

EFEITOS ESTRUTURAIS DAS SOBRECARGAS RODOVIÁRIAS DEFINIDAS NAS NORMAS MAIS UTILIZADAS PELA ENGENHARIA PORTUGUESA EM TABULEIROS DE BETÃO COM SECÇÃO EM CAIXÃO



Miguel Saraiva

Mestre em Engenharia Civil
TPF Planege
Lisboa
miguelfosaraiva@gmail.com



António Lopes Batista

Investigador do LNEC
Professor Convidado da FCT/UNL
Lisboa
a.l.batista@lnec.pt

SUMÁRIO

As ações verticais em tabuleiros de pontes rodoviárias têm sido definidas, em Portugal, considerando o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), mas num futuro próximo prevê-se a utilização do Eurocódigo 1 (EC1). Porém, a engenharia de pontes portuguesa tem vindo a envolver-se, nos últimos anos, no projeto e construção de obras nos continentes africano e americano, onde vigoram outras normas. Assim, atendendo aos diferentes regulamentos que o meio técnico nacional tem que usar, realizou-se um estudo comparativo dos efeitos estruturais devidos aos modelos de sobrecargas rodoviárias de cinco normas, designadamente o RSA, o EC1, a norte-americana AASHTO, a sul-africana SATCC e a brasileira ABNT, em tabuleiros de betão de grande vão com secções em caixão, com o objetivo de fornecer indicações úteis aos projetistas e construtores. Os resultados obtidos permitiram concluir que, na direção longitudinal, a ABNT é mais condicionante, ao passo que o EC1 induz esforços mais gravosos na direção transversal. Para os tabuleiros mais largos e de maior vão, o RSA pode ter efeitos mais desfavoráveis que o EC1, na direção longitudinal.

Palavras-chave: Normas de estruturas; Sobrecargas rodoviárias; Tabuleiros em caixão; Esforços máximos; Comparação de resultados.

1. INTRODUÇÃO

A escolha criteriosa de soluções estruturais reflete-se em importantes economias na construção e num adequado funcionamento das obras. No caso das pontes, a conceção consiste, essencialmente, na definição do número e comprimento de vãos e na geometria e dimensões dos elementos estruturais.

A experiência de projeto e construção de pontes rodoviárias, por parte da engenharia portuguesa, baseou-se na consideração dos modelos de sobrecargas definidos no RSA, pelo que o meio técnico nacional está acostumado ao dimensionamento de pontes tendo como referência os esforços que daí resultam.

Prevê-se que o EC1 entre em vigor, em Portugal, nos próximos anos. Esta alteração poderá levar a um ajuste na definição da geometria de alguns elementos estruturais das pontes rodoviárias. O meio técnico português está também a utilizar normas de outros países, devido à expansão das empresas nos mercados internacionais, pelo que as sobrecargas dessas normas, por implicarem a alteração dos valores dos esforços, podem, eventualmente, obrigar à modificação da geometria das secções.

Por estas razões justifica-se a comparação dos efeitos provocados pelos modelos de sobrecargas do RSA e das normas de estruturas mais utilizadas pela engenharia portuguesa, para se obterem indicações que permitam identificar quais os regulamentos que induzem os esforços mais gravosos nos tabuleiros, dentro de uma gama de vãos previamente escolhida.

Neste estudo, além do RSA e do EC1, consideram-se a norma norte-americana (AASHTO), a norma sul-africana (SATCC) e a norma brasileira (ABNT) para a obtenção dos efeitos das sobrecargas em tabuleiros de pontes de betão de grande vão, com secção em caixão.

2. NORMAS CONSIDERADAS NO ESTUDO

2.1 RSA (norma portuguesa)

O Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes [1], que vigora em Portugal desde 1983, define as ações de projeto e os critérios gerais de verificação da segurança das estruturas.

No que se refere às sobrecargas a considerar nos tabuleiros rodoviários, o regulamento define dois modelos distintos, que se apresentam em seguida para obras da classe I, sendo que para dimensionamento deverá ser considerado aquele que induzir os efeitos mais desfavoráveis nos elementos e nas secções.

2.1.1 Veículo tipo

O veículo-tipo de 600 kN de carga total é constituído por três eixos de duas rodas, conforme está representado na Figura 1. A carga de cada roda é, assim, de 100 kN.

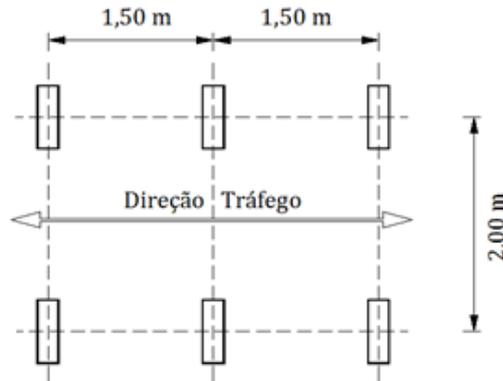


Figura 1. Veículo tipo do RSA.

2.1.2 Sobrecarga linear e uniforme

O modelo de sobrecargas distribuídas é composto por uma carga linear ($q_1=50,0$ kN/m), aplicada numa única secção transversal, em simultâneo com uma carga uniformemente distribuída ($q_2=4,0$ kN/m²) em toda a superfície do tabuleiro, entre lancis ou perfis de segurança (faixas de rodagem e bermas).

2.2 EC1 (norma europeia)

O Comité Europeu de Normalização iniciou a elaboração dos Eurocódigos Estruturais em 1990, para servirem de referência aos estados membros da União Europeia. Em Portugal ainda não foram publicados os decretos-lei que os coloquem em vigor, apesar de já terem sido elaborados diversos Anexos Nacionais de aplicação [2].

As sobrecargas verticais rodoviárias em pontes são descritas no Eurocódigo 1 – Parte 2 (EC1) [3]. A definição das sobrecargas baseia-se na divisão do tabuleiro em diferentes vias e o posterior carregamento dessas mesmas vias com diferentes modelos. Apesar do EC1 definir quatro modelos distintos de sobrecargas, o *Load Model 3* e o *Load Model 4* não serão considerados no presente estudo porque apenas se aplicam em casos específicos.

