

CAPÍTULO V – ANÁLISE DE SECÇÕES

5.1 – Introdução

Depois de identificados os vários elementos constituintes de cada contentor e definida a secção real de cada elemento estrutural (Capítulo III) apresenta-se, neste capítulo, a caracterização mecânica das secções. Para além disso, também se apresentam a classificação das secções e a redução de secções tendo em conta os aspectos normativos descritos no Capítulo IV.

5.2 – Características mecânicas das secções reais

Procede-se à determinação das características geométricas e mecânicas para as várias secções, nomeadamente a área, as inércias e áreas de corte de modo a conseguir proceder à modelação dos contentores. A geometria de cada secção foi descrita no capítulo III.

5.2.1 - Coordenadas do centro de gravidade e momentos estáticos de áreas

Ilustra-se na Figura 5.1 uma área A , que tem como centro de gravidade o ponto O de coordenadas y_0 e z_0 .

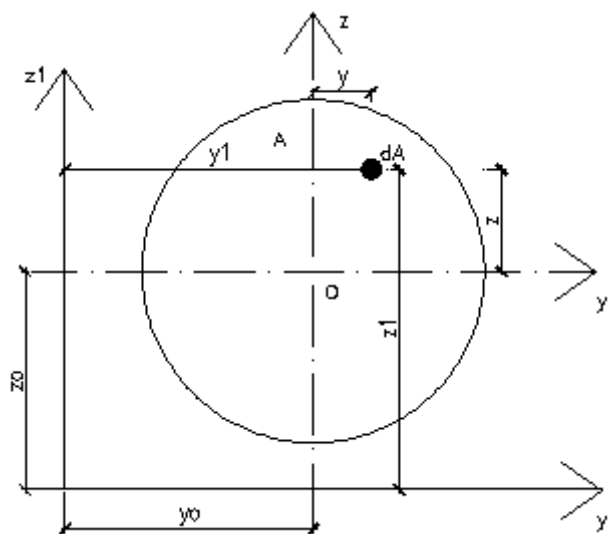


Figura 5.1 - Momentos estáticos e coordenadas do centro de gravidade

A área A de uma secção é dada por:

$$A = \int_A dA \quad (5.1)$$

Os momentos estáticos S_{y_1} e S_{z_1} de uma área A em relação ao eixo y_1 e z_1 são dados respectivamente por:

$$S_{y_1} = \int_A z_1 dA = \sum_{i=1}^n z_i \times A_i \quad (5.2)$$

$$S_{z_1} = \int_A y_1 dA = \sum_{i=1}^n y_i \times A_i \quad (5.3)$$

O centro de gravidade da área A é definido pelas coordenadas y_0 e z_0 :

$$y_0 = \frac{S_{z_1}}{A} = \frac{\int_A y_1 dA}{\int_A dA} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \times A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (5.4)$$

$$z_0 = \frac{S_{y_1}}{A} = \frac{\int_A z_1 dA}{\int_A dA} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \times A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (5.5)$$

5.2.2 - Momentos e produto de inércia

Os momentos de inércia e o produto de inércia são determinados pelo Teorema dos Eixos Paralelos (Teorema de Steiner). Ilustra-se na Figura 5.2 o elemento de área dA , sendo a e b as distâncias segundo y e z , respectivamente, ao centro de gravidade.

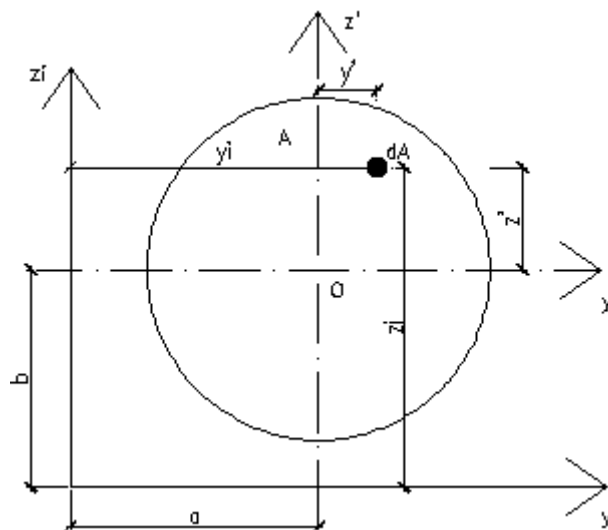


Figura 5.2 – Teorema de Steiner

$$I_{yi} = I_y' + b^2 A \quad e \quad I_y = \sum_{i=1}^n I_{yi} \quad (5.6)$$

$$I_{zi} = I_z' + a^2 A \quad e \quad I_z = \sum_{i=1}^n I_{zi} \quad (5.7)$$

$$I_{yzi} = I_{yz}' + abA \quad e \quad I_{yz} = \sum_{i=1}^n I_{yzi} \quad (5.8)$$

Para determinar os momentos e produto de inércia dos elementos em que os eixos sofreram uma rotação de um ângulo α em relação aos eixos de referência, recorreu-se às equações 5.9 a 5.11. Ilustra-se na Figura 5.3 a rotação dos eixos dos elementos em relação aos de referência.

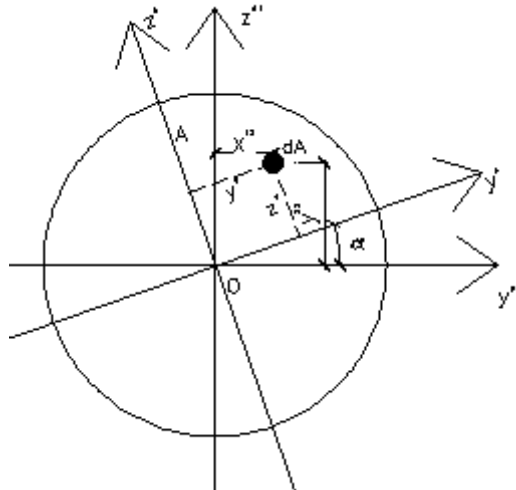


Figura 5.3 - Rotação dos eixos em relação aos de referência

$$I_{y'} = \frac{I_y'' + I_z''}{2} + \frac{I_y'' - I_z''}{2} \cos 2\alpha + I_{yz}'' \sin 2\alpha \quad (5.9)$$

$$I_{z'} = \frac{I_y'' + I_z''}{2} - \frac{I_y'' - I_z''}{2} \cos 2\alpha - I_{yz}'' \sin 2\alpha \quad (5.10)$$

$$I_{y'z'} = -\frac{I_y'' - I_z''}{2} \sin 2\alpha + I_{yz}'' \cos 2\alpha \quad (5.11)$$

5.2.3 - Módulo elástico de flexão

Os módulos elásticos de flexão calculam-se segundo as Equações 5.12 e 5.13.

$$W_{el,y} = \frac{I_y}{z} \quad (5.12)$$

$$W_{el,z} = \frac{I_z}{y} \quad (5.13)$$

Onde:

$W_{el,y}$ – Módulo elástico de flexão segundo y [m³];

$W_{el,z}$ – Módulo elástico de flexão segundo z [m³];

I_y – Momento de inércia de uma secção em relação a y [m⁴];

I_z – Momento de inércia de uma secção em relação a z [m⁴];

y – distância em y do ponto mais afastado da secção ao centro de gravidade [m];

z – distância em z do ponto mais afastado da secção ao centro de gravidade [m].

5.2.4 - Áreas de corte

As áreas de corte dos elementos lineares constituintes dos modelos 20'HC e 40'HC foram contabilizadas, para cada direcção, como se ilustra nas Tabelas 5.1 e 5.2, respectivamente. As áreas preenchidas a preto correspondem às áreas de corte consideradas.

