



**UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE MINAS GERAIS**

**COMPARATIVO ENTRE DUAS CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS DE  
ESPESSADORES DE LAMA, ELEVADO E APOIOADO NO SOLO**

**Disciplina: Concepção de Estruturas de Edifícios  
Professor: Pedro Vianna Pessoa de Mendonça**

**Aluno: Henrique Welter Sá**

**Belo Horizonte  
Junho de 2016**

Henrique Welter Sá

## COMPARATIVO ENTRE DUAS CONCEPÇÕES ESTRUTURAIS DE ESPESSADORES DE LAMA, APOIOADO NO SOLO E ELEVADO

Trabalho de conclusão de curso da especialização de estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, apresentado pela matéria de concepção estrutural lecionada pelo professor Pedro Vianna.

Orientador:

Prof.<sup>o</sup> Pedro Vianna Pessoa de Mendonça

**Belo Horizonte**  
Junho de 2016

## ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1.0	OBJETIVO	4
2.0	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
3.0	NORMAS TÉCNICAS	5
4.0	ESPESSADOR APOIADO NO SOLO	5
4.1	CROQUIS DO DIMENSIONAMENTO	6
4.2	DIMENSIONAMENTO DA LAJE DE FUNDO DO ESPESSADOR	11
4.3	DIMENSIONAMENTO DA PAREDE DO ESPESSADOR	14
4.4	TÚNEL DE ACESSO ÀS BOMBAS	16
4.5	TRECHO B	42
4.6	SUPORTE CENTRAL	48
5.0	OPÇÃO ELEVADA	52
5.1	CROQUIS DO DIMENSIONAMENTO	52
6.0	COMPARATIVO	56
7.0	CONCLUSÃO	56

## 1.0 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo apresentar um comparativo entre duas concepções estruturais em concreto armado para o espessador de polpa do projeto de recuperação de finos da barragem do Gelado. As considerações para dimensionamento estrutural das duas opções obedecem aos mesmos critérios de cálculo variando apenas a forma da estrutura, que chamamos de opção elevada e opção apoiada no solo.

O projeto de recuperação de finos da barragem de Gelado é situado na planta industrial de tratamento de minério de ferro Carajás, de propriedade da VALE, localizado no município de Parauapebas – PA.

## 2.0 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As seguintes considerações e premissas de cálculo foram adotadas no desenvolvimento do projeto:

- Classe de agressividade ambiental III (agressividade forte, ambiente industrial);
- Resistência característica do concreto estrutural:  $f_{ck} \geq 30$  MPa;
- Módulo de elasticidade do concreto:  $E_c = 26.071.000$  KN/m<sup>2</sup>;
- Peso específico do concreto armado:  $\gamma_{conc} = 25$  kN/m<sup>3</sup>;
- Aço da armadura: CA 50;
- Módulo de elasticidade do aço:  $E_s = 210.000.000$  KN/m<sup>2</sup>;
- Cobrimento nominal da armadura: 4,0 cm
- Abertura máxima de fissuras:  $w_k = 0,3$ mm;
- Peso específico do solo:  $\gamma_{solo} = 18,0$  kN/m<sup>3</sup>;
- Ângulo de atrito entre o solo e o concreto:  $\delta = 30^\circ$ ;
- Tensão admissível do terreno = 0,30 MPa.
- Coeficiente de empuxo ativo  $K_a = 0,35$
- Coeficiente de empuxo em repouso  $K_0 = 0,45$
- Peso específico da polpa = 13,1 kN/m<sup>3</sup>;
- Coeficiente de recalque = 50.000 kN/m<sup>3</sup>;

### **3.0 NORMAS TÉCNICAS**

Os cálculos, dimensionamentos e decisões de projeto foram feitos de acordo com os critérios das normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – em suas últimas edições:

NBR 6118:2007	Projeto de estruturas de concreto;
NBR 6120:1980	Cargas para cálculo de estruturas de edificações;
NBR 6122:1996	Projeto e execução de fundações;
NBR 6123:1988	Forças devidas ao vento em edificações;
NBR 7480:1996	Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto;
NBR 8681:2003	Ações e segurança nas estruturas;
NBR 8800:2008	Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço;
NBR 8953:1992	Concreto para fins estruturais;
NBR 14931:2004	Execução de estruturas de concreto;

### **4.0 ESPESSADOR APOIADO NO SOLO**

A estrutura do espessador e todas as demais fundações relacionadas a ele se apoiarão diretamente no solo com tensão admissível considerada de 3,0 kgf/cm<sup>2</sup>.

Considerando que o espessador se localiza em platô com corte de terreno natural de aproximadamente 1,5m. Para sua execução serão escavados aproximadamente 14m até a cota de seu fundo. Portanto haverá aproximadamente 15,5m de corte em terreno natural.

O reaterro deverá ser controlado e realizado em camadas de no máximo 20cm, com granulometria e umidade adequada. Inicialmente se faz a compactação do reaterro com 95% do proctor normal até um volume de aproximadamente 70% do corpo do aterro. Posteriormente, as camadas finais devem ser feitas com a compactação do aterro a 100% do proctor normal.

## 4.1 CROQUIS DO DIMENSIONAMENTO

