

TABLE OF CONTENTS

I.	INTRODUÇÃO	3
II.	REGULAMENTOS E INSTRUMENTOS DE CÁLCULO	4
III.	PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO	5
	3.1. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS	5
	3.1.1. Betão para tabuleiros.....	5
	3.1.2. Betão para suportes	5
	3.1.3. Aço passivo	5
	3.1.4. Aço ativo.....	6
	3.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	6
	3.2.1. Ponte Lemba	6
	3.2.2. Brigoma de ponte	6
	3.3. CLASSE DE EXPOSIÇÃO	6
	3.4. NÍVEIS DE TRÁFEGO NA PONTE	6
	3.5. SUSTAINABILITY REQUIREMENTS	7
	3.5.1. Duração da exploração do projeto	7
	3.5.2. Classe estrutural.....	7
	3.6. CAPA	7
IV.	JUSTIFICAÇÃO DAS VIGAS LEMBA	8
	4.1. FASES DE CONSTRUÇÃO	8
	4.2. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS.....	8
	4.3. PRESTRESSÃO	9
	4.4. CÁLCULO DA CARGA.....	9
	4.4.1. Carga morta da viga	9
	4.4.2. lajes e pré-lajes pré-fabricadas carga morta	9
	4.4.3. Equipamento do andar superior.....	10
	4.4.4. Carga de tráfego.....	10
	4.4.5. Momentos de flexão	13
	4.5. QUANTIDADES DE PRÉ-ESFORÇO	13
	4.5.1. Fase 2	13
	4.5.2. Fase 5	14

V.	JUSTIFICAÇÃO DAS VIGAS DE BRIGOMA.....	15
5.1.	CÁLCULO DA CARGA.....	15
5.1.1.	Fase 1 "estrutura em construção"	15
5.1.2.	slabs and prefabricated pre-slabs dead load	15
5.1.3.	Equipamento do andar superior.....	15
5.1.4.	Carga de tráfego.....	16
5.1.5.	Combinação de acções	18
5.1.6.	Momentos de flexão	18
5.1.7.	Momentos flectores deslocados (em t.m)	19
5.1.8.	Forças de corte.....	20
5.2.	JUSTIFICAÇÕES.....	21
5.2.1.	Reforço longitudinal.....	21
5.2.2.	Reforço transversal	23
APÊNDICES.....		27

I. INTRODUÇÃO

O objetivo desta nota de cálculo é o estudo da ponte projectada sobre o rio Lembá em Lembá e da ponte de Brigoma projectada sobre o rio Cantador em Brigoma.

Ambas as pontes estão situadas no distrito de Lembá, na região de Santa Catarina, a oeste da República Democrática de São Tomé e Príncipe

A estrutura projectada sobre o rio Lembá é uma ponte estaiada em betão pré-esforçado. Tem um ângulo de inclinação moderado de 85 graus (76,5 graus). Esta ponte é composta por três (03) vãos de 34,00 m e tem um comprimento total de 106,10 m.

Cada vão é constituído por 4 vigas pré-fabricadas em T de betão pré-esforçado ligadas por uma laje de betão armado (20 cm de espessura) moldada no local através de uma cofragem perdida com pré-lajes de betão armado (5 cm de espessura).

A estrutura prevista sobre o rio Cantador em Brigoma é uma ponte estaiada em betão armado. É composta por quatro (04) vãos de 16,00 m e tem um comprimento total de 68,30 m.

Cada vão é constituído por 6 vigas pré-fabricadas em I de betão armado com secção variável, ligadas por laje de betão armado (20 cm de espessura) moldada no local através de uma cofragem perdida com pré-lajes de betão armado (5 cm de espessura).

II. REGULAMENTOS E INSTRUMENTOS DE CÁLCULO

As justificações e os cálculos serão efectuados em conformidade com os requisitos e recomendações dos seguintes documentos:

- ◆ EN 1990: Eurocódigos 0 "Bases para o projeto de estruturas" ;
- ◆ EN 1991: Eurocódigo 1 "Acções sobre estruturas";
- ◆ EN 1992: Eurocódigo 2 "Projeto de estruturas de betão";
- ◆ EN 1997: Eurocódigo 7 "Cálculo geotécnico";
- ◆ Eurocódigos Guia 0 e 1, Aplicação a Pontes Rodoviárias e Passadiços SETRA (fevereiro de 2010) ;
- ◆ Guia 2 do Eurocódigo, Aplicação a pontes rodoviárias de betão (julho de 2008) ;
- ◆ Fascículo 65: Execução de obras de engenharia civil em betão armado ou pré-esforçado (com vista à fixação de certos dados de cálculo) ;
- ◆ Piloto SETRA - PP73:
- ◆ Suportes de betão para estruturas de engenharia, Volume 1 Concepção e pré-dimensionamento - CEREMA.

O cálculo do tabuleiro foi efectuado com recurso ao software ROBOT através da modelação por elementos finitos: A laje foi modelada por elementos de superfície e as vigas e travessas por elementos de barra.

Os diferentes tipos de carga (carga morta, equipamento do tabuleiro superior, cargas no pavimento, cargas de tráfego do tipo LM1, LM3 e grupos de carga) foram introduzidos separadamente.

III. PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO

3.1. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

3.1.1. Betão para tabuleiros

O betão C35/45 para as vigas de betão pré-esforçado será doseado a 400 kg de cimento por m³.

- ◆ Resistência característica à compressão $f_{ck} = 35$ MPa ;
- ◆ Resistência média à compressão $f_{cm} = 43$ MPa ;
- ◆ Resistência média à tração $f_{ctm} = 3,21$ MPa ;
- ◆ Resistência característica à tração $f_{ctk,0.05} = 2,2$ MPa ;
- ◆ Módulo de elasticidade $E_{cm} = 34,077$ MPa ;
- ◆ Tensão limite de compressão do betão no SLS :

$$\sigma_c = 0,6 * f_{ck} = 21 \text{ MPa}$$

O betão C30/37 para lajes, travessas e vigas de betão armado será doseado a 400 kg de cimento por m³.

- ◆ Resistência característica à compressão $f_{ck} = 30$ MPa;
- ◆ Resistência média à compressão $f_{cm} = 38$ MPa;
- ◆ Resistência média à tração $f_{ctm} = 2,9$ MPa;
- ◆ Resistência característica à tração $f_{ctk,0.05} = 2,0$ MPa;
- ◆ Módulo de elasticidade $E_{cm} = 32,837$ MPa;
- ◆ Tensão limite de compressão do betão no SLS:

$$\sigma_c = 0,6 * f_{ck} = 18 \text{ MPa}$$

3.1.2. Betão para suportes

O betão C25/30 para suporte será doseado a 350 Kg de cimento por m³.

- ◆ Resistência característica à compressão $f_{ck} = 25$ MPa ;
- ◆ Resistência média à compressão $f_{cm} = 33$ MPa ;
- ◆ Resistência média à tração $f_{ctm} = 2,57$ MPa ;
- ◆ Resistência característica à tração $f_{ctk,0.05} = 1,8$ MPa ;
- ◆ Módulo de elasticidade $E_{cm} = 31,476$ MPa ;
- ◆ Tensão limite de compressão do betão no SLS:

$$\sigma_c = 0,6 * f_{ck} = 15 \text{ MPa}$$

3.1.3. Aço passivo

- ◆ B500B Aço de alta aderência, resistência ao escoamento nominal : $f_{yk} = 500$ Mpa ;
- ◆ Limite elástico computacional : $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,78$ MPa ;
- ◆ Módulo de elasticidade : $E_s = 200,000$ Mpa ;

- ◆ Tensão de tração do aço na SLS : $\sigma_s = 0,8 * f_{yk} = 400 \text{ MPa}$.

