

CANOPY CLADDING

REVESTIMENTO DE
PALA

REVÊTEMENT CANOPÉE

Sistema de Aplicação

Sistema de revestimento da pala da Estrutura ENGAWA

Obra

Centro de Arte Moderna José de Azeredo Perdigão - Fundação Calouste Gulbenkian

Fabricante

Jofebar S.A.

Rua Dom Marcos da Cruz, n.º 1240

4455-482 Matosinhos

jofebar@jofebar.com

www.jofebar.com

STAMP002/23

Versão 1 emitida em 11/08/2023



1 - Descrição do sistema

1.1 - Descrição geral

O sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA, adiante também designado apenas por sistema de revestimento, é composto por ladrilho cerâmico (denominado no projeto como telha), sistema de ligação do ladrilho cerâmico à subestrutura e subestrutura metálica de ligação ao suporte (estrutura ENGAWA).

O ladrilho cerâmico é fixo à subestrutura através de colagem e fixação mecânica suplementar (através de ancoragens).

Os componentes do sistema de revestimento encontram-se detalhados no Anexo A.

O sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA é produzido e fornecido pela empresa Jofebar, S.A. especificamente para a obra do Centro de Arte Moderna José de Azeredo Perdigão, na Fundação Calouste Gulbenkian, situada na Avenida de Berna em Lisboa.

1.2 - Características principais

O sistema de revestimento garante proteção contra os efeitos dos agentes climáticos, contribuindo assim para a durabilidade da estrutura onde se aplicará. Este sistema não é um elemento resistente, não contribuindo para a estabilidade da referida estrutura e também não se destina a aumentar a estanquidade ao ar do edifício.

Considerando a aplicação pretendida para o sistema de revestimento, foram definidas como relevantes avaliar, as seguintes características:

- Verificação da drenagem;
- Resistência à ação do vento;
- Resistência ao impacto;
- Resistência da ligação colada;
- Resistência das ligações mecânicas, nomeadamente:
 - o Ligação entre perfil retangular (Ref.^a PR4) e cantoneiras de ligação ao suporte (Ref.^a PR5-x);

- o Ligação entre perfil retangular (Ref.^a PR4) e cantoneiras de altura e geometria variável (Ref.^a CH-3.x/5.x) com aplicação dos esforços através da ponteira metálica (Ref.^a POS);
- o Ligação entre perfil retangular (Ref.^a PR4) e cantoneiras de altura e geometria variável (Ref.^a CH-3.x/5.x) com aplicação dos esforços nas cantoneiras de altura e geometria variável;
- o Ligação entre cantoneiras de altura e geometria variável (Ref.^a CH-3.x/5.x) e cantoneira de ligação ao perfil de secção quadrada (Ref.^a PR3);
- Determinação da resistência mecânica de ladrilhos cerâmicos, nomeadamente:
 - o Resistência à flexão e módulo de rotura de ladrilhos cerâmicos;
 - o Resistência ao choque térmico;
 - o Dilatação térmica linear;
 - o Resistência ao gelo;
- Cálculo de pressões de vento por CFD - Computational Fluid Dynamics.

Na Secção 3 apresenta-se a avaliação de desempenho realizada ao sistema

1.3 - Higiene e segurança na aplicação

O manuseamento dos componentes do sistema de revestimento não envolve riscos de inflamabilidade ou riscos especiais de toxicidade. Aquando do processo de aplicação da cola para a ligação do ladrilho cerâmico à subestrutura, deve ser evitado o contacto da cola com os olhos, utilizando equipamento de proteção individual adequado. Assim que a aplicação esteja completa, é recomendado lavar a cara e as mãos com sabão e água. Se os produtos entrarem em contacto com os olhos, é recomendado lavá-los imediatamente com água. Caso se verificarem sintomas de irritação, deve ser procurada assistência médica.

2 - Produção, armazenamento e controlo de qualidade interno

2.1 - Produção e armazenamento

A produção do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA realiza-se nas instalações da Jofebar, S.A. localizadas na zona industrial dos viadores, Mealhada (Jofebar - Metal Works II, S.A).

O processo de aplicação das ancoragens nos ladrilhos cerâmicos é subcontratado. A Jofebar, S.A. procede à produção do sistema de revestimento em duas fases: a ligação do ladrilho cerâmico a uma parte da subestrutura e a produção da restante subestrutura que será fixa ao suporte em obra e que irá posteriormente receber os ladrilhos.

2.2 - Controlo de qualidade interno

A Jofebar, S.A., possui o Sistema de Gestão da Qualidade certificado de acordo com a norma EN 9001:2015, pela empresa TÜV Rheinland Portugal, Lda.

O produto de colagem e a ancoragem dos ladrilhos cerâmicos, utilizados no sistema de revestimento, possuem marcação CE de acordo com a ETAG 002 e EAD 330030-00-0601, respetivamente.

No que diz respeito à produção do sistema de revestimento, a Jofebar, S.A. possui um sistema de controlo de qualidade interno implementado, o qual foi avaliado pelo Itecons e considerado satisfatório.

3 - Avaliação do sistema

3.1 - Ensaios

Os ensaios laboratoriais foram realizados pelo Itecons, nas suas instalações em Coimbra, em provetes preparados pela Jofebar, S.A..

No Anexo B apresentam-se fotografias dos provetes ensaiados e das montagens de ensaio.

3.1.1 Verificação da drenagem

Baseado nos pormenores construtivos e esquemas de montagem apresentados no Anexo D, no conhecimento técnico, na experiência, em outros ensaios realizados a provetes do sistema de

revestimento e nos critérios de instalação, considera-se que a água decorrente de precipitação pode ser escoada através do sistema de revestimento sem acumulação. Salva-se que a estrutura de suporte do sistema de revestimento deve assegurar a drenagem de águas pluviais de modo a evitar a acumulação de água nos pontos de cota mais baixa da pala e a consequente deterioração precoce dos componentes do sistema de revestimento.

3.1.2 Resistência à ação do vento

O princípio de ensaio consistiu na reprodução dos efeitos das cargas de sucção e pressão no sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA. O ensaio foi realizado com base no procedimento constante no Anexo E do EAD 090062-00-0404 [1].

O provete de ensaio, com dimensões exteriores de 2670 mm x 1780 mm, era composto por 6 ladrilhos cerâmicos, sistema de fixação, subestrutura metálica e substrato em madeira.

No decurso do ensaio de determinação a cargas de vento de pressão verificou-se falha do provete de ensaio para uma pressão correspondente a 3200 Pa [2]. A falha caracterizou-se pela rotura de um dos elementos de revestimentos (ladrilho cerâmico). Relativamente ao ensaio de determinação a cargas de vento de sucção verificou-se que o provete suportou uma carga de sucção correspondente a 3400 Pa [3] sem que se verificassem ocorrências que determinassem a falha do produto.

3.1.3 Resistência ao impacto

A determinação da resistência ao impacto realizou-se segundo o procedimento descrito no Anexo G do EAD 090062-00-0404 [1], para impactos de corpo duro (1 J, 3 J e 10 J) e impactos de corpo mole (10 J, 60 J, 300 J e 400 J).

O provete de ensaio, com dimensões exteriores de 2670 mm x 1780 mm, era composto por 6 ladrilhos cerâmicos, sistema de fixação, subestrutura metálica e substrato em madeira.

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados obtidos para a resistência ao impacto do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA [4].

Tabela 1: Resultados obtidos nos ensaios de impacto do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA.

Ponto de impacto	Energia de impacto						
	1 J (H1)	3 J (H2)	10 J (H3)	10 J (S1)	60 J (S3)	300 J (S3)	400 J (S4)
1	Passa	Não passa	-	Passa	-	-	-
2	Passa	-	-	Passa	-	-	-
3	Passa	-	-	Passa	-	-	-

H1 e H2 – Impacto com corpo duro com massa de 500 ± 5 g
H3 – Impacto com corpo duro com massa de 1000 ± 10 g
S1 e S2 – Impacto com corpo mole de pequena dimensão de 3 kg
S3 e S4 – Impacto com corpo mole de grande dimensão com 50 ± 0.5 g

Passa	Não se verificaram quaisquer danos (sem penetração, perfuração ou deterioração)
Não Passa	Penetração e perfuração (destruição do elemento de revestimento)

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1 verificou-se que o provete de ensaio cumpre com os requisitos definidos para a categoria de utilização IV, ou seja, é adequado a uma zona fora do alcance ao nível do solo.

3.1.4 Resistência da ligação colada

A determinação da resistência da ligação colada foi avaliada em provetes em estado original e após envelhecimento para três tipos de esforços: tração, corte e flexão. Os procedimentos de ensaio e os envelhecimentos realizados basearam-se no preconizado no EAD 090097-00-0404 [5].

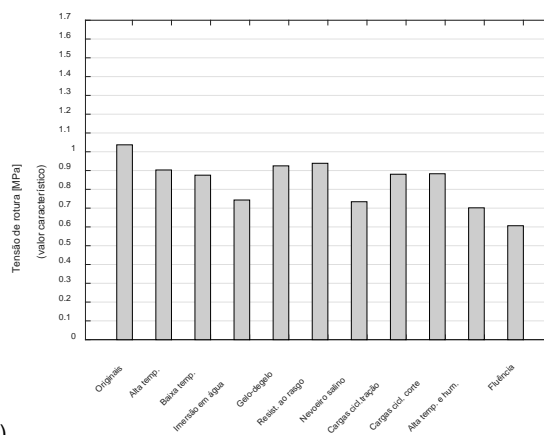
A determinação da resistência da ligação colada entre o perfil tubular de secção quadrada (Ref.^a PR1.x) e o ladrilho cerâmico realizou-se em provetes com a seguinte configuração:

- Ensaio de tração: perfil tubular PR1.x de secção quadrada com 20 mm de lado, colado a um ladrilho cerâmico com 100 mm x 100 mm. A largura de colagem era de 14 mm;
- Ensaio de corte: perfil tubular PR1.x de secção quadrada de 20 mm, colado a um ladrilho cerâmico com 100 mm x 100 mm. A largura de colagem era de 14 mm;
- Ensaio de flexão: perfil tubular PR1.x de secção quadrada de 20 mm de lado, colado a um ladrilho cerâmico com 500 mm x 50 mm. A largura de colagem era de 14 mm.

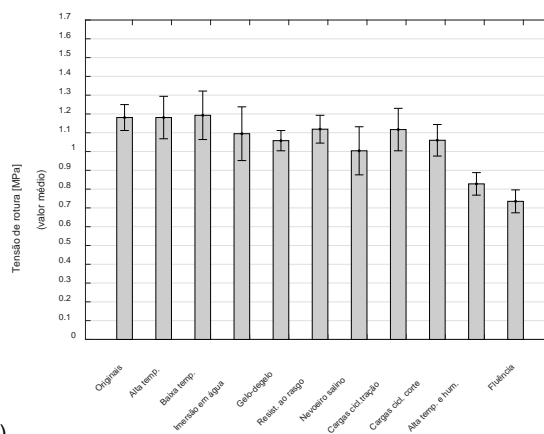
Na Figura 1 apresenta-se a compilação das tensões de rotura à tração em provetes originais e após

envelhecimento [6, 7]. Os provetes ensaiados à tração foram previamente sujeitos aos seguintes envelhecimentos:

- Altas temperaturas;
- Baixas temperaturas;
- Imersão em água;
- Gelo-degelo;
- Rasgo prévio;
- Nevoeiro salino;
- Cargas cíclicas de tração;
- Cargas cíclicas de corte;
- Elevadas temperaturas e elevada humidade;
- Carga de fluência a altas temperaturas e elevada humidade.



a)



b)

Figura 1: Resultados do ensaio de tração – Tensão de rotura: a) Valor característico; b) Valor médio e desvio padrão.