2.2.1 Load Model 1 – LM1

O modelo de sobrecarga LM1 requer a divisão do tabuleiro em diferentes vias. O número de vias é determinado consoante a largura entre lancis ou barreiras físicas (w), de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1. Número e largura das vias (EC1)

Largura entre lancis, w [m]	Número de vias, n	Largura das vias, w_v [m]	Largura excedente, w_e [m]
$w < 5,40$	$n = 1$	3,00	$w - 3,00$
$5,40 \leq w < 6,00$	$n = 2$	$w/2$	0
$6,00 \leq w$	$n = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - 3n$

O LM1 consiste na aplicação de uma sobrecarga uniformemente distribuída (UDL) na área de cada via, juntamente com um veículo de dois eixos (TS) centrado na via. A geometria do veículo TS apresenta-se na Figura 2. No Quadro 2 constam os valores que essas duas sobrecargas podem assumir, consoante o número da via carregada.

Quadro 2. Valores característicos das sobrecargas UDL e TS (EC1)

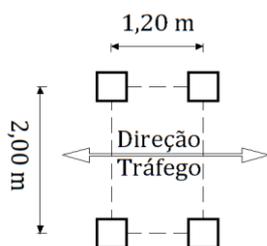


Figura 2. Veículo TS (EC1).

Número da via, i	TS – Carga/eixo [kN]	UDL - Carga [kN/m ²]
Via 1	300,0	9,0
Via 2	200,0	2,5
Via 3	100,0	2,5
Outras vias	0	2,5
Via excedente	0	2,5

Estes valores serão afetados por fatores de correção estabelecidos no Anexo Nacional [4].

2.2.2 Load Model 2 – LM2

O segundo modelo do EC1 é constituído por um veículo de um único eixo de duas rodas, com 200 kN cada, afastadas 2,00 m, aplicado em qualquer zona das faixas de rodagem e bermas. Este carregamento pretende simular os efeitos dinâmicos locais em pequenos tabuleiros.

2.3 AASHTO (norma norte-americana)

A AASHTO, a entidade responsável pelo estabelecimento de normas, especificações e protocolos usados nos projetos de estradas nos EUA, desenvolveu a especificação para projeto de pontes, designada por *Bridge Design Specifications* [5].

Essa especificação, no que se refere à definição das sobrecargas verticais a considerar em pontes rodoviárias, propõe um modelo de sobrecarga denominado *Highway Loading 93* (HL-93).

Tal como no EC1, está prevista a divisão do tabuleiro em diferentes vias, apresentando-se no Quadro 3 os critérios a considerar nessa divisão.

Quadro 3. Número e largura das vias (AASHTO)

Largura entre lancias, w [m] – ou largura das vias de tráfego w_{vt} [m]	Número de vias, n	Largura das vias, w_v [m]
$w_{vt} < 3,66$	$n =$ número de vias de tráfego	w_{vt}
$6,10 < w < 7,32$	$n = 2$	$w/2$
$w \notin]6,10 \text{ m}; 7,32 \text{ m}[$	$n = \text{Int}(w/3,66)$	w/n

O modelo HL – 93 define uma carga distribuída q_u , a considerar juntamente com um de dois veículos, *Tandem* ou *Truck*. A carga q_u tem o valor $3,1 \text{ kN/m}^2$, a aplicar numa largura máxima de $3,05 \text{ m}$ em cada via. O *Tandem* é um veículo de 4 rodas, com $222,4 \text{ kN}$ de carga total, e o *Truck*, com três eixos de duas rodas, tem uma carga total de $320,2 \text{ kN}$. Nas Figuras 3 e 4 apresentam-se as configurações geométricas dos veículos.

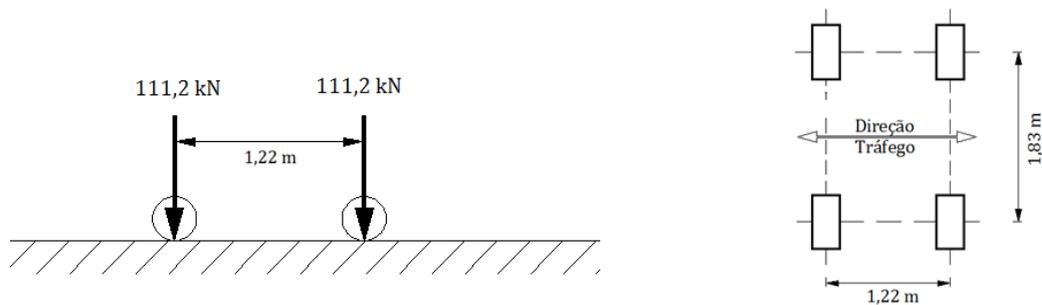


Figura 3. Configuração do veículo *Tandem*.

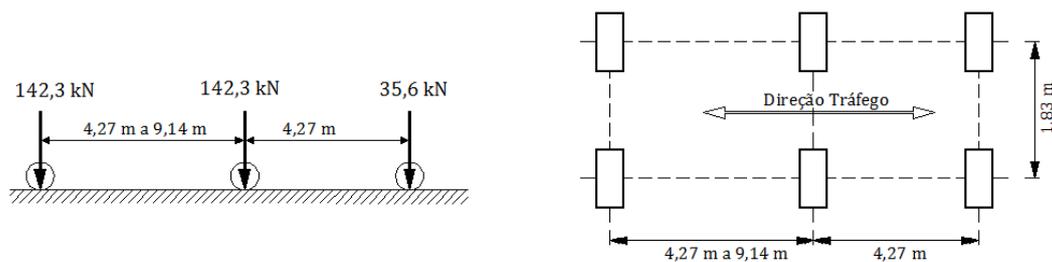


Figura 4. Configuração do veículo *Truck*.