3.1.4. Aço ativo

O aço ativo corresponde às armaduras de pré-esforço. Estas armaduras serão constituídas por cordões "SUPER T15 TBR", com características principais:

- ◆ Resistência característica à tração: $f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$;
- ◆ Tensão de cedência característica a 1% $f_{p0,1k} = 1640 \text{ MPa}$;
- ◆ Tensão máxima de ancoragem: $\sigma_{(pmax)} < \min(0,8 f_{pk}; 0,9 f_{p0,1k}) = 1476 \text{ MPa}$;
- ◆ Tensão inicial máxima: $\sigma_{(pmo)} < \min(0,75 f_{pk}; 0,85 f_{p0,1k}) = 1394 \text{ MPa}$;
- ◆ Tensão de projeto na ancoragem: $f_{pd} = 1476 \text{ MPa}$;
- ◆ Módulo de elasticidade $E_p = 195 \text{ GPa}$;
- ◆ Secção transversal nominal de um T15S: $A_p = 150 \text{ mm}^2$;
- ◆ Classe de aços de relaxação muito baixa: $p1000 = 2,5\%$.

3.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

3.2.1. Ponte Lembá

- ◆ Largura da faixa de rodagem $w = 8,0 \text{ m} \geq 6,0 \text{ m}$;
- ◆ Número de faixas de rodagem teóricas: $n_l = \text{int}(w/3) = 2$;
- ◆ Largura de uma faixa de rodagem fictícia: $w_l = 3,0$;
- ◆ Largura da área restante: $8,0 - 2 \times 3 = 2,0 \text{ m}$.

3.2.2. Brigoma de ponte

- ◆ Largura da faixa de rodagem $w = 6,0 \text{ m} \geq 6,0 \text{ m}$;
- ◆ Número de faixas de rodagem teóricas: $n_l = \text{int}(w/3) = 2$;
- ◆ Largura de uma faixa de rodagem fictícia: $w_l = 3,0$;
- ◆ Largura da área restante: $6,0 - 2 \times 3 = 0,0 \text{ m}$

3.3. CLASSE DE EXPOSIÇÃO

As classes de exposição serão efectuadas da seguinte forma

- ◆ XC3 para a face superior da laje (por baixo da forquilha de selagem) ;
- ◆ XC4 / XS1 para todas as faces das vigas e travessas, bem como para as faces exteriores da laje (Estruturas próximas da costa) ;
- ◆ □XC4 / XS1 para o equipamento do convés superior (Estruturas perto de uma costa).

3.4. NÍVEIS DE TRÁFEGO NA PONTE

A classe de tráfego 2 é mantida para as pontes, classe de tráfego normal (EN 1991-2 /NA Art4.3.2).

3.5. SUSTAINABILITY REQUIREMENTS

3.5.1. Duração da exploração do projeto

A duração do projeto é fixada em 100 anos.

3.5.2. Classe estrutural

A classe estrutural de referência recomendada é a S5.

Pode ser modificada de acordo com a vida útil pretendida, a classe do betão, etc.

A classe estrutural modulada será S4 +2 = S6 (de acordo com o Quadro 4.3N (NF 1992-1-1: classificação estrutural recomendada)

3.6. CAPA

A cobertura nominal depende principalmente da classe estrutural e da classe de risco :

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$
$$C_{min} = \text{Max}(C_{min,b}; C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add}; 10\text{mm})$$

ΔC_{dev} =5 mm para elementos pré-fabricados

ΔC_{dev} =10 mm para elementos vazados no local

Quadro 1 : Coberturas retidas (mm)

	vigas	Convés da face superior
Classe de exposição	XC4 /XS1	XC3
Classe estrutural	S6	S6
C_{min,b}	25	25
C_{min,hard}	45	30
C_{min}	45	30
ΔC_{dev}	5	10
C_{Name} (mm)	50	40

IV. JUSTIFICAÇÃO DAS VIGAS LEMBA

4.1. FASES DE CONSTRUÇÃO

As fases de construção do convés são apresentadas no quadro seguinte :

Quadro 2 : Fases de construção do convés

Fase	Data (em dias)	Secção de resistência	Operações	Ação de acompanhamento
0	0	-	Betonagem das vigas	-
1	7	Apenas viga	Tensionamento dos cabos da 1ª família	1ª família de cabos pré-esforçados + carga morta da viga
2	28	Só viga	Betonagem da laje	Carga morta da laje
3	42	Viga + laje	Tensão dos cabos da 2ª família	2ª família de cabos de pré-esforço
4	56	Viga + laje	Instalação dos equipamentos finais do tabuleiro superior	Carga do equipamento do tabuleiro superior
5	120	Viga + laje Secção homogeneizada	Colocação em serviço	Cargas vivas

4.2. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

De acordo com o Eurocódigo 2, as secções brutas são utilizadas para determinar as cargas devidas à carga morta. Estas são também as secções utilizadas durante a fase de dimensionamento preliminar.

A largura efectiva da mesa de compressão b_{eff} de uma viga em T pode ser determinada da seguinte forma: $b_{eff} = 0,8b_w + b/5 + L/5 \leq b$:

Onde b é o espaçamento entre as linhas centrais das vigas, L é o vão da viga e b_w é a espessura da alma.

- ◆ $b_{eff} = 0,8 b_w + b/5 + L/5 = 0,8 \times 0,25 + 0,2 \times 2,93 + 34/5 = 7,59 \text{ m}$;
- ◆ $b_{eff} \leq b = 2,93 \text{ m}$;
- ◆ $\rightarrow b_{eff} = 2,93 \text{ m}$ para vigas intermédias ;
- ◆ $\rightarrow b_{eff} = 2,37 \text{ m}$ para vigas de bordadura.

As características mecânicas estão resumidas no quadro seguinte :

Quadro 3 : Características mecânicas

	Vigas de borda		Vigas intermédias	
	Viga	Viga + lajes	Viga	Viga + lajes
Secção bruta A (m2)	1,022	1,496	1,022	1,609
Momento de inércia I (m4)	0,484	0,798	0,484	0,827
V: posição do centro de gravidade / fibra sup (m)	0,856	0,753	0,856	0,707
V: posição do centro de gravidade / fibra inf (m)	1,044	1,347	1,044	1,393

Eficiência $\rho = I/Avv'$	0,530	0,526	0,530	0,522
----------------------------	-------	-------	-------	-------

4.3. PRESTRESSÃO

A cablagem é constituída por 8 cabos T15S de baixa relaxação classe 1860 tensionados em dois lados por pós-tensão.