Na Figura 2 apresentam-se os resultados da extensão de rotura registada.

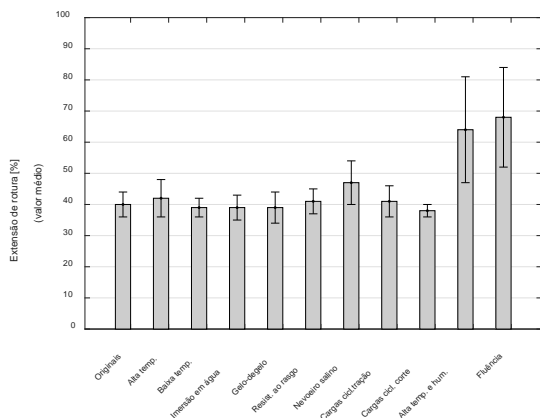


Figura 2: Resultados do ensaio de tração – Extensão de rotura: Valor médio e desvio padrão.

Na Figura 3 apresenta-se a compilação das tensões de rotura ao corte em provetes originais e após envelhecimento [6, 8]. Os provetes ensaiados ao corte foram previamente sujeitos aos seguintes envelhecimentos:

- Altas temperaturas;
- Baixas temperaturas;
- Imersão em água.

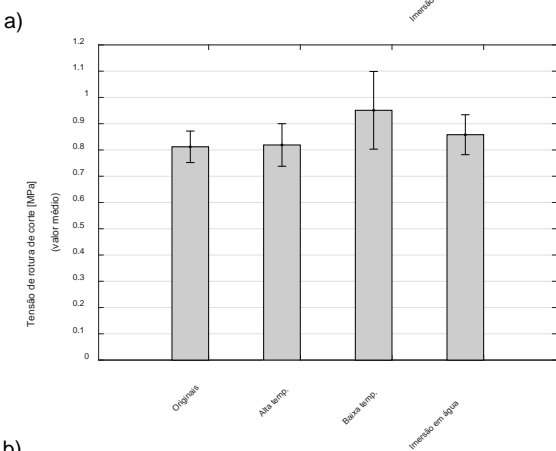
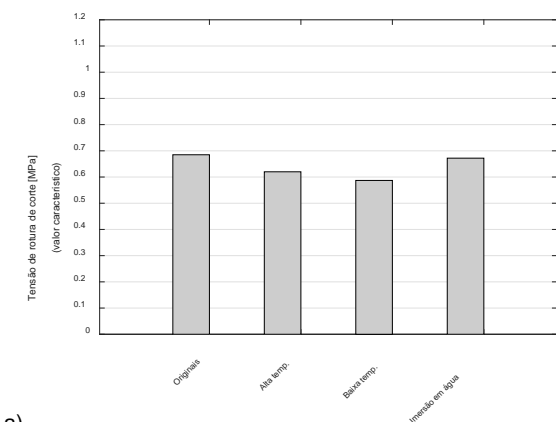
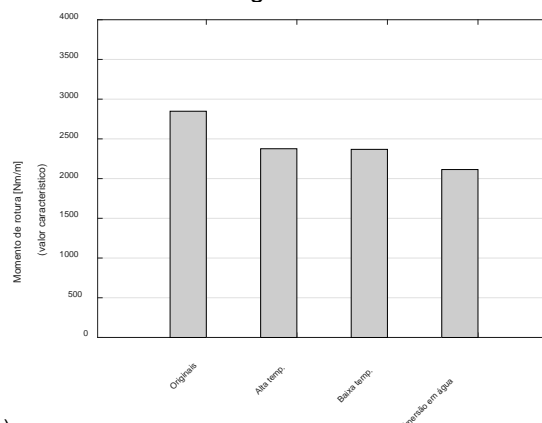


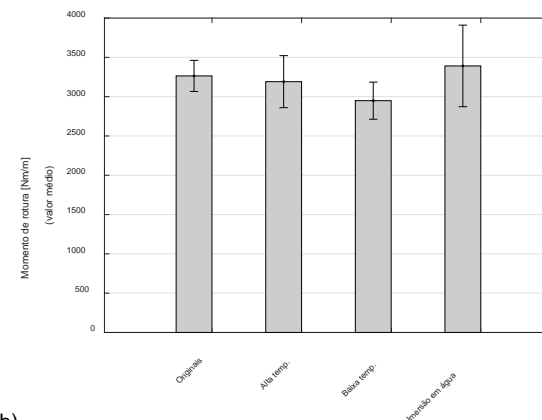
Figura 3: Resultados do ensaio de corte – Tensão de rotura: a) Valor característico; b) Valor médio e desvio padrão.

Na Figura 4 apresenta-se a compilação das tensões de rotura à flexão em provetes originais e após envelhecimento [6, 9]. Os provetes ensaiados à flexão foram previamente sujeitos aos seguintes envelhecimentos:

- Altas temperaturas;
- Baixas temperaturas;
- Imersão em água.



a)



b)

Figura 4: Resultados do ensaio de flexão – Tensão de rotura: a) Valor característico; b) Valor médio e desvio padrão.

Os valores característicos apresentados foram calculados de acordo com o anexo H do EAD 090097-00-0404 [5].

3.1.5 Resistência das ligações mecânicas

3.1.5.1 Ligação entre perfil retangular (Ref.^a PR4) e cantoneiras de ligação ao suporte (Ref.^a PR5-x)

A resistência da ligação em análise foi determinada segundo esforços de tração, de compressão, transversais e longitudinais e os ensaios realizados

com base no EAD 090062-00-0404 [1].

Os provetes de ensaio eram constituídos por perfil retangular PR4 com 170 mm x 15 mm e 200 mm de comprimento ligado longitudinalmente a duas cantoneiras PR5-x com 30 mm x 50 mm x 1.6 mm, através de dois parafusos auto-perfurantes torx 4.8x12 em INOX (aplicação do binário 2 N.m), por cantoneira.

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados de valores médios, desvio padrão e valores característicos para os diversos esforços aplicados [10, 11].

Tabela 2: Valores médios, desvio padrão e valores característicos dos esforços de tração, compressão, transversais e longitudinais da ligação entre perfil PR4 e cantoneiras PR5-x.

	Força $F_{p0,2}$ para def. residual de 0.2 mm (N)	Força F_2 para def. de 2 mm (N)	Força máxima $F_{m\acute{a}x}$ (N)
Esforços de Tração			
Média	907	1091	2941
Desvio padrão	47	203	113
$F_{u,5}$	750	409	2560
Esforços de Compressão			
Média	1055	2044	5868
Desvio padrão	154	960	230
$F_{u,5}$	534	--	5091
Esforços transversais			
Média	2739	2333	4398
Desvio padrão	229	220	411
$F_{u,5}$	2206	1819	3441
Esforços longitudinais			
Média	1434	2560	9840
Desvio padrão	338	622	688
$F_{u,5}$	545	923	8237

Os resultados apresentados foram tratados estatisticamente de acordo com o Anexo N deste EAD 090062-00-0404 [1].

3.1.5.2 *Ligação entre perfil retangular (Ref.^a PR4) e cantoneira de altura e geometria variável (Ref.^a CH-3.22) com aplicação dos esforços através da ponteira metálica (Ref.^a POS)*

A resistência da ligação em análise foi determinada segundo esforços verticais e horizontais e os ensaios

realizados com base no EAD 090062-00-0404 [1].

Os provetes de ensaio eram constituídos por perfil retangular PR4 com 170 mm x 15 mm e 200 mm de comprimento, cantoneira CH-3.22 com aba horizontal de 53 mm, espessura 3 mm e aba vertical com altura variável entre 46 mm e 95 mm fixa num dos topos do perfil tubular através de dois parafusos auto-perfurantes torx 4.8x12 em Inox (aplicação do binário 2 N.m). A aba vertical da cantoneira CH-3.22 tinha orifícios com 10 mm de diâmetro. Num dos orifícios engatou a ponteira POS com 8.5 mm de diâmetro e 20 mm de comprimento livre, integrada num perfil PR1.x de alumínio tubular de secção quadrada com 20 mm de lado e 2 mm de espessura.

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados de valores médios, desvio padrão e valores característicos para os diversos esforços aplicados [12].

Tabela 3: Valores médios, desvio padrão e valores característicos dos esforços verticais e horizontais da ligação entre perfil PR4 e cantoneiras CH-3.22 com aplicação dos esforços através da ponteira POS.

Força máxima $F_{m\acute{a}x}$ (N)	
Esforços Verticais	
Média	1319
Desvio padrão	274
$F_{u,5}$	680
Esforços Horizontais	
Média	1244
Desvio padrão	207
$F_{u,5}$	763

Os resultados apresentados foram tratados estatisticamente de acordo com o Anexo N do EAD 090062-00-0404 [1].

3.1.5.3 *Ligação entre perfil retangular (Ref.^a PR4) e cantoneiras de altura e geometria variável (Ref.^a CH-4.1, CH-4.21, CH-5.1 e CH-5.22) com aplicação dos esforços nas cantoneiras de altura e geometria variável*

A resistência da ligação mecânica entre perfil retangular (Ref.^a PR4) e cantoneiras de altura e geometria variável (Ref.^a CH-4.1, CH-4.21, CH-5.1 e CH-5.22) foi determinada segundo esforços de tração e corte e os ensaios realizados com base no EAD 090062-00-0404 [1].

Foram ensaiados provetes com quatro variantes de cantoneira CH: cada conjunto era formado por perfil PR4 tubular de alumínio de secção retangular 170 mm x 15 mm com 1.5 mm de espessura e 200 mm de comprimento, cantoneira CH-4.1/4.21/5.1/5.22 com aba horizontal de 53 mm, espessura 3.0 mm e aba vertical com uma altura variável, entre 58 mm e 113 mm, fixa num dos topos do perfil tubular PR4 através de dois parafusos auto-perfurantes torx 4.8x12 em INOX (aplicação do binário 2 N.m).

Na Tabela 4 apresentam-se os resultados de valores médios, desvio padrão e valores característicos para os diversos esforços aplicados [13].

Tabela 4: Valores médios, desvio padrão e valores característicos dos esforços de tração e corte da ligação entre perfil PR4 e cantoneiras CH-4.1/4.21/5.1/5.22.

	Força $F_{p0,2}$ para def. residual de 0.2 mm (N)	Força F_2 para def. de 2 mm (N)	Força máxima $F_{m\acute{a}x}$ (N)
Formato 1 (PR4 – CH-5.1) – Esforços de Tração			
Média	805	789	2036
Desvio padrão	47	48	120
$F_{u,5}$	697	678	1756
Formato 2 (PR4 – CH-5.22) – Esforços de Tração			
Média	876	811	2065
Desvio padrão	64	39	77
$F_{u,5}$	728	721	1887
Formato 3 (PR4 – CH-4.21) – Esforços de Tração			
Média	744	946	1832
Desvio padrão	148	111	255
$F_{u,5}$	399	686	1237
Formato 4 (PR4-CH4.1) – Esforços de Tração			
Média	1007	911	2106
Desvio padrão	118	38	92
$F_{u,5}$	733	823	1892
Formato 1 (PR4 – CH-5.1) – Esforços de Corte			
Média	5681	4852	7863
Desvio padrão	575	721	434
$F_{u,5}$	4342	3172	6853
Formato 2 (PR4 – CH-5.22) – Esforços de Corte			
Média	5540	4595	7818
Desvio padrão	535	322	355
$F_{u,5}$	4294	3844	6992

	Força $F_{p0,2}$ para def. residual de 0.2 mm (N)	Força F_2 para def. de 2 mm (N)	Força máxima $F_{m\acute{a}x}$ (N)
Formato 3 (PR4 – CH-4.21) – Esforços de Corte			
Média	5948	4350	7937
Desvio padrão	1042	496	455
$F_{u,5}$	3521	3194	6876
Formato 4 (PR4-CH4.1) – Esforços de Corte			
Média	5935	4754	7450
Desvio padrão	1008	411	469
$F_{u,5}$	3587	3796	6356

Os resultados apresentados foram tratados estatisticamente de acordo com o Anexo N deste EAD [1].