Tabela 5.1 - Áreas de corte dos elementos do contentor 40'HC

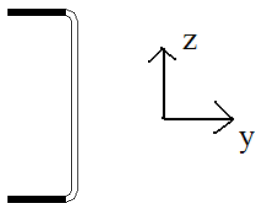





Elemento	Asy	Asz
BCM1		
BCM2		
BCM3		

Tabela 5.1 (Cont.) - Áreas de corte dos elementos do contentor 40'HC







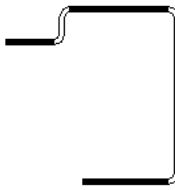
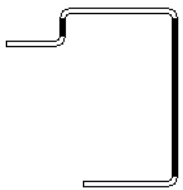




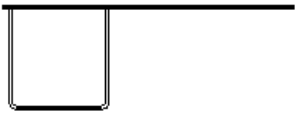
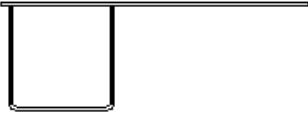

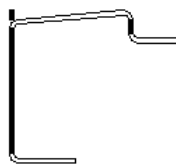
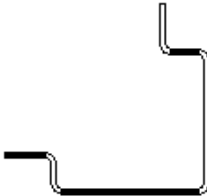
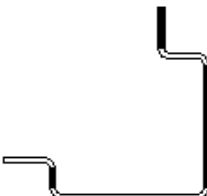
BCM4		
BCM5		
BSR		
BCM6		
BFP		
DCP		
DH		
DS		
FCP		

Tabela 5.1 (Cont.) - Áreas de corte dos elementos do contentor 40'HC

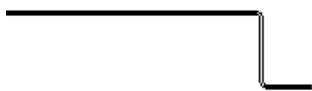

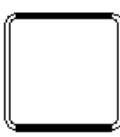

FH		
FS/TSR		

Tabela 5.2 - Áreas de corte dos elementos do contentor 20'HC


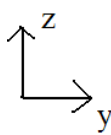






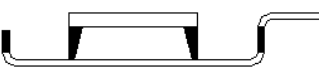
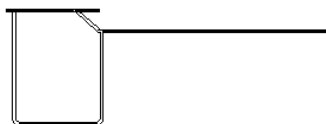


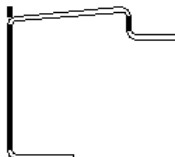
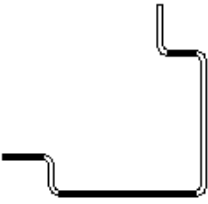
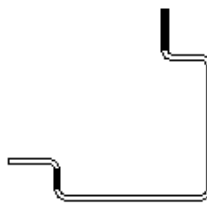
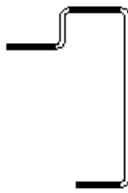


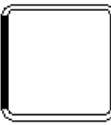
Elemento	Asy	Asz
BCM1	 	
BCM2		
BSR		
DCP		
DH		
DS		

Tabela 5.2 (Cont.) - Áreas de corte dos elementos do contentor 20'HC

FCP		
FS		
FH/TSR		

5.2.5 – Apresentação dos valores

5.2.5.1 - Modelo 40'HC

Apresentam-se resumidamente nas Tabelas 5.3 e 5.4 as características mecânicas dos elementos lineares e das chapas do contentor 40'HC.

Tabela 5.3 - Características mecânicas dos elementos constituintes do contentor 40'HC

Elemento	A	I_y	I_z	I_{yz}	A_{sy}	A_{sz}
	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ²]	[m ²]
BCM1	7,95E-04	1,67E-06	1,44E-07	0,00E+00	2,96E-04	4,24E-04
BCM2	9,15E-04	2,04E-06	4,00E-07	-3,00E-07	4,16E-04	4,24E-04
BCM3	612,9	28662,5	743299,7	0,00E+00	3,69E-04	1,49E-04
BCM4	7,89E-04	1,57E-06	1,43E-07	0,00E+00	2,96E-04	4,06E-04
BCM5	9,09E-04	1,90E-06	3,98E-07	-2,87E-07	4,16E-04	4,06E-04
BSR	1,13E-03	3,27E-06	5,29E-07	-8,23E-07	3,53E-04	5,56E-04
BCM6	1,75E-03	5,77E-06	3,28E-06	-1,39E-06	8,71E-04	6,59E-04
BFP	8,73E-04	2,08E-06	2,72E-07	5,67E-07	2,23E-04	6,07E-04
DCP	3,81E-03	1,12E-06	1,80E-05	9,41E-07	2,57E-03	7,02E-04
DH	2,55E-03	4,97E-06	2,02E-05	4,56E-06	1,67E-03	8,08E-04
DS	1,70E-03	5,06E-06	4,47E-06	2,17E-06	8,96E-04	6,52E-04
FCP	2,98E-03	1,28E-05	1,45E-05	5,39E-06	1,35E-03	1,21E-03
FH	1,74E-03	1,73E-06	1,84E-05	-3,73E-06	1,36E-03	2,84E-04
FS	6,80E-04	3,66E-07	3,66E-07	0,00E+00	2,88E-04	2,88E-04
TSR	6,80E-04	3,66E-07	3,66E-07	0,00E+00	2,88E-04	2,88E-04

Tabela 5.4 - Características mecânicas das chapas constituintes do contentor 40'HC

Chapas	A	I_y	I_z	I'_y	e	l
	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m]	[m]
sw1/sw3	2,36E-03	4,49E-07	2,45E-04	1,21E-07	2,00E-03	1,116
sw2	1,89E-03	3,67E-07	1,96E-04	9,88E-08	1,60E-03	1,116
few	2,49E-03	9,44E-07	2,13E-04	2,78E-07	2,00E-03	1,019

5.2.5.2 – Modelo 20'HC

Apresentam-se resumidamente nas Tabelas 5.5 e 5.6 as características mecânicas dos elementos lineares e das chapas do contentor 20'HC.

Tabela 5.5 - Características mecânicas dos elementos constituintes do contentor 20'HC

Elemento	A	I_y	I_z	I_{yz}	A_{sy}	A_{sz}
	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ²]	[m ²]
BCM1	7,95E-04	1,67E-06	1,44E-07	0,00E+00	2,96E-04	4,24E-04
BCM2	9,15E-04	2,04E-06	4,00E-07	-3,00E-07	4,16E-04	4,24E-04
BSR	1,01E-03	3,31E-06	1,36E-07	1,94E-07	2,70E-04	6,48E-04
DCP	3,81E-03	1,12E-06	1,80E-05	9,41E-07	2,57E-03	7,02E-04
DH	2,57E-03	5,84E-06	3,02E-05	4,81E-06	1,53E-03	9,16E-04
DS	1,70E-03	5,06E-06	4,47E-06	2,17E-06	8,96E-04	6,52E-04
FCP	2,98E-03	1,28E-05	1,45E-05	5,39E-06	1,35E-03	1,21E-03
FS	1,26E-03	3,59E-06	1,16E-06	-7,42E-07	4,91E-04	6,20E-04
FH	6,61E-04	3,51E-07	3,51E-07	0,00E+00	2,88E-04	2,88E-04
TSR	6,61E-04	3,51E-07	3,51E-07	0,00E+00	2,88E-04	2,88E-04

Tabela 5.6 - Características mecânicas das chapas constituintes do contentor 20'HC

Chapas	A	I_{yy}	I_{zz}	I'_y	e	l
	[m ²]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m ⁴]	[m]	[m]
sw1	0,00E+00	4,42E-07	2,38E-04	1,20E-07	2,00E-03	1,105
sw2	1,88E-03	3,65E-07	1,93E-04	9,85E-08	1,60E-03	1,110
few	2,49E-03	9,44E-07	2,13E-04	2,78E-07	2,00E-03	1,019

5.3 – Classificação das secções

5.3.1 – Modelo 40'HC

Tal como foi descrito no capítulo IV, procede-se à classificação das secções que é efectuada considerando que todas as parcelas da secção se encontram em compressão pura porque é a situação mais desfavorável. Como se verá na Secção 6.4, esta situação corresponde à generalidade das secções em termos de solicitação. Apresenta-se na Tabela 5.7 o valor do parâmetro ϵ (Equação 4.1) que tem em conta a classe do aço.

