



**Engenharia, Construções
e Ferrovias S.A.**

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga – Pavimentação	Nº VALEC	Fl. 1/21
	80 MC 000A 23 8000	
	FIOL / ES-FNS	RV 0

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES



ENGENHARIA, CONSTRUÇÕES E FERROVIAS S/A.

MEMÓRIA DE CÁLCULO – PAVIMENTAÇÃO PN – BITOLA LARGA

ABRIL/2016

**Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação**

Nº VALEC

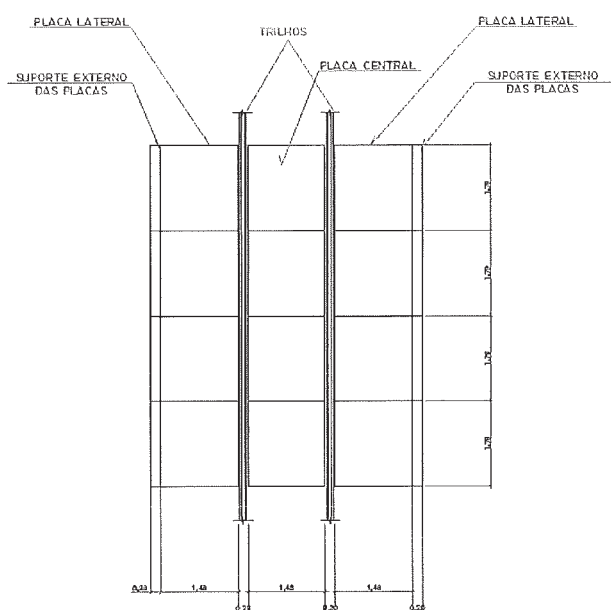
Fl. 2/21

80 MC 000A 23 8000**FIOL / ES-FNS****RV 0****Memória de Cálculo – PN Bitola larga– Pavimentação****Descrição da obra/serviço**

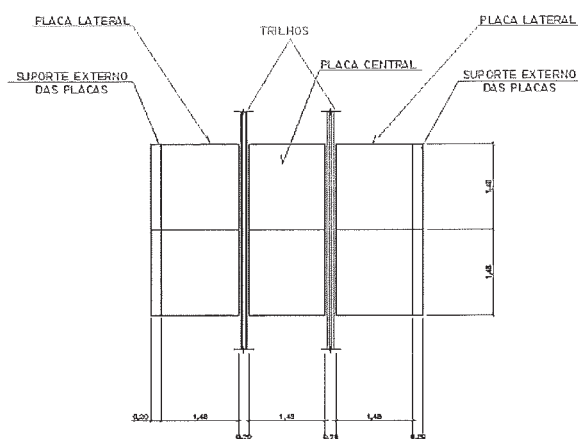
A Pavimentação da Passagem em Nível é utilizada para permitir a passagem de veículos sobre a superestrutura ferroviária, permitindo o livre tráfego ferroviário e rodoviário. As PN's são executadas em locais determinados pela Valec.

Basicamente, a Pavimentação consiste em placas de concreto apoiadas nos dormentes e em vigas de apoio instaladas no solo. A PN Tipo I e Tipo III são compostas por 12 placas e a Tipo II por 06 placas, respectivamente. As placas centrais são apoiadas nos dormentes entre os trilhos. As placas laterais são apoiadas entre os dormentes e as vigas de apoio. O espaço vazio debaixo das placas é preenchido pelo lastro. As placas laterais são posicionadas de acordo com a inclinação do aterro que será executado nas adjacências da superestrutura a ser transposta. Deve-se procurar ajustar as placas externas de modo que as inclinações sejam suaves e as vigas de apoio devem ser protegidas a fim de se evitar choques e/ou colisões que possam danificá-la.

PLANTA BAIXA - FORMA

PN - TIPO I
PAVIMENTAÇÃO

PLANTA BAIXA - FORMA

PN - TIPO II / TIPO III
PAVIMENTAÇÃO

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação

Nº VALEC

Fl. 3/21

80 MC 000A 23 8000

FIOL / ES-FNS

RV 0

Esta memória de cálculo trata apenas da verificação da Pavimentação da PN (passagem em nível), Tipo I, Tipo II e Tipo III.

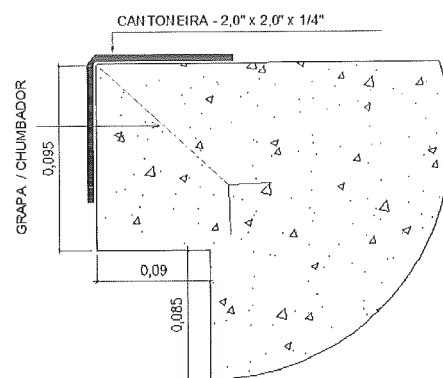
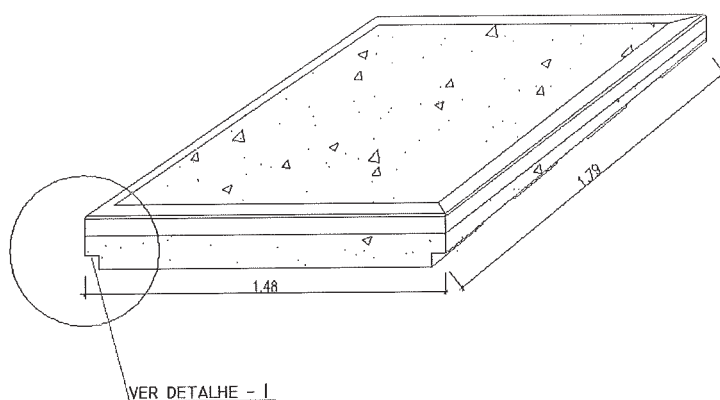
Esta verificação surgiu da necessidade da correção nos quantitativos do Projeto existente 80-D3ES-000A-23-8001

Foi feita a verificação da espessura da placa (altura h) e das armaduras utilizadas. Foi apresentado um novo “lay-out” da disposição dos detalhes na prancha de desenho.

A verificação de cálculo apresentada é o de uma placa, chamada de **Placa Típica de Referência**. Esta placa tem as dimensões de 1,48 m x 1,79 m e 0,18 m de espessura. Esta placa foi verificada para a situação mais desfavorável de carregamento. A carga móvel rodoviária e o coeficiente de impacto utilizados nesta verificação, estão de acordo com as prescrições da NBR 7188 – 2013.

É utilizado uma cantoneira de proteção em todo o perímetro da placa com as dimensões de (2" x 2" x 1/4"). A fixação da cantoneira é feita utilizando-se grapas/chumbadores ao longo do perímetro da placa.

DETALHE DA CANTONEIRA



DETALHE 1

O detalhe 1, mostra o entalhe que deve ser executado quando vai se fabricar a placa. Este entalhe é feito para proteger o grampo de fixação do trilho.

Vale salientar, que é importante verificar sempre a geometria do entalhe, pois a placa não deve se apoiar no grampo. Ao longo da dimensão de 1,79 m na placa,

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga – Pavimentação	Nº VALEC	Fl. 4/21
	80 MC 000A 23 8000	
	FIOL / ES-FNS	RV 0

é colocado uma armadura (Corte C-C) de enrijecimento na região próxima da borda da placa. As placas centrais estão apoiadas nos dormentes e as placas laterais estão apoiadas nos dormentes e nas vigas de apoio.

No prancha de desenhos, estão indicados 02 pontos para içamento da placa, visando a sua premoldagem.

- Se o construtor fizer a opção de içamento com alças de aço, é recomendado a utilização de pelo menos ferro com bitola de $\phi 10$ mm.

Critérios de cálculo para a verificação

A placa típica foi verificada como laje apoiada e armada em 01 (uma) direção, na dimensão de 1,48 m. Na direção de 1,79 m, na região onde a placa se apoia nos dormentes, teremos 3 apoios e as bordas são livres. Portanto, foi analisada como comportamento de viga hiperestática com 3 apoios e largura unitária.

OBS: O contato com o dormente é um apoio de aproximadamente 30 cm (depende do contato com o dormente)

Foram definidas 02 (duas) regiões distintas para a posição da placa.

Placa Central

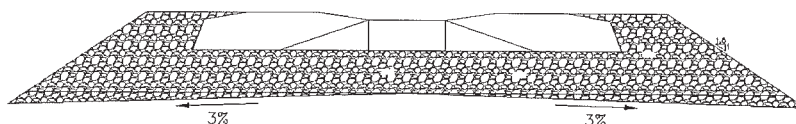
Região I - Condição de apoio: dormente – dormente. (Mais crítica)

Região II – Bordas livres

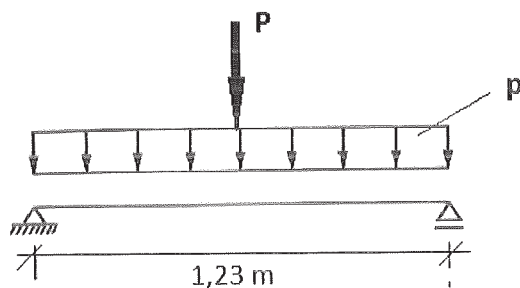
Placa Lateral

Região I - Condição de apoio: dormente – viga de apoio.

Região II - Bordas livres



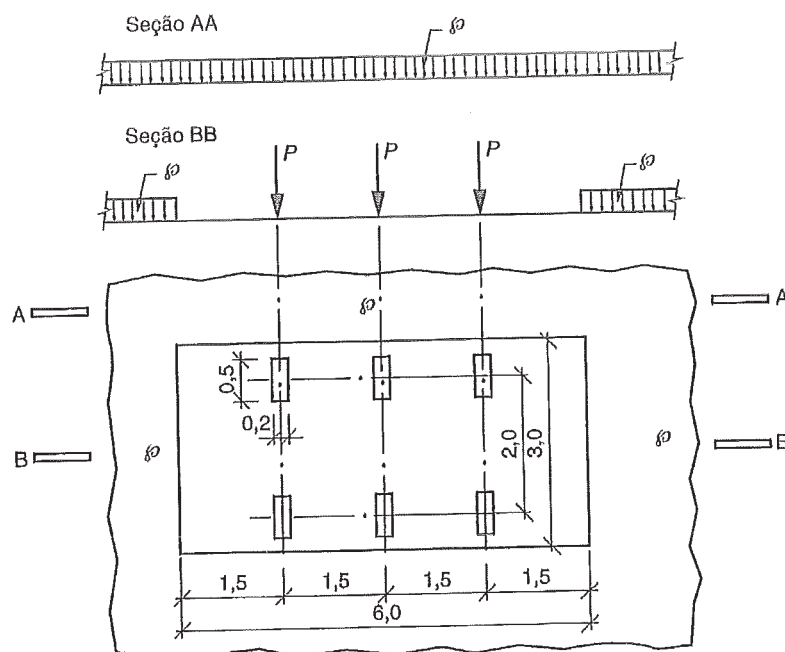
SEÇÃO TRANSVERSAL DA SUPERESTRUTURA

ESTRUTURA ANALISADA NA DIREÇÃO DE $l = 1,48$ m

A Região II da placa lateral é mais crítica, pois é a situação que apresenta maior vão.

A largura do apoio na viga é de 20 cm. A largura do apoio sobre o dormente foi adotada como 30 cm.

Foi considerado a carga móvel padrão rodoviária TB-450, que é definida por um veículo tipo de 450 kN, com seis rodas, $P = 75$ kN, três eixos de carga afastados entre si em 1,5 m, com área de ocupação de $18,0 \text{ m}^2$ circundada por uma carga uniformemente distribuída constante $p = 5,0$ kN/m



DISPOSIÇÃO DAS CARGAS ESTÁTICAS (FIGURA EXTRAÍDA DA NBR 7188-2013, PG 4)

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação

Nº VALEC

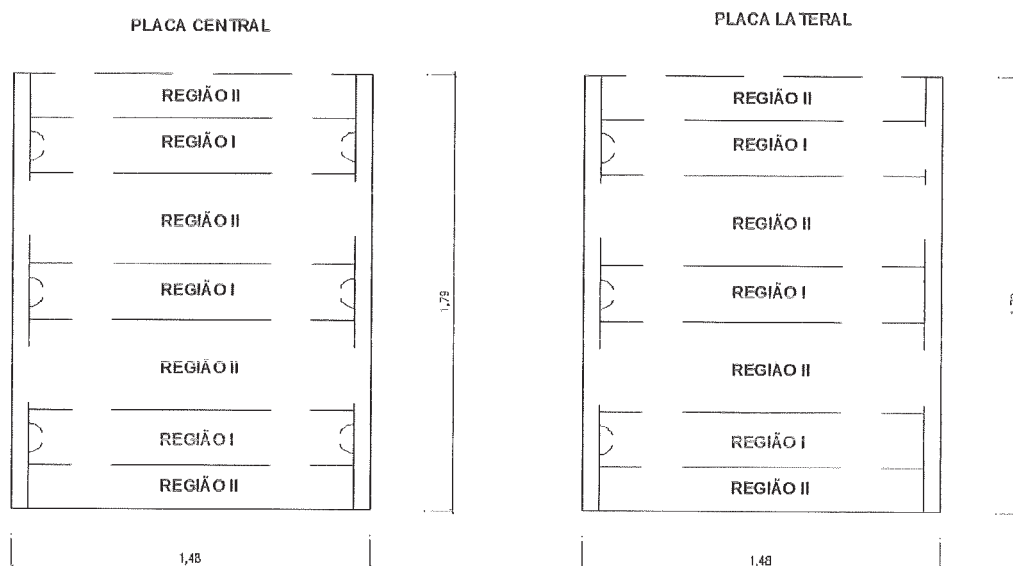
Fl. 6/21

80 MC 000A 23 8000

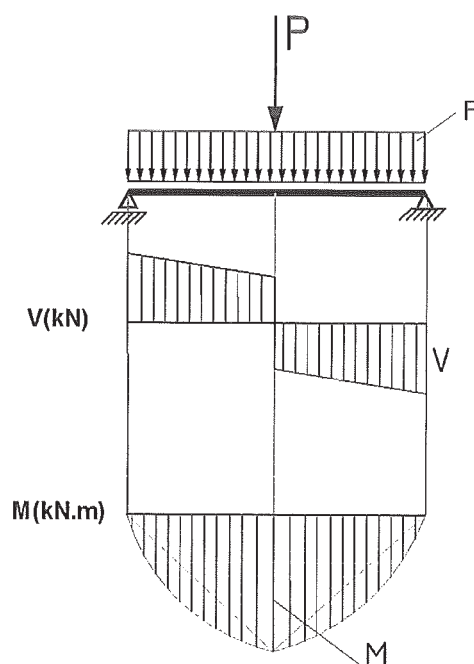
FIOL / ES-FNS

RV 0

Em função das dimensões adotadas para a placa, a situação mais desfavorável acontece quando uma carga concentrada P estiver no meio do vão juntamente com a carga distribuída.



DISTRIBUIÇÃO DAS REGIÕES ADOTADAS NESTA ANÁLISE



DISTRIBUIÇÃO DOS ESFORÇOS UTILIZADOS NESTA ANÁLISE

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação

Nº VALEC

Fl. 7/21

80 MC 000A 23 8000

FIOL / ES-FNS

RV 0

$P = 75 \text{ kN}$ (valor característico sem aplicação do coef de impacto)

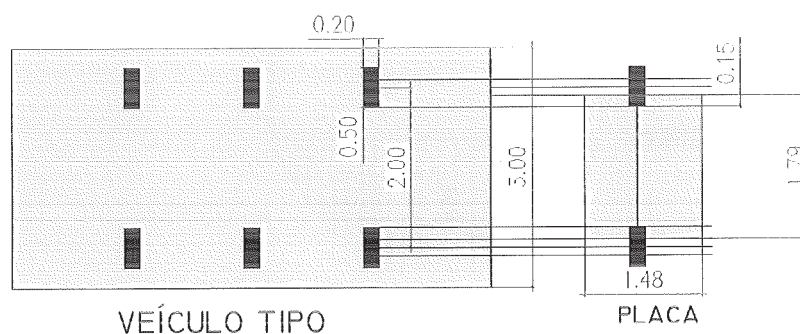
$p = 5 \text{ kN/m}^2$ (valor característico sem aplicação do coef de impacto)

p.p. da placa = $0,18 \times 25 = 4,5 \text{ kN/m}^2$

$\phi = \text{CIV} = \text{Coef. de Impacto Vertical} = 1,35$ (estruturas com vão menor que 1,35)

$\phi' = \text{CIA} = \text{Coef. de Impacto Adicional} = 1,25$ (obras em concreto ou mistas)

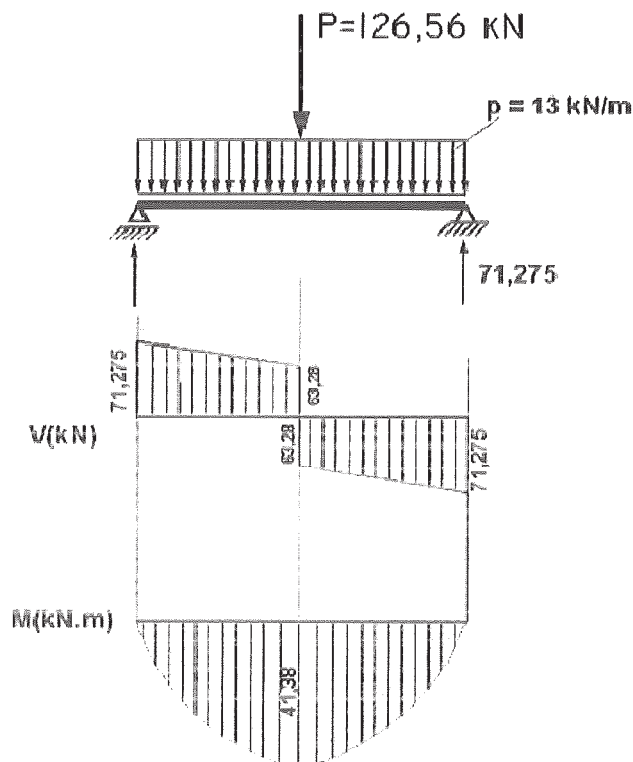
- CIA será adotado para majorar os carregamentos na região das juntas e extremidades, pois, o veículo tipo tem as dimensões muito próximas da placa analisada.



Valores dos carregamentos adotados na análise: (Já aplicados os coef. de Impacto)

$$P = 75 \times 1,35 \times 1,25 = 126,56 \text{ kN}$$

$$p = 5,0 \times 1,35 \times 1,25 + 4,5 \text{ (p.p.)} = 13,0 \text{ kN/m}^2 \times \text{m}$$



Dados para a verificação da estrutura de concreto armado:

Concreto Classe 25 ($f_{ck} = 25 \text{ MPa}$) ; Aço CA 60

Análise da Flexão Simples

$$M = 41,38 \text{ kN.m /m}$$

$$d_{2-3} = k_{2-3} \cdot \sqrt{\frac{M}{b \cdot f_{ck}}} = 3,522 \cdot \sqrt{\frac{41,38}{1,0 \cdot 2,5}} = 14,33 \text{ cm}$$

$$d_{3-4} = k_{3-4} \cdot \sqrt{\frac{M}{b \cdot f_{ck}}} = 2,537 \cdot \sqrt{\frac{41,38}{1,0 \cdot 2,5}} = 10,32 \text{ cm}$$

H = 18 cm ; d' = 4 cm e d = 14 cm altura ok!

Cálculo da Armadura principal

$$k_{\text{calc}} = \frac{d_{\text{adot}}}{\sqrt{\frac{M}{b \cdot f_{ck}}}} = \frac{14}{\sqrt{\frac{41,38}{1,0 \times 2,5}}} = 3,441$$

Tabela de Concreto:

$$\alpha = 33,09 \text{ kN/cm}^2$$

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga – Pavimentação	Nº VALEC	Fl. 9/21
	80 MC 000A 23 8000	
	FIOL / ES-FNS	RV 0

$$A_s = \frac{M}{\alpha \cdot d} = \frac{41,38}{33,09 \cdot 0,14} = 8,93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\phi 8,0 \text{ mm } c/5,5 = 9,145 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\phi 10,0 \text{ mm } c/8,5 = 9,235 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Na região B, o valor adotado foi de $\phi 8,0 \text{ mm } c/5,75 = 10 \text{ cm}^2/\text{m}$ ok!

Verificação ao cisalhamento

Seção transversal: 0,18 m x 1,00 m

Resistência de cálculo:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} = \frac{25}{1,4} = 17,86 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{600}{1,15} = 521 \text{ MPa}$$

O valor a ser adotado não pode superar 435 MPa (correspondente ao CA 50) – NBR6118

Logo, o valor será $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$

Esforço cortante máximo (característico) = 71,275 kN

Esforço cortante de cálculo: $71,275 \times 1,4 = 99,79 \text{ kN}$

Tensão convencional de cisalhamento

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{b_w \cdot d} = \frac{99,79}{100 \times 14} = 0,0712 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,712 \text{ MPa}$$

Tensão de cisalhamento limite

$$\tau_{wu} = 0,27 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} = 0,27 \cdot \left(1 - \frac{25}{250}\right) \cdot 17,86 = 4,34 \text{ MPa}$$

Verificação da biela de compressão

Como $\tau_{wd} \leq \tau_{wu}$, a seção atende, ou seja, não há necessidade de mudança da seção.

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação

Nº VALEC

Fl. 10/21

80 MC 000A 23 8000

FIOL / ES-FNS

RV 0

Verificação da necessidade de armadura de cisalhamento

$$\tau_c = \psi_3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 0,09 \cdot (25)^{2/3} = 0,77 \text{ MPa}$$

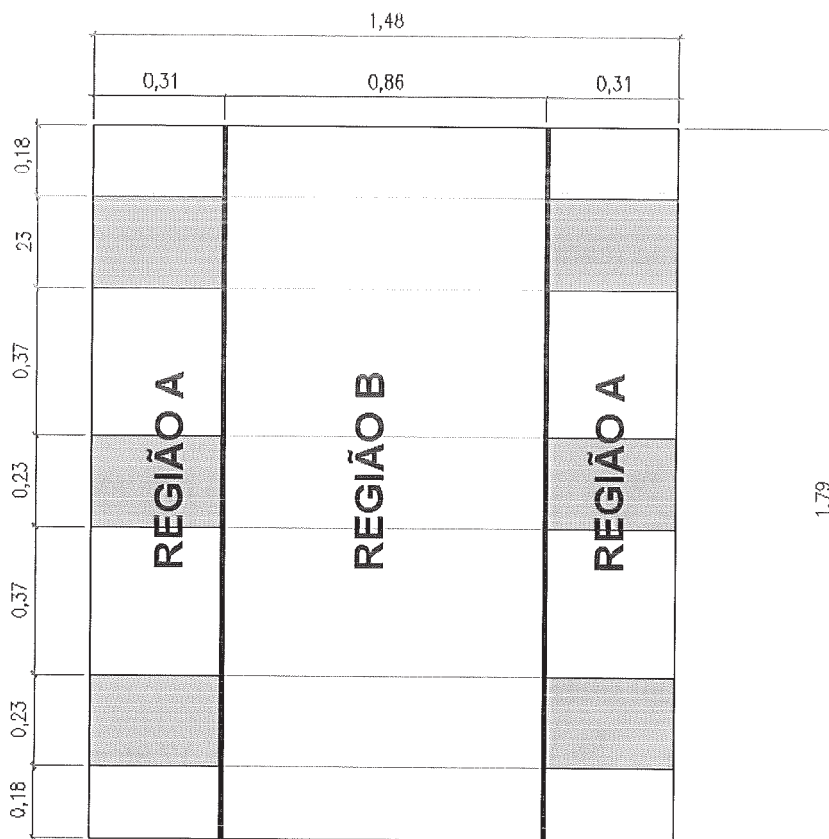
$$\tau_d = 1,11 \cdot (\tau_{wd} - \tau_c) = 1,11 \cdot (0,712 - 0,77) \leq 0$$

Logo, não há necessidade de armadura para cisalhamento

Verificação dos esforços na direção de $\ell = 1,79 \text{ m}$ (Foi considerado no cálculo o valor de 1,80 m para o comprimento total da placa).

Nesta direção, a placa é apoiada nos dormentes (região A), que estão fixados a cada 60 cm de distância um do outro.

Nesta mesma direção, existe uma região que não tem apoio nos dormentes e fica apenas encostada no lastro (região B).



Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação

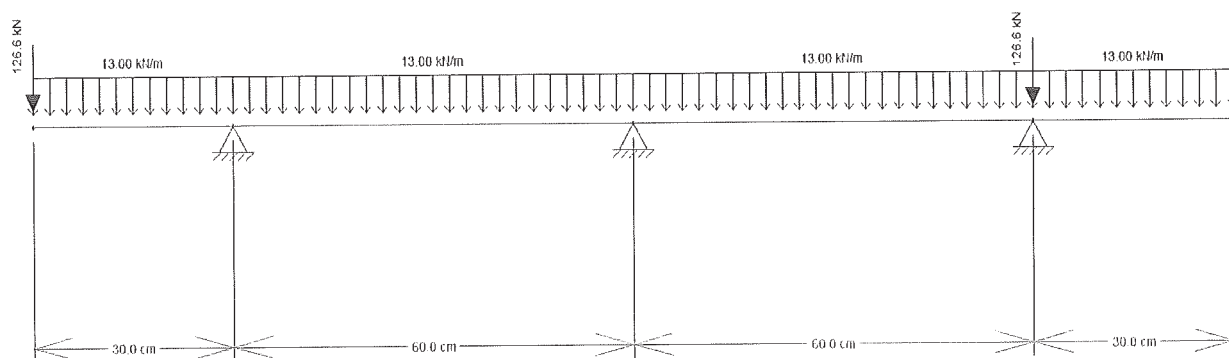
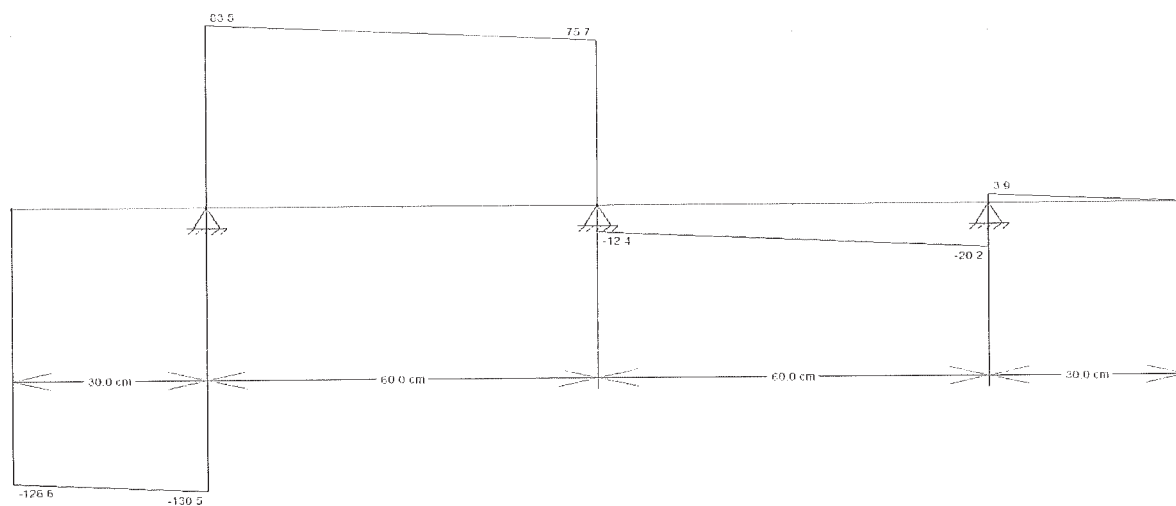
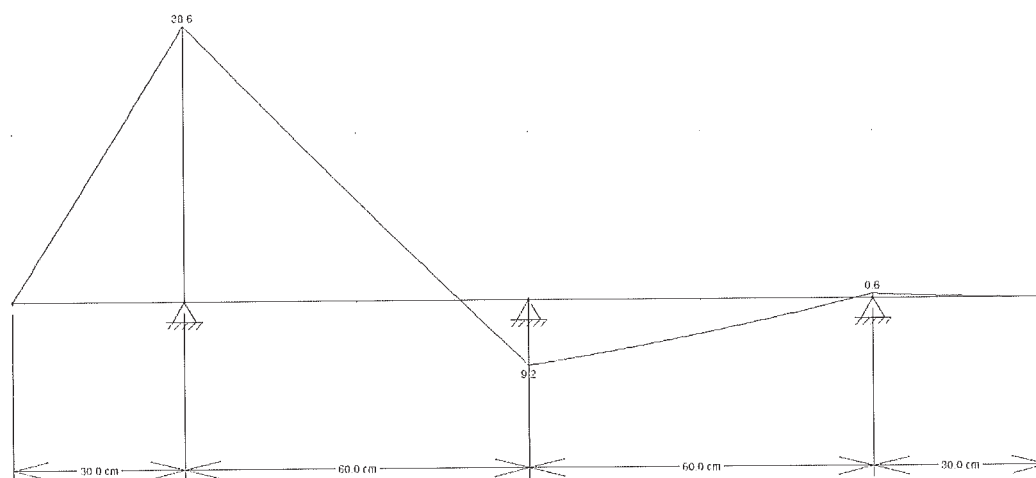
Nº VALEC

80 MC 000A 23 8000

Fl. 11/21

FIOL / ES-FNS

RV 0

Estrutura analisada ($l_{adotado} = 1,80$ m) – Trem-Tipo Posição 1 V (kN) M (kN.m)

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação

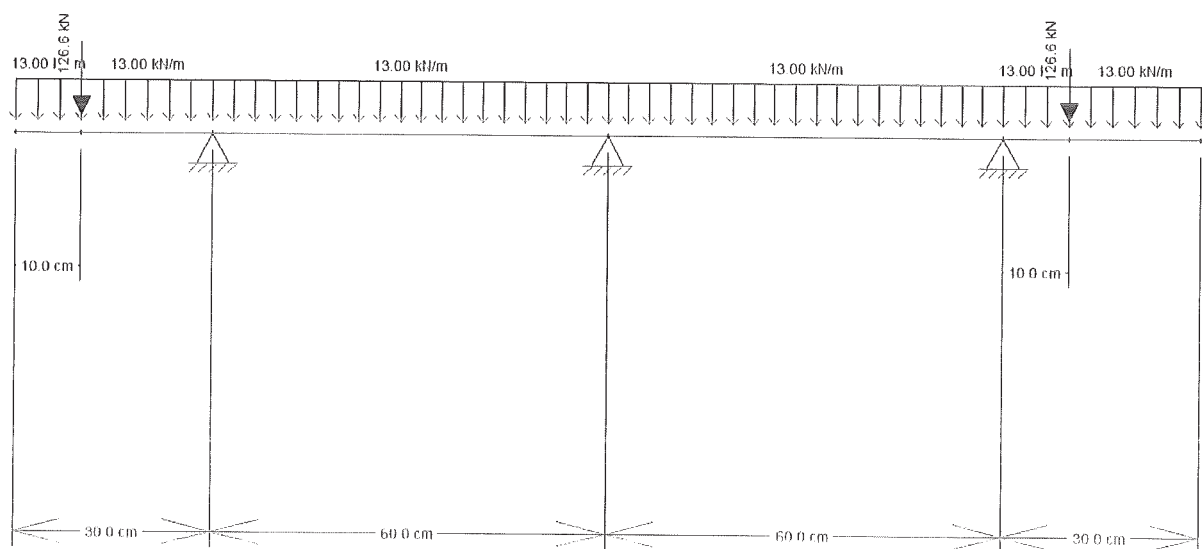
Nº VALEC

Fl. 12/21

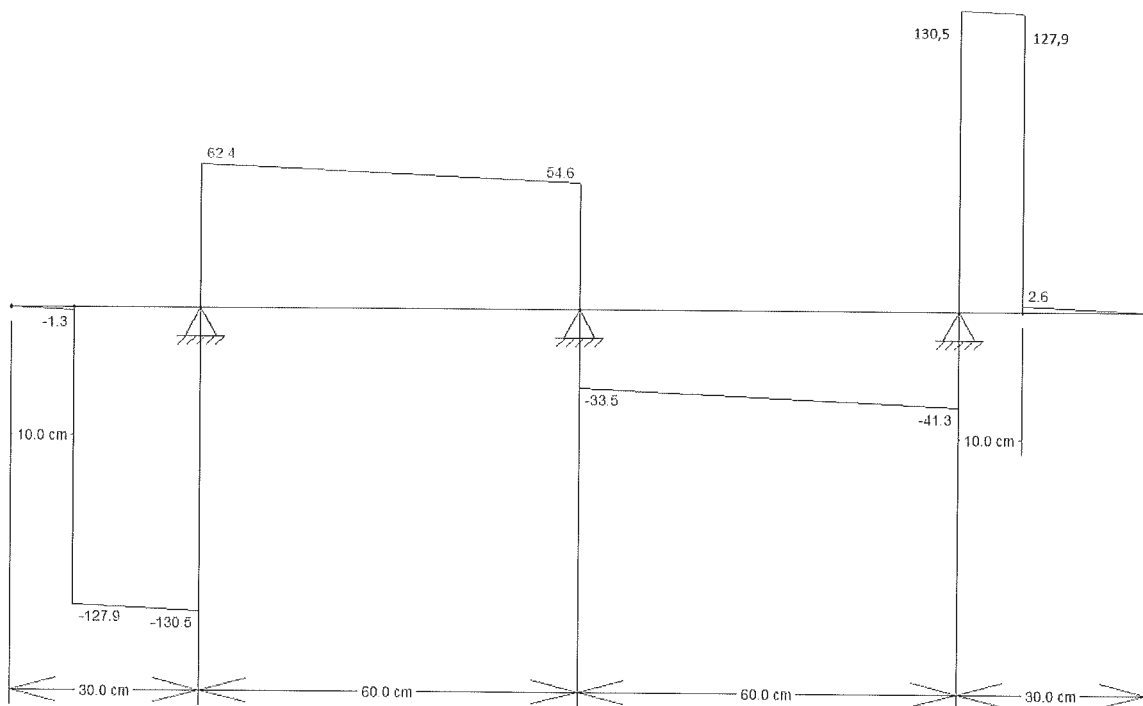
80 MC 000A 23 8000

FIOL / ES-FNS

RV 0



Estrutura analisada ($l_{adotado} = 1,80$ m) – Trem-Tipo Posição 2



V (kN)

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação

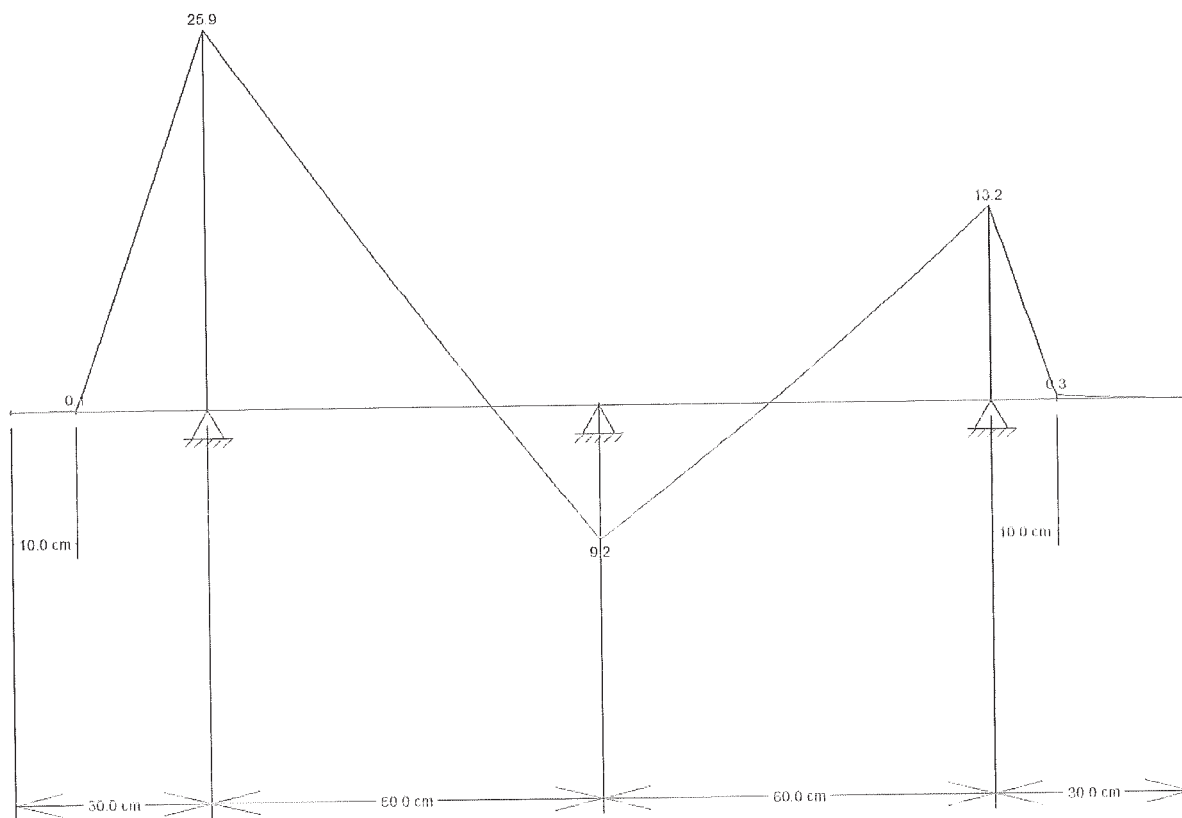
Nº VALEC

Fl. 13/21

80 MC 000A 23 8000

FIOL / ES-FNS

RV 0



M (kN.m)

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação

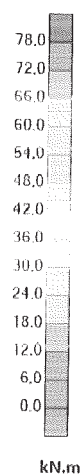
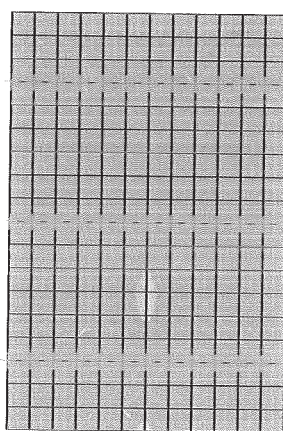
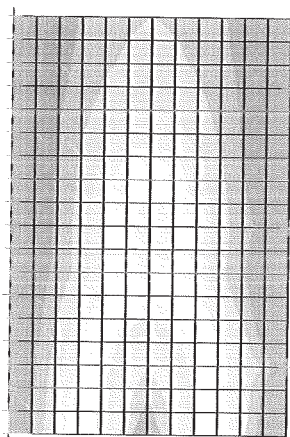
Nº VALEC

Fl. 14/21

80 MC 000A 23 8000

FIOL / ES-FNS

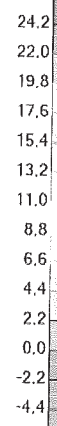
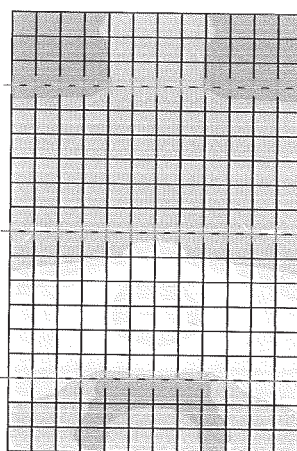
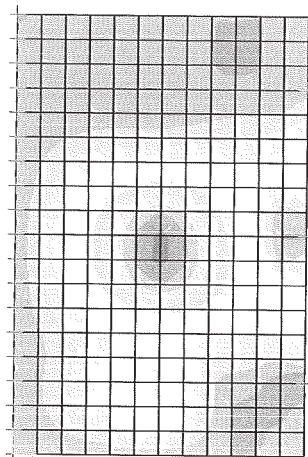
RV 0

(Outro Método para verificação)**Verificação dos maiores esforços de flexão – (SAP – elementos finitos)****1) Trem-Tipo com a roda na borda**

kN.m

Maior valor de
momento fletor

$$M_{\max} = 78 \text{ kN.m}$$

2) Trem-Tipo com a roda no centro da placa

$$M_{\max} = 24,2 \text{ kN.m}$$

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga – Pavimentação	Nº VALEC	Fl. 15/21
	80 MC 000A 23 8000	
	FIOL / ES-FNS	RV 0

Dados para a verificação da estrutura de concreto armado:

Concreto Classe 25 ($f_{ck} = 25$ MPa) ; Aço CA 60

Análise da Flexão Simples

$M = 78,0$ kN.m /m

$$d_{2-3} = k_{2-3} \cdot \sqrt{\frac{M}{b \cdot f_{ck}}} = 3,522 \cdot \sqrt{\frac{78,0}{1,0 \cdot 2,5}} = 19,67 \text{ cm}$$

$$d_{3-4} = k_{3-4} \cdot \sqrt{\frac{M}{b \cdot f_{ck}}} = 2,537 \cdot \sqrt{\frac{78,0}{1,0 \cdot 2,5}} = 14,17 \text{ cm}$$

$H = 18$ cm ; $d' = 3$ cm e $d = 15$ cm altura ok!

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação

Nº VALEC

Fl. 16/21

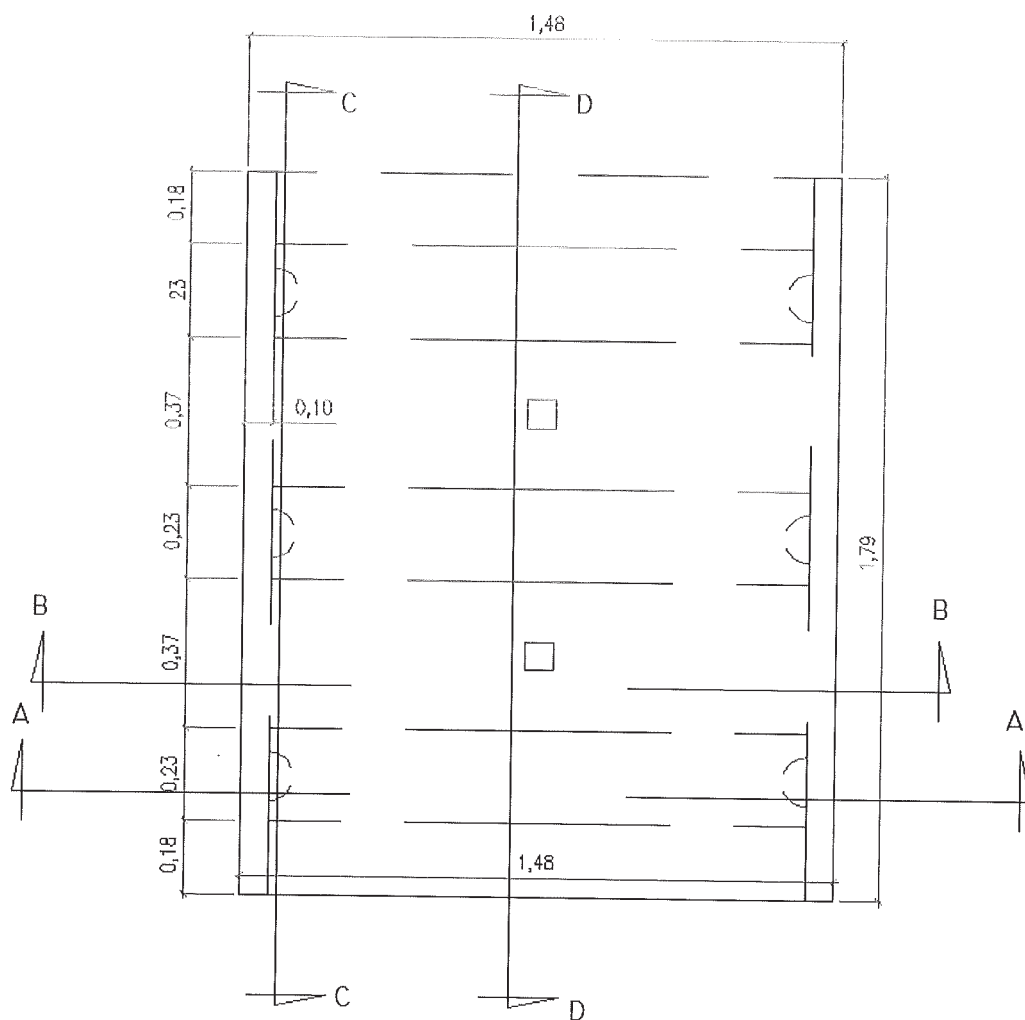
80 MC 000A 23 8000

FIOL / ES-FNS

RV 0

Detalhes construtivos – detalhamento

As armaduras da placa serão colocadas nas faces superiores e inferiores.
O detalhamento será apresentado em posições representadas pelos cortes.
A saber:



Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação

Nº VALEC

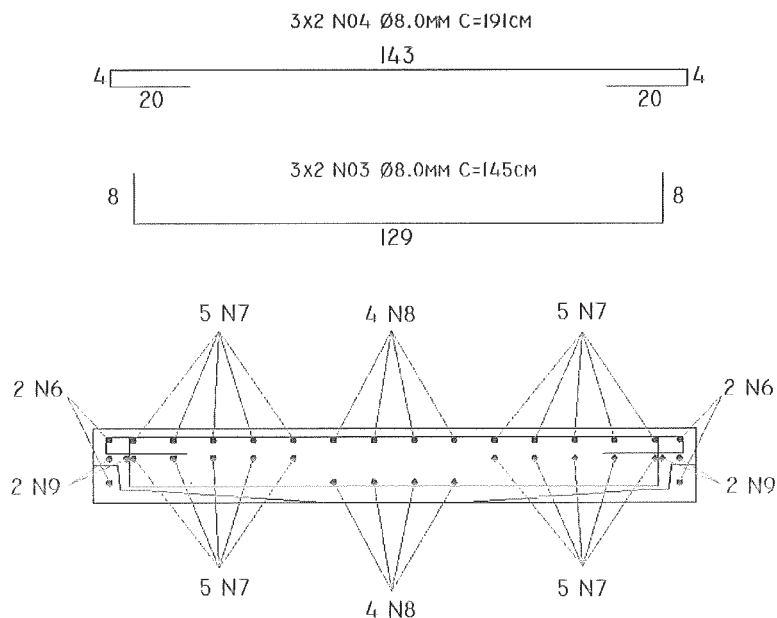
Fl. 17/21

80 MC 000A 23 8000

FIOL / ES-FNS

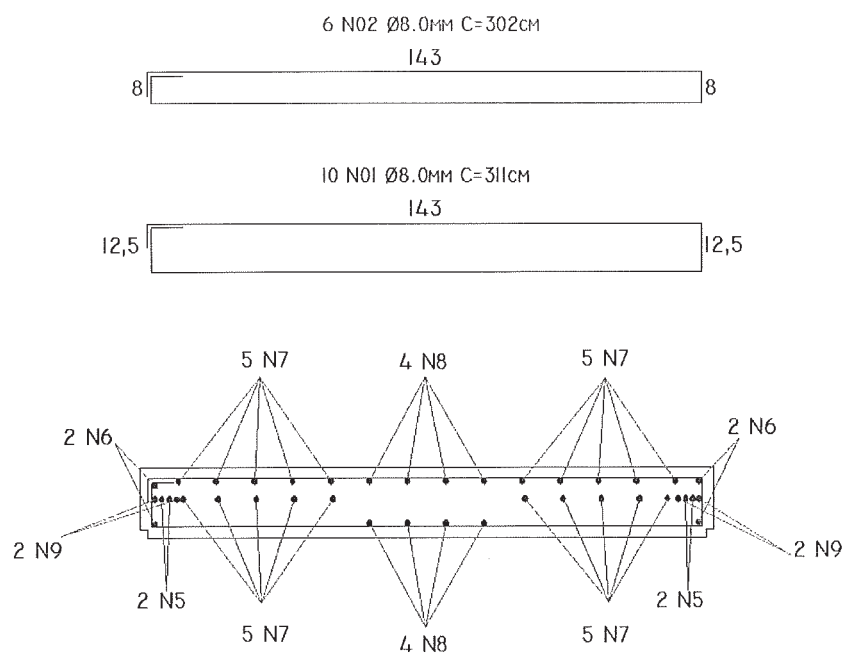
RV 0

Corte A-A: Armadura na região sobre os dormentes ($\ell = 1,48$ m)



CORTE "A-A"

Corte B-B: Armadura na região entre os dormentes. Região sem apoio. ($\ell = 1,48$ m)



CORTE "B-B"

Memória de Cálculo – PN Bítola Larga –
Pavimentação

Nº VALEC

Fl. 18/21

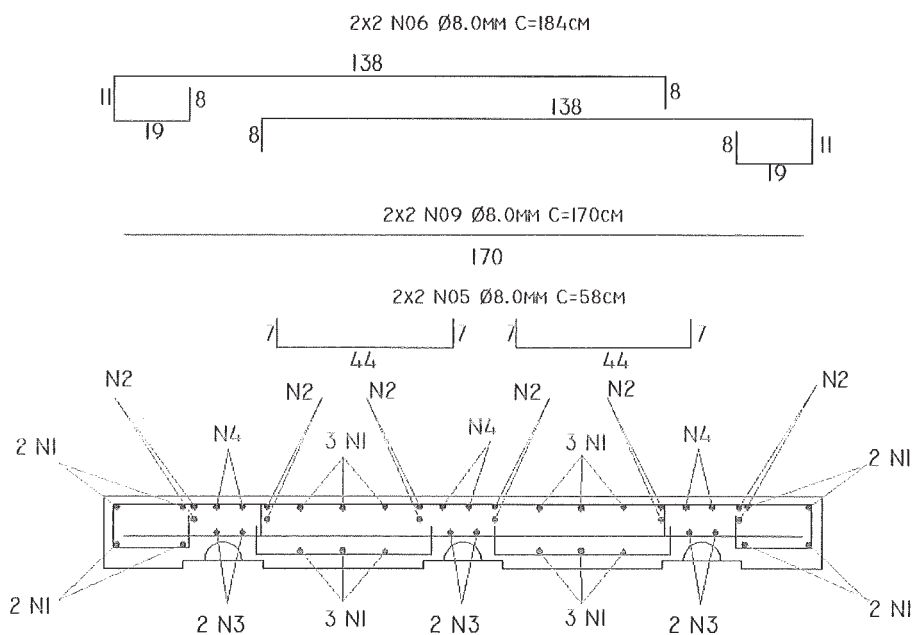
80 MC 000A 23 8000

FIOL / ES-FNS

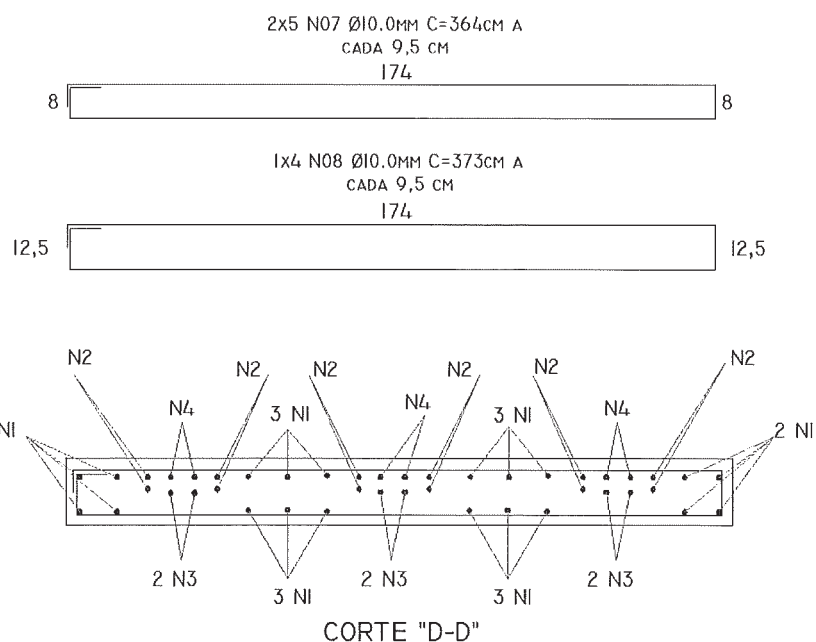
RV 0

Corte C-C: Armadura na região sobre os apoios. ($\ell = 1,79$ m)

(Região onde a armadura é colocada para enrijecimento dos apoios)



CORTE "C-C"

Corte D-D: Armadura na região central da placa entre os apoios. ($\ell = 1,79$ m)

CORTE "D-D"

Memória de Cálculo – PN Bitola Larga – Pavimentação

Nº VALEC

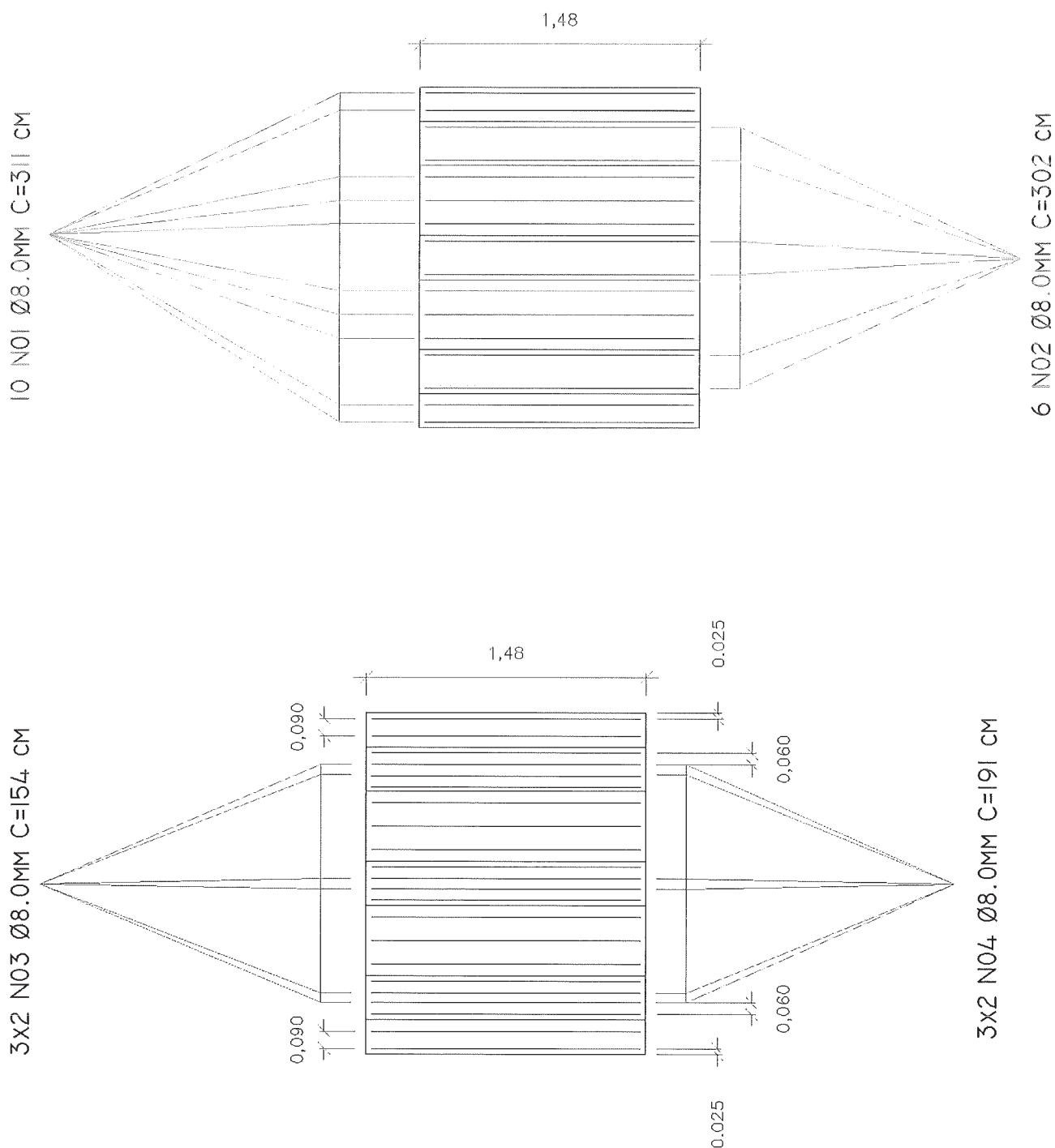
80 MC 000A 23 8000

Fl. 19/21

FIOL / ES-FNS

RV 0

DISTRIBUIÇÃO DA ARMADURA NA PLACA TÍPICA (EM PLANTA)



Memória de Cálculo – PN Bitola Larga –
Pavimentação

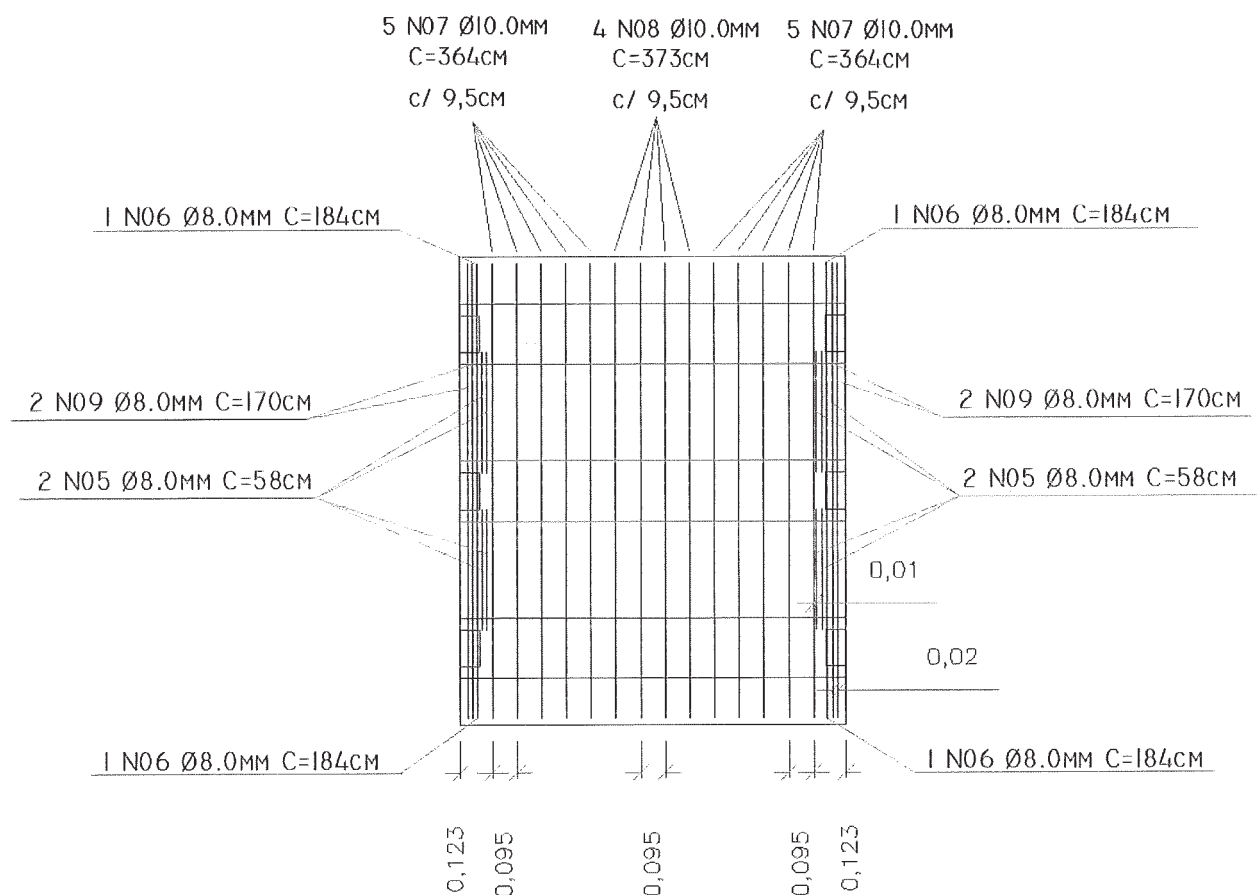
Nº VALEC

Fl. 20/21

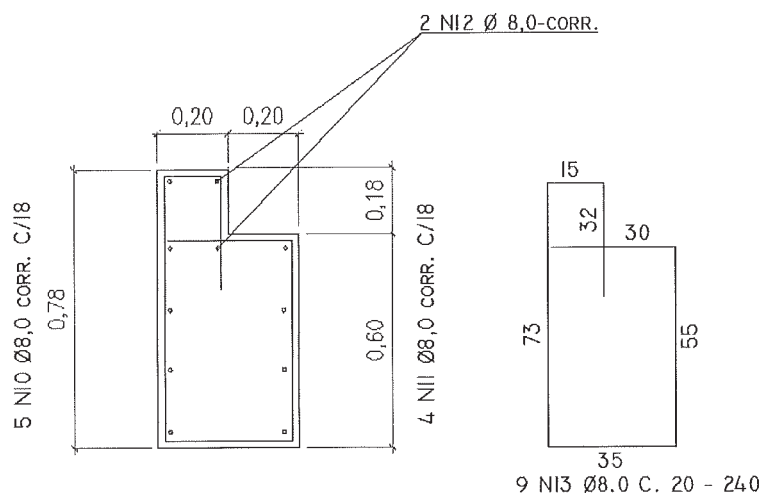
80 MC 000A 23 8000

FIOL / ES-FNS

RV 0



FORMA E ARMAÇÃO DA VIGA DE APOIO EXTERNO



Memória de Cálculo – PN Bítola Larga –
Pavimentação

Nº VALEC

Fl. 21/21

80 MC 000A 23 8000

FIOL / ES-FNS

RV 0

Para a execução das vigas de apoio externo, o solo deve estar compactado.

Quantitativo de materiais

QUADRO RESUMO DE FERRAGENS
PARA 01 PLACA (1,48m × 1,79m)

Nº	Ø (mm)	COMPRIMENTO (m)		
		Quant.	Unid.	Total
1	8.0	10	3,11	31,10
2	8.0	6	3,02	18,12
3	8.0	3x2	1,45	8,70
4	8.0	3x2	1,91	11,46
5	8.0	2	0,58	1,16
6	8.0	2x2	1,84	7,36
7	10.0	2x5	3,64	36,40
8	10.0	1x4	3,73	14,92
9	8.0	2x2	1,70	6,80
10	8.0	5	1,74	8,70
11	8.0	4	1,74	6,96
12	8.0	2	1,74	3,48
13	8.0	9	2,40	21,60

QUADRO RESUMO DE FERRAGENS
PARA 01 PLACA (1,48m × 1,79m)

Ø (mm)	COMPRIMENTO (m)	PESO (kg)
8.0	125,44	49,554
10.0	51,32	31,661
TOTAL		81,215

