



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

**Construção com Contentores Marítimos
Remodelados
Estudo de Caso de Aplicação**

Rui Davide Fernandes da Silva

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em:

Engenharia Civil

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Luís Filipe Almeida Bernardo

Covilhã, Outubro de 2010

"O prazer no trabalho aperfeiçoa a obra."
(Aristóteles)

Aos meus pais...

Agradecimentos

A realização deste trabalho não seria possível sem a colaboração directa ou indirecta de várias pessoas, às quais o autor aproveita esta oportunidade para agradecer.

Em primeiro lugar agradeço ao Professor Doutor Luís Filipe Almeida Bernardo, orientador científico deste trabalho, toda a disponibilidade, empenho e dedicação sempre demonstrados. Agradeço também todo o apoio científico prestado.

Agradeço ao Mestre Jorge Miguel de Almeida Andrade todo o auxílio concedido, essencialmente na utilização do programa de cálculo automático.

À minha colega de mestrado Débora Lourenço agradeço a parceria e disponibilidade demonstradas.

A todos os amigos e colegas da UBI agradeço pelo companheirismo e palavras de incentivo.

Agradeço à Helena todo o apoio, compreensão e incentivo.

Agradeço também a toda a minha família todo o apoio e compreensão. Em especial aos meus pais, que me proporcionaram esta oportunidade, agradeço todos os sacrifícios que permitiram a minha formação.

Resumo

Neste trabalho é estudado um sistema construtivo pouco vulgarizado em Portugal. Este sistema construtivo baseia-se na reutilização de contentores marítimos remodelados. Quando comparado com outros sistemas construtivos mais comuns, este novo sistema construtivo distingue-se pela sustentabilidade elevada da solução proporcionada pela reciclagem de contentores marítimos considerados inutilizáveis para as funções que normalmente desempenham.

A aplicação de contentores marítimos remodelados na construção civil é um assunto com poucos desenvolvimentos do ponto de vista científico, facto comprovado pelo facto de serem muito raros os artigos técnicos que abordem os aspectos estruturais deste sistema.

Apresenta-se neste trabalho a constituição de dois tipos de contentores marítimos e analisam-se todos os perfis metálicos que os compõem assim como as respectivas propriedades geométricas e mecânicas das suas secções.

É também objecto de estudo deste trabalho a análise de um caso de estudo que consiste na utilização de contentores marítimos remodelados para a construção de uma moradia com dois pisos com uma estruturação não regular. É feita a avaliação da capacidade resistente dos contentores marítimos remodelados para as acções regulamentares. Para tal são utilizados modelos numéricos computacionais. A análise estrutural é realizada à luz do Eurocódigo 3. Mostra-se que a aplicação desta norma para o sistema construtivo em estudo é limitada pelo desconhecimento de parâmetros mecânicos relativos aos perfis metálicos não comerciais dos contentores marítimos.

Ainda assim, comprova-se a viabilidade deste sistema construtivo no domínio de pequenos edifícios de habitação.

Palavras chave

Sistema Construtivo; Contentores Marítimos; Modelos numéricos; Análise Estrutural.

Abstract

In this work, a building system not usual in Portugal is studied. This versatile building system is based on the use of refurbished shipping containers. When compared with others common building systems, the principal advantages by using refurbished shipping containers for building construction are sustainability and recycling.

The application of refurbished shipping containers in construction is a subject with few developments on a scientific point of view. Papers about structural behaviour of shipping containers are very rare in scientific literature.

In this work, two types of shipping containers are analyzed. All structural elements and cross sections are identified and characterized from a geometrical and mechanical point of view.

A practical case with the application of refurbished shipping containers to a building house with two stories is studied in this work. By using numerical models, the strength of the container was evaluated. The structural analysis of the structural elements was carried out with Eurocode 3.

It is shown that it is not easy to apply such standards rules to steel building systems with non commercial cross sections.

However, this study shows the feasibility of this building system.

Keywords

Building System, Shipping Containers; Numerical Model; Structural Analysis.

Índice

1. Introdução	1
1.1 Considerações gerais.....	1
1.2 Objectivos e justificação do tema proposto.....	5
2. Utilização de contentores marítimos na construção civil	7
2.1 Tipologia de construções existentes	7
2.2 Exemplos de aplicação de contentores marítimos na construção civil	9
2.3 Processo construtivo	22
2.4 Potenciais habitantes.....	23
2.5 Conclusão	24
3. Contentor marítimo como elemento estrutural.....	25
3.1 Características dos contentores marítimos em estudo	25
3.2 Descrição geral.....	26
3.2.1 Face da porta	26
3.2.2 Face frontal.....	28
3.2.3 Faces laterais.....	31
3.2.4 Face de cobertura	32
3.2.5 Face de base	33
3.3 Material e respectivas propriedades	37
3.4 Propriedades resistentes dos perfis enformados a frio	38
3.4.1 Avaliação dos esforços preponderantes.....	39
3.4.2 Redução de secções	54
3.4.3 Propriedades geométricas das secções transversais.....	61
3.5 Conclusão	63

4.	Apresentação do caso de estudo	65
4.1	Introdução	65
4.2	Arquitectura.....	65
4.3	Concepção Estrutural.....	66
4.4	Remodelação dos contentores marítimos.....	68
4.4.1	Contentor 1-40'HC.1	69
4.4.2	Contentor 2-40'HC.2	71
4.4.3	Contentor 3-40'HC.3	72
4.4.4	Contentor 4-20'HC.1	74
4.4.5	Contentor 5-20'HC.2	76
4.4.6	Contentor 6-20'HC.3	77
4.4.7	Contentor 7-20'HC.4	78
4.4.8	Contentor 8-20'HC.5	79
4.4.9	Contentor 9-40'HC.4	80
4.4.10	Contentor 10-40'HC.5	81
4.5	Assemblagem dos contentores	83
4.6	Conclusão	84
5.	Considerações de projecto	85
5.1	Introdução	85
5.2	Acções.....	85
5.2.1	Acções permanentes	85
5.2.2	Acções variáveis.....	87
5.2.3	Combinação de acções.....	93
5.3	Avaliação dos esforços actuantes.....	95
5.3.1	Pré-dimensionamento das treliças laterais.....	96
5.3.2	Modelo numérico da moradia	100

5.3.3	Resultados.....	105
5.4	Verificação da segurança	107
5.4.1	Estados limite últimos.....	107
5.5	Conclusão	121
6.	Conclusões.....	123
6.1	Considerações finais	123
6.2	Recomendações para trabalhos futuros	124
	Bibliografia.....	125
	Anexo A.....	129
A.1:	Resultados da modelação numérica do contentor tipo 40'HC.....	129
A.2:	Propriedades geométricas das secções transversais	131
A.2.1:	Apresentação das secções transversais reais e reduzidas	131
A.2.2:	Classificação de secções transversais	147
A.2.3	Redução de secções transversais.....	153
ANEXO B	157
ANEXO C	187

Índice de Figuras

Figura 1.1: Acumulação de contentores marítimos ([15]).	1
Figura 1.2: Situação de derrube em porta contentores ([14] ISBU-Intermodal Steel Building Units and Container Homes, 2009).	3
Figura 1.3: Mega porta contentores Chinês ([16] Stone, 2004).	3
Figura 1.4: Complexo de residências universitárias, Holanda ([17] TempoHousing).	4
Figura 2.1: Contentores marítimos remodelados em estaleiro de obra (Portugal) ([18] National Geographic).	7
Figura 2.2: Reutilização de contentor marítimo (Portugal).	8
Figura 2.3: Moradia - Califórnia (E.U.A.) ([14] ISBU-Intermodal Steel Building Units and Container Homes, 2009).	8
Figura 2.4: Ampliação de edifício. ([19] HSH)	9
Figura 2.5: Complexo de residências universitárias <i>Keetwonen</i> , Amesterdão ([17] TempoHousing).	10
Figura 2.6: a)Exemplo de contentor remodelado; b) Interior de residência <i>keetwonen</i> ([17] TempoHousing).	10
Figura 2.7: Hotel <i>Yenagoa</i> , Nigéria ([17] TempoHousing).	11
Figura 2.8: a) Contentores remodelados [4]; b) Interior do Hotel <i>Yenagoa</i> ([17] TempoHousing).	11
Figura 2.9: Dormitório para trabalhadores ([17] TempoHousing).	11
Figura 2.10: a) Contentores remodelados [4]; b) Interior do edifício ([17] TempoHousing).	12
Figura 2.11: Construção do Hotel em <i>Uxbridge</i> ([20] inhabitat).	12
Figura 2.12: Aspecto exterior do hotel finalizado ([20] inhabitat).	13
Figura 2.13: Edifício de escritórios, Londres ([21] techeblog).	13
Figura 2.14: Edifício de T0´s e pequenos ateliês, Londres ([22] Containercity).	14
Figura 2.15: Edifício de habitação e escritórios Londres, <i>Container City</i> ([23] Housingprototypes).	14
Figura 2.16: <i>Container City I</i> , Londres ([24] Container City).	15
Figura 2.17: <i>Container City II</i> , Londres ([24] Container City).	15

Figura 2.18: Edifício de apartamentos T0 no Japão ([25]).	16
Figura 2.19: Residência universitária (Suécia) ([26]).	16
Figura 2.20: Residência universitária (Holanda) ([27] Boingboing).	16
Figura 2.21: Futura implantação da residência universitária - Le Havre (França) ([28] Univers-nature).	17
Figura 2.22: Escola em Guadalajara, México ([29] Hart).	17
Figura 2.23: Escola em Londres ([24] Container City).	17
Figura 2.24: Salas de aula adicionais em escola de Londres ([24] Container City).	18
Figura 2.25: Pavilhão desportivo de escola em Londres ([24] Container City).	18
Figura 2.26: Escola em Portman Place - Londres ([24] Container City).	18
Figura 2.27: Moradia unifamiliar (Nova Zelândia) ([30] Mocoloco contemporany design & architecture).	19
Figura 2.28: Moradia com acabamento tradicional. a) Fase de construção; b) Finalizada ([31] Funktion).	19
Figura 2.29: Moradia com aplicação de contentores ([31] Funktion).	19
Figura 2.30: Moradia com aplicação de contentores ([31] Funktion).	20
Figura 2.31: Espaço comercial - <i>Container Store Puma</i> ([32] LOT-EK).	20
Figura 2.32: Loja de desporto, Uruguai ([33] Firmitas).	20
Figura 2.33: Museu <i>Nomadic</i> ([33] Firmitas).	21
Figura 2.34: <i>Origami Container</i> ([33] Firmitas).	21
Figura 2.35: Obra de arte com contentores marítimos ([33] Firmitas).	21
Figura 2.36: a) Oficina de remodelação; b) Execução de acabamentos ([17] TempoHousing).	22
Figura 2.37: Manuseamento de contentor com grua móvel ([17] TempoHousing).	22
Figura 2.38: Fase de assemblagem de contentores ([17] TempoHousing).	23
Figura 2.39: Deslocação de contentores marítimos remodelados a partir da China para o Haiti ([17] TempoHousing).	24
Figura 2.40: Modelo do Hotel actualmente em construção no Haiti ([17] TempoHousing).	24
Figura 3.1: Contentores 20'HC (Esquerda) e 40'HC (Direita).	26

Figura 3.2: Face da porta dos contentores. a) Completa; b) Perfis considerados.	27
Figura 3.3: Secção transversal do perfil DS.	27
Figura 3.4: Secção transversal do perfil DCP.	28
Figura 3.5: Secção transversal do perfil DH. a)40'HC;b) 20'HC.	28
Figura 3.6: Face frontal dos contentores em estudo.	29
Figura 3.7: Secção transversal da chapa frontal few.	29
Figura 3.8: Secção transversal do perfil FH. a)20'HC; b)40'HC.	29
Figura 3.9: Secção transversal do perfil FS dos contentores 20'HC.	30
Figura 3.10: Secção transversal do perfil FCP.	30
Figura 3.11: Constituição da face lateral.	31
Figura 3.12: Secção transversal das chapas da parede lateral (sw), do contentor 40'HC.	31
Figura 3.13: Secção transversal da chapa sw1 e sw3 do contentor 20'HC.	32
Figura 3.14: Secção transversal da chapa sw2 do contentor 20'HC.	32
Figura 3.15: Constituição da face de cobertura.	32
Figura 3.16: Secção transversal da chapa de cobertura.	33
Figura 3.17: Constituição da base do contentor 40'HC.	33
Figura 3.18: Constituição da base do contentor 20'HC.	33
Figura 3.19: Secções transversais dos perfis BSR. a)20'HC; b)40'HC.	34
Figura 3.20: Secção transversal do perfil BCM1.	34
Figura 3.21: Secção transversal do perfil BCM2.	34
Figura 3.22: Secção transversal do perfil BCM3.	35
Figura 3.23: Secção transversal do perfil BCM4.	35
Figura 3.24: Secção transversal do perfil BCM5.	35
Figura 3.25: Secção transversal do perfil BCM6.	36
Figura 3.26: Secção transversal da chapa fp.	36
Figura 3.27: Definição da malha de elementos finitos lineares, em linhas (<i>LUSAS Modeller</i>).	40

Figura 3.28: Definição da malha de elementos finitos planos, em superfícies (LUSAS Modeller).	41
Figura 3.29: Referencial de eixos cartesianos, utilizado para determinar as propriedades geométricas.	42
Figura 3.30: Secção simplificada do perfil BCM1.....	42
Figura 3.31: Referencial de eixos cartesianos inicial.....	43
Figura 3.32: Coordenadas do centro de gravidade.	44
Figura 3.33: Dimensões h e b e referencial local do elemento 1.	45
Figura 3.34: Áreas de corte. a) Segundo Y (ASY); b) Segundo Z (ASZ).	45
Figura 3.35 : Posição e dimensões dos elementos rigidificantes.....	47
Figura 3.36: Extremidades da chapa fp (BFP).	48
Figura 3.37: Rotação do sistema de eixos.	49
Figura 3.38: Modelo numérico do contentor 40'HC.	51
Figura 3.39: Convenção de sinais dos esforços avaliados, para os elementos finitos planos... ..	52
Figura 3.40: Diagrama de cores do esforço M_x , referente ao caso de carga 1.	53
Figura 3.41: Convenção de sinais dos esforços avaliados para os elementos finitos lineares. .	53
Figura 3.42: Diagrama do esforço axial F_x , referente ao caso de carga 1.....	54
Figura 3.43: Divisão em elementos da secção transversal do perfil BCM2.	56
Figura 3.44: Largura de cálculo da placa no caso de elementos enformados a frio ([2] CEN, 2004).	58
Figura 3.45: Secção transversal efectiva do perfil BCM2.	60
Figura 4.1: Disposição dos contentores marítimos ao nível do rés-do-chão.....	66
Figura 4.2: Disposição dos contentores marítimos ao nível do primeiro andar.....	66
Figura 4.3: Esquema da adaptação das bases dos contentores 20'HC para aplicação na cobertura.....	67
Figura 4.4: Aberturas da face lateral esquerda do contentor 1-40'HC.1.....	69
Figura 4.5: Aberturas da face lateral direita do contentor 1-40'HC.1.....	70
Figura 4.6: Aberturas da face lateral direita do contentor 2-40'HC.2.....	71

Figura 4.7: Aberturas da face lateral esquerda do contentor 2-40'HC.2.	71
Figura 4.8: Aberturas da face lateral direita do contentor 3-40'HC.3.	73
Figura 4.9: Aberturas da face lateral esquerda do contentor 3-40'HC.3.	73
Figura 4.10: Aberturas da face lateral esquerda do contentor 4-20'HC.1.	74
Figura 4.11: Abertura da face lateral direita do contentor 4-20'HC.1.	75
Figura 4.12: Aberturas do contentor 5-20'HC.2. a) Face lateral direita; b) Face lateral esquerda.....	76
Figura 4.13: Aberturas do contentor 6-20'HC.3. a) Face lateral direita; b) Face lateral esquerda.....	77
Figura 4.14: Aberturas do contentor 7-20'HC.4. a) Face lateral direita; b) Face lateral esquerda.....	78
Figura 4.15: Aberturas do contentor 8-20'HC.5. a) Face lateral direita; b) Face lateral esquerda.....	79
Figura 4.16: Aberturas da face lateral direita do contentor 9-40'HC.4.	80
Figura 4.17: Abertura da face lateral esquerda do contentor 9-40'HC.4.	80
Figura 4.18: Aberturas da face lateral direita do contentor 10-40'HC.5.	81
Figura 4.19: Aberturas da face lateral esquerda do contentor 10-40'HC.5.	82
Figura 4.20: Assemblagem dos contentores.	83
Figura 4.21: Aspecto dos contentores em conjunto na moradia.	84
Figura 5.1: Pórtico P1.	96
Figura 5.2: Pórtico P2.	96
Figura 5.3: Vista geral do modelo numérico da moradia em análise.	105

Índice de Quadros

Quadro 3.1: Dimensões dos contentores 20'HC e 40'HC.	25
Quadro 3.2: Peso Próprio e capacidades dos contentores 20'HC e 40'HC.	25
Quadro 3.3: Valor característico da tensão de cedência à tracção.	38
Quadro 3.4: Propriedades geométricas das secções reais dos perfis metálicos.	41
Quadro 3.5: Propriedades geométricas das chapas (sw e few).	46
Quadro 3.6: Propriedades geométricas dos elementos rigidificantes.	47
Quadro 3.7: Propriedades geométricas dos elementos finitos barra dos perfis BFP.	48
Quadro 3.8: Parâmetro ϵ	55
Quadro 3.9: Relações máximas c/t de elementos internos sujeitos a compressão.	55
Quadro 3.10: Relações máximas c/t de banzos em consola solicitados à compressão.	55
Quadro 3.11: Classificação dos elementos da secção transversal do perfil BCM2, quando sujeitos à compressão.	56
Quadro 3.12: Expressões para determinação da largura efectiva em elementos internos ([3] CEN, 2003).	58
Quadro 3.13: Expressões para determinar a largura efectiva em elementos externos ([3] CEN, 2003).	59
Quadro 3.14: Determinação da largura efectiva (b_{eff}) do perfil BCM2.	60
Quadro 3.15: Propriedades geométricas de todas as secções transversais.	61
Quadro 3.16: Módulos elásticos de todas as secções transversais dos contentores marítimos tipo 20'HC e 40'HC.	63
Quadro 4.1: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 1-40'HC.1..	70
Quadro 4.2: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 2-40'HC.2..	72
Quadro 4.3: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 3-40'HC.3..	74
Quadro 4.4: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 4-20'HC.1..	75
Quadro 4.5: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 5-20'HC.2..	76
Quadro 4.6: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 6-20'HC.3..	77

Quadro 4.7: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 7-20'HC.4..	78
Quadro 4.8: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 8-20'HC.5..	79
Quadro 4.9: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 9-40'HC.4..	81
Quadro 4.10: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 10-40'HC.5.	82
Quadro 5.1: Definição do peso próprio do contraplacado marítimo.....	86
Quadro 5.2: Determinação da acção do peso próprio das paredes divisórias.....	86
Quadro 5.3: Determinação da acção do peso próprio das paredes exteriores.....	87
Quadro 5.4: Peso próprio dos revestimentos de piso.....	87
Quadro 5.5: Valores característicos das sobrecargas, Q_k e respectivos coeficientes de redução.	88
Quadro 5.6: Definição do valor característico da acção da neve, S_k	89
Quadro 5.7: Valor característico da acção da neve S_k , e respectivos coeficientes de redução.	89
Quadro 5.8: Valores da aceleração em função do período (T), para acção sísmica tipo 1.	91
Quadro 5.9: Valores da aceleração em função do período (T), para acção sísmica tipo 2.	92
Quadro 5.10: Coeficientes de segurança.	93
Quadro 5.11: Peso próprio dos perfis metálicos de uma base de contentor 20'HC.	98
Quadro 5.12: Peso próprio da base do contentor 20'HC.	98
Quadro 5.13: Valor das reacções nas cordas superiores das treliças, por unidade de comprimento.	98
Quadro 5.14: Secções com elementos com redução superior a 50%, do contentor 40'HC.	101
Quadro 5.15: Secções com elementos com redução superior a 50%; do contentor 20'HC.	101
Quadro 5.16: Propriedades geométricas das barras representativas das chapas dos contentores 40'HC.	102
Quadro 5.17: Propriedades geométricas das barras representativas das chapas dos contentores 20'HC.	102
Quadro 5.18: Propriedades geométricas dos perfis metálicos de reforço.	102

Quadro 5.19: Propriedades geométricas dos perfis metálicos dos pórticos e das respectivas treliças.....	102
Quadro 5.20: Propriedades geométricas das barras de ligação.	103
Quadro 5.21: Peso próprio dos perfis modelados com secção efectiva, do contentor tipo 40´HC	104
Quadro 5.22: Peso próprio dos perfis modelados com secção efectiva, do contentor tipo 20´HC.	104
Quadro 5.23: Esforços preponderantes nos perfis metálicos dos contentores marítimos.....	106
Quadro 5.24: Esforços resistentes das secções que não sofrem redução.	114
Quadro 5.25: Esforços resistentes excentricidades do centro de gravidade das secções transversais que sofrem redução.....	114
Quadro 5.26: Esforço axial resistente das chapas laterais.	115
Quadro 5.27: Esforços resistentes da chapa da face frontal, <i>few</i>	115
Quadro 5.28: Localizações dos perfis metálicos que não verificam a segurança.....	116
Quadro 5.29: Verificação da segurança ao esforço transversal.	117
Quadro 5.30: Verificação da segurança ao esforço transversal da chapa <i>few</i>	118
Quadro 5.31: Verificação da segurança ao esforço axial de tracção.	118
Quadro 5.32: Verificação da segurança à encurvadura por flexão dos perfis de reforço comprimidos.	120

1. Introdução

1.1 Considerações gerais

A fase de recessão económica atravessada actualmente implica uma redução significativa na troca de mercadorias por via marítima e conseqüentemente a acumulação de contentores nos portos de diversos países (Figura 1.1), maioritariamente dos países importadores.



Figura 1.1: Acumulação de contentores marítimos ([15]).

O elevado número de contentores disponíveis nos portos marítimos desencadeou o início da utilização desses mesmos contentores na construção para fins habitacionais. Apesar de em Portugal não ser comum, este sistema construtivo, com a utilização de contentores marítimos, conta já com bastantes casos de sucesso no estrangeiro, sendo uma prática com mais de uma década ([5] Nunes, 2009).

De entre os variadíssimos tipos de contentores existentes este estudo tem como alvo apenas a utilização de contentores fabricados de acordo com normas I.S.O (*International Standard Organization*), emitidas pela Organização Internacional para a Normalização. O que garante que são utilizados contentores com resistência mecânica e características geométricas semelhantes.

O tempo de vida útil de um contentor marítimo no transporte de mercadorias é de dez, quinze ou mais anos ([5] Nunes, 2009), dependendo da intensidade de uso e da conservação. É nessa altura que os contentores marítimos podem ser adquiridos, de forma mais económica, para reutilização na construção.

Existem contentores marítimos, para transporte de mercadorias, com várias dimensões, tanto em comprimento como em altura. Os mais comuns são aqueles que apresentam comprimentos de 6,00, 9,00 e 12,00 metros, existindo ainda contentores com 3,00 metros de comprimento, quanto à altura conhecem-se contentores com 2,40, 2,55 e 2,70 metros. Quanto à largura os contentores apresentam cerca de 2,40 metros. Neste trabalho são apenas considerados contentores com 6,00 e 12,00 metros de comprimento, e 2,70 metros de altura por proporcionarem um maior pé-direito, e que por isso são designados por contentores HC (*High Cube*):

- 20' HC: 6 metros de comprimento (20 pés);
- 40' HC: 12 metros de comprimento (40 pés).

Os contentores marítimos são constituídos por uma estrutura principal em perfis metálicos, e por chapas de aço trapezoidais nas paredes e na cobertura. A estrutura principal engloba vigas principais em todo o perímetro ao nível do topo e da base, vigas transversais ao longo da base sobre as quais apoia um contraplacado marítimo que suporta as mercadorias a transportar. Na extremidade das vigas principais existem elementos verticais que ligam com essas através de elementos de aço forjado nos vértices do contentor. Elementos esses que permitem também a ligação entre as vigas. A porta do contentor localiza-se numa das faces menores sendo composta por chapas metálicas e dispositivos de fecho.

As situações de acidente a que os contentores marítimos estão expostos no decorrer das suas funções habituais, como o caso ilustrado na Figura 1.2, demonstram as potencialidades resistentes que estes elementos poderão proporcionar a nível estrutural quando utilizados na construção.



Figura 1.2: Situação de derrube em porta contentores ([14] ISBU-Intermodal Steel Building Units and Container Homes, 2009).

Pode-se verificar na Figura 1.2 que apesar do derrube dos contentores, aparentemente estes não sofreram danos graves. Uma vez que mantiveram a sua forma original. Sabendo que de acordo com estudos de carga (forças horizontais) especificados pelas normas I.S.O., a estabilidade dos contentores marítimos não fica comprometida em condições com inclinações até 30 graus. Valor que pode ser ultrapassado quando o transporte de mercadorias acontece sob violentas intempéries, uma possível causa do sucedido na Figura 1.2. Outro facto que demonstra as potencialidades resistentes deste tipo de contentores é a sua capacidade para suportar mais outros 6 contentores iguais totalmente carregados por cima sem que fique comprometida a sua resistência mecânica ([5] Nunes, 2009). Como demonstrado na Figura 1.3.



Figura 1.3: Mega porta contentores Chinês ([16] Stone, 2004).

A aquisição de contentores marítimos depende da sua disponibilidade nos parques de contentores localizados, principalmente, nos portos marítimos. No entanto, poderão ser

adquiridos através de anúncios na internet ou jornais, sendo de contabilizar a distância de transporte para o local de remodelação, que quando acrescida, encarece o custo da construção.

O sistema de construção estudado neste trabalho com recurso a contentores marítimos potencializa uma forma de reciclagem e um modo de construção sustentável. Recorrendo a contentores inutilizados que após processos de reabilitação e preparação podem ser aplicados na construção. Tais processos envolvem a abertura de vãos, aplicação de reforços e a própria desinfecção uma vez que neles são utilizados produtos perigosos devido à diversidade de mercadorias que transportam. Esta fase de preparação deverá ser realizada em serralhas adequadas onde se pode garantir maior controlo. Em obra deverá apenas proceder-se à montagem e fixação dos diferentes módulos, o que permite maior rapidez e baixos custos potencializando habitações a preços mais económicos. De entre os muitos casos de sucesso de aplicação deste sistema de construção destaca-se o caso de residências universitárias na Holanda (Diemen), ilustrado na Figura 1.4.



Figura 1.4: Complexo de residências universitárias, Holanda ([17] TempoHousing).

1.2 Objectivos e justificação do tema proposto

O objectivo principal do presente trabalho é o estudo da viabilidade de um projecto de uma moradia habitacional através da utilização de um sistema construtivo com recurso a contentores marítimos. Este estudo incide principalmente ao nível da verificação da segurança dos elementos constituintes dos contentores.

O tema proposto surge devido à constatação da existência de inúmeros casos no estrangeiro com utilização de um sistema construtivo invulgar com recurso a elementos com capacidades resistentes desconhecidas no âmbito da construção civil. Mas que apresentam capacidades de carga bastante consideráveis. Tornando-se por isso necessária a confirmação destes elementos como elementos estruturais com propriedades mecânicas capazes de resistir a acções de projecto, num caso de estudo passível de averiguar as principais dificuldades deste tipo de sistema construtivo.

São poucos os estudos conhecidos sobre a construção com recurso à utilização de contentores marítimos. Apesar da quantidade de construções já realizadas, a maioria dos documentos são apenas de índole arquitectónica, sendo que a nível estrutural existe falta de informação. Por isso surge este trabalho no seguimento de uma dissertação ([5] Nunes, 2009) na qual o autor analisa a viabilidade da reutilização de contentores marítimos com o propósito da sua conversão em espaços habitáveis.

2. Utilização de contentores marítimos na construção civil

2.1 Tipologia de construções existentes

Existe uma diversidade de construções com aplicação de contentores marítimos, apesar da dificuldade de aceitação inerente a um sistema construtivo pouco vulgar, susceptível de dúvidas quanto às condições de conforto proporcionado quando utilizado para fins habitacionais, condições que poderão ser garantidas com recurso a tecnologias de construção disponíveis presentemente, como sistemas de ventilação e de isolamento térmico e acústico.

Existem exemplos de aplicação de contentores marítimos na construção civil um pouco por todo o mundo em países como África do Sul, Alemanha, Austrália, Estados Unidos da América, Holanda, Japão, Nova Zelândia e Reino Unido, entre outros. No entanto em Portugal esta aplicação resume-se a elementos de estaleiro como instalações sanitárias, ferramentaria e escritórios (Figura 2.1), sendo também utilizados com função de armazém (Figura 2.2). O que demonstra que este sistema construtivo está ainda pouco desenvolvido em Portugal visto que este tipo de utilização não é algo de novo na indústria da construção ([5] Nunes, 2009).



Figura 2.1: Contentores marítimos remodelados em estaleiro de obra (Portugal) ([18] National Geographic).



Figura 2.2: Reutilização de contentor marítimo (Portugal).

Outro tipo de utilização de contentores marítimos é na construção habitacional, nas suas mais variadas vertentes, assim como moradias unifamiliares (Figura 2.3), edifícios multifamiliares, residências universitárias (Figura 1.4), e até na ampliação de edifícios construídos originalmente por processos tradicionais (Figura 2.4).



Figura 2.3: Moradia - Califórnia (E.U.A.) ([14] ISBU-Intermodal Steel Building Units and Container Homes, 2009).



Figura 2.4: Ampliação de edifício. ([19] HSH)

Existem diversos edifícios construídos com o sistema em estudo principalmente nos domínios comercial, hoteleiro, turístico, empresarial e público, tais como escritórios, sedes de empresas, ateliês para artistas, restaurantes, cafés, hotéis, apart-hotéis e até museus, escolas e obras de arte. Existem ainda edifícios modulares móveis preparados para serem transportados e montados em diferentes locais.

2.2 Exemplos de aplicação de contentores marítimos na construção civil

Como referido no ponto 2.1, são variadíssimas as aplicações de contentores marítimos na construção, seguidamente apresentam-se alguns exemplos.

O maior empreendimento com utilização de contentores remodelados conhecido, é o complexo de residências universitárias *Keetwonen* ([17] TempoHousing) em Amesterdão, constituído por 12 blocos de residências englobando no total 1000 contentores remodelados ([17] TempoHousing), cada um com 25 m² compartimentado em divisões como demonstrado na Figura 2.6.



Figura 2.5: Complexo de residências universitárias *Keetwonen*, Amesterdão ([17] TempoHousing).



Figura 2.6: a)Exemplo de contentor remodelado; b) Interior de residência *keetwonen* ([17] TempoHousing).

A construção desta residência universitária iniciou-se no final de 2005 e foi concluída em meados de 2006, testemunho de um processo rápido e eficaz, oferecendo aos estudantes as condições de conforto e habitabilidade necessárias, sendo por isso um grande sucesso entre os estudantes, em Amesterdão é agora o mais popular e económico dormitório estudantil da cidade.

Outra residência universitária, também da responsabilidade da *TempoHousing*, é a de Diemen (Figura 1.4) também na Holanda, finalizada em 2008, com reutilização de 250 contentores como o da Figura 2.6, edificados em 5 andares, com uma velocidade de empilhamento de cerca de 20 unidades por dia.

O conceito foi lançado na Holanda pela empresa *TempoHousing*, responsável por vários projectos a nível internacional com reutilização de contentores marítimos. Outro exemplo da sua eficácia é o Hotel de 4 estrelas *Yenagoa* (Figura 2.7), na Nigéria com 168 contentores remodelados como na Figura 2.8.



Figura 2.7: Hotel *Yenagoa*, Nigéria ([17] TempoHousing).

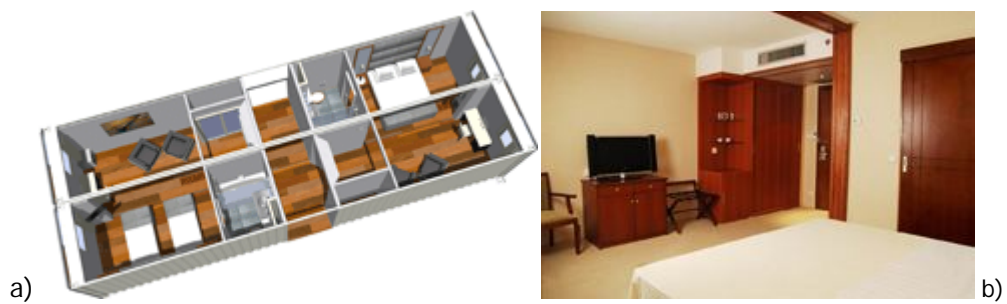


Figura 2.8: a) Contentores remodelados [4]; b) Interior do Hotel *Yenagoa* ([17] TempoHousing).

Outro edifício construído pela mesma empresa, este destinado a ser utilizado por trabalhadores é o da Figura 2.9.



Figura 2.9: Dormitório para trabalhadores ([17] TempoHousing).

Este é um edifício com 5 andares, constituído por 25 unidades, com 60 m² cada, compostas por dois contentores reutilizados como os da Figura 2.10. Cada unidade inclui WC, cozinha, sala de jantar / área de TV e 3 quartos.

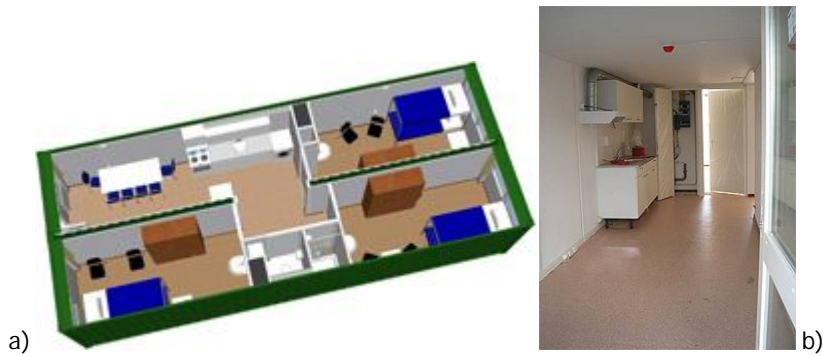


Figura 2.10: a) Contentores remodelados [4]; b) Interior do edifício ([17] TempoHousing).

Outro caso de sucesso, este na Inglaterra em *Uxbridge*, é um dos Hotéis da cadeia *Travelodge* com 120 quartos, no qual o recurso a uma estrutura metálica modular e a contentores prefabricados permitiu reduzir em pelo menos 10 semanas a duração da construção, e os respectivos custos ([5] Nunes, 2009).



Figura 2.11: Construção do Hotel em *Uxbridge* ([20] inhabitat).

Este sistema permitiu um período de construção bastante reduzido, cerca de 40% a 60% do prazo estimado com sistemas tradicionais de construção ([5] Nunes, 2009). Sem que seja possível diferenciar o edifício tanto interior como exteriormente (Figura 2.12), quando comparado a um edifício semelhante construído com sistemas tradicionais de construção.



Figura 2.12: Aspecto exterior do hotel finalizado ([20] inhabitat).

Em Londres existem alguns exemplos de edifícios com utilização de contentores remodelados, maioritariamente escritórios e edifícios com pequenos apartamentos e ateliês, como são os apresentados nas figuras seguintes.



Figura 2.13: Edifício de escritórios, Londres ([21] techeblog)



Figura 2.14: Edifício de T0´s e pequenos ateliês, Londres ([22] Containercity).



Figura 2.15: Edifício de habitação e escritórios Londres, *Container City* ([23] Housingprototypes).

O empreendimento *Container City*, ilustrado na Figura 2.15 é um dos pioneiros na utilização do sistema construtivo em estudo, construído em duas fases resultando da primeira fase o *container City I*, concluído em 2001 num prazo de 5 meses, inicialmente com três andares, foi mais tarde ampliado com um andar suplementar.



Figura 2.16: *Container City I*, Londres ([24] Container City).

Numa segunda fase foi construído o *Container City II*, concluído em 2002, localizado junto ao anterior e ligado a esse por pontes.



Figura 2.17: *Container City II*, Londres ([24] Container City).

A reutilização de contentores marítimos em edifícios com pequenos apartamentos é das mais correntes e aplicada internacionalmente, como é exemplo o edifício da Figura 2.18, no Japão.



Figura 2.18: Edifício de apartamentos T0 no Japão ([25]).

Outro exemplo bastante corrente são as residências universitárias que, além dos exemplos já apresentados anteriormente, existem outros em diversos países como os casos das figuras seguintes.



Figura 2.19: Residência universitária (Suécia) ([26]).



Figura 2.20: Residência universitária (Holanda) ([27] Boingboing).



Figura 2.21: Futura implantação da residência universitária - Le Havre (França) ([28] Univers-nature).

O sistema construtivo com reutilização de contentores marítimos é também aplicado em edifícios escolares, como exemplo apresentam-se as figuras seguintes.



Figura 2.22: Escola em Guadalajara, México ([29] Hart).



Figura 2.23: Escola em Londres ([24] Container City).



Figura 2.24: Salas de aula adicionais em escola de Londres ([24] Container City).



Figura 2.25: Pavilhão desportivo de escola em Londres ([24] Container City).



Figura 2.26: Escola em Portman Place - Londres ([24] Container City).

As moradias são outro grande domínio da construção com recurso a contentores remodelados, como são os casos apresentados nas figuras seguintes.



Figura 2.27: Moradia unifamiliar (Nova Zelândia) ([30] Mocoloco contemporary design & architecture).



Figura 2.28: Moradia com acabamento tradicional. a) Fase de construção; b) Finalizada ([31] Funktion).



Figura 2.29: Moradia com aplicação de contentores ([31] Funktion).



Figura 2.30: Moradia com aplicação de contentores ([31] Funktion).

Os edifícios comerciais são outra grande aplicação de contentores marítimos como elementos da sua construção, existem diversos casos deste tipo de edifícios, alguns com capacidade móvel, ou seja são transportados em módulos e edificados noutra local. Um dos principais exemplos deste tipo de edifícios é o da Figura 2.31.



Figura 2.31: Espaço comercial - *Container Store Puma* ([32] LOT-EK).



Figura 2.32: Loja de desporto, Uruguai ([33] Firmitas).

Um grande exemplo de edifícios com capacidade móvel é o museu *Nomadic* (Figura 2.32), que já passou por cidades como Nova York, Santa Monica, Veneza, Tóquio e Cidade do México.



Figura 2.33: Museu *Nomadic* ([33] Firmitas).

Além dos edifícios existem outro tipo de aplicações com reutilização de contentores marítimos tal como obras de arte e até pontes. A peça na Figura 2.34 foi elaborada para a competição *Follydock* em Roterdão, utilizando um contentor de 12 metros de comprimento.



Figura 2.34: *Origami Container* ([33] Firmitas).

A obra na Figura 2.35 é da autoria de um arquitecto belga e localiza-se num parque do Reino Unido.



Figura 2.35: Obra de arte com contentores marítimos ([33] Firmitas).

2.3 Processo construtivo

O processo construtivo em estudo, como referido anteriormente, baseia-se na reutilização de contentores marítimos remodelados. A fase de transformação dos contentores deve ser realizada em oficinas de serralharia apropriadas, sob condições adequadas, evitando situações climáticas adversas, e possibilitando maior controlo dos defeitos de produção, o que permite maior rendimento, comparando com trabalhos efectuados em obra. Esta fase de remodelação engloba todos os trabalhos de preparação dos contentores tais como: desinfectação e limpeza, abertura de vãos, preparação de ligações, preparação das superfícies, pintura, eventualmente a execução de acabamentos e instalação de redes, entre outros.



Figura 2.36: a) Oficina de remodelação; b) Execução de acabamentos ([17] TempoHousing).

Concluída a fase de remodelação os contentores são transportados para obra, o que pode ser efectuado com recurso aos veículos pesados que normalmente transportam estes elementos, no entanto está inerente a este processo a dificuldade de carga e descarga, sendo por isso necessário recorrer a meios elevatórios como gruas móveis (Figura 2.37), o que pode encarecer substancialmente o processo.



Figura 2.37: Manuseamento de contentor com grua móvel ([17] TempoHousing).

Neste modo de construção não há margem para erros, de forma a tornar este processo economicamente competitivo. Tudo tem que ser preparado minuciosamente em fase de projecto, pois em estruturas metálicas perfis ou chapas cortadas erradamente na maioria das vezes não são passíveis de reaproveitar. O detalhe da fase de projecto e a adequada preparação dos contentores permitem uma maior rapidez e facilidade de execução na fase de montagem dos diferentes módulos. Fase na qual apenas deverá ser necessário efectuar a ligação entre os diferentes módulos e a sua colocação nas respectivas posições.



Figura 2.38: Fase de montagem de contentores ([17] TempoHousing).

2.4 Potenciais habitantes

Como o principal domínio deste tipo de construção é a habitação, torna-se necessário definir qual o tipo de população a que se destinam os edifícios construídos pelo processo em causa. Assim, os principais destinatários serão jovens estudantes e pessoas com baixos recursos económicos. Por se tratar de um processo rápido, normalmente com custos controlados, permite habitações com boas condições a preços moderados pelo que tem sido bastante utilizado por universidades para construção de residências universitárias, como exemplificado anteriormente. Pode também ser uma solução para pessoas com baixos rendimentos, como idosos com baixas reformas e jovens casais em início de vida. A possibilidade de ter uma habitação com boas condições a um custo menor pode trazer vantagens, comparando com construções tradicionais.

Outro potencial grupo de utilizadores são profissionais de diferentes áreas, que devido às deslocações constantes necessitam de habitações a baixo custo pelo que a construção de apart-hotéis, hotéis e de habitações para aluguer poderá ser uma boa solução.

Trata-se também de um processo construtivo adequado às necessidades de edifícios públicos como escolas e outros serviços.

2.5 Conclusão

Estuda-se neste trabalho uma aplicação de contentores marítimos remodelados, um processo construtivo com uma vasta e diversificada quantidade de exemplos, que demonstra a funcionalidade e a versatilidade inerentes a tal processo. Tratando-se de um processo com baixos custos poderá proporcionar condições de habitabilidade de forma económica e por isso uma diversidade de potenciais utilizadores. A rapidez de montagem que proporciona este processo, possibilita uma rapidez de intervenção em situações de catástrofe, como a sentida recentemente no Haiti. É em situações como esta que este tipo de construção demonstra as suas potencialidades. É exemplo disso um hotel com um total de 70 quartos, composto por cerca de 70 contentores remodelados com todo o mobiliário necessário, que chegaram ao Haiti cerca de meio ano depois da catástrofe a partir da china onde foram remodelados.



Figura 2.39: Deslocação de contentores marítimos remodelados a partir da China para o Haiti ([17] TempoHousing).



Figura 2.40: Modelo do Hotel actualmente em construção no Haiti ([17] TempoHousing).

3. Contentor marítimo como elemento estrutural

3.1 Características dos contentores marítimos em estudo

Como já referido neste estudo analisam-se contentores fabricados de acordo com normas I.S.O. De entre os diversos tipos de contentores existentes estudam-se os contentores comercialmente designados por 20'HC e 40'HC, caracterizados no Quadro 3.1e no Quadro 3.2.

Quadro 3.1: Dimensões dos contentores 20'HC e 40'HC.

Designação	Comprimento		Largura		Altura	
	[m]		[m]		[m]	
	Interno	Externo	Interna	Externa	Interna	Externa
20'HC	5,90	6,00	2,34	2,40	2,71	2,89
40'HC	12,00	12,20	2,34	2,40	2,71	2,89

Quadro 3.2: Peso Próprio e capacidades dos contentores 20'HC e 40'HC.

Designação	Peso Próprio		Capacidade de carga		Capacidade em Volume
	Total	Superfície	Total	Superfície	
	[kg]	[kg/m ²]	[kg]	[kg/m ²]	[m ³]
20'HC	2300,00	159,72	28000,00	867,63	37,41
40'HC	3500,00	119,54	36000,00	1229,51	76,10

3.2 Descrição geral

Os contentores marítimos, independentemente das dimensões, apresentam 6 faces. Cada uma das faces é constituída por peças metálicas com características adequadas às funções a desempenhar. As várias faces são formadas por pórticos de perfis metálicos, aos quais estão soldadas chapas metálicas. Nas faces laterais e na face frontal (oposta à face da porta) encontram-se chapas quinadas na direcção vertical. Na face da cobertura chapas metálicas quinadas e prensadas nas extremidades. Na porta existem chapas quinadas na horizontal. Cada contentor é constituído pela face que inclui a porta, a face frontal (paralela à face da porta), duas faces laterais paralelas, a face de cobertura e a face inferior. Esta inclui uma estrutura de pavimento resistente capaz de suportar as cargas a transportar. Descreve-se seguidamente a constituição de cada uma das faces. Na Figura 3.1 ilustram-se os dois tipos de contentor em análise.

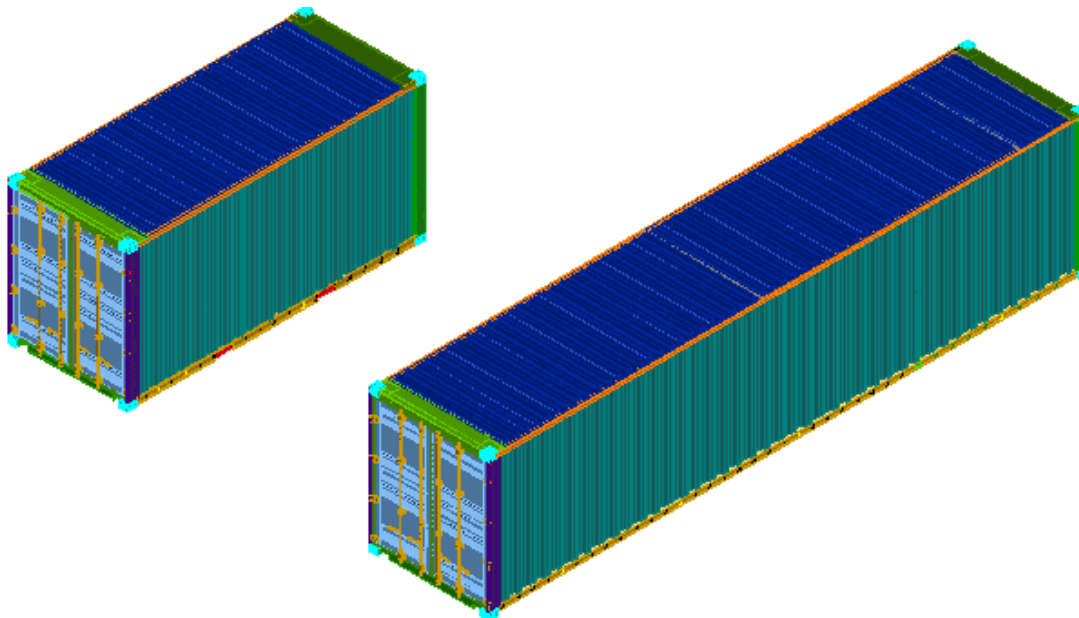


Figura 3.1: Contentores 20'HC (Esquerda) e 40'HC (Direita).

3.2.1 Face da porta

A face da porta (Figura 3.2) é constituída por um pórtico que inclui um perfil inferior de soleira (DS - *Door Sill*), dois perfis verticais de canto (DCP - *Door Corner Post*), outro superior (DH - *Door Header*), uma chapa da porta que por ser quinada na horizontal não é considerada como elemento resistente assim como os perfis metálicos aos quais está soldada esta chapa. Os quatro perfis metálicos estão ligados nos vértices a peças de canto em forma de paralelepípedo.

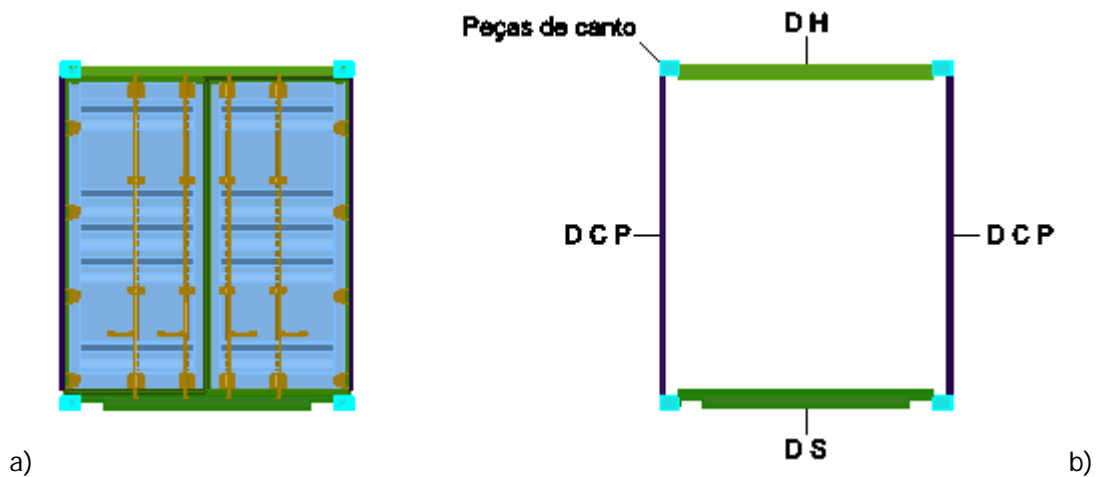


Figura 3.2: Face da porta dos contentores. a) Completa; b) Perfis considerados.

- Perfil inferior - DS

O perfil inferior de soleira, ilustrado na Figura 3.3, é constituído por uma secção em canal especial com reforços internos para rigidificar as zonas onde se encontram os dispositivos de bloqueio da porta. A face superior do perfil apresenta uma ligeira inclinação para permitir uma melhor drenagem e a parte mais elevada encontra-se nivelada com a face superior do piso de madeira. Este perfil é comum aos dois tipos de contentores em análise.