Tabela 5.7 – Valor do parâmetro ϵ

f_y	ϵ
[MPa]	[-]
343	0,83

Os valores limites das relações c/t) para os elementos internos e para os banzos em consola (Tabelas 4.1 e 4.2) são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 5.8 e 5.9.

Tabela 5.8 – Valores limite das relações c/t para os elementos internos

	Elementos Internos $(c/t)_{max}$
	Compressão
Classe 1	27,31
Classe 2	31,45
Classe 3	34,76

Tabela 5.9 - Valores limite das relações c/t para os banzos em consola

	Banzos em consola $(c/t)_{max}$
	Compressão
Classe 1	7,45
Classe 2	8,28
Classe 3	11,59

Tendo em conta os valores limite, apresenta-se nas Tabelas 5.10 a 5.26 a classificação de todos os elementos constituintes, parcela a parcela, do contentor 40'HC.

Tabela 5.10 – Classificação do elemento BSR

BSR						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	41	4,5	9,11	classe 3	0
2	Interno	12,5	4,5	2,78	classe 1	classe 1
3	Interno	16,5	4,5	3,67	classe 1	classe 1
4	Interno	111	4,5	24,67	classe 1	classe 1
5	Interno	21	4,5	4,67	classe 1	classe 1

Tabela 5.11 - Classificação do elemento FH/TSR

FS/TSR						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Interno	48	3	16,00	classe 1	classe 1

Tabela 5.12 - Classificação do elemento DCP

DCP						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	18	6	3,00	classe 1	0
2	Interno	46,5	6	7,75	classe 1	classe 1
3	Interno	104	6	17,33	classe 1	classe 1
4	Interno	22	6	3,67	classe 1	classe 1
5	Externo	44	6	7,33	classe 1	classe 1
6	Interno	89	12	7,42	classe 1	classe 1
7	Interno	28	8,25	3,39	classe 1	classe 1

Tabela 5.13 - Classificação do elemento DH

DH						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Interno	101	4	25,25	classe 1	classe 1
2	Interno	94	4	23,50	classe 1	classe 1
3	Banzo	8	4	2,00	classe 1	0
4	Interno	102	4	25,50	classe 1	classe 1
5	Banzo	205	4	51,25	classe 4	0

Tabela 5.14 - Classificação do elemento DS

DS						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	56	4,5	12,44	classe 4	0
2	Interno	122,71	4,5	27,27	classe 1	classe 1
3	Interno	103,35	4,5	22,97	classe 1	classe 1
4	Interno	13,73	4,5	3,05	classe 1	classe 1
5	Banzo	40,5	4,5	9,00	classe 3	0

Tabela 5.15 - Classificação do elemento FCP

FCP						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	44	6	7,33	classe 1	0
2	Interno	22	6	3,67	classe 1	classe 1
3	Interno	150	6	25,00	classe 1	classe 1
4	Interno	135	6	22,50	classe 1	classe 1
5	Interno	31	6	5,17	classe 1	classe 1
6	Banzo	44	6	7,33	classe 1	0

Tabela 5.16 - Classificação do elemento FH

FH						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	289	4	72,25	classe 4	0
2	Interno	71	4	17,75	classe 1	classe 1
3	Banzo	52	4	13,00	classe 4	0

Tabela 5.17 - Classificação do elemento BCM1

BCM1						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	37	4	9,25	classe 3	0
2	Interno	106	4	26,50	classe 1	classe 1

Tabela 5.18 - Classificação do elemento BCM2

BCM2						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	67	4	16,75	classe 4	0
2	Interno	106	4	26,50	classe 1	classe 1
3	Banzo	37	4	9,25	classe 3	0

Tabela 5.19 - Classificação do elemento BCM3

BCM3						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	16,5	4,5	3,67	classe 1	0
2	Interno	82	4,5	18,22	classe 1	classe 1

Tabela 5.20 - Classificação do elemento BCM4

BCM4						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	37	4	9,25	classe 3	0
2	Interno	101,5	4	25,38	classe 1	classe 1

Tabela 5.21 - Classificação do elemento BCM5

BCM5						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	67	4	16,75	classe 4	0
2	Interno	101,5	4	25,38	classe 1	classe 1
3	Banzo	37	4	9,25	classe 3	0

Tabela 5.22 - Classificação do elemento BCM6

BCM6						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	40,5	4,5	9,00	classe 3	0
2	Interno	14,5	4,5	3,22	classe 1	classe 1
3	Interno	82	4,5	18,22	classe 1	classe 1
4	Interno	132	4,5	29,33	classe 2	classe 1
5	Banzo	71	4,5	15,78	classe 4	0

Tabela 5.23 - Classificação do elemento sw1/sw3

sw1/sw3						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	37	2	18,50	classe 4	0
2	Interno	75,55	2	37,78	classe 4	classe 1
3	Interno	71,06	2	35,53	classe 4	classe 1
4	Interno	75,55	2	37,78	classe 4	classe 1
5	Interno	70	2	35,00	classe 4	classe 1

Tabela 5.24 - Classificação do elemento sw2

sw2						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	37	1,6	23,13	classe 4	0
2	Interno	75,82	1,6	47,39	classe 4	classe 1
3	Interno	71,24	1,6	44,53	classe 4	classe 1
4	Interno	75,82	1,6	47,39	classe 4	classe 1
5	Interno	70,00	1,6	43,75	classe 4	classe 1

Tabela 5.25 - Classificação do elemento few

few						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	69,66	2	34,83	classe 4	0
2	Interno	43,16	2	21,58	classe 1	classe 1
3	Interno	104,65	2	52,33	classe 4	classe 1
4	Interno	43,16	2	21,58	classe 1	classe 1
5	Interno	101,32	2	50,66	Classe 4	classe 1

Tabela 5.26 - Classificação do elemento FP

FP						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	34,44	4,5	7,65	classe 2	0
2	Interno	48,21	4,5	10,71	classe 1	classe 1
3	Interno	93,28	4,5	20,73	classe 1	classe 1
4	Interno	1020,00	4,5	226,67	classe 4	classe 4

Apresentam-se a seguir nas Tabelas 5.27 e 5.28 as secções dos diferentes elementos com a identificação das várias parcelas consideradas e a cotação correspondente.

Tabela 5.27 – Classificação das secções dos elementos constituintes do contentor 40'HC