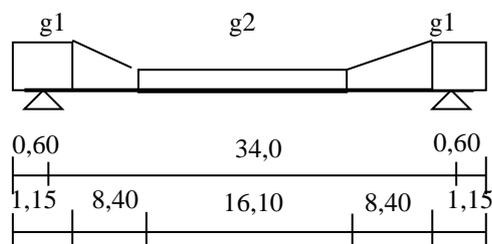
- O diâmetro da conduta de cabos é igual a 70 mm;
- A força máxima de pré-esforço no tensionamento:

$$F_0 = 1476 \times 8 \times 150 \cdot 10^{-6} = 1.771 \text{ MN}$$

4.4. CÁLCULO DA CARGA

As cargas nas vigas foram calculadas com o software ROBOT.

4.4.1. Carga morta da viga



- $g_1 = 2,93 \text{ t/ml}$;
- $g_2 = 2,56 \text{ t/ml}$.

4.4.2. Lajes e pré-lajes pré-fabricadas carga morta

- Vigas intermédias: 1,633 t/ml ;
- Vigas de borda : 1,267 t/ml.

Quadro 4 : Cargas verticais no convés

GOH8	Vigas de borda		Vigas intermédias	
	g1	g2	g1	g2
Carga morta da viga: g	2,93	2,56	2,93	2,56
g min (-3%)	2,84	2,48	2,84	2,48
g max (+3%)	3,02	2,64	3,02	2,64
Lajes + pré-lajes pré-fabricadas	1,267		1,633	
Total G	4,20	3,83	4,56	4,20
G min (-3%)	4,07	3,71	4,43	4,07
G max (+3%)	4,32	3,94	4,70	4,32
Sobrecargas no local qca (0,10t/m ²)	0,24 t/m		0,29t/m	

4.4.3. Equipamento do andar superior

As cargas dos equipamentos do andar superior são as seguintes :

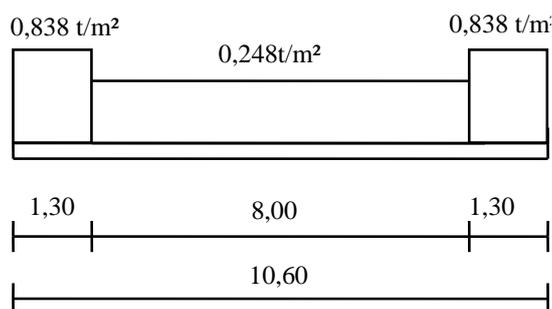
- ◆ Sistema de impermeabilização : $g_1 = 0,004 \times 2,4 = 0,009 \text{ t/m}^2$;
- ◆ Camada de desgaste : $g_2 = 0,07 \times 2,4 = 0,168 \text{ t/m}^2$;
- ◆ Cornija + calçada + S8 : $g_3 = 0,838 \text{ t/m}^2$ distribuídos em 1,30 m.

Para ter em conta as possíveis variações destas cargas, temos a seguinte tabela :

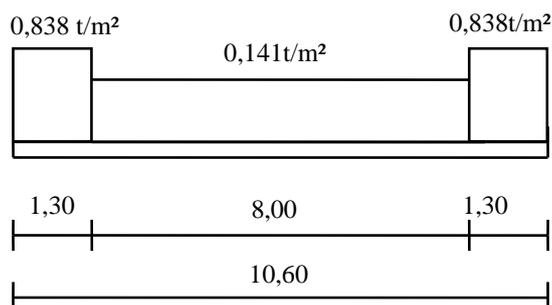
Quadro 5 : Variações possíveis das cargas

	g1	g2	g3
Variação	+ 40 % - 20 %	+ 40 % - 20 %	± 0 %
Min	0,007	0,134	0,838
Max	0,013	0,235	0,838

4.4.3.1. Equipamento máximo do andar superior



4.4.3.2. Equipamento mínimo do andar superior

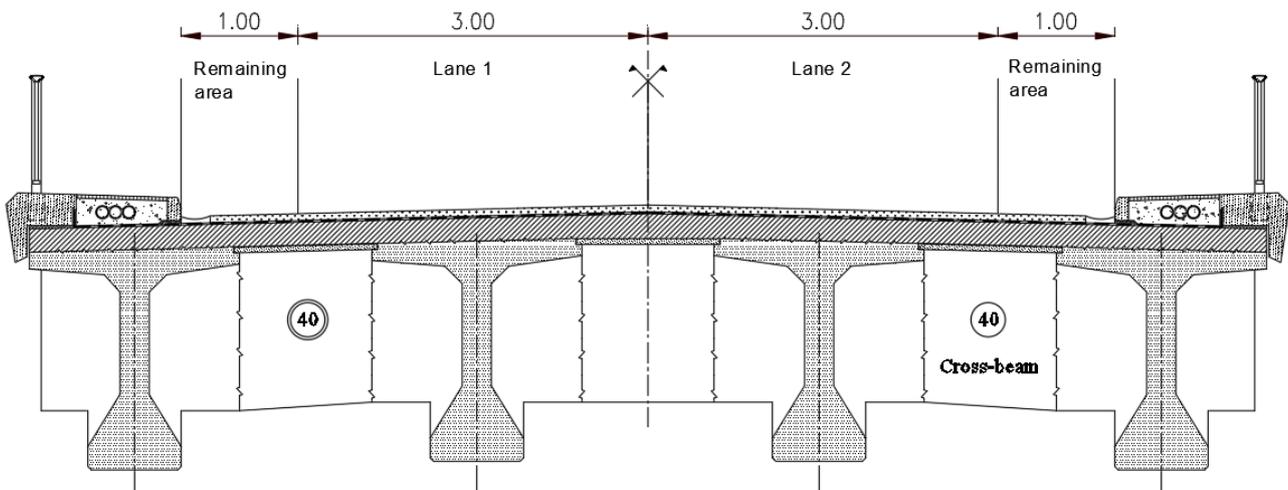


4.4.4. Carga de tráfego

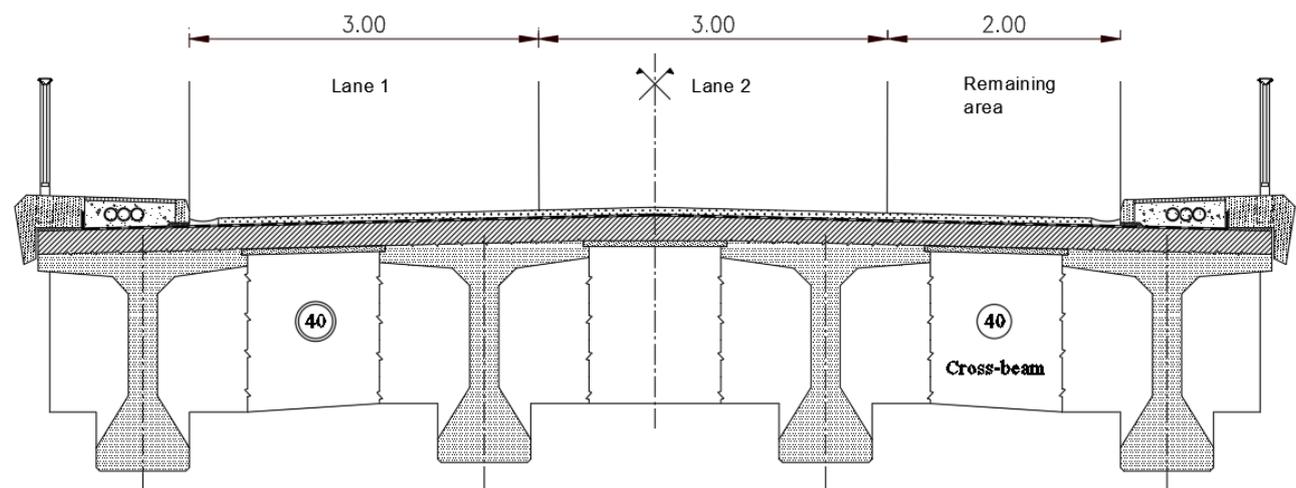
- ◆ Localização e numeração das vias :

A localização e a numeração das faixas de rodagem devem ser concebidas de modo a ter os efeitos mais desfavoráveis possíveis :

◆ 1ª Distribuição :



◆ 2ª Distribuição :



◆ Modelo de carga 1 (LM1):

O sistema LM1 modela situações de fluxo livre e de congestionamento na presença de uma grande percentagem de veículos pesados de mercadorias.