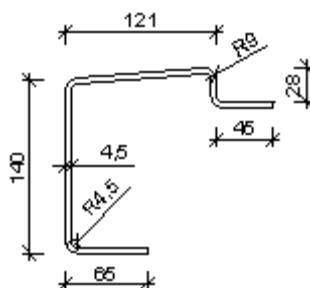


Figura 3.3: Secção transversal do perfil DS.

- Perfis verticais de canto - DCP

Os perfis verticais de canto são compostos por duas partes, uma interior em forma de "U" em aço laminado a quente e outra parte exterior de aço enformado a frio. São soldadas uma a outra formando uma secção oca de modo a assegurar a abertura da porta e a resistência adequada às forças de empilhamento. Na Figura 3.4 apresenta-se a secção transversal destes perfis metálicos.

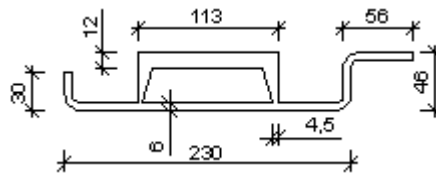


Figura 3.4: Secção transversal do perfil DCP.

- Perfil superior - DH

O perfil superior do pórtico é constituído por uma parte interior em “U” em aço enformado a frio com reforços internos e uma parte exterior formada por uma chapa em aço enformado a frio, estas são soldadas formando uma secção oca. Estes perfis são parcialmente diferentes em cada um dos contentores em estudo, como se pode verificar na Figura 3.5.

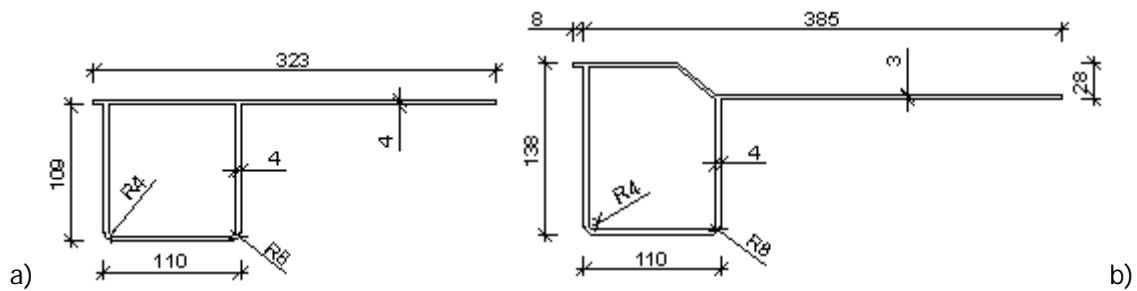


Figura 3.5: Secção transversal do perfil DH. a)40'HC;b) 20'HC.

3.2.2 Face frontal

A face frontal (Figura 3.6)é composta por duas chapas metálicas quinadas (*few - front end wall*) soldadas a um pórtico constituído por quatro perfis metálicos, sendo estes: o perfil superior (FH - *Front Header*), o perfil inferior (FS - *Front Sill*) e dois perfis verticais de canto (FCP - *Front Corner Post*); estes estão ligados a quatro peças de canto, tal como no pórtico da face da porta.

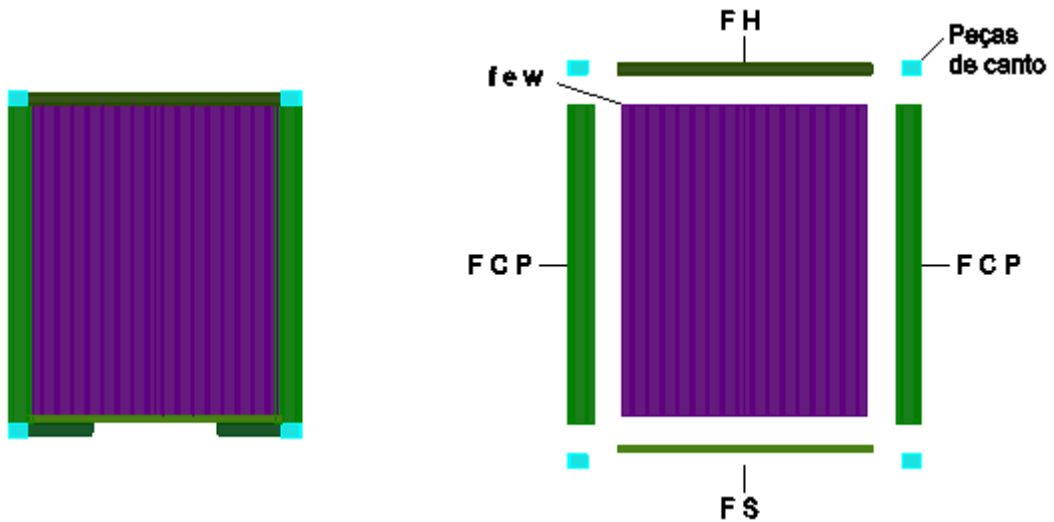


Figura 3.6: Face frontal dos contentores em estudo.

- Chapa frontal - few

A parede frontal é composta por duas chapas de aço quinadas em toda a sua altura de secção trapezoidal, juntas por meios de soldadura automática formando um painel. Estas chapas compõem a parede frontal tanto dos contentores tipo 40'HC como do tipo 20'HC. Ilustra-se na Figura 3.7 a secção transversal destas chapas.

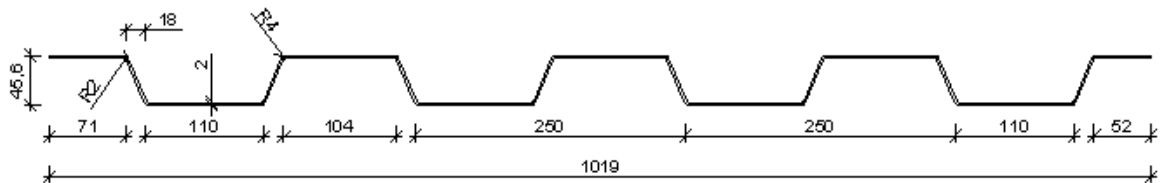


Figura 3.7: Secção transversal da chapa frontal few.

- Perfil superior - FH

O perfil superior difere para cada um dos tipos dos contentores em estudo, sendo que no caso do contentor 20'HC trata-se de um perfil tubular de aço quadrado com 60 mm de lado e 3 mm de espessura. No caso do contentor 40'HC trata-se de uma chapa com 4 mm de espessura dobrada como se ilustra na Figura 3.8.

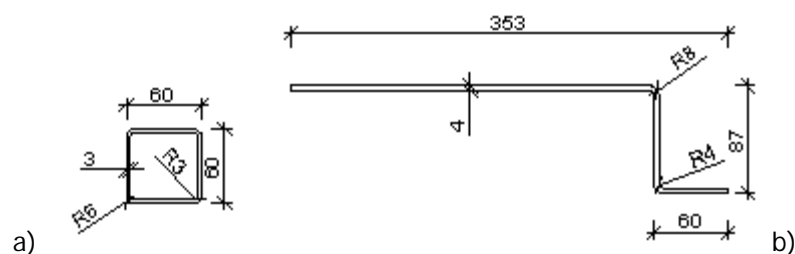


Figura 3.8: Secção transversal do perfil FH. a)20'HC; b)40'HC.

- Perfil inferior - FS

O perfil inferior é também diferente em cada um dos dois tipos de contentores, para o contentor 40'HC é um perfil tubular semelhante ao perfil FH do contentor 20'HC, no qual o perfil FS é composto pelo perfil cuja secção transversal é ilustrada na Figura 3.9.

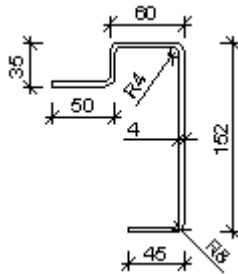


Figura 3.9: Secção transversal do perfil FS dos contentores 20'HC.

- Perfis verticais de canto - FCP

Os perfis verticais de canto da face frontal são iguais nos dois tipos de contentores. Na Figura 3.10 apresenta-se a secção transversal destes perfis metálicos.

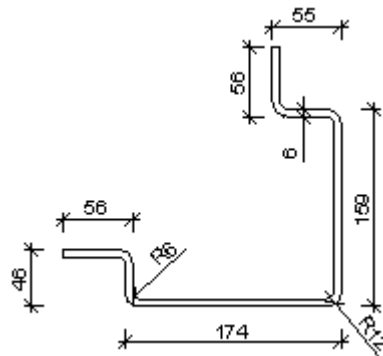


Figura 3.10: Secção transversal do perfil FCP.

3.2.3 Faces laterais

As faces laterais são compostas por um perfil lateral superior (TSR - *Top Side Rail*), e por chapas laterais (sw - *side wall*). Os perfis superiores (TSR) estão ligados às peças de canto que ligam os outros perfis superiores (DH e FH).

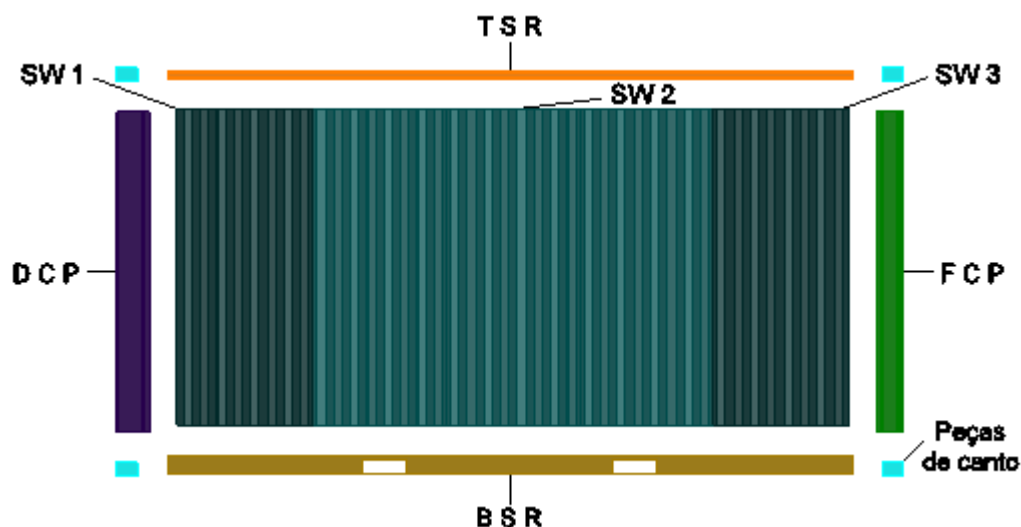


Figura 3.11: Constituição da face lateral.

- Perfil lateral superior - TSR
O perfil TSR é um perfil tubular oco semelhante ao perfil FH do contentor 20'HC, e ao FS do contentor 40'HC, a secção transversal destes perfis está ilustrada na Figura 3.8 a).
- Chapa lateral - sw
A parede lateral do contentor 40'HC é composta por dez chapas com 1116 mm de comprimento e uma na zona central com 556 mm, sendo que as chapas situadas nas extremidades da parede lateral são mais espessas (2 mm) que as internas (1,6 mm). São chapas de aço quinadas de secção trapezoidal em toda a sua altura, unidas por meios de soldadura automática formando um painel único. Para diferenciar as chapas devido à diferente espessura, designaram-se as chapas mais espessas (localizadas nas extremidades) por sw1/sw3 e as menos espessas por sw2. Na Figura 3.12 apresenta-se a secção transversal tipo destas chapas.

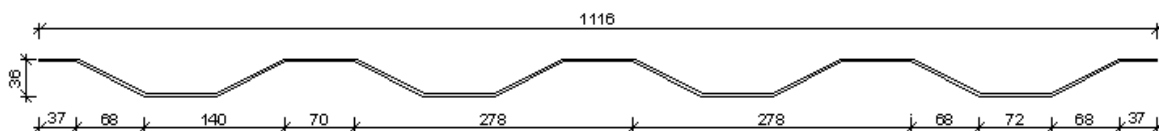


Figura 3.12: Secção transversal das chapas da parede lateral (sw), do contentor 40'HC.

A parede lateral do contentor 20'HC é composta por 3 chapas com 1110 mm de comprimento e 1,6 mm de espessura (sw2), ilustradas na Figura 3.14, e por outras duas chapas, nas extremidades da parede lateral, com 1105 mm de comprimento e 2 mm de espessura (sw1/sw3), ilustradas na Figura 3.13.

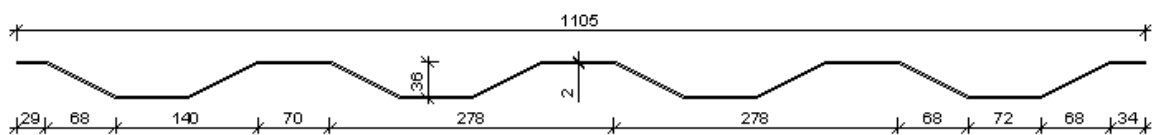


Figura 3.13: Secção transversal da chapa sw1 e sw3 do contentor 20'HC.

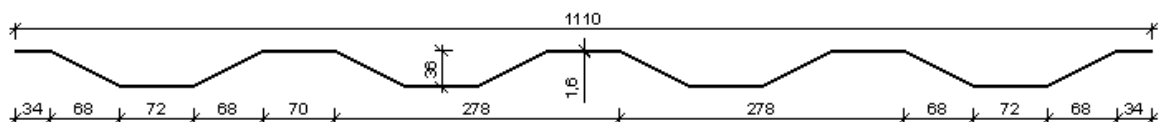


Figura 3.14: Secção transversal da chapa sw2 do contentor 20'HC.

3.2.4 Face de cobertura

A cobertura é constituída por chapas de aço quinadas prensadas nas extremidades (*roof*) com uma certa curvatura ascendente, que soldadas juntas formam um painel. Estas chapas estão soldadas aos elementos superiores (TSR, DH e FH).

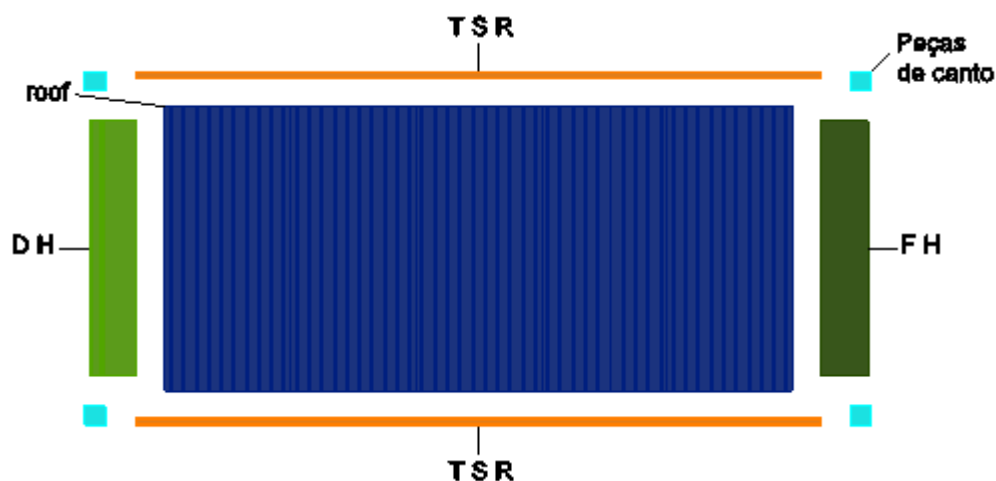


Figura 3.15: Constituição da face de cobertura.

- Chapa de cobertura - roof
A cobertura do contentor 20'HC é composta por 5 chapas de cobertura, enquanto o contentor 40'HC tem 11, no entanto as chapas são iguais para os dois tipos de contentor. A secção transversal destas chapas ilustra-se na Figura 3.16.

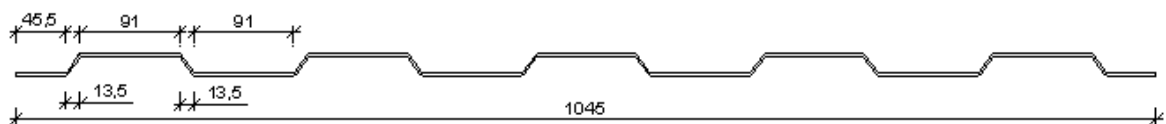


Figura 3.16: Secção transversal da chapa de cobertura.

3.2.5 Face de base

A face da base é constituída por dois perfis laterais (BSR - *Bottom Side Rail*) ligados às peças de canto inferiores, vários perfis transversais (BCM - *Bottom Cross-Members*), e chapas que formam e reforçam as aberturas para os garfos de elevação (FP - *Fork Pocket*), a forma e localização destas chapas difere para cada tipo de contentor. Estes perfis suportam um pavimento em contraplacado marítimo com 28 mm de espessura. Na Figura 3.17 representa-se a constituição da base do contentor 40'HC, e na Figura 3.18 do contentor 20'HC.



Figura 3.17: Constituição da base do contentor 40'HC.

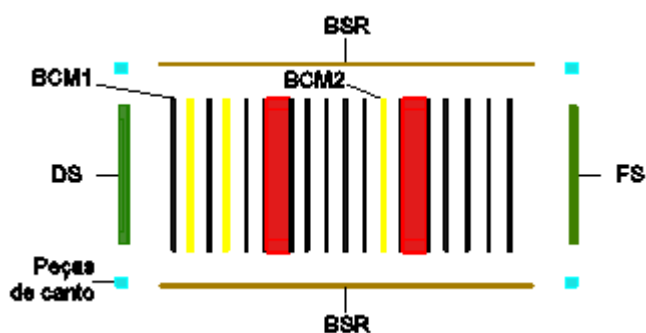


Figura 3.18: Constituição da base do contentor 20'HC.

- Perfis laterais inferiores - BSR

Os perfis laterais inferiores diferem para cada tipo de contentor. No entanto ambos são compostos por uma secção com um banzo inferior virado para fora para permitir uma fácil reparação e evitar a corrosão e têm soldadas duas placas de reforço nas extremidades de cada perfil.

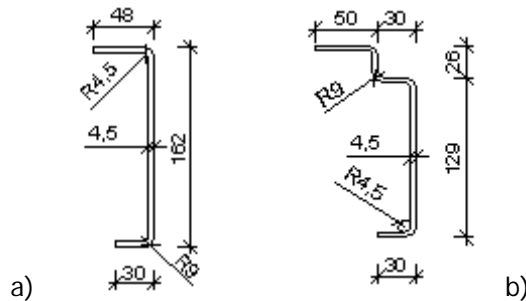


Figura 3.19: Secções transversais dos perfis BSR. a)20'HC; b)40'HC.

- Perfis transversais - BCM1

Nos contentores 40'HC existem 25 perfis transversais BCM1, enquanto nos contentores 20'HC existem 15 contentores 20'HC existem 15. A secção transversal destes elementos é ilustrada na Figura 3.20.

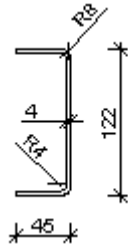


Figura 3.20: Secção transversal do perfil BCM1.

- Perfis transversais - BCM2

Estes perfis diferem do anterior por apresentarem o banzo superior mais comprido. Existem 3 destes perfis em cada contentor, cuja secção transversal é representada na Figura 3.21.

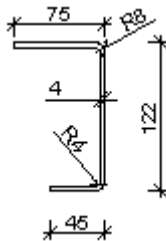


Figura 3.21: Secção transversal do perfil BCM2.

- Perfis transversais - BCM3

Estes elementos reforçam a zona da abertura para os garfos de elevação, localizam-se inferiormente à chapa que forma tal abertura (FP). Estes elementos existem apenas no contentor 40'HC, e têm a secção transversal representada na Figura 3.22.

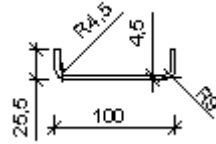


Figura 3.22: Secção transversal do perfil BCM3.

- Perfis transversais - BCM4

Localizam-se nas zonas laterais à abertura para os garfos de elevação, e existem apenas nos contentores 40'HC.

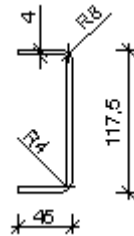


Figura 3.23: Secção transversal do perfil BCM4.

- Perfil transversal - BCM5

Existe um perfil nos contentores 40'HC nas zonas laterais à abertura para os garfos de elevação, difere do anterior por apresentar um banzo superior mais comprido.

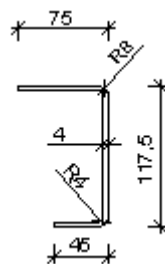


Figura 3.24: Secção transversal do perfil BCM5.

- Perfil transversal - BCM6

Este perfil existe no contentor 40'HC e faz a transição para a zona da abertura dos garfos de elevação.

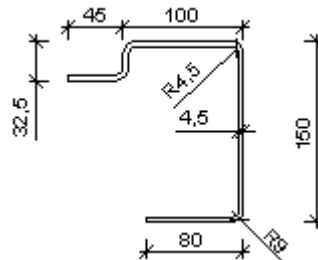


Figura 3.25: Secção transversal do perfil BCM6.

- Chapas dos garfos de elevação - fp

Estas chapas, cuja secção transversal é representada na Figura 3.26, reforçam e formam as aberturas para os garfos de elevação, no caso dos contentores 40'HC localiza-se junto à face frontal. Nos contentores 20'HC encontram-se duas aberturas nas faces laterais, que formam dois túneis transversais sobre cada um dos quais se localiza uma chapa no entanto estas chapas não foram consideradas como elementos resistentes.

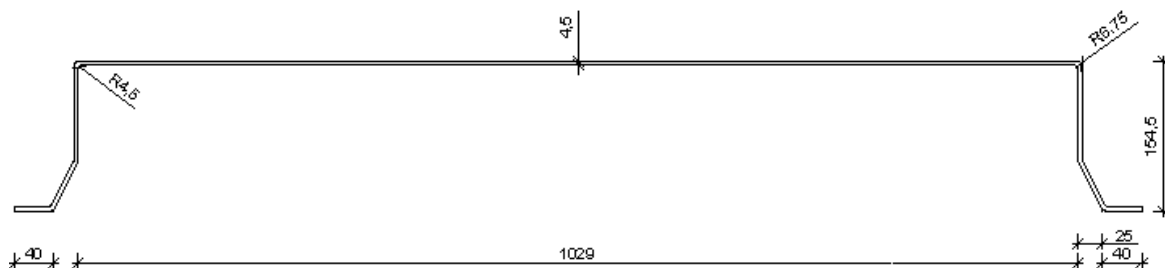


Figura 3.26: Secção transversal da chapa fp.

As designações adoptadas para os diferentes elementos estão relacionadas com a designação em inglês apresentada no documento de especificações referentes a contentores I.S.O., fornecido pela associação ISBU (*Intermodal Steel Building Units & Container Homes*).

Resumindo para o conjunto dos dois contentores existem as seguintes secções transversais distintas:

- DS: Perfil inferior do quadro de abertura da porta, comum aos dois tipos de contentor;
- DCP: Perfis verticais de canto do pórtico de abertura da porta, comum aos dois tipos de contentor;
- $DH^{40'HC}$: Perfil superior do quadro da abertura da porta do contentor tipo 40'HC;
- $DH^{20'HC}$: Perfil superior do quadro da abertura da porta do contentor tipo 20'HC;

- $FH^{40'HC}$: Perfil superior do pórtico da face frontal do contentor tipo 40'HC;
- $FH^{20'HC}$: Perfil superior do pórtico da face frontal do contentor tipo 20'HC;
- $FS^{40'HC}$: Perfil inferior do pórtico da face frontal do contentor tipo 40'HC, com a mesma secção transversal do perfil $FH^{20'HC}$;
- TSR : Perfil lateral superior, secção transversal comum aos dois contentores e igual à dos perfis $FH^{20'HC}$ e $FS^{40'HC}$;
- $FS^{20'HC}$: Perfil inferior do pórtico da face frontal do contentor tipo 20'HC;
- FCP : Perfis verticais de canto do pórtico da face frontal, secção transversal comum aos dois tipos de contentor;
- $BSR^{40'HC}$: Perfil lateral inferior do contentor 40'HC;
- $BSR^{20'HC}$: Perfil lateral inferior do contentor 20'HC;
- $BCM1$: Perfil transversal da base, comum aos dois tipos de contentor
- $BCM2$: Perfil transversal da base, comum aos dois tipos de contentor;
- $BCM3$: Perfil transversal da base do contentor tipo 40'HC;
- $BCM4$: Perfil transversal da base do contentor tipo 40'HC;
- $BCM6$: Perfil transversal da base do contentor tipo 40'HC;
- fp : Chapa de reforço na zona de entrada dos garfos de elevação, existente apenas no contentor 40'HC;
- few : Chapa da face frontal, secção transversal comum aos dois tipos de contentor;
- $sw_{1/3}^{40'HC}$: Chapas de extremidade da face lateral do contentor tipo 40'HC;
- $sw_{1/3}^{20'HC}$: Chapas de extremidade da face lateral do contentor tipo 20'HC;
- $sw_2^{40'HC}$: Chapas internas das faces laterais do contentor tipo 40'HC;
- $sw_2^{20'HC}$: Chapas internas das faces laterais do contentor tipo 20'HC;

3.3 Material e respectivas propriedades

Todos os perfis constituintes dos contentores apresentados são perfis enformados a frio à excepção da parte interior em "U" dos perfis DCP, que é um perfil laminado a quente. Esse perfil em "U" é também o único que apresenta um aço diferente (SM50YA¹), uma vez que todos os outros perfis são de aço corten (Corten A¹).

¹ Designação apresentada no documento de especificações referentes a contentores I.S.O., fornecido pela associação ISBU.

Quadro 3.3: Valor característico da tensão de cedência à tracção.

Material	Tensão de cedência	
	[kg/mm ²]	[MPa]
Corten A	35	343
SM50YA	37	363

Apesar de os dois aços apresentarem tensões de cedência diferentes é considerado para efeitos de cálculo que o aço SM50YA tem a mesma tensão de cedência que o aço Corten A, uma vez que essa é menor, e que são poucos os perfis com o aço SM50YA.

O aço corten é muito resistente à corrosão comparado com os aços comuns, apresentando uma composição química semelhante à desses aços mas acrescida de substâncias anticorrosivas.

Além do aço, outro material presente no contentor é o contraplacado marítimo que funciona como pavimento, com uma espessura de 28 mm e uma densidade de 0,7 g/cm³ ([34] DEREN).

3.4 Propriedades resistentes dos perfis enformados a frio

A esbelteza dos perfis enformados a frio potencia fenómenos de distorção da secção transversal além dos fenómenos de encurvadura local da secção e encurvadura global tradicionalmente analisados para os perfis laminados a quente. A encurvadura local é considerada através do método das secções efectivas de acordo com a EN1993 1-3, parte específica para lidar com o dimensionamento de perfis enformados a frio. O método das secções efectivas considera a redução da resistência da secção provocada pela encurvadura local através da redução de cada um dos elementos da secção transversal. Por se tratar de secções transversais muito esbeltas a rigidez de torção deste tipo de perfis é normalmente muito baixa, pelo que é necessário restringi-los à torção. Em termos normativos a verificação da segurança em estruturas metálicas é efectuada em função da classificação das secções dos perfis metálicos, que traduz a influência de fenómenos de encurvadura local na resistência e na capacidade de rotação de uma secção. Nas secções esbeltas as zonas comprimidas podem não plastificar completamente devido aos fenómenos de encurvadura local, sendo essas secções classificadas como classe 4 de acordo com a classificação de secções apresentada na cláusula 5.5 da EN1993-1-1, pela qual podem ser consideradas reduções de resistência devidas ao fenómeno de encurvadura lateral adoptando larguras efectivas dos elementos constituintes da secção transversal de acordo com a EN 1993-1-5, na qual é apresentado o processo de cálculo de secções efectivas, e para a qual remete também a EN1993-1-3, 5.5.1 (2). O processo de cálculo de secções efectivas em causa considera que a secção transversal é

constituída por um conjunto de placas individuais (elementos). De acordo com os quadros 4.1 e 4.2 da EN1993-1-5 o comprimento efectivo (b_{eff}) de um elemento é dado em função da distribuição de tensões nesse elemento, tal distribuição de tensões, como é sabido, depende do tipo de esforço a que o perfil metálico está solicitado, tal como a classe da secção uma vez que os limites máximos das relações comprimento - espessura dos elementos, para a classificação de secções, também são fornecidos em função da distribuição de tensões no quadro 5.2 da EN1993-1-1.

Concluindo, a secção efectiva depende do tipo de esforço a que o perfil está sujeito, por isso torna-se necessário avaliar quais os tipos de esforços preponderantes no caso dos perfis de um contentor marítimo solicitado por carregamentos que possam simular situações típicas.

3.4.1 Avaliação dos esforços preponderantes

Para a avaliação dos esforços preponderantes utilizou-se um modelo numérico em elementos finitos através do software de cálculo *LUSAS*. Este software de cálculo é capaz de calcular estruturas com tensões lineares e não lineares, sob acções estáticas, dinâmicas e térmicas. O programa funciona com duas componentes fundamentais: o *LUSAS Modeller* e o *LUSAS Solver*. O primeiro permite a modelação de estruturas através de um gráfico interactivo assim como a visualização de resultados após a utilização do *LUSAS Solver* que analisa e calcula a estrutura modelada em elementos finitos através do *LUSAS Modeller*.

Foi utilizado o módulo *LUSAS Academic*, disponível para ensino e investigação, e que combina todos os módulos de aplicações do programa, que são:

- *LUSAS Bridge*: análise, dimensionamento e verificação de pontes;
- *LUSAS Civil & Structural*: para engenharia civil, estrutural, nuclear, sísmica e geotécnica;
- *LUSAS Analyst*: análises no ramo automóvel, aeroespacial, industrial, de defesa e da engenharia em geral;
- *LUSAS Composite*: dimensionamento de produtos ou componentes compósitos.

Nesta fase inicial foi modelado um contentor 40'HC. A primeira etapa de utilização do programa corresponde à modelação da estrutura do contentor, para tal é necessário introduzir a sua geometria espacial definindo pontos através das respectivas coordenadas, linhas definidas por pontos e superfícies definidas por linhas. Seguidamente é atribuída uma malha a todas as linhas e superfícies, definindo o tipo de elemento estrutural de entre as opções do programa e o número de divisões, ou seja o tipo e número de elemento finitos.

Atribuem-se também as propriedades geométricas a todas as barras (linhas) e superfícies. Por fim são atribuídas as propriedades do material, condições de apoio e de carregamento. Finalizada a modelação, inicializa-se o módulo *LUSAS Solver* que processa toda essa informação calculando a estrutura, o que permite, por fim, a visualização dos resultados através do *LUSAS Modeller*.

3.4.1.1 Geometria espacial da estrutura do contentor

A geometria espacial do contentor foi definida tendo em conta as respectivas dimensões do contentor 40'HC em análise, inserindo as coordenadas dos vértices considerando as linhas posicionadas no centro de gravidade da secção do elemento que representam. Definidos os pontos foram definidas todas as linhas e superfícies necessárias.

3.4.1.2 Modelação por elementos finitos

Todos os perfis metálicos foram modelados através de elementos finitos lineares, atribuindo o tipo de elemento estrutural "*Thick Beam*", tridimensional com ordem de interpolação linear ou seja o elemento "*BMS3*" da biblioteca do programa. Definiu-se um número de divisões para cada linha (barra) variável proporcionando elementos finitos com comprimentos semelhantes e uma malha aproximadamente uniforme.

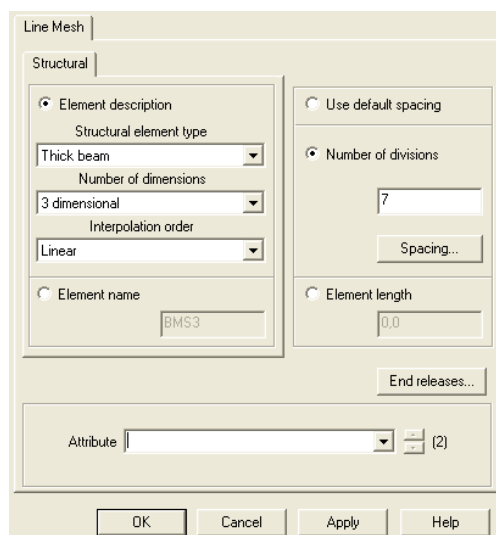


Figura 3.27: Definição da malha de elementos finitos lineares, em linhas (*LUSAS Modeller*).

As chapas metálicas foram modeladas através de elementos finitos planos, e em alguns casos através de uma combinação de elementos finitos planos e lineares do tipo descrito anteriormente, como explicado no próximo ponto. Atribuiu-se a todas as superfícies

o elemento finito plano “QTS4” da biblioteca do programa, que corresponde a um elemento estrutural do tipo “Thick shell”, quadrilátero com ordem de interpolação linear, com malha regular correspondente às divisões dos elementos finitos lineares.

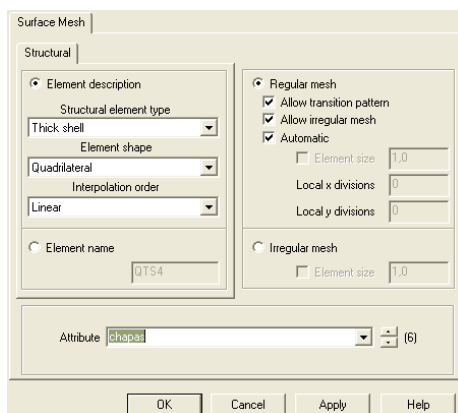


Figura 3.28: Definição da malha de elementos finitos planos, em superfícies (LUSAS Modeller).

3.4.1.3 Propriedades geométricas

Aos perfis metálicos, modelados através de elementos finitos lineares do tipo “BMS3”, foram-lhes atribuídas as propriedades geométricas da secção real, requeridas pelo programa para o referido tipo de elemento finito, apresentadas no Quadro 3.4.

Quadro 3.4: Propriedades geométricas das secções reais dos perfis metálicos.

Elemento	A	I_y	I_z	A_{sy}	A_{sz}
	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ²]	[m ²]
BCM1	7,95E-04	1,67E-06	1,44E-07	2,96E-04	4,24E-04
BCM2	9,15E-04	2,04E-06	4,00E-07	4,16E-04	4,24E-04
BCM3	6,13E-04	2,87E-08	7,43E-07	3,69E-04	1,49E-04
BCM4	7,77E-04	1,53E-06	1,42E-07	2,96E-04	4,06E-04
BCM5	8,97E-04	1,86E-06	3,95E-07	4,16E-04	4,06E-04
BCM6	1,72E-03	5,66E-06	3,21E-06	8,71E-04	6,59E-04
BSR	1,10E-03	3,18E-06	5,23E-07	3,53E-04	5,56E-04
DCP	3,81E-03	1,12E-06	1,80E-05	2,57E-03	7,02E-04
DH	2,55E-03	4,97E-06	2,02E-05	1,67E-03	8,08E-04
DS	1,70E-03	5,06E-06	4,47E-06	8,96E-04	6,52E-04
FCP	2,98E-03	1,28E-05	1,45E-05	1,35E-03	1,21E-03
FS	6,61E-04	3,51E-07	3,51E-07	2,88E-04	2,88E-04
FH	1,72E-03	1,32E-04	1,98E-05	1,36E-03	2,84E-04
TSR	6,61E-04	3,51E-07	3,51E-07	2,88E-04	2,88E-04

No Quadro 3.4 as variáveis apresentadas têm os seguintes significados:

- A : Área da secção bruta;
- I_y : Momento de inércia da área da secção bruta, em relação ao eixo coordenado y ;
- I_z : Momento de inércia da área da secção bruta, em relação ao eixo coordenado z ;
- A_{sy} : Área de corte da secção bruta em relação ao eixo coordenado y ;
- A_{sz} : Área de corte da secção bruta em relação ao eixo coordenado z .

Os valores apresentados no Quadro 3.4 foram obtidos com recurso a uma ferramenta de software CAD, no entanto a título de exemplo demonstrativo apresentam-se seguidamente os processos de cálculo das propriedades geométricas para o elemento BCM1.

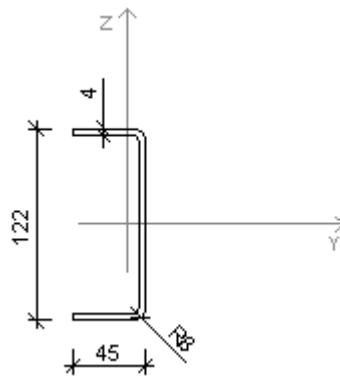


Figura 3.29: Referencial de eixos cartesianos, utilizado para determinar as propriedades geométricas.

De forma simplificativa, para determinar os momentos de inércia, divide-se a secção do perfil BCM1 em 3 elementos rectangulares, (alma e banzos), desprezando a contribuição dos vértices curvos resultantes da dobragem. Trata-se de uma simplificação conservativa pois assim considera-se uma área inferior à real. A secção simplificada é a apresentada na Figura 3.30.

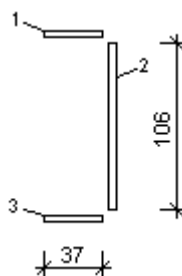


Figura 3.30: Secção simplificada do perfil BCM1.

Admitindo um referencial de eixos cartesianos inicial com origem no vértice do banzo inferior conforme a Figura 3.31.

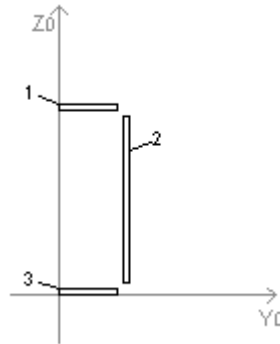


Figura 3.31: Referencial de eixos cartesianos inicial.

O referencial anterior será utilizado para determinar a posição do centro de gravidade da secção simplificada, através das expressões:

$$Y_{C.G.} = \frac{\sum_i A_i \cdot Y_{C.G.,i}}{\sum_i A_i} \quad (3.1)$$

$$Z_{C.G.} = \frac{\sum_i A_i \cdot Z_{C.G.,i}}{\sum_i A_i} \quad (3.2)$$

Onde:

- $Y_{C.G.}$ - Coordenada segundo Y do centro de gravidade da secção transversal bruta do perfil metálico;
- A_i - Área da secção transversal do elemento i;
- $Y_{C.G.,i}$ - Coordenada segundo Y do centro de gravidade da secção transversal do elemento i;
- $Z_{C.G.}$ - Coordena segundo Z do centro de gravidade da secção transversal bruta do perfil metálico;
- $Z_{C.G.,i}$ - Coordenada segundo Y do centro de gravidade da secção transversal do elemento i.

As coordenadas do centro de gravidade da secção transversal de cada elemento ($Y_{C.G.,i}$; $Z_{C.G.,i}$), no referencial inicial, são as seguintes:

$$Y_{C.G.,1} = \frac{37}{2} = 18,5 \text{ mm} ; Z_{C.G.,1} = 122 - \frac{4}{2} = 120 \text{ mm}$$

$$Y_{C.G.,2} = 45 - \frac{4}{2} = 43 \text{ mm} ; Z_{C.G.,2} = 8 + \frac{106}{2} = 61 \text{ mm}$$

$$Y_{C.G.,3} = \frac{37}{2} = 18,5 \text{ mm} ; Z_{C.G.,3} = \frac{4}{2} = 2 \text{ mm}$$

Estas coordenadas são calculadas de acordo com as dimensões da secção do perfil BCM1 apresentadas nas figuras anteriores, tal como se deve proceder para as áreas de cada elemento i , assim aplicando as equações 3.1 e 3.2, resulta:

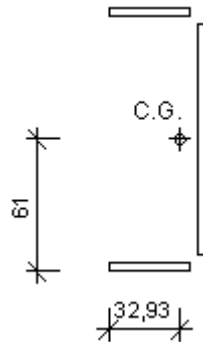


Figura 3.32: Coordenadas do centro de gravidade.

$$Y_{C.G.} = 32,93 \text{ mm}$$

$$Z_{C.G.} = 61,00 \text{ mm}$$

Os momentos de inércia da secção transversal do perfil (I_{ZZ} e I_{YY}) são obtidos recorrendo ao teorema de Steiner:

$$I_Y = \sum_i (I_{Y_i} + A_i \cdot (Z_{C.G.} - Z_{C.G.i})^2) \quad (3.3)$$

$$I_Z = \sum_i (I_{Z_i} + A_i \cdot (Y_{C.G.} - Y_{C.G.i})^2) \quad (3.4)$$

Sendo:

- I_Y - Momento de inércia da secção transversal do perfil em relação ao eixo segundo Y, que passa pelo centro de gravidade dessa mesma secção transversal;
- I_Z - Momento de inércia da secção transversal do perfil em relação ao eixo segundo Z, que passa pelo centro de gravidade dessa mesma secção transversal;
- $I_{Y,i}$ - Momento de inércia da área de cada elemento i , em relação ao eixo segundo Y, que passa pelo centro de gravidade dessa mesma área;
- $I_{Z,i}$ - Momento de inércia da área de cada elemento i , em relação ao eixo segundo Z, que passa pelo centro de gravidade dessa mesma área.

Os momentos de inércia da área de cada elemento i ($I_{Y,i}$ e $I_{Z,i}$) são determinados de acordo com as equações seguintes:

$$I_{Y_i} = \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} \quad (3.5)$$

$$I_{Z_i} = \frac{b_i^3 \cdot h_i}{12} \quad (3.6)$$

Onde:

- b_i - Dimensão paralela ao eixo cartesiano Y do elemento i ;
- h_i - Dimensão paralela ao eixo cartesiano Z do elemento i .

A título de exemplo, apresenta-se a Figura 3.33 que ilustra as dimensões e referencial local para o elemento 1 do perfil em análise:

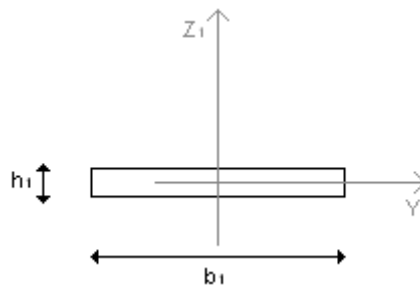


Figura 3.33: Dimensões h e b e referencial local do elemento 1.

Assim por aplicação das equações 3.5 e 3.6:

$$I_{Y_1} = 1,97 \times 10^2 mm^4 ; I_{Z_1} = 1,69 \times 10^4 mm^4$$

$$I_{Y_2} = 3,97 \times 10^5 mm^4 ; I_{Z_2} = 5,65 \times 10^2 mm^4$$

$$I_{Y_3} = 1,97 \times 10^2 mm^4 ; I_{Z_3} = 1,69 \times 10^4 mm^4$$

Posteriormente, recorrendo às expressões 3.3 e 3.4, obtêm-se os momentos de inércia da secção transversal simplificada:

$$I_Y = 1,43 \times 10^{-6} m^4 ; I_Z = 1,39 \times 10^{-7} m^4$$

Estes valores são iguais aos valores obtidos para a secção simplificada recorrendo à ferramenta de software CAD, no entanto é de notar que apesar de próximos não correspondem aos valores apresentados no Quadro 3.4 pois esses valores referem-se à secção completa.

As áreas de corte, ou seja as áreas resistentes ao esforço transversal em cada direcção (\$A_{SY}\$ e \$A_{SZ}\$), foram contabilizadas considerando os segmentos rectos da secção na respectiva direcção, ou seja desprezando os vértices curvos resultantes da dobragem, conforme se apresenta a título de exemplo na Figura 3.34 para o perfil BCM1.

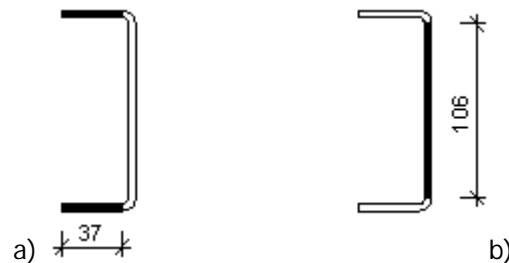


Figura 3.34: Áreas de corte. a) Segundo Y (ASY); b) Segundo Z (ASZ).

Como já referido anteriormente, como os perfis metálicos em análise apresentam secções transversais muito esbeltas, têm rigidez de torção muito pequena. Por isso no modelo numérico, admitiu-se que os perfis metálicos em estudo apresentam rigidez de torção nula.

Para modelar as chapas laterais foram utilizados elementos finitos planos com a espessura (e) da respectiva chapa. No entanto, como as chapas são quinadas apresentam uma rigidez superior à que os elementos finitos planos podem conferir ao modelo, pelo que, para efeitos de modelação, foi considerada a existência de elementos rigidificantes capazes de simular a rigidez conferida pelas dobragens da chapa. Estes elementos rigidificantes são modelados através de elementos finitos lineares espaçados de 300 mm, com área e momento de inércia segundo a direcção do Eixo Y, suficientes para garantir a rigidez conferida pela chapa nessa direcção, segundo a qual os elementos finitos planos com a espessura da chapa não simulam, por si só, a rigidez da chapa. Torna-se assim necessário conhecer o momento de inércia e a área de um troço de 300 mm da secção transversal:

$$A' = A \cdot \frac{Esp.}{L} \quad (3.7)$$

$$I'_Y = I_Y \cdot \frac{L \cdot Esp.}{L} \quad (3.8)$$

Onde:

- Esp. - Espaçamento entre elementos rigidificantes (0,300 m);
- L - Comprimento total da chapa [m];
- A - Área total de uma chapa com espessura "e" e comprimento L [m²];
- A' - Área de um troço de chapa, com comprimento "Esp." [m²];
- I_Y - Momento de inércia da chapa com espessura "e" e comprimento L [m⁴];
- I'_Y - Momento de inércia de um troço da chapa, com comprimento "Esp." [m⁴].

Quadro 3.5: Propriedades geométricas das chapas (sw e few).

Chapas	A	I _Y	I _Z	I' _Y	A'	e
	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ²]	[m]
sw1/sw3	2,36E-03	4,49E-07	2,45E-04	1,21E-07	6,35E-04	2,00E-03
sw2	1,89E-03	3,67E-07	1,96E-04	9,88E-08	5,08E-04	1,60E-03
few	2,49E-03	9,44E-07	2,13E-04	2,78E-07	7,33E-04	2,00E-03

As dimensões dos elementos rigidificantes, admitindo que apresentam uma secção transversal rectangular, são obtidas considerando que o momento de inércia (I'_Y) da chapa resulta da soma do momento de inércia da superfície representada pelos elementos finitos planos, com o momento de inércia conferido pelo elemento rigidificante. Assim as dimensões b e h dos elementos rigidificantes são solução do seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} A' = Esp. \cdot e + b \cdot h \\ I'_Y = \frac{Esp. \cdot e^3}{12} + \frac{b \cdot h^3}{12} \end{cases} \quad (3.9)$$

onde:

- b - Dimensão segundo Y dos elementos rigidificantes [m];
- h - Dimensão segundo Z dos elementos rigidificantes [m].

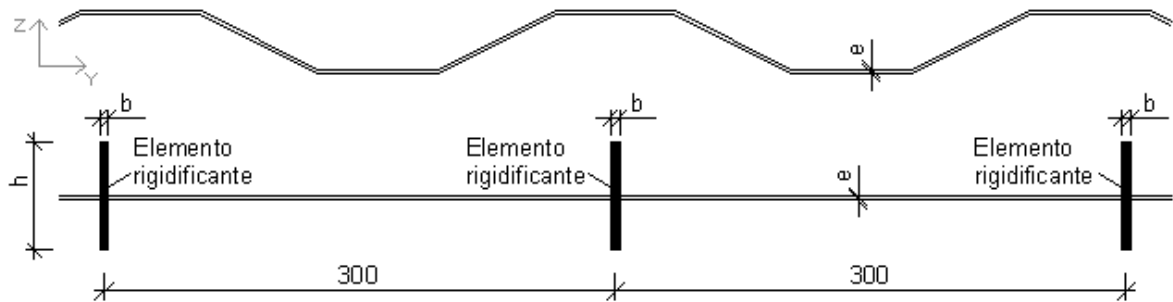


Figura 3.35 : Posição e dimensões dos elementos rigidificantes

Quadro 3.6: Propriedades geométricas dos elementos rigidificantes.

Chapas	b	h	A	I_y	I_z	A_{sy}	A_{sz}
	[m]	[m]	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ²]	[m ²]
sw1/sw3	1,69E-04	2,05E-01	3,46E-05	1,21E-07	8,20E-14	2,88E-05	2,88E-05
sw2	1,38E-04	2,05E-01	2,83E-05	9,90E-08	4,48E-14	2,36E-05	2,36E-05
few	3,47E-04	2,07E-01	7,17E-05	2,56E-07	7,18E-13	5,98E-05	5,98E-05

A aplicação, no modelo numérico, de elementos rigidificantes apenas foi considerada para as chapas laterais (sw) e para a chapa da face frontal (few). Para a chapa da cobertura como é prensada nas extremidades, não sendo quinada em toda a sua largura, torna-se complicado determinar a sua rigidez, e por isso não é considerada do ponto de vista resistente, é apenas modelada com elementos finitos planos, para os quais não foi considerada a espessura da chapa, mas uma espessura equivalente capaz de garantir a mesma área de secção transversal por unidade de comprimento dessa mesma secção transversal (2,17 mm).

A chapa fp representa-se neste modelo numérico por uma superfície em elementos finitos planos com a espessura real, no entanto as extremidades dobradas da chapa representam-se por elementos finitos barra, com as propriedades geométricas reais da secção transversal dessas extremidades (BFP).



Figura 3.36: Extremidades da chapa fp (BFP).

Quadro 3.7: Propriedades geométricas dos elementos finitos barra dos perfis BFP.