Dos carregamentos ($q_u + \text{Truck}$) ou ($q_u + \text{Tandem}$) deve ser considerado, para efeitos de dimensionamento, o que provocar os efeitos mais desfavoráveis.

Contudo, no que se refere aos momentos fletores negativos na direção longitudinal dos tabuleiros, a norma norte-americana define um esquema de carregamento diferente. Devem considerar-se 90% dos efeitos produzidos pela atuação simultânea da carga distribuída q_u e de dois veículos *Truck*, afastados de $15,24 \text{ m}$ no mínimo.

Para ter em conta a ação simultânea de vários veículos, os efeitos das sobrecargas deverão ser multiplicados por um fator de múltipla presença (Quadro 4).

Quadro 4. Fator de múltipla presença (AASHTO)

Número de vias carregadas, n	Fator de múltipla presença, m
1	$m = 1,20$
2	$m = 1,00$
3	$m = 0,85$
>3	$m = 0,65$

Este fator não é aplicável à carga q_u , apenas aos efeitos dos veículos.

2.4 SATCC (norma sul-africana)

Em 1999 foi homologada, por parte da SATCC, uma especificação para a verificação da segurança de estruturas rodoviárias, denominada por *Code of Practice for the design of Road Bridges and Culverts* [6]. Nessa especificação estão definidos três modelos de sobrecargas rodoviárias a considerar para o dimensionamento das estruturas. Porém, apenas se aplicaram os modelos *NA Loading* e *NB Loading* porque o *NC Loading* apenas se aplica em casos específicos.

2.4.1 NA Loading

Para os carregamentos designados por *NA Loading* deve proceder-se a uma divisão do tabuleiro em diversas vias, consoante a largura da faixa de rodagem w_{fr} .

Quadro 5. Número e largura das vias (SATCC)

Largura da faixa de rodagem, w_{fr} [m]	Número de vias, n
$w_{fr} \leq 4,80$	$n = \text{Int}(w/3)$
$4,80 < w_{fr} \leq 7,40$	$n = 2$
$7,40 < w_{fr} \leq 11,10$	$n = 3$
$11,10 < w_{fr} \leq 14,80$	$n = 4$
$14,80 < w_{fr} \leq 18,50$	$n = 5$
$18,50 < w_{fr} \leq 22,00$	$n = 6$

Para os casos em que $w_{fr} > 4,80$ m, a largura transversal de cada via deve estar compreendida entre 2,40 m e 3,70 m, inclusivé. Essa largura deverá ser igual em todas as vias.

O *NA Loading* é dividido em dois tipos de carregamentos, o (1)+(2), que atuam em simultâneo, e o (3), sendo os carregamentos elementares os seguintes:

- (1) Duas cargas lineares em cada via, distribuídas longitudinalmente e afastadas 1,90 m. Os valores destas cargas lineares são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6. Valor característico do carregamento NA (1)

Comprimento contínuo carregado, L [m]	Carga total [kN]
$L < 36$	36,0
$L \geq 36$	$180/\sqrt{L} + 6$

- (2) Um veículo de um eixo de duas rodas afastadas 1,90 m. A cada eixo do veículo corresponde uma carga de $144/\sqrt{n}$ (kN) por via, onde n é a sequência do número da via carregada.
- (3) Um veículo composto por um único eixo de duas rodas afastadas 1,00 m, com uma carga total de 100 kN. Este veículo pode ser posicionado em qualquer zona do tabuleiro, independentemente da divisão das vias adotada.

2.4.2 NB Loading

O *NB Loading* consiste num veículo de quatro eixos de quatro rodas, com uma carga total de 960 kN, para estruturas com tabuleiros estreitos ($w < 15,00$ m), ou uma carga total de 1440 kN, em tabuleiros largos ($w \geq 15,00$ m). A configuração em planta deste veículo está representada na figura 5.

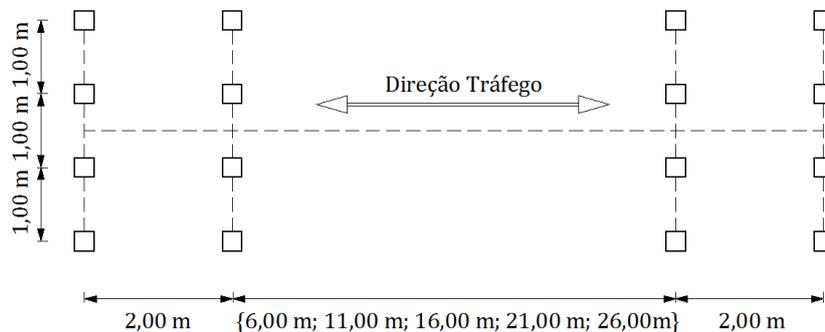


Figura 5. *NB Loading*.

O veículo deve ser considerado em qualquer zona das faixas de rodagem e bermas, de forma a produzir os efeitos mais gravosos, a uma distância mínima do passeio de 60 cm.

2.5 ABNT (norma brasileira)

A ABNT, entidade responsável pela elaboração das normas técnicas brasileiras, implementou a NBR 7188 [7] que define as acções do tráfego rodoviário.

A norma brasileira define apenas um modelo de sobrecarga, composto por uma carga distribuída juntamente com um veículo cuja intensidade depende da classe da ponte. Neste estudo considerou-se a classe 45, que corresponde a uma carga total do veículo de 450 kN e uma carga uniformemente distribuída de $5,0 \text{ kN/m}^2$. Esta carga distribuída deve ser

considerada em toda a área do tabuleiro, exceto na zona onde se posiciona o veículo. Na Figura 6 apresenta-se um esquema da geometria do veículo de classe 45.

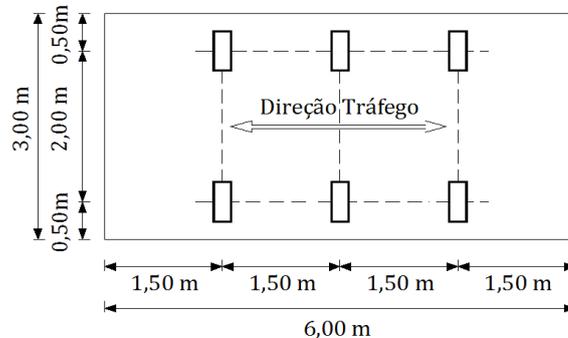


Figura 6. Veículo da classe 45.