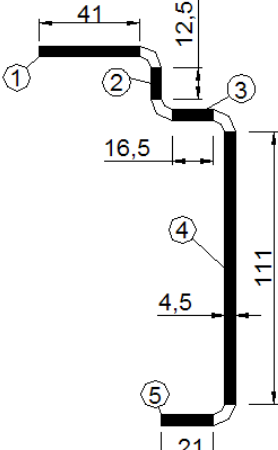
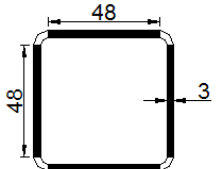
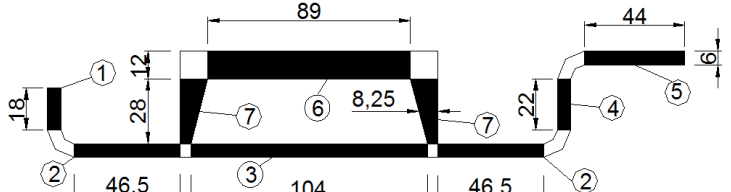
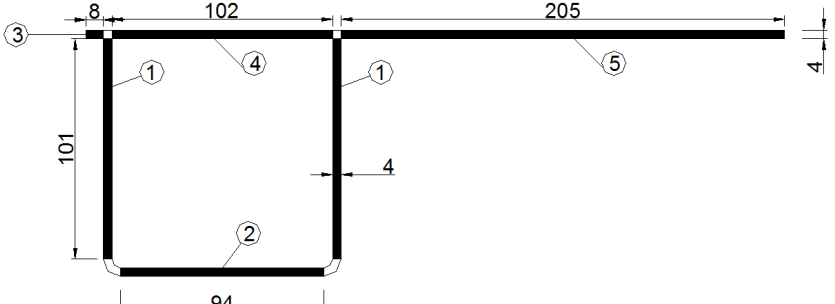
Elementos	Secções
BSR	 <p>The diagram shows a U-shaped section with five numbered parts. Part 1 is the top horizontal flange with a width of 41. Part 2 is the top vertical web with a height of 12.5. Part 3 is the top corner fillet. Part 4 is the main vertical web with a height of 111 and a thickness of 4.5. Part 5 is the bottom horizontal flange with a width of 21. A dimension of 16.5 is shown from the top edge of part 2 to the top edge of part 4.</p>
FS/TSR	 <p>The diagram shows a square section with a side length of 48 and a thickness of 3.</p>
DCP	 <p>The diagram shows a complex section with seven numbered parts. Part 1 is a vertical flange with a height of 18. Part 2 is a horizontal flange with a width of 46.5. Part 3 is a horizontal web with a width of 104. Part 4 is a vertical flange with a height of 22. Part 5 is a horizontal flange with a width of 44 and a height of 6. Part 6 is a trapezoidal web with a top width of 89 and a bottom width of 8.25. Part 7 is a trapezoidal web with a top width of 28 and a bottom width of 7. Dimensions of 12 and 2 are also shown for the top and bottom flanges respectively.</p>
DH	 <p>The diagram shows a rectangular section with five numbered parts. Part 1 is the top horizontal flange with a width of 102 and a height of 8. Part 2 is the bottom horizontal flange with a width of 94. Part 3 is the left vertical web with a height of 101. Part 4 is the right vertical web with a height of 101 and a thickness of 4. Part 5 is the right horizontal flange with a width of 205 and a height of 4. A dimension of 4 is also shown for the bottom flange.</p>

Tabela 5.27 (Cont.) – Classificação das seções constituintes do contentor 40'HC

<p>DS</p>	<p>Technical drawing of section DS showing dimensions: 103,35, 122,71, 4,5, 56, 13,73, 40,5, and numbered parts 1, 2, 3, 4, 5.</p>
<p>FCP</p>	<p>Technical drawing of section FCP showing dimensions: 44, 6, 22, 150, 135, 6, 31, 44, and numbered parts 1, 2, 3, 4, 5, 6.</p>
<p>FH</p>	<p>Technical drawing of section FH showing dimensions: 289, 4, 71, 52, and numbered parts 1, 2, 3.</p>
<p>BCM1</p>	<p>Technical drawing of section BCM1 showing dimensions: 37, 106, 4, and numbered parts 1, 2, 3.</p>

Tabela 5.27 (Cont.) – Classificação das seções constituintes do contentor 40'HC

BCM2	
BCM3	
BCM4	
BCM5	
BCM6	

Tabela 5.28 - Classificação das secções das chapas constituintes do contentor 40'HC

Elementos	Secções
sw1/sw3	
sw2	
few	
FP	

5.3.2 – Modelo 20'HC

Apresenta-se na Tabela 5.29 o valor do parâmetro ϵ (Equação 4.1) que tem em conta a classe do aço.

Tabela 5.29 – Valor do parâmetro ϵ

f_y	ϵ
[MPa]	[-]
343	0,83

Os valores limites das relações c/t para os elementos internos e para os banzos em consola (Tabelas 4.1 e 4.2) são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 5.30 e 5.31.

Tabela 5.30 – Valores limites das relações c/t para os elementos internos

Elementos Internos (c/t)_{max}	
Compressão	
Classe 1	27,31
Classe 2	31,45
Classe 3	34,76

Tabela 5.31 - Valores limites das relações c/t para os banzos em consola

Banzos em consola (c/t)_{max}	
Compressão	
Classe 1	7,45
Classe 2	8,28
Classe 3	11,59

Apresenta-se nas Tabelas 5.32 a 5.43 a classificação de todos os elementos constituintes, parcela a parcela, do contentor 40'HC.

Tabela 5.32 - Classificação do elemento BCM1

BCM1						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	37	4	9,25	classe 3	0
2	Interno	106	4	26,50	classe 1	classe 1

Tabela 5.33 - Classificação do elemento BCM2

BCM2						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	67	4	16,75	classe 4	0
2	Interno	106	4	26,50	classe 1	classe 1
3	Banzo	37	4	9,25	classe 3	0

Tabela 5.34 - Classificação do elemento BSR

BSR						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	39	4,5	8,67	classe 3	0
2	Interno	144	4,5	32,00	classe 3	classe 3
3	Banzo	21	4,5	4,67	classe 1	0

Tabela 5.35 - Classificação do elemento DH

DH						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Interno	127	4	31,75	classe 3	classe 1
2	Interno	94	4	23,50	classe 1	classe 1
3	Interno	102	4	25,50	classe 1	classe 1
4	Banzo	8	3	2,67	classe 1	0
5	Interno	69,66	3	23,22	classe 1	classe 1
6	Interno	35,35	3	11,78	classe 1	classe 1
7	Banzo	275	3	91,67	classe 4	0

Tabela 5.36 - Classificação do elemento DS

DS						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	56	4,5	12,44	classe 4	0
2	Interno	122,71	4,5	27,27	classe 1	classe 1
3	Interno	103,35	4,5	22,97	classe 1	classe 1
4	Interno	13,73	4,5	3,05	classe 1	classe 1
5	Banzo	40,5	4,5	9,00	classe 3	0

Tabela 5.37 - Classificação do elemento DCP

DCP						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	18	6	3,00	classe 1	0
2	Interno	46,5	6	7,75	classe 1	classe 1
3	Interno	104	6	17,33	classe 1	classe 1
4	Interno	22	6	3,67	classe 1	classe 1
5	Externo	44	6	7,33	classe 1	classe 1
6	Interno	89	12	7,42	classe 1	classe 1
7	Interno	28	8,25	3,39	classe 1	classe 1

Tabela 5.38 - Classificação do elemento FS

FS						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	42	4	10,50	classe 3	0
2	Interno	19	4	4,75	classe 1	classe 1
3	Interno	43,38	4	10,85	classe 1	classe 1
4	Interno	136	4	34,00	classe 3	classe 1
5	Banzo	37	4	9,25	classe 3	0

Tabela 5.39 - Classificação do elemento FH/TSR

FH/TSR						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Interno	48	3	16,00	classe 1	classe 1

Tabela 5.40 - Classificação do elemento FCP

FCP						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	44	6	7,33	classe 1	0
2	Interno	22	6	3,67	classe 1	classe 1
3	Interno	150	6	25,00	classe 1	classe 1
4	Interno	135	6	22,50	classe 1	classe 1
5	Interno	31	6	5,17	classe 1	classe 1
6	Banzo	44	6	7,33	classe 1	0

Tabela 5.41 - Classificação do elemento sw1

sw1						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	29	2	14,50	classe 4	0
2	Interno	75,55	2	37,78	classe 4	classe 1
3	Interno	71,06	2	35,53	classe 4	classe 1
4	Interno	75,55	2	37,78	classe 4	classe 1
5	Interno	70	2	35,00	classe 4	classe 1

Tabela 5.42 - Classificação do elemento sw2

sw2						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	34	1,6	21,25	classe 4	0
2	Interno	75,82	1,6	47,39	classe 4	classe 1
3	Interno	71,24	1,6	44,53	classe 4	classe 1
4	Interno	75,82	1,6	47,39	classe 4	classe 1
5	Interno	70,00	1,6	43,75	classe 4	classe 1

Tabela 5.43 - Classificação do elemento few

few						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	69,66	2	34,83	classe 4	0
2	Interno	43,16	2	21,58	classe 1	classe 1
3	Interno	104,65	2	52,33	classe 4	classe 1
4	Interno	43,16	2	21,58	classe 1	classe 1
5	Interno	101,32	2	50,66	Classe 4	classe 1

Apresentam-se a seguir nas Tabelas 5.44 e 5.45 as secções dos diferentes elementos com a identificação das várias parcelas consideradas e a cotagem correspondente.