◆ UDL cargas : $\alpha_q Q_k$

◆ TS cargas : $\alpha_Q Q_k$

Quadro 6 : Resumo do modelo de carga 1

	Faixa 1	Faixa 2	Área remanescente
α_Q	0,9	0,8	0
α_q	0,7	1	1
Largura (m)	3,0	3,0	1 or 2
Q_k (t)	30	20	-
q_{ik} (t/m ²)	0,9	0,25	0,25
TS (t)	27	16	-
UDL (t/m ²)	0,63	0,25	0,25

As sobrecargas UDL do sistema regulamentar LM1 foram definidas como cargas uniformemente distribuídas por toda a largura da faixa de rodagem e as provenientes dos tandens TS foram modeladas para percorrer um vão com um passo de 1,00 m e ao longo de eixos longitudinais definidos pelas suas coordenadas Y em relação ao eixo da viga de bordadura direita.

◆ 1ª Distribuição :

Eixo 1 Y = 5,45

Eixo 2 Y = 5,70

◆ Modelo de carga 3 (LM3)

Este modelo de tarifação permite ter em conta os veículos especiais (comboio excecional e/ou comboio militar). Neste projeto, definiremos a passagem de um comboio militar MC120 (em conformidade com o título II do fascículo 61).

As sobrecargas militares regulamentares do tipo Mc120 foram modeladas para percorrer um vão com um passo de 1,00 m e ao longo de eixos longitudinais definidos pelas suas coordenadas Y em relação ao eixo da viga de bordadura direita.

Eixo 1 Y = 6,25

Eixo 2 Y = 4,22

◆ Coeficiente de majoração dinâmica para o modelo de carga 3 (LM3):

A carga do modelo 3 é multiplicada por uma amplificação dinâmica.

$$\delta = 1 + \frac{0,7}{1 + 0,2 L}$$

L = 34 m.

$\delta = 1,09$.

◆ Sobrecarga de funcionamento nos passeios

Carga geral distribuída uniformemente nos passeios :

$$q_{fk} = 0,2 + 12 / (L + 10) \text{ t/m}^2$$
$$\text{e } 0,25 \leq q_{fk} \leq 0,5 \text{ t/m}^2$$

q_{fk} será considerado igual a 0,5 t/m²

◆ Acções multicomponentes :

Estas acções são representadas por grupos de carga que aplicam as diferentes cargas de funcionamento simultaneamente :

- ◆ gr1 a: LM1 (TS+UDL) + q_{fk} (valor de combinação = 0,3 t/m²) ;
- ◆ gr3: q_{fk} (valor característico = 0,5 t/m²).

4.4.5. Momentos de flexão

Os momentos flectores a meio do vão para os diferentes casos de carga são apresentados no quadro seguinte :

Quadro 1 : Momentos de flexão (t.m)

	Vigas de borda	Vigas intermédias
Carga morta Gmax	573,96	628,80
Sobrecargas no local	34,68	42,34
Equipamento máximo do andar superior	163,88	135,59
Equipamento mínimo do convés superior	138,06	100,27
Carga viva	400,54	432,51

4.5. QUANTIDADES DE PRÉ-ESFORÇO

Para cada secção das vigas, as tensões σ_c devem satisfazer as seguintes condições :

- ◆ No SLS sob combinação de características: $-f_{ctm} \leq \sigma_c \leq 0,6 f_{ck}$ i.e. $-3,21 \text{ MPa} \leq \sigma_c \leq 21 \text{ MPa}$;
- ◆ No SLS em combinação frequente : $0 \leq \sigma_c \leq 0,6 f_{ck}$ i.e. $0 \leq \sigma_c \leq 21 \text{ MPa}$;
- ◆ Na fase de construção e no SLS em regime quase permanente :

$$0 \leq \sigma_c \leq 0,45 f_{ck} \text{ or } 0 \leq \sigma_c \leq 15,75 \text{ MPa.}$$

A força de pré-esforço P deve ser superior a P1 e P2 com :

- ◆ $P1 = (M_{max} - M_{min}) / (\rho x h) - A/h \times (v \times \sigma_{ti} + v' \times \sigma_{ts})$;
- ◆ $P2 = (M_{max} - \rho^* A^* v^* \sigma_{ti}) / (\rho \times v + v' - d')$.

d': distância entre o eixo do cabo e a superfície mais próxima

4.5.1. Fase 2

$$M_{max} = 6,80 \text{ MN.m}; M_{min} = 6,29 \text{ MN.m}, d = 0,105 \text{ m}$$

$$P = \max P_i = 0,98 P_0 - 1,2 \Delta P = 3,81 \text{ MN}$$

$$\Delta P = 0,25 P = 0,95 \text{ MN} \rightarrow P_0 = 5,61 \text{ MN}$$

$$\text{Número de cabos } n = P_0 / F_0 = 3,2$$

Para todas as vigas, são adoptados 4 cabos 8T15S, que constituem a primeira família de cabos a serem tensionados na fase 1.

4.5.2. Fase 5

◆ Vigas intermédias

Em combinações quase permanentes, frequentes e raras, a tensão de tração da fibra inferior a meio do vão σ_{ti} e a tensão de tração da fibra superior σ_{ts} devem ser verificadas nas condições acima indicadas

Quadro 2 : Momentos e pré-esforços para vigas intermédias

	C. Quasi-Permanente	C. Frequente	C. raro
M max (MN.m)	7,29	10,51	11,97
M min (MN.m)	7,29	7,64	7,64
P1 (MN)	0	2,62	2,21
P2 (MN)	4,50	6,48	6,20

$$P = \max P_i = 0,98P_{0-1,2} \quad \Delta P = 6,48 \text{ MN}$$

$$\Delta P = 0,25 P = 1,62 \text{ MN} \rightarrow P_0 = 9,53 \text{ MN}$$

$$\text{Número de cabos } n = P_0/F_0 = 5,4$$

Para as vigas intermédias, são adoptados 7 cabos 8T15S, que constituem a primeira e a segunda famílias de cabos. Esta última é então composta por 3 cabos a serem tensionados na fase 3.