A norma define um fator de amplificação dinâmica que deve ser aplicado aos dois carregamentos. Esse fator, calculado pela equação (1), depende do comprimento do vão carregado, L .

$$\varphi = 1,4 - 0,007 \cdot L \geq 1 \quad (1)$$

3. PLANO DOS ESTUDOS

3.1 Casos de estudo escolhidos

Para efetuar uma comparação dos esforços produzidos pelas diferentes normas abordadas, escolheram-se dois casos de estudo com características diferentes, de forma a avaliar os efeitos de flexão, esforço transversal e torção em tabuleiros de grande vão com secção em caixão. A escolha da geometria dos tabuleiros teve em consideração a experiência da engenharia portuguesa de pontes.

O tabuleiro do primeiro caso de estudo inclui-se na família de tabuleiros de secção em caixão de menor vão, construídos tramo a tramo, com uma largura correspondente ao de uma estrada nacional. O seu dimensionamento baseou-se nas soluções utilizadas nos viadutos de acesso às pontes sobre o rio Zambeze (Moçambique), em Caia e em Tete, construídos nos últimos anos. Trata-se de um tabuleiro de 15,00 m de largura, com dois vãos extremos de 50,00 m e três tramos intermédios de 60,00 m. Na Figura 7 apresenta-se um esquema geral do tabuleiro.

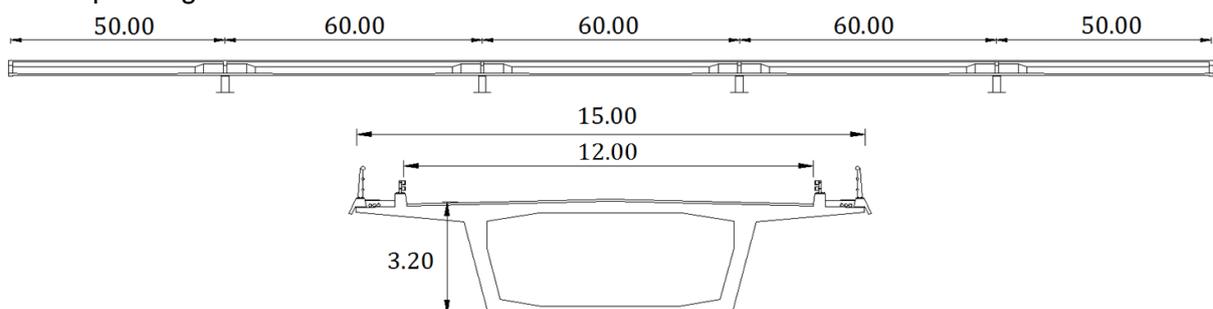


Figura 7. Tabuleiro do caso de estudo 1

O segundo caso de estudo diz respeito a um tabuleiro muito largo, que comporta um perfil transversal de autoestrada. Tem dois vãos extremos com 140,00 m e um tramo central de 220,00 m. Corresponde a uma solução estrutural a construir por avanços sucessivos em consola a partir do coroamento dos pilares. O dimensionamento da obra baseou-se no projeto da ponte sobre o rio Ceira, que serve a autoestrada de Tomar para Coimbra. A secção do tabuleiro é de altura variável, tendo-se considerado, simplificadamente, que seria construído com aduelas de 5,00 m. Transversalmente tem 26,40 m de largura, com duas faixas de rodagem divididas por um separador central.

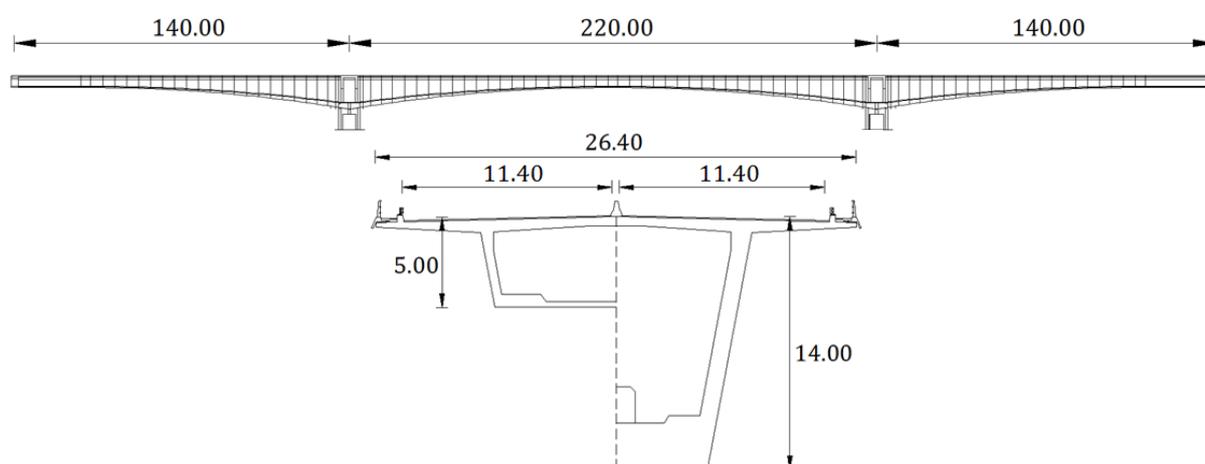


Figura 9. Tabuleiro do caso de estudo 2

3.2 Tipos de análise

Os dois casos de estudo escolhidos apresentam diferenças significativas no número e comprimento de vãos, bem como na largura do tabuleiro. Considerando os modelos de sobrecargas anteriormente referidos, pretendeu-se estudar a influência que a geometria do tabuleiro tem nos esforços finais.