Elemento	A	I _y	I _z	A _{sy}	A _{sz}
	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ²]	[m ²]
BFP	8,42E-04	1,83E-06	2,67E-07	2,23E-04	6,07E-04

No caso da chapa fp, assim como das restantes chapas e de todas as secções transversais com elementos (troços rectos) inclinados, ou seja elementos em que o sistema de eixos local (Y'_i, Z'_i) apresenta direcções diferentes das do sistema de eixos global (Y, Z), torna-se necessário calcular os momentos de inércia através da rotação do sistema de eixos, para ser possível a aplicação do teorema de Steiner, uma vez que este apenas é válido para eixos paralelos. Assim os momentos de inércia de um elemento relativos ao sistema de eixos local (Y_i, Z_i) rodado de um ângulo φ , relativamente ao sistema de eixos (Y'_i, Z'_i), determina-se pelas expressões:

$$I_{Y_i} = \frac{I_{Y'_i} + I_{Z'_i}}{2} + \frac{I_{Y'_i} - I_{Z'_i}}{2} \cdot \cos(2\varphi) + I_{Y'_i Z'_i} \cdot \sin(2\varphi) \quad (3.10)$$

$$I_{Z_i} = \frac{I_{Y'_i} + I_{Z'_i}}{2} - \frac{I_{Y'_i} - I_{Z'_i}}{2} \cdot \cos(2\varphi) - I_{Y'_i Z'_i} \cdot \sin(2\varphi) \quad (3.11)$$

$$I_{Y_i Z_i} = \frac{I_{Y'_i} - I_{Z'_i}}{2} \cdot \sin(2\varphi) + I_{Y'_i Z'_i} \cdot \cos(2\varphi) \quad (3.12)$$

sendo:

- $I_{Y'_i}$: Momento de inércia da área do elemento i , em relação ao eixo Y'_i , que passa pelo centro de gravidade dessa mesma área, determinado por:

$$I_{Y'_i} = \frac{b' \cdot h^3}{12} \quad (3.13)$$

- $I_{Z'_i}$: Momento de inércia da área do elemento i , em relação ao eixo Z'_i , que passa pelo centro de gravidade dessa mesma área, determinado por:

$$I_{Z'_i} = \frac{h' \cdot b^3}{12} \quad (3.14)$$

- $I_{Y'_i Z'_i}$: Produto de inércia da área do elemento i em relação ao sistema de eixos ($Y'_i; Z'_i$), que tratando-se de um rectângulo é nulo, no entanto é determinado por:

$$I_{Y'_i Z'_i} = \int_A Y'_i \cdot Z'_i dA \quad (3.15)$$

- φ : Ângulo de rotação entre o sistema de eixos $(Y_i; Z_i)$ e o sistema de eixos $(Y'_i; Z'_i)$;
- I_{Y_i} : Momento de inércia da área do elemento i , em relação ao eixo Y_i , que passa pelo centro de gravidade dessa mesma área;
- I_{Z_i} : Momento de inércia da área do elemento i , em relação ao eixo Z_i , que origem no centro de gravidade dessa mesma área;
- I_{Z_i} : Produto de inércia da área do elemento i , em relação ao sistema de eixos $(Y_i; Z_i)$, com origem no centro de gravidade dessa mesma área;

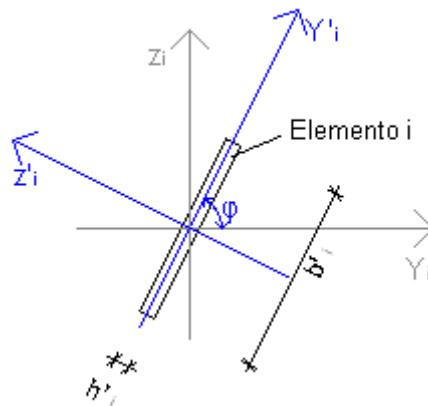


Figura 3.37: Rotação do sistema de eixos.

3.4.1.4 Propriedades do material

Foram consideradas no modelo numérico do contentor as propriedades do aço considerando um material isotrópico, com módulo de elasticidade igual a 210 GPa, coeficiente de Poisson igual a 0,30 e massa volúmica de 7850 kg/m³.

3.4.1.5 Condições de apoio

Admitiu-se a restrição de todas as translações nos 4 vértices inferiores do contentor, considerando-os apoiados. Justifica-se esta opção pelo facto de os contentores quando empilhados apoiarem uns sobre os outros nestas zonas (peças de canto), e admite-se a hipótese de que em situações de construção esta tipologia de apoio seja vantajosa.

3.4.1.6 Carregamento aplicado

Foram considerados 10 casos de carga, considerando cargas distribuídas em superfícies, cargas distribuídas linearmente, e cargas concentradas, tanto horizontais como verticais, conforme se descreve seguidamente:

- Caso de carga 1: Quatro cargas concentradas verticais, com sentido descendente de 100 kN aplicadas nos quatro vértices superiores do contentor, simulando a transferência de cargas por uma ligação pelas peças de canto a um contentor localizado superiormente;
- Caso de carga 2: Cargas verticais de 10 kN/m, com sentido descendente distribuídas linearmente sobre os perfis *TSR*, na face superior do contentor, simulando a reacção vertical de painéis de laje ao nível da cobertura do contentor, ou a transferência de cargas por uma ligação continua em todo o contorno a um contentor localizado superiormente;
- Caso de carga 3: Duas cargas concentradas horizontais de 100 kN, aplicadas nos vértices superiores de uma face lateral, simulando a transferência de cargas por uma ligação a outro contentor pelas peças de canto;
- Caso de carga 4: Carga horizontal de 10 kN/m, distribuída linearmente no perfil lateral superior (*TSR*), simulando a transferência de carga por uma ligação continua ao perfil *TSR* de outro contentor localizado lateralmente;
- Caso de carga 5: Carga horizontal de 1 kN/m², distribuída na superfície da face lateral do contentor, simulando por exemplo a acção do vento;

- Caso de carga 6: Duas cargas concentradas horizontais de 100 kN, aplicadas nos vértices superiores da face da porta, simulando a transferência de cargas pela ligação a outro contentor;
- Caso de carga 7: Carga horizontal distribuída linearmente de 10 kN/m, aplicada perpendicularmente ao perfil superior da face da porta (DH), simulando a transferência de carga pela ligação contínua a outro contentor por esse perfil, ou por uma sollicitação horizontal na face da porta;
- Caso de carga 8: Duas cargas horizontais concentradas de 100 kN, aplicadas nos vértices superiores da face frontal, simulando a transferência de cargas por uma ligação a outro contentor pelas peças de canto;
- Caso de carga 9: Carga horizontal distribuída linearmente de 10 kN/m, aplicada perpendicularmente ao perfil superior da face frontal (FH), simulando a transferência de carga por uma ligação contínua a outro contentor por esse perfil, ou por uma sollicitação horizontal na face frontal;
- Caso de carga 10: Carga horizontal distribuída na superfície da face frontal do contentor, simulando a sollicitação por parte de uma acção horizontal nesta face.

Com a aplicação do carregamento encontra-se concluído o modelo numérico, conforme demonstrado na Figura 3.38.

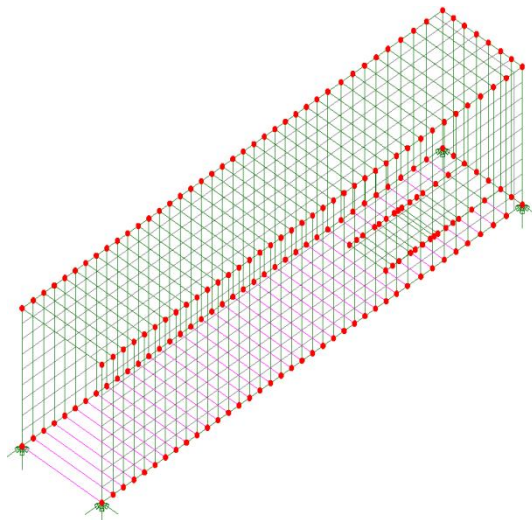


Figura 3.38: Modelo numérico do contentor 40'HC.

3.4.1.7 Resultados

Após o cálculo da estrutura, através da aplicação *LUSAS Solver*, visualizaram-se os resultados em forma de diagrama de cores para todas as superfícies, avaliando os seguintes esforços:

- M_x : Momento flector, que actua na face ortogonal ao eixo coordenado segundo x e é produzido por componentes de tensão segundo x ;
- M_y : Momento flector que actua na face ortogonal ao eixo coordenado y e é o produzido por componentes de tensão segundo y ;
- N_x : Esforço normal, que actua na face ortogonal ao eixo coordenado x e é produzido por componentes de tensão segundo x ;
- N_y : Esforço normal, que actua na face ortogonal ao eixo coordenado y e é produzido por componentes de tensão segundo y .
- N_{xy} : Esforço de corte.

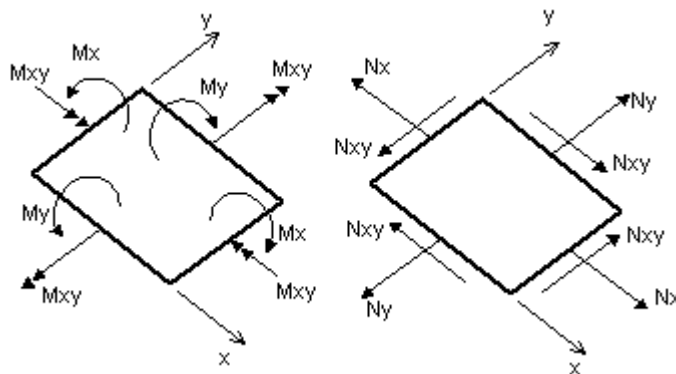


Figura 3.39: Convenção de sinais dos esforços avaliados, para os elementos finitos planos.

Avaliando os resultados obtidos, apresentados no anexo A.1 (Anexo disponível apenas na versão em formato digital desta dissertação devido à grande quantidade de diagramas avaliados), verifica-se que às chapas das paredes laterais e da face frontal é lhes conferido, fundamentalmente, um comportamento de placa, apresentando esforços principalmente no seu plano médio (N_x , N_y , N_{xy}). A título de exemplo apresenta-se a vista geral do diagrama de cores do esforço M_x referente ao caso de carga 1, na Figura 3.40.

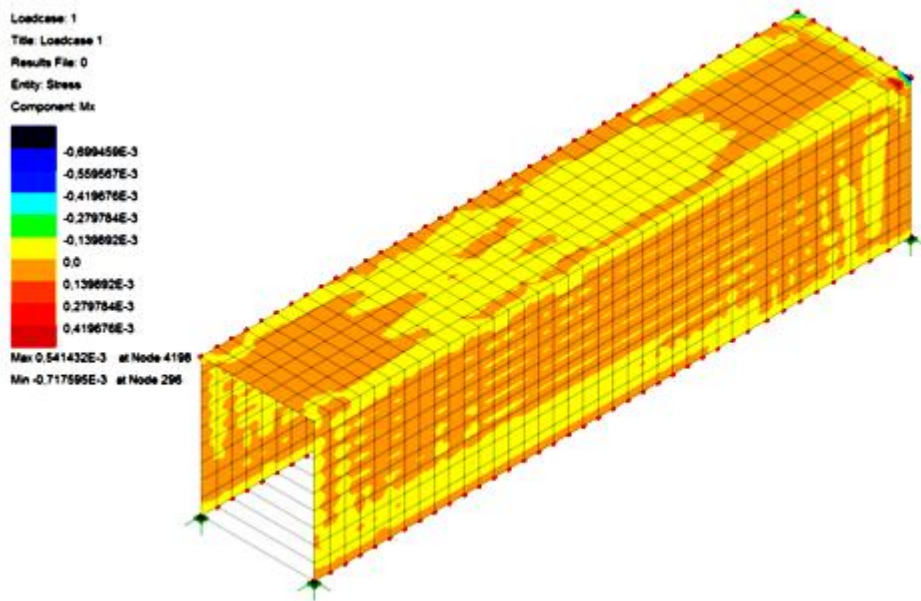


Figura 3.40: Diagrama de cores do esforço M_x , referente ao caso de carga 1.

No caso dos elementos finitos barra, foram avaliados os seguintes esforços:

- F_x : Esforço axial;
- F_y : Esforço transversal, segundo y ;
- F_z : Esforço transversal, segundo z ;
- M_y : Momento flector, segundo y ;
- M_z : Momento flector, segundo z .

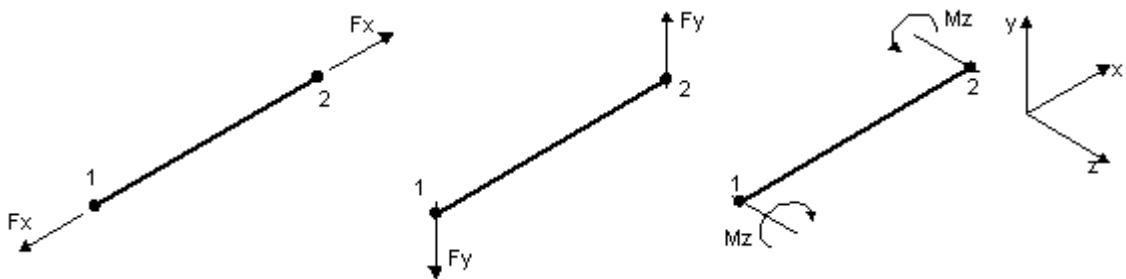


Figura 3.41: Convenção de sinais dos esforços avaliados para os elementos finitos lineares.

Através dos resultados obtidos, conclui-se que o esforço preponderante nos perfis metálicos modelados por elementos finitos lineares é o esforço axial, de compressão ou de tracção, e por isso estes perfis apresentam, fundamentalmente, comportamento de bielas e tirantes. A título de exemplo apresenta-se o diagrama do esforço F_x referente ao caso de carga 1, na Figura 3.42.

Assim, a classificação de secções de perfis metálicos realiza-se em função de:

- Classe do aço;
- Esforços actuantes;
- Relação entre o comprimento e a espessura (c/t), de todos os elementos total ou parcialmente comprimidos.

A classe do aço é considerada através de um parâmetro ϵ , determinado em função da tensão de cedência f_y [MPa], através da equação:

$$\epsilon = \sqrt{235/f_y} \quad (3.16)$$

Quadro 3.8: Parâmetro ϵ .

f_y	ϵ
[MPa]	[-]
343	0,83

Os esforços actuantes são considerados através de valores máximos limite da relação entre o comprimento e a espessura (c/t) dos elementos a valores máximos em função da classe de secção, indicados no Quadro 5.2 da EN 1991-1-1, para cada tipo de elemento (elementos internos (almas) e banzos em consola. A relação c/t considera as dimensões geométricas de cada elemento, a espessura (t) e o comprimento (c).

Assim considerando elementos internos (Alma) sujeitos à compressão os valores limite da relação c/t apresentam-se no Quadro 3.9.

Quadro 3.9: Relações máximas c/t de elementos internos sujeitos a compressão.

Classe 1	$c/t \leq 33\epsilon$	27,39
Classe 2	$c/t \leq 38\epsilon$	31,54
Classe 3	$c/t \leq 42\epsilon$	34,86

Para banzos em consola sujeitos a compressão os valores limite da relação c/t apresentam-se no Quadro 3.10.

Quadro 3.10: Relações máximas c/t de banzos em consola solicitados à compressão.

Classe 1	$c/t \leq 9\epsilon$	7,45
Classe 2	$c/t \leq 10\epsilon$	8,28
Classe 3	$c/t \leq 14\epsilon$	11,59

Geralmente a classe de uma secção corresponde à maior classe, a mais desfavorável, dos elementos comprimidos da secção, ou seja a do elemento com maior comprimento admitindo secções com espessura uniforme. Nos casos em estudo são secções de classe 4 todas as que apresentem pelo menos um elemento de classe 4. Quando a relação c/t é superior aos limites da classe 3 a secção pertence, logicamente, à classe 4.

Apresenta-se seguidamente o processo de classificação da secção transversal do perfil BCM2, a classificação das restantes secções apresenta-se no anexo A.2.2, uma vez que foi efectuada de forma análoga.

Para classificar a secção, divide-se esta em elementos, classificando-os individualmente, tal como se apresenta na Figura 3.43.

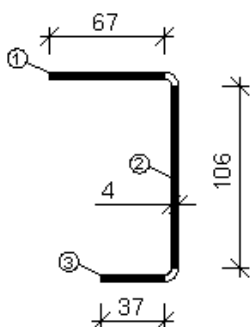


Figura 3.43: Divisão em elementos da secção transversal do perfil BCM2.

Conhecidas as dimensões da secção, classificam-se os vários elementos em função dos valores limite da relação c/t , apresentados anteriormente.

Quadro 3.11: Classificação dos elementos da secção transversal do perfil BCM2, quando sujeitos à compressão.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	67,00	4,00	16,75	Classe 4
2	Interno	106,00	4,00	26,50	Classe 1
3	Banzo	37,00	4,00	9,25	Classe 3

Como demonstra o Quadro 3.11, o elemento 1 do perfil BCM2 é de classe 4, pelo que a secção desse perfil é também de classe 4. São também de classe 4 as secções dos perfis DS, $DH^{40\text{HC}}$, $DH^{20\text{HC}}$, $FH^{40\text{HC}}$, BCM2, BCM5, BCM6, fp, few, $sw_{1/3}^{40\text{HC}}$, $sw_{1/3}^{20\text{HC}}$, $sw_2^{40\text{HC}}$, $sw_2^{20\text{HC}}$. A classificação destas secções é apresentada no anexo A.2.2.

3.4.2.2 Secções efectivas

Conforme referido anteriormente, as secções de classe 4 são incapazes de mobilizar toda a sua capacidade resistente elástica devido a fenómenos de instabilidade local. Por isso a EN1993-1-1 preconiza a avaliação da resistência através da consideração de uma secção efectiva reduzida, evitando a consideração directa desses fenómenos, excluindo as áreas da secção passíveis de instabilizar localmente. Assim a secção efectiva é uma secção reduzida,

calculada através do procedimento descrito pela EN1993-1-5 para secções transversais de classe 4. Isto porque o dimensionamento de estruturas com secções desta classe é mais complexo comparativamente a secções transversais das classes inferiores, uma vez que ocorre encurvadura local antes de ser atingida a tensão de cedência do aço. Pelo que seria necessário conhecer a resistência à encurvadura local, tratando-se de um processo complexo que não constitui uma opção para utilização corrente em projecto de estruturas metálicas. Assim pela regulamentação referida, o efeito de encurvadura local é incorporado de forma indirecta no dimensionamento através da determinação de secções efectivas. Esta determinação é efectuada elemento a elemento, com base nas respectivas larguras efectivas.

A área efectiva de uma placa (elemento da secção), ou a parte comprimida de uma placa ($A_{c,eff}$) com área A_c é determinada pela equação (cláusula 4.4 da EN1993-1-5):

$$A_{c,eff} = \rho_c \cdot A_c \quad (3.17)$$

onde ρ_c é o factor de redução para encurvadura da placa, determinado para elementos internos comprimidos através da expressão:

$$\rho_c = 1, se \bar{\lambda}_p \leq 0.673 \quad (3.18)$$

$$\rho_c = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2}, se \bar{\lambda}_p > 0.673 e (3 + \psi) \geq 0 \quad (3.19)$$

e para elementos externos, por:

$$\rho_c = 1, se \bar{\lambda}_p \leq 0.748 \quad (3.20)$$

$$\rho_c = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.188}{\bar{\lambda}_p^2}, se \bar{\lambda}_p > 0.748 \quad (3.21)$$

onde o coeficiente de esbelteza adimensional de uma placa ($\bar{\lambda}_p$), é determinado pela expressão:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28.4 \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} \quad (3.22)$$

sendo:

- ψ : quociente entre as tensões máximas e mínimas na placa, determinado de acordo com os quadros 4.1 e 4.2 da EN 1993-1-5, representados no Quadro 3.12 e no Quadro 3.13 respectivamente;

- \bar{b} : é a largura de cálculo da placa, correspondendo no caso de perfis enformados a frio à distância entre os pontos intermédios dos vértices adjacentes do elemento (b_p), conforme ilustrado na figura 5.3 da cláusula 5.1 da EN 1993-1-3, ilustrada na Figura 3.44 deste documento;

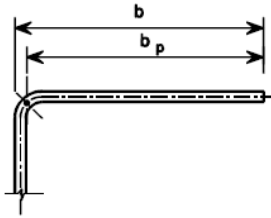


Figura 3.44: Largura de cálculo da placa no caso de elementos enformados a frio ([2] CEN, 2004).

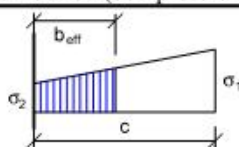
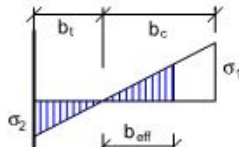
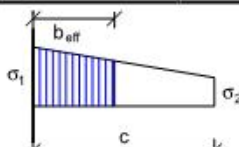
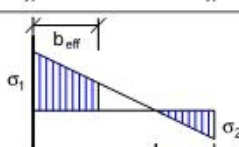
- t : espessura da placa;
- k_σ : coeficiente de encurvadura da placa, determinado em função de ψ e das condições de fronteira, através do Quadro 3.12 e do Quadro 3.13.
- σ_{cr} : tensão crítica elástica da placa, determinada através da expressão:

$$\sigma_{cr} = k_\sigma 189800 \left(\frac{t}{\bar{b}}\right)^2 \quad (3.23)$$

Quadro 3.12: Expressões para determinação da largura efectiva em elementos internos ([3] CEN, 2003).

Stress distribution (compression positive)				Effective ^p width b_{eff}		
				$\psi = 1$: $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$		
				$1 > \psi > 0$: $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
				$\psi < 0$: $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Buckling factor k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

Quadro 3.13: Expressões para determinar a largura efectiva em elementos externos ([3] CEN, 2003).

Stress distribution (compression positive)		Effective ^p width b_{eff}			
		$1 \geq \psi \geq 0$:			
		$b_{eff} = \rho c$			
		$\psi < 0$:			
		$b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 - \psi - 3$	
Buckling factor k_σ	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$1 \geq \psi \geq 0$:			
		$b_{eff} = \rho c$			
		$\psi < 0$:			
		$b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Buckling factor k_σ	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

A largura efectiva (*Effective width*) (b_{eff}) é assim determinada de acordo com os quadros anteriores em função da distribuição de tensões (*Stress distribution*), e considerando o coeficiente de encurvadura (*Buckling factor*) adequado.

Para exemplificar a aplicação do procedimento descrito anteriormente, apresenta-se o cálculo da secção efectiva do perfil BCM6, uma vez que apresenta uma secção transversal de classe 4 como demonstrado em 3.4.2.2. No perfil BCM6, o único elemento de classe 4 é o banzo superior, e por isso é este que sofre uma redução, como se trata de um banzo aplicam-se as expressões do Quadro 3.13, admitindo que se encontra sujeito a uma distribuição de tensões uniforme (estado de compressão pura), o coeficiente de encurvadura é:

$$\sigma_1 = \sigma_2 \Rightarrow \psi = 1 \Rightarrow k_\sigma = 0,43$$

O coeficiente de esbelteza adimensional, determinado através da expressão (3.22):

$$\bar{\lambda}_p = \frac{71/4}{28,4 \times 0,83 \times \sqrt{0,43}} = 1,15 > 0,748$$

O factor de redução ρ_c para a encurvadura obtém-se da expressão (3.21):

$$\rho_c = \frac{1.15 - 0.188}{1.15^2} = 0.73$$

Do Quadro 3.13:

$$b_{eff} = \rho \cdot c = 0.73 \times 71 = 51.83 \text{ mm}$$

Admite-se que c é a largura do elemento (placa) (b_p), que de forma conservativa foi contabilizado considerando o comprimento total (b) do elemento subtraindo a espessura (t), ou seja trata-se de um valor ligeiramente menor em relação ao determinado pelo processo demonstrado na Figura 3.44.

Quadro 3.14: Determinação da largura efectiva (b_{eff}) do perfil BCM2.

Elemento	Tipo	t	b	b_p	Ψ	k_σ	$\bar{\lambda}_p$	ρ_c	b_{eff}
		[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[mm]
1	Banzo	4	75	71	1	0,43	1,15	0,72665	51,59

Apresenta-se na

Figura 3.45, a secção transversal efectiva do perfil BCM2:

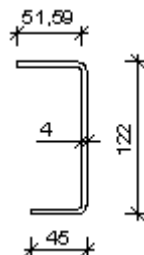


Figura 3.45: Secção transversal efectiva do perfil BCM2.

As secções efectivas e a respectiva determinação para as restantes secções de classe 4 são apresentadas no Anexo A.

3.4.3 Propriedades geométricas das secções transversais

Definidas as secções efectivas das secções torna-se necessário determinar as suas propriedades geométricas. Da mesma forma que exemplificado em 3.4.1.3, determinaram-se as propriedades geométricas de todas as secções transversais apresentadas em 3.2. Considerando as secções reduzidas no caso das secções transversais classificadas como classe 4, e as secções transversais reais no caso das secções das restantes classes.

Quadro 3.15: Propriedades geométricas de todas as secções transversais

Perfil	A	I_y	I_z	I_{yz}	A_{sy}	A_{sz}
	[mm ²]	[mm ⁴]	[mm ⁴]	[mm ⁴]	[mm ²]	[mm ²]
DS	1675,5	4833612,6	4463540,2	2199879,8	870,7	652,3
DCP	3812,5	1124663,3	17965937,4	941122,5	2568,0	702,0
DH ^{40HC}	1964,1	3985802,4	4850730,8	823281,7	1080,7	808,0
DH ^{20HC}	1882,7	4846884,9	4314118,3	56479,3	837,4	916,0
FH ^{40HC}	757,9	920049,4	469021,0	-516672,8	398,5	284,0
FH ^{20HC} ; FS ^{40HC} ; TSR	660,8	351348,3	351348,3	0,0	288,0	288,0
FS ^{20HC}	1262,8	3588213,7	1163629,5	-742131,7	490,6	620,0
FCP	2980,1	12792553,6	14479868,0	5394619,4	1350,0	1206,0
BSR ^{40HC}	1099,9	3183516,0	522963,4	-810664,1	353,3	555,8
BSR ^{20HC}	1013,4	3312811,3	135757,4	193784,2	270,0	648,0
BCM1	795,4	1672736,2	143693,8	0,0	296,0	424,0
BCM2	836,8	1809772,7	203500,3	-90231,6	337,4	424,0
BCM3	777,4	28662,5	743299,7	0,0	369,0	148,5
BCM4	612,9	1528256,1	142073,2	0,0	296,0	406,0
BCM5	818,8	1654899,0	201154,9	-86210,4	337,4	406,0
BCM6	1638,1	5026148,0	3141029,4	-1557849,4	788,0	659,3
fp	246556,0	9142006,4	686424535,0	0,0	592,0	848,0
few	1922,6	674355,0	153158366,0	-19289,6	-	-
SW _{1/3} ^{40HC}	2127,2	418962,9	214936996,0	0,0	-	-
SW _{1/3} ^{20HC}	2204,2	437437,9	219094257,0	334808,5	-	-
SW ₂ ^{40HC}	1399,8	285281,6	142939460,0	0,0	-	-
SW ₂ ^{20HC}	1466,2	306404,8	146294735,0	0,0	-	-

Sendo que I_{YZ} é o produto de inércia relativamente ao sistema de eixos (Y;Z), que passa pelo centro de gravidade da secção transversal do respectivo perfil, determinado com recurso a uma ferramenta de software CAD, mas que pode ser determinado por aplicação do teorema de Steiner:

$$I_{YZ} = \sum_i (I_{Y_i Z_i} + A_i \cdot (Y_{C.G.} - Y_{C.G.i}) \cdot (Z_{C.G.} - Z_{C.G.i})) \quad (3.24)$$

Em que $I_{Y_i Z_i}$ é nulo visto que todos os elementos são simétricos por serem rectângulos, no entanto apenas as secções também simétricas apresentam produto de inércia (I_{YZ}) nulo. O produto de inércia $I_{Y_i Z_i}$ relativo ao sistema de eixos local do elemento (Y_i;Z_i) é determinado pela expressão (3.25):

$$I_{Y_i Z_i} = \int_A Y_i \cdot Z_i dA \quad (3.25)$$

Tendo em vista a verificação da segurança determinaram-se também os módulos elásticos de flexão das mesmas secções transversais através das equações:

$$W_{el,Y} = \frac{I_Y}{\max|Z|} \quad (3.26)$$

$$W_{el,Z} = \frac{I_Z}{\max|Y|} \quad (3.27)$$

onde:

- $W_{el,Y}$: Módulo elástico de flexão em torno do eixo Y que passa pelo centro de gravidade da secção;
- $W_{el,Z}$: Módulo elástico de flexão em torno do eixo Z que passa pelo centro de gravidade da secção;
- $\max |Y|$: Distância, segundo o eixo Y, do centro de gravidade à fibra mais distante;
- $\max |Z|$: Distância, segundo o eixo Z, do centro de gravidade à fibra mais distante;

Quadro 3.16: Módulos elásticos de todas as secções transversais dos contentores marítimos tipo 20'HC e 40'HC.

Perfil	max Y	max Z	$W_{el,Y}$	$W_{el,Z}$
	[mm]	[mm]	[mm ³]	[mm ³]
DS	116,7	92,7	52170,7	38248,0
DCP	151,5	23,4	48042,0	118602,7
DH ^{40'HC}	104,2	64,4	61862,5	46565,5
DH ^{20'HC}	97,3	70,8	68497,5	44324,7
FH ^{40'HC}	57,9	45,8	20106,0	8094,9
FH ^{20'HC} ; FS ^{40'HC} ; TSR	30,0	30,0	11711,6	11711,6
FS ^{20'HC}	79,4	90,4	39701,4	14664,5
FCP	153,2	145,1	88213,5	95422,4
BSR ^{40'HC}	61,3	88,5	35955,7	8528,4
BSR ^{20'HC}	8,6	87,3	37951,8	3447,4
BCM1	33,7	61,0	27421,9	4265,2
BCM2	42,1	63,9	28313,1	4831,4
BCM3	50,0	19,3	1488,2	14866,0
BCM4	33,5	58,8	26012,9	4244,8
BCM5	41,9	61,6	26856,5	4804,3
BCM6	104,1	91,6	54864,6	30176,1
fp	579,5	92,3	99037,2	1184511,7
few	475,5	23,3	28943,9	322069,5
SW _{1/3} ^{40'HC}	547,0	17,7	23606,6	392937,8
SW _{1/3} ^{20'HC}	555,0	18,7	23354,9	394764,4
SW ₂ ^{40'HC}	542,6	16,9	16838,0	263447,5
SW ₂ ^{20'HC}	542,3	18,2	16807,7	269767,2

3.5 Conclusão

Conclui-se, neste capítulo, que os contentores marítimos em estudo são compostos por vários perfis metálicos. Com secções transversais não comerciais muito variadas, umas mais complexas que outras, algumas com a particularidade de serem classificadas como secções de classe 4 e que por isso sofrem uma redução devida à consideração indirecta de fenómenos de encurvadura local, à luz da regulamentação europeia para Estruturas Metálicas (EN 1993). O cálculo das propriedades geométricas destas secções constitui um processo moroso e complexo devido à variedade de secções que compõe os contentores, e também por não estarem em causa perfis metálicos comerciais mais comuns. Saliencia-se o facto de o esforço preponderante nos perfis metálicos dos contentores para os carregamentos analisados ser o esforço axial. Visto que o estado de compressão pura é o mais desfavorável do ponto de

vista de redução das secções transversais de classe 4. Pelo que, apesar de não estarem consideradas as secções reduzidas para outros tipos de esforços, a análise desses esforços através das secções consideradas deverá ser um processo conservativo, visto que as secções transversais de classe 4 nesses casos sofrerão uma redução inferior à que assim foi considerada.

A análise apresentada neste capítulo, em tudo o que respeita ao contentor tipo 40'HC, devido à sua complexidade e morosidade foi realizada em colaboração ([6] Lourenço, 2010). No que respeita à análise do contentor tipo 20'HC o valor de todas as propriedades geométricas e mecânicas apresentadas neste capítulo resultam e constam da análise apresentada nesse mesmo trabalho ([6] Lourenço, 2010).

4. Apresentação do caso de estudo

4.1 Introdução

Apresenta-se neste capítulo a moradia em análise, descreve-se a arquitectura da mesma, a distribuição de todas as divisões e áreas. Descreve-se sucintamente a concepção estrutural apresentando a disposição dos contentores que a compõe, a eliminação de elementos a que estes serão submetidos de forma a possibilitar a sua aplicação na moradia, de acordo com a arquitectura.

4.2 Arquitectura

O presente documento refere-se ao projecto de uma moradia hipoteticamente localizada na cidade da Guarda. O edifício com dois pisos, acima da cota de soleira, destinados à habitação, apresenta uma área de 115 m² ao nível do rés-do-chão, e 157 m² ao nível do 1º andar, dos quais 85 m² são em zonas de terraço de cobertura do rés-do-chão. A moradia apresenta na totalidade aproximadamente 272 m², dos quais cerca de 188 m² são de área coberta. O rés-do-chão inclui hall, lavandaria, cozinha com sala de estar, um quarto com closet, duas divisões destinadas a instalações sanitárias, e uma outra destinada a arrumos. O 1º andar apresenta uma zona de hall com serventia de acesso a dois quartos, duas divisões destinadas a instalações sanitárias e dois terraços de cobertura do rés-do-chão. A cobertura é plana com aproximadamente 82 m². A moradia apresenta 2,54 m de pé direito em cada andar, e uma diferença entre a cota de soleira e o ponto mais elevado da cobertura de 6 m.

O rés-do-chão desenvolve-se em duas zonas, uma mais larga na zona do quarto, e outra mais estreita na zona da cozinha. O 1º andar desenvolve-se uniformemente ao longo de uma direcção oblíqua com o rés-do-chão. As zonas de extremidade do 1º andar encontram-se suspensas, formando zonas cobertas ao nível do rés-do-chão. Salienta-se o facto de existir um avanço do primeiro piso, e uma variação de geometria em altura que implica a existência de paredes coincidentes entre os dois pisos.

Os desenhos da arquitectura são apresentados no Anexo C, sugerindo-se que as chapas dos contentores não sejam visíveis nas fachadas da moradia, supondo-se a aplicação de um revestimento exterior.

4.3 Concepção Estrutural

Após o estudo de várias opções a solução escolhida para a a moradia é composta por 10 contentores marítimos remodelados, 5 do tipo 20'HC e 5 do tipo 40'HC. Ao nível do 1º andar são utilizados 6 contentores, 3 de cada um dos tipos em estudo, conforme a disposição ilustrada na Figura 4.1.

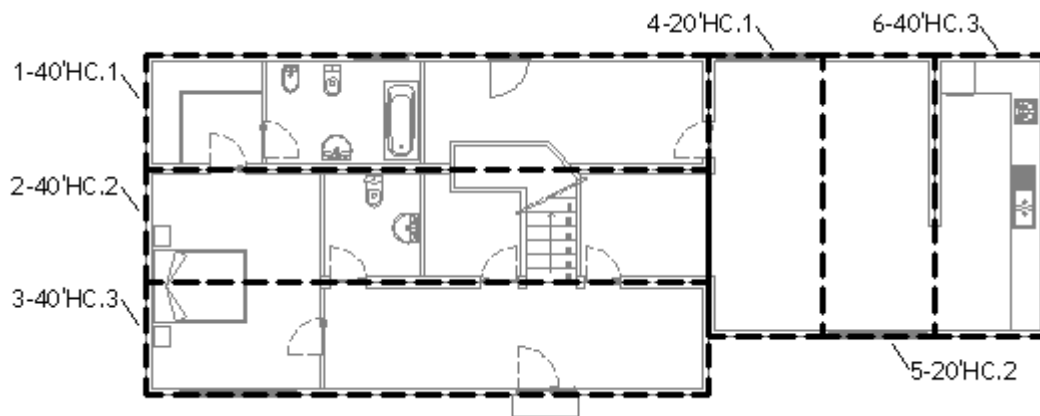


Figura 4.1: Disposição dos contentores marítimos ao nível do rés-do-chão.

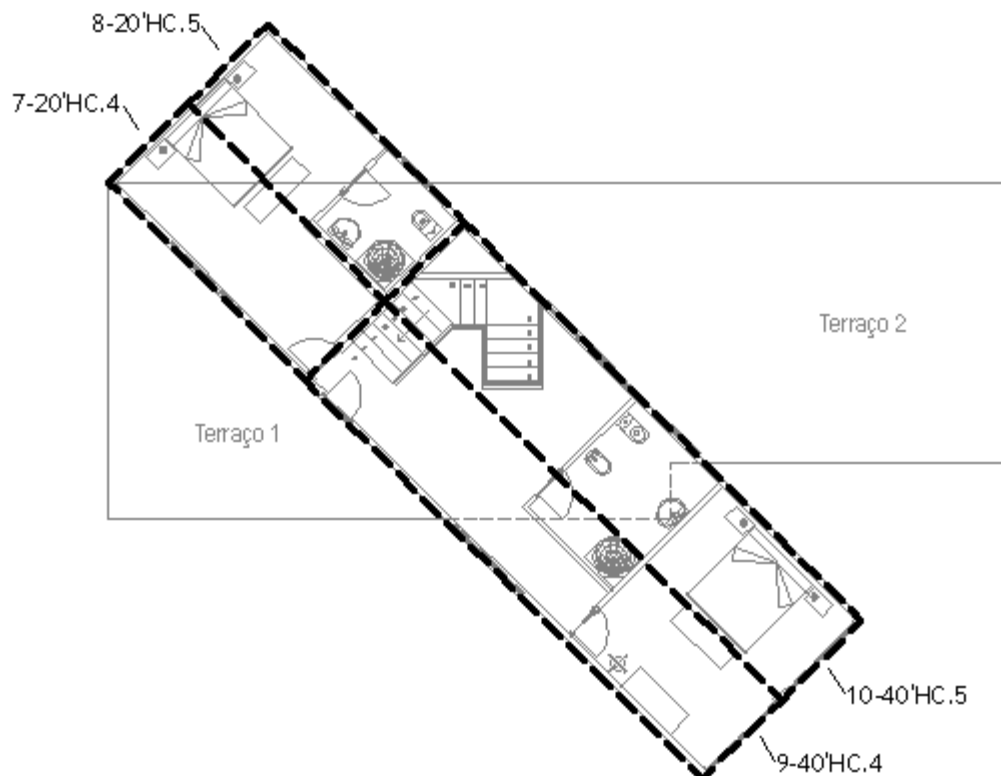


Figura 4.2: Disposição dos contentores marítimos ao nível do primeiro andar.

Tentou garantir-se a suspensão dos contentores 8,9, e 10 só com os respectivos perfis metálicos o que se demonstrou uma solução invencível. Pelo que o equilíbrio desses contentores será garantido pela sua suspensão com treliças laterais auxiliares que se desenvolvem ao longo de todo o comprimento dos contentores ao nível do primeiro andar, apoiadas por pilares com fundação no solo, localizados em zonas de paredes divisórias ou exteriores.

A resistência do pavimento nas zonas interiores será conferida pelas numerosas barras transversais que existem nas bases dos contentores. Como as chapas da cobertura dos contentores não serão aproveitadas do ponto de vista resistente, nas zonas dos terraços e da cobertura as lajes de piso serão compostas também por bases de contentores, provenientes de contentores mais danificados impossíveis de reutilizar completamente. Assim a cobertura do 1º andar é composta por 7 bases de contentores tipo 20'HC, colocadas na direcção perpendicular à dos contentores do 1º andar, assentes sobre as cordas superiores das treliças laterais. Como a distância entre as treliças é inferior ao comprimento das bases dos contentores tipo 20'HC, é necessário cortar estas nos perfis BSR eliminando os perfis BCM1 junto do elemento DS, unindo novamente os perfis BSR aproveitando as peças de canto como elementos de apoio e ligação nas treliças laterais. Conforme esquematizado na Figura 4.3.

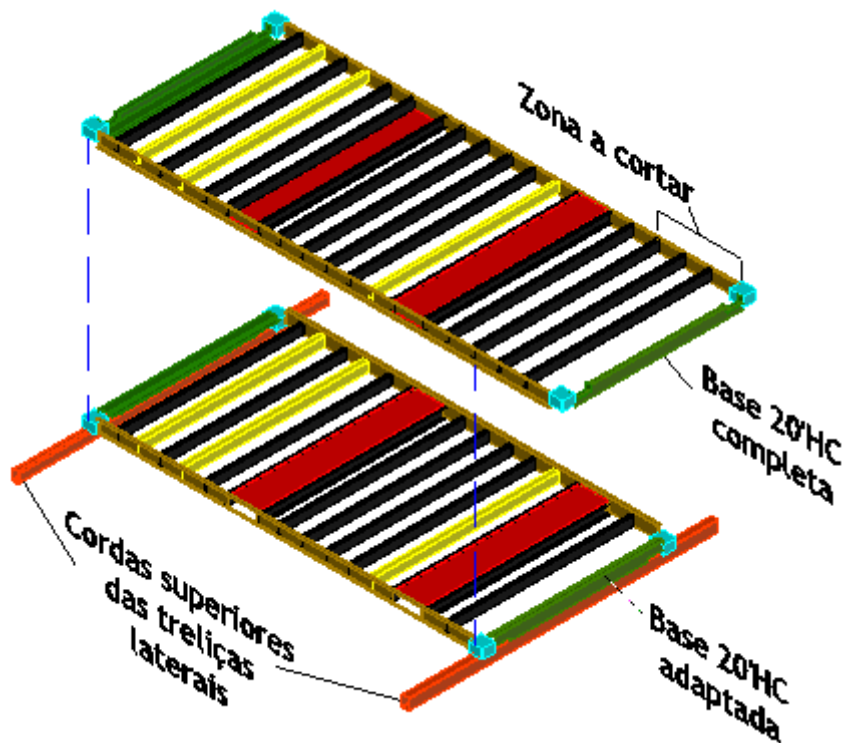


Figura 4.3: Esquema da adaptação das bases dos contentores 20'HC para aplicação na cobertura.

Os perfis BCM1 que são cortados das bases, são reaproveitados para aplicar na zona intermédia de ligação entre as duas bases paralelas que não se unem entre elas. No terraço 2 sobre os contentores da zona da cozinha e sala são colocadas 3 bases de contentores 20'HC

que ligam através das peças de canto aos contentores 4,5 e 6, no restante espaço desse terraço serão colocadas bases de contentores 20'HC que ligam nas peças de canto dos contentores 1 e 2, e são cortados na zona de intersecção com a corda inferior da treliça lateral à qual serão ligados. O restante dessas bases de contentores 20'HC será aplicado no terraço 1 sobre os contentores 1 e 2 ligando nas peças de canto e na corda inferior da respectiva treliça lateral, sobre o contentor 3 será aplicada uma outra base tipo 20'HC que liga a esse contentor através das peças de canto e á treliça lateral. A disposição destas bases nos terraços, tem como objectivo diminuir ao máximo os desperdícios.

4.4 Remodelação dos contentores marítimos

O processo de remodelação dos contentores marítimos inicia-se pela eliminação dos perfis metálicos e chapas da porta, assim como do contraplacado marítimo do piso do contentor, devido à possibilidade desse estar impregnado de produtos nocivos para a saúde, sendo colocado mais tarde um novo contraplacado similar ao original. Seguidamente dever-se-á proceder à abertura de vãos eliminando chapas e perfis metálicos. Com esse procedimento o contentor perde alguma da sua resistência e por isso neste estudo considera-se a introdução de elementos de reforço nas zonas onde as chapas serão cortadas, entendendo-se ser de boa prática a aplicação de perfis rectangulares ocos com área de secção transversal igual à das chapas eliminadas. Assim estima-se a área da secção transversal de chapa eliminada ($A_{chapa,est.}$) através da expressão 4.1.

$$A_{chapa,est.} = A_{chapa} \cdot L_{chapa,est.} \quad (4.1)$$

sendo:

- $A_{chapa, est.}$: área estimada da secção transversal da chapa interrompida [cm^2];
- $L_{chapa, est.}$: comprimento estimado de chapa interrompida [m];
- A_{chapa} : área da secção transversal da chapa por unidade de comprimento [cm^2/m];

Com base na área estimada de chapa interrompida escolhe-se dois perfis tubulares com área de secção transversal relativamente superior. Como as dimensões das aberturas terão que ser garantidas, a área do perfil tubular de reforço deverá ser igual ou superior à área de chapa interrompida total que inclui a chapa eliminada para inserir os perfis tubulares de reforço, e assim:

$$A_{chapa,int.} = A_{chapa} \cdot L_{chapa,int.} \leq A_{eff} \quad (4.2)$$

onde:

- $A_{chapa, int.}$: área de chapa interrompida real [cm²];
- $L_{chapa, int.}$: comprimento real de chapa interrompida [m], determinado por:

$$L_{chapa, int.} = L_{chapa, est.} + h_{perfil} \quad (4.3)$$

com:

- h_{perfil} : maior dimensão do perfil [m];
- A_{eff} : área da secção transversal do perfil metálico de reforço.

Os perfis de reforço seleccionados são perfis rectangulares ocos com a largura limitada a 50 mm, tendo em consideração as dimensões do perfil TSR (60 mm de lado), e do perfil BSR (banzo superior com 50 mm), perfis aos quais os perfis de reforço devem ligar.

4.4.1 Contentor 1-40'HC.1

O contentor 1, na face que faz parte do alçado posterior (face lateral esquerda) apresentará duas aberturas, a porta da lavandaria para o exterior, e a janela da instalação sanitária 2, na face que faz fronteira com o contentor 2 (face lateral direita), apresentará uma abertura para a porta de acesso do quarto 1 para o respectivo closet, e outra maior na zona da escadaria de acesso ao piso superior, que obriga a existência de uma outra abertura na face superior e interrupção do perfil TSR nessa mesma zona.

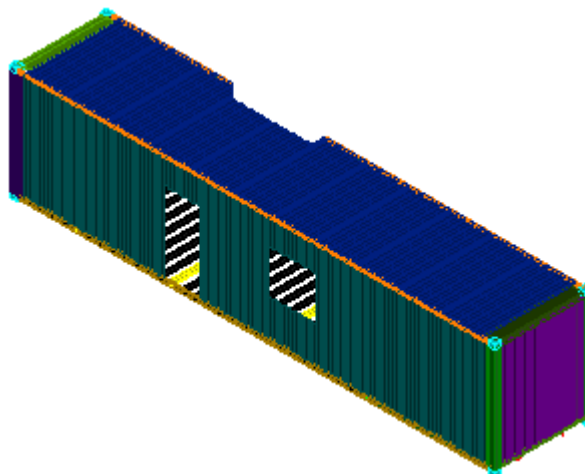


Figura 4.4: Aberturas da face lateral esquerda do contentor 1-40'HC.1.

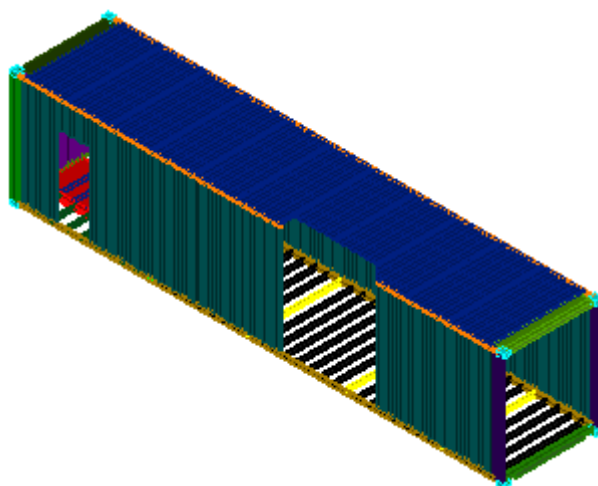


Figura 4.5: Aberturas da face lateral direita do contentor 1-40'HC.1.

Seguidamente apresenta-se o quadro de determinação dos perfis tubulares de reforço, onde as denominações dos reforços têm os seguintes significados:

- R1.1E : Reforço 1 da face esquerda do contentor 1;
- R1.2E: Reforço 2 da face esquerda do contentor 1;
- R1.3E: Reforço 3 da face esquerda do contentor 1;
- R1.4E: Reforço 4 da face esquerda do contentor 1;
- R1.1D: Reforço 1 da face direita do contentor 1;
- R1.2D: Reforço 2 da face direita do contentor 1;
- R1.3D: Reforço 3 da face direita do contentor 1;
- R1.4D: Reforço 4 da face direita do contentor 1.

Cada um dos perfis de reforço é localizado de acordo com as peças desenhadas no anexo B.

Quadro 4.1: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 1-40'HC.1.

Reforço	A_{chapa}	$L_{chapa, est.}$	$A_{chapa, est}$	Solução de reforço				A_{eff}	$L_{chapa, int}$	$A_{chapa, int.}$
				Tipologia	h	b	t			
	[cm ² /m]	[m]	[cm ²]			[mm]	[mm]	[mm]	[cm ²]	[m]
R1.1E	16,94	0,60	10,16	TPS	100	50	5	13,73	0,7	11,86
R1.2E	16,94	0,60	10,16	TPS	100	50	5	13,73	0,7	11,86
R1.3E	16,94	0,45	7,62	TPS	100	50	5	13,73	0,55	9,32
R1.4E	16,94	0,45	7,62	TPS	100	50	5	13,73	0,55	9,32
R1.1D	21,23	0,40	8,49	TPS	100	50	5	13,73	0,5	10,61
R1.2D	21,23	0,40	8,49	TPS	100	50	5	13,73	0,5	10,61
R1.3D	16,94	1,18	20,07	TPS	100	50	10	24,93	1,2845	21,76
R1.4D	16,94	1,18	20,07	TPS	100	50	10	24,93	1,2845	21,76

4.4.2 Contentor 2-40'HC.2

O contentor 2-40'HC.2 na face esquerda apresenta aberturas iguais às da face direita do contentor 1, enquanto na face direita apresenta duas aberturas substanciais, uma ao longo da largura do quarto 1 incluindo a porta das instalações sanitárias 1, e outra que inclui a porta da divisão de arrumos, o acesso da escadaria e a porta da sala. Apresenta ainda uma abertura na cobertura para a escadaria.

