)*. Lisboa: LNEC.
- Veiga, M., & Dos santos Pina, C. (2009 b)). *Contribuição dos revestimentos de fachada para a eficiência energética dos edifícios*. Lisboa: Lisboa: Centro Cultural de Belem: 4^{as} jornadas PINTUMED 2009 b).
- VidrioWeb. (2018). *Vidroweb*. Von Vidrio Celular: <https://vidrioweb.me/celular/> abgerufen
- Weber, S. G. (2021). *Declaração de desempenho - Webertherm Pro*. Aveiro, Portugal: Weber Saint Gobain, N° Dop - PT - 4072 - 05.
- Weber, S. G. (2021). *Declaração de Desempenho - Weberdry 824*. Aveiro, Portugal: Weber, Saint Gobain N°. DoP - PT - 4252 - 03.