3.1.5.4 Ligação entre cantoneiras de altura e geometria variável (Ref.^a CH-4.1, CH-4.21, CH-5.1 e CH-5.22) e cantoneira de ligação ao perfil de secção quadrada (Ref.^a PR3)

A resistência da ligação em análise foi determinada segundo esforços de tração e corte. Foram ensaiados quatro formatos de conjunto como referido na secção 3.1 - .

A determinação da resistência da ligação mecânica entre cantoneiras de altura e geometria variável (Ref.^a CH-4.1/4.21/5.1/5.22) e cantoneira (Ref.^a PR3) de ligação ao perfil de secção quadrada PR1.x realizou-se com base nos métodos previstos no EAD 090062-00-0404 [1].

Foram ensaiados provetes com quatro variantes de cantoneira CH-4.1/4.21/5.1/5.22 com aba horizontal de 53 mm, espessura 3 mm e aba vertical com altura variável, entre 58 mm e 113 mm, e uma cantoneira PR3 40 mm x 20 mm com 2 mm de espessura e 20 mm de comprimento, fixa na cantoneira CH-3 através de 1 parafuso auto-perfurante torx 4.8x12 em INOX (aplicação do binário 2 N.m).

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados de valores médios, desvio padrão e valores característicos para os diversos esforços aplicados [14].

Os resultados apresentados foram tratados estatisticamente de acordo com o Anexo N deste EAD [1].

Tabela 5: Valores médios, desvio padrão e valores característicos dos esforços de tração e corte da ligação entre cantoneiras CH-3.x a 5.x e cantoneira PR3.

	Força $F_{p0,2}$ para def. residual de 0.2 mm (N)	Força F_2 para def. de 2 mm (N)	Força máxima $F_{máx}$ (N)
Formato 1 (PR4 – CH-5.1) – Esforços de Tração			
Média	693	881	1879
Desvio padrão	82	220	265
$F_{u,5}$	503	367	1262
Formato 2 (PR4 – CH-5.22) – Esforços de Tração			
Média	582	635	1174
Desvio padrão	45	115	171
$F_{u,5}$	477	367	774
Formato 3 (PR4 – CH-4.21) – Esforços de Tração			
Média	429	394	775
Desvio padrão	31	99	176
$F_{u,5}$	356	163	365
Formato 4 (PR4-CH4.1) – Esforços de Tração			
Média	796	904	1585
Desvio padrão	191	150	184
$F_{u,5}$	351	554	1155
Formato 1 (PR4 – CH-5.1) – Esforços de Corte			
Média	838	416	2268
Desvio padrão	266	71	242
$F_{u,5}$	217	250	1703
Formato 2 (PR4 – CH-5.22) – Esforços de Corte			
Média	732	476	2370
Desvio padrão	69	94	190
$F_{u,5}$	571	257	1928
Formato 3 (PR4 – CH-4.21) – Esforços de Corte			
Média	600	399	2265
Desvio padrão	154	36	392
$F_{u,5}$	242	315	1351
Formato 4 (PR4-CH4.1) – Esforços de Corte			
Média	763	438	2314
Desvio padrão	206	22	229
$F_{u,5}$	284	387	1781

3.1.6 Resistência mecânica dos ladrilhos cerâmicos

A determinação da resistência à flexão, módulo de rotura, resistência ao choque térmico, dilatação térmica linear e resistência ao gelo dos ladrilhos cerâmicos realizou-se em ladrilhos na sua dimensão plena (890 mm x 890 mm).

Os resultados referentes à avaliação da resistência dos ladrilhos cerâmicos utilizados no sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA apresentam-se na Tabela 6 [15, 16].

Tabela 6: Resultados ensaios de resistência dos ladrilhos cerâmicos do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA.

	Valor médio do módulo de rotura: $R = 36.0 \text{ N/mm}^2$
Resistência à flexão (EN ISO 10545-4:2019)	Valor médio da resistência à flexão: $S = 4014 \text{ N}$
Resistência ao choque térmico (EN ISO 10545-9:2013)	Provetes de ensaio sem defeitos visíveis
Dilatação térmica linear (EN ISO 10545-8:2014)	Valor médio do coeficiente de dilatação térmica linear ($20^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$) = $5.4\text{E-}06 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Resistência ao gelo (EN ISO 10545-12:2017)	Provetes de ensaio sem defeitos visíveis após 100 ciclos

3.2 - Cálculo

3.2.1 Pressões de vento por CFD – Computational Fluid Dynamics

Realizou-se um estudo numérico de pressões de vento atuantes sobre o sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA através do software de simulação dinâmica ANSYS Fluent.

Na Tabela 7 apresentam-se os resultados relativos às pressões mínimas e máximas observadas nos campos de pressões para uma velocidade de escoamento de ar de 25.7 m/s (95.52 km/h) [18], correspondente à velocidade de vento de referência de acordo com o anexo nacional da EN 1991-1-4 [17] com os seguintes parâmetros:

- Zona A || Tipo de terreno – II || $c_{dir} = c_{season} = k_l = 1.0$ || $Z = 7.5 \text{ m} \rightarrow V_m = 25.7 \text{ m/s}$.

No Anexo B apresentam-se imagens do modelo numérico, da malha de elementos finitos, dos pontos de controlo e dos ângulos de vento.

Tabela 7: Pressões mínimas e máximas observadas nos campos de pressões para uma velocidade de 25.7 m/s (95.52 km/h).

Pala	Face	Direção	Pressão (Pa)			
			Direção do escoamento			
			-45°	90°	45°	0°
Pequena (zona em U)	Superior	Sucção	-560.87	-531	-661	-985
		Pressão	-	177.9	302.77	45.87
	Inferior	Sucção	-444.08	-601.97	-154	-802
		Pressão	388.11	483.2	551	493
Grande (zona em C)	Superior	Sucção	-72	-133	-150	-662
		Pressão	411.94	484.86	371.11	-
	Inferior	Sucção	-850	-1775	-811	-480
		Pressão	312.66	344.19	436	524

4 - Condições de aplicação em obra

4.1 - Domínio de aplicação

O sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA destina-se ao revestimento exterior desta estrutura. O sistema é fixo mecanicamente ao suporte em madeira.

4.2 - Condições de aplicação

O sistema de revestimento deve ser aplicado numa estrutura estável que garanta a resistência necessária para a fixação segura e suporte do sistema. Este sistema não deve ser aplicado sob condições climáticas adversas como vento ou chuva forte.

No Anexo C apresentam-se os desenhos de aplicação do sistema de revestimento em avaliação.

4.3 - Procedimento de aplicação

A aplicação do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA requer um reconhecimento

imperativo do suporte e uma execução cuidada, nomeadamente nos pontos de fixação e no método de aplicação.

Por conseguinte, após a estrutura ENGAWA estar finalizada deve-se realizar um levantamento topográfico para assegurar a correta aplicação das peças constituintes do sistema de revestimento.

Após confirmação de que a estrutura e cotas estão de acordo com o definido em projeto, procede-se à fixação mecânica da parte da subestrutura que é fixa mecanicamente ao suporte.

Finalizada a instalação daquela parte da subestrutura, procede-se à acoplagem da restante subestrutura previamente fixa ao ladrilho cerâmico, através da peça POS nas chapas de geometria variável CH-3.x a 5.x. Esta ligação é posteriormente bloqueada com um parafuso auto-perfurante DIN 7504-N 5.5x19 INOX A2-70 que liga a cantoneira PR3 às chapas CH-3.x a 5.x.

4.4 - Pormenores construtivos

No Anexo D apresentam-se exemplos de pormenores construtivos pertencentes ao projeto da estrutura ENGAWA. O projeto incluiu pormenores construtivos que detalham a aplicação e a configuração do sistema. Desta forma, assegura-se o bom desempenho e a durabilidade do sistema

4.5 - Durabilidade e manutenção

Os procedimentos periódicos de manutenção irão ajudar a preservação das características visuais iniciais do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA. A frequência de manutenção necessária é variável dependendo dos efeitos provocados pelos agentes climáticos.

Os procedimentos de manutenção previstos são os seguintes:

- Substituir eventuais ladrilhos cerâmicos partidos, conforme necessário;
- Inspeção visual anual e apertos por amostragem.

Quando na inspeção visual se verificar a necessidade de reparação do sistema de revestimento, esta deve ser imediatamente realizada

por técnicos com formação especializada.

4.6 - Apoio técnico

É da responsabilidade do fabricante fornecer informação e apoio relativamente ao sistema avaliado.

5 - Conclusões

5.1 - Avaliação final

O Itecons emite uma opinião técnica favorável respeitante à aplicação do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA na obra do Centro de Arte Moderna José de Azeredo Perdigão, na Fundação Calouste Gulbenkian, situada na Avenida de Berna em Lisboa, desde que cumpridas as seguintes condições:

- A empresa Jofebar S.A. deve assegurar que as condições de fabrico de cada componente do sistema se mantêm, nomeadamente através da manutenção do controlo de qualidade interno acordado com o Itecons;

Coimbra, 11 de agosto de 2023



Andreia Gil
Técnica Superior

(Coordenadora da Unidade de Avaliação
Técnica)



Documento validado

(Direção)

- O âmbito da aplicação do produto, da aplicação em obra e ações de manutenção está de acordo com o conjunto de especificações das secções 4.2 e 4.5;
- As características e desempenho do sistema e de cada componente são as apresentadas na secção 3 e no Anexo A.

5.2 - Validade

Este documento contém um total de 29 páginas, incluindo a página de rosto e 5 anexos que são parte integral do STAMP emitido.

O Itecons reserva o direito de suspender ou cancelar este STAMP na eventualidade de situações que o justifiquem, nomeadamente alterações das condições de produção ou resultados insatisfatórios de ensaios e verificações realizadas.

Dado este documento ser emitido para um sistema de revestimento a aplicar numa obra específica, a sua validade está condicionada à referida obra.

A – Componentes do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA

A1 – Lista de componentes

Os componentes do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA apresentam-se na Tabela A1.1.

Tabela A1.1: Componentes do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA.