Realizaram-se dois tipos de análise, uma na direção longitudinal e outra na direção transversal dos tabuleiros. Na direção longitudinal estudaram-se os esforços máximos de flexão, junto aos apoios e a meio vão, transversos e de torção. Com o propósito de obter os esforços máximos, efetuaram-se alternâncias de sobrecargas, tendo em conta as linhas de influência dos esforços analisados.

Os esforços longitudinais foram calculados recorrendo a modelos tridimensionais de peças lineares, constituídos por elementos de barra. Nos Quadros 7 e 8 apresentam-se as propriedades geométricas das secções dos elementos considerados na discretização estrutural.

Quadro 7. Propriedades das secções do tabuleiro do caso de estudo 1

Secção	Coordenadas x [m]	A [m ²]	I _{yG} [m ⁴]	I _{zG} [m ⁴]	J [m ⁴]
A	{2; 38; 62; 98; 122; 158; 182; 218; 242; 278}	10,02	15,60	137,57	36,73
B	{40; 43; 57; 60; 100; 103; 117; 120; 160; 163; 177; 180; 220; 223; 237; 240}	10,97	18,52	138,76	41,58
C	{0; 45; 55; 105; 115; 165; 175; 225; 235; 280}	11,55	18,87	145,49	42,84

Quadro 8. Propriedades das secções do tabuleiro do caso de estudo 2

Secção	Coordenadas x [m]	A [m ²]	I _{yG} [m ⁴]	I _{zG} [m ⁴]	J [m ⁴]
A	{135,5; 144,5; 355,5; 364,5}	33,05	778,59	326,33	495,25
B	{131; 149; 351; 369}	31,64	678,97	318,81	464,63
C	{126,5; 153,5; 346,5; 373,5}	30,20	587,21	310,79	433,58
D	{122; 158; 342; 378}	28,73	503,13	302,28	401,85
E	{117; 163; 337; 383}	27,54	432,49	294,45	371,93
F	{112; 168; 332; 388}	26,00	365,89	285,22	341,16
G	{107; 173; 327; 393}	24,44	305,51	275,48	310,09
H	{102; 178; 322; 398}	23,67	264,71	268,86	285,25
I	{97; 183; 317; 403}	22,26	223,02	259,85	259,29
J	{92; 188; 312; 408}	20,80	184,94	250,37	232,95
K	{87; 193; 307; 413}	20,18	161,66	244,59	213,91
L	{82; 198; 302; 418}	19,23	138,25	237,48	194,04
M	{77; 203; 297; 423}	17,90	114,45	228,79	172,44
N	{72; 208; 292; 428}	17,44	102,03	224,28	159,37
O	{67; 213; 287; 433}	17,00	90,55	219,74	146,60
P	{62; 218; 282; 438}	15,02	74,58	203,23	124,21
Q	{57; 223; 277; 443}	14,79	68,88	200,70	117,29
R	{52; 228; 272; 448}	14,49	63,29	197,70	110,13
S	{47; 233; 267; 453}	13,90	56,08	194,04	100,56
T	{42; 238; 262; 458}	13,80	54,47	192,84	98,15
U	{37; 243; 257; 463}	13,71	52,81	192,02	95,99
V	{32; 248; 252; 468}	13,63	51,25	191,16	93,82

Para a análise na direção transversal foram desenvolvidos modelos tridimensionais de elementos finitos de casca. Desta análise obtiveram-se os momentos fletores negativos na laje da plataforma na secção de apoio sobre as almas e o momento fletor máximo positivo na laje intermédia. Essas três secções foram analisadas, longitudinalmente, na secção de meio vão dos tabuleiros.

Nas Figuras 10 a 13 representam-se os modelos tridimensionais de elementos finitos utilizados na análise transversal, bem como as discretizações das secções transversais que foram objeto de análise. O modelo do caso de estudo 1 tem 8727 pontos nodais e 8732 elementos finitos de casca, ao passo que o modelo do caso de estudo 2, que também inclui os pilares, tem 35335 pontos nodais e 35150 elementos finitos de casca.

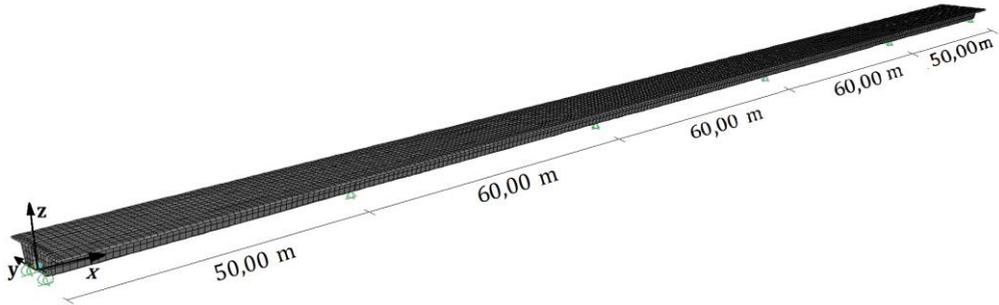


Figura 10. Modelo tridimensional de elementos finitos de casca – Caso de estudo 1