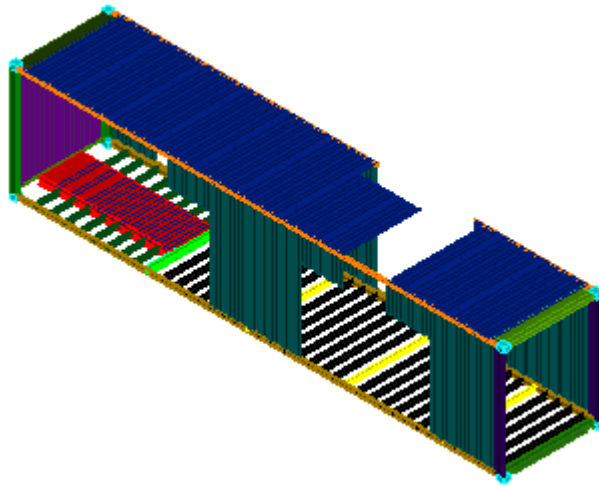


Figura 4.6: Aberturas da face lateral direita do contentor 2-40'HC.2.

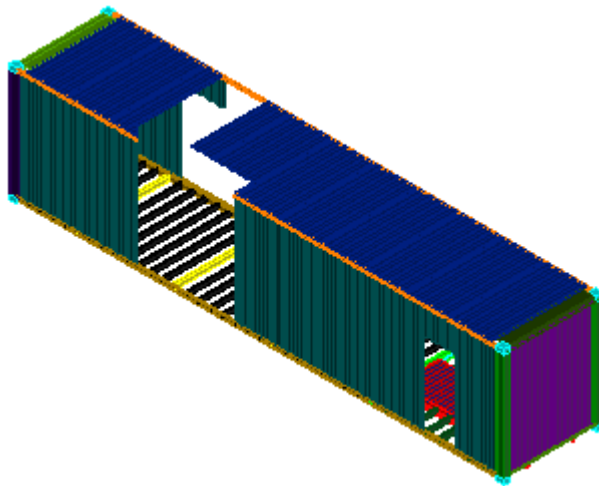


Figura 4.7: Aberturas da face lateral esquerda do contentor 2-40'HC.2.

Seguidamente apresenta-se o quadro de determinação dos perfis tubulares de reforço, onde as denominações dos reforços têm os seguintes significados:

- R2.1E : Reforço 1 da face esquerda do contentor 2;
- R2.2E: Reforço 2 da face esquerda do contentor 2;

- R2.3E: Reforço 3 da face esquerda do contentor 2;
- R2.4E: Reforço 4 da face esquerda do contentor 2;
- R2.1D: Reforço 1 da face direita do contentor 2;
- R2.2D: Reforço 2 da face direita do contentor 2;
- R2.3D: Reforço 3 da face direita do contentor 2;
- R2.4D: Reforço 4 da face direita do contentor 2;
- R2.5D: Reforço 5 da face direita do contentor 2;
- R2.6D: Reforço 6 da face direita do contentor 2.

Quadro 4.2: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 2-40'HC.2.

Reforço	\hat{A}_{chapa}	$L_{chapa, est.}$	$A_{chapa, est}$	Solução de reforço				A_{eff}	$L_{chapa, int}$	$A_{chapa, int.}$
	[cm ² /m]	[m]	[cm ²]	Tipologia	h	b	t			
					[mm]	[mm]	[mm]			
R2.1E	21,23	0,40	8,49	TPS	100	50	5	13,73	0,5	10,61
R2.2E	21,23	0,40	8,49	TPS	100	50	5	13,73	0,5	10,61
R2.3E	16,94	1,18	20,07	TPS	100	50	10	24,93	1,2845	21,76
R2.4E	16,94	1,18	20,07	TPS	100	50	10	24,93	1,2845	21,76
R2.1D	21,23	1,82	38,63	TPS	150	50	12	40,69	1,82	38,63
R2.2D	16,94	2,30	38,96	TPS	150	50	12	40,69	2,30	38,96
R2.3D	16,94	0,46	7,84	TPS	100	50	5	13,73	0,5625	9,53
R2.4D	16,94	1,14	19,27	TPS	100	50	10	24,93	1,2375	20,96
R2.5D	16,94	1,14	19,27	TPS	100	50	10	24,93	1,2375	20,96
R2.6D	16,94	0,46	7,84	TPS	100	50	5	13,73	0,5625	9,53

Cada um dos perfis de reforço é localizado de acordo com as peças desenhadas no anexo B.2.

4.4.3 Contentor 3-40'HC.3

A face lateral esquerda do contentor 3-40'HC.3 é similar à face lateral direita do contentor 2. A face lateral direita do contentor 3 apresenta duas aberturas a porta de entrada principal da moradia e a janela do quarto 1.

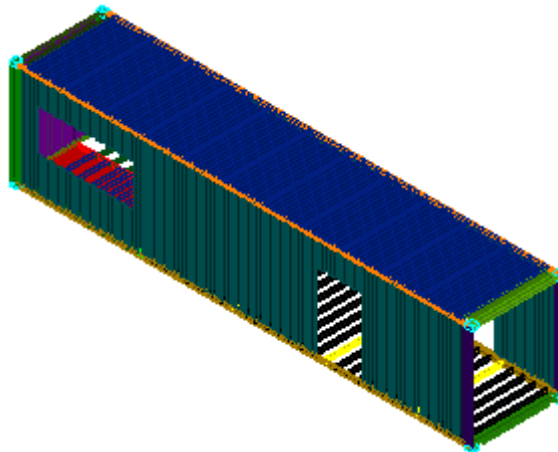


Figura 4.8: Aberturas da face lateral direita do contentor 3-40'HC.3.

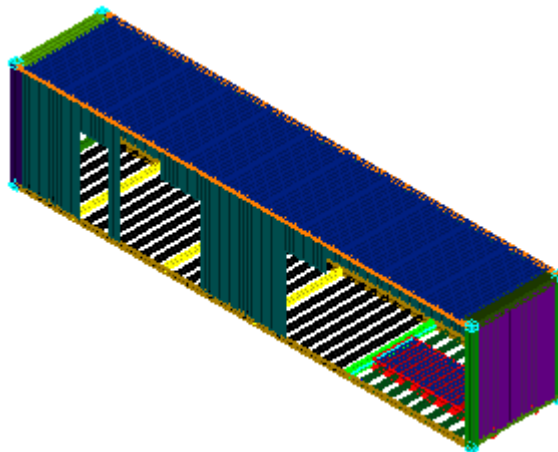


Figura 4.9: Aberturas da face lateral esquerda do contentor 3-40'HC.3.

Seguidamente apresenta-se o quadro de determinação dos perfis tubulares de reforço, onde as denominações dos reforços têm os seguintes significados:

- R3.1E: Reforço 1 da face esquerda do contentor 3;
- R3.2E: Reforço 2 da face esquerda do contentor 3;
- R3.3E: Reforço 3 da face esquerda do contentor 3;
- R3.4E: Reforço 4 da face esquerda do contentor 3;
- R3.5E: Reforço 5 da face esquerda do contentor 3;
- R3.6E: Reforço 6 da face esquerda do contentor 3;
- R3.1D: Reforço 1 da face direita do contentor 3;
- R3.2D: Reforço 2 da face direita do contentor 3;
- R3.3D: Reforço 3 da face direita do contentor 3;
- R3.4D: Reforço 4 da face direita do contentor 3.

Cada um dos perfis de reforço é localizado de acordo com as peças desenhadas no anexo B.2.

Quadro 4.3: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 3-40'HC.3

Reforço	\hat{A}_{chapa}	$L_{chapa, est.}$	$A_{chapa, est}$	Solução de reforço			A_{eff}	$L_{chapa, int}$	$A_{chapa, int.}$	
				Tipologia	h	b				t
	[cm ² /m]	[m]	[cm ²]			[mm]	[mm]	[mm]	[cm ²]	[m]
R3.1E	21,23	1,82	38,63	TPS	150	50	12	40,69	1,82	38,63
R3.2E	16,94	2,30	38,96	TPS	150	50	12	40,69	2,30	38,96
R3.3E	16,94	0,46	7,84	TPS	100	50	5	13,73	0,5625	9,53
R3.4E	16,94	0,46	7,84	TPS	100	50	10	24,93	0,5625	9,53
R3.5E	16,94	0,46	7,84	TPS	100	50	10	24,93	0,5625	9,53
R3.6E	16,94	0,46	7,84	TPS	100	50	5	13,73	0,5625	9,53
R3.1D	16,94	1,25	21,18	TPS	100	50	10	24,93	1,35	22,87
R3.2D	16,94	1,25	21,18	TPS	100	50	10	24,93	1,35	22,87
R3.3D	16,94	0,63	10,59	TPS	100	50	5	13,73	0,725	12,28
R3.4D	16,94	0,63	10,59	TPS	100	50	5	13,73	0,725	12,28

4.4.4 Contentor 4-20'HC.1

O contentor 4-20'HC.1 apresenta na face esquerda uma abertura na zona de acesso à sala, e uma outra da porta da sala para a lavanderia. A chapa da face direita é completamente removida por estar na zona ampla da sala.

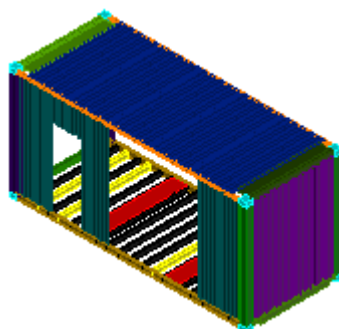


Figura 4.10: Aberturas da face lateral esquerda do contentor 4-20'HC.1.

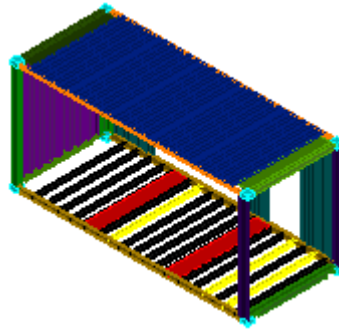


Figura 4.11: Abertura da face lateral direita do contentor 4-20'HC.1.

Seguidamente apresenta-se o quadro de determinação dos perfis tubulares de reforço, onde as denominações dos reforços têm os seguintes significados:

- R4.1E: Reforço 1 da face esquerda do contentor 4;
- R4.2E: Reforço 2 da face esquerda do contentor 4;
- R4.3E: Reforço 3 da face esquerda do contentor 4;
- R4.4E: Reforço 4 da face esquerda do contentor 4;
- R4.1D: Reforço 1 da face direita do contentor 4;
- R4.2D: Reforço 2 da face direita do contentor 4;
- R4.3D: Reforço 3 da face direita do contentor 4.

Cada um dos perfis de reforço é localizado de acordo com as peças desenhadas no anexo B.2.

Quadro 4.4: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 4-20'HC.1.

Reforço	\hat{A}_{chapa} [cm ² /m]	$L_{chapa, est.}$ [m]	$A_{chapa, est}$ [cm ²]	Solução de reforço			A_{eff} [cm ²]	$L_{chapa, int}$ [m]	$A_{chapa, int.}$ [cm ²]	
				Tipologia	h	b				t
					[mm]	[mm]				[mm]
R4.1E	16,94	1,06	17,91	TPS	100	50	8	20,75	1,157	19,60
R4.2E	16,94	1,06	17,91	TPS	100	50	8	20,75	1,157	19,60
R4.3E	16,94	0,40	6,78	TPS	100	50	5	13,73	0,5	8,47
R4.4E	16,94	0,40	6,78	TPS	100	50	5	13,73	0,5	8,47
R4.1D	21,23	1,40	29,70	TPS	150	50	10	34,93	1,549	32,88
R4.2D	16,94	2,80	47,40	TPS	160	80	12	50,29	2,958	50,11
R4.3D	21,23	1,40	29,70	TPS	150	50	10	34,93	1,549	32,88

4.4.5 Contentor 5-20'HC.2

Ao contentor 5-20'HC.2 é lhe removida completamente a chapa da face lateral direita e parcialmente a chapa da face lateral esquerda na zona da cozinha.

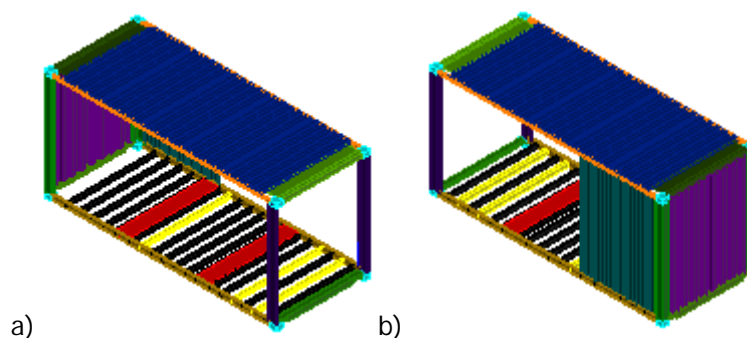


Figura 4.12: Aberturas do contentor 5-20'HC.2. a) Face lateral direita; b) Face lateral esquerda.

Seguidamente apresenta-se o quadro de determinação dos perfis tubulares de reforço, onde as denominações dos reforços têm os seguintes significados:

- R5.1E: Reforço 1 da face esquerda do contentor 5;
- R5.2E: Reforço 2 da face esquerda do contentor 5;
- R5.1D: Reforço 1 da face direita do contentor 5;
- R5.2D: Reforço 2 da face direita do contentor 5;
- R5.3D: Reforço 3 da face direita do contentor 5.

Cada um dos perfis de reforço é localizado de acordo com as peças desenhadas no anexo B.2.

Quadro 4.5: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 5-20'HC.2.

Reforço	\hat{A}_{chapa}	$L_{chapa, est.}$	$A_{chapa, est}$	Solução de reforço			A_{eff}	$L_{chapa, int}$	$A_{chapa, int.}$	
				Tipologia	h	b				t
	[cm ² /m]	[m]	[cm ²]			[mm]	[mm]	[mm]	[cm ²]	[m]
R5.1D	21,23	1,40	29,70	TPS	150	50	10	34,93	1,549	32,88
R5.2D	16,94	2,80	47,40	TPS	160	80	12	50,29	2,958	50,11
R5.3D	21,23	1,40	29,70	TPS	150	50	10	34,93	1,549	32,88
R5.1E	21,23	1,37	29,13	TPS	150	50	10	34,93	1,5225	32,32
R5.2E	21,23	1,37	29,13	TPS	150	50	10	34,93	1,5225	32,32

4.4.6 Contentor 6-20'HC.3

O contentor 6-20'HC.3 apresenta a chapa da face lateral direita parcialmente eliminada e uma abertura da janela da cozinha na face lateral esquerda.

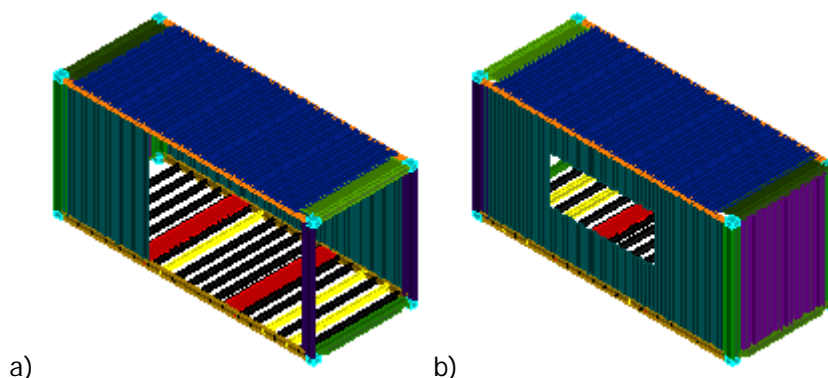


Figura 4.13: Aberturas do contentor 6-20'HC.3. a) Face lateral direita; b) Face lateral esquerda.

Seguidamente apresenta-se o quadro de determinação dos perfis tubulares de reforço, onde as denominações dos reforços têm os seguintes significados:

- R6.1E: Reforço 1 da face esquerda do contentor 6;
- R6.2E: Reforço 2 da face esquerda do contentor 6;
- R6.1D: Reforço 1 da face direita do contentor 6;
- R6.2D: Reforço 2 da face direita do contentor 6.

Cada um dos perfis de reforço é localizado de acordo com as peças desenhadas no anexo C.

Quadro 4.6: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 6-20'HC.3.

Reforço	\hat{A}_{chapa} [cm ² /m]	$L_{chapa, est.}$ [m]	$A_{chapa, est}$ [cm ²]	Solução de reforço			A_{eff} [cm ²]	$L_{chapa, int}$ [m]	$A_{chapa, int.}$ [cm ²]	
				Tipologia	h	b				t
					[mm]	[mm]				[mm]
R6.1D	21,23	1,37	29,13	TPS	150	50	10	34,93	1,5225	32,32
R6.2D	21,23	1,37	29,13	TPS	150	50	10	34,93	1,5225	32,32
R6.1E	16,94	1,25	21,18	TPS	100	50	10	24,93	1,35	22,87
R6.2E	16,94	1,25	21,18	TPS	100	50	10	24,93	1,35	22,87

4.4.7 Contentor 7-20'HC.4

O contentor 7-20'HC.4 apresenta na face direita uma abertura da janela do quarto 2, e na face direita uma remoção parcial da chapa lateral na zona ampla do quarto 2.

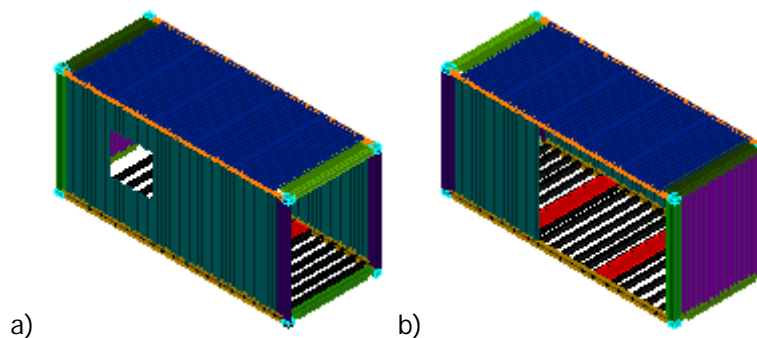


Figura 4.14: Aberturas do contentor 7-20'HC.4. a) Face lateral direita; b) Face lateral esquerda.

Seguidamente apresenta-se o quadro de determinação dos perfis tubulares de reforço, onde as denominações dos reforços têm os seguintes significados:

- R7.1E: Reforço 1 da face esquerda do contentor 7;
- R7.2E: Reforço 2 da face esquerda do contentor 7;
- R7.1D: Reforço 1 da face direita do contentor 7;
- R7.2D: Reforço 2 da face direita do contentor 7.

Cada um dos perfis de reforço é localizado de acordo com as peças desenhadas no anexo B.2.

Quadro 4.7: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 7-20'HC.4.

Reforço	A_{chapa} [cm ² /m]	$L_{chapa, est.}$ [m]	$A_{chapa, est}$ [cm ²]	Solução de reforço				A_{eff} [cm ²]	$L_{chapa, int}$ [m]	$A_{chapa, int.}$ [cm ²]
				Tipologia	h	b	t			
					[mm]	[mm]	[mm]			
R7.1D	16,94	1,05	17,79	TPS	100	50	8	20,75	1,15	19,48
R7.2D	16,94	1,05	17,79	TPS	100	50	8	20,75	1,15	19,48
R7.1E	21,23	1,72	36,40	TPS	150	50	12	40,69	1,87	39,59
R7.2E	16,94	1,72	29,05	TPS	150	50	10	34,93	1,87	31,60

4.4.8 Contentor 8-20'HC.5

O contentor 8-20'HC.5 apresenta a chapa da face lateral direita parcialmente removida, e uma abertura da janela da instalação sanitária 3.

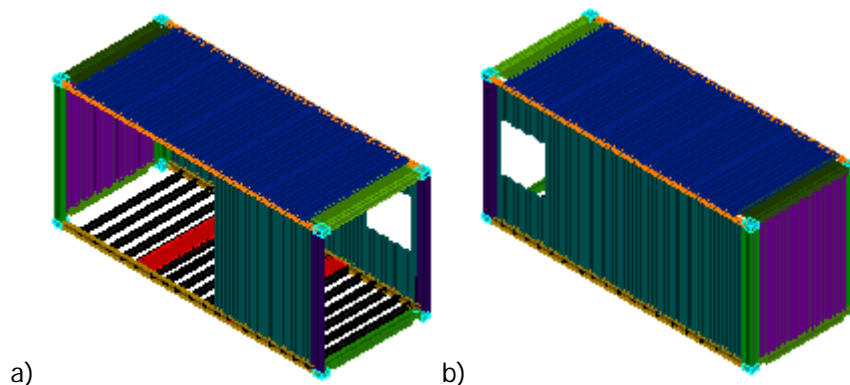


Figura 4.15: Aberturas do contentor 8-20'HC.5. a) Face lateral direita; b) Face lateral esquerda.

Seguidamente apresenta-se o quadro de determinação dos perfis tubulares de reforço, onde as denominações dos reforços têm os seguintes significados:

- R8.1E: Reforço 1 da face esquerda do contentor 8;
- R8.2E: Reforço 2 da face esquerda do contentor 8;
- R8.1D: Reforço 1 da face direita do contentor 8;
- R8.2D: Reforço 2 da face direita do contentor 8.

Cada um dos perfis de reforço é localizado de acordo com as peças desenhadas no anexo B.2.

Quadro 4.8: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 8-20'HC.5.

Reforço	A_{chapa}	$L_{chapa, est.}$	$A_{chapa, est.}$	Solução de reforço			A_{eff}	$L_{chapa, int.}$	$A_{chapa, int.}$	
				Tipologia	h	b				t
	[cm ² /m]	[m]	[cm ²]			[mm]	[mm]	[mm]	[cm ²]	[m]
R8.1D	21,23	1,72	36,40	TPS	150	50	12	40,69	1,87	39,59
R8.2D	16,94	1,72	29,05	TPS	150	50	10	34,93	1,87	31,60
R8.1E	16,94	0,40	6,78	TPS	100	50	5	13,73	0,50	8,47
R8.2E	21,23	0,40	8,49	TPS	100	50	5	13,73	0,50	10,61

4.4.9 Contentor 9-40'HC.4

O contentor 9-40'HC.4 apresenta duas aberturas na face lateral direita, a porta de acesso para o terraço 1 e uma janela do hall, a chapa lateral direita é completamente removida, e apresenta ainda uma abertura na chapa da face frontal para a porta do quarto 2, sendo necessário remover o perfil FS, nessa zona uma vez que este está sobrelevado em relação ao nível do pavimento. Na face inferior de deverão ser eliminados os perfis na zona de acesso da escadas.

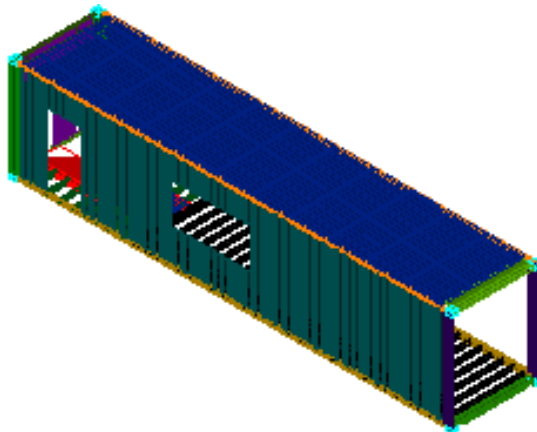


Figura 4.16: Aberturas da face lateral direita do contentor 9-40'HC.4.

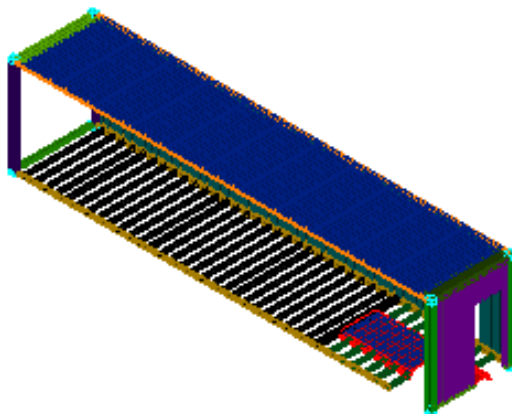


Figura 4.17: Abertura da face lateral esquerda do contentor 9-40'HC.4.

Seguidamente apresenta-se o quadro de determinação dos perfis tubulares de reforço, onde as denominações dos reforços têm os seguintes significados:

- R9.1F: Reforço 1 da face frontal do contentor 9;
- R9.2F: Reforço 2 da face frontal do contentor 9;
- R9.1D: Reforço 1 da face direita do contentor 9;
- R9.2D: Reforço 2 da face direita do contentor 9.
- R9.3D: Reforço 3 da face direita do contentor 9;

- R9.4D: Reforço 4 da face direita do contentor 9.
- R9.1E: Reforço 1 da face esquerda do contentor 9;
- R9.2E: Reforço 2 da face esquerda do contentor 9.
- R9.3E: Reforço 3 da face esquerda do contentor 9;

Cada um dos perfis de reforço é localizado de acordo com as peças desenhadas no anexo B.2.

Quadro 4.9: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 9-40'HC.4.

Reforço	A_{chapa}	$L_{chapa, est.}$	$A_{chapa, est}$	Solução de reforço			A_{eff}	$L_{chapa, int}$	$A_{chapa, int.}$	
				Tipologia	h	b				t
	[cm^2/m]	[m]	[cm^2]			[mm]	[mm]	[mm]	[cm^2]	[m]
R9.1F	24,43	0,40	9,77	TPS	100	50	5	13,73	0,50	12,22
R9.2F	24,43	0,40	9,77	TPS	100	50	5	13,73	0,50	12,22
R9.1D	21,23	0,50	10,61	TPS	100	50	5	13,73	0,60	12,74
R9.2D	16,94	0,50	8,47	TPS	100	50	5	13,73	0,60	10,16
R9.3D	16,94	1,10	18,64	TPS	100	50	8	20,75	1,20	20,33
R9.4D	16,94	1,10	18,64	TPS	100	50	8	20,75	1,20	20,33
R9.1E	16,94	3,90	66,07	TPS	150	50	12	40,69	4,05	68,61
R9.2E	16,94	3,29	55,65	TPS	150	50	12	40,69	3,44	58,19
R9.3E	21,23	1,96	41,60	TPS	150	50	12	40,69	2,11	44,79

4.4.10 Contentor 10-40'HC.5

O contentor 10-40'HC.5 apresenta a chapa da face lateral direita completamente removida, e uma abertura na face lateral direita para abertura da porta de acesso ao terraço 2. Na face inferior são eliminados todos os perfis na zona da abertura das escadas.

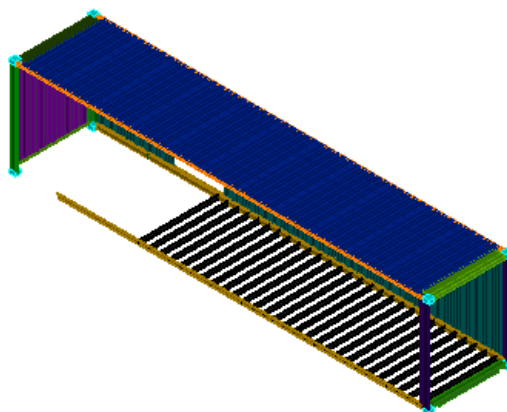


Figura 4.18: Aberturas da face lateral direita do contentor 10-40'HC.5.

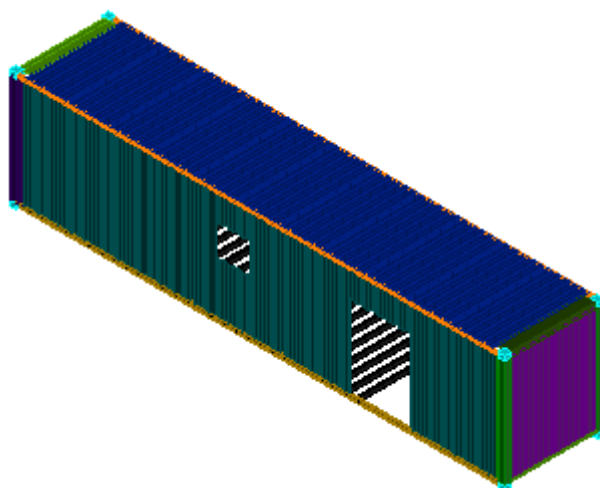


Figura 4.19: Aberturas da face lateral esquerda do contentor 10-40' HC.5.

Seguidamente apresenta-se o quadro de determinação dos perfis tubulares de reforço, onde as denominações dos reforços têm os seguintes significados:

- R10.1D: Reforço 1 da face direita do contentor 10;
- R10.2D: Reforço 2 da face direita do contentor 10;
- R10.3D: Reforço 3 da face direita do contentor 10;
- R10.1E: Reforço 1 da face esquerda do contentor 10;
- R10.2E: Reforço 2 da face esquerda do contentor 10;
- R10.3E: Reforço 3 da face esquerda do contentor 10;
- R10.4E: Reforço 4 da face esquerda do contentor 10.

Cada um dos perfis de reforço é localizado de acordo com as peças desenhadas no anexo B.2.

Quadro 4.10: Determinação dos perfis de reforço das faces laterais do contentor 10-40' HC.5.

Reforço	A_{chapa}	$L_{chapa, est.}$	$A_{chapa, est.}$	Solução de reforço			A_{eff}	$L_{chapa, int.}$	$A_{chapa, int.}$	
				Tipologia	h	b				t
	[cm ² /m]	[m]	[cm ²]			[mm]	[mm]	[mm]	[cm ²]	[m]
R10.1D	16,94	3,90	66,07	TPS	150	50	12	40,69	4,05	68,61
R10.2D	16,94	3,29	55,65	TPS	150	50	12	40,69	3,44	58,19
R10.3D	21,23	1,96	41,60	TPS	150	50	12	40,69	2,11	44,79
R10.1E	16,94	0,75	12,71	TPS	100	50	8	20,75	0,85	14,40
R10.2E	16,94	0,75	12,71	TPS	100	50	8	20,75	0,85	14,40
R10.3E	16,94	0,40	6,78	TPS	100	50	5	13,73	0,50	8,47
R10.4E	16,94	0,40	6,78	TPS	100	50	5	13,73	0,50	8,47

De notar que os perfis de reforço da face direita do contentor não garantem a mesma área que as chapas removidas, no entanto são os perfis tubulares TPS com 50 mm de largura

com maior área de secção transversal, assim a segurança destes perfis será verificada posteriormente, no respectivo capítulo.

4.5 Assemblagem dos contentores

Ao nível do rés-do-chão os contentores dispõem-se de forma a que as faces que incluem cortes para as mesmas aberturas coincidam, conforme ilustrado na Figura 4.20, na qual não são representadas as chapas de cobertura dos contentores para possibilitar a visualização do interior dos contentores.



Figura 4.20: Assemblagem dos contentores.

Na Figura 4.21 ilustra-se o aspecto dos contentores depois de colocados na moradia, sendo de evidenciar as bases de contentores que rigidificam a cobertura, e o balanço dos contentores suspensos no 1º andar.

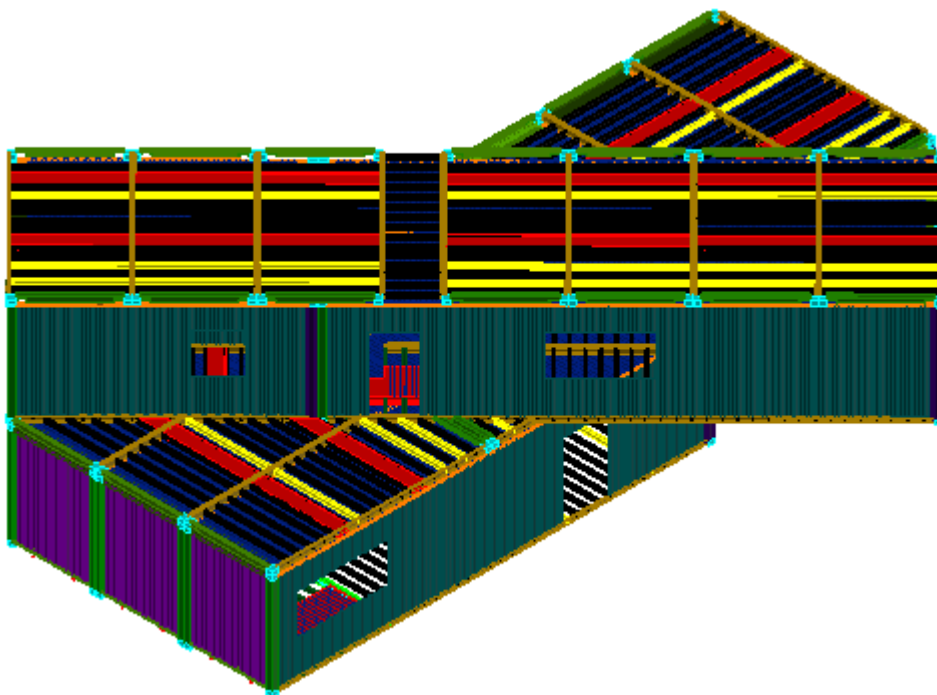


Figura 4.21: Aspecto dos contentores em conjunto na moradia.

Os contentores são unidos entre si tendo em consideração vários tipos de ligação em função dos perfis metálicos envolvidos. As ligações não são alvo de estudo neste trabalho, mas apresentam-se algumas soluções do ponto de vista construtivo nas peças desenhadas do Anexo C.

4.6 Conclusão

A arquitectura da moradia em estudo demonstra-se, nesta fase, um pouco arrojada, uma vez que apresenta áreas bastante amplas, muitas aberturas de vãos como se pode verificar pela e zonas suspensas, o que deverá exigir bastante da capacidade resistente dos contentores marítimos.

De forma a possibilitarem a existência de áreas amplas e aberturas de vãos de acordo com os condicionantes arquitectónicos, os contentores marítimos remodelados perdem bastantes perfis metálicos o que deverá diminuir as suas capacidades resistentes sendo necessário reforça-los nessas zonas.

5. Considerações de projecto

5.1 Introdução

Neste capítulo são definidas as acções a que a moradia em estudo está sujeita. Apresenta-se o modelo numérico utilizado para avaliação de esforços. Apresentam-se os procedimentos normativos a aplicar na verificação da segurança de perfis enformados a frios de forma detalhada, e dos restantes perfis aplicados na moradia em estudo de forma geral.

5.2 Acções

Apresentam-se seguidamente as acções variáveis e permanentes consideradas para efeitos de verificação da segurança, bem como as respectivas combinações de acções.

5.2.1 Acções permanentes

As acções permanentes definidas foram o peso próprio dos perfis metálicos que constituem os contentores marítimos e do contraplacado a repor no pavimento, o peso próprio das paredes divisórias e exteriores, e o peso próprio dos revestimentos de cobertura e de piso.

5.2.1.1 Peso próprio dos perfis metálicos

O peso próprio dos perfis metálicos foi definido considerando o peso volúmico do aço igual a 7850 kN/m^3 , admitindo a área total de cada secção para determinar o respectivo peso próprio por unidade de desenvolvimento linear dos mesmos.

5.2.1.2 Peso próprio do contraplacado marítimo

O peso próprio do contraplacado marítimo foi definido admitindo a respectiva massa volúmica igual a $0,70 \text{ g/cm}^3$. Considerou-se para esta acção um valor de carga distribuída

uniformemente por unidade de área do pavimento, multiplicando o valor do peso volúmico pela espessura do contraplacado. A definição do peso próprio (P.P.) do contraplacado marítimo é apresentada no Quadro 5.1.

Quadro 5.1: Definição do peso próprio do contraplacado marítimo.

Densidade	Peso volúmico	Espessura	P.P.
[g/cm ³]	[kN/m ³]	[mm]	[kN/m ²]
0,70	6,86	28	0,19

5.2.1.3 Peso próprio das paredes divisórias

O peso próprio das paredes divisórias foi definido adoptando um valor utilizado em projecto de edifícios comuns, apesar de se acreditar que no tipo de sistema construtivo em estudo possam ser utilizadas soluções mais leves. Assim o peso próprio adoptado para as paredes é de 1 kN/m² de parede. Através desse valor determinou-se o peso próprio por metro linear de desenvolvimento, tendo em conta a respectiva altura. De acordo com o RSA, admitindo que o pavimento garante uma distribuição eficaz das cargas, o peso das paredes divisórias pode assimilar-se a uma carga permanente uniformemente distribuída em todo o pavimento, com valor característico igual a 40% do peso de 1 metro de desenvolvimento de parede com a respectiva altura (H). No Quadro 5.2 apresentam-se os valores da determinação da acção do peso próprio das paredes divisórias.

Quadro 5.2: Determinação da acção do peso próprio das paredes divisórias.

P.P.	H	P.P. · faixa	%	P.P
[kN/m ² _{par}]	[m]	[kN/m _{par}]	[-]	[kN/m ² _{pav.}]
1,00	2,70	2,70	40%	1,08

5.2.1.4 Peso próprio das paredes exteriores

Tal como no ponto anterior, para as paredes exteriores também se adoptou um valor utilizado em projecto de edifícios comuns, 2,0 kN/m² de parede. Este valor, relativamente elevado, assumiu-se admitindo o revestimento dos contentores com uma solução pesada. Sendo considerado para efeitos de cálculo uma carga distribuída linearmente ao longo do contorno das paredes exteriores, obtida multiplicando o valor anterior pela altura da parede (H), tal como se apresenta no Quadro 5.3.

Quadro 5.3: Determinação da acção do peso próprio das paredes exteriores.

P.P.	H	P.P. _{faixa}
[kN/m ² _{par}]	[m]	[kN/m _{par}]
2,00	2,70	5,40

5.2.1.5 Revestimentos

Para os pesos próprios dos revestimentos de piso e de cobertura foram adoptados os valores apresentados no Quadro 5.4.

Quadro 5.4: Peso próprio dos revestimentos de piso.

Cobertura	Piso
[kN/m ²]	[kN/m ²]
1,00	1,00

5.2.2 Acções variáveis

Os valores das acções variáveis actuantes sobre a estrutura em análise, bem como todos os parâmetros envolvidos, encontram-se determinados de acordo com os procedimentos do Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, aprovado pelo Decreto-Lei nº235/83, de 31 de Maio ([4] RSA, 2007).

5.2.2.1 Acções específicas de edifícios

De acordo com capítulo VIII do RSA assumem-se como acções específicas para edifícios as sobrecargas (Q) em coberturas, pavimentos, varandas e acessos.

A sobrecarga a considerar para coberturas acessíveis é de 2,0 kN/m², (RSA - Artigo 34.º - 34.2-c)). Assumem-se como coberturas acessíveis os terraços ao nível do 1º andar, e a cobertura do mesmo. Os valores reduzidos da acção da sobrecarga, nestes tipos de coberturas são considerados nulos de acordo com o Artigo 34.3.

A sobrecarga de pavimento é definida em função do tipo de utilização do edifício. Sendo no caso um edifício de habitação, pelo que a concentração de pessoas é o elemento preponderante. O valor característico da sobrecarga no pavimento é de 2,0 kN/m² (RSA - Artigo 35.º - 35.1.1 - a)). Os valores reduzidos da acção da sobrecarga em pavimentos são

obtidos aplicando os valores dos coeficientes ψ de acordo com o quadro III do ponto 35.2 do artigo atrás referido.

O valor característico da sobrecarga a considerar nas escadas deve ser igual ao valor adoptado para os pavimentos a que dão serventia. No entanto de acordo com o regulamento referido deve ser garantido o valor mínimo de $3,0 \text{ kN/m}^2$, em edifícios privados. Como o valor da sobrecarga dos pavimentos é inferior, o valor admitido para sobrecarga nas escadas é de $3,0 \text{ kN/m}^2$.

No Quadro 5.5 são apresentados os valores característicos das sobrecargas nas zonas referidas, assim como os respectivos coeficientes de redução.

Quadro 5.5: Valores característicos das sobrecargas, Q_k e respectivos coeficientes de redução.

Zona	Q_k	Coeficientes de redução		
	[kN/m^2]	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Coberturas	2,0	0,0	0,0	0,0
Pavimentos interiores	2,0	0,4	0,3	0,2
Escadas	3,0	0,4	0,3	0,2

5.2.2.2 Acção da neve

A acção da neve é determinada de acordo com o capítulo VI do RSA. Considerando a localização do edifício no distrito da Guarda, sendo o valor assumido para a altitude média 897 m. O valor característico da acção da neve, enquanto carga distribuída por m^2 em plano horizontal (S_k), é determinado pela expressão (5.1):

$$S_k = \mu \cdot S_{ok} \quad (5.1)$$

Em que:

- S_{ok} : Valor característico da carga da neve ao nível do solo [kN/m^2];
- M : Coeficiente que depende da forma da superfície sobre a qual se deposita a neve, conforme apresentado no anexo II do RSA.

O valor característico da carga da neve ao nível do solo determina-se pela expressão (5.2):

$$S_{ok} = \frac{1}{400} \cdot (h - 50) \quad (5.2)$$

Em que h é a altitude do local expressa em metros arredondada às centenas, sendo no presente caso, 900 metros.

O coeficiente μ é determinado em função da forma e do ângulo de inclinação da cobertura (β) conforme o quadro II-I do anexo II do RSA. Neste caso a cobertura é plana, ou seja possui inclinação igual a 0° , assim sendo:

$$0^\circ \leq \beta \leq 30^\circ \Rightarrow \mu = 0,8$$

No Quadro 5.6 apresentam-se os valores dos parâmetros para determinação do valor característico da acção da neve.

Quadro 5.6: Definição do valor característico da acção da neve, S_k .

μ	0,8
h [m]	900,0
S_{ok} [kN/m ²]	2,13
S_k [kN/m ²]	1,70

Os valores reduzidos da acção da neve são obtidos através dos coeficientes de redução indicados no ponto 27.2 do RSA. No

Quadro 5.7 apresentam-se o valor característico da acção da neve e os respectivos coeficientes de redução.

Quadro 5.7: Valor característico da acção da neve S_k , e respectivos coeficientes de redução.

S_k [kN/m ²]	Coeficientes de redução		
	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1,7	0,6	0,3	0,0

5.2.2.3 Acção sísmica

Os efeitos da acção sísmica são contabilizados através de uma acção dinâmica. De acordo com o RSA (Anexo III, ponto 2), basta verificar a segurança das estruturas em relação a duas acções sísmicas:

- Acção sísmica tipo 1: representa um sismo de magnitude moderada a pequena distância focal;
- Acção sísmica tipo 2: representa um sismo de maior magnitude a maior distância focal.

Considerando estas duas acções a actuar segundo as duas direcções ortogonais, contabilizam-se quatro casos de actuação da acção sísmica distintos.

A acção sísmica é quantificada através de espectros de resposta médios, relativamente às componentes horizontais de translação, relacionando a aceleração com o período sísmico de acordo com o anexo III do RSA. Os espectros de resposta a utilizar dependem da localização da estrutura (zona e tipologia do terreno), do tipo da acção (1 ou 2) e do coeficiente de amortecimento do material (ζ). Considerando a localização já enunciada na quantificação da acção da neve, Guarda, ou seja Zona D de acordo com o zonamento do território continental enunciado no RSA. Admitindo um terreno do tipo I no que diz respeito à sua natureza (rochas e solos coerentes rijos), e sabendo que o coeficiente de amortecimento do aço é de 2%, devem ser aplicados dois espectros de resposta (um para cada tipo de acção). Estes são definidos para a zona A no anexo III do RSA, para as restantes zonas, deverão multiplicar-se as ordenadas desses espectros pelo coeficiente de sismicidade (α) relativo à zona em causa, no caso Zona D à qual corresponde $\alpha=0,3$. Recorrendo a quadros ([35] IST) representativos dos espectros de resposta apresentados pelo RSA, com os valores da aceleração em função do período (T) para a Zona A. Os valores da aceleração para a zona D são definidos multiplicando os da zona A por α . Apresentam-se no Quadro 5.8 e no Quadro 5.9, os valores da aceleração em função do período para acção sísmica tipo 1 e para acção sísmica tipo 2, respectivamente.

Quadro 5.8: Valores da aceleração em função do período (T), para acção sísmica tipo 1.

T	Aceleração	
[s]	[m/s ²]	
	Zona A	Zona D
0,040	2,14	0,64
0,045	2,41	0,72
0,050	3,89	1,17
0,055	5,91	1,77
0,060	6,62	1,99
0,070	7,47	2,24
0,080	7,78	2,33
0,090	7,83	2,35
0,100	7,77	2,33
0,120	7,64	2,29
0,140	7,91	2,37
0,160	7,94	2,38
0,180	7,82	2,35
0,200	7,64	2,29
0,250	7,02	2,11
0,300	6,27	1,88
0,400	5,22	1,57
0,500	4,44	1,33
0,800	2,88	0,86
1,000	2,31	0,69
2,000	0,98	0,29
3,000	0,57	0,17
4,000	0,38	0,11
5,000	0,27	0,08
10,000	0,08	0,02

Quadro 5.9: Valores da aceleração em função do período (T), para acção sísmica tipo 2.

T [s]	Aceleração	
	[m/s ²]	
	Zona A	Zona D
0,040	1,18	0,35
0,045	1,25	0,38
0,050	1,54	0,46
0,055	2,25	0,68
0,060	2,70	0,81
0,070	3,12	0,94
0,080	3,28	0,98
0,090	3,34	1,00
0,100	3,36	1,01
0,120	3,77	1,13
0,140	3,96	1,19
0,160	4,00	1,20
0,180	3,96	1,19
0,200	3,91	1,17
0,250	4,10	1,23
0,300	4,10	1,23
0,400	3,87	1,16
0,500	3,90	1,17
0,600	3,82	1,15
0,800	3,50	1,05
1,000	2,95	0,88
1,200	2,52	0,75
2,000	1,53	0,46
3,000	0,93	0,28
4,000	0,65	0,19
5,000	0,48	0,14
10,000	0,17	0,05

Estes valores das acelerações espectrais foram introduzidos no modelo numérico da moradia gerado no LUSAS para simular a acção sísmica de acordo com o especificado para Portugal, em particular para a zona de edificação da construção.

5.2.3 Combinação de acções

Com o objectivo de determinar os valores dos esforços actuantes nas situações mais desfavoráveis, que ocorrem ao longo da vida útil da estrutura, são consideradas combinações de acções.

Para a verificação aos estados limites últimos aplicam-se as combinações fundamentais. Nestas combinações o esforço actuante é determinado com base na soma entre as acções permanentes e uma combinação das acções variáveis, multiplicando os dois tipos de acções pelo respectivo coeficiente de segurança.

De forma simplificada, aplicando a combinação fundamental o esforço actuante pode ser determinado por:

$$S_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g \cdot S_{Gik} + \gamma_q \cdot [S_{Q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} \cdot S_{Qjk}] \quad (5.3)$$

onde:

- S_d : Valor de cálculo do esforço actuante;
- S_{Gk} : Esforço resultante das acções permanentes, utilizando os respectivos valores característicos;
- S_{Q1k} : Esforço resultante da acção variável considerada como acção de base da combinação, adoptando o valor característico dessa;
- S_{Qjk} : Esforço resultante de uma acção variável distinta da acção base, adoptando o valor característico dessa;
- γ_g : Coeficiente de segurança relativo às acções permanentes;
- γ_q : Coeficiente de segurança relativo às acções variáveis;
- ψ_{0j} : Coeficiente de redução relativo à acção variável de ordem j.

Os coeficientes de segurança adoptados apresentam-se no

Quadro 5.10

Quadro 5.10: Coeficientes de segurança.

γ_g	γ_q
1,35	1,50

Definem-se seguidamente as combinações fundamentais de acções consideradas nesta análise.

5.2.3.1 Combinação 1: Acção de base neve

A combinação 1 considera como acção de base a acção da neve, sendo assim traduzida pela expressão:

$$S_d = \gamma_g \cdot S_{GK} + \gamma_q \cdot [S_{Sk} + \psi_{0,Qk,pav.} \cdot S_{Qk,pav.} + \psi_{0,Qk,esc.} \cdot S_{Qk,esc.}] \quad (5.4)$$

onde:

- S_{Sk} : Esforço resultante da acção da neve considerada como acção de base da combinação, adoptando o valor característico dessa;
- $\psi_{0Qk,pav.}$: Coeficiente de redução 0 da acção da sobrecarga de pavimento;
- $S_{Qk,pav.}$: Esforço resultante da acção da sobrecarga de pavimento, adoptando o seu valor característico;
- $\psi_{0Qk,esc.}$: Coeficiente de redução 0 da acção da sobrecarga de escadas;
- $S_{Qk,esc.}$: Esforço resultante da acção da sobrecarga de escadas, adoptando o seu valor característico;

De notar que a sobrecarga de cobertura não é contabilizada uma vez que o seu coeficiente de redução 0 é nulo.

5.2.3.2 Combinação 2: Acção de base sobrecarga

A combinação 2 considera como acção de base a acção das sobrecargas, sendo assim traduzida pela expressão:

$$S_d = \gamma_g \cdot S_{GK} + \gamma_q \cdot [(S_{Qk,pav.} + S_{Qk,esc.} + S_{Qk,cob.}) + \psi_{0,Sk.} \cdot S_{Sk}] \quad (5.5)$$

onde:

- S_{Sk} : Esforço resultante da acção da neve, adoptando o valor característico dessa;
- $\psi_{0,Sk.}$: Coeficiente de redução 0 da acção da neve;
- $S_{Qk,pav.}$: Esforço resultante da acção da sobrecarga de pavimento, adoptando o seu valor característico;
- $S_{Qk,esc.}$: Esforço resultante da acção da sobrecarga de escadas, adoptando o seu valor característico;

5.2.3.3 Combinação 3: Acção de base sismo

A combinação 3 considera como acção de base a acção do sismo, sendo assim traduzida pela expressão:

$$S_d = S_{GK} + \gamma_q \cdot S_{EK} + \psi_{2,Qk,esc.} \cdot S_{Qk,esc.} + \psi_{2,Qk,pav.} \cdot S_{Qk,pav.} \quad (5.6)$$

onde:

- S_{Ek} : Esforço resultante da acção do sismo, considerada como acção de base da combinação, adoptando o valor característico dessa;
- $\psi_{2,Qk,esc.}$: Coeficiente de redução 2 da acção da sobrecarga de escadas;
- $\psi_{2,Qk,pav.}$: Coeficiente de redução 2 da acção da sobrecarga de pavimento;
- $S_{Qk,pav.}$: Esforço resultante da acção da sobrecarga de pavimento, adoptando o seu valor característico;
- $S_{Qk,esc.}$: Esforço resultante da acção da sobrecarga de escadas, adoptando o seu valor característico;

De notar que a acção da sobrecarga de cobertura e a acção da neve não são contabilizadas, uma vez que os seus coeficientes de redução 2 são nulos.