Componente	Descrição	Material	Dimensões
Elemento de revestimento	Ladrilho cerâmico - Ref. ^a LTx.x e UTx.x (Viúva Lamego)	Grés porcelânico vitrificado	890 mm x 890 mm
Elementos de fixação do ladrilho cerâmico à subestrutura	Ancoragem fischer-Zykon-panel FZP II 11 x 8 M6/T/T AI (513633)	Ver ETA 11/0465	Ver ETA 11/0465
	Porca DIN 439	Aço inox	Diâmetro da rosca: M6
	Anilha DIN 125-A M6 INOX A2	Aço inox	Diâmetro da rosca: M6
	Porca DIN 934 M6 INOX A2	Aço inox	Diâmetro da rosca: M6
	Parafuso DIN 7985 M5x35 INOX A2-70	Aço inox	Diâmetro da rosca: M5
	Porca DIN 934 M5 INOX A2	Aço inox	Diâmetro da rosca: M5
	Anilha DIN 125-A M5 INOX A2	Aço inox	Diâmetro da rosca: M5
	SIKASIL® SG-500 (ETA 03/0038)	Silicone	---
	SIKA® SPACER TAPE HD	Espuma de Poliuretano	6.4 mm x 6 mm
	Parafuso auto-perfurante DIN 7504-n 4.8x16 INOX A2-70	Aço inox	4.8 mm x 16 mm
	Perfil tubular de secção quadrada de comprimento variável - Ref. ^a PR1-x	Alumínio EN AW 6063, tratamento anodizado natural 20 micrones	20 mm x 20 mm
	Cantoneira de ligação do elemento de revestimento ao perfil de secção quadrada - Ref. ^a PR2	Alumínio	40 mm x 20 mm x 2 mm
	Cantoneira para ligação do elemento do perfil de secção quadrada às cantoneiras de altura e geometria variável - Ref. ^a PR3	Alumínio	40 mm x 20 mm x 2 mm
	Ponteira metálica - Ref. ^a POS	Alumínio EN AW 1050A H14	50 mm (20 mm livres e 30 mm encastrados)
Cavilha DIN 1481 Ø5x20 INOX A2	Aço inox	Ø5 x 20 mm	
Elementos da subestrutura	Perfil tubular de secção retangular JB 0072 - Ref. ^a PR4	Alumínio EN AW 60050 T5	170 mm x 15 mm
	Chapas metálicas de altura e geometria variável - Ref. ^a CH-3.x	Alumínio EN AW 1050A H14	e = 3 mm/4 mm
	Cantoneiras metálicas - Ref. ^a PR5-x	Alumínio	50 mm x 30 mm x 2 mm
	Parafusos auto-perfurantes DIN 7504-n 4.8x16 INOX A2	Aço inox	4.8 mm x 16 mm
	Parafusos auto-perfurantes DIN 7505-B 6.3x40 INOX A2-70	Aço inox	6.3 mm x 40 mm

A2 – Produto de colagem

O produto de colagem utilizado no sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA, Sikasil® SG-500, é um adesivo estrutural de silicone de 2-componentes com Marcação CE de acordo com a ETAG 002 Part 1: “Supported and unsupported systems” (ETA 03/0038).

Tabela A2.1: Caraterísticas declaradas do produto de colagem utilizado no sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA.

Caraterística	Resultado
Tensão de cálculo σ_{des}	0.14 MPa
Tensão de cálculo dinâmica de corte τ_{des}	0.105 MPa
Tensão de cálculo estática de corte τ_{∞}	0.0105 MPa
Tensão de rutura caraterística $R_{u,5}$	0.84 MPa
Tensão de rutura dinâmica caraterística de corte $R_{u,5}$	0.63 MPa
Módulo de elasticidade em tensão ou compressão tangencial à origem E_0	1.5 MPa
Módulo de elasticidade de corte tangencial à origem G_0	0.5 MPa
Tempo de trabalhabilidade (23°C, 50% H.R.)	20 min
Tempo de secagem sem aderência (23°C, 50% H.R.)	120 a 240 min
Tempo antes do transporte da estrutura colada	7 dias
Massa específica (razão de mistura 13/1) V_{mean}	1.36 ± 0.025 g/cm ³
Dureza Shore A	Média de 39 (mínimo de 34)
Análise termo gravimétrica	Curva em arquivo no dossier da Avaliação Técnica Europeia
Cor	Preta
Condutibilidade térmica λ	0.35 W/(mK)

B – Provetes de ensaio e configurações de ensaio

No presente anexo apresentam-se esquemas e fotografias dos provetes e respetivas montagens de ensaio.

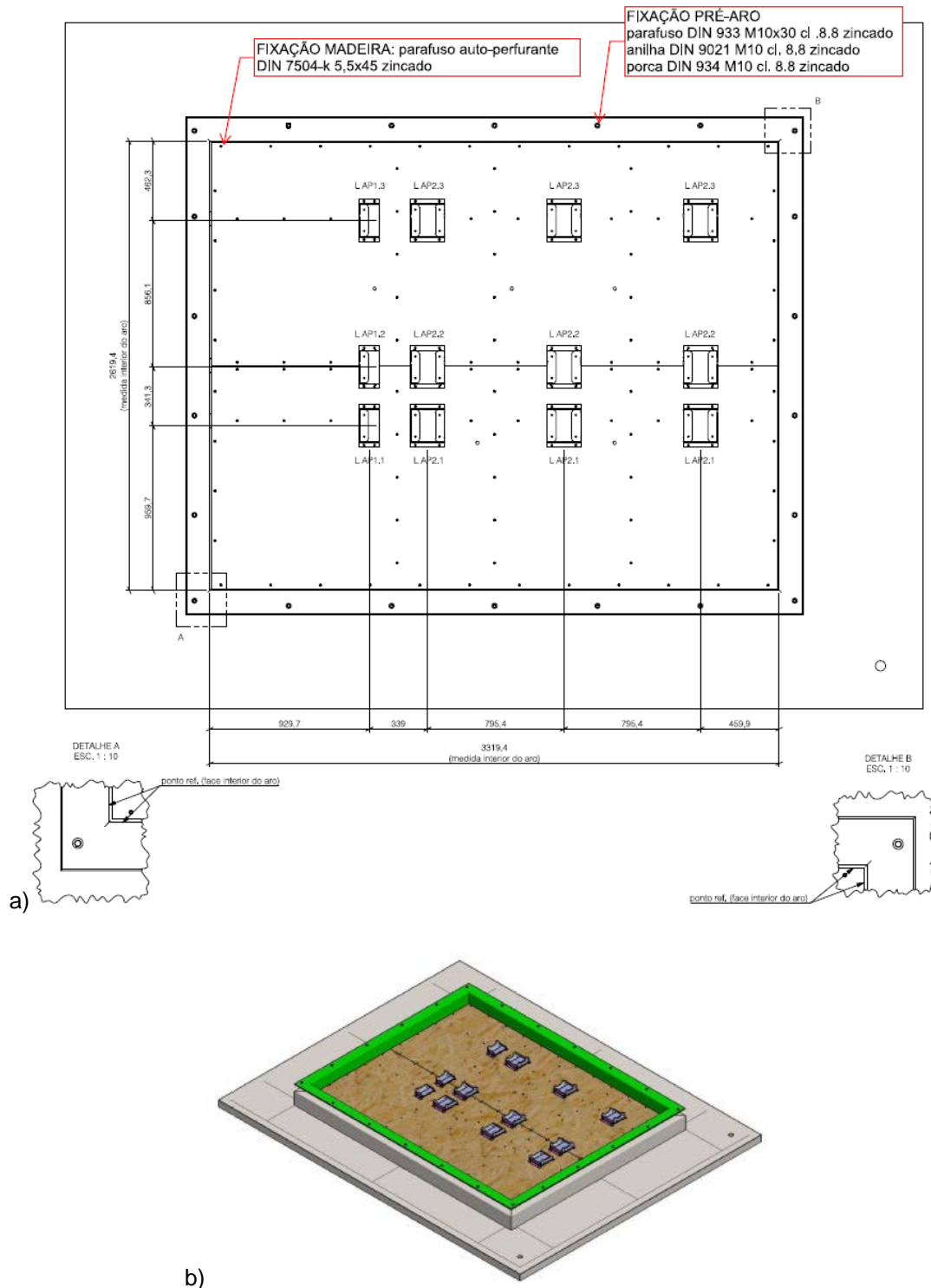


Figura B1.1: Ensaio de resistência ao vento e de resistência ao impacto: a) Desenho de pormenor; Desenho esquemático.

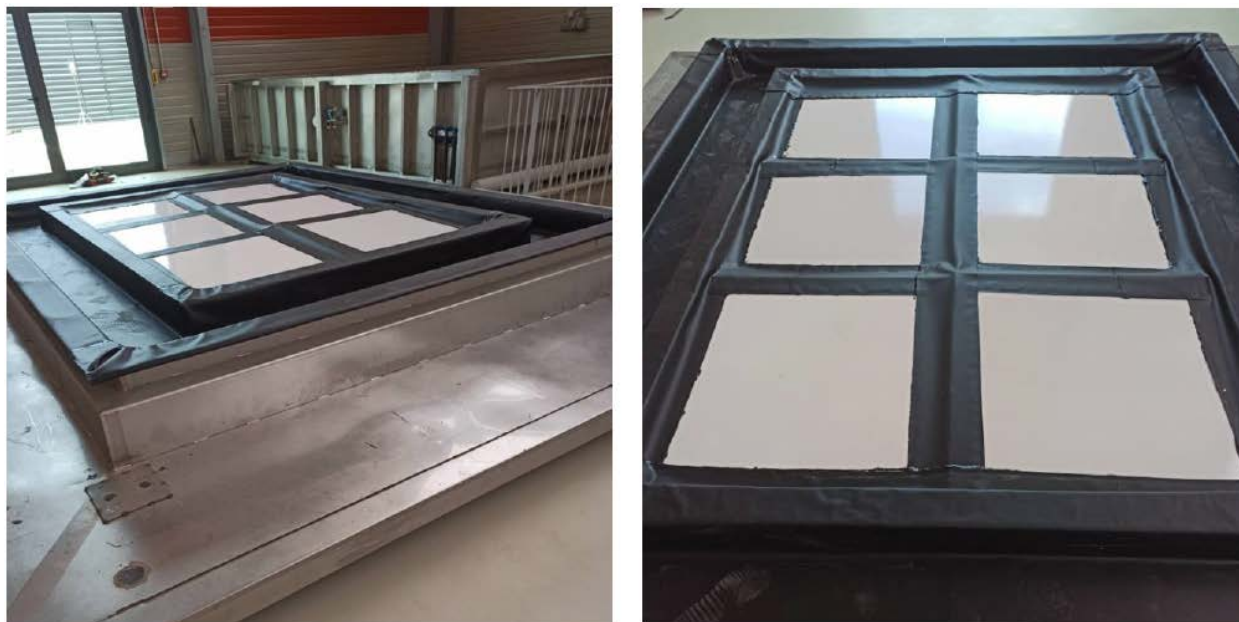
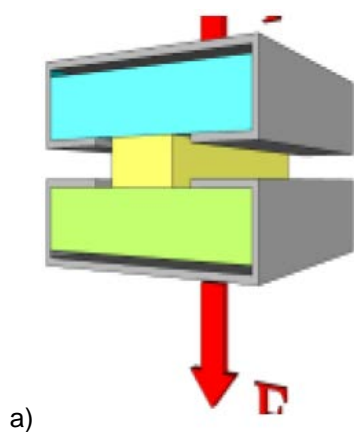


Figura B1.2: Ensaio de resistência ao vento e de resistência ao impacto: Imagens do provete instalado na câmara de ensaio.



a)



b)

Figura B1.3: Ensaio de tração da ligação colada: a) Desenho esquemático da configuração; b) Imagem de provete durante o ensaio.



Figura B1.4: Ensaio de corte da ligação colada: Imagem de provete durante o ensaio.