◆ Vigas de borda

Quadro 3 : Momentos e pré-esforços para vigas de borda

	C. Quasi-Permanente	C. Frequente	C. raro
M max (MN.m)	7,12	9,70	11,38
M min (MN.m)	7,12	7,38	7,38
P1 (MN)	0	2,10	1,90
P2 (MN)	4,44	6,05	5,92

$$P = \max P_i = 0,98P_{0-1,2} \quad \Delta P = 6,05 \text{ MN}$$

$$\Delta P = 0,25 P = 1,51 \text{ MN} \rightarrow P_0 = 8,89 \text{ MN}$$

$$\text{Número de cabos } n = P_0/F_0 = 5,02$$

Como as vigas intermédias, são adoptados 7 cabos 8T15S para as vigas de bordadura, que constituem a primeira e a segunda família de cabos. Esta última é então composta por 3 cabos a serem tensionados na fase 3.

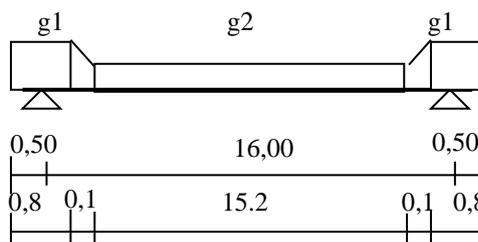
V. JUSTIFICAÇÃO DAS VIGAS DE BRIGOMA

5.1. CÁLCULO DA CARGA

as cargas nas vigas da ponte Brigoma foram calculadas utilizando o software ROBOT.

5.1.1. Fase 1 "estrutura em construção"

Durante o vazamento da laje, a viga é submetida ao peso da laje e das pré-lajes refabricadas utilizadas como cofragem perdida, bem como a uma sobrecarga de 0,1 t/m² no local, para além do seu próprio peso.



- g1 = 1,225 t/ml;
- g2 = 1,01 t/ml.

5.1.2. slabs and prefabricated pre-slabs dead load

- ◆ Vigas intermédias : 0,948 t/ml;
- ◆ Vigas de borda : 0,61 t/ml.

Quadro 4 : Cargas da fase 1

	Vigas de borda		Vigas intermédias	
	g1	g2	g1	g2
Carga morta da viga: g	1,225	1,01	1,225	1,01
g min (-3%)	1,188	0,980	1,188	0,980
G max (+3%)	1,262	1,040	1,262	1,040
Lajes + pré-lajes pré-fabricadas	0,61		0,948	
Total G	1,835	1,62	2,173	1,958
G min (-3%)	1,780	1,571	2,108	1,899
G max (+3%)	1,890	1,669	2,238	2,017
Sobrecarga no local qca (0,1 t/m ²)	0,108 t/ml		0,161 t/ml	

5.1.3. Equipamento do andar superior

As cargas dos equipamentos do andar superior são as seguintes :

- ◆ Sistema de impermeabilização : $g_1 = 0,004 \times 2,4 = 0,009 \times \text{t/m}^2$;
- ◆ Curso de desgaste : $g_2 = 0,07 \times 2,4 = 0,168 \text{ t/m}^2$;×

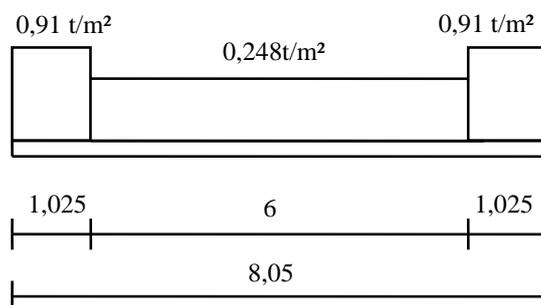
◆ Cornija + calçada + S8 + lancil: $g_3 = 0,91 \text{ t/m}^2$ distribuídos por 1.025 m.

Para ter em conta as possíveis variações destes encargos, apresentamos o seguinte quadro :

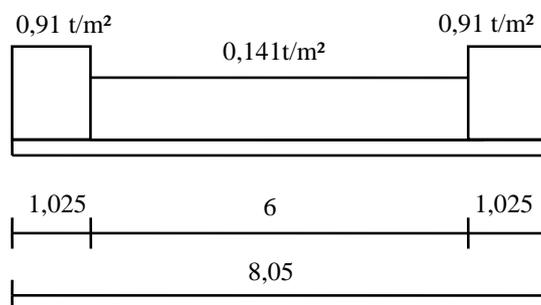
Quadro 5 : Possíveis variações de cargas

	g1	g2	g3
Variação	+ 40 % - 20 %	+ 40 % - 20 %	$\pm 0 \%$
Min	0,007	0,134	0,91
Max	0,013	0,235	0,91

5.1.3.1. Equipamento máximo do andar superior



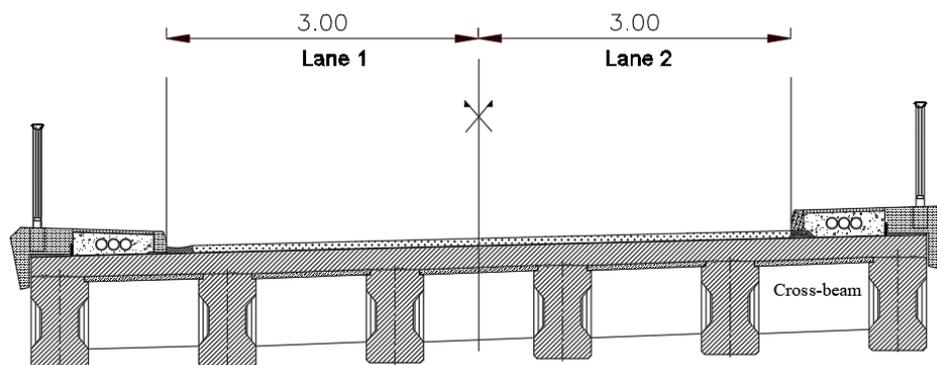
5.1.3.2. Equipamento mínimo do andar superior



5.1.4. Carga de tráfego

◆ Localização e numeração das vias:

A localização e a numeração das vias devem ser escolhidas de modo a produzir os efeitos mais negativos possíveis :



◆ Modelo de carga 1 (LM 1):

O sistema LM1 modela situações de fluxo livre e de congestionamento na presença de uma grande percentagem de veículos pesados de mercadorias.

◆ UDL cargas : $\alpha q q_k$

◆ TS cargas : αQ_k

Quadro 6 : Resumo do modelo de carga 1

	Faixa 1	Faixa 2	Área remanescente
α_Q	0,9	0,8	0
α_q	0,7	1	1
Width (m)	3,0	3,0	0
Q_k (t)	30	20	-
q_{ik} (t/m ²)	0,9	0,25	0,25
TS (t)	27	16	-
UDL (t/m ²)	0,63	0,25	0,25

The UDL overloads of the LM1 regulatory system were defined as loads uniformly distributed over the entire width of the carriageway and those coming from the TS tandems were modelled to travel a span with a pitch of 1,00 m and along longitudinal axes defined by their Y coordinates with respect to the axis of the right edge girder.

Eixo 1 Y = 4,32

Eixo 2 Y = 4,03

◆ Modelo de carga 3 (LM3)

Este modelo de tarifação permite ter em conta os veículos especiais (comboio de exceção e/ou comboio militar). Neste projeto, definiremos a passagem de um comboio militar MC120 (em conformidade com o fascículo 61, título II).