Esta combinação na realidade traduz-se em quatro combinações uma vez que devem ser contabilizadas a acção sísmica tipo 1 e a acção sísmica tipo 2, e cada uma destas actuando segundo cada uma das direcções horizontais, ou seja:

- Acção sísmica tipo 1 segundo a direcção y;
- Acção sísmica tipo 1 segundo a direcção x;
- Acção sísmica tipo 2 segundo a direcção y;
- Acção sísmica tipo 2 segundo a direcção x;

5.3 Avaliação dos esforços actuantes

Para avaliação dos esforços actuantes foi utilizado um modelo numérico efectuado de forma semelhante à do modelo numérico descrito em 3.4.1, mas composto pela totalidade dos contentores. Como referido anteriormente o equilíbrio das zonas suspensas foi proporcionado através de treliças laterais, tornando-se necessário efectuar um pré-dimensionamento das secções dos perfis metálicos dessas treliças.

5.3.1 Pré-dimensionamento das treliças laterais

A geometria das treliças laterais foi definida tendo em consideração as circunstâncias do projecto de arquitectura, de forma a localizar as barras em zonas sem aberturas, sempre que possível. Considerou-se que as treliças ligadas aos respectivos pilares com fundação no solo formam pórticos. Assim o pórtico localizado no alçado principal denominou-se por P1, e o pórtico localizado no alçado posterior denominou-se por P2. A geometria do pórtico P1 e do pórtico P2 representa-se na Figura 5.1 e na Figura 5.2, respectivamente.

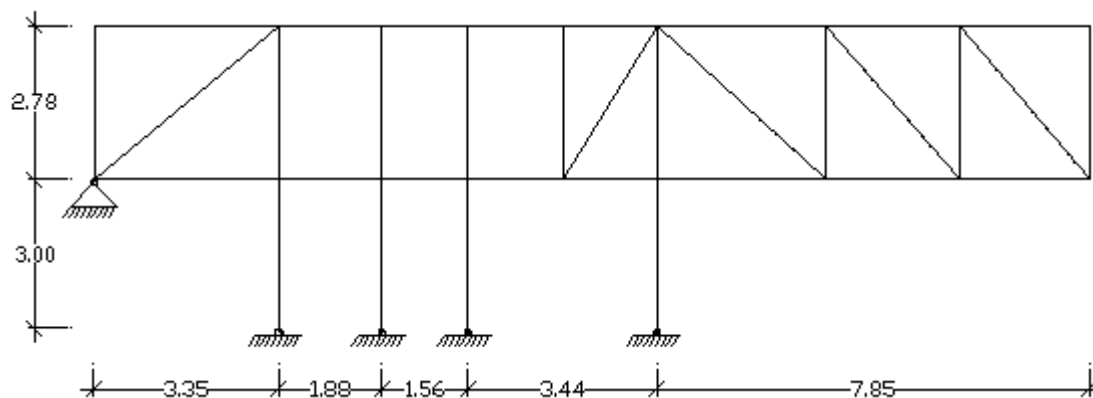


Figura 5.1: Pórtico P1.

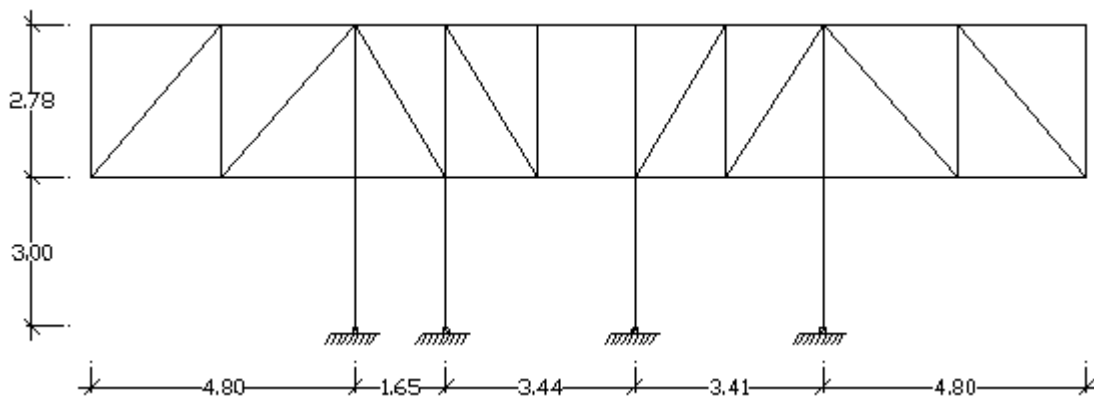


Figura 5.2: Pórtico P2.

De notar que as barras inclinadas das treliças apresentam esta disposição para que seja garantido um estado de tracção, tornando a estrutura mais económica.

A geometria das treliças foi definida para que estas apresentassem também alguma simetria, tendo em vista uma melhor aparência estética uma vez que existe a possibilidade de ficarem à vista. No entanto na treliça do pórtico P1 tal não foi possível, devido à existência de aberturas e por estar em consola apenas numa das extremidades.

O pré-dimensionamento das treliças laterais foi efectuado recorrendo ao programa de cálculo automático de estruturas *TRICALC*. Foram introduzidos no programa dois modelos, um para cada pórtico, com a respectiva geometria.

A definição da geometria dos modelos no programa foi realizada através da localização de cada barra nesses modelos inserindo as coordenadas dos respectivos nós de extremidade.

As condições de apoio são as apresentadas na Figura 5.1 e na Figura 5.2 para o pórtico P1 e para o pórtico P2 respectivamente. Considera-se que o pórtico P1 apresenta apoios com restrição de todas as translações, nos 4 pilares com fundação no solo, e na extremidade que apoia na zona do vértice superior do contentor 1-40'HC.1. O pórtico P2 apresenta apoios com as mesmas características, nos pilares de fundação apresentando as duas extremidades em consola.

Seguidamente definiu-se o carregamento, aplicaram-se cargas uniformes linearmente distribuídas ao longo das cordas superiores, resultantes da reacção de apoio das bases de contentores existentes na cobertura para cada tipo de acção, à excepção da acção sísmica. Para determinar essa reacção considerou-se uma faixa de um metro de cobertura, simplesmente apoiada, com um vão (L) de 5,062 m, sendo esta a distância entre as duas treliças. Foram consideradas as reacções (R) nas cordas superiores devidas a todas as acções (Q) variáveis e permanentes apresentadas anteriormente determinadas pela expressão:

$$R = \frac{Q \cdot L}{2} \quad (5.7)$$

A reacção nas cordas das treliças devido ao peso próprio dos contentores foi contabilizada admitindo que metade do peso será suportada pela corda superior e a outra metade pela inferior.

A reacção nas cordas superiores, devida ao peso próprio das bases dos contentores na cobertura, foi estimada admitindo o peso próprio de cada um dos perfis metálicos que compõe as bases tal como apresentado no Quadro 5.11.

Quadro 5.11: Peso próprio dos perfis metálicos de uma base de contentor 20'HC.

Elemento	A	Comprimento	Peso	Quantidade	Total
	[m ²]				[kN]
BCM1	0,00080	2,336	0,143	12	1,72
BCM2	0,00092	2,336	0,165	3	0,49
BSR	0,00101	5,702	0,445	2	0,89
DS	0,00170	2,114	0,277	1	0,28
FS	0,00126	2,114	0,205	1	0,21
Peças de canto	0,01910	0,178	0,262	4	1,05
FP1	0,00110	2,336	0,198	2	0,40
FP2	0,00220	0,200	0,034	4	0,14
				Total	5,16

De forma a estimar uma carga distribuída por unidade de área, o peso anterior foi dividido pela área de uma base de contentor, valor ao qual foi somado o peso do contraplacado marítimo, o peso próprio de uma base de contentor por unidade de área é apresentada no Quadro 5.12.

Quadro 5.12: Peso próprio da base do contentor 20'HC.

P.P. perfis metálicos	P.P. contraplacado	P.P. base contentor
[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
0,35	0,19	0,54

Foi ainda considerada a acção do peso próprio de uma platibanda localizada ao longo das treliças, através de um valor habitualmente utilizado em projecto.

No Quadro 5.13 apresentam-se os valores das cargas distribuídas linearmente na corda superior, devidas a cada uma das acções.

Quadro 5.13: Valor das reacções nas cordas superiores das treliças, por unidade de comprimento.

L	S _{k,R}	Q _{k,R}	Revestimento	P.P. base contentor	P.P. contentor	Platibanda
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
5,062	4,30	5,06	2,53	1,37	1,88	0,5

As cargas actuantes nas cordas inferiores foram contabilizadas seguindo o mesmo princípio das cordas superiores, no entanto foram somadas duas reacções para cada tipo de acção. A reacção proveniente das cargas distribuídas no pavimento interior do 1º andar, e a reacção proveniente das acções distribuídas nos terraços. Sendo a última uma carga distribuída linearmente não uniforme, devido ao viés dos contentores do piso superior, uma vez que o comprimento do terraço é variável, variando assim o vão da faixa simplesmente apoiada a considerar. Estes valores não são apresentados uma vez que são semelhantes aos da corda superior. Sendo que para a reacção devida às acções no pavimento interior apenas não é considerada a acção da neve, e é considerada a respectiva sobrecarga de pavimentos. Para

as reacções provenientes dos terraços são contabilizadas a acção da neve, a sobrecarga de coberturas acessíveis e os pesos próprios actuantes.

O peso próprio das barras dos pórticos é contabilizado automaticamente pelo programa de cálculo, assim como as combinações de acções, sendo apenas consideradas a Combinação 1 e a Combinação 2, uma vez que não foi contabilizada, nesta fase, a acção do sismo.

Seguidamente foram atribuídas secções transversais rectangulares ocas adequadas à geometria dos perfis metálicos dos contentores marítimos aos quais as cordas da treliça irão ligar. Como os perfis laterais inferiores do contentor tipo 40'HC apresentam uma altura de 155 mm, os perfis escolhidos para as cordas inferiores são perfis tubulares com 150 mm de altura. Quanto à largura adoptaram-se secções com 100 mm de forma a permitirem a ligação com as peças de canto das bases de contentores localizadas na cobertura. A espessura inicialmente adoptada foi a mínima disponível na biblioteca do programa para secções com a altura e largura referidas, 3 mm. Assim as secções adoptadas para as cordas das treliças foram secções tipo RSH 150x100x3. Para as secções das barras verticais da treliça (montantes) adoptaram-se secções tipo RSH 120x80x3, de forma a apresentarem dimensões inferiores às das cordas tendo em vista a ligação com essas. Para as barras diagonais adoptou-se a secção tipo RSH 120x60x3, com largura inferior à das barras verticais de forma a facilitar a ligação com essas.

Definiram-se as características do material, considerando um aço de classe S355. Finalmente foi seleccionada a opção de cálculo de esforços disponibilizada pelo programa, e a opção para verificar a segurança dos perfis metálicos aos respectivos esforços.

Como as secções definidas inicialmente não foram comprovadas pelo programa, adoptaram-se perfis metálicos com áreas de secção transversal superior, aumentando a espessura dos mesmos, garantindo a segurança através do programa de cálculo. Apresentam-se seguidamente as soluções adoptadas para cada tipo de barra do pórtico P1:

- Corda inferior: RSH 150x100x12,5;
- Corda superior: RSH 150x100x8;
- Barras verticais e pilares: RSH 120x80x8;
- Barras inclinadas: RSH 120x60x8
- Barras verticais das extremidades: RSH 150x90x4.

Para o pórtico P2 as soluções adoptadas são:

- Corda inferior: RSH 150x100x5;
- Corda superior: RSH 150x100x5;

- Barras verticais e pilares: RSHH 120x80x4;
- Barras inclinadas: RSHH 120x60x4
- Barras verticais das extremidades: RSHH 150x90x4.

5.3.2 Modelo numérico da moradia

O modelo numérico da moradia foi definido de forma similar ao modelo do contentor tipo 40'HC apresentado no ponto 3.4.1, utilizando o software de cálculo em elementos finitos *LUSAS*.

5.3.2.1 Geometria espacial

A geometria espacial do modelo numérico foi definida através da definição de barras, que representam os vários perfis metálicos dos contentores marítimos tendo em consideração as aberturas impostas pelo projecto de arquitectura. Representam-se também por barras os perfis metálicos dos reforços definidos em 4.4, e os perfis metálicos dos pórticos com as treliças laterais. São ainda definidas barras de ligação de pequeno comprimento entre as barras dos perfis *BSR* e *TSR* de contentores contíguos. Definem-se também barras de ligação entre as cordas das treliças laterais e os perfis dos contentores *BSR* e *TSR* dos contentores do 1º andar.

As chapas neste modelo, ao contrário do modelo preliminar estudado no capítulo 3, são representadas apenas por barras. Apenas são definidas superfícies para a chapa de cobertura e para o contraplacado marítimo de pavimento. Estas superfícies não são consideradas como resistentes. A superfície da cobertura é semelhante à definida no modelo preliminar, e a superfície do contraplacado marítimo serve apenas para garantir a distribuição das acções distribuídas por unidade de área.

5.3.2.2 Propriedades geométricas

No que diz respeito às propriedades geométricas dos perfis metálicos dos contentores marítimos foram atribuídas as propriedades geométricas das secções totais no caso das secções de classe inferior a 4. No caso das secções de classe 4 a redução das secções transversais só precisa ser considerada na análise global quando a secção efectiva de um elemento comprimido for inferior a 50% da área bruta da secção transversal do mesmo elemento ([7] Simões da Silva, et al., 2007). Assim no caso das secções com redução torna-se necessário avaliar o factor de redução (ρ_c). Nos casos em que esse seja inferior a 0,5 significa que o respectivo elemento sofre uma redução superior a 50%. Apenas nos elementos em que tal seja verificado, é necessário considerar a redução das secções atribuindo as propriedades efectivas apresentadas em 3.4.3. No Quadro 5.14 e no Quadro 5.15 apresentam-se as secções a representar no modelo pelas propriedades da secção efectiva.

Quadro 5.14: Secções com elementos com redução superior a 50%, do contentor 40'HC.

Secção	Elemento	ρ_c
FS	1	0,20
DH	1	0,28
few	1	0,48
fp	4	0,20

Quadro 5.15: Secções com elementos com redução superior a 50%; do conteúdo 20'HC.

Secção	Elemento	ρ_c
DH	7	0,16
few	1	0,48

No caso particular da chapa fp , procedeu-se da mesma forma que no modelo preliminar do contentor tipo 40'HC, ou seja foi representada por duas barras, mas com as propriedades de metade da secção reduzida.

Para as chapas das faces laterais (sw) e da face frontal (few) foram definidas propriedades geométricas para barras tal como no modelo do contentor tipo 40'HC, mas agora não foram admitidas as propriedades de nenhuma superfície representada por elementos finitos planos. Ou seja as propriedades geométricas atribuídas a essas barras garantem por si só as propriedades de troços de chapa com o mesmo comprimento definido anteriormente (300 mm). As propriedades geométricas atribuídas às barras que representam as chapas (sw e few) apresentam-se no Quadro 5.16 e no Quadro 5.17.

Quadro 5.16: Propriedades geométricas das barras representativas das chapas dos contentores 40'HC.

Chapa	A_{chapa}	$I_{yy, chapa}$	L_{chapa}	h	b	A	I_{yy}	I_{zz}	A_{sy}	A_{sz}
	[m ²]	[m ⁴]	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ²]	[m ²]
sw1/3	2,360E-03	4,487E-07	1,116	0,048	0,013	6,344E-04	1,206E-07	9,326E-09	5,287E-04	5,287E-04
sw2	1,891E-03	3,674E-07	1,116	0,048	0,011	5,083E-04	9,876E-08	4,695E-09	4,236E-04	4,236E-04
few	1,923E-03	9,444E-07	1,119	0,077	0,007	5,156E-04	2,532E-07	1,938E-09	4,296E-04	4,296E-04

Quadro 5.17: Propriedades geométricas das barras representativas das chapas dos contentores 20'HC.

Chapas	A_{chapa}	$I_{yy, chapa}$	L_{chapa}	h	b	A	I_{yy}	I_{zz}	A_{sy}	A_{sz}
	[m ²]	[m ⁴]	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ²]	[m ²]
sw1/3	2,34E-03	4,42E-07	1,105	0,048	0,013	6,34E-04	1,20E-07	9,38E-09	5,29E-04	5,29E-04
sw2	1,88E-03	3,65E-07	1,110	0,048	0,011	5,08E-04	9,85E-08	4,71E-09	4,24E-04	4,24E-04
few	1,92E-03	9,44E-07	1,119	0,077	0,007	5,16E-04	2,53E-07	1,94E-09	4,30E-04	4,30E-04

No Quadro 5.18 representam-se as propriedades geométricas atribuídas às barras representativas dos perfis de reforço localizados como descrito em 4.4.

Quadro 5.18: Propriedades geométricas dos perfis metálicos de reforço.

Perfil	h	b	t	A	I_y	I_z	A_{sy}	A_{sz}
	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ²]	[m ²]
TPS 100x50x5	0,100	0,050	0,005	1,373E-03	5,430E-07	1,665E-06	9,153E-04	4,577E-04
TPS 100x50x10	0,100	0,050	0,010	2,493E-03	7,839E-07	2,588E-06	1,662E-03	8,310E-04
TPS 150x50x10	0,15	0,05	0,01	4,49E-03	1,19E-06	7,92E-06	3,370E-03	1,123E-03
TPS 150x50x12	0,15	0,050	0,012	4,069E-03	1,266E-06	8,774E-06	3,052E-03	1,017E-03
TPS 160x80x12	0,160	0,080	0,010	5,029E-03	4,553E-06	1,449E-05	3,353E-03	1,676E-03

No Quadro 5.19 apresentam-se as propriedades geométricas atribuídas às barras representativas dos perfis metálicos dos pórticos das treliças laterais.

Quadro 5.19: Propriedades geométricas dos perfis metálicos dos pórticos e das respectivas treliças.

Perfil	A	I_y	I_z	A_{sy}	A_{sz}
	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ²]	[m ²]
RHSH 150x100x12,5	5,46E-03	7,63E-06	1,49E-05	3,27E-03	2,18E-03
RHSH 150x100x8	3,68E-03	5,69E-06	1,09E-05	2,21E-03	1,47E-03
RHSH 120x80x8	2,88E-03	2,73E-06	5,25E-06	1,73E-03	1,15E-03
RHSH 120x60x8	2,56E-03	3,13E-06	1,35E-06	1,70E-03	8,52E-04
RHSH 150x90x4	1,82E-03	2,51E-06	5,52E-06	6,80E-04	1,13E-03
RHSH 150x100x5	2,37E-03	3,92E-06	7,39E-06	1,42E-03	9,49E-04
RHSH 120x80x4	1,52E-03	1,61E-06	3,03E-06	9,11E-04	6,07E-04
RHSH 120x60x4	1,36E-03	8,31E-07	2,49E-06	9,06E-04	4,53E-04

As propriedades geométricas atribuídas para as barras de ligação foram definidas de forma a garantir a adequada transferência de esforços entre os perfis que ligam, assim foi considerada para essas barras uma secção transversal rectangular com as propriedades apresentadas no Quadro 5.20.

Quadro 5.20: Propriedades geométricas das barras de ligação.

A	I_y	I_z	A_{sy}	A_{sz}
[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ²]	[m ²]
0,019	2,21E-05	4,10E-05	0,01593	0,01593

Às superfícies que definem o pavimento foram-lhes atribuídas as propriedades do contraplacado marítimo, ou seja 28 mm de espessura. Quanto às superfícies referentes às chapas da face superior dos contentores apresentam as mesmas propriedades do modelo preliminar do contentor tipo 40'HC.

5.3.2.3 Propriedades do material

Os materiais definidos foram o aço e a madeira prensada do contraplacado marítimo. As propriedades do aço são as mesmas apresentadas para o modelo preliminar do contentor tipo 40'HC. Quanto ao contraplacado marítimo foi-lhe atribuído um módulo de elasticidade (14,3 GPa) equivalente ao de uma madeira com massa volúmica semelhante (0,7 g/cm³) ([36] Coutinho, 1999).

5.3.2.4 Condições de apoio

Foi considerado que os contentores ao nível do rés-do-chão estão apoiados nos vértices inferiores com todas as translações restringidas, e que os contentores ao nível do 1º andar estão ligados a estes através das bases de cobertura e às cordas das treliças laterais. Os pilares dos pórticos das treliças, como já referido no respectivo pré-dimensionamento, têm também todas as translações impedidas ao nível do rés-do-chão.

5.3.2.5 Carregamento aplicado

Aplicaram-se as acções descritas em 5.2, nas zonas adequadas.

O peso próprio dos elementos metálicos foi considerado automaticamente pelo programa de cálculo, à excepção dos perfis metálicos que foram modelados com secções efectivas. Para esses perfis foram atribuídos pesos distribuídos por metro de desenvolvimento dos perfis, determinados adequadamente.

Quadro 5.21: Peso próprio dos perfis modelados com secção efectiva, do contentor tipo 40'HC

Perfil	A	P.P.
	[cm ²]	[kN/m]
FS	17,23	0,13
DH	25,51	0,20
few	7,33	0,06
fp	31,93	0,25

Quadro 5.22: Peso próprio dos perfis modelados com secção efectiva, do contentor tipo 20'HC.

Secção	A	P.P.
	[cm ²]	[kN/m]
DH	25,73	0,20
few	7,33	0,06

Considerou-se ainda a atribuição de uma carga devida à resultante das acções actuantes na escadaria, definida adequadamente.

A acção sísmica foi aplicada através de opções próprias disponibilizadas pelo programa, sendo necessário inserir os dados dos espectros de resposta da acção sísmica tal como apresentados anteriormente. O *LUSAS* permite a utilização de um caso de carga próprio para a acção sísmica, sendo necessário definir 4 casos de carga desse tipo. Contabilizando, como já referido, cada tipo de acção sísmica (1 ou 2) actuando em cada direcção horizontal (x ou y).

O software de cálculo efectua automaticamente as combinações de esforços devidos a cada tipo de acção. Sendo apenas necessário definir cada uma das combinações de esforços desejadas, e introduzir os devidos factores de segurança e redução. Apenas a combinação que

tem como acção base a acção sísmica não é efectuada automaticamente pelo programa, uma vez que este não permite a combinação dos esforços da acção sísmica automaticamente.

Apresenta-se na Figura 5.3 o modelo numérico da moradia definido no programa de cálculo automático *LUSAS*:

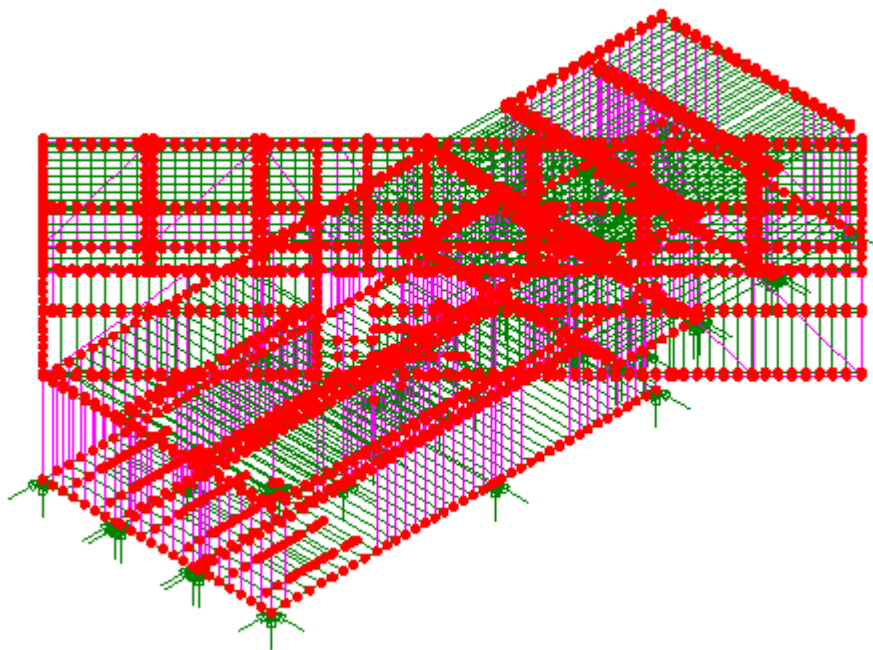


Figura 5.3: Vista geral do modelo numérico da moradia em análise.

5.3.3 Resultados

Após o cálculo da estrutura foram obtidos os resultados dos esforços para cada tipo de perfil metálico, em forma de listagem. Averiguou-se que os esforços mais gravosos são os obtidos pela combinação 2, uma vez que são em todos os casos superiores aos obtidos pela combinação 1 e pela combinação 3. Os esforços obtidos pela acção sísmica foram muito pequenos. Tal facto pode ser justificado por se considerar a localização do edifício em zona D, a menos gravosa de acordo com o zonamento do RSA, e também por se tratar de uma estrutura muito leve, visto tratar-se de uma estrutura metálica. Os esforços actuantes para a combinação 2 (a mais desfavorável) são apresentados no anexo B, com a respectiva verificação da segurança. Não são apresentados os esforços referentes às restantes acções visto serem inferiores e por isso não se demonstrarem condicionantes.

Avaliaram-se os esforços preponderantes em cada tipo de secção transversal, sendo que para os perfis metálicos dos contentores marítimos os esforços preponderantes são os apresentados no Quadro 5.23.

Quadro 5.23: Esforços preponderantes nos perfis metálicos dos contentores marítimos.

Perfil	Esforços preponderantes
DS	N; Vy; Vz; My; Mz
DCP	N; Vy; Vz; My; Mz
DH ^{40HC}	N ⁺
DH ^{20HC}	N; Vy; Vz; My; Mz
FH ^{40HC}	N; Vz; My
FH ^{20HC}	N
FS ^{40HC}	N ⁺
TSR ^{20HC}	N; Vz; My
TSR ^{40HC}	N; Vz; My
FS ^{20HC}	N; Vz; My
FCP	N; Vy; Vz; My; Mz
BSR ^{40HC}	N; Vz; My
BSR ^{20HC}	N; Vz; My
BCM1	N ⁺ ; Vz; My
BCM2	N ⁺ ; Vz; My
BCM3	N; Vz; My
BCM4	N; Vz; My
BCM5	N; Vz; My
BCM6	N; Vz; My
fp	N; Vz; My
few	N; Vz; My
SW _{1/3} ^{40HC}	N
SW _{1/3} ^{20HC}	N
SW ₂ ^{40HC}	N
SW ₂ ^{20HC}	N

A nomenclatura aqui adoptada para cada tipo de esforço difere da referida em 3.4.1.7, mas tem o mesmo significado. A nomenclatura atrás apresentada é a utilizada pelo programa de cálculo, a agora apresentada corresponde à utilizada pela norma EN1993-1-3, para verificação da segurança. Assim esta nomenclatura tem o seguinte significado, e a correspondente nomenclatura utilizada pelo programa:

- N: Esforço axial corresponde a F_x ;
- V_z : Esforço transversal segundo z, corresponde a F_z ;

- V_y : Esforço transversal segundo y , corresponde a F_y ;
- M_y : Momento flector segundo y , corresponde a M_y ;
- M_z : Momento flector segundo z , corresponde a M_z .

As diferentes nomenclaturas apresentadas no Quadro 5.23 para o esforço axial têm o seguinte significado:

- N : Verificaram-se perfis metálicos da respectiva tipologia, com esforço axial positivo e negativo significativos;
- N^+ : Apenas foram verificados perfis metálicos da respectiva tipologia, com esforço axial positivo significativo;
- N^- : Apenas foram verificados perfis metálicos da respectiva tipologia, com esforço axial negativo significativo;

No caso dos perfis metálicos de reforço das faces laterais dos contentores, verificou-se que estavam submetidos sobretudo a estados de tracção e compressão, apresentando portanto apenas esforço axial como esforço preponderante. Os perfis metálicos dos pórticos das treliças também apresentaram como esforço preponderante o esforço axial.

5.4 Verificação da segurança

5.4.1 Estados limite últimos

A verificação da segurança foi realizada à luz da norma EN1993-1-3 para os perfis metálicos enformados a frio. No que se refere aos restantes perfis adoptou-se o procedimento da EN1991-1-1.

5.4.1.1 Esforço axial de tracção

A resistência de projecto de uma secção transversal para uma tracção uniforme $N_{t,Rd}$ deve ser determinada a partir de:

$$N_{t,Rd} = \frac{f_{ya} \cdot A_g}{\gamma_{M0}} \quad (5.8)$$

Onde:

- A_g : Área bruta da secção transversal é determinada por:

$$A_g = A_{g,sh} \cdot (1 - \delta) \quad (5.9)$$

sendo:

- $A_{g,sh}$: Área bruta da secção transversal considerando vértices rectos;
- δ . Factor que contabiliza os vértices curvos:

$$\delta = 0,43 \cdot \frac{\sum_{j=1}^n r_j \frac{\phi_j}{90^\circ}}{\sum_{i=1}^m b_{p,i}} \quad (5.10)$$

onde:

- n : número de vértices curvos;
- m : número de elementos rectos;
- r_j : raio interno do vértice j ;
- Φ : ângulo entre dois elementos rectos

Como a área bruta da secção é calculada com base numa secção com vértices rectos é superior à área real. Por isso, na análise efectuada neste trabalho considera-se a área bruta da secção igual à área real da secção transversal:

$$A_g = A_{Real} \quad (5.11)$$

f_{ya} : Tensão de cedência média;

A tensão de cedência média (f_{ya}) para perfis enformados a frio não comerciais deve ser determinada experimentalmente, de acordo com a EN1993-1-3. Para os perfis metálicos em estudo esse valor é desconhecido, por isso adopta-se o valor da tensão de cedência básica (f_{yb}), tratando-se de um procedimento conservativo uma vez que esta é inferior.

- γ_{M0} : Coeficiente parcial de segurança, definido de acordo com EN 1993-1-1 (1,0).

No caso das treliças laterais não foram calculados esforços resistentes visto que os esforços actuantes avaliados na fase de pré-dimensionamento eram superiores aos avaliados pelo modelo numérico da treliça. Considerando-se assim que não seria necessário efectuar a verificação da segurança para esses perfis.

5.4.1.2 Esforço axial de compressão

O esforço axial resistente de compressão ($N_{c,Rd}$) de uma secção transversal determina-se de acordo com a cláusula 6.1.3 da EN 1993-1-3. Assim para secções com redução devido a encurvadura local ($A_{eff} < A_{Real}$) por:

$$N_{c,Rd} = \frac{f_{yb} \cdot A_{eff}}{\gamma_{M0}} \quad (5.12)$$

A referida norma permite para secções que não sofrem redução por encurvadura ($A_{eff} = A_{Real}$), ou seja secções de classe inferior a classe 4, a aplicação de uma outra expressão que contabiliza uma maior capacidade resistente da secção através da tensão de cedência média, no entanto nesta análise adopta-se de forma conservativa:

$$N_{c,Rd} = \frac{f_{yb} \cdot A_{Real}}{\gamma_{M0}} \quad (5.13)$$

No caso das secções que sofrem redução devem ainda ser contabilizados os momentos flectores devidos às excentricidades entre o centro de gravidade da secção real e o centro de gravidade da secção efectiva. Verifica-se por isso um estado de flexão composta com compressão. Admitindo-se o procedimento descrito em 5.4.1.6, mas sem momentos flectores actuantes.

5.4.1.3 Momento flector

O momento resistente de uma secção transversal (M_{Rd}) em torno de um eixo principal é determinado para secções com redução devido a encurvadura local ($W_{eff} < W_{Real}$) por:

$$M_{Rd} = \frac{f_{yb} \cdot W_{eff}}{\gamma_{M0}} \quad (5.14)$$

Sendo:

- W_{eff} : Módulo elástico de flexão efectivo em torno do respectivo eixo que passa pelo centro de gravidade da secção transversal.

A referida norma permite para secções que não sofrem redução por encurvadura ($W_{eff} = W_{el}$), ou seja secções de classe inferior a classe 4, a aplicação de uma outra expressão que contabiliza uma maior capacidade resistente da secção através do valor do módulo plástico

de flexão. Como esse valor não é conhecido para as secções em análise uma vez que não são perfis metálicos comerciais, nesta análise adopta-se de forma conservativa:

$$M_{Rd} = \frac{f_{yb} \cdot W_{el}}{\gamma_{M0}} \quad (5.15)$$

No caso de secções sujeitas a flexão desviada deve ser garantido o seguinte critério:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (5.16)$$

Onde:

- $M_{y,Ed}$: Momento flector actuante em torno do eixo y;
- $M_{z,Ed}$: Momento flector actuante em torno do eixo z;
- $M_{y,Rd}$: Momento flector resistente em torno do eixo y;
- $M_{z,Rd}$: Momento flector resistente em torno do eixo z.

5.4.1.4 Esforço transversal

O esforço transversal resistente ($V_{b,Rd}$) determina-se por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}} \quad (5.17)$$

onde:

- h_w : Altura da alma;
- ϕ : Inclinação da alma relativamente aos banzos;
- t : Espessura da alma;
- f_{bv} : Tensão de resistência ao corte considerando encurvadura.

Por simplificação admite-se que:

$$\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \approx A_s \quad (5.18)$$

sendo:

- A_s : Área de corte na direcção considerada.

A tensão de resistência ao corte considerando encurvadura é determinada de acordo com o Quadro 6.1 da EN 1993-1-3 em função da esbelteza relativa da alma ($\bar{\lambda}_w$), determinada por:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \cdot \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \quad (5.19)$$

sendo:

- s_w : Altura inclinada da alma;
- E : Módulo de elasticidade (210 GPa).

Nas secções transversais em análise a esbelteza relativa da alma ($\bar{\lambda}_w$) é sempre inferior a 0,83, pelo que de acordo com o Quadro 6.1 da EN 1993-1-3:

$$\bar{\lambda}_w \leq 0,83 \Rightarrow f_{bv} = 0,58 \cdot f_{yb} \quad (5.20)$$

5.4.1.5 Flexão composta com tracção

Para secções transversais sujeitas a esforço axial de tracção (N_{Ed}) e momentos flectores ($M_{y,Ed}$ e $M_{z,Ed}$), deve ser verificada a expressão:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (5.21)$$

sendo:

- $N_{t,Rd}$: Esforço axial resistente de tracção, determinado como em 5.4.1.1;
- $M_{y,Rd}$: Momento resistente em torno de y, determinado como em 5.4.1.3;
- $M_{z,Rd}$: Momento resistente em torno de z, determinado como em 5.4.1.3;

5.4.1.6 Flexão composta com compressão

Para secções transversais sujeitas a esforço axial de compressão (N_{Ed}) e momentos flectores ($M_{y,Ed}$ e $M_{z,Ed}$), deve ser verificada a expressão:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (5.22)$$

sendo:

- $N_{c,Rd}$: Esforço axial resistente de compressão, determinado como em 5.4.1.1;
- $M_{y,Rd}$: Momento resistente em torno de y, determinado como em 5.4.1.3;
- $M_{z,Rd}$: Momento resistente em torno de z, determinado como em 5.4.1.3;

5.4.1.7 Interacção entre esforço transversal, esforço axial e momento flector

A verificação da segurança deve considerar a combinação dos vários tipos de esforços actuantes. De acordo com a cláusula 6.1.10 da EN 1993-1-3 a resistência de dimensionamento ao momento flector e ao esforço axial não precisa de ser reduzida devido à actuação conjunta do esforço transversal quando:

$$V_{Ed} \leq 0,5 V_{w,Rd} \quad (5.23)$$

Caso o esforço transversal actuante seja superior a metade do esforço transversal resistente, deve ser verificada a seguinte expressão:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right)^2 \leq 1 \quad (5.24)$$

Onde:

- N_{Rd} : Esforço axial resistente de compressão ou tracção;
- $M_{y,Rd}$: Momento resistente da secção transversal;
- $V_{w,Rd}$: Esforço transversal resistente da alma;
- $M_{f,Rd}$: Momento resistente plástico de uma secção transversal constituída apenas pelos banzos;
- $M_{pl,Rd}$: Momento resistente plástico da secção transversal.

5.4.1.8 Resistência à encurvadura lateral

De acordo com a cláusula 6.2.5 (2) da EN1993-1-3 a verificação à encurvadura para perfis enformados a frio submetidos a flexão composta pode ser efectuada, através da expressão:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}}\right)^{0,8} \leq 1 \quad (5.25)$$

sendo:

- $N_{b,Rd}$: Valor de cálculo da resistência à encurvadura de um elemento comprimido;
- $M_{b,Rd}$: Valor de cálculo do momento flector resistente à encurvadura;

O valor de cálculo do momento flector resistente à encurvadura depende do momento crítico elástico para a encurvadura lateral, que por sua vez depende de factores desconhecidos para o tipo de secções em análise uma vez que não são perfis comerciais. Sendo por isso necessário realizar ensaios experimentais, globais e locais, para averiguar o comportamento de cada tipo de perfil metálico que constitui os contentores marítimos.

Ainda assim de acordo com a cláusula 6.3.2.1 (2) da EN1993-1-1, perfis metálicos com um travamento lateral suficiente não são susceptíveis à encurvadura lateral. Mas para avaliar a suficiência de qualquer travamento lateral impedir a encurvadura é necessário efectuar uma análise intensiva de cada tipo de perfil, averiguando a susceptibilidade dos perfis restringidos lateralmente resistirem à encurvadura lateral. Concluindo, com os dados conhecidos, não é possível de todo verificar a encurvadura dos perfis que eventualmente, serão susceptíveis a essa verificação.

5.4.1.9 Verificação da segurança dos perfis dos contentores marítimos

No Quadro 5.24 apresentam-se os esforços resistentes dos perfis enformados a frio, cujas secções transversais não sofrem redução devido a encurvadura local.

Quadro 5.24: Esforços resistentes das secções que não sofrem redução.

Perfil	N_{Rd}	$M_{Rd,y}$	$M_{Rd,z}$
	[kN]	[KN.m]	[KN.m]
DCP	1188,80	14,98	36,98
FH ^{20HC}	206,06	3,65	3,65
FS ^{40HC}	206,06	3,65	3,65
TSR ^{20HC}	206,06	3,65	3,65
TSR ^{40HC}	206,06	3,65	3,65
FS ^{20HC}	393,76	12,38	4,57
FCP	929,25	27,51	29,75
BSR ^{40HC}	342,95	11,21	2,66
BSR ^{20HC}	316,00	11,83	1,07
BCM1	248,02	8,55	1,33
BCM3	242,41	0,46	4,64
BCM4	191,12	8,11	1,32

No Quadro 5.25 apresentam-se os esforços resistentes dos perfis enformados a frio, cujas secções transversais sofrem redução devido a encurvadura local.

Quadro 5.25: Esforços resistentes excentricidades do centro de gravidade das secções transversais que sofrem redução.

Perfil	$N_{t,Rd}$	$N_{c,Rd}$	$M_{c,Rd,y}$	$M_{c,Rd,z}$	e_{Ny}	e_{Nz}
	[kN]	[kN]	[kN.m]	KN.m	[mm]	[mm]
DS	531,39	522,46	16,27	11,93	0,21	1,51
DH ^{40HC}	795,57	612,44	19,29	14,52	40,88	10,72
DH ^{20HC}	802,41	587,05	21,36	13,82	57,02	11,88
FH ^{40HC}	537,39	236,33	6,27	2,52	94,05	20,57
BCM2	285,44	260,93	8,83	1,51	4,46	4,82
BCM5	279,83	255,32	8,37	1,50	4,53	4,72
BCM6	536,59	510,79	17,11	9,41	1,43	4,3
FP	995,51	414,44	15,44	184,68	-	-

No caso particular da chapa f_p , como no modelo numérico foram adoptadas barras que representam metade da secção transversal, a verificação da segurança é também efectuada adoptando as propriedades dessa parte da secção (FP).

Para as chapas da face lateral existe apenas necessidade de avaliação do esforço axial uma vez que apenas apresentam este tipo de esforço actuante. Para avaliação deste esforço resistente é considerada a área referente a um metro de chapa. Para efeitos de verificação da segurança é efectuada uma análise por metro para as chapas e por isso os esforços actuantes considerados são obtidos dividindo os esforços actuantes das barras que representam as chapas pelo espaçamento entre essas (300 mm). O esforço axial resistente das chapas é apresentado no Quadro 5.26.

Quadro 5.26: Esforço axial resistente das chapas laterais.

Perfil	$N_{t,Rd}$	$N_{c,Rd}$
	[kN/m]	[kN/m]
$SW_{1/3}^{40HC}$	659,52	594,35
$SW_{1/3}^{20HC}$	659,88	622,01
SW_2^{40HC}	528,26	391,12
SW_2^{20HC}	528,42	411,87

As chapas da face frontal apresentam momento flector segundo z e esforço axial. No Quadro 5.27 são apresentados os esforços resistentes das chapas da face frontal (f_{ew}).

Quadro 5.27: Esforços resistentes da chapa da face frontal, f_{ew} .

$N_{t,Rd}$	$N_{c,Rd}$	$M_{Rd,z}$
[kN/m]	[kN/m]	[KN.m/m]
761,7876	588,32	98,55

A verificação da segurança à tracção, à compressão, e à flexão composta é apresentada no anexo B, através da apresentação dos maiores esforços actuantes em cada tipo de secção dos elementos metálicos que compõe os contentores marítimos. No Quadro 5.28 localizam-se os perfis que não verificam a segurança a estes esforços.

Quadro 5.28: Localizações dos perfis metálicos que não verificam a segurança.

Perfil	Localização
TSR ^{20'HC}	6-20'HC.3
TSR ^{40'HC}	1-40'HC.1 (lado direito)
	2-40'HC.2 (lado esquerdo)
	2-40'HC.2 (lado direito)
	3-40'HC.3 (lado esquerdo)
	3-40'HC.3 (lado direito)
FCP	1-40'HC.1 (lado esquerdo)
	2-40'HC.2 (lado esquerdo)
BSR ^{40'HC}	3-40'HC.3 (lado direito)
	1-40'HC.1 (lado esquerdo)
	1-40'HC.1 (lado direito)
	2-40'HC.2 (lado esquerdo)
	3-40'HC.3 (lado direito)
	2-40'HC.2 (lado esquerdo)
BSR ^{20'HC}	6-20'HC.3 (lado direito)
	5-20'HC.2 (lado direito)
	4-20'HC.1 (lado esquerdo)
	8-20'HC.5 (lado esquerdo)
BCM6	2-20'HC.2

No Quadro 5.29 apresenta-se a verificação da segurança ao esforço transversal, tal como descrito em 5.4.1.4. Para esta verificação foram considerados os esforços transversos máximos a que cada tipo de secção está sujeita.

Quadro 5.29: Verificação da segurança ao esforço transversal.

Perfil	Direcção	V_{Ed}	A_s	S_w	t	λ_w	$V_{w,Rd}$	$V_{Ed}/V_{b,Rd}$	Verificação	
		[kN]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[-]	[kN]		$V_{Ed} < V_{b,Rd}$	$V_{Ed} \leq 0,5V_{b,Rd}$
DS	z	18,5	652,3	131	4,5	0,41	117,97	0,2	Verifica	Verifica
	y	14	870,7	157	4,5	0,49	157,47	0,1	Verifica	Verifica
DCP	z	5,91	408,0	36	6	0,08	73,79	0,1	Verifica	Verifica
	y	11,20	2376,0	218	6	0,51	429,71	0,0	Verifica	Verifica
DH ^{40HC}	z	9,03	808,0	101	4	0,35	146,13	0,1	Verifica	Verifica
	y	4,61	816,0	102	4	0,36	147,58	0,0	Verifica	Verifica
DH ^{20HC}	y	12,70	956,0	131	3	0,61	172,90	0,1	Verifica	Verifica
	z	13,60	816,0	102	3	0,48	147,58	0,1	Verifica	Verifica
FH ^{40HC}	z	12,00	284,0	79	4	0,28	51,36	0,2	Verifica	Verifica
	y	4,63	398,5	3,63	4	0,01	72,07	0,1	Verifica	Verifica
FH ^{20HC}	z	4,60	288,0	54	3	0,25	52,09	0,1	Verifica	Verifica
FS ^{40HC}	z	3,43	288,0	54	3	0,25	52,09	0,1	Verifica	Verifica
TSR ^{20HC}	z	16,80	288,0	54	3	0,25	52,09	0,3	Verifica	Verifica
TSR ^{40HC}	z	22,40	288,0	54	3	0,25	52,09	0,4	Verifica	Verifica
FS ^{20HC}	z	20,50	228,0	144	4	0,50	41,23	0,5	Verifica	Verifica
	y	6,50	208,0	52	4	0,18	37,62	0,2	Verifica	Verifica
FCP	z	12,60	1086,0	150	6	0,35	196,41	0,1	Verifica	Verifica
	y	19,30	1230,0	165	6	0,38	222,45	0,1	Verifica	Verifica
BSR ^{40HC}	z	56,90	616,5	120	4,5	0,37	111,50	0,5	Verifica	Verifica
BSR ^{20HC}	z	41,70	648,0	151	4,5	0,47	117,19	0,4	Verifica	Verifica
BCM1	z	21,20	424,0	114	4	0,40	76,68	0,3	Verifica	Verifica
BCM2	z	11,30	424,0	114	4	0,40	76,68	0,1	Verifica	Verifica
BCM4	z	7,42	406,0	109	4	0,38	73,43	0,1	Verifica	Verifica
BCM5	z	3,02	406,0	109	4	0,38	73,43	0,0	Verifica	Verifica
BCM6	z	19,8	659,3	141	4,5	0,44	119,23	0,2	Verifica	Verifica
FP	z	9,3	848,0	145	4,5	0,45	153,36	0,1	Verifica	Verifica

No caso da chapa *few* a verificação da segurança ao esforço transversal foi efectuada através de uma análise por metro de chapa. Assumindo-se a resistência ao esforço transversal proporcionada pelas almas existentes num metro de chapa (n). Tal como demonstrado no Quadro 5.30

Quadro 5.30: Verificação da segurança ao esforço transversal da chapa *few*.

V_{Ed}	ϕ	n	h_w	S_w	t	λ_w	$V_{w,Rd}$	$V_{Ed}/V_{b,Rd}$	Verificação	
[kN/m]	[graus]		[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[kN/m]		$V_{Ed} < V_{b,Rd}$	$V_{Ed} < 0,5V_{b,Rd}$
30,33	68	8	42,59	45,93	2	0,32	61,62	0,5	Verifica	Verifica

Nos casos em estudo o esforço transversal actuante não ultrapassa metade do esforço transversal resistente, pelo que não foi necessário aplicar a expressão (5.24).

5.4.1.10 Verificação da segurança dos perfis de reforço das faces laterais

De acordo com a EN1993-1-1, para os perfis de reforço de aço laminado a quente é adoptada também a expressão (5.8). A classe do aço destes perfis é S355. Apresentando-se assim a verificação da segurança ao esforço axial para esses perfis no Quadro 5.31, considerando o esforço axial actuante máximo para cada tipo de secção.

Quadro 5.31: Verificação da segurança ao esforço axial de tracção.

Secção	N_{Ed}	$N_{t,Rd}$
	[kN]	[kN]
TPS 100x50x5	29,40	487,42
TPS 100x50x8	27,30	736,63
TPS 100x50x10	33,50	885,02
TPS 150x50x10	23,50	1240,02
TPS 150x50x12	63,10	1444,50
TPS160x80x12	27,00	1785,30

Os perfis de reforço das paredes laterais dos contentores além do esforço axial de tracção estão também sujeitos a esforço axial de compressão pelo que é necessário avaliar a sua resistência à encurvadura por compressão de acordo com a EN1993-1-1. Devendo proceder-se à classificação das secções de acordo com o descrito em 3.4.2.1. O valor de cálculo do esforço axial resistente ($N_{c,Rd}$) é determinado igualmente pela expressão (5.8). No entanto em elementos comprimidos deve verificar-se a condição:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \quad (5.26)$$

$N_{b,Rd}$ é a resistência à encurvadura por flexão, obtida por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (5.27)$$

onde:

- χ : Factor de redução para o modo de encurvadura relevante;
- γ_{M1} : Coeficiente parcial de segurança, definido de acordo com a EN1993-1-1 (1,0);

O coeficiente χ é determinado através da expressão:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \text{ mas, } \chi \leq 1,0 \quad (5.28)$$

sendo:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (5.29)$$

Sendo

- $\bar{\lambda}$: Coeficiente de esbelteza adimensional, determinado por ([8] Simões, 2007):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} \quad (5.30)$$

- α : Factor de imperfeição generalizado, determinado em função da curva de encurvadura, que depende do tipo de secção em análise. Para perfis rectangulares ocios deve ser adoptado o valor de 0,21, correspondente à curva de encurvadura *a*.
- L_{cr} : Comprimento crítico de encurvadura, corresponde à carga crítica elástica (N_{cr}). Para os perfis em análise considera-se o comprimento crítico de uma barra rotulada nas extremidades sendo: $L_{cr}=L$;
- i : raio de giração da secção;
- λ_1 : Factor determinado por:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon \quad (5.31)$$

O parâmetro ε determina-se pela expressão (5.32) com f_y em N/mm²:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (5.32)$$

No Quadro 5.32 apresenta-se a verificação dos perfis metálicos de reforço das paredes dos contentores, utilizando o esforço axial de compressão máximo para cada tipo de secção.

Quadro 5.32: Verificação da segurança à encurvadura por flexão dos perfis de reforço comprimidos.