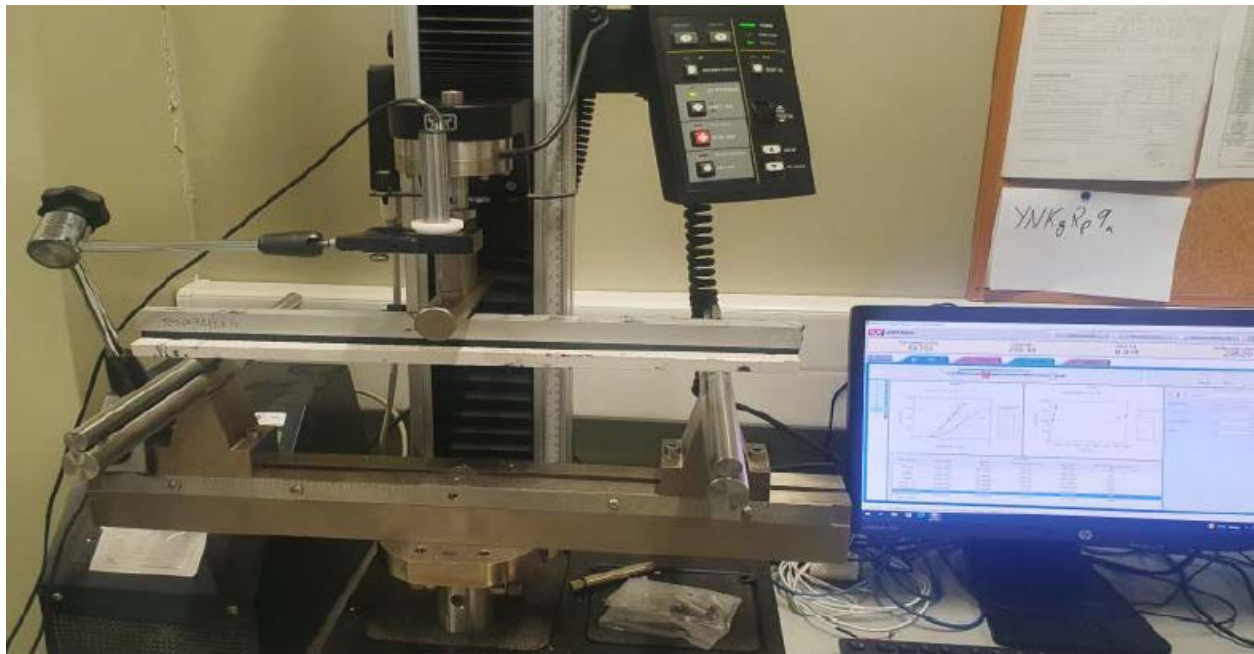


Figura B1.5: Ensaio de flexão da ligação colada: Imagem de provete durante o ensaio.



Figura B1.6: Ensaios da ligação entre perfil retangular (Ref.^a PR4) e cantoneiras de ligação ao suporte [Ref.^a PR5-
x): a) Face superior; b) Face inferior; c) Configuração do ensaio de compressão; d) Configuração do ensaio de tração; e) Configuração do ensaio longitudinal; f) Configuração do ensaio transversal.

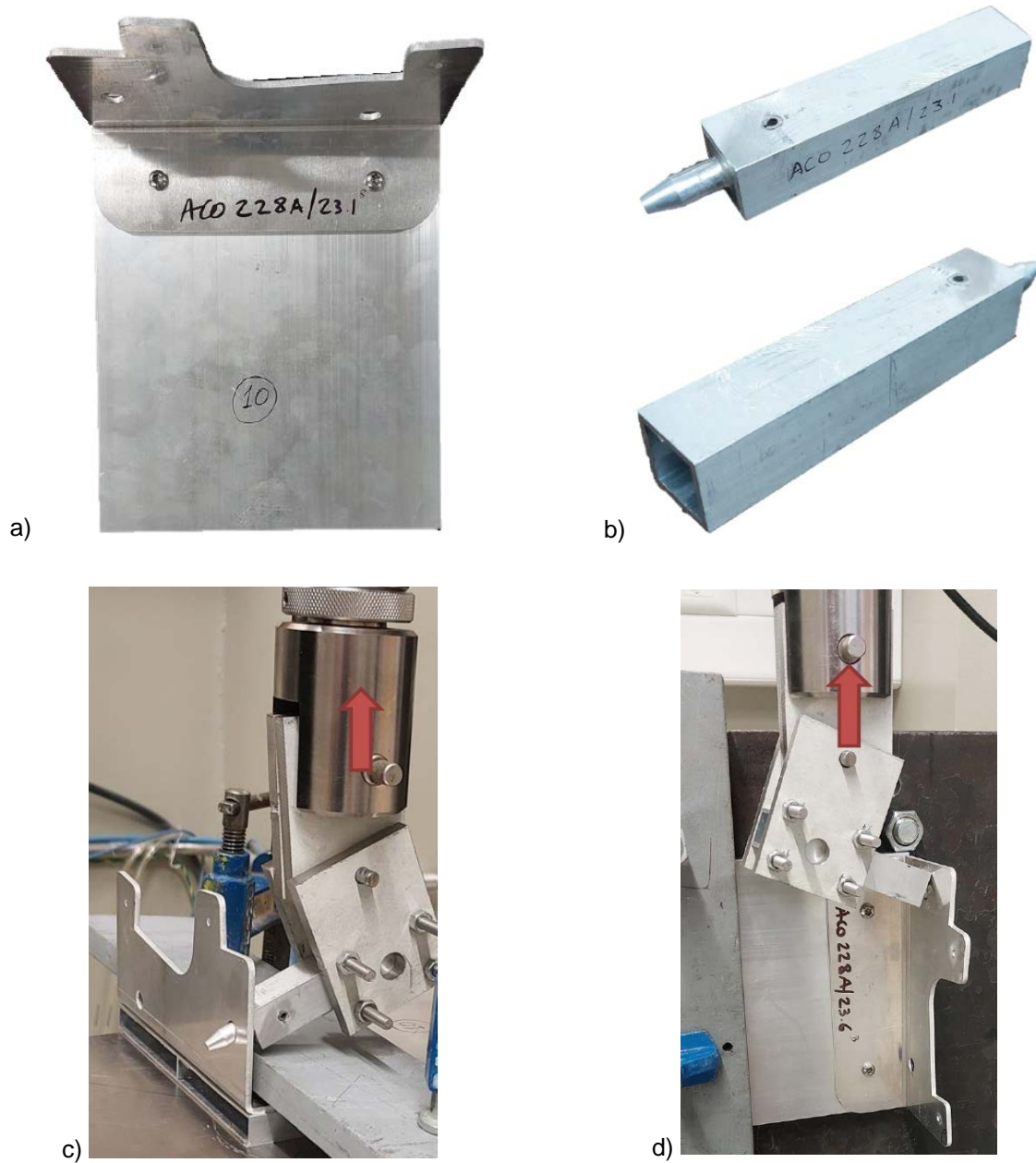


Figura B1.7: Ensaio da ligação entre perfil retangular (Ref.^a PR4) e cantoneiras de altura e geometria variável (Ref.^a CH-3.22) com aplicação dos esforços através da ponteira metálica (Ref.^a POS): a) Perfil com cantoneira; b) Perfil com ponteira; c) Configuração do ensaio vertical; d) Configuração do ensaio horizontal.



Figura B1.8: Ensaio da ligação entre perfil retangular (Ref.^a PR4) e cantoneiras de altura e geometria variável (Ref.^a CH-4.1/4.21/5.1/5.22) com aplicação dos esforços nas cantoneiras de altura e geometria variável: a) Formato 1 (PR4 – CH-5.1); b) Formato 2 (PR4 – CH-5.22); c) Formato 3 (PR4 – CH-4.21); d) Formato 4 (PR4 – CH-4.1); e) Configuração do ensaio de tração; f) Configuração do ensaio de tração.



Figura B1.9: Ensaio ligação entre cantoneiras de altura e geometria variável (Ref.^a CH-4.1/4.21/5.1/5.22) e cantoneira (Ref.^a PR3) de ligação ao perfil de secção quadrada PR1.x: a) Formato 1 (PR4 – CH-5.1); b) Formato 2 (PR4 – CH-5.22); c) Formato 3 (PR4 – CH-4.21); d) Formato 4 (PR4 – CH-4.1); e) Configuração do ensaio de tração; f) Configuração do ensaio de tração.

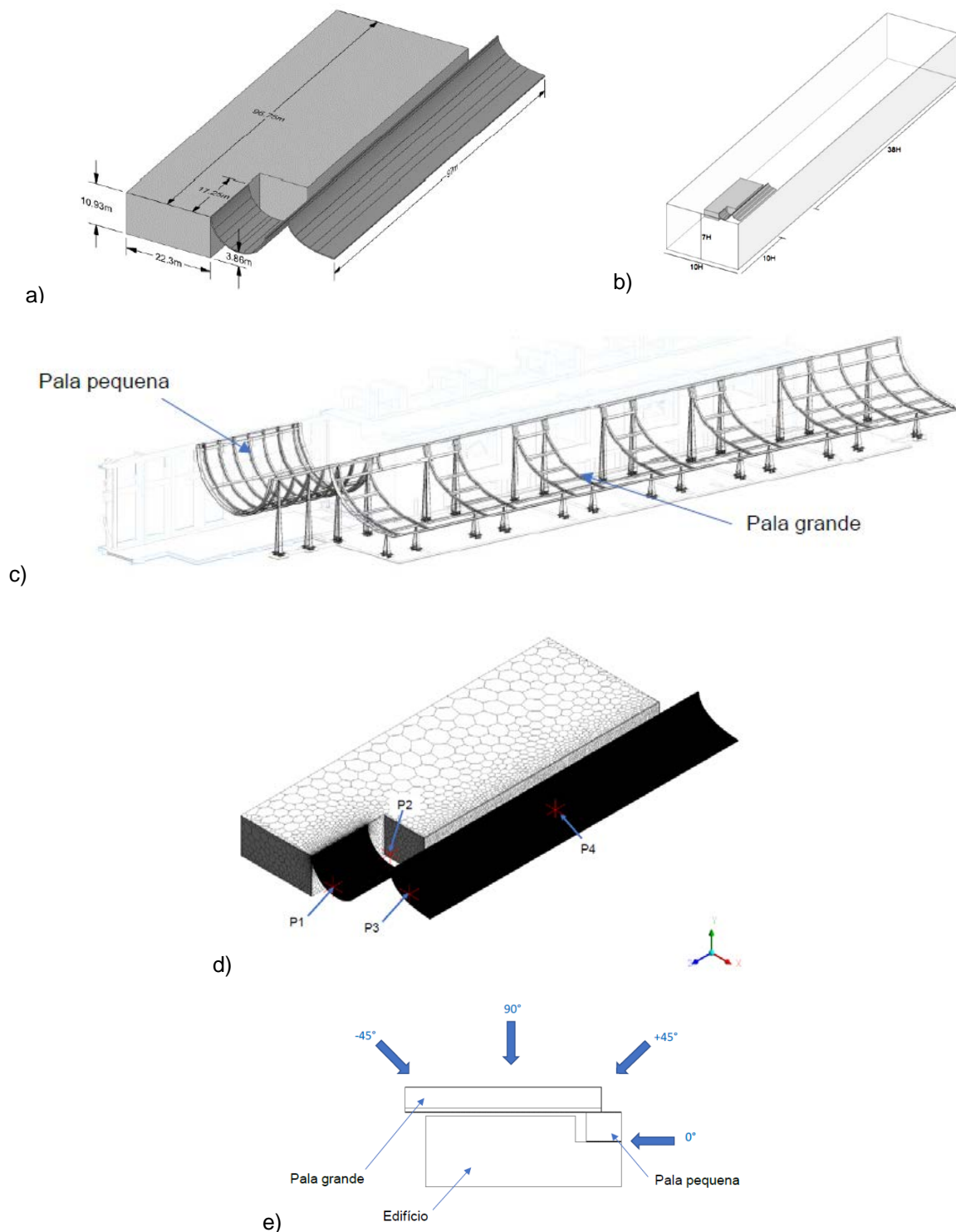


Figura B1.10: Estudo numérico de pressões de vento atuantes sobre o sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA: a) Dimensões da estrutura; b) Dimensões do domínio de simulação 2; c) Designação das palas; d) Localização dos pontos de controlo sobre a malha de elementos finitos; e) Ângulos de incidência de vento avaliados.

C – Pormenores construtivos do sistema de fixação

No presente anexo apresentam-se pormenores construtivos do sistema de fixação do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA. Na Figura C1.1 apresentam-se dois desenhos exemplificativos do sistema e na Figura C1.2 apresentam-se os pormenores construtivos indicados na Figura C1.1.