As sobrecargas militares regulamentares do tipo Mc120 foram modeladas para percorrer um vão com um passo de 1,00 m e ao longo de eixos longitudinais definidos pelas suas coordenadas Y em relação ao eixo da viga do bordo direito.

Eixo 1 Y = 4,88

Eixo 2 Y = 4,79

◆ Coeficiente de majoração dinâmica para o modelo de carga 3 (LM3):

As despesas do modelo 3 são multiplicadas por um coeficiente dinâmico de margem de lucro.

$$\delta = 1 + \frac{0,7}{1 + 0,2 L}$$

L = 16 m.

$\delta = 1,167$.

◆ Cargas em calçadas

Carga geral distribuída uniformemente nos passeios :

$$q_{fk} = 0,2 + 12/(L+10) \text{ t/m}^2$$
$$\text{and } 0,25 \leq q_{fk} \leq 0,5 \text{ t/m}^2$$

q_{fk} será considerado igual a 0,5 t/m²

◆ Acções multicomponentes :

Estas acções são representadas por grupos de carga que aplicam simultaneamente as diferentes cargas de funcionamento :

◆ gr1 a: LM1 (TS+UDL) + q_{fk} (valor de combinação = 0,3 t/m²);

◆ gr3: q_{fk} (valor característico = 0,5 t/m²);

◆ gr5: LM3 (Mc120).

5.1.5. Combinação de acções

Os diferentes casos foram realizados automaticamente com a ajuda do software ROBOT, a fim de obter as forças extremas em cada secção. Os diferentes casos de carga têm a seguinte forma :

◆ ULS:

$$C1 = 1,35 \text{ Sup} + 1,35 (\text{TS} + \text{UDL} + q_{fk})$$

$$C2 = 1,35 \text{ Sup} + 1,35 \text{ LM3}$$

$$C3 = 1,35 \text{ Sup} + 1,35 q_{fk}$$

◆ SLS:

Combinações de características :

$$C4 = \text{Sup} + \text{TS} + \text{UDL} + q_{fk}$$

$$C5 = \text{Sup} + \text{LM3}$$

$$C6 = \text{Sup} + q_{fk}$$

Combinações frequentes :

$$C7 = \text{Sup} + 0,75\text{TS} + 0,4\text{UDL}$$

$$C8 = \text{Sup} + 0,4 q_{fk}$$

5.1.6. Momentos de flexão

Os momentos flectores dos diferentes casos de cargas são apresentados nos quadros seguintes :

Quadro 7 : Momentos de flexão na fase SLS 1

Secção de cálculo	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L
Vigas EDGE						
g max	0,00	11,83	21,15	27,81	31,80	33,13
Situação 1: 1,2 g max	0,00	14,20	25,38	33,37	38,16	39,67
G max	0,00	19,01	33,97	44,66	51,08	53,21
Situação 2: G max +qca	0,00	20,24	36,17	47,55	54,38	56,66
VIGAS INTERMÉDIAS						
G max	0,00	22,97	41,04	53,95	61,69	64,27
Situação 2: G max + qca	0,00	24,80	44,32	58,25	66,62	69,41

Quadro 8 : Momentos fletores na fase ULS 1

Secção de cálculo	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L
Vigas EDGE						
g max	0,00	11,83	21,15	27,81	31,80	33,13
Situação 1: 1,62 g max	0,00	19,17	34,27	45,05	51,52	53,67
1,35 G max	0,00	25,67	45,87	60,30	68,95	71,84
Situação 2: 1,35 G max + 1,5 qca	0,00	27,51	49,16	64,63	73,91	77
1,35 G max	0,00	31	55,40	72,83	83,29	86,77
Situação 2: 1,35 Gmax + 1,5 qca	0,00	33,76	60,32	79,29	90,67	94,47

Quadro 9 : Momento fletor combinado com ULS - Fase 2 "Estrutura em serviço "

Combinations	Momentos de flexão combinados (SLS) in t.m									
	Vigas de borda					Vigas de borda				
	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L
C1	39,91	71,24	95,47	110,63	116,02	58,09	96,94	125,52	140,06	145,47
C2	42,49	75,93	101,15	116,48	121,46	52,47	91,96	119,00	135,08	140,48
C3	12,11	21,96	28,84	32,91	34,26	11,18	19,84	25,95	29,58	30,79
M (II)	42,49	75,93	101,15	116,48	121,46	58,09	96,94	125,52	140,06	145,47

Quadro 10 : Momento fletor combinado com SLS - Fase 2 "Estrutura em serviço "

Combinações	Momentos flectores combinados (SLS) em t.m									
	Vigas de borda					Vigas de borda				
	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L
C4	29,56	52,77	70,72	81,95	85,94	43,03	71,81	92,98	103,75	107,76
C5	31,47	56,25	74,93	86,28	89,97	38,86	68,12	88,15	100,06	104,06
C6	8,97	16,27	21,36	24,38	25,38	8,28	14,70	19,22	21,91	22,80
C7	21,01	37,56	50,35	58,35	61,20	30,86	51,29	66,41	74,47	76,92
C8	7,51	13,58	17,84	20,37	21,21	7,11	12,65	16,55	18,86	19,63
M (II)	31,47	56,25	74,93	86,28	89,97	43,03	71,81	92,98	103,75	107,76

5.1.7. Momentos flectores deslocados (em t.m)

O momento fletor de compensação das cargas e sobrecargas para as vigas de bordadura e intermédias é apresentado no quadro seguinte :

Quadro 11 : Momentos de dobragem deslocados no SLS - Fase 1

Secção de cálculo	0 m	2 m	4 m	5 m	6 m	8 m
VIGAS EDGE						
g max	6,35	19,13	27,79	30,59	32,40	33,13
Situação 1: 1,2 g max	10,28	22,96	33,35	36,71	38,86	39,67
G max	10,20	30,73	44,63	49,13	52,03	53,21
Situação 2: G max + 1,2qca	10,86	32,72	47,52	52,31	55,40	56,66
VIGAS INTERMÉDIAS						
G max	12,32	37,13	53,91	59,35	62,85	64,27
Situação 2: G max + 1,2qca	13,30	40,09	58,22	64,09	67,87	69,41

Quadro 12 : Momentos de flexão deslocados na ULS - Fase 1

Secção de cálculo	0 m	2 m	4 m	5 m	6 m	8 m
VIGAS EDGE						
g max	6,35	19,13	27,79	30,59	32,40	33,13
Situação 1: 1,62 g max	10,28	31,00	45,02	49,57	52,49	53,67
1,35 G max	13,77	41,50	60,25	66,33	70,24	71,84
Situação 2: 1,35G max + 1,5 qca	14,76	44,47	64,59	71,11	75,31	77,00
VIGAS INTERMÉDIAS						
1,35 G max	16,63	50,12	72,78	80,12	84,85	86,77
Situação 2: 1,35 G max + 15 qca	18,11	54,57	79,23	87,23	92,37	94,47

Quadro 13 : Momento de flexão deslocado no SLS - Fase 2 "Em serviço "

Secção x	0 m	2 m	4 m	5 m	6 m	8 m
M(II) Vigas de borda deslocada	20,45	53,71	76,48	83,87	88,56	89,97
M(II) Vigas intermédias com desvio	28,08	69,48	94,37	101,64	106,01	107,76