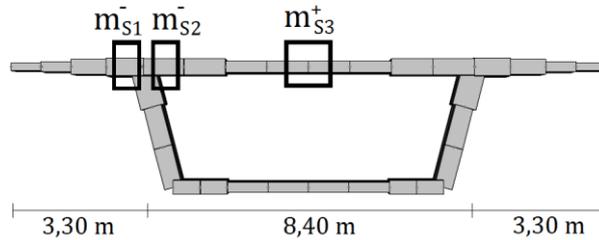


Figura 11. Discretização da secção transversal a ½ vão – Caso de estudo 1

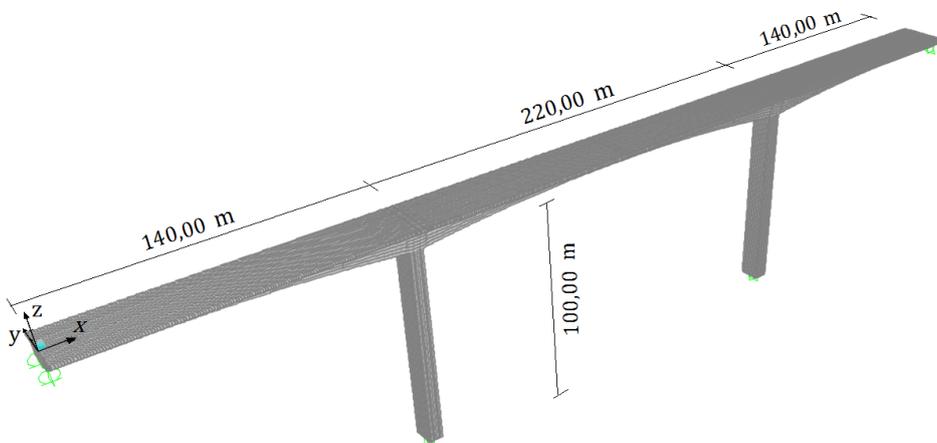


Figura 12. Modelo tridimensional de elementos finitos de casca – Caso de estudo 2

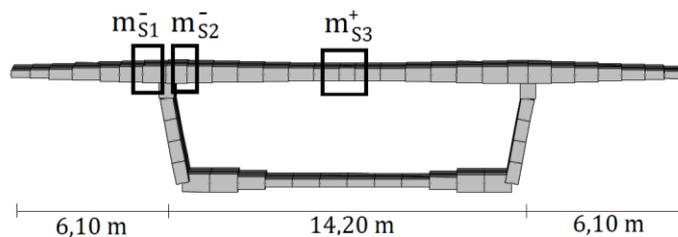


Figura 13. Discretização da secção transversal a ½ vão – Caso de estudo 2

4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

4.1 Análise longitudinal

4.1.1 Resultados obtidos

No primeiro caso de estudo os esforços foram analisados junto ao terceiro apoio e a meio vão do tramo central. No Quadro 9 apresentam-se os valores dos esforços condicionantes de cada norma e a sua relação com os valores do RSA.

Quadro 9. Esforços na direção longitudinal – Caso de estudo 1

Regulamentos	Valores máximos				Relação com o RSA			
	M- [kNm]	M+ [kNm]	V [kN]	T [kNm]	M- [kNm]	M+ [kNm]	V [kN]	T [kNm]
RSA	-22743	19633	-2286	3059	1,00	1,00	1,00	1,00
EC1	-22298	21663	-2467	6026	0,98	1,10	1,08	1,97
AASHTO	-18365	17708	-2045	3407	0,81	0,90	0,89	1,11
SATCC	-25306	24027	-2400	5652	1,11	1,22	1,05	1,85
ABNT	-32981	25149	-3071	6563	1,45	1,28	1,34	2,15

Os esforços no tabuleiro do segundo caso de estudo foram analisados junto ao apoio no primeiro pilar e a meio vão do tramo central. Os valores condicionantes de cada regulamento apresentam-se no Quadro 10.

Quadro 10. Esforços na direção longitudinal – Caso de estudo 2

Regulamentos	Valores máximos				Relação com o RSA			
	M- [kNm]	M+ [kNm]	V [kN]	T [kNm]	M- [kNm]	M+ [kNm]	V [kN]	T [kNm]
RSA	-602564	135464	-12119	31981	1,00	1,00	1,00	1,00
EC1	-567579	137816	-11642	38470	0,94	1,02	0,96	1,20
AASHTO	-328497	100499	-8473	24218	0,55	0,74	0,70	0,76
SATCC	-489051	118040	-9807	27944	0,81	0,87	0,81	0,87
ABNT	-803811	167559	-15912	39493	1,33	1,24	1,31	1,23

4.1.2 Comparação de resultados

Nos gráficos da Figura 14 apresenta-se uma comparação dos esforços gerados pelos modelos condicionantes das várias normas com o RSA, para os dois casos de estudo.