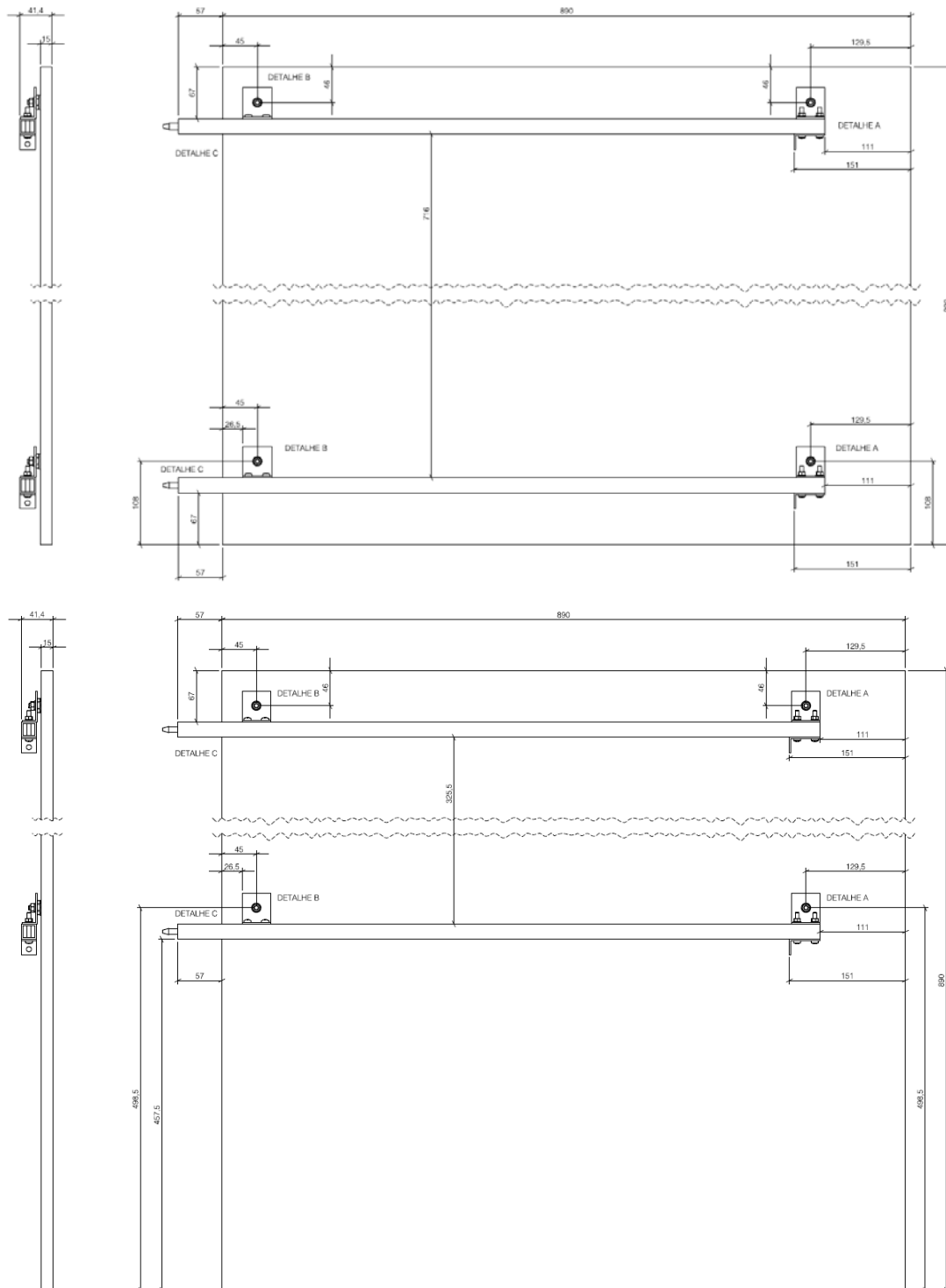


Figura C1.1: Pormenores construtivos exemplificativos do sistema de fixação do ladrilho cerâmico.

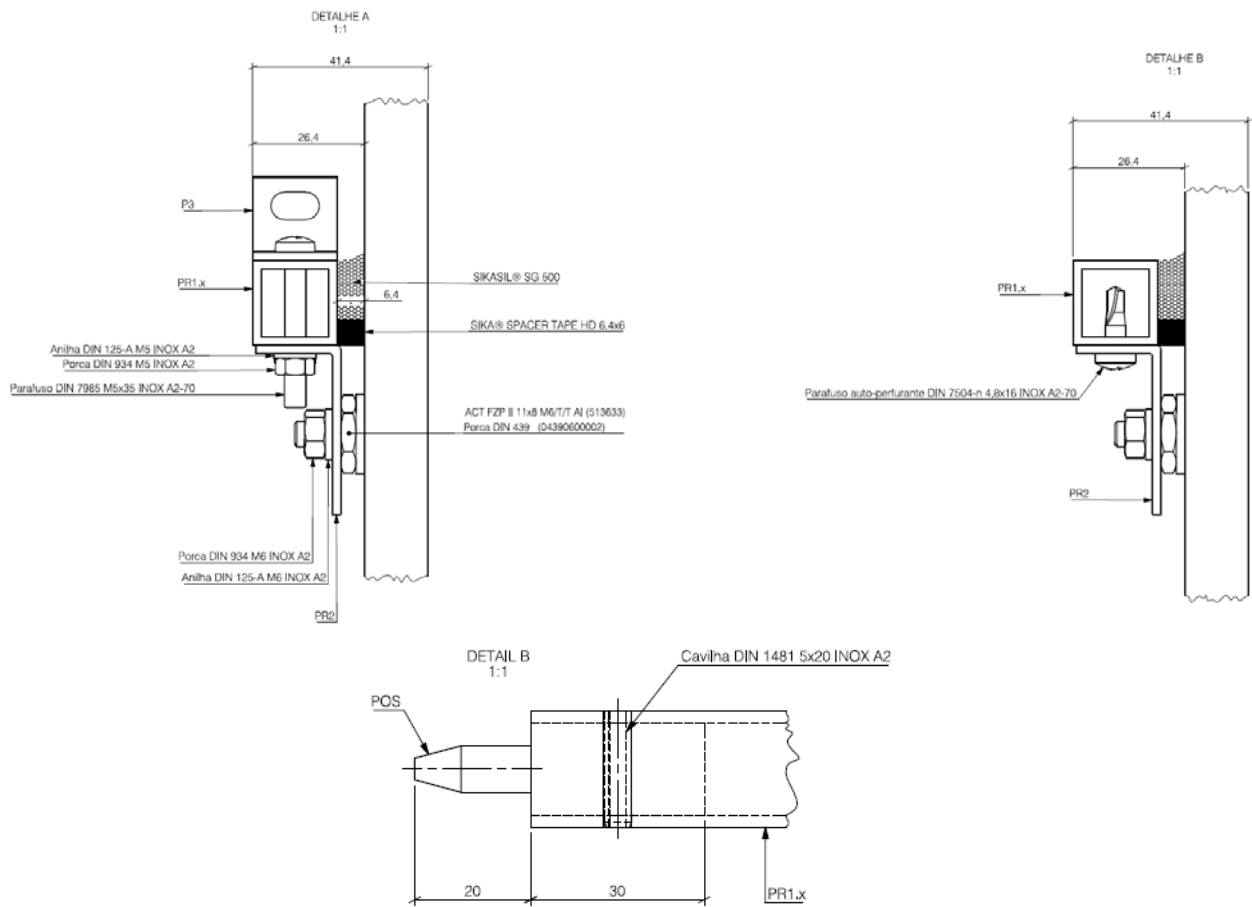


Figura C1.2: Pormenores construtivos do sistema do sistema de fixação do ladrilho cerâmico.

D – Pormenores construtivos e esquemas de montagem

D1 – Topo da pala

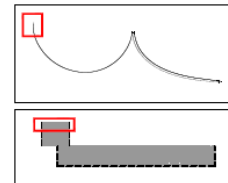
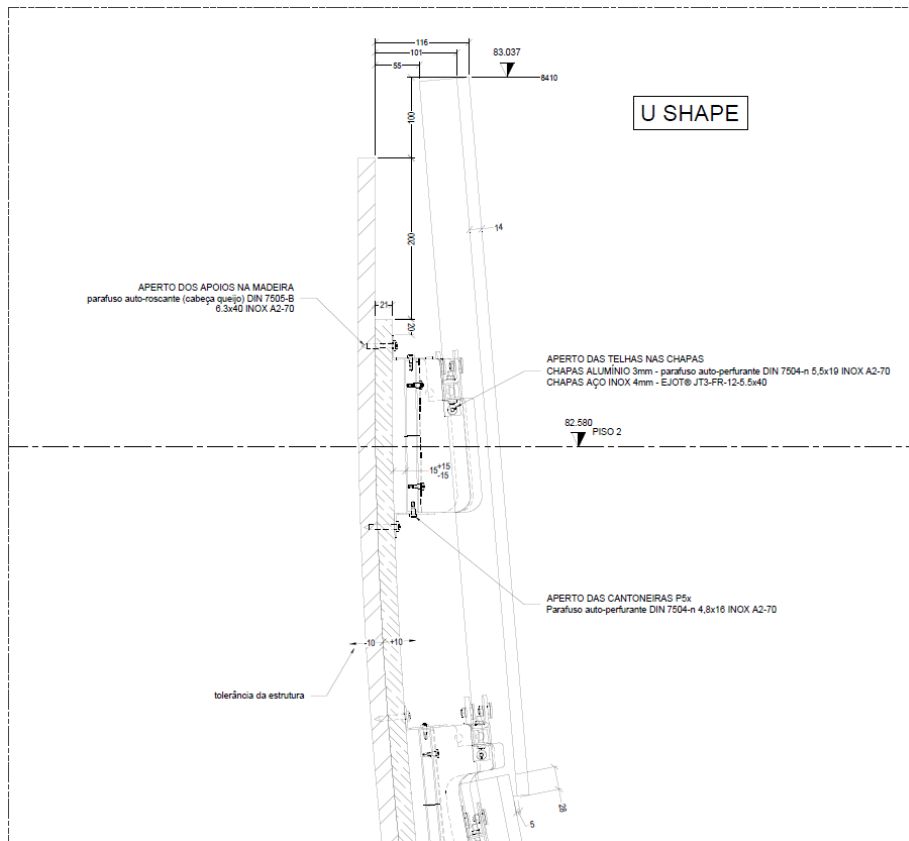


Figura D1.1: Pormenor construtivo exemplificativo da instalação do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA na zona de topo da cobertura em U.