Tabela 5.44 - Classificação das secções dos elementos constituintes do contentor 20'HC

Elementos	Secções
BSR	

**Tabela 5.44 (Cont.) - Classificação das seções dos elementos constituintes do contentor
20'HC**

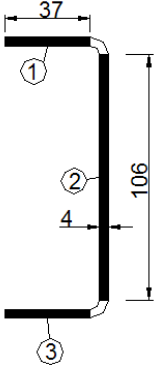
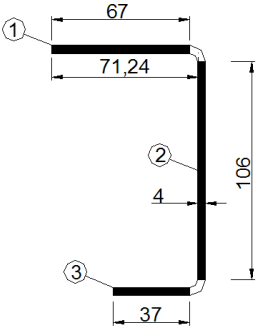
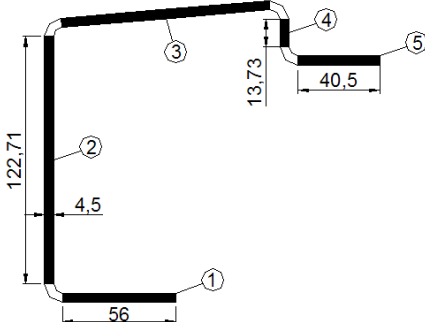
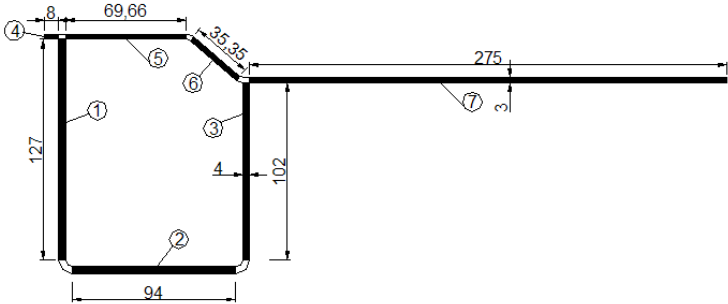
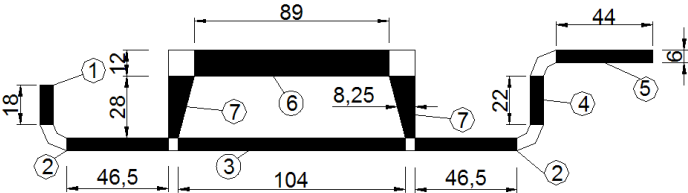
<p>BCM1</p>	
<p>BCM2</p>	
<p>DS</p>	
<p>DH</p>	
<p>DCP</p>	

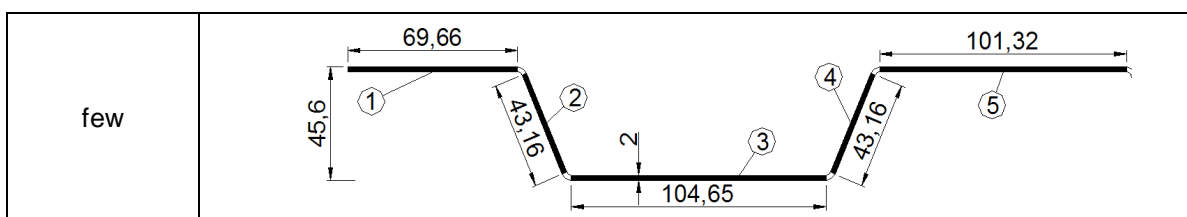
Tabela 5.44 (Cont.) - Classificação das seções dos elementos constituintes do contentor

FS	
FH/TSR	
FCP	

Tabela 5.45 - Classificação das seções das chapas constituintes do contentor 20'HC

Elementos	Seções
sw1	
sw2	

Tabela 5.45 (Cont.) - Classificação das chapas constituintes do contentor 20'HC



5.4 – Determinação das secções efectivas

Para as secções em que se verificou que eram constituídas por uma ou várias parcelas de classe 4, determinaram-se as secções efectivas. Como se fez a referência no Capítulo IV, para a análise global, a redução das secções poderá ser desprezada quando o factor de redução para encurvadura da placa ρ_c for superior a 0,5. Quando tal acontece, o seu valor encontra-se sombreado.

5.4.1 – Modelo 40'HC

O valor do parâmetro ϵ (Equação 4.1) é apresentado na Tabela 5.46.

Tabela 5.46 – Valor do parâmetro ϵ

f_y [MPa]	ϵ [-]
343	0,83

Apresenta-se nas Tabelas 5.47 a 5.55 o cálculo das larguras efectivas b_{eff} (Equações 4.5 a 4.10) das parcelas de classe 4 de cada elemento.

Tabela 5.47 – Secção efectiva do elemento FH

FH									
Parcela	Tipo	t [mm]	b [mm]	b_p [mm]	Ψ [-]	k_σ [-]	λ_p [-]	ρ_c [-]	b_{eff} [mm]
1	Banzo	4	297	293	1	0,43	4,75	0,20	59,22
3	Banzo	4	60	56	1	0,43	0,91	0,87	48,90

Tabela 5.48 - Secção efectiva dos elementos BCM2 E BCM5

BCM2 e BCM5									
Parcela	Tipo	t [mm]	b [mm]	b_p [mm]	Ψ [-]	k_σ [-]	λ_p [-]	ρ_c [-]	b_{eff} [mm]
1	Banzo	4	75	71	1	0,43	1,15	0,73	51,59

Tabela 5.49 - Secção efectiva do elemento BCM6

BCM6									
Parcela	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]
5	Banzo	4,5	80	75,5	1	0,43	1,09	0,76	57,39

Tabela 5.50 - Secção efectiva do elemento sw1/sw3

sw1/sw3											
Parcela	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	37	37	1	0,43	1,20	0,70	26,00	-	-
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

Tabela 5.51 - Secção efectiva do elemento DH

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

Tabela 5.52 - Secção efectiva do elemento DS

DS									
Parcela	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

Tabela 5.53 - Secção efectiva do elemento sw2

sw2											
Parcela	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	37	37	1	0,43	1,50	0,58	21,57	-	-
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

Tabela 5.54 - Secção efectiva do elemento few

few											
Parcela	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	-	71,33	1	0,43	2,31	0,40	28,32	-	-
3	Interno	2	-	107,98	1	4	1,15	0,70	76,02	38,01	38,01
5	Interno	2	-	104,66	1	4	1,11	0,72	75,44	37,72	37,72

Tabela 5.55 - Secção efectiva do elemento FP

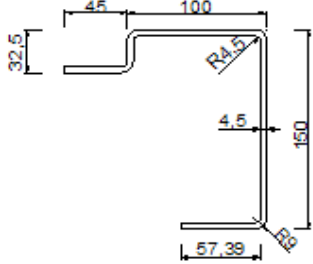
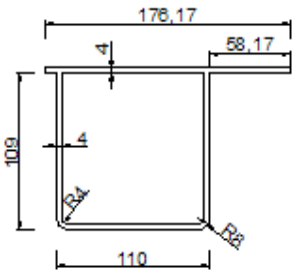
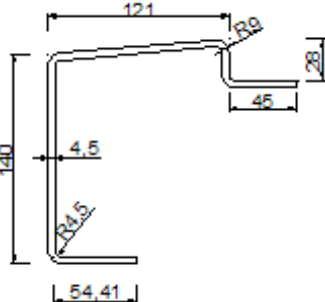
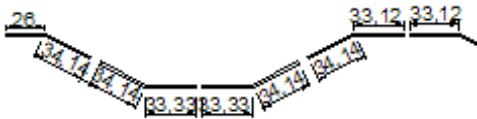
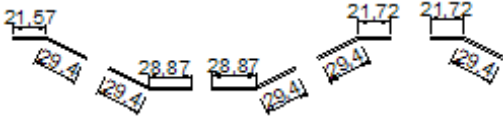
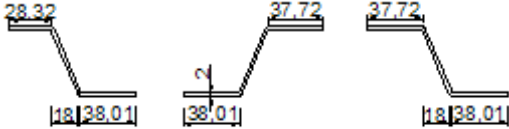
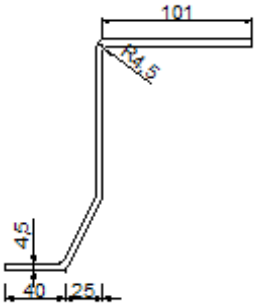
FP											
Parcela	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]	b _{e1} [mm]	b _{e2} [mm]
4	Interno	4,5	1038	1029	1	4	4,86	0,20	202,00	101,00	101,00

Ilustram-se na Tabela 5.56 as secções efectivas dos elementos constituintes do contentor 40'HC.