Quadro 14 : Momento fletor deslocado na ULS - Fase 2 "Em serviço "

Section x	0 m	2 m	4 m	5 m	6 m	8 m
M(II) Vigas de borda deslocada	27,60	72,50	103,24	113,22	119,54	121,46
M(II) Vigas intermédias com desvio	37,91	93,80	127,39	137,20	143,10	145,47

5.1.8. Forças de corte

As forças de corte dos diferentes casos de carga são apresentadas nos quadros seguintes :

Quadro 15: Forças de cisalhamento - Fase 1

Secção de cálculo	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L
VIGAS EDGE						
g max	8,39	6,66	4,99	3,33	1,66	0,00
Situação 1 : 1,35 x 1,2 g max	13,59	10,78	8,09	5,39	2,70	0,00
1,35 G max	18,13	14,43	10,82	7,21	3,61	0,00
Situação 2: 1,35 Gmax + 1,5 q _{ca}	19,42	15,47	11,60	7,73	3,87	0,00
VIGAS INTERMÉDIAS						
1,35 G max	21,87	17,43	13,07	8,71	4,36	0,00
Situação 2: 1,35 G max + 1,5 q _{ca}	23,80	18,97	14,23	9,49	4,74	0,00

Quadro 16 : Forças de corte - Fase 2 "Trabalho em serviço"

Combinções	Forças de cisalhamento combinadas (ULS) em toneladas									
	Vigas de borda					Vigas intermédias				
	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L
C1	22,82	21,97	18,85	14,80	10,26	39,66	37,01	30,18	23,87	20,27
C2	24,53	23,90	20,49	16,11	11,57	38,89	34,85	28,27	22,92	19,20
C3	8,55	7,68	5,68	3,86	2,12	7,34	6,68	5,01	3,43	1,89
V _{Ed} (II)	24,53	23,90	20,49	16,11	11,57	39,66	37,01	30,18	23,87	20,27
V _{Ed} (II) excêntrico	24,53	23,85	19,64	13,91	8,85	39,66	36,99	28,83	21,55	21,61

5.2. JUSTIFICAÇÕES

5.2.1. Reforço longitudinal

5.2.1.1. Resultados da ULS

Quadro 17 : Soma dos momentos flectores em ULS - Fase 2+1

Combinções	Soma dos momentos flectores (ULS) em t.m- Fase 1+2									
	Vigas de borda					Vigas intermédias				
	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,5 L
1,35 Gmax + C1	-	-	-	-	-	127,94	152,734	198,35	223,35	232,24
1,35 Gmax + C2	101,6	121,8	161,45	185,43	193,3	-	-	-	-	-

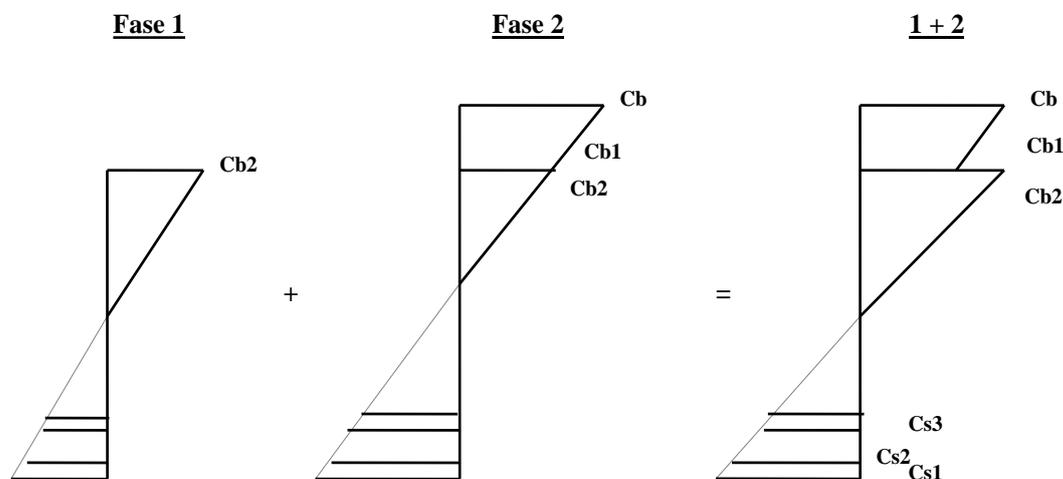
A área da secção transversal teórica do aço na ULS correspondente ao momento fletor mais desfavorável a meio do vão é igual a 55,3 cm²

5.2.1.2. Reforço adotado

A armadura longitudinal da viga é constituída por duas camadas de 5 varões HA32 cada e uma terceira camada de 2 varões HA32. Em cada camada serão efectuados cortes impostos quer pelo comprimento máximo das barras (12m) quer por considerações de momento fletor, de modo a que

o número de barras contínuas à direita de cada secção de projeto seja capaz de equilibrar o momento fletor nessa secção.

5.2.1.3. Verificação das restrições



a) Fase 1

Nesta fase, as vigas têm uma secção em I e serão verificadas quanto aos momentos flectores deslocados relativos a esta fase. As tensões nos aços e no betão sob a carga de peso próprio G_{max} são dadas nos quadros seguintes :

Quadro 18: Tensões nos aços e no betão - G_{max} - Viga de borda

Secção	CB2	Cs1	Cs2	Cs3	C's
8	7,09	91,74	82,53	64,09	82,17
6	7,05	96,92	87,50	68,64	80,94
5	6,71	92,86	83,86	65,86	76,94
4	6,41	102,90	93,65	75,13	71,76
2	3,07	34,81	31,05	-	36,11
0	1,14	12,03	-	-	13,53

Quadro 19: Tensões nos aços e no betão - G_{max} - Viga intermédia

Secção	CB2	Cs1	Cs2	Cs3	C's
8	8,57	110,81	99,68	77,41	99,25
6	8,52	117,09	105,70	82,92	97,78
5	8,10	112,18	101,31	79,56	92,95
4	7,74	124,31	113,13	90,76	86,69
2	5,13	79,34	72,07	-	57,87
0	1,38	14,54	-	-	16,36

b) Fase 2

Nesta fase, a laje contribui para a resistência da viga. A secção é, portanto, em forma de "T". As tensões no betão e em cada camada de armadura são dadas nas tabelas seguintes (em MPa).