D2 – Topo intermédio

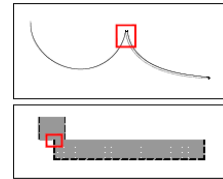
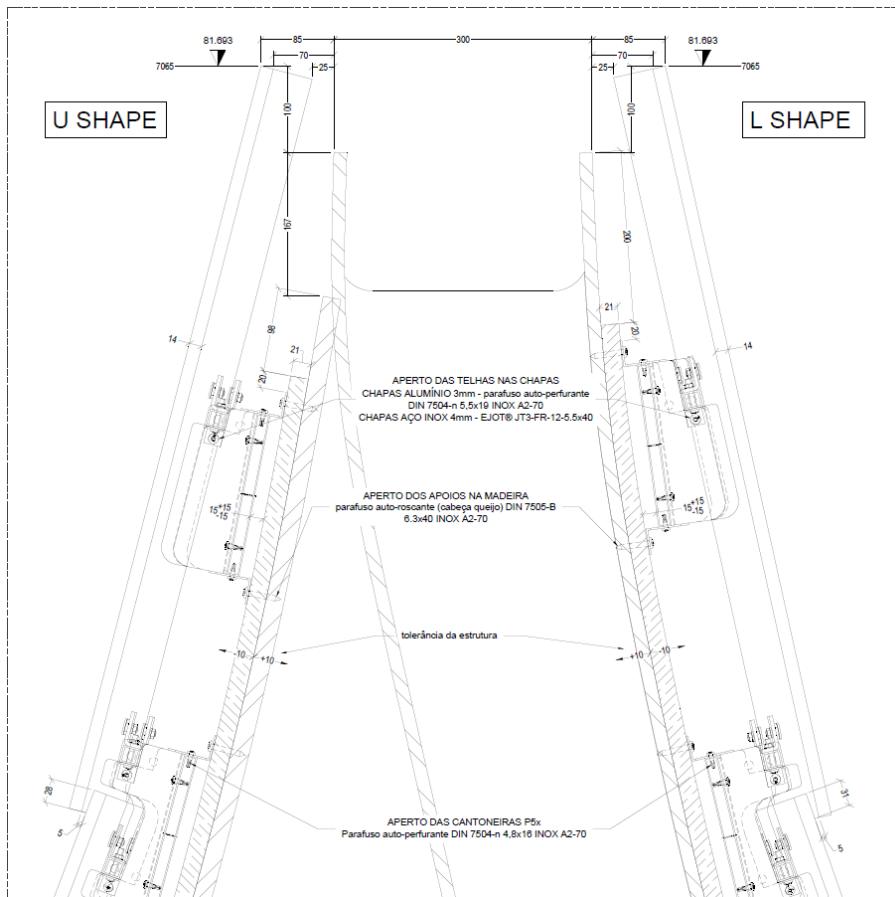


Figura D2.1: Pormenor construtivo exemplificativo da instalação do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA numa zona de topo dupla.

D3 – Zona de bordo

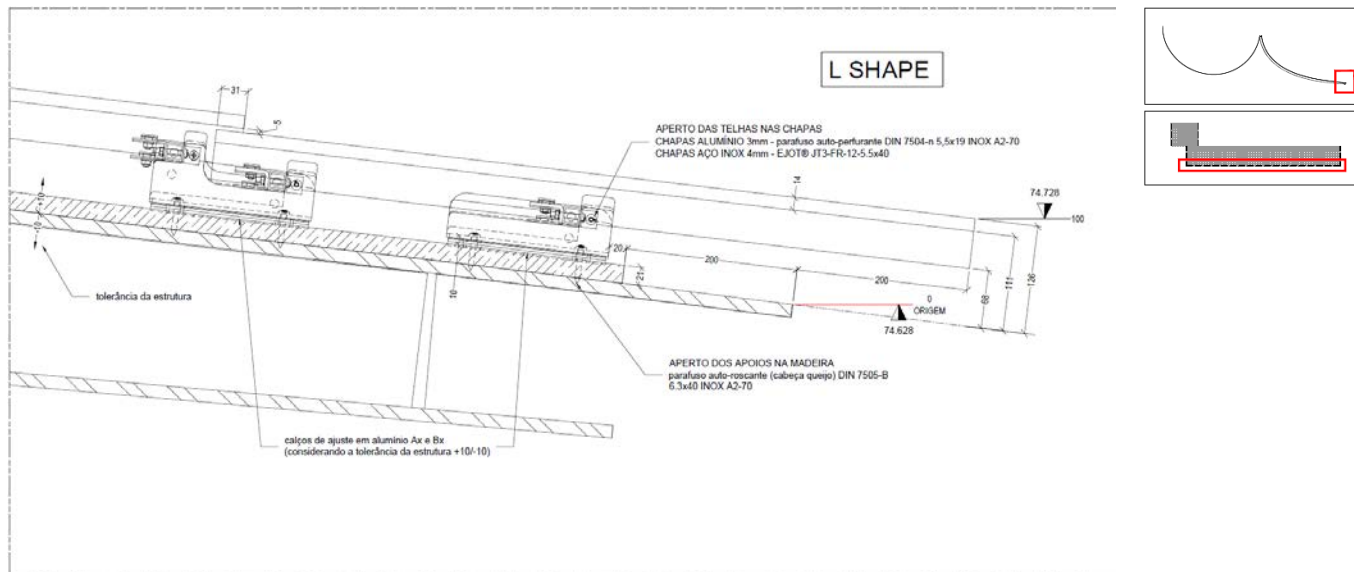


Figura D3.1: Pormenor construtivo exemplificativo da instalação do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA na zona de bordo.

D4 – Subestrutura de ligação ao suporte

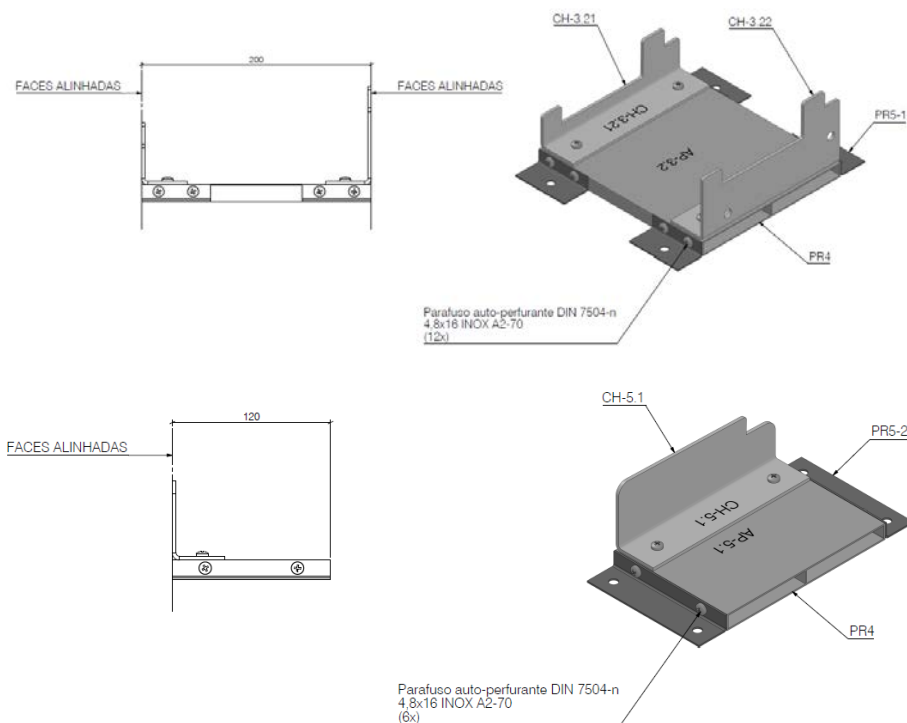


Figura D4.1: Pormenores construtivos exemplificativos da subestrutura do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA.

D5 – Esquema de montagem

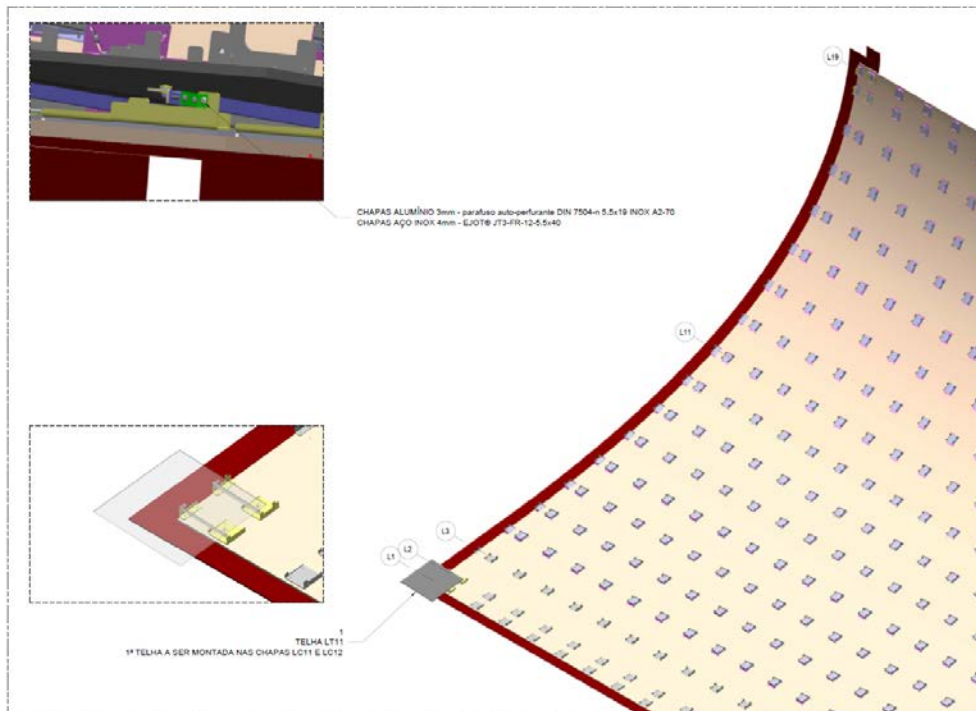


Figura D5.1: Desenho do esquema de montagem do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA (1º ladrilho cerâmico a ser montado na cobertura em C).

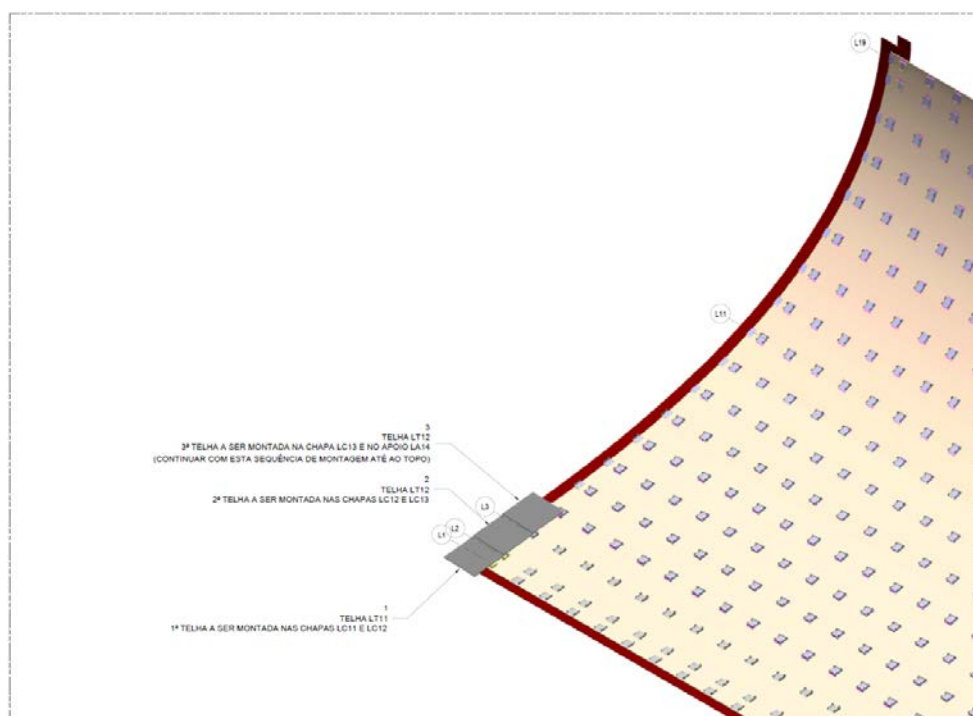


Figura D5.2: Desenho do esquema de montagem do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA (sequência de montagem da cobertura em C).