Tabela 5.56 - Secções efectivas dos elementos constituintes do contentor 40'HC

Elementos	Secções efectivas
FH	
BCM2	
BCM5	

Tabela 5.56 (Cont.) - Secções efectivas dos elementos constituintes do contentor 40'HC

<p>BCM6</p>	
<p>DH</p>	
<p>DS</p>	
<p>sw1/sw3</p>	
<p>sw2</p>	
<p>few</p>	
<p>FP</p>	

Após a determinação das secções efectivas determinadas, determinam-se as propriedades geométricas e mecânicas das secções, que se encontram resumidas nas Tabelas 5.57 e 5.58.

Tabela 5.57 – Características mecânicas das secções efectivas

Elemento	A	I_y	I_z	I_{yz}	A_{sy}	A_{sz}
	mm ²	mm ⁴	mm ⁴	mm ⁴	mm ²	mm ²
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	612,9	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
BSR	1099,9	3183516,0	522963,4	-810664,1	353,3	555,8
DH	1964,1	3985802,4	4850730,8	823281,7	1080,7	808,0
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
FS/TSR	660,8	351348,3	351348,3	0,0	288,0	288,0
FH	757,92	920049,37	469021,04	-516672,8	398,5	284,0
FCP	2993,6	12798892,3	14617763,8	5423885,4	1350,0	1206,0
FP	1329,1	4571003,2	1886472,5	2314362,3	654,3	607,3
sw1/sw3	2127,2	418962,9	214936996,0	0,0	-	-
sw2	1399,8	285281,6	142939460,0	0,0	-	-
few	1922,6	674355,0	153158366,0	-19289,6	-	-

Tabela 5.58 - Características mecânicas das secções efectivas

Elemento	z_{eff}^{bot}	z_{eff}^{top}	$W_{el,eff,y}$	y_{eff}^{dir}	y_{eff}^{esq}	$W_{el,eff,z}$
	mm	mm	mm ³	mm	mm	mm ³
BCM1	61,0	61,0	27421,9	11,3	33,7	4265,2
BCM2	63,9	58,1	28313,1	13,2	42,1	4831,4
BCM3	6,2	19,3	1488,2	50,0	50,0	14866,0
BCM4	58,8	58,8	26012,9	11,5	33,5	4244,8
BCM5	61,6	55,9	26856,5	13,5	41,9	4804,3
BCM6	91,6	58,4	54864,6	40,9	104,1	30176,1
BSR	88,5	66,5	35955,7	18,7	61,3	8528,4
DH	64,4	48,6	61862,5	104,2	72,0	46565,5
DS	92,7	51,4	52170,7	116,7	49,3	38248,0
DCP	23,4	22,6	48042,0	151,5	128,5	118602,7
FS/TSR	30,0	30,0	11711,6	30,0	30,0	11711,6
FH	45,8	41,2	20106,0	53,7	57,9	8094,9
FCP	63,9	145,1	88213,5	70,8	153,2	95422,4
FP	62,2	92,3	49518,0	92,7	72,7	20361,3
sw1/sw3	17,7	17,7	23606,6	547,0	547,0	392937,8
sw2	16,9	16,9	16838,0	542,6	542,6	263447,5
few	22,3	23,3	28943,9	475,5	475,5	322069,5

5.4.2 – Modelo 20'HC

O valor do parâmetro ϵ (Equação 4.1) é apresentado na Tabela 5.59.

Tabela 5.59 - Valor do parâmetro ϵ

f_y [MPa]	ϵ [-]
343	0,83

Apresenta-se nas Tabelas 5.60 a 5.65 o cálculo das larguras efectivas b_{eff} (Equações 4.5 a 4.10) das parcelas de classe 4 de cada elemento.

Tabela 5.60 - Secção efectiva do elemento BCM2

BCM2									
Parcela	Tipo	t [mm]	b [mm]	b_p [mm]	Ψ [-]	k_σ [-]	λ_p [-]	ρ_c [-]	b_{eff} [mm]
1	Banzo	4	75	71	1	0,43	1,15	0,73	51,59

Tabela 5.61 - Secção efectiva do elemento DH

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

Tabela 5.62 - Secção efectiva do elemento DS

DS									
Parcela	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

Tabela 5.63 - Secção efectiva do elemento sw1

sw1											
Parcela	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	-	-

Tabela 5.64 - Secção efectiva do elemento sw2


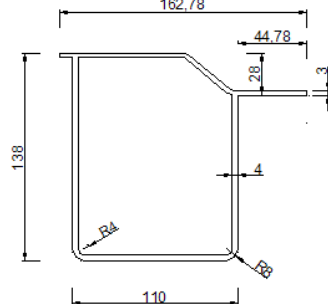
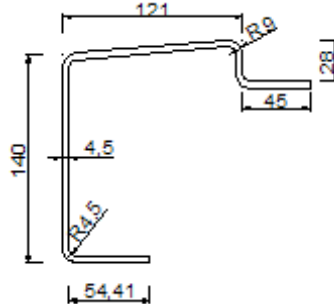

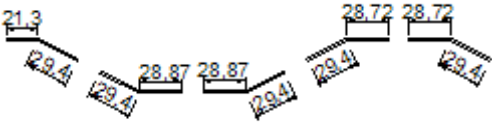
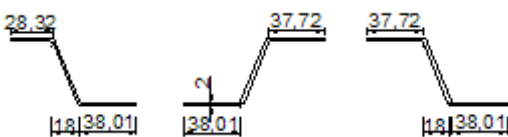
sw2											
Parcela	Tipo	t [mm]	b [mm]	b _p [mm]	Ψ [-]	k _σ [-]	λ _p [-]	ρ _c [-]	b _{eff} [mm]	b _{e1} [mm]	b _{e2} [mm]
1	Banzo	1,6	34	34	1	0,43	1,38	0,63	21,30	-	-
2	Interno	1,6	75,82	75,82	1	4	1,01	0,78	58,80	29,40	29,40
3	Interno	1,6	71,24	71,24	1	4	0,95	0,81	57,75	28,87	28,87
4	Interno	1,6	75,82	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

Tabela 5.65 - Secção efectiva do elemento few

few											
Parcela	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	-	71,33	1	0,43	2,31	0,40	28,32	-	-
3	Interno	2	-	107,98	1	4	1,15	0,70	76,02	38,01	38,01
5	Interno	2	-	104,66	1	4	1,11	0,72	75,44	37,72	37,72

Ilustram-se na Tabela 5.66 as secções efectivas dos elementos constituintes do contentor 20'HC.

Tabela 5.66 - Secções efectivas dos elementos constituintes do contentor 20'HC

Elementos	Secção efectiva
BCM2	
DH	
DS	
sw1	
sw2	
few	

Tendo as larguras efectivas determinadas, e sendo assim, as secções efectivas determinadas, determinam-se as propriedades geométricas das secções apresentadas nas Tabelas 5.67 e 5.68.