Secção	TPS 100x50x5	TPS 100x50x8	TPS 100x50x10	TPS 150x50x10	TPS 150x50x12	TPS 160x80x12
L [m]	2,620	2,620	2,620	2,620	2,620	2,620
N_{Ed} [kN]	-27,90	-8,74	-25,80	-20,8	-74,3	-25,8
A [cm ²]	13,730	20,750	24,930	34,930	40,690	50,290
$N_{c,Rd}$ [kN]	487,42	736,63	885,02	1240,02	1444,50	1785,30
h [mm]	100	100	100	150	150	160
b [mm]	50	50	50	50	50	80
t [mm]	5	8	10	10	12	12
r [mm]	7,5	12	15	15	18	18
c [mm]	85	76	70	120	114	124
c/t [mm]	17,00	9,50	7,00	12,00	9,50	10,33
ϵ [-]	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
$33*\epsilon$ [-]	26,85	26,85	26,85	26,85	26,85	26,85
$38*\epsilon$ [-]	30,92	30,92	30,92	30,92	30,92	30,92
Classe da Secção	1	1	1	1	1	1
λ_1	76,41	76,41	76,41	76,41	76,41	76,41
Curva de Encurvadura	a	a	a	a	a	a
α [-]	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
L_{cr} [m]	2,62	2,62	2,62	2,62	2,62	2,62
i [cm]	1,989	1,859	1,773	1,848	1,764	3,009
$\bar{\lambda}$	1,72	1,84	1,93	1,86	1,94	1,14
φ	2,15	2,37	2,55	2,40	2,57	1,25
x	0,29	0,26	0,24	0,26	0,23	0,57
$N_{b,Rd}$ [kN]	142,35	190,45	209,84	317,15	339,31	1016,31
$N_{pl,Ed} / N_{b,Rd}$	0,20	0,05	0,12	0,07	0,22	0,03

De notar que tanto à compressão como a tracção os perfis escolhidos estão sobredimensionados. No entanto acha-se por bem manter estes perfis de forma a garantir que a resistência perdida pelos contentores devido às aberturas nas chapas das paredes, seja reduzida. Visto que estes perfis garantem a mesma área que as chapas retiradas.

Nota: A verificação da segurança dos pórticos das treliças laterais não é apresentada visto que os esforços actuantes avaliados no modelo global da moradia são inferiores aos avaliados nos modelos utilizados na fase de pré-dimensionamento.

5.5 Conclusão

Conclui-se neste capítulo que a modelação numérica de edifícios compostos por contentores marítimos é um processo bastante complexo devido às inúmeras barras que é necessário definir para representar todos os perfis metálicos constituintes dos contentores. Verificou-se que a necessidade de reforço está subjacente a este tipo de construção, uma vez que apesar dos reforços considerados antes da verificação, ainda há perfis metálicos dos contentores marítimos que não verificam a segurança aos estados limites últimos à luz da EN1993-1-3. Conclui-se também que os perfis com maior necessidade de reforço são os perfis laterais superiores e inferiores (BSR e TSR).

A principal conclusão obtida na análise efectuada neste capítulo é que a aplicação do procedimento para verificação da segurança apresentado pela EN1993-1-3, apesar das simplificações adoptadas, torna-se bastante complexo e mesmo impossível de aplicar para certas verificações. Essa constatação é agravada por se estarem a analisar perfis metálicos não comerciais, os quais não estão parametrizados adequadamente para aplicação do referido procedimento. Verifica-se por isso a necessidade de testar laboratorialmente o comportamento dos contentores marítimos do ponto de vista global, e de todos os perfis metálicos constituintes em particular.

6. Conclusões

6.1 Considerações finais

Constatou-se que o sistema construtivo com contentores marítimos remodelados está em ascensão a nível internacional com muitas provas dadas através dos inúmeros casos existentes. Em Portugal, este processo construtivo não está muito desenvolvido, existindo apenas algumas reutilizações simples, talvez devido à falta de conhecimentos e investigação nesta área que permitam o desenvolvimento de metodologias de projecto adequadas.

Os contentores marítimos são constituídos por um grande e variado número de perfis metálicos, o que dificulta não só a análise das secções e das suas propriedades resistentes, mas também no que diz respeito à realização de modelos numéricos para avaliação de esforços actuantes.

A arquitectura do caso de estudo em análise exige bastante da capacidade resistente dos contentores marítimos, justificando-se por isso o facto de alguns dos perfis metálicos não verificarem a segurança, não sendo posta em causa a enorme capacidade resistente dos contentores marítimos enquanto elementos estruturais de edifícios, facto comprovado com a grandeza dos esforços resistentes quando comparados com os esforços actuantes, à excepção dos casos em que a segurança não foi verificada, que são poucos. Concluindo-se que são de evitar disposições arquitectónicas que exijam grandes aberturas de vãos nas faces dos contentores e interrupção de perfis metálicos.

A consideração, admitida na definição de secções efectivas, de que o esforço principal a que os perfis metálicos dos contentores estão sujeitos é o esforço axial, é comprovada pela avaliação de esforços efectuada para o caso de estudo analisado. Uma vez que todos os perfis metálicos apresentam esse esforço como preponderante. No entanto quando existe momento flector considerável este é bastante condicionante, do ponto de vista da verificação da segurança.

A execução de projectos correntes com este sistema construtivo, tendo em conta os meios disponíveis, é inviável, devido à morosidade que lhe está inerente e à falta de conhecimento acerca do comportamento estrutural dos contentores marítimos a nível global e local, quando aplicados na construção civil. Especialmente no que diz respeito à falta de parâmetros mecânicos relativos aos perfis metálicos que constituem os contentores marítimos. Parâmetros estes que são habitualmente conhecidos e tabelados para perfis metálicos comerciais. A aplicação do Eurocódigo 3 para este tipo de sistema construtivo está

limitada pela falta desses parâmetros, o que implica a adopção de várias simplificações ao nível das verificações e mesmo impossibilidade de verificar algumas cláusulas, como é o caso da verificação à encurvadura, fenómeno normalmente condicionante no dimensionamento de estruturas metálicas correntes. Tendo em conta essa impossibilidade deverá ser garantido que todos os perfis metálicos dos contentores marítimos sejam restringidos lateralmente.

A realização deste trabalho foi muito proveitosa do ponto de vista de aquisição de conhecimento, principalmente no que diz respeito ao dimensionamento de secções metálicas de classe 4 à luz da normalização estudada.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

A aplicação de contentores marítimos na construção civil encontra-se em grande desenvolvimento. Por isso é necessário desenvolver processos e conhecimentos que simplifiquem de forma eficaz a execução de projectos para este sistema construtivo, com garantias de segurança.

Constatando-se que é um domínio com carência de investigação, e com muito trabalho a desenvolver, sugerem-se alguns trabalhos a desenvolver futuramente:

- Ensaio experimentais globais e locais, para averiguar o comportamento real do contentor marítimo, e parametrizar todos os perfis metálicos não comerciais;
- Análise do comportamento de edifícios com contentores marítimos, localizados em zonas sísmicas gravosas;
- Desenvolvimento de aplicativos computacionais especializados para apoio ao projecto de estruturas com recurso a contentores marítimos remodelados;
- Estudo de ligação entre os contentores, e entre estes e os elementos de fundação;
- Estudo de soluções de reforço dos contentores marítimos.

Bibliografia

- [1] **CEN** Eurocódigo 3: Projecto de estruturas de aço, Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, EN-1993-1-1 [Livro]. - Bruxelas : Comité Europeu de Normalização, 2005.
- [2] **CEN** Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-3: Cold formed structures, EN-1993-1-3 [Livro]. - Brussels : European Committee for Standardisation, 2004.
- [3] **CEN** Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-5: Plated structural elements, EN 1993-1-5 [Livro]. - Brussels : European Committee for Standardization, 2003.
- [4] **RSA** Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas e Pontes [Livro]. - Porto : Porto Editora, 2007.
- [5] **Nunes, Nuno Carlos Gonçalves** Aproveitamento de contentores marítimos para habitação [Relatório]. - Covilhã : Universidade da Beira Interior, 2009.
- [6] **Lourenço, Débora Teixeira** ANÁLISE DA CONSTITUIÇÃO E DO COMPORTAMENTO ELÁSTICO DE UM CONTENTOR COMERCIAL MARÍTIMO [Relatório]. - Covilhã : Universidade da Beira Interior, 2010.
- [7] **Simões da Silva, Luís e Gervásio, Helena** Manual de dimensionamento de estruturas metálicas: Métodos Avançados [Livro]. - Coimbra : CMM-Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista, 2007.
- [8] **Simões, Rui A.D.** Manual de dimensionamento de estruturas metálicas, 2ª Edição [Livro]. - Coimbra : CMM-Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista, 2007.
- [9] **Litewka, Andrzej** Strength of Materials-Lecture Notes: Part 1 [Livro]. - Covilhã : Universidade da Beira Interior, 2007.
- [10] **Gherzi, A.; Landolfo, R. e Mazzolani F. M.** Design of Metallic Cold Formed Thin-Walled Members [Livro]. - London : SPON PRESS, 2002.
- [11] **ECCS** Preliminary Worked Examples According to Eurocode 3 Part 1.3 [Livro]. - Brussels : European Convention for Constructional Steelwork, 2000.
- [12] **Gervásio Helena, Simões da Silva Luís e Simão Pedro** DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS METÁLICOS COM PERFIS ENFORMADOS A FRIO DE ACORDO COM A PARTE 1.3 DO EUROCÓDIGO 3 [Livro]. - Lisboa : IV Congresso de Construção Metálica e Mista, 2003.

[13] Adany, Sandor Calculation of the moment resistance of a Z- and C-shaped cold-formed sections according to Eurocode 3. - 2003.

[14] ISBU-Intermodal Steel Building Units and Container Homes ISO Shipping Container Specifications/Materials. - 2009.

[15] Wendy Usually Wanders [Online]. - wordpress. - 23 de Maio de 2010. - <http://wendyusuallywanders.wordpress.com/2008/12/19/another-eye-opening-video-and-newsletter/> (referido em [5]).

[16] Stone, Eric [Online]. - 2004. - 1 de Junho de 2010. - http://www.ericstone.com/uploaded_images/ChinaShipping2-772536.jpg (referido em [5]).

[17] TempoHousing TempoHousing [Online]. - 1 de Junho de 2010. - <http://www.tempohousing.com/>.

[18] National Geographic [Online]. - 20 de Maio de 2010. - <http://www.natgeoprogramming.com/images/full/1652.jpg>. (referido em [5]).

[19] HSH architects Designboom [Online]. - 2 de Junho de 2010. - <http://www.designboom.com/weblog/cat/9/view/6039/hsh-architects-residential-containers.html> (referido em [5]).

[20] inhabitat [Online]. - 17 de Maio de 2010. - <http://www.inhabitat.com/wp-content/uploads/travelodge11.jpg> (Referido em [5]).

[21] techeblog [Online]. - 18 de Maio de 2010. - http://media.techeblog.com/images/shipping_3.jpg (referido em [5]).

[22] Containercity [Online]. - 18 de Maio de 2010. - http://www.containercity.com/images/pinchin_street/pinchin_2.jpg (referido em [5]).

[23] Housingprototypes [Online]. - 18 de Maio de 2010. - http://housingprototypes.org/images/trinity%20buoy%20wharf_11.jpg (referido em [5]).

[24] Container City [Online]. - 3 de Junho de 2010. - <http://www.containercity.com>.

[25] [Online]. - 23 de Maio de 2010. - http://farm3.static.flickr.com/2349/1576862980_1123794647.jpg (referido em [5]).

[26] [Online]. - 3 de Junho de 2010. - http://www.lth.se/english/education/exchangestudies/blogs/alice_dyer/ (Referido em [5]).

- [27] **Boingboing** [Online]. - 28 de Junho de 2010. - <http://boingboing.net/2007/10/13/shipping-containers.html> (Referido em [5]).
- [28] **Univers-nature** [Online]. - 29 de Maio de 2010. - http://www.univers-nature.com/inf/inf_actualite1.cgi?id=4039.
- [29] **Hart Kelly** [Online]. - 25 de Maio de 2010. - <http://www.greenhomebuilding.com/articles/containers.htm>.
- [30] **Mocoloco contemporany design & architecture** [Online]. - 28 de Maio de 2010. - <http://mocoloco.com>.
- [31] **Funktion** [Online]. - 3 de Junho de 2010. - <http://funktion.catalystexhibit.com/2009/12/thinking-inside-the-box>.
- [32] **LOT-EK** [Online]. - 4 de Junho de 2010. - <http://www.jetsongreen.com/2008/12/lot-ek-puma-cit.html> (referido em [5]).
- [33] **Firmitas** [Online]. - 5 de Junho de 2010. - <http://firmitas.org/>.
- [34] **DEREN** [Online]. - 18 de Junho de 2010. - <http://www.deren.cc/Container%20Flooring.html>.
- [35] **IST** [Online]. - 14 de Abril de 2010. - <http://www.civil.ist.utl.pt/~luisg/rsa.htm>.
- [36] **Coutinho, Joana de Sousa** Materiais de construção 1 : Madeiras [Relatório]. - 1999.

Anexo A

A.1: Resultados da modelação numérica do contentor tipo 40'HC.

(Nota: Estes resultados apenas estão disponíveis na versão em formato digital, disponível no CD que acompanha esta dissertação)

A.2: Propriedades geométricas das secções transversais

A.2.1: Apresentação das secções transversais reais e reduzidas

Quadro A.1: Secções transversais.

Perfil	Secção transversal	AsY	Asz	Divisão em elementos considerados na classificação da secção transversal	Posição do Centro de gravidade
DS					
DCP					
DH 40HC					
DH 20HC					

Quadro A.1: Secções transversais. (Continuação)

Perfil	Secção transversal	AsY	AsZ	Divisão em elementos considerados na classificação da secção transversal	Posição do Centro de gravidade
FH 40HC					
FH 20HC FS 40HC TSR					
FS 20HC					
FCP					

Quadro A.1: Secções transversais. (Continuação)

Perfil	Secção transversal	AsY	Asz	Divisão em elementos considerados na classificação da secção transversal	Posição do Centro de gravidade
BSR 40'HC					
BSR 20'HC					
BCM1					
BCM2					

Quadro A.1: Secções transversais. (Continuação)

Perfil	Secção transversal	AsY	AsZ	Divisão em elementos considerados na classificação da secção transversal	Posição do Centro de gravidade
BCM3					
BCM4					
BCM5					
BCM6					

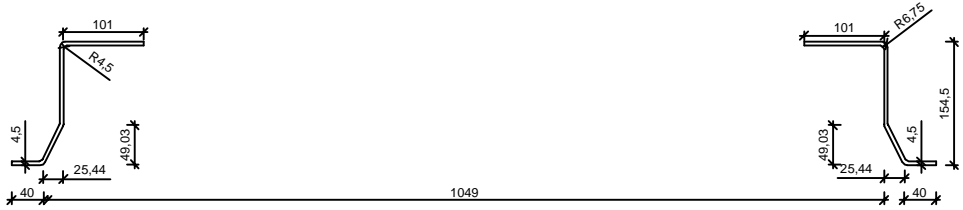
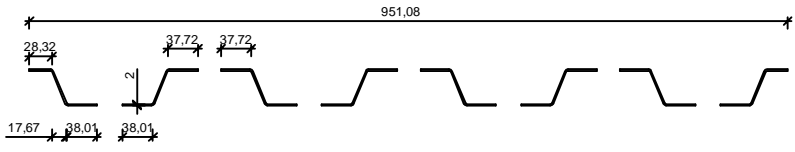
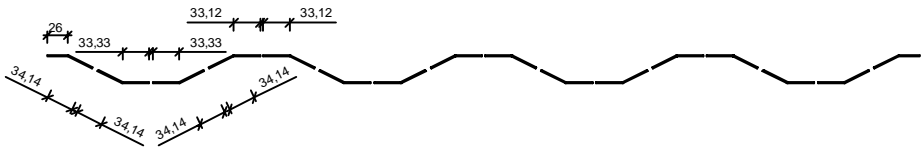
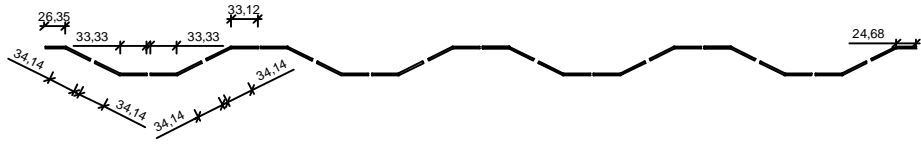
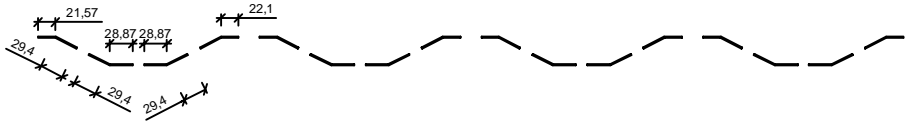
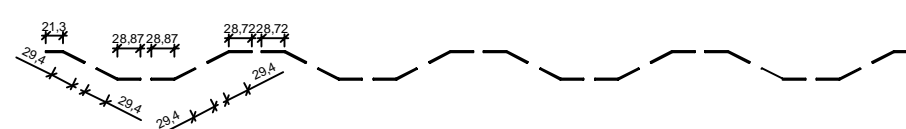
Quadro A.2: Secções transversais reduzidas

Perfil	Secção efectiva	Posição do Centro de gravidade	$A_{sy, eff}$	$A_{sz, eff}$
DS				
DH 40'HC				
DH 20'HC				
FH 40'HC				
BCM2				
BCM5				
BCM6				

Quadro A.3: Secções transversais das chapas.

Perfil	Secção transversal	Divisão em elementos considerados na classificação da secção transversal
fp		
few		
SW 1/3 40HC		
SW 1/3 20HC		
SW2 40HC		
SW2 20HC		

Quadro A.4: Secções transversais reduzidas das chapas.

Perfil	Secção efectiva
fp	
few	
SW $\frac{1}{3}$ 40'HC	
SW $\frac{1}{3}$ 20'HC	
SW2 40'HC	
SW2 20'HC	

A.2.2: Classificação de secções transversais

Quadro A.1: Classificação da secção transversal do perfil DS.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	56	4,5	12,44	classe 4
2	Interno	122,71	4,5	27,27	classe 1
3	Interno	103,35	4,5	22,97	classe 1
4	Interno	13,73	4,5	3,05	classe 1
5	Banzo	40,5	4,5	9,00	classe 3

Quadro A.2: Classificação da secção transversal do perfil DCP.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	18	6	3,00	classe 1
2	Interno	46,5	6	7,75	classe 1
3	Interno	104	6	17,33	classe 1
4	Interno	22	6	3,67	classe 1
5	Externo	44	6	7,33	classe 1
6	Interno	89	12	7,42	classe 1
7	Interno	28	8,25	3,39	classe 1

Quadro A.3: Classificação da secção transversal do perfil DH^{40HC}.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Interno	101	4	25,25	classe 1
2	Interno	94	4	23,50	classe 1
3	Banzo	8	4	2,00	classe 1
4	Interno	102	4	25,50	classe 1
5	Banzo	205	4	51,25	classe 4

Quadro A.4: Classificação da secção transversal do perfil DH²⁰HC.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Interno	127	4	31,75	classe 3
2	Interno	94	4	23,50	classe 1
3	Interno	102	4	25,50	classe 1
4	Banzo	8	3	2,67	classe 1
5	Interno	69,66	3	23,22	classe 1
6	Interno	35,35	3	11,78	classe 1
7	Banzo	275	3	91,67	classe 4

Quadro A.5: Classificação da secção transversal do perfil FH⁴⁰HC.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	289	4	72,25	classe 4
2	Interno	71	4	17,75	classe 1
3	Banzo	52	4	13,00	classe 4

Quadro A.6: Classificação da secção transversal do perfil FH²⁰HC, FS⁴⁰HC e TSR.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Interno	48	3	16,00	classe 1

Quadro A.7: Classificação da secção transversal do perfil FS²⁰HC.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	42	4	10,50	classe 3
2	Interno	19	4	4,75	classe 1
3	Interno	43,38	4	10,85	classe 1
4	Interno	136	4	34,00	classe 3
5	Banzo	37	4	9,25	classe 3

Quadro A.8: Classificação da secção transversal do perfil FCP.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	44	6	7,33	classe 1
2	Interno	22	6	3,67	classe 1
3	Interno	150	6	25,00	classe 1
4	Interno	135	6	22,50	classe 1
5	Interno	31	6	5,17	classe 1
6	Banzo	44	6	7,33	classe 1

Quadro A.9: Classificação da secção transversal do perfil BSR^{40^{HC}}.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	41	4,5	9,11	classe 3
2	Interno	12,5	4,5	2,78	classe 1
3	Interno	16,5	4,5	3,67	classe 1
4	Interno	111	4,5	24,67	classe 1
5	Interno	21	4,5	4,67	classe 1

Quadro A.10: Classificação da secção transversal do perfil BSR^{20^{HC}}.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	39	4,5	8,67	classe 3
2	Interno	144	4,5	32,00	classe 3
3	Banzo	21	4,5	4,67	classe 1

Quadro A.11: Classificação da secção transversal do perfil BCM1.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	37	4	9,25	classe 3
2	Interno	106	4	26,50	classe 1

Quadro A.12: Classificação da secção transversal do perfil BCM2.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	67,00	4,00	16,75	classe 4
2	Interno	106,00	4,00	26,50	classe 1
3	Banzo	37,00	4,00	9,25	classe 3

Quadro A.13: Classificação da secção transversal do perfil BCM3.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	16,5	4,5	3,67	classe 1
2	Interno	82	4,5	18,22	classe 1

Quadro A.14: Classificação da secção transversal do perfil BCM4.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	37	4	9,25	classe 3
2	Interno	101,5	4	25,38	classe 1

Quadro A.15: Classificação da secção transversal do perfil BCM5.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	67	4	16,75	classe 4
2	Interno	101,5	4	25,38	classe 1
3	Banzo	37	4	9,25	classe 3

Quadro A.16: Classificação da secção transversal do perfil BCM6.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	40,5	4,5	9,00	classe 3
2	Interno	14,5	4,5	3,22	classe 1
3	Interno	82	4,5	18,22	classe 1
4	Interno	132	4,5	29,33	classe 2
5	Banzo	71	4,5	15,78	classe 4

Quadro A.17: Classificação da secção transversal da chapa fp.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	34,44	4,5	7,65	classe 2
2	Interno	48,21	4,5	10,71	classe 1
3	Interno	93,28	4,5	20,73	classe 1
4	Interno	1020,00	4,5	226,67	classe 4

Quadro A.18: Classificação da secção transversal da chapa few.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	69,66	2	34,83	classe 4
2	Interno	43,16	2	21,58	classe 1
3	Interno	104,65	2	52,33	classe 4
4	Interno	43,16	2	21,58	classe 1
5	Interno	101,32	2	50,66	classe 4
6	Banzo	50,66	2	25,33	classe 4

Quadro A.19: Classificação da secção transversal da chapa $sw_{1/3}^{40\text{HC}}$.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	37	2	18,50	classe 4
2	Interno	75,55	2	37,78	classe 4
3	Interno	71,06	2	35,53	classe 4
4	Interno	75,55	2	37,78	classe 4
5	Interno	70	2	35,00	classe 4

Quadro A.20: Classificação da secção transversal da chapa $sw_{1/3}^{20\text{HC}}$.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	29	2	14,50	classe 4
2	Interno	75,55	2	37,78	classe 4
3	Interno	71,06	2	35,53	classe 4
4	Interno	75,55	2	37,78	classe 4
5	Interno	70	2	35,00	classe 4

Quadro A.21: Classificação da secção transversal da chapa $sw_2^{40'HC}$.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	37	1,6	23,13	classe 4
2	Interno	75,82	1,6	47,39	classe 4
3	Interno	71,24	1,6	44,53	classe 4
4	Interno	75,82	1,6	47,39	classe 4
5	Interno	70,00	1,6	43,75	classe 4

Quadro A.22: Classificação da secção transversal da chapa $sw_2^{20'HC}$.

Elemento	Tipo	c	t	c/t	Classe
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão
1	Banzo	34	1,6	21,25	classe 4
2	Interno	75,82	1,6	47,39	classe 4
3	Interno	71,24	1,6	44,53	classe 4
4	Interno	75,82	1,6	47,39	classe 4
5	Interno	70,00	1,6	43,75	classe 4

A.2.3 Redução de secções transversais

Quadro A.23: Redução da secção transversal DS.

Elemento	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]
1	Banzo	4,5	65	60,5	1	0,43	0,87	0,90	54,41

Quadro A.24: Redução da secção transversal DH^{40^{HC}}.

Elemento	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]
5	Banzo	4,00	205,00	205,00	1,00	0,43	3,32	0,28	58,17

Quadro A.25: Redução da secção transversal DH^{20^{HC}}.

Elemento	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]
7	Banzo	3,00	275,00	275,00	1,00	0,43	5,95	0,16	44,78

Quadro A.26: Redução da secção transversal FH^{40^{HC}}.

Elemento	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]
1	Banzo	4,00	297,00	293,00	1,00	0,43	4,75	0,20	59,22
3	Banzo	4,00	60,00	56,00	1,00	0,43	0,91	0,87	48,90

Quadro A.27: Redução das secções transversais BCM2 e BCM5

Elemento	Tipo	t	b	b _p	Ψ	k _σ	λ _p	ρ _c	b _{eff}
		[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[mm]
1	Banzo	4,00	75,00	71,00	1,00	0,43	1,15	0,73	51,59

Quadro A.28: Redução da secção transversal BCM6.

Elemento	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]
5	Banzo	4,50	80,00	75,50	1,00	0,43	1,09	0,76	57,39

Quadro A.29: Redução da secção transversal fp.

Elemento	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]	b _{e1} [mm]	b _{e2} [mm]
4	Interno	4,50	1038,00	1029,00	1,00	4,00	4,86	0,20	202,00	101,00	101,00

Quadro A.30: Redução da secção transversal few.

Elemento	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]	b _{e1} [mm]	b _{e2} [mm]
1	Banzo	2,00	-	71,33	1,00	0,43	2,31	0,40	28,32	-	-
3	Interno	2,00	-	107,98	1,00	4,00	1,15	0,70	76,02	38,01	38,01
5	Interno	2,00	-	104,66	1,00	4,00	1,11	0,72	75,44	37,72	37,72
6	Banzo	2,00	-	52,33	1,00	0,43	1,70	0,52	27,42	-	-

Quadro A.31: Redução da secção transversal sw_{1/3}^{40 °HC}.

Elemento	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]	b _{e1} [mm]	b _{e2} [mm]
1	Banzo	2,00	37,00	37,00	1,00	0,43	1,20	0,70	26,00	-	-
2	Interno	2,00	75,55	75,55	1,00	4,00	0,80	0,90	68,28	34,14	34,14
3	Interno	2,00	71,06	71,06	1,00	4,00	0,76	0,94	66,66	33,33	33,33
4	Interno	2,00	75,55	75,55	1,00	4,00	0,80	0,90	68,28	34,14	34,14
5	Interno	2,00	70,00	70,00	1,00	4,00	0,74	0,95	66,24	33,12	33,12

Quadro A.32: Redução da secção transversal sw_{1/3}^{20 °HC}.

Elemento	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ	k _σ	λ _p	ρ _c	b _{eff} [mm]	b _{e1} [mm]	b _{e2} [mm]
1	Banzo	2	29	29	1	0,43	0,94	0,85	24,67	-	-
2	Interno	2	75,55	75,55	1	4	0,80	0,90	68,28	34,14	34,14
3	Interno	2	71,06	71,06	1	4	0,76	0,94	66,66	33,33	33,33
4	Interno	2	75,55	75,55	1	4	0,80	0,90	68,28	34,14	34,14
5	Interno	2	70	70	1	4	0,74	0,95	66,24	33,12	33,12
6	Banzo	2	34	34	1	0,43	1,10	0,73	24,68	-	-

Quadro A.33: Redução da secção transversal $sw_2^{40\text{ HC}}$.

Elemento	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]	b _{e1} [mm]	b _{e2} [mm]
1	Banzo	1,60	37,00	37,00	1,00	0,43	1,50	0,58	21,57	-	-
2	Interno	1,60	75,82	75,82	1,00	4,00	1,01	0,78	58,80	29,40	29,40
3	Interno	1,60	71,24	71,24	1,00	4,00	0,95	0,81	57,75	28,87	28,87
4	Interno	1,60	75,82	75,82	1,00	4,00	1,01	0,78	58,80	29,40	29,40
5	Interno	1,60	70,00	70,00	1,00	4,00	0,93	0,82	57,44	28,72	28,72

Quadro A.34: Redução da secção transversal $sw_2^{40\text{ HC}}$.

Elemento	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ	k _σ	λ _p	ρ _c	b _{eff} [mm]	b _{e1} [mm]	b _{e2} [mm]
1	Banzo	1,6	34	34	1	0,43	1,38	0,63	21,30	-	-
2	Interno	1,6	75,82	75,82	1	4	1,01	0,78	58,80	29,40	29,40
3	Interno	1,6	71,24	71,24	1	4	0,95	0,81	57,75	28,87	28,87
4	Interno	1,6	75,82	75,82	1	4	1,01	0,78	58,80	29,40	29,40
5	Interno	1,6	70	70	1	4	0,93	0,82	57,44	28,72	28,72

ANEXO B

Esforços actuantes e verificação à segurança dos perfis metálicos
constituintes dos contentores marítimos da moradia.

B.1 Perfis metálicos DS

Quadro B.1: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos DS.

N_{Ed}^+	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	[kN.m]	
127,00	3,78	1,08	Verifica
118,00	3,80	-0,88	Verifica
103,00	-6,84	1,73	Verifica
102,00	3,81	-0,54	Verifica
100,00	-3,53	-0,65	Verifica
95,40	-0,48	-0,51	Verifica
90,90	2,39	-0,32	Verifica
88,50	3,91	-0,28	Verifica
86,50	5,22	-0,35	Verifica
81,40	8,10	-0,63	Verifica
77,30	4,16	-0,24	Verifica
73,90	11,10	-0,72	Verifica
67,10	4,60	-0,40	Verifica
55,50	5,28	-0,88	Verifica
53,20	-8,96	1,51	Verifica
50,90	-5,75	-0,57	Verifica
48,80	6,09	0,18	Verifica
45,80	-2,78	-0,43	Verifica
39,40	0,00	-0,27	Verifica
31,20	2,72	-0,29	Verifica
25,20	-2,23	0,03	Verifica
24,50	-1,48	-0,71	Verifica
21,10	-0,80	-0,29	Verifica
19,20	5,45	-0,51	Verifica
18,00	-3,21	-0,18	Verifica
17,20	-4,38	-0,05	Verifica
16,40	-2,20	-0,08	Verifica
16,30	-5,21	-0,07	Verifica
16,30	1,68	-0,12	Verifica
16,10	-7,43	-0,05	Verifica
15,90	-8,92	-0,05	Verifica
15,70	-9,66	-0,15	Verifica
15,50	-4,80	-0,04	Verifica
15,50	6,66	-0,24	Verifica
14,80	-0,13	-0,16	Verifica
14,80	12,70	-0,39	Verifica
13,80	-4,46	-0,05	Verifica

Quadro B.1: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos DS (Continuação).

N_{Ed}^+	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	[kN.m]	
12,80	-2,20	-0,09	Verifica
12,30	3,07	-0,21	Verifica
12,20	-4,30	-0,06	Verifica
12,00	-3,37	-0,05	Verifica
11,10	-5,21	-0,26	Verifica
11,10	-6,37	-0,06	Verifica
10,80	7,28	-0,32	Verifica
10,40	-8,38	-0,16	Verifica
10,10	-1,49	-0,06	Verifica
9,79	13,30	0,26	Verifica
9,68	-0,35	-0,08	Verifica
9,33	-0,36	-0,11	Verifica
8,61	-0,22	-0,09	Verifica
7,82	1,32	-0,07	Verifica
7,55	-0,20	0,23	Verifica
7,29	0,07	-0,14	Verifica
7,25	-0,02	0,22	Verifica
7,08	-0,16	0,31	Verifica
6,99	-4,70	-0,31	Verifica
5,97	0,60	-0,17	Verifica
5,52	-0,26	0,41	Verifica
5,24	-4,16	0,60	Verifica

Quadro B.2: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com compressão) dos perfis metálicos DS.

N_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	[kN.m]	
-5,37	-1,13	-0,01	Verifica
-5,51	-1,49	0,00	Verifica
-5,82	-1,31	0,00	Verifica
-5,83	-1,29	0,01	Verifica
-6,79	-0,28	0,03	Verifica
-7,01	1,44	-0,31	Verifica
-7,02	-0,50	0,03	Verifica
-8,16	0,92	0,07	Verifica
-8,18	1,30	-0,15	Verifica
-8,71	3,25	0,00	Verifica
-8,90	-9,66	-0,38	Verifica
-9,01	1,89	0,06	Verifica
-10,30	0,31	0,45	Verifica
-10,50	3,11	-0,33	Verifica
-11,10	11,00	3,22	Verifica
-16,00	0,67	-2,28	Verifica
-18,50	-1,55	-0,17	Verifica
-18,80	-1,97	-0,26	Verifica
-19,20	-6,67	-0,22	Verifica
-24,30	-2,47	-0,54	Verifica
-26,90	2,39	-0,31	Verifica
-28,80	-3,09	0,19	Verifica
-31,00	-0,55	-0,30	Verifica
-31,80	-3,80	-0,15	Verifica
-39,00	3,42	2,55	Verifica
-46,20	0,09	-0,31	Verifica
-48,20	-0,96	-0,19	Verifica
-48,90	-3,29	-0,08	Verifica
-50,70	-2,26	-0,04	Verifica
-51,20	-4,22	-0,15	Verifica
-55,80	0,81	2,20	Verifica
-57,00	-1,10	0,00	Verifica
-58,30	-5,05	-0,18	Verifica
-63,10	-5,83	1,11	Verifica
-68,80	0,19	-0,01	Verifica
-71,50	1,92	-0,37	Verifica
-76,30	1,54	0,26	Verifica
-106,00	4,88	-0,23	Verifica
-126,00	7,90	4,33	Verifica

B.2 Perfis metálicos DCP

Quadro B.3: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos DCP.

N_{Ed}^+	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	[kN.m]	
31,10	-0,12	3,31	Verifica
31,00	-0,06	2,13	Verifica
30,80	0,00	0,95	Verifica
30,70	0,06	-0,22	Verifica
30,60	0,12	-1,40	Verifica
30,50	0,18	-2,57	Verifica
30,40	0,24	-3,75	Verifica
30,20	0,31	-4,93	Verifica
30,10	0,37	-6,10	Verifica
19,70	-0,27	2,43	Verifica
19,60	-0,19	1,72	Verifica
19,40	-0,12	1,00	Verifica
19,30	-0,04	0,29	Verifica
19,20	0,03	-0,42	Verifica
19,10	0,11	-1,13	Verifica
19,00	0,19	-1,84	Verifica
18,80	0,26	-2,55	Verifica
18,70	0,34	-3,27	Verifica
18,60	0,42	-3,98	Verifica
12,30	-1,65	0,63	Verifica
12,20	-1,27	0,48	Verifica
12,10	-0,89	0,32	Verifica
12,00	-0,50	0,17	Verifica
11,80	-0,12	0,02	Verifica
11,70	0,26	-0,14	Verifica
11,60	0,64	-0,29	Verifica
11,50	1,02	-0,44	Verifica
11,30	1,40	-0,59	Verifica
11,20	1,78	-0,75	Verifica
7,42	1,96	1,69	Verifica
7,30	1,52	1,30	Verifica
7,18	1,08	0,91	Verifica
7,05	0,65	0,52	Verifica
6,93	0,21	0,13	Verifica
6,81	-0,22	-0,26	Verifica
6,69	-0,66	-0,64	Verifica

Quadro B.4: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com compressão) dos perfis metálicos DCP.

N_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	[kN.m]	
-5,18	0,63	5,94	Verifica
-5,31	0,81	7,03	Verifica
-8,99	-0,13	7,32	Verifica
-9,73	0,01	-3,15	Verifica
-9,97	0,06	-6,64	Verifica
-10,10	0,08	-8,38	Verifica
-11,50	4,35	6,63	Verifica
-12,60	-4,27	-12,20	Verifica
-14,10	0,29	-14,40	Verifica
-14,20	0,39	-17,20	Verifica
-15,80	-0,06	-2,06	Verifica
-23,60	0,46	-21,60	Verifica
-26,30	-0,35	2,31	Verifica
-26,40	-0,18	-1,15	Verifica
-26,90	0,49	-15,00	Verifica
-27,80	-2,76	0,45	Verifica
-27,90	-2,15	0,35	Verifica
-28,00	-1,54	0,25	Verifica
-28,80	2,12	-0,35	Verifica
-28,90	2,73	-0,44	Verifica
-29,00	0,41	-14,80	Verifica
-29,10	0,52	-17,60	Verifica
-32,80	0,60	-0,29	Verifica
-32,90	1,85	-0,41	Verifica
-33,70	-0,36	4,67	Verifica
-33,90	-0,26	1,91	Verifica
-34,00	-0,15	-0,85	Verifica
-34,60	0,37	-14,70	Verifica
-34,70	0,48	-17,40	Verifica
-35,90	6,88	-2,02	Verifica
-36,10	8,70	-2,27	Verifica
-38,90	3,15	-0,18	Verifica
-39,10	5,67	-0,26	Verifica

B.3 Perfis metálicos DH^{40'HC}

Quadro B.5: Verificação da segurança à tracção simples dos perfis metálicos DH^{40'HC}.

N_{Ed} [kN]	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$	Verificação
41,60	0,05	Verifica
36,70	0,05	Verifica
28,60	0,04	Verifica
27,90	0,04	Verifica
24,90	0,03	Verifica
23,10	0,03	Verifica
20,30	0,03	Verifica
19,60	0,02	Verifica
18,10	0,02	Verifica
17,90	0,02	Verifica
17,60	0,02	Verifica
17,40	0,02	Verifica
17,00	0,02	Verifica
16,90	0,02	Verifica
16,10	0,02	Verifica
15,60	0,02	Verifica
7,90	0,01	Verifica
6,70	0,01	Verifica
5,15	0,01	Verifica
4,99	0,01	Verifica
4,81	0,01	Verifica
4,77	0,01	Verifica
4,77	0,01	Verifica
4,42	0,01	Verifica

B.4 Perfis metálicos DH^{20'HC}

Quadro B.6: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos DH^{20'HC}.

N_{Ed}^+	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	[kN.m]	
42,5	-8,8	-2,1	Verifica
37,3	-6,6	0,1	Verifica
27,3	-4,4	0,2	Verifica
18,5	0,0	0,1	Verifica
18,2	4,3	0,1	Verifica
18,2	8,6	0,0	Verifica
18,2	13,0	-0,4	Verifica
18,0	17,5	-0,2	Verifica
17,9	-4,3	0,1	Verifica
17,8	0,4	2,6	Verifica
17,6	-2,1	0,2	Verifica
16,5	-8,5	0,2	Verifica
15,8	-12,7	0,8	Verifica
11,2	0,2	-0,6	Verifica
7,7	0,2	0,2	Verifica
6,3	0,9	0,3	Verifica
5,8	-0,4	2,7	Verifica
3,4	1,4	-3,5	Verifica
1,3	0,1	-0,4	Verifica

Quadro B.7: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com compressão) dos perfis metálicos DH^{20 HC}.

N_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	[kN.m]	
-3,7	0,0	-0,2	Verifica
-4,3	-0,3	0,1	Verifica
-5,0	0,3	0,1	Verifica
-5,0	0,0	0,1	Verifica
-5,4	-0,1	4,0	Verifica
-6,0	-0,2	-0,4	Verifica
-6,2	-0,1	-0,1	Verifica
-6,3	-0,1	-0,2	Verifica
-6,7	0,4	-0,4	Verifica
-7,1	-0,1	-0,3	Verifica
-8,4	-0,1	-0,2	Verifica
-8,6	0,1	-0,2	Verifica
-9,3	4,9	0,6	Verifica
-11,9	7,3	-0,5	Verifica

B.5 Perfis metálicos FH^{40'HC}

Quadro B.8: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos FH^{40'HC}.

N_{Ed}^+	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
29,6	-1,99	Verifica
24,3	-1,2	Verifica
15,7	-0,675	Verifica
9,55	-0,196	Verifica
7,37	2,48	Verifica
5,09	1,4	Verifica
3,78	-1,43	Verifica
3,51	0,233	Verifica
3,43	-1,05	Verifica
3,13	0,695	Verifica
3,12	0,946	Verifica
3,09	-0,878	Verifica
3,04	-0,852	Verifica
2,98	-0,734	Verifica
2,98	-0,846	Verifica
2,77	0,632	Verifica
2,27	0,37	Verifica
2,17	0,294	Verifica

Quadro B.9: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com compressão) dos perfis metálicos FH^{40'HC}.

N_{Ed}^-	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
-2,01	-0,288	Verifica
-3,21	0,567	Verifica
-4,12	0,398	Verifica
-5,63	1,55	Verifica
-12,8	0,646	Verifica
-13,9	-0,373	Verifica
-14,5	-0,783	Verifica
-15,7	0,29	Verifica
-16,6	-0,746	Verifica
-17,4	1,14	Verifica
-18,8	0,0235	Verifica
-20,4	-0,262	Verifica
-26,6	0,507	Verifica
-30,5	4,17	Verifica

B.6 Perfis metálicos FH^{20 HC}

Quadro B.10: Verificação da segurança à tracção simples dos perfis metálicos FH^{20 HC}.

N_{Ed}^+	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$	Verificação
[kN]		
13,10	0,06	Verifica
10,10	0,05	Verifica
10,00	0,05	Verifica
9,06	0,04	Verifica
6,02	0,03	Verifica
5,63	0,03	Verifica
5,42	0,03	Verifica
4,45	0,02	Verifica
4,34	0,02	Verifica
3,00	0,01	Verifica
2,86	0,01	Verifica
2,79	0,01	Verifica
2,70	0,01	Verifica
2,22	0,01	Verifica
1,79	0,01	Verifica
1,78	0,01	Verifica
1,38	0,01	Verifica

Quadro B.11: Verificação da segurança à compressão simples dos perfis metálicos FH^{20 HC}.

N_{Ed}	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$	Verificação
[kN]		
-3,16	0,02	Verifica
-3,21	0,02	Verifica
-3,31	0,02	Verifica
-3,50	0,02	Verifica
-3,53	0,02	Verifica
-3,56	0,02	Verifica
-3,56	0,02	Verifica
-3,62	0,02	Verifica
-4,14	0,02	Verifica
-5,25	0,03	Verifica
-5,53	0,03	Verifica

B.7 Perfis metálicos FS⁴⁰HC

Quadro B.12: Verificação da segurança à tracção simples dos perfis metálicos FS⁴⁰HC.

N_{Ed}^+ [kN]	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$	Verificação
8,85	0,043	Verifica
8,45	0,041	Verifica
8,36	0,041	Verifica
7,94	0,039	Verifica
7,63	0,037	Verifica
7,09	0,034	Verifica
6,99	0,034	Verifica
6,94	0,034	Verifica

B.8 Perfis metálicos FS^{20'HC}

Quadro B.13: Verificação da segurança à tracção simples dos perfis metálicos FS^{20'HC}.

N ⁺ _{Ed} [kN]	N _{Ed} /N _{t,Rd}	Verificação
159,00	0,40	Verifica
158,00	0,40	Verifica
39,90	0,10	Verifica
39,00	0,10	Verifica
37,10	0,09	Verifica
36,20	0,09	Verifica
35,30	0,09	Verifica
34,20	0,09	Verifica
31,50	0,08	Verifica
26,90	0,07	Verifica
22,40	0,06	Verifica
21,70	0,06	Verifica
21,50	0,05	Verifica
20,10	0,05	Verifica
19,80	0,05	Verifica
15,90	0,04	Verifica
14,90	0,04	Verifica
10,30	0,03	Verifica
10,20	0,03	Verifica
10,10	0,03	Verifica
10,10	0,03	Verifica
10,10	0,03	Verifica
10,00	0,03	Verifica
9,40	0,02	Verifica
9,21	0,02	Verifica
8,83	0,02	Verifica
8,65	0,02	Verifica
7,73	0,02	Verifica
7,48	0,02	Verifica
6,98	0,02	Verifica
6,75	0,02	Verifica
6,57	0,02	Verifica
6,32	0,02	Verifica
6,03	0,02	Verifica
5,29	0,01	Verifica
4,76	0,01	Verifica

Quadro B.14: Verificação da segurança à compressão simples dos perfis metálicos FS²⁰HC.

N_{Ed}	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$	Verificação
[kN]		
-15,40	0,04	Verifica
-21,10	0,05	Verifica
-21,20	0,05	Verifica
-21,40	0,05	Verifica
-22,10	0,06	Verifica
-23,40	0,06	Verifica
-23,50	0,06	Verifica
-23,90	0,06	Verifica
-24,10	0,06	Verifica
-24,90	0,06	Verifica
-25,20	0,06	Verifica
-25,50	0,06	Verifica
-26,00	0,07	Verifica
-28,20	0,07	Verifica
-28,30	0,07	Verifica
-28,90	0,07	Verifica
-29,70	0,08	Verifica
-31,00	0,08	Verifica
-33,90	0,09	Verifica
-36,30	0,09	Verifica
-38,90	0,10	Verifica
-38,90	0,10	Verifica
-39,80	0,10	Verifica
-46,30	0,12	Verifica
-47,10	0,12	Verifica
-50,50	0,13	Verifica
-67,20	0,17	Verifica
-68,20	0,17	Verifica
-78,90	0,20	Verifica
-110,00	0,28	Verifica
-136,00	0,35	Verifica

B.9 Perfis metálicos TSR^{20'HC}

Quadro B.15: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos TSR^{20'HC}.

N ⁺ _{Ed}	M _{y,Ed}	Verificação
[kN]	[kN.m]	
46,8	4,44	Não verifica
41,6	1,7	Verifica
41,1	0,346	Verifica
40,9	1,54	Verifica
35,2	-1,22	Verifica
34,6	-0,942	Verifica
31,9	2,2	Verifica
31,7	-0,134	Verifica
31,6	2,19	Verifica
30,3	1,15	Verifica
28,5	0,913	Verifica
28,1	-0,137	Verifica
26,9	0,715	Verifica
23,1	0,0957	Verifica
19	0,168	Verifica
18,9	0,339	Verifica
17,6	-0,028	Verifica
17	0,035	Verifica
16,4	-0,00822	Verifica
16,4	1,59	Verifica
15,1	-0,254	Verifica
15	-0,348	Verifica
14,7	0,289	Verifica
13,9	-0,809	Verifica
11,8	0,231	Verifica
11	0,0103	Verifica
10,3	0,008	Verifica
10,2	-0,301	Verifica
9,89	2,08	Verifica
9,76	0,157	Verifica
9,7	-0,258	Verifica
9,57	-0,417	Verifica
9,39	-0,109	Verifica
9,23	0,598	Verifica
9,12	-0,181	Verifica
6,83	-0,502	Verifica
5,92	-0,145	Verifica

Quadro B.16: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com compressão) dos perfis metálicos TSR^{20 HC}.

N_{Ed}	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
-5,21	-1,1	Verifica
-5,24	0,4	Verifica
-5,64	0,8	Verifica
-6,06	0,7	Verifica
-11,6	0,0	Verifica
-14,3	1,1	Verifica
-15,8	-0,1	Verifica
-22,8	0,3	Verifica
-23	0,6	Verifica
-24,8	1,1	Verifica
-28,4	2,3	Verifica

B.10 Perfis metálicos TSR^{40'HC}

Quadro B.17: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos TSR^{40'HC}.

N^+_{Ed}	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
26,9	-0,56	Verifica
25,8	-0,21	Verifica
17,6	0,55	Verifica
17,3	-0,10	Verifica
13,6	0,43	Verifica
13,3	3,19	Verifica
13,3	-1,62	Verifica
9,34	-0,10	Verifica
9,07	-0,21	Verifica
8,96	-0,13	Verifica
8,75	3,40	Verifica
8,73	2,55	Verifica
6,95	-0,15	Verifica
6,36	1,79	Verifica
4,68	-0,21	Verifica
3,36	0,06	Verifica
3,31	-3,88	Não verifica
3,29	1,55	Verifica
3,21	-2,35	Verifica
2,92	-1,71	Verifica
2,85	-1,80	Verifica
2,22	-3,68	Não verifica
2,22	-0,05	Verifica

Quadro B.18: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com compressão) dos perfis metálicos TSR^{40 HC}.

N_{Ed}	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
-3,07	0,02	Verifica
-3,17	0,07	Verifica
-3,19	4,98	Não verifica
-3,23	0,07	Verifica
-3,31	0,60	Verifica
-3,32	-0,20	Verifica
-3,35	-0,45	Verifica
-3,36	0,15	Verifica
-3,49	0,31	Verifica
-3,53	0,07	Verifica
-3,53	-0,18	Verifica
-3,55	-0,15	Verifica
-3,57	5,64	Não verifica
-3,59	1,37	Verifica
-3,63	1,41	Verifica
-3,72	-0,18	Verifica
-5,35	-0,24	Verifica
-5,38	5,35	Não verifica
-5,44	0,10	Verifica
-17,5	0,93	Verifica
-17,7	2,35	Verifica
-18,3	0,52	Verifica
-18,5	-0,03	Verifica
-19,8	0,01	Verifica
-24,7	-0,05	Verifica
-25,4	-0,12	Verifica
-26,8	1,10	Verifica
-27,9	-0,52	Verifica
-28	0,81	Verifica
-28,3	1,14	Verifica
-31,9	1,16	Verifica
-33,1	-1,03	Verifica
-40,4	1,90	Verifica

B.11 Perfis metálicos FCP

Quadro B.19: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos FCP.