Quadro 20: Tensões nos aços e no betão - Fase 2 - Viga de borda

Secção	Cb	CB1	CB2	Cs1	Cs2	Cs3	C's
8	5,19	2,71	2,71	110,91	107,57	93,47	18,41
6	5,22	2,64	2,64	118,68	115,20	100,48	16,32
5	4,96	2,50	2,50	112,92	109,61	95,61	15,43
4	4,80	2,21	2,21	125,70	122,20	107,43	9,78
2	3,28	1,53	1,53	84,15	81,79	-	7,22
0	1,11	0,68	0,68	15,84	-	-	6,41

Quadro 21 : Tensões nos aços e no betão - Fase 2 - Viga intermédia

Secção	Cb	CB1	CB2	Cs1	Cs2	Cs3	C's
8	4,74	2,11	2,11	129,50	125,95	110,95	8,02
6	4,78	2,02	2,02	138,59	134,87	119,15	5,53
5	4,59	1,94	1,94	133,45	129,87	114,74	5,25
4	4,55	1,67	1,67	151,38	147,49	131,08	-0,91
2	3,26	1,22	1,22	106,51	103,76	-	-0,04
0	1,17	0,67	0,67	20,36	-	-	5,62

◆ Stress Overlay: Fase 1 + Fase 2

As tensões resultantes da sobreposição das tensões da fase 1 (peso próprio Gmax) e das tensões da fase 2 são apresentadas nos quadros seguintes (em MPa):

Quadro 22 : Tensões nos aços e no betão - Fase 1+2 - Viga de borda

Secção	Cb	CB1	CB2	Cs1	Cs2	Cs3	C's
8	5,19	2,71	9,81	202,65	190,10	157,56	100,58
6	5,22	2,64	9,69	215,61	202,69	169,12	97,26
5	4,96	2,50	9,21	205,78	193,47	161,47	92,37
4	4,80	2,21	8,62	228,61	215,85	182,56	81,54
2	3,28	1,53	4,60	118,96	112,84	-	43,33
0	1,11	0,68	1,82	27,87	-	-	19,94

Quadro 23 : Tensões nos aços e no betão - Fase 1+2 - Viga intermédia

Secção	Cb	CB1	CB2	Cs1	Cs2	Cs3	C's
8	4,74	2,11	10,68	240,31	225,62	188,36	107,27
6	4,78	2,02	10,54	255,68	240,57	202,08	103,32
5	4,59	1,94	10,05	245,63	231,17	194,31	98,19
4	4,55	1,67	9,41	275,69	260,62	221,84	85,78
2	3,26	1,22	6,35	185,86	175,83	-	57,84
0	1,17	0,67	2,05	34,90	-	-	21,97

5.2.2. Reforço transversal

5.2.2.1. Verificação da força de corte

A força de corte de cálculo $V_{Rd,C}$, $V_{Rd,s}$, $V_{Rd,max}$ são dados por:

$$V_{Rd,C} = [C_{Rd,c} \times k \times \sqrt[3]{100 \times \rho_1 \times f_{ck}} + k_1 \times \sigma_{cp}] \times b_w \times d$$

Com um valor mínimo $V_{Rd,C} = [V_{min} + k_1 \times \sigma_{cp}] \times b_w \times d$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \times z \times f_{ywd} \times \sin(\alpha) \times (1 + \cot(\alpha))$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \times \alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times f_{cd} \times (1 + \cot(\alpha))$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}; \quad k = \min\left\{1 + \sqrt{\frac{200}{d}}; \rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \times d}; \sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c}; V_{min} = 0,053/1,5 \times k^{3/2} \sqrt{f_{ck}}\right.$$

$$\left. k_1 = 0,15; v_1 = 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right); \alpha_{cw} = 1; \theta = 45^\circ; \alpha = 90^\circ; f_{ywk} = f_{yk}; f_{ywd} = \frac{f_{ywk}}{\gamma_s}; z=0,9d\right.$$

O valor máximo da força de corte em cada secção de projeto da viga e para cada uma das fases é apresentado nos quadros seguintes :

Quadro 24: Força de corte máxima - Fase 1 -Gmax (secção I, d = 0,81 m)

Secção	Viga de borda					Viga intermédia				
	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L
bw (t)	0,550	0,350	0,350	0,350	0,350	0,550	0,350	0,350	0,350	0,350
k	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Asl	0,0041	0,0072	0,0080	0,0097	0,0097	0,0041	0,0072	0,0080	0,0097	0,0097
ρ_1	0,00918	0,02000	0,02000	0,02000	0,02000	0,00927	0,02000	0,02000	0,02000	0,02000
z	0,729	0,729	0,729	0,729	0,729	0,729	0,729	0,729	0,729	0,729
VMIN	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354
VEd I(t)	18,13	14,46	9,84	5,25	1,35	21,87	17,46	11,89	6,34	1,63
VRdc(t)	24,17	19,94	19,94	19,94	19,94	24,17	19,94	19,94	19,94	19,94

Quadro 25 : Força de corte máxima - Fase 2, (secção em T, d = 1 m)

Secção	Viga de borda					Viga intermédia				
	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L
bw (t)	0,550	0,350	0,350	0,350	0,350	0,550	0,350	0,350	0,350	0,350
k	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Asl	0,00409	0,00724	0,00965	0,01126	0,01126	0,00409	0,00724	0,00965	0,01126	0,01126
ρ_1	0,00744	0,02000	0,02000	0,02000	0,02000	0,00744	0,02000	0,02000	0,02000	0,02000
z	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
VMIN	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337
VEd I(t)	24,53	23,85	20,49	16,11	11,57	39,66	36,99	28,83	21,55	21,61
VRdc(t)	26,89	23,80	23,80	23,80	23,80	26,89	23,80	23,80	23,80	23,80

Quadro 26: Forças de corte totais: Fase 1 + Fase 2

Secção	Viga de borda					Viga intermédia				
	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L
Fase 1	18,13	14,46	9,84	5,25	1,35	21,87	17,46	11,89	6,34	1,63
Fase 2	24,5	23,9	20,5	16,1	11,6	39,7	37,0	28,8	21,5	21,6
VEd(t)	42,7	38,3	30,3	21,4	12,9	61,5	54,4	40,7	27,9	23,2

5.2.2.2. Definição de armadura transversal

A armadura transversal é constituída por um pórtico e um ligador HA12 por cada armadura transversal.

Para a determinação do espaçamento das camadas de armadura transversal, dispensamos o cálculo faseado e consideramos a fase da estrutura em serviço.

Estando a viga sujeita a flexão simples com betonagem sem qualquer tratamento especial e armadura de alma reta, o espaçamento das camadas de armadura de alma é dado pela seguinte fórmula :

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{0,9 \times d \times f_{ywd}}$$

$$A_{sw} = 4,52 \text{ cm}^2$$

A secção transversal mínima da armadura de alma é expressa pela seguinte fórmula :

$$\left[\frac{A_{sw}}{s} \right]_{\text{Min}} = 0,08 \times \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \times b_w$$

O espaçamento máximo das camadas de armadura da alma é :

$$\left[\frac{A_{sw}}{s} \right]_{\text{Max}} = \frac{0,5 \times v_1 \times f_{cd} \times b_w}{f_{ywd}}$$

Os espaçamentos teóricos e adoptados para as camadas de armadura de alma são apresentados no quadro seguinte :

Quadro 27 : Espaços teóricos e adoptados para cursos de reforço na Web

Secção	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L
VEd(t)	66,660	58,545	43,510	29,370	23,622
VRd Max (t)	261,36	166,32	166,32	166,32	166,32
Fyk (MPa)	500	500	500	500	500
Fcd(MPa)	20	20	20	20	20
bw (m)	0,550	0,350	0,350	0,350	0,350
d (m)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Secção	0,0 L	0,1 L	0,2 L	0,3 L	0,4 L
V1	0,528	0,528	0,528	0,528	0,528
Asw (cm ²)	4,52	4,52	4,52	4,52	4,52
Smax (cm)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Smin (cm)	6,77	10,63	10,63	10,63	10,63
S < (cm)	26,53	30,21	40,65	60,00	60,00
Retained St (cm)	15,0	20,0	25,0	33,0	33,0

APÊNDICES