Tabela 5.67 - Características mecânicas das secções

Elemento	A	I_y	I_z	I_{yz}	A_{sy}	A_{sz}
	mm ²	mm ⁴	mm ⁴	mm ⁴	mm ²	mm ²
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
BSR	1013,4	3312811,3	135757,4	193784,2	270,0	648,0
DH	1882,7	4846884,9	4314118,3	56479,3	837,4	916,0
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
FH/TSR	660,8	351348,3	351348,3	0,0	288,0	288,0
FS	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
sw1	2204,2	437437,9	219094257,0	334808,5	-	-
sw2	1466,2	306404,8	146294735,0	0,0	-	-
few	1922,6	674355,0	153158366,0	-19289,6	-	-

Tabela 5.68 - Características mecânicas das secções

Elemento	Z_{eff}^{bot}	Z_{eff}^{top}	$W_{el,eff,y}$	y_{eff}^{dir}	y_{eff}^{esq}	$W_{el,eff,z}$
	mm	mm	mm ³	mm	mm	mm ³
BCM1	61,0	61,0	27421,9	11,3	33,7	4265,2
BCM2	63,9	58,1	28313,1	13,2	42,1	4831,4
BSR	87,3	74,7	37951,8	39,4	8,6	3447,4
DH	67,2	70,8	68497,5	97,3	65,5	44324,7
DS	92,7	51,4	52170,7	116,7	49,3	38248,0
DCP	23,4	22,6	48042,0	151,5	128,5	118602,7
FH/TSR	30,0	30,0	11711,6	30,0	30,0	11711,6
FS	90,4	61,6	39701,4	26,7	79,4	14664,5
FCP	64,0	145,0	88230,6	70,4	153,7	94239,3
sw1	18,7	17,3	23354,9	536,4	555,0	394764,4
sw2	17,8	18,2	16807,7	542,3	542,3	269767,2
few	22,3	23,3	28943,9	475,5	475,5	322069,5

5.5 - Exemplo de cálculo

Escolheu-se a secção FP ilustrada na Figura 5.4 para exemplificar os cálculos que foram executados com vista a determinar a secção efectiva.

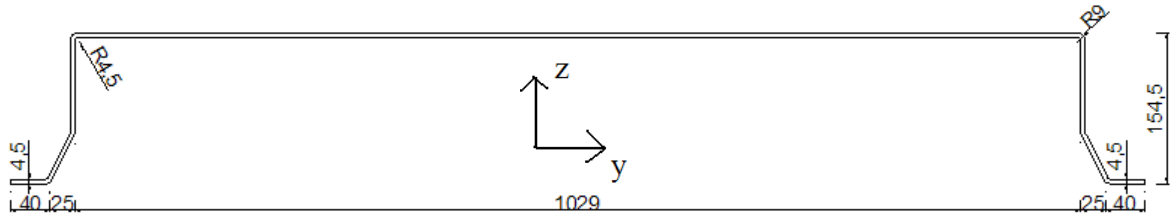


Figura 5.4 - Secção do elemento FP

5.5.1 - Classificação da secção

O valor do parâmetro ε é obtido pela resolução da Equação 4.1.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{343}} = 0.83$$

Os valores limites das relações c/t para os elementos internos e para os banzos em consola foram calculados segundo as Tabelas 4.1 e 4.2 e são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 5.69 e 5.70.

Tabela 5.69 – Valores limites das relações c/t para os elementos internos

	Elementos Internos $(c/t)_{max}$	
	Compressão	
Classe 1	27,31	
Classe 2	31,45	
Classe 3	34,76	

Tabela 5.70 - Valores limites das relações c/t para os banzos em consola

	Banzos em consola $(c/t)_{max}$	
	Compressão	
Classe 1	7,45	
Classe 2	8,28	
Classe 3	11,59	

Apresenta-se de seguida a Tabela 5.71 com a classificação de cada parcela do elemento FP.

Tabela 5.71 - Classificação do elemento FP

FP						
Parcela	Tipo	c	t	c/t	Classe	
		[mm]	[mm]	[-]	Compressão	Flexão
1	Banzo	34,44	4,5	7,65	classe 2	0
2	Interno	48,21	4,5	10,71	classe 1	classe 1
3	Interno	93,28	4,5	20,73	classe 1	classe 1
4	Interno	1020,00	4,5	226,67	classe 4	classe 4

A Figura 5.5 ilustra a classificação do elemento FP.

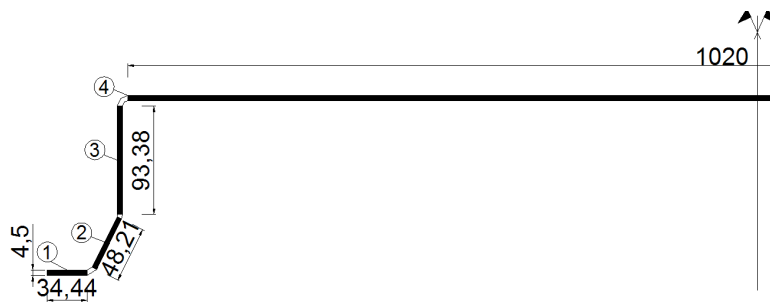


Figura 5.5 – Classificação do elemento FP

Verificou-se que a parcela 4 é de classe 4, por isso calcula-se a largura efectiva para essa parcela.

5.5.2 - Determinação da secção efectiva

Da Tabela 4.3, tira-se o valor de $\psi = 1$ (compressão pura, elemento interno) e consequentemente o valor de $k_{\sigma} = 4$.

Da Equação 4.10, vem:

$$\lambda_p = \frac{\sqrt{f_y}}{\sqrt{\sigma_{cr}}} = \frac{b_p/t}{28.4 \times \varepsilon \sqrt{k_{\sigma}}} = \frac{1029/4.5}{28.4 \times 0.83\sqrt{4}} = 4.86$$

Sendo a parcela 4 um elemento interno, calcula-se pela Equação 4.7 o valor do factor de redução.

Verifica-se a condição $\lambda_p > 0.673$ e $(3 + \psi) \geq 0$, então:

$$\rho_c = \frac{\lambda_p - 0.055(3 + \psi)}{\lambda_p^2} = \frac{4.86 - 0.055(3 + 1)}{4.86^2} = 0.20 \leq 1$$

Da Tabela 4.4 retiram-se as formulas de b_{eff} e b_{e1}/b_{e2} .

$$b_{eff} = \rho_c \times b_p = 0,20 \times 1029 = 202 \text{ mm}$$

E,

$$b_{e1} = b_{e2} = 0,5 \times b_{eff} = 0,50 \times 202 = 101 \text{ mm}$$

Estes valores encontram-se todos na Tabela 5.55. Ilustra-se na Figura 5.6 a secção efectiva do elemento FP.



Figura 5.6 – Secção efectiva do elemento FP

5.5.3 - Características mecânicas da secção

Numa primeira fase, identificaram-se as coordenadas em y e em z de cada parcela e calcularam-se y_0 e z_0 (Equações 5.14 e 5.15). Esses valores apresentam-se na Tabela 5.72.

$$y_1 = \frac{y_{start} + (y_{end} - y_{start})}{2} \quad (5.14)$$

$$z_1 = \frac{z_{start} + (z_{end} - z_{start})}{2} \quad (5.15)$$

Tabela 5.72 – Propriedades do elemento FP

Parcela	y_{start}	y_{end}	z_{start}	z_{end}	y_1	z_1
1	0,0	37,2	0,0	4,5	18,6	2,3
2	37,2	64,5	2,5	51,1	50,9	26,8
3	60,5	65,0	51,1	150,0	62,8	100,5
4	60,5	165,4	150,0	154,5	113,0	152,3
5	993,6	1098,5	150,0	154,5	1046,1	152,3
6	1094,0	1098,5	51,1	150,0	1096,3	100,5
7	1094,5	1121,8	2,5	51,1	1108,1	26,8
8	1121,8	1159,0	0,0	4,5	1140,4	2,3

Os valores de Δy_0 e Δz_0 calculam-se segundo as Equações 5.16 e 5.17.

$$\Delta y_0 = y_{end} - y_{start} \quad (5.16)$$

$$\Delta z_0 = z_{end} - z_{start} \quad (5.17)$$

Pelas Equações 5.2 e 5.3, calculam-se os valores de S_{y_0} e S_{z_0} , sabendo que A_i é a área de cada parcela do elemento FP e apresentam-se os valores resumidos na Tabela 5.73.