N_{Ed}^+	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	[kN.m]	
110,00	-5,43	-27,60	Não verifica
110,00	-2,80	-4,29	Verifica
110,00	-3,46	-10,10	Verifica
110,00	-4,11	-16,00	Verifica
109,00	0,48	24,90	Verifica
109,00	-0,18	19,10	Verifica
109,00	-0,83	13,20	Verifica
109,00	-1,49	7,40	Verifica
109,00	-2,15	1,56	Verifica
26,70	-3,46	-2,38	Verifica
26,60	-2,33	-1,79	Verifica
26,50	-1,20	-1,19	Verifica
26,40	-0,07	-0,60	Verifica
26,30	1,06	-0,01	Verifica
26,20	2,19	0,58	Verifica
26,10	3,32	1,17	Verifica
26,00	4,45	1,76	Verifica
25,90	5,59	2,35	Verifica
25,80	6,72	2,95	Verifica

Quadro B.20: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com compressão) dos perfis metálicos FCP.

N_{Ed}	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	[kN.m]	
-10,20	7,54	9,04	Verifica
-10,30	9,50	11,40	Verifica
-12,90	3,51	3,67	Verifica
-13,50	-15,90	1,06	Verifica
-13,60	-12,40	0,69	Verifica
-13,70	-4,37	-4,92	Verifica
-13,70	-3,50	-3,97	Verifica
-14,00	5,64	-1,15	Verifica
-14,10	9,24	-1,51	Verifica
-14,20	12,80	-1,88	Verifica
-14,30	16,40	-2,25	Verifica
-15,10	13,50	3,40	Verifica
-15,20	10,30	2,50	Verifica
-15,30	7,10	1,61	Verifica
-15,70	-5,71	-1,98	Verifica
-15,80	-8,91	-2,87	Verifica
-15,90	-12,10	-3,77	Verifica
-16,00	-15,30	-4,66	Verifica
-17,50	-2,34	2,30	Verifica
-17,90	-5,31	26,90	Não verifica
-18,00	-3,97	21,00	Verifica
-18,10	-2,62	15,00	Verifica
-18,20	2,43	-2,40	Verifica
-18,30	0,06	3,10	Verifica
-19,90	2,70	-2,43	Verifica
-20,00	3,30	-2,95	Verifica
-20,90	14,70	-0,79	Verifica
-27,30	-1,07	6,36	Verifica
-32,40	9,49	2,26	Verifica
-32,50	6,87	1,45	Verifica
-32,90	-3,60	-1,75	Verifica
-33,00	-6,22	-2,55	Verifica
-33,10	-8,84	-3,36	Verifica
-33,20	-11,50	-4,16	Verifica
-36,20	6,82	1,54	Verifica
-36,60	-5,99	-1,75	Verifica
-36,70	-9,19	-2,58	Verifica

B.12 Perfis metálicos BSR^{40 HC}

Quadro B.21: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos BSR^{40 HC}

N_{Ed}^+	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
2,49	6,56	Verifica
2,41	-3,68	Verifica
2,39	-3,58	Verifica
2,08	-4,18	Verifica
2,05	-2,36	Verifica
2,00	7,15	Verifica
1,98	-7,89	Verifica
1,98	-5,48	Verifica
1,96	-1,84	Verifica
1,95	-4,21	Verifica
1,75	-3,14	Verifica
1,67	-5,52	Verifica
1,64	-4,46	Verifica
1,61	1,28	Verifica
1,58	-6,08	Verifica
1,57	-9,36	Verifica
1,57	1,07	Verifica
1,51	-2,62	Verifica
1,45	-1,23	Verifica
1,42	29,1	Não verifica
1,41	-1,29	Verifica
1,20	-3,55	Verifica
1,20	-3,5	Verifica
1,19	-4,05	Verifica
1,17	-2,93	Verifica
0,83	-10	Verifica
0,81	-8,5	Verifica
0,78	24,3	Não verifica
0,77	-3,62	Verifica
0,68	-7,08	Verifica
0,37	20,9	Não verifica
0,37	2,53	Verifica

Quadro B.22: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com compressão) dos perfis metálicos BSR^{40 HC}.

N_{Ed}	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
-0,47	-6,43	Verifica
-0,48	-5,24	Verifica
-2,33	-1,78	Verifica
-2,42	-1,31	Verifica
-2,45	1,54	Verifica
-2,51	20,5	Não verifica
-2,57	3,16	Verifica
-3,28	-7,32	Verifica
-3,28	12,8	Não verifica
-10,80	-1,52	Verifica
-11,10	-1,3	Verifica
-14,80	-2,84	Verifica
-22,50	1,21	Verifica
-28,80	3,53	Verifica
-29,80	27,8	Não verifica
-32,10	9,95	Verifica
-32,80	-1,08	Verifica
-38,40	-3,5	Verifica

B.13 Perfis metálicos BSR^{201HC}

Quadro B.23: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos BSR^{201HC}

N_{Ed}^+	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
5,50	2,86	Verifica
4,83	-0,20	Verifica
3,59	-1,07	Verifica
2,44	-1,70	Verifica
2,07	11,20	Verifica
1,73	3,54	Verifica
1,70	1,38	Verifica
1,63	-4,71	Verifica
1,51	-0,43	Verifica
1,33	7,85	Verifica
1,32	-8,03	Verifica
1,32	5,95	Verifica
1,31	-6,55	Verifica

Quadro B.24: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com compressão) dos perfis metálicos BSR^{40 HC}.

N_{Ed}	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
-0,79	3,39	Verifica
-0,80	14,90	Não verifica
-0,81	-6,22	Verifica
-0,82	14,50	Não verifica
-0,85	0,83	Verifica
-1,10	-3,58	Verifica
-1,15	9,64	Verifica
-1,30	-2,95	Verifica
-1,31	2,98	Verifica
-1,35	20,00	Não verifica
-1,38	-3,83	Verifica
-1,42	14,30	Não verifica
-1,43	5,73	Verifica
-9,95	-1,97	Verifica
-10,20	5,57	Verifica
-18,40	-0,71	Verifica
-22,00	-5,46	Verifica
-22,10	-4,69	Verifica
-22,20	21,20	Não verifica
-22,20	-1,62	Verifica
-22,20	-4,66	Verifica
-31,60	-7,84	Verifica
-40,20	4,81	Verifica
-41,00	-6,68	Verifica
-41,30	1,35	Verifica
-45,50	8,53	Verifica
-59,00	7,34	Verifica
-62,80	4,63	Verifica

B.14 Perfis metálicos BCM1

Quadro B.25: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos BCM1.

N_{+Ed} [kN]	$M_{y,Ed}$ [kN.m]	Verificação
51,60	1,38	Verifica
48,70	2,06	Verifica
41,20	3,22	Verifica
35,90	5,40	Verifica
29,50	1,52	Verifica
28,50	2,31	Verifica
27,90	3,45	Verifica
27,20	4,21	Verifica
25,40	3,39	Verifica
22,00	2,73	Verifica
21,90	1,75	Verifica
21,10	2,40	Verifica
20,10	3,60	Verifica
19,80	1,70	Verifica
19,50	1,60	Verifica
19,00	2,24	Verifica
18,50	2,21	Verifica
18,50	2,90	Verifica
18,40	2,04	Verifica
16,70	1,28	Verifica

Quadro B.26: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com compressão) dos perfis metálicos BCM1.

N_{Ed}	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
-7,41	-1,13	Verifica
-7,47	-1,84	Verifica
-8,05	-1,47	Verifica
-8,24	-1,65	Verifica
-8,25	-0,96	Verifica
-8,54	-0,39	Verifica
-9,17	-0,75	Verifica
-9,20	-0,86	Verifica
-9,40	-0,52	Verifica
-10,00	-0,92	Verifica
-10,10	-0,89	Verifica
-10,60	-0,94	Verifica
-12,30	-1,13	Verifica
-12,50	-1,11	Verifica
-13,60	-1,19	Verifica
-13,70	-1,19	Verifica

B.15 Perfis metálicos BCM2

Quadro B.27: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com tracção) dos perfis metálicos BCM2.

N^*_{Ed}	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
31,70	0,76	Verifica
31,20	0,24	Verifica
31,00	1,46	Verifica
30,10	2,37	Verifica
29,70	3,69	Verifica
29,60	5,88	Verifica
29,20	-0,11	Verifica
27,60	-0,07	Verifica
26,20	0,81	Verifica
15,70	1,51	Verifica
15,40	0,92	Verifica
15,30	0,98	Verifica
14,80	-0,22	Verifica
13,90	1,69	Verifica
12,90	-0,42	Verifica
12,50	0,13	Verifica
11,90	-0,22	Verifica
11,10	0,50	Verifica
10,90	0,78	Verifica
10,80	-1,15	Verifica
10,70	-0,51	Verifica
9,86	0,79	Verifica
9,78	-1,37	Verifica
8,61	-0,69	Verifica
8,16	-0,07	Verifica
7,86	-0,64	Verifica
7,69	-0,07	Verifica
7,29	0,05	Verifica
6,94	-0,33	Verifica
6,48	-0,42	Verifica
6,34	-0,26	Verifica
6,34	-0,38	Verifica
6,24	-0,38	Verifica
6,21	-0,19	Verifica
5,79	-0,46	Verifica
5,60	-0,38	Verifica

Quadro B.28: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta com compressão) dos perfis metálicos BCM2.

N_{Ed}	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
-2,14	-1,57	Verifica
-2,16	0,43	Verifica
-2,80	-2,00	Verifica
-2,82	1,49	Verifica
-3,02	-2,32	Verifica
-8,07	-0,61	Verifica
-12,20	-3,60	Verifica
-12,30	-2,86	Verifica
-12,90	-2,14	Verifica
-13,60	0,35	Verifica
-14,10	-1,00	Verifica
-14,20	-1,43	Verifica
-14,90	-2,76	Verifica
-15,20	-0,62	Verifica
-16,30	-2,34	Verifica
-16,70	-1,34	Verifica
-17,90	-1,66	Verifica
-18,00	-1,98	Verifica

B.16 Perfis metálicos BCM6

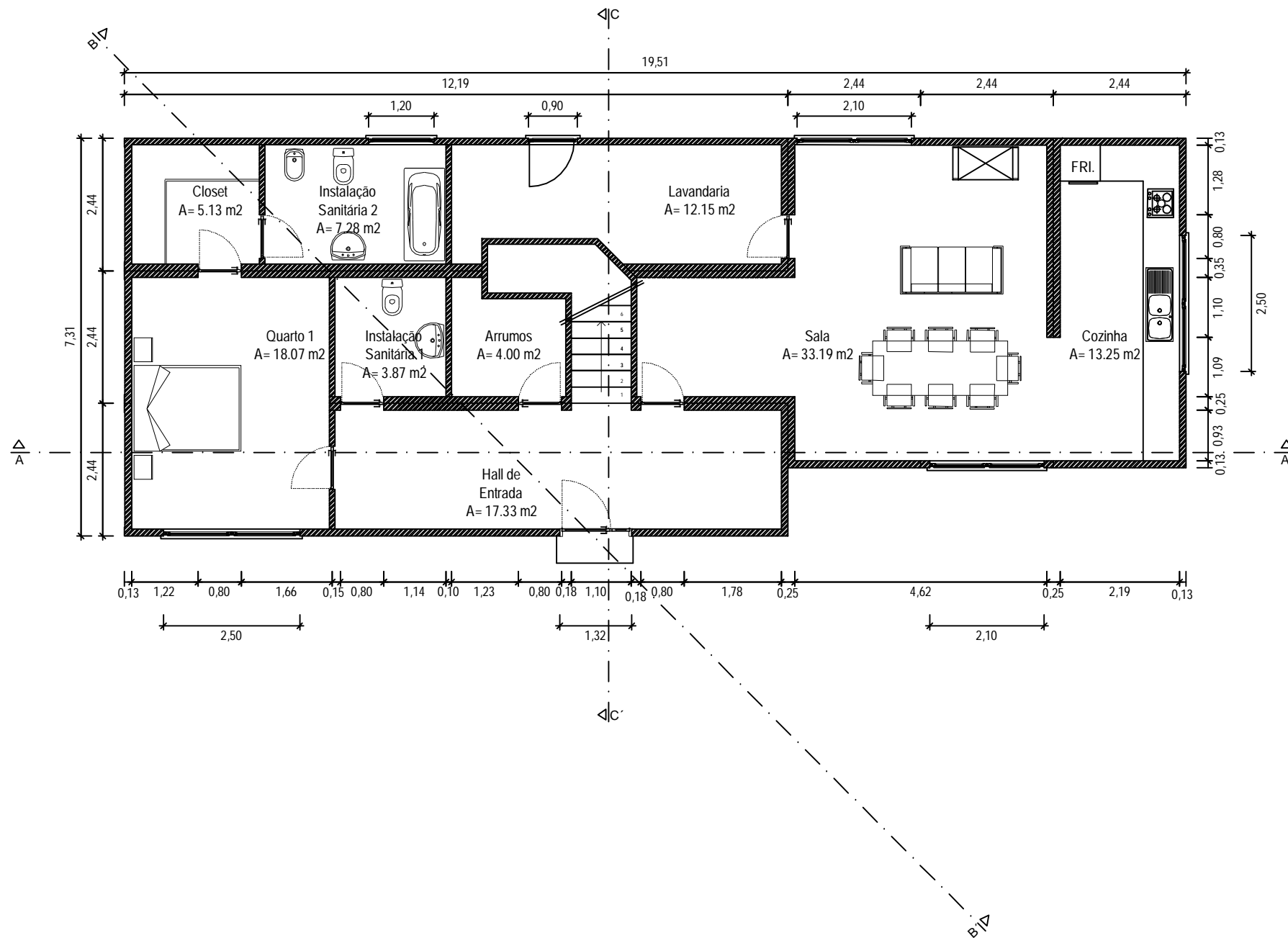
Quadro B.29: Verificação da segurança aos esforços actuantes (flexão composta) dos perfis metálicos BCM6.

N_{Ed}	$M_{y,Ed}$	Verificação
[kN]	[kN.m]	
4,87	-1,17	Verifica
4,84	-0,04	Verifica
4,49	1,30	Verifica
4,28	-2,02	Verifica
3,92	-2,62	Verifica
3,44	-2,78	Verifica
2,80	-2,77	Verifica
2,56	-2,14	Verifica
-0,69	8,99	Verifica
-0,69	3,34	Verifica
-0,73	18,80	Não verifica

Nota: Tal como para alguns dos perfis já apresentados os esforços actuantes nos perfis metálicos BCM3, BCM4, BCM5, FP, few, $sw_{1/3}^{40^{\circ}HC}$, $sw_2^{40^{\circ}HC}$, $sw_{1/3}^{20^{\circ}HC}$, $sw_2^{20^{\circ}HC}$, são muito reduzidos comparados com os esforços resistentes respectivos. Por isso não são apresentados aqui, visto não serem consideráveis. No entanto a verificação da segurança desses perfis foi efectuada através do mesmo procedimento.

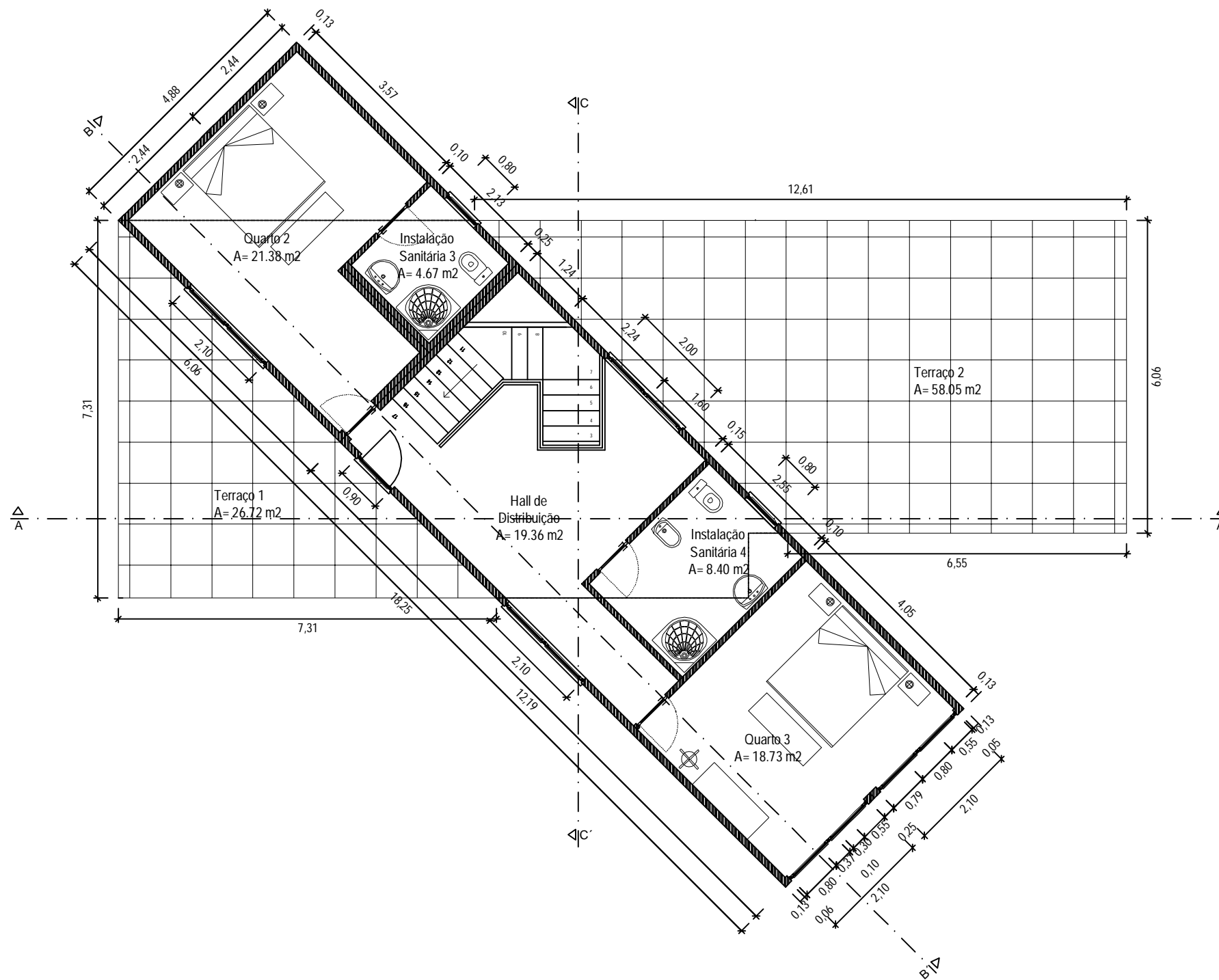
ANEXO C

Peças desenhadas



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição: Arquitectura da moradia em estudo: Planta do rés-do-chão			
Data: 3-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:100	Desenho Número: 01
Rui Davide Fernandes da Silva, M3462			

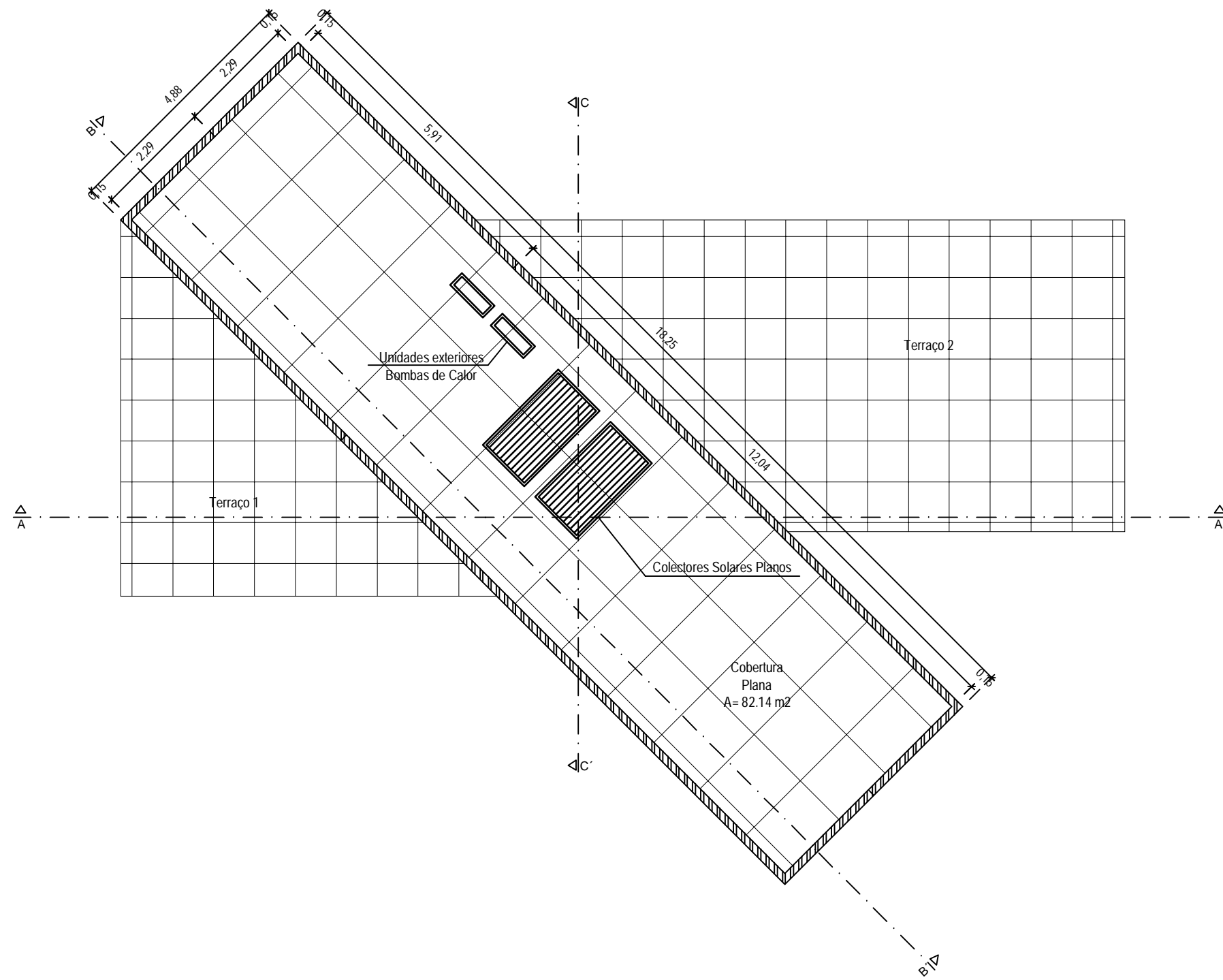


UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição:
 Arquitectura da moradia em estudo: Planta do 1º andar

Data: 3-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:100	Desenho Número: 02
--------------------	--------------------------	------------------	-----------------------

Rui Davide Fernandes da Silva, M3462

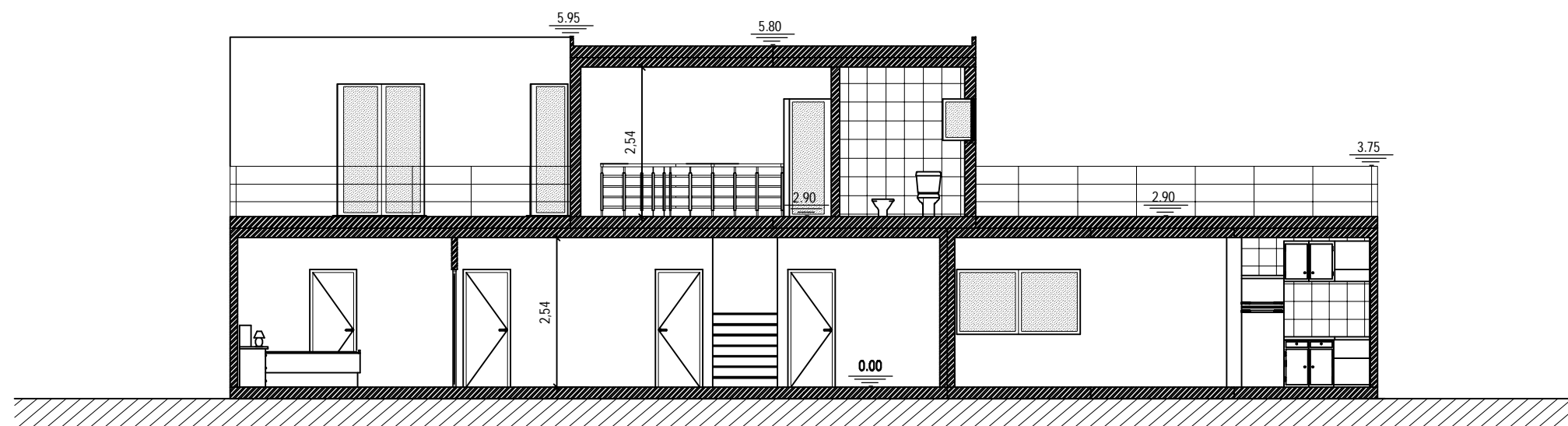


UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

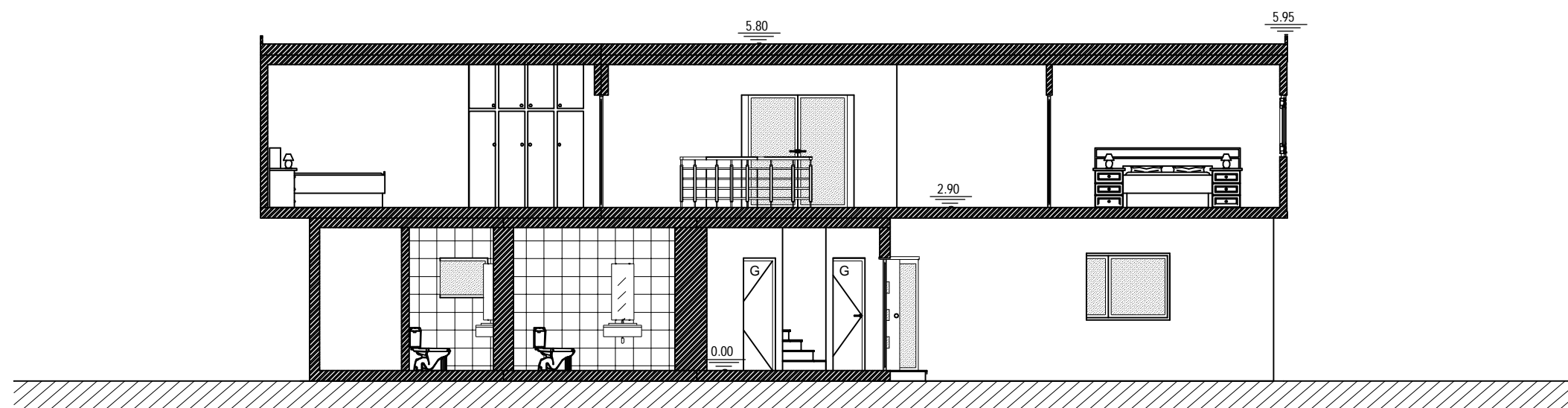
Descrição:
 Arquitectura da moradia em estudo: Planta da cobertura

Data: 3-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:100	Desenho Número: 03
--------------------	--------------------------	------------------	-----------------------

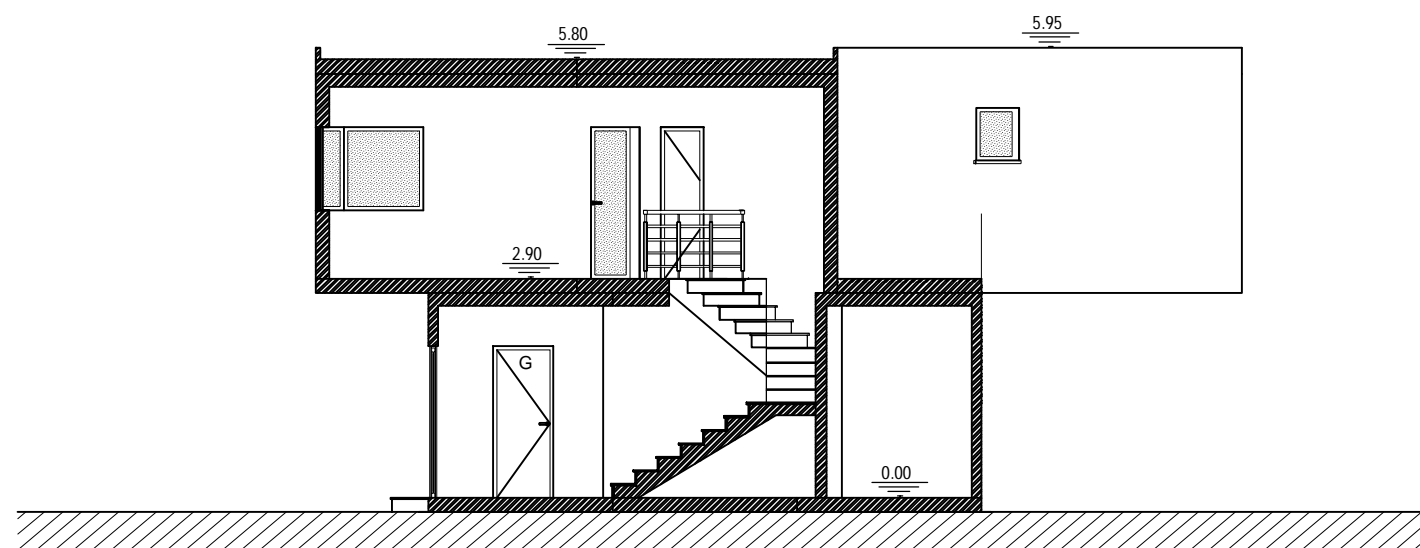
Rui Davide Fernandes da Silva, M3462



Corte A-A'



Corte B-B'



Corte C-C'

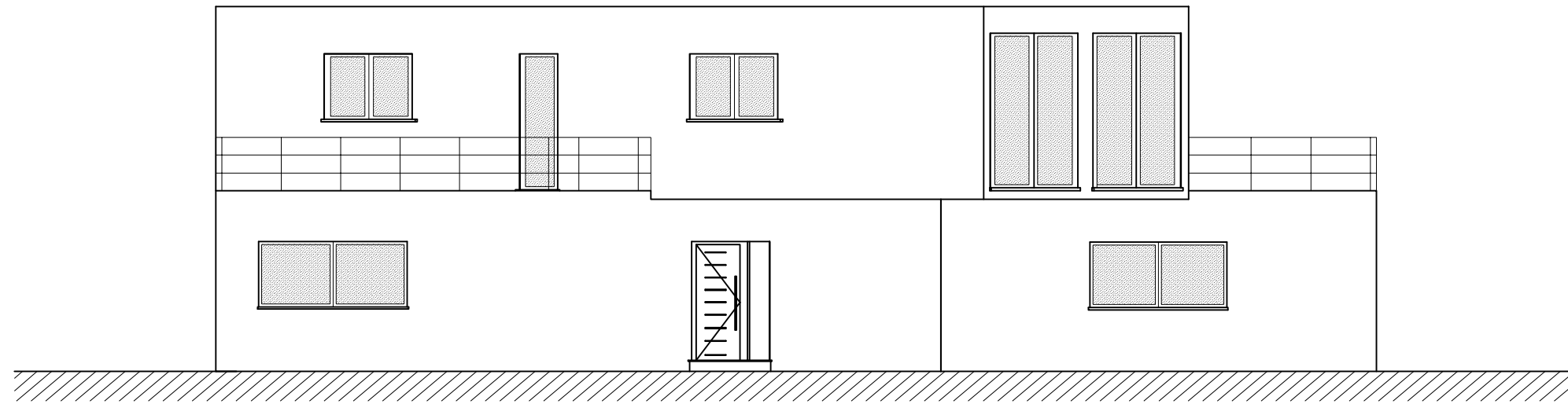


UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

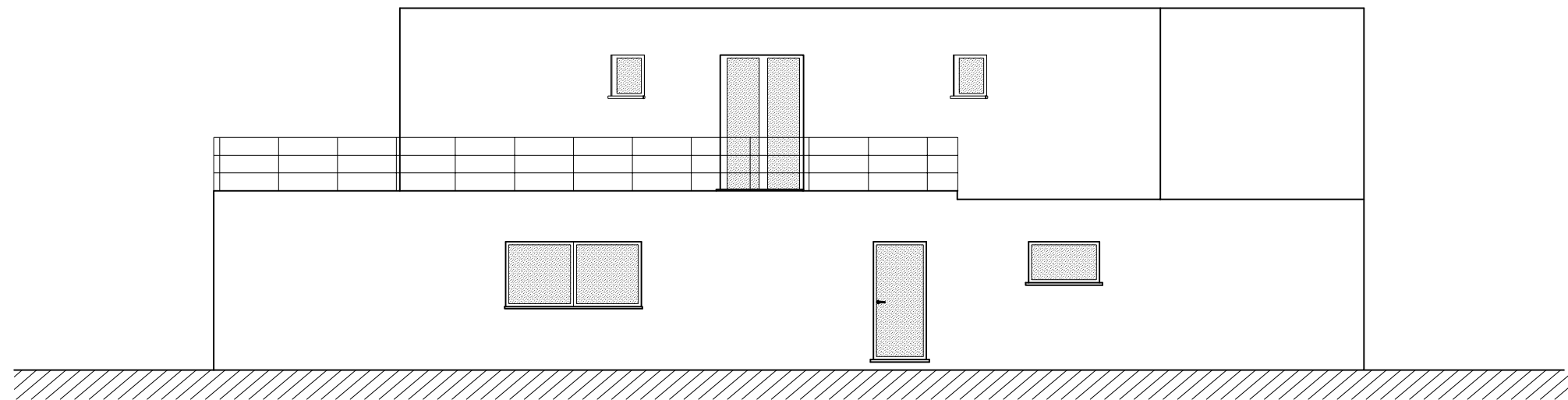
Descrição:
 Arquitectura da moradia em estudo: Corte A-A', Corte B-B' e Corte C-C'

Data: 3-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:100	Desenho Número: 04
--------------------	--------------------------	------------------	-----------------------

Rui Davide Fernandes da Silva, M3462



Alçado Principal



Alçado Posterior

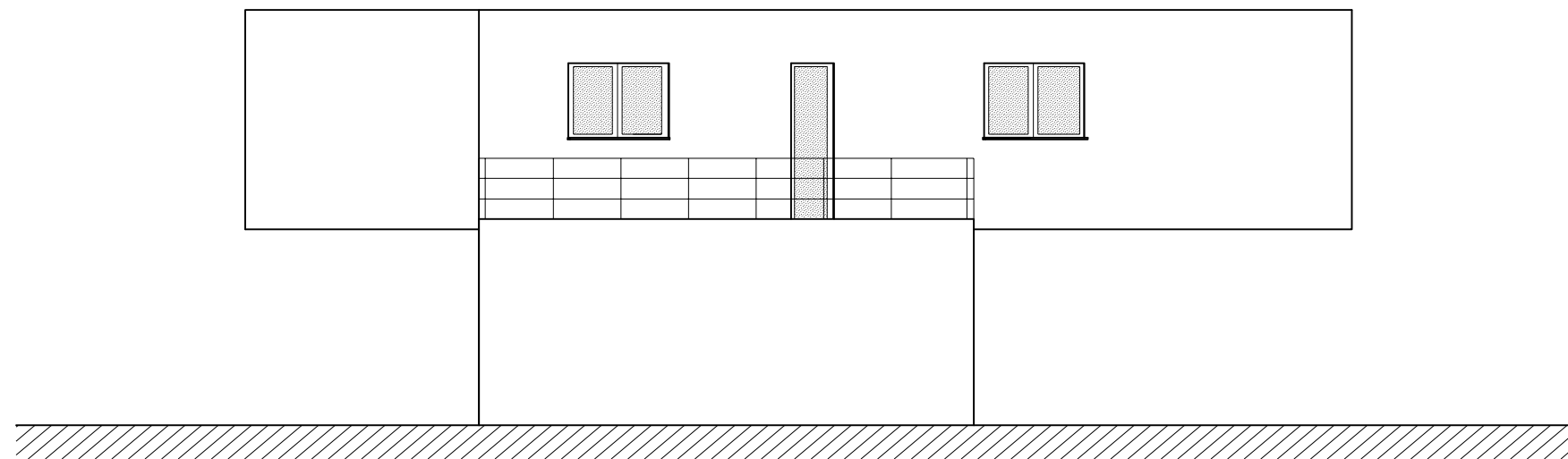


UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

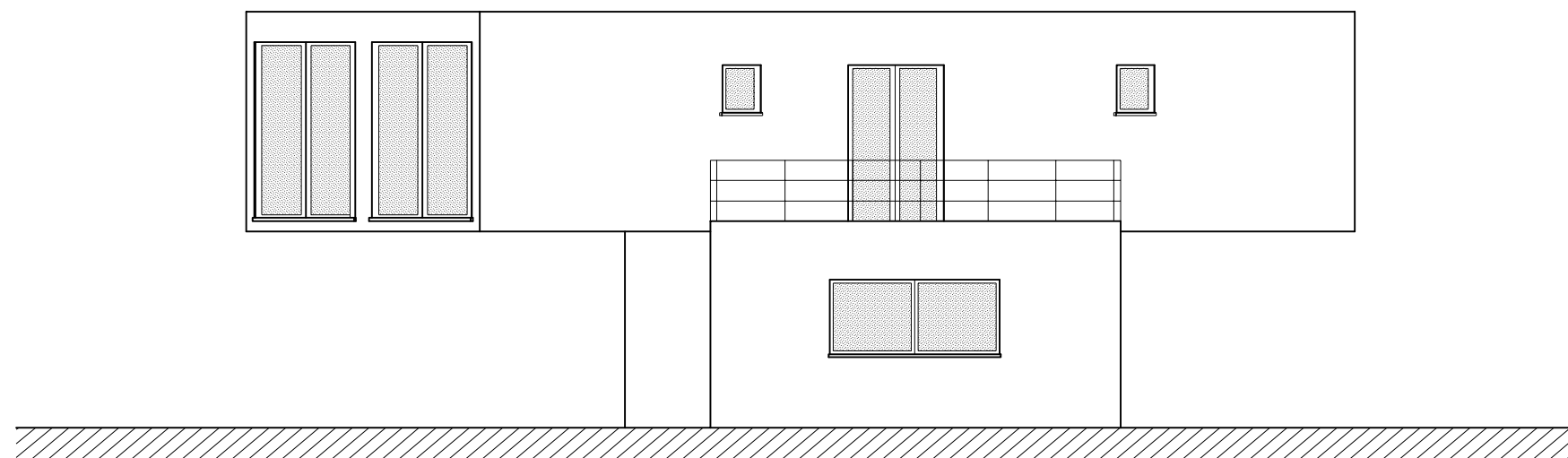
Descrição:
 Arquitectura da moradia em estudo: Alçado principal e Alçado posterior

Data: 3-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:100	Desenho Número: 05
--------------------	--------------------------	------------------	-----------------------

Rui Davide Fernandes da Silva, M3462



Alçado lateral esquerdo

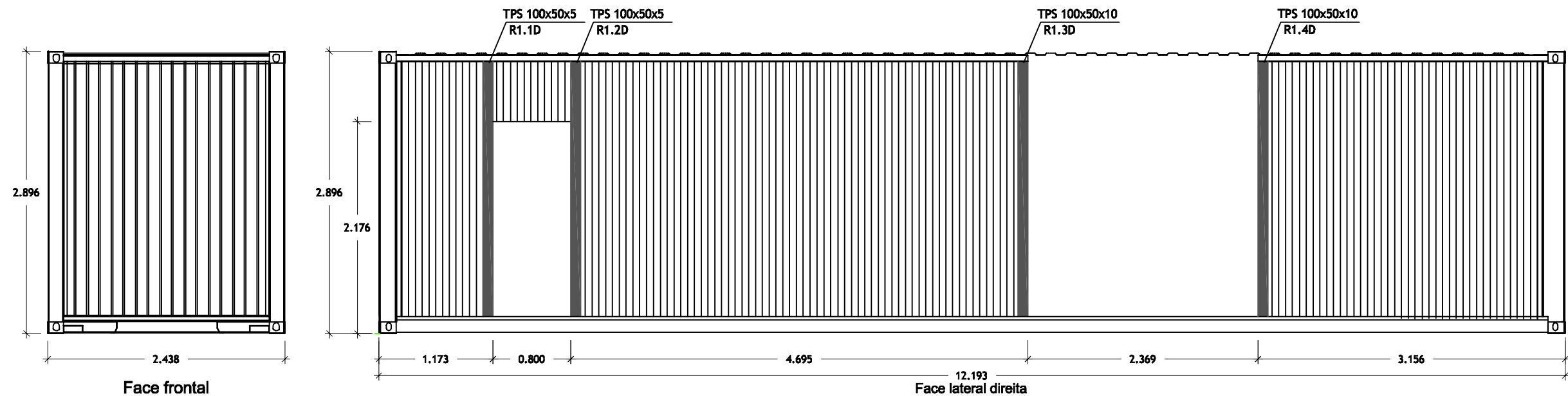


Alçado lateral direito



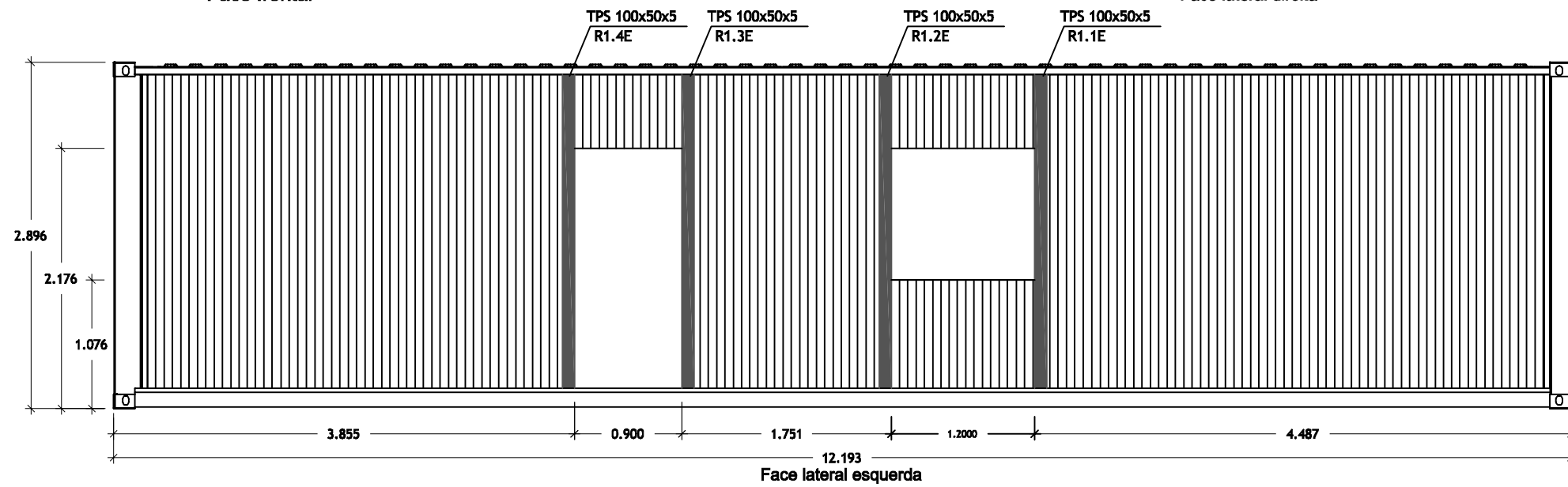
UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição: Arquitectura da moradia em estudo: Alçados laterais			
Data: 3-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:100	Desenho Número: 06
Rui Davide Fernandes da Silva, M3462			



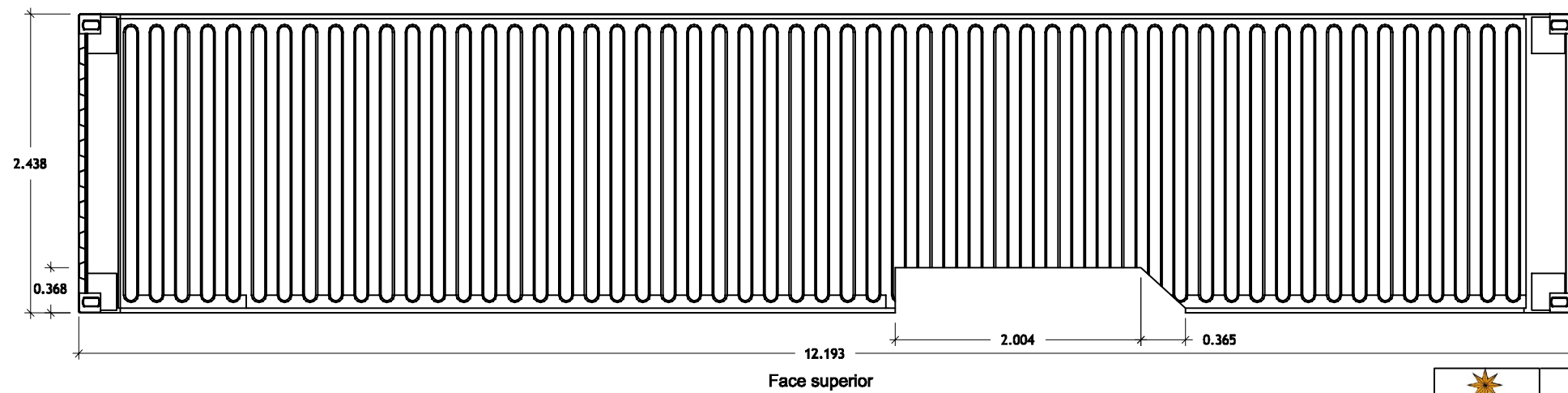
Face frontal

Face lateral direita



Face lateral esquerda

Face da porta



Face superior

Aço dos perfis de reforço S355

Nota: A face da base não sofre qualquer alteração, além da eliminação do contraplacado marítimo.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição:

Contentor 1-40'HC.1: Aberturas das faces e localização de reforços

Data:

8-10-2010

Unidade Medida:

metro

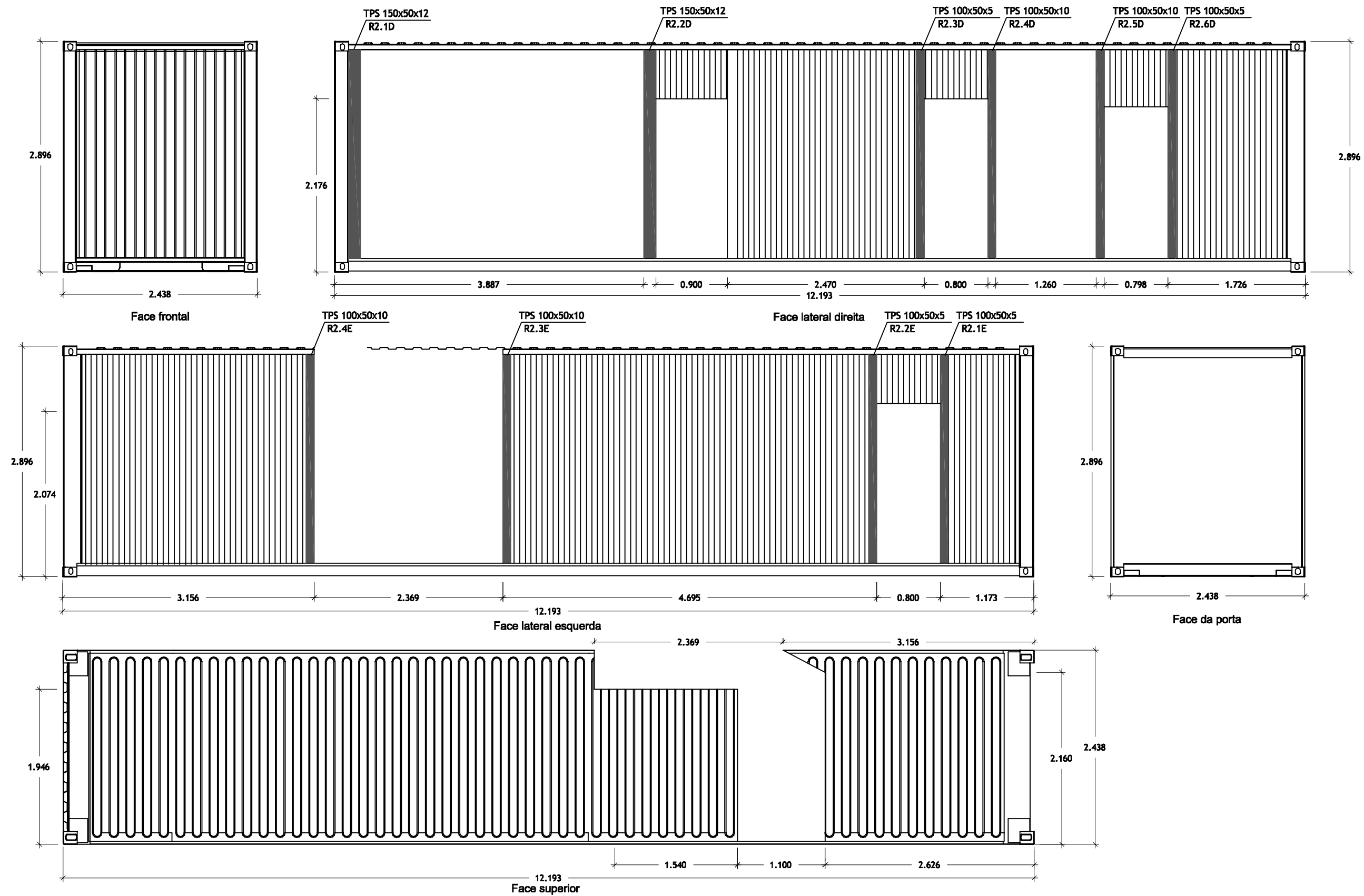
Escala:

1:50

Desenho Número:

07

Rui Davide Fernandes da Silva, M3462



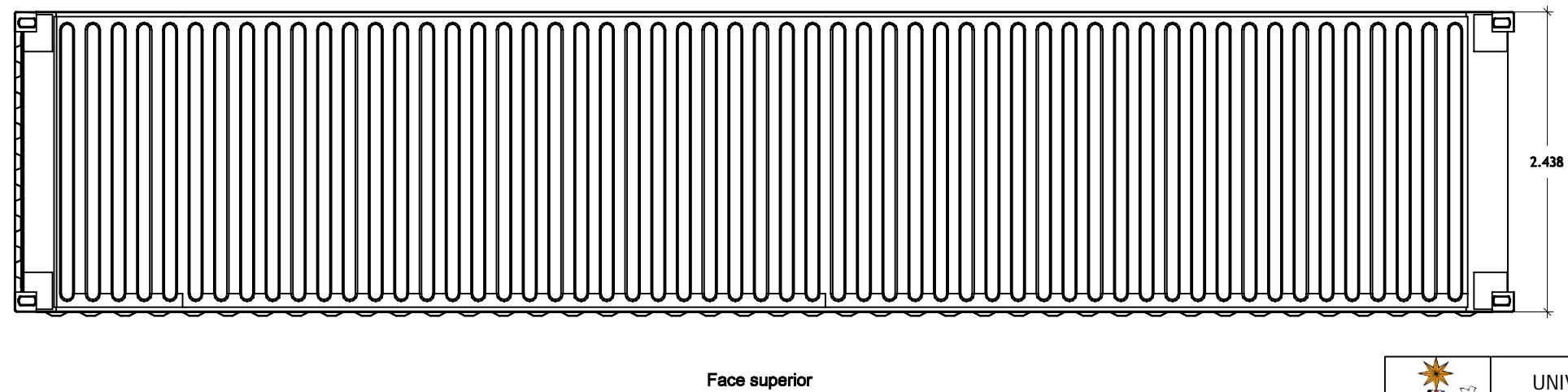
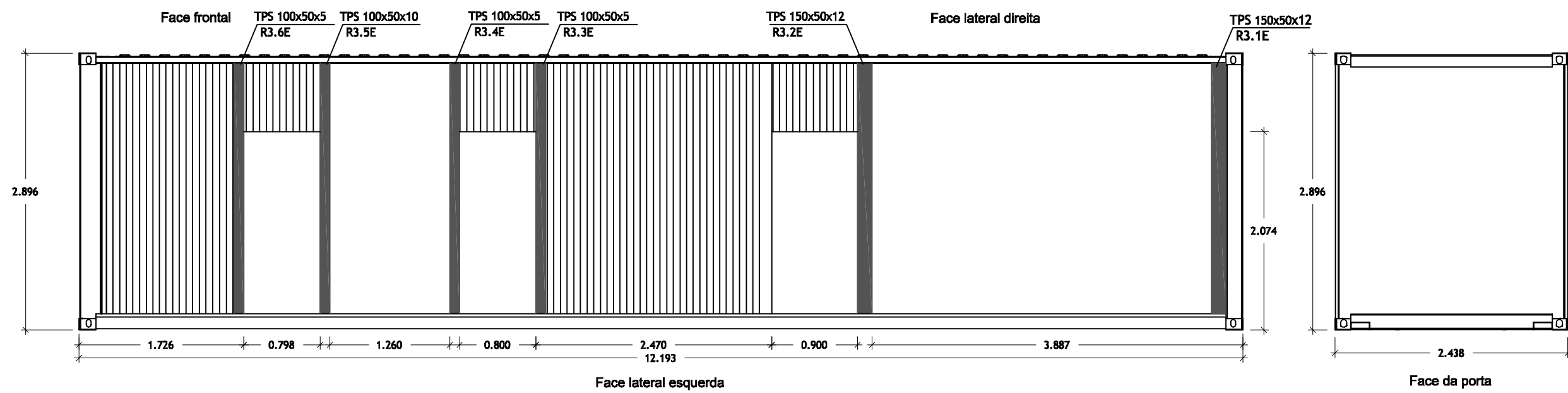
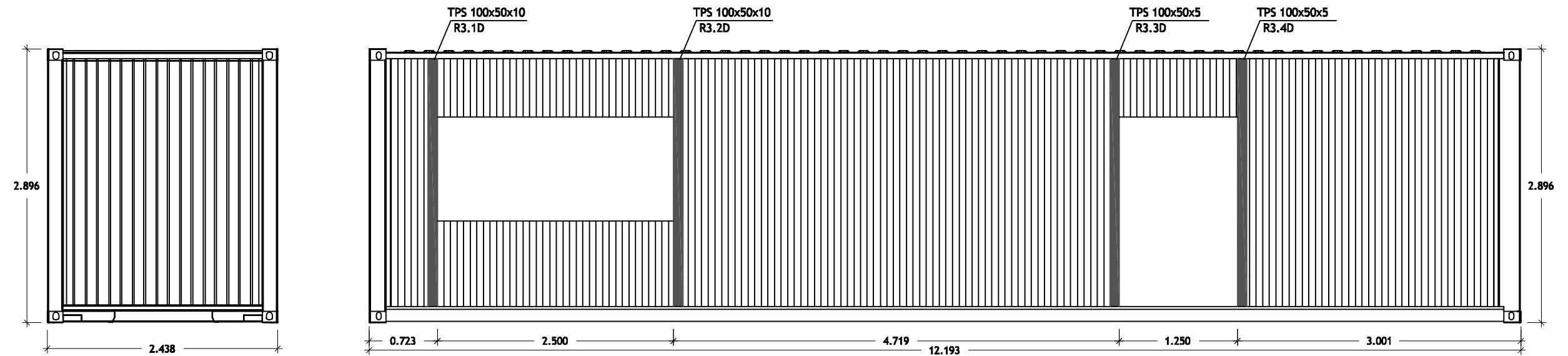
Aço dos perfis de reforço S355

Nota: A face da base não sofre qualquer alteração, além da eliminação do contraplacado marítimo.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição: Contentor 2-40'HC.2: Aberturas das faces e localização de reforços			
Data: 8-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:50	Desenho Número: 08
Rui Davide Fernandes da Silva, M3462			



Aço dos perfis de reforço S355

Nota: A face da base não sofre qualquer alteração, além da eliminação do contraplacado marítimo.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição:

Contentor 3-40'HC.3: Aberturas das faces e localização de reforços

Data:

8-10-2010

Unidade Medida:

metro

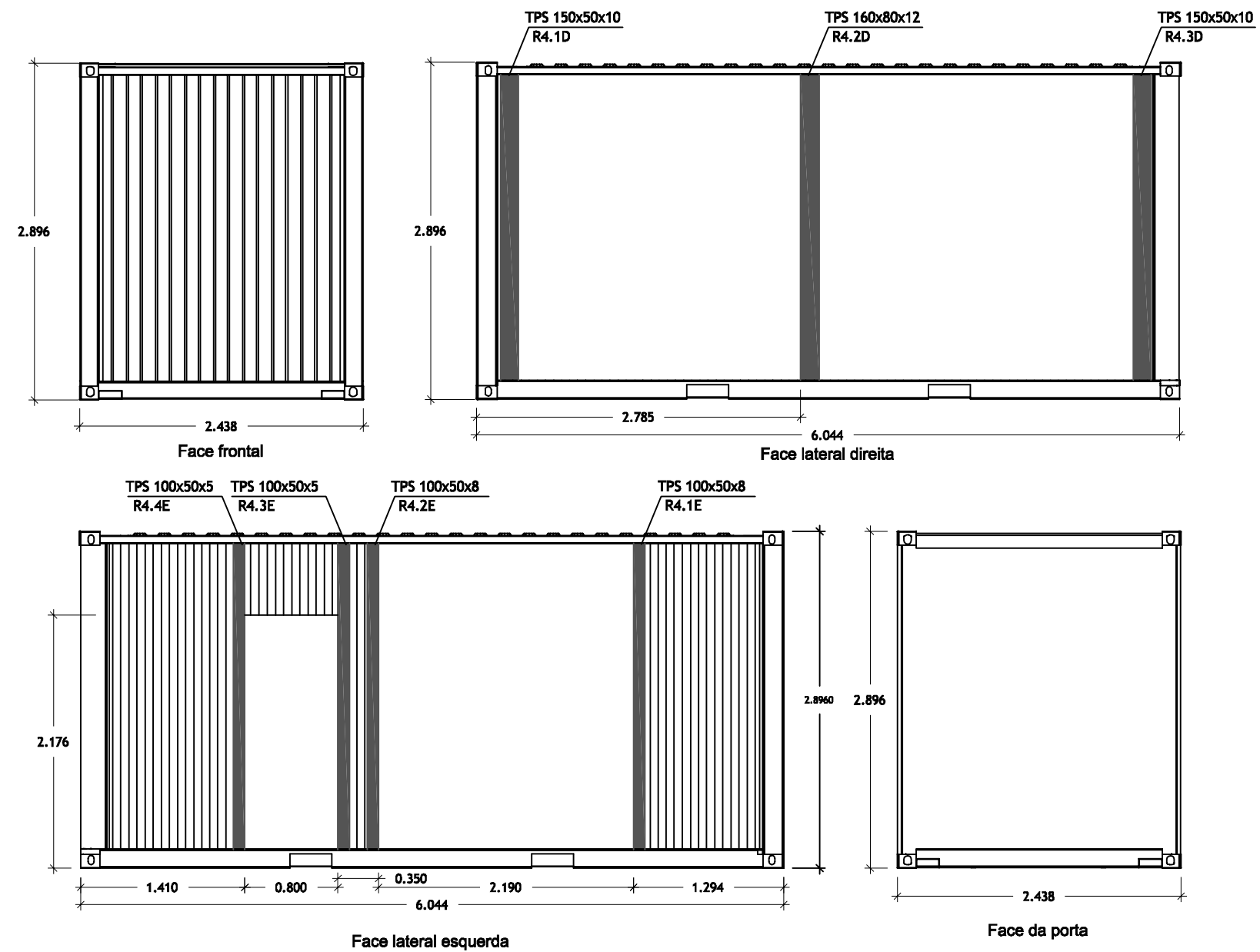
Escala:

1:50

Desenho Número:

09

Rui Davide Fernandes da Silva, M3462



Aço dos perfis de reforço S355

Nota: As faces da base e da cobertura não sofrem qualquer alteração, além da eliminação do contraplacado marítimo.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição:

Contentor 4-20'HC.1: Aberturas das faces e localização de reforços

Data:

8-10-2010

Unidade Medida:

metro

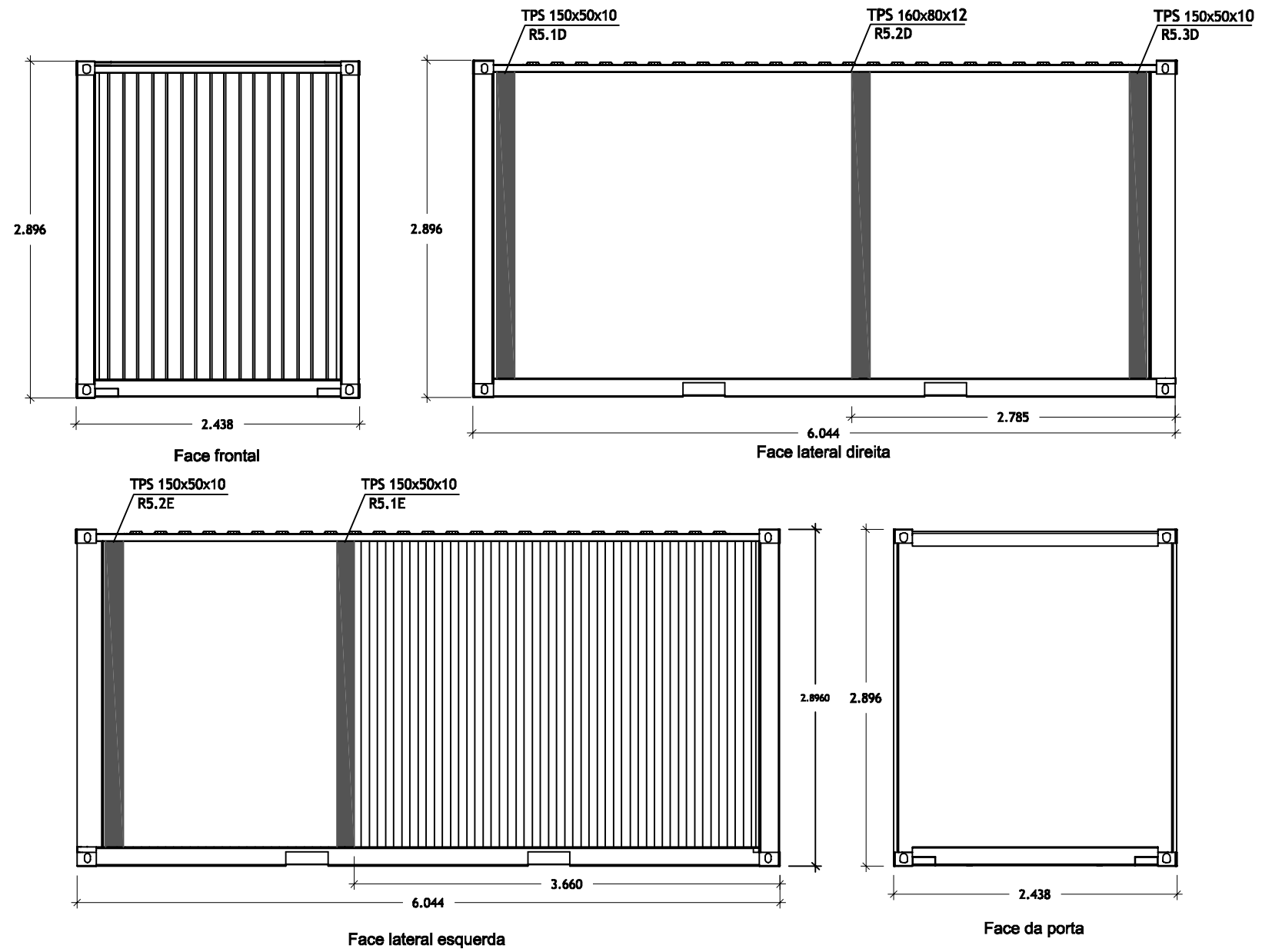
Escala:

1:50

Desenho Número:


10

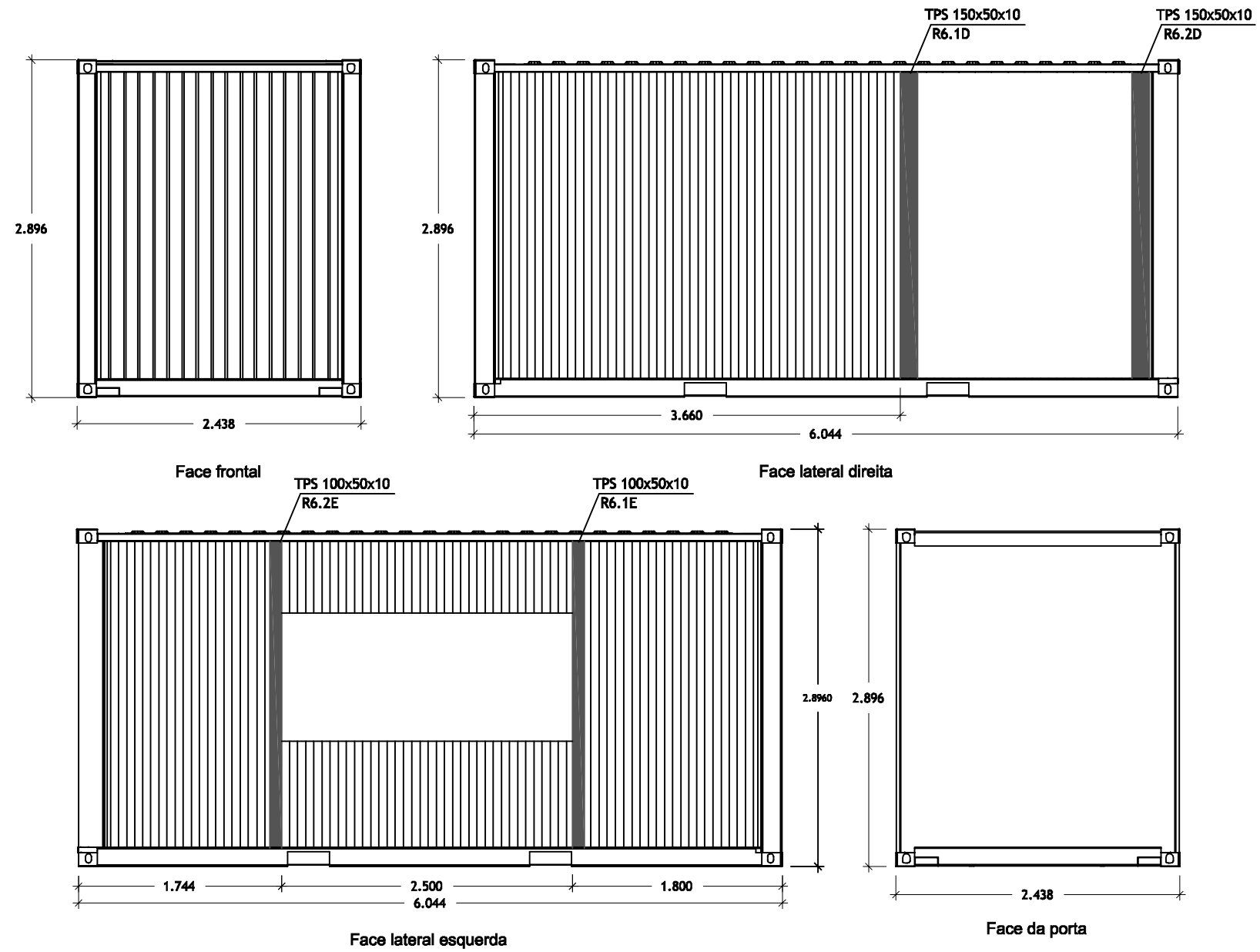
Rui Davide Fernandes da Silva, M3462



Aço dos perfis de reforço S355

Nota: As faces da base e da cobertura não sofrem qualquer alteração, além da eliminação do contraplacado marítimo.

	UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR Faculdade de engenharia Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção		
	Descrição: Contentor 5-20'HC.2: Aberturas das faces e localização de reforços		
Data: 8-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:50	Desenho Número: 11
Rui Davide Fernandes da Silva, M3462			



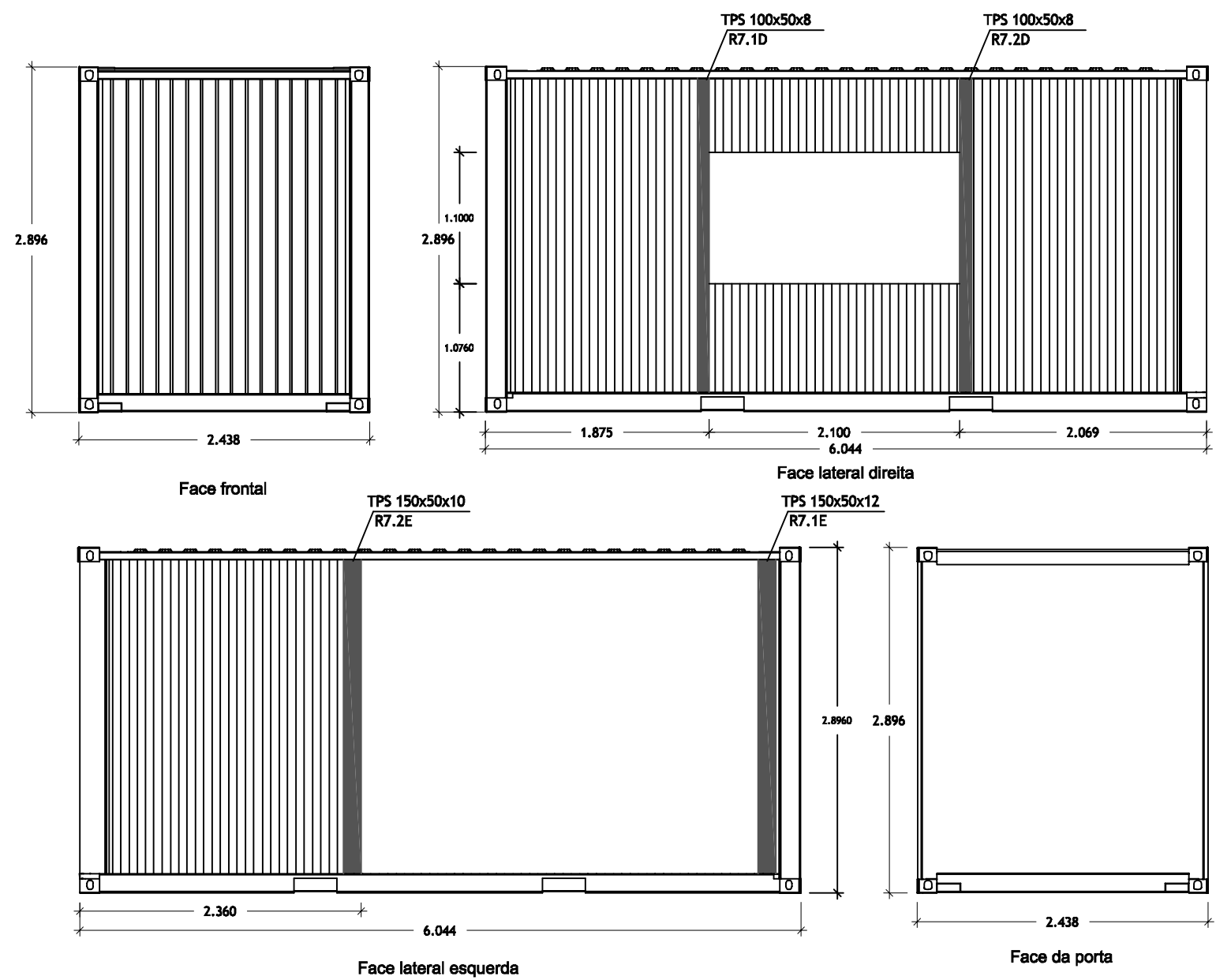
Aço dos perfis de reforço S355

Nota: As faces da base e da cobertura não sofrem qualquer alteração, além da eliminação do contraplacado marítimo.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição: Contentor 6-20'HC.3: Aberturas das faces e localização de reforços			
Data: 8-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:50	Desenho Número: 12
Rui Davide Fernandes da Silva, M3462			



Aço dos perfis de reforço S355

Nota: As faces da base e da cobertura não sofrem qualquer alteração, além da eliminação do contraplacado marítimo.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição:

Contentor 7-20'HC.4: Aberturas das faces e localização de reforços

Data:

8-10-2010

Unidade Medida:

metro

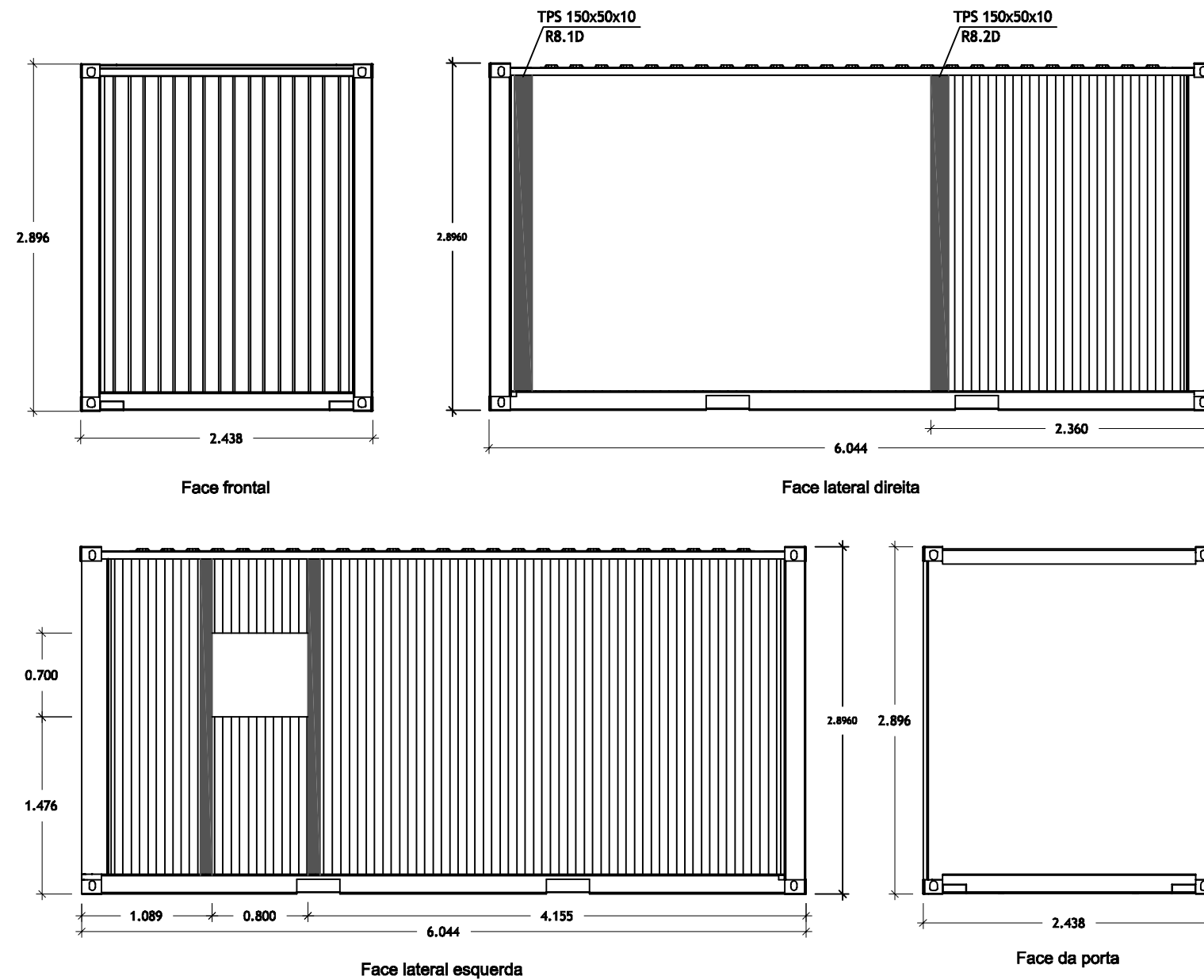
Escala:

1:50

Desenho Número:


13

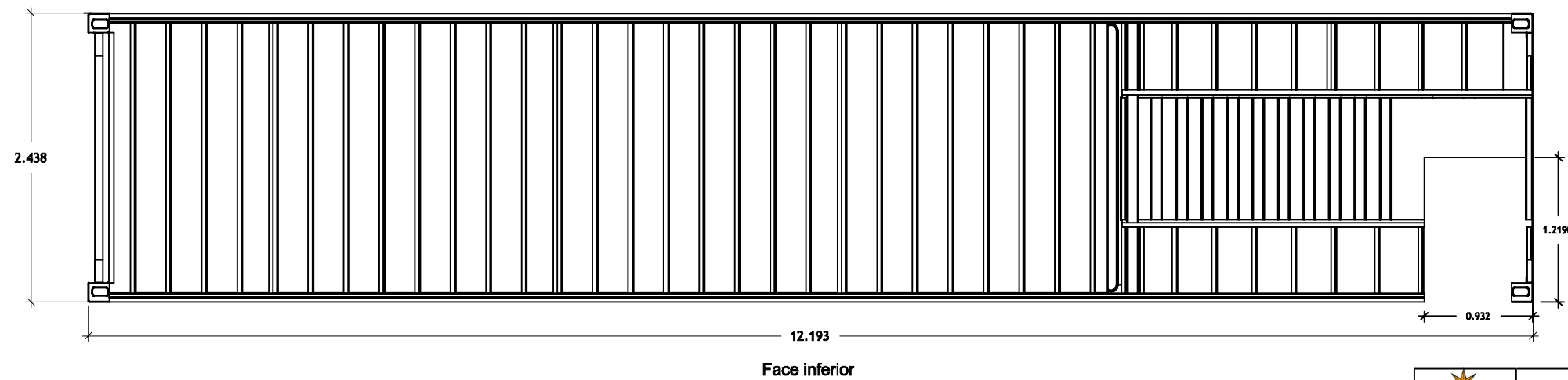
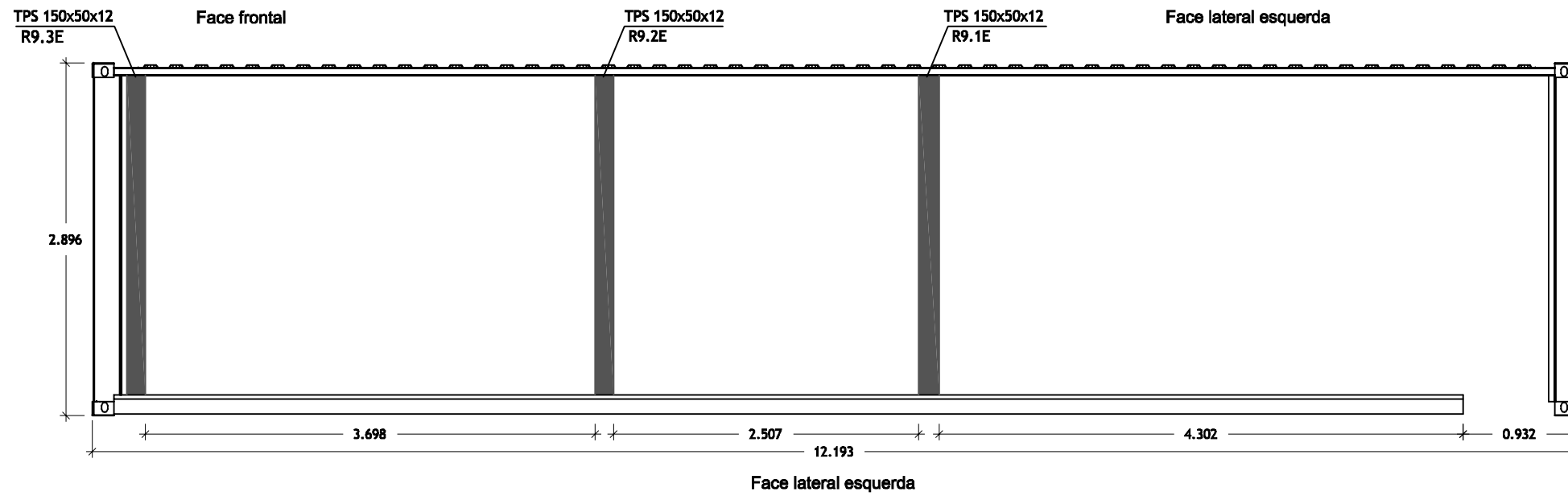
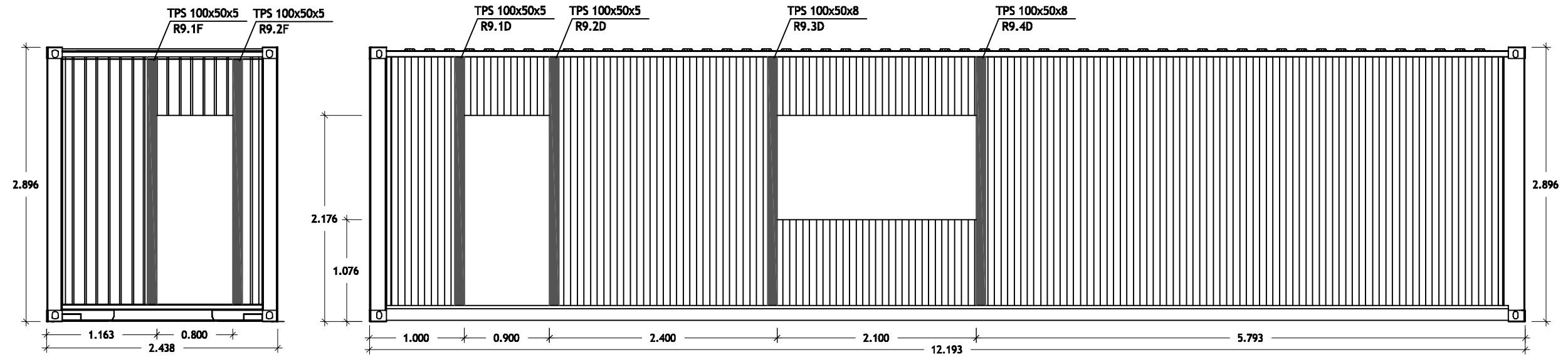
Rui Davide Fernandes da Silva, M3462



Aço dos perfis de reforço S355

Nota: As faces da base e da cobertura não sofrem qualquer alteração, além da eliminação do contraplacado marítimo.

	UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR Faculdade de engenharia Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção		
	Descrição: Contentor 8-20'HC.5: Aberturas das faces e localização de reforços		
Data: 8-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:50	Desenho Número: 14
Rui Davide Fernandes da Silva, M3462			



Aço dos perfis de reforço S355

Nota: A face da cobertura não sofre qualquer alteração.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição:

Contentor 9-40'HC.4: Aberturas das faces e localização de reforços

Data:

8-10-2010

Unidade Medida:

metro

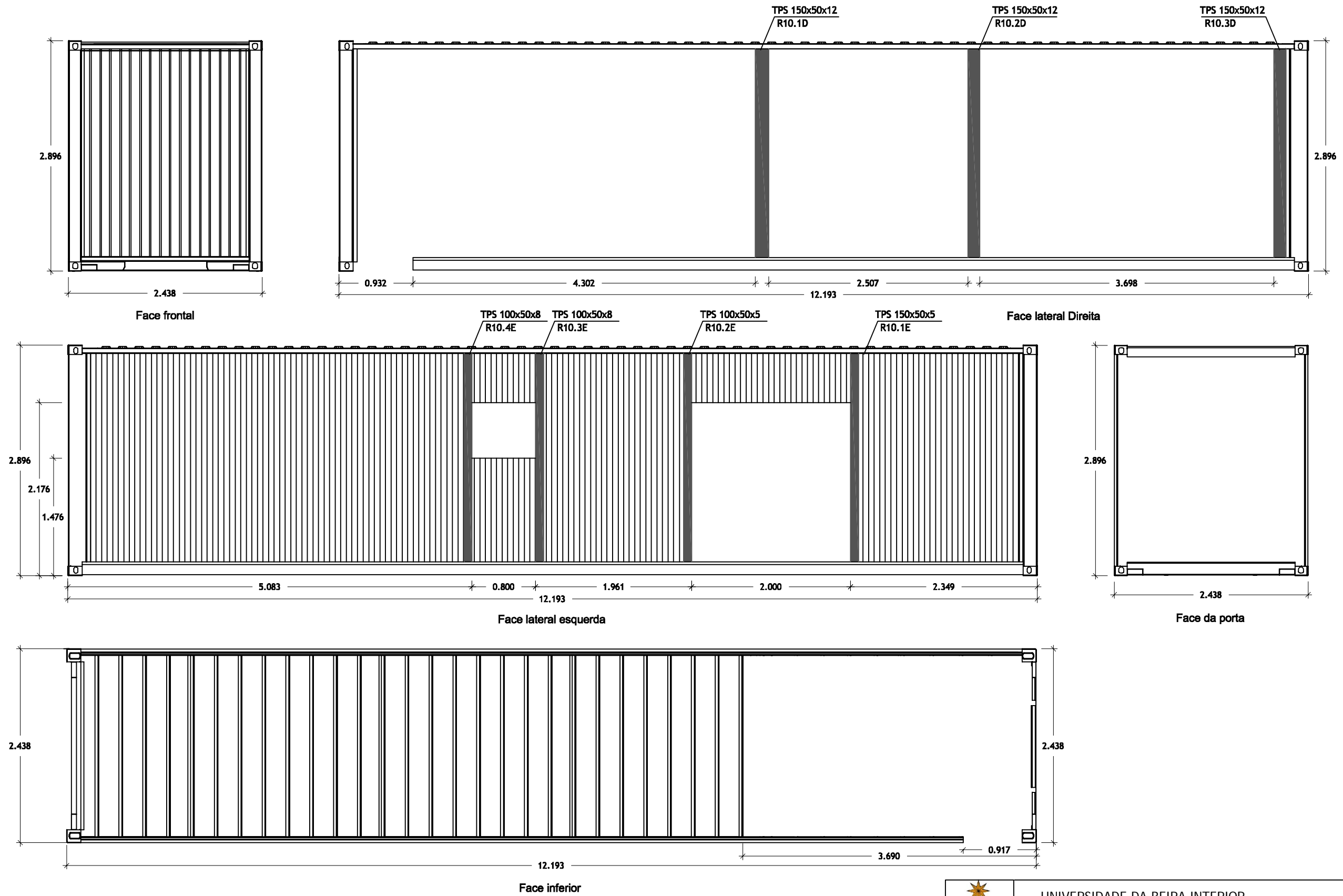
Escala:

1:50

Desenho Número:

15

Rui Davide Fernandes da Silva, M3462



Aço dos perfis de reforço S355

Nota: A face da cobertura não sofre qualquer alteração.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição:

Contentor 10-40'HC.5: Aberturas das faces e localização de reforços

Data:

8-10-2010

Unidade Medida:

metro

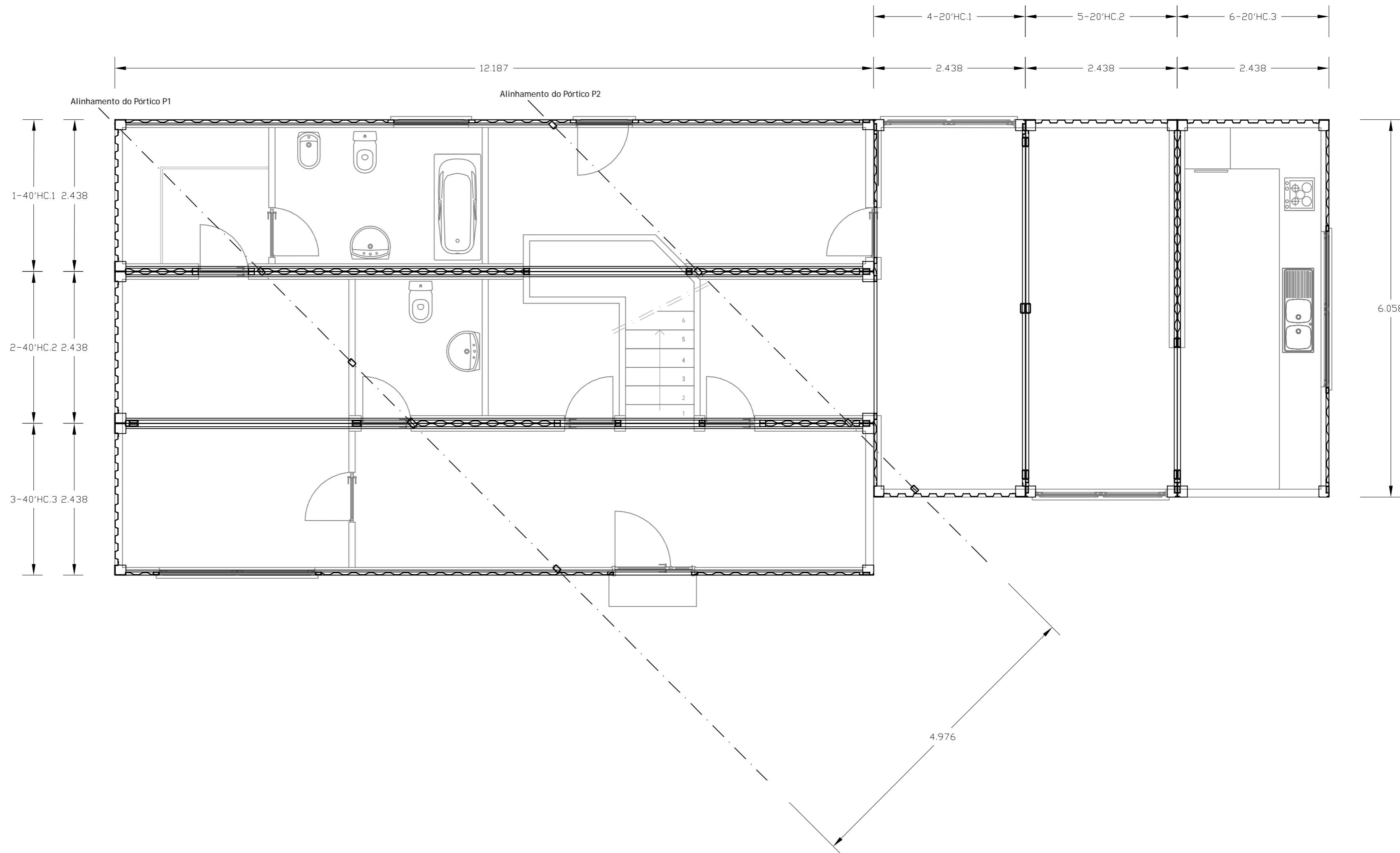
Escala:

1:50

Desenho Número:

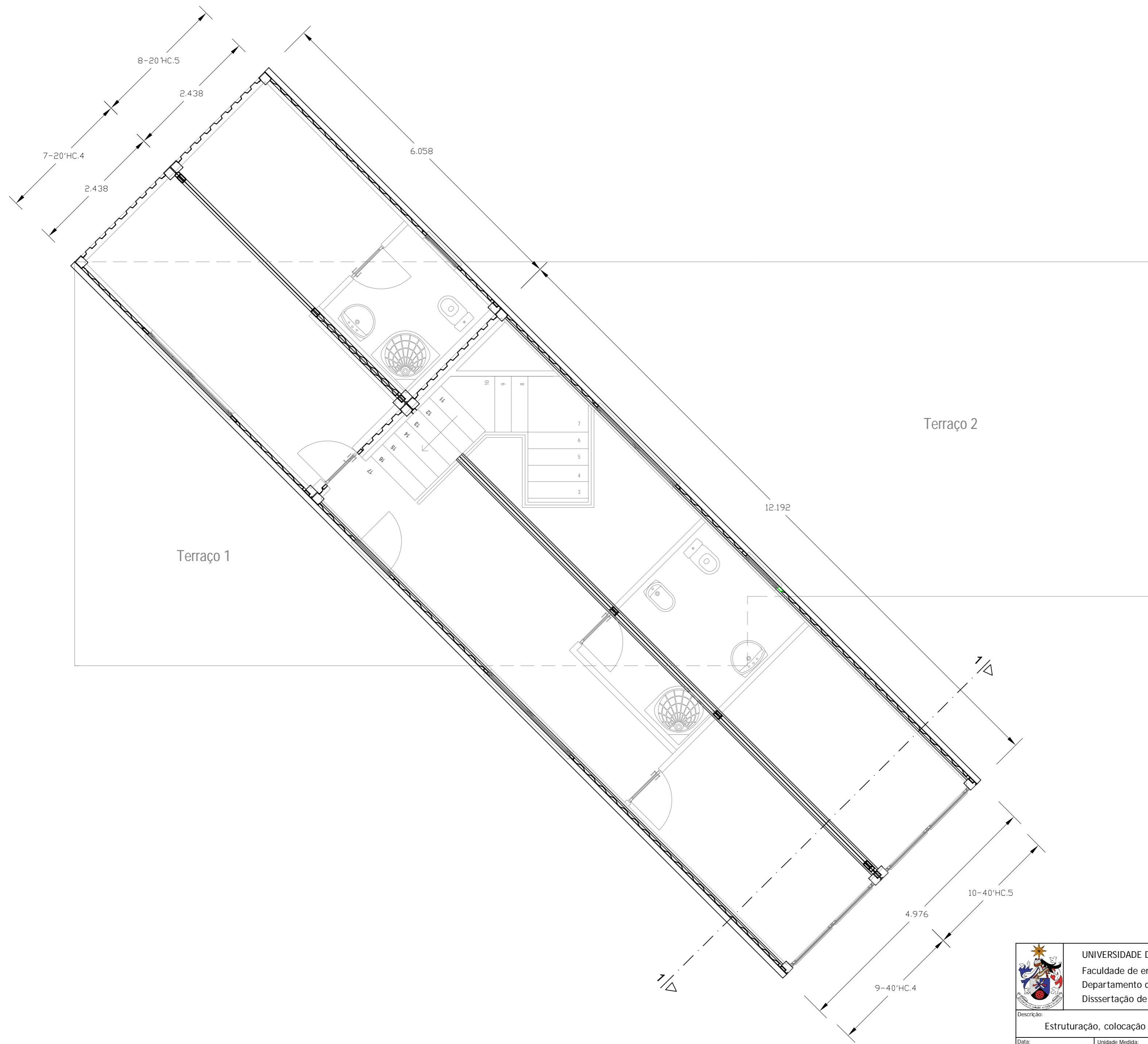
16

Rui Davide Fernandes da Silva, M3462



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

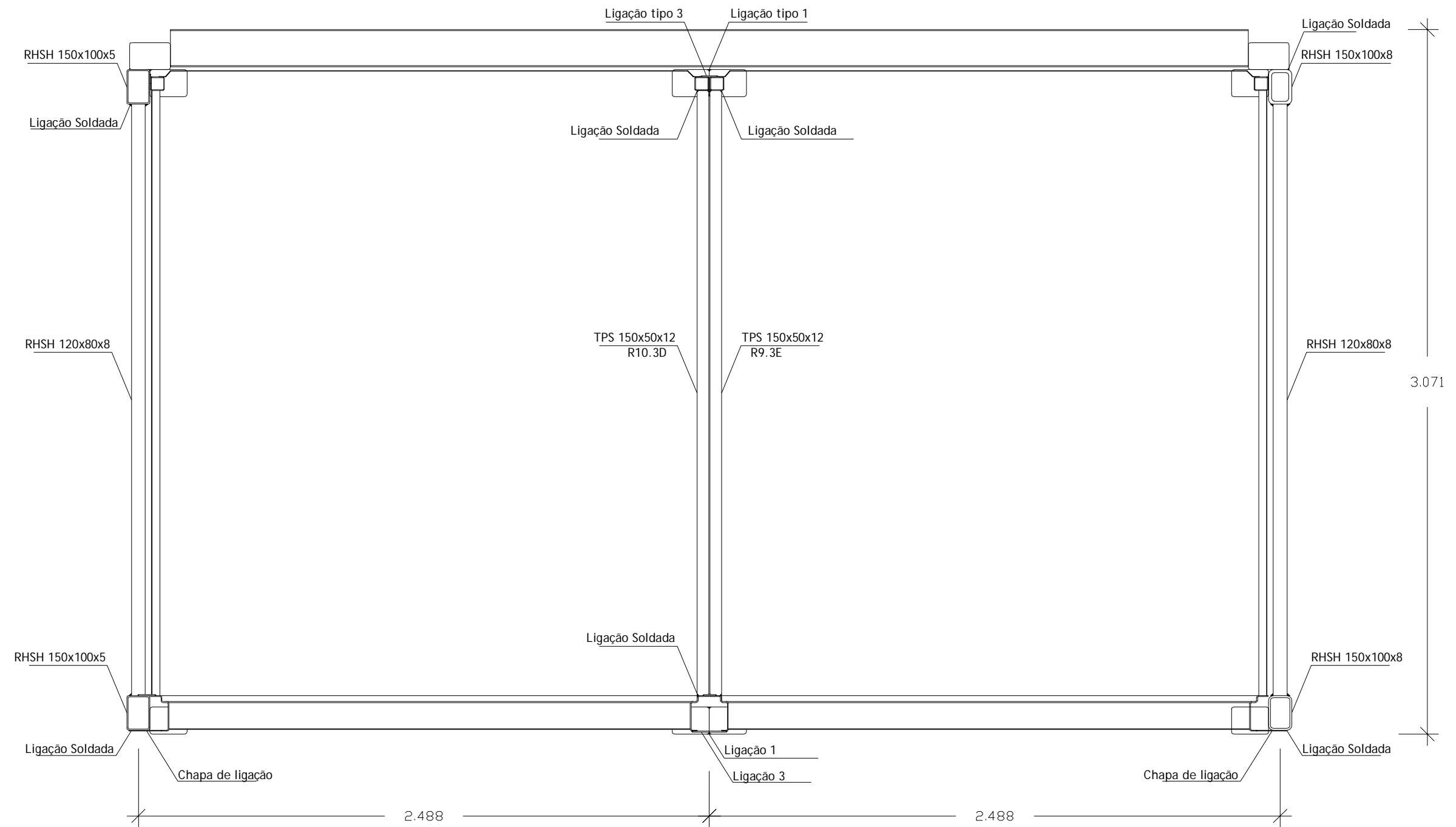
Descrição: Estruturação, colocação e identificação dos contentores em planta: Piso 0.			
Data: 16-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:50	Desenho Número: 17
Rui Davide Fernandes da Silva, M3462			



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição: Estruturação, colocação e identificação dos contentores em planta: Piso 1.			
Data: 16-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: 1:50	Desenho Número: 18
Rui Davide Fernandes da Silva, M3462			

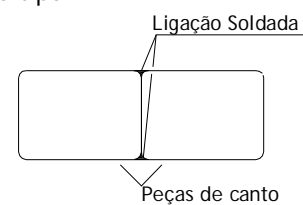
CORTE 1-1



Esc.: 1:20

Desenhos esquemáticos propostos para as principais ligações entre contentores:

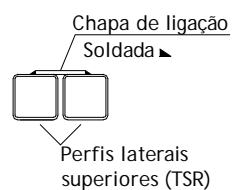
Ligação tipo 1:



Ligação entre as peças de canto (vértices dos contentores).

Esc.: 1:10

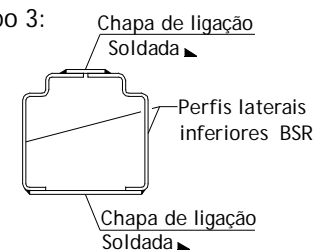
Ligação tipo 2:



Ligação entre os perfis laterais superiores.

Esc.: 1:10

Ligação tipo 3:



Ligação entre perfis laterais inferiores.

Esc.: 1:10



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
 Faculdade de engenharia
 Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
 Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil-Estruturas e Construção

Descrição:
 Corte 1-1; Desenhos esquemáticos das principais ligações entre contentores.

Data: 16-10-2010	Unidade Medida: metro	Escala: (As indicadas)	Desenho Número: 19
---------------------	--------------------------	---------------------------	-----------------------

Rui Davide Fernandes da Silva, M3462