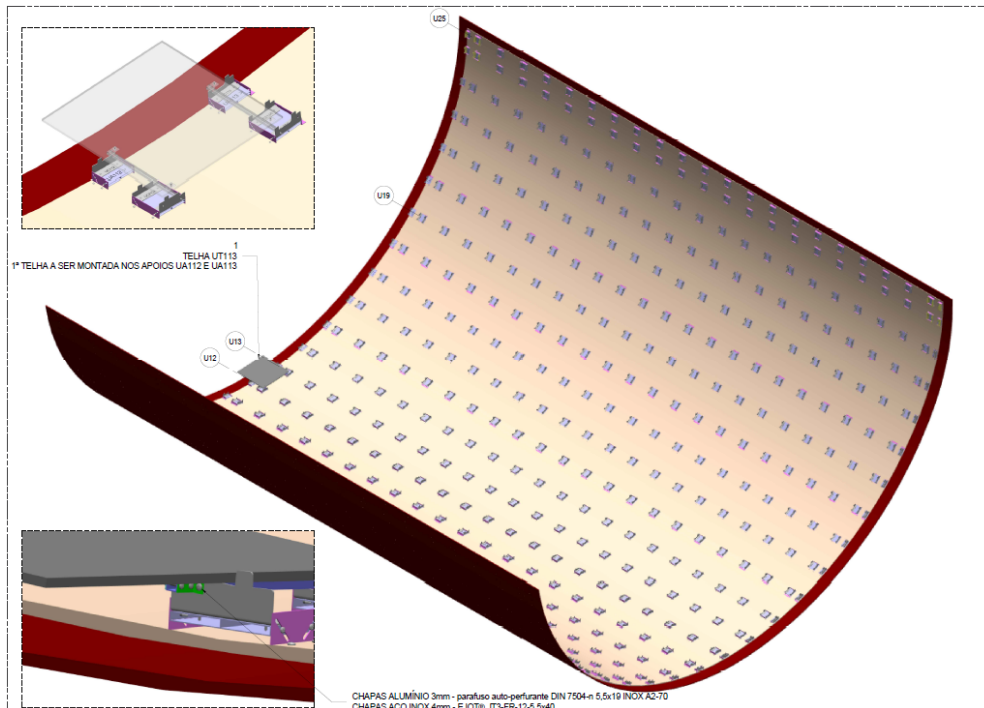


Figura D5.3: Desenho do esquema de montagem do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA (1º ladrilho cerâmico a ser montado na cobertura em U).

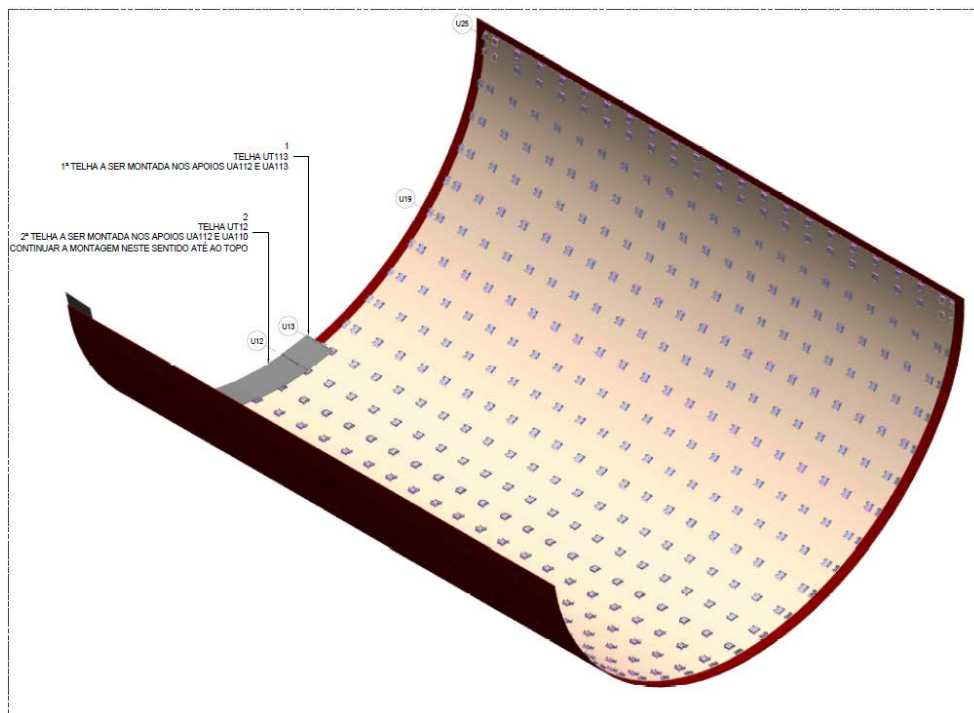


Figura D5.4: Desenho do esquema de montagem do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA (seqüência de montagem da cobertura em U).

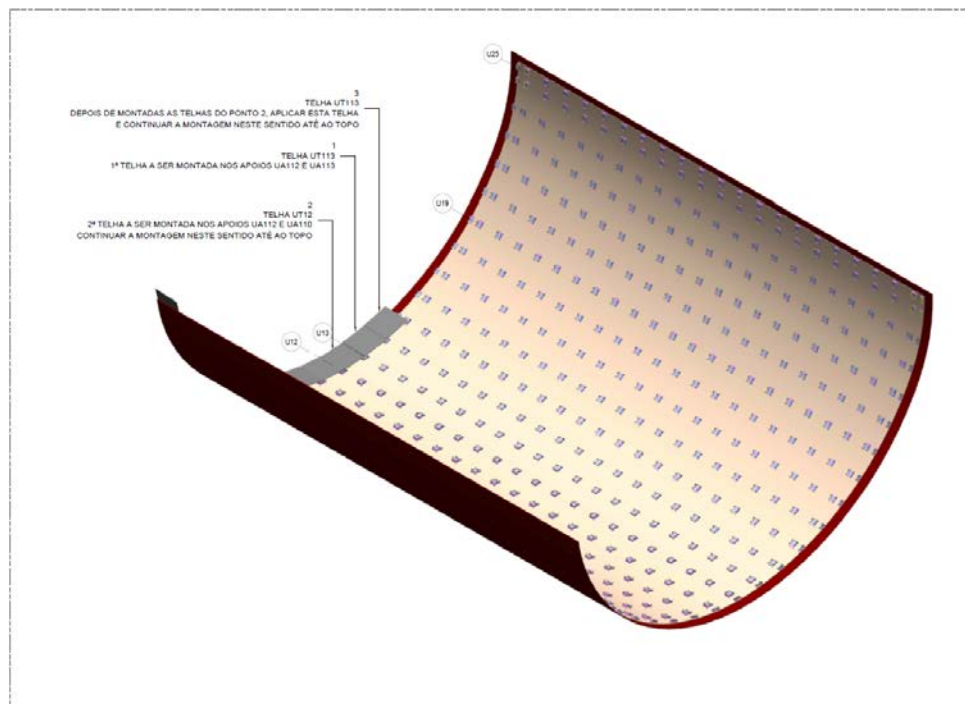


Figura D5.5: Desenho do esquema de montagem do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA (seqüência de montagem da cobertura em U).

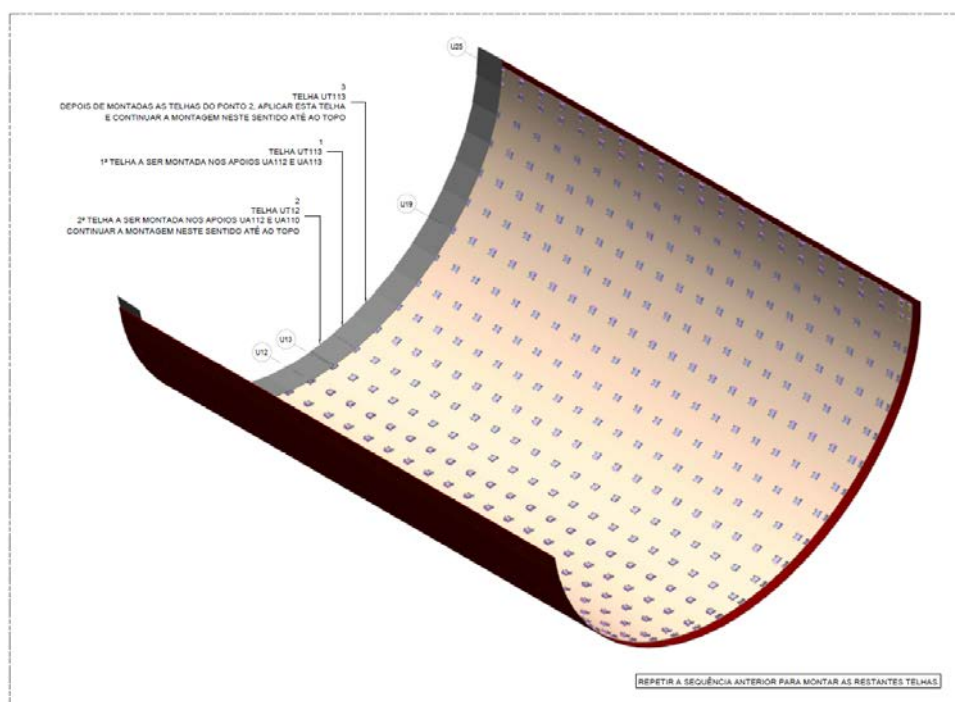


Figura D5.6: Desenho do esquema de montagem do sistema de revestimento da pala da estrutura ENGAWA (seqüência de montagem da cobertura em U).

E – Documentos de referência

- [1] EAD 090062-00-0404 – Kits for External Wall Claddings Mechanically Fixed
- [2] Relatório de ensaio (OEF036/23) – Determinação da resistência a cargas de vento – ensaio de pressão [EAD 090062-00-0404, julho 2018 (Anexo E)]
- [3] Relatório de ensaio (OEF037/23) – Determinação da resistência a cargas de vento – ensaio de sucção [EAD 090062-00-0404, julho 2018 (Anexo E)]
- [4] Relatório de Ensaio (OEF038/23) – Determinação da resistência ao impacto [EAD 090062-00-0404, julho 2018 (Anexo G)]
- [5] EAD 090097-00-0404 – Kits for external wall claddings glued to the subframe
- [6] Relatório de Ensaio (TES038/23) – Relatório resumo dos ensaios de resistência à tração, corte e flexão de uma ligação colada perfil/cerâmico
- [7] Relatório de Ensaio (TES037/23) – Resistência à tração de ligação colada perfil/cerâmico
- [8] Relatório de Ensaio (TES015/23) – Resistência ao corte de ligação colada perfil/cerâmico
- [9] Relatório de Ensaio (TES017/23) – Resistência à flexão de ligação colada perfil/cerâmico
- [10] Relatório de Ensaio (ACO683/23) – Resistência à tração e à compressão de ligação entre perfis de alumínio
- [11] Relatório de Ensaio (ACO684/23) – Resistência a esforços transversais e longitudinais de ligação entre perfis de alumínio
- [12] Relatório de Ensaio (ACO733/23) – Resistência a esforços verticais e horizontais de ligação/engate entre perfis de alumínio
- [13] Relatório de Ensaio (ACO763/23) – Resistência à tração e ao corte de ligação entre perfis de alumínio
- [14] Relatório de Ensaio (ACO764/23) – Resistência à tração e ao corte de ligação entre perfis de alumínio
- [15] Relatório de Ensaio (PRD006/23) – Determinação da resistência à flexão e módulo de rotura de ladrilhos cerâmicos e determinação da resistência ao choque térmico de ladrilhos cerâmicos
- [16] Relatório de Ensaio (PRD008/23) – Determinação da dilatação térmica linear de ladrilhos cerâmicos e determinação da resistência ao gelo de ladrilhos cerâmicos
- [17] NP EN 1991-1-4:2010/A1 2010 – Eurocódigo 1 - Acções em estruturas. Parte 1-4: Acções gerais. Acções do vento
- [18] Relatório de Consultoria Técnica (RCT030/23) – Sistema de revestimento de Pala de Sombreamento – Cálculo de pressões de vento por CFD