Tabela 5.73 – Propriedades do elemento FP

Parcela	Δy_0	Δz_0	A_i	S_{y_0}	S_{z_0}
	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²
1	37,2	4,5	167,5	376,9	3117,0
2	27,3	48,6	234,3	6272,6	11917,3
3	4,5	98,9	445,2	44759,0	27938,2
4	104,9	4,5	472,1	71869,6	53318,0
5	104,9	4,5	472,1	71869,6	493787,9
6	4,5	98,9	445,2	44759,0	488083,4
7	27,3	48,6	234,3	6272,6	259601,6
8	37,2	4,5	167,5	376,9	191003,9
Σ			2638,1	246556,0	1528767,4

Os momentos e produto de inércia de cada parcela encontram-se resumidos na Tabela 5.74 e foram obtidos segundo as Equações 5.6 a 5.8.

Como cada parcela tem a forma geométrica de um rectângulo, calculam-se os momentos de inércia de cada parcela pelas Equações 5.18 e 5.19. O produto de inércia de um rectângulo é nulo.

$$I'_y = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{\Delta y_0 \times \Delta z_0^3}{12} \quad (5.18)$$

$$I'_z = \frac{h \times b^3}{12} = \frac{\Delta z_0 \times \Delta y_0^3}{12} \quad (5.19)$$

Tabela 5.74 – Momentos e produto de inércia de cada parcela do elemento FP

Parcela	b_i	I_y'	a_i	I_z'	I_{yz}'	I_{yi}	I_{zi}	I_{yzi}
	mm	mm ⁴	mm	mm ⁴	mm ⁴	mm ⁴	mm ⁴	mm ⁴
1	-91,2	282,6	-560,9	19335,7	0,0	1393688,6	52711286,4	8568621,8
2	-66,7	42407,7	-528,6	10898,4	21006,2	1084193,1	65477574,2	8279470,4
3	7,1	363201,0	-516,8	751,3	0,0	385453,2	118890768,7	-1626519,5
4	58,8	796,6	-466,6	432870,2	0,0	1632303,4	103183475,7	-12947521,6
5	58,8	796,6	466,6	432870,2	0,0	1632303,4	103183475,7	12947521,6
6	7,1	363201,0	516,8	751,3	0,0	385453,2	118890768,7	1626519,5
7	-66,7	42407,7	528,6	10898,4	-21006,2	1084193,1	65477574,2	-8279470,4
8	-91,2	282,6	560,9	19335,7	0,0	1393688,6	52711286,4	-8568621,8

Para determinar os momentos e produtos de inércia I_y' , I_z' e I_{yz}' das parcelas 2 e 7, em que os eixos sofreram uma rotação α em relação aos de referência, recorreu-se às equações 5.9 a 5.11.

Os valores dos momentos de inércia I_y'' e I_z'' das parcelas 2 e 7 calculam-se pelas Equações 5.20 e 5.21. O produto de inércia I_{yz}'' é nulo visto os elementos serem rectângulos.

$$I_y'' = \frac{b' \times h'^3}{12} \quad (5.20)$$

$$I_z'' = \frac{b'^3 \times h'}{12} \quad (5.21)$$

Tabela 5.75 – Propriedades das parcelas 2 e 7

Parcela	α	b'	h'	I_y''	I_z''	I_{yz}''
	[rad]	mm	mm	mm ⁴	mm ⁴	mm ⁴
2	-1,11	52,1	4,5	395,3	52910,7	0,0
7	-2,03	52,1	4,5	395,3	52910,7	0,0

Ilustra-se na Figura 5.7 a secção efectiva do elemento FP.

As propriedades geométricas da secção efectiva FP ilustrada na Figura 5.6 encontram-se nas Tabelas 5.76 e 5.77. A área A foi obtida pela Equação 5.1, as coordenadas do centro de gravidade foram calculadas pelas Equações 5.4 e 5.5 e os momentos e produto de inércia são obtidos pelas Equações 5.6 a 5.8.

Tabela 5.76 - Propriedades geométricas da secção efectiva FP

A	y₀	z₀	I_y	I_z	I_{yz}
mm²	mm	mm	mm⁴	mm⁴	mm⁴
2638,1	579,5	93,5	8991276,7	680526210,0	0,0

Os módulos elásticos de flexão são obtidos pela resolução das Equações 5.12 e 5.13. Apresenta-se de seguida as Equações que foram as usadas para o cálculo dos módulos elásticos de flexão.

$$W_{el,eff,y} = \min \left\{ \frac{I_y}{z_{eff}^{bot}} ; \frac{I_y}{z_{eff}^{top}} \right\} \quad (5.22)$$

$$W_{el,eff,z} = \min \left\{ \frac{I_z}{y_{eff}^{dir}} ; \frac{I_z}{y_{eff}^{esq}} \right\} \quad (5.23)$$

z_{eff}^{bot} , z_{eff}^{top} – distância segundo z da fibra extrema da secção inferior e superior, respectivamente, ao centro de gravidade;

y_{eff}^{dir} , y_{eff}^{esq} – distância segundo y da fibra extrema da secção da direita e da esquerda, respectivamente, ao centro de gravidade.

Ilustra-se na Figura 5.8 as distâncias das fibras extremas ao centro de gravidade.

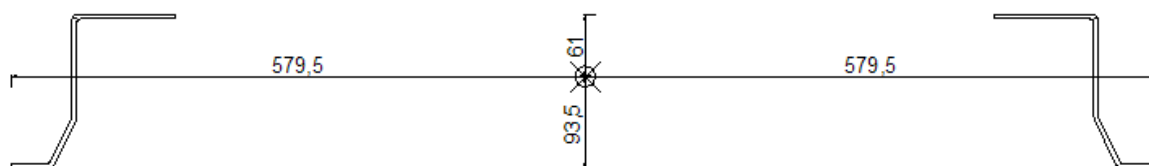


Figura 5.8 – Distancias das fibras extremas ao centro de gravidade

As áreas de corte foram contabilizadas como se fez na secção 5.1.4.

Tabela 5.77 - Propriedades geométricas da secção efectiva FP

z_{eff}^{bot}	z_{eff}^{top}	W_{el,eff,y}	y_{eff}^{dir}	y_{eff}^{esq}	W_{el,eff,z}	A_{sy}	A_{sz}
mm	mm	mm³	mm	mm	mm³	mm²	mm²
93,5	61,0	96204,1	579,5	579,5	1174333,4	1308,5	1214,7

Da mesma forma, ilustra-se metade da secção efectiva do elemento FP na Figura 5.8 e apresentam-se as suas propriedades geométricas nas Tabelas 5.78 e 5.79.

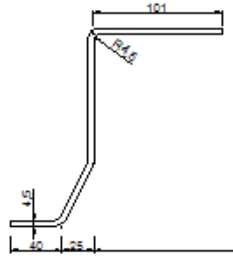


Figura 5.9 – Metade da seção efetiva do elemento FP

Tabela 5.78 – Propriedades geométricas de metade da seção efetiva FP

A	y_{CG}	z_{CG}	I_y	I_z	I_{yz}
mm^2	mm	mm	mm^4	mm^4	mm^4
1329,1	72,7	92,3	4571003,2	1886472,5	2314362,3

Tabela 5.79 - Propriedades geométricas de metade da seção efetiva FP

z_{eff}^{bot}	z_{eff}^{top}	$W_{el,eff,y}$	y_{eff}^{dir}	y_{eff}^{esq}	$W_{el,eff,z}$	A_{sy}	A_{sz}
mm	mm	mm^3	mm	mm	mm^3	mm^2	mm^2
62,2	92,3	49518,0	92,7	72,7	20361,3	654,3	607,3