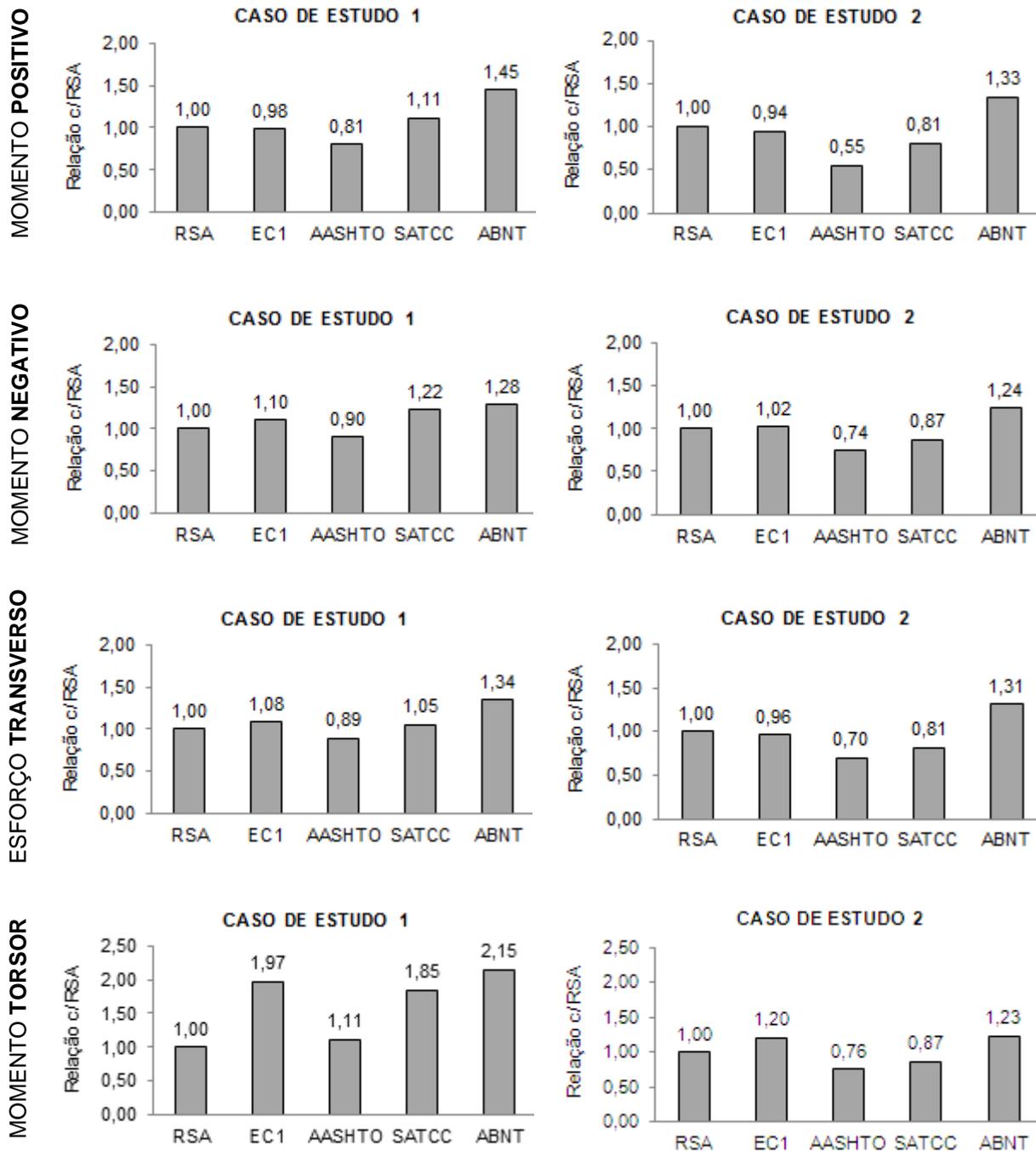


Figura 14. Comparação dos esforços longitudinais dos casos de estudo 1 e 2

Deve referir-se, em primeiro lugar, que a norma brasileira é a que apresenta os esforços mais elevados para todas as situações estudadas.

Constata-se que do primeiro para o segundo caso de estudo ocorre um aumento da preponderância do RSA relativamente às restantes normas. Efetivamente, o regulamento português é mais desfavorável que a maioria das normas estudadas no caso de estudo 2. O

RSA gera sempre esforços de flexão e transversos maiores que a AASHTO e, em tabuleiros de maiores dimensões, torna-se mais gravoso que a SATCC. Verifica-se também que os esforços de flexão e de corte têm relação semelhante para o RSA e para o EC1 nas duas estruturas, apesar de se notar uma tendência para a norma portuguesa induzir esforços maiores à medida que a secção do tabuleiro alarga e o comprimento dos vãos aumenta.

Relativamente ao momento torsor, existe uma diminuição evidente da diferença percentual entre as diferentes normas do primeiro para o segundo caso de estudo. Em tabuleiros largos a norma portuguesa é mais condicionante que as normas norte-americana e sul-africana, apesar de induzir menores esforços de torção no tabuleiro que o EC1 e a ABNT.

4.2 Análise transversal

4.2.1 Resultados obtidos

No Quadro 11 apresentam-se os resultados obtidos na análise transversal de flexão do tabuleiro do caso de estudo 1, no que respeita aos momentos fletores máximos na secção de apoio nas almas e na secção de vão da laje intermédia.

Quadro 11. Momentos fletores na direção transversal – Caso de estudo 1

Regulamentos	Valores máximos			Relação com o RSA		
	mS1 [kNm/m]	mS2 [kNm/m]	mS3 [kNm/m]	mS1 [kNm/m]	mS2 [kNm/m]	mS3 [kNm/m]
RSA	-78,2	-103,0	57,6	1,00	1,00	1,00
EC1	-103,6	-186,8	98,2	1,32	1,81	1,70
AASHTO	-46,4	-98,1	39,4	0,59	0,95	0,68
SATCC	-71,1	-115,9	59,5	0,91	1,13	1,03
ABNT	-72,0	-95,8	50,7	0,92	0,93	0,88

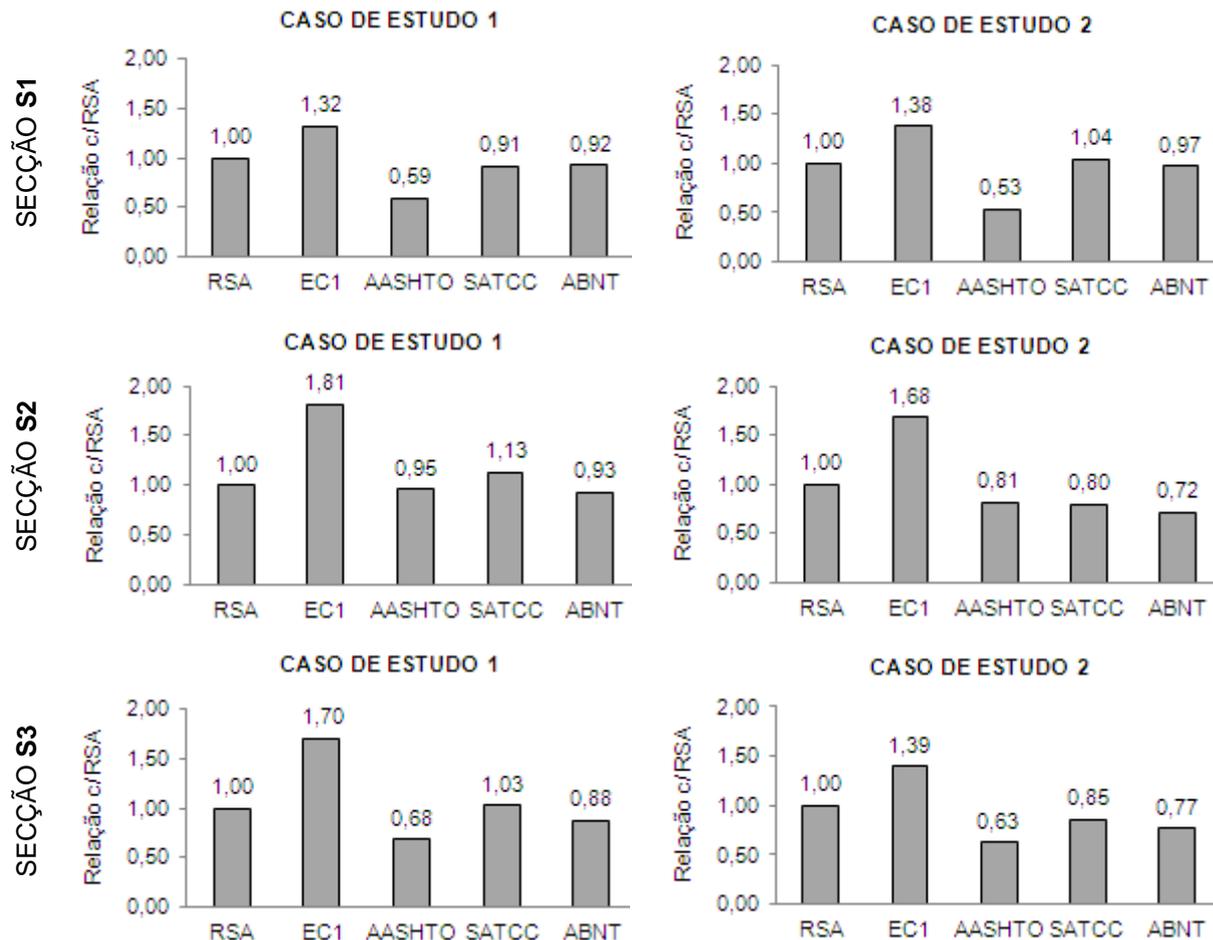
Os momentos fletores máximos na secção de apoio nas almas e na secção de vão da laje intermédia, obtidos no caso de estudo 2, constam no Quadro 12.

Quadro 12. Momentos fletores na direção transversal – Caso de estudo 2

Regulamentos	Valores máximos			Relação com o RSA		
	mS1 [kNm/m]	mS2 [kNm/m]	mS3 [kNm/m]	mS1 [kNm/m]	mS2 [kNm/m]	mS3 [kNm/m]
RSA	-217,8	-164,4	131,0	1,00	1,00	1,00
EC1	-301,1	-257,0	182,7	1,38	1,68	1,39
AASHTO	-116,3	-133,5	82,2	0,53	0,81	0,63
SATCC	-226,7	-131,6	111,7	1,04	0,80	0,85
ABNT	-211,9	-117,9	100,8	0,97	0,72	0,77

4.2.2 Comparação de resultados

Na Figura 15 apresenta-se a comparação gráfica dos momentos fletores na direção transversal devidos às sobrecargas condicionantes das várias normas com o RSA, para os dois casos de estudo.



Legenda:

S1 – Secção de encastramento da consola; S2 – Secção de apoio da laje intermédia nas almas; S3 – Secção de meio vão da laje intermédia

Figura 15. Comparação dos momentos fletores na direção transversal para os casos de estudo 1 e 2

Na direção transversal o EC1 é a norma que gera, em todos os casos, os maiores esforços, enquanto a AASHTO se evidencia como a norma menos condicionante. O RSA, a SATCC e a ABNT induzem momentos fletores de valor semelhante no encastramento da consola. Para os momentos fletores na laje intermédia verifica-se que, no segundo caso de estudo, o RSA aumenta a sua preponderância relativamente às restantes normas, apresentando esforços maiores que as normas norte-americana, sul-africana e brasileira.

5. CONCLUSÕES

Para tabuleiros de pequeno e médio vão, tanto na direção transversal como na direção longitudinal, as sobrecargas do EC1 induzem esforços maiores que as do RSA [8].

Nos resultados apresentados, relativos a dois casos de estudo de obras com tabuleiros de betão de grande vão em caixão, verificou-se que nos esforços longitudinais a norma mais desfavorável, em todos os casos, é a brasileira. O RSA e o EC1 geram efeitos estruturais da mesma ordem de grandeza, constatando-se a tendência para o RSA induzir esforços de flexão e transverso mais gravosos à medida que aumentam o comprimento dos vãos e a largura dos tabuleiros. Porém, mesmo nestas condições as sobrecargas da norma europeia induzem efeitos de torção maiores que as do RSA.

Na direção transversal o EC1 produz sempre os maiores momentos fletores na laje da plataforma. O RSA é mais condicionante que a AASHTO, a SATCC e a ABNT para esforços de flexão na laje intermédia dos tabuleiros muito largos. Contudo, verifica-se que para o momento fletor na secção de encastramento das consolas laterais o aumento do balanço conduz a um aumento da preponderância das normas sul-africana e brasileira relativamente ao regulamento português.

REFERÊNCIAS

- [1] RSA – “Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes” – Decreto Lei nº235/83, MOPTC, Portugal, 1983.
- [2] Pipa, M. – “Evolução da regulamentação de estruturas em Portugal” – LNEC, Lisboa, 2009.
- [3] EC1 – “EN 1991-2 Eurocode 1: Actions on structures, Part 2: Traffic loads on bridge” – CEN, Bruxelas, 2003.
- [4] NP EC1 – “Proposta de Anexo Nacional de aplicação da norma NP EN 1991-2” – CTPN, Portugal, 2012.
- [5] AASHTO – “LFRD Bridge Design Specifications – 5th Edition” – AASHTO, Washington DC, 2007.
- [6] SATCC – “Code of practice for the design of road bridges and culverts” – SATCC, South Africa, 2001
- [7] NBR 7188 – “Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre” – ABNT, Rio de Janeiro, 1982.
- [8] Saraiva, M. – “Efeitos estruturais das sobrecargas rodoviárias definidas nas normas mais utilizadas pela engenharia portuguesa em tabuleiros vigados de betão” - Tese de Mestrado”, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Almada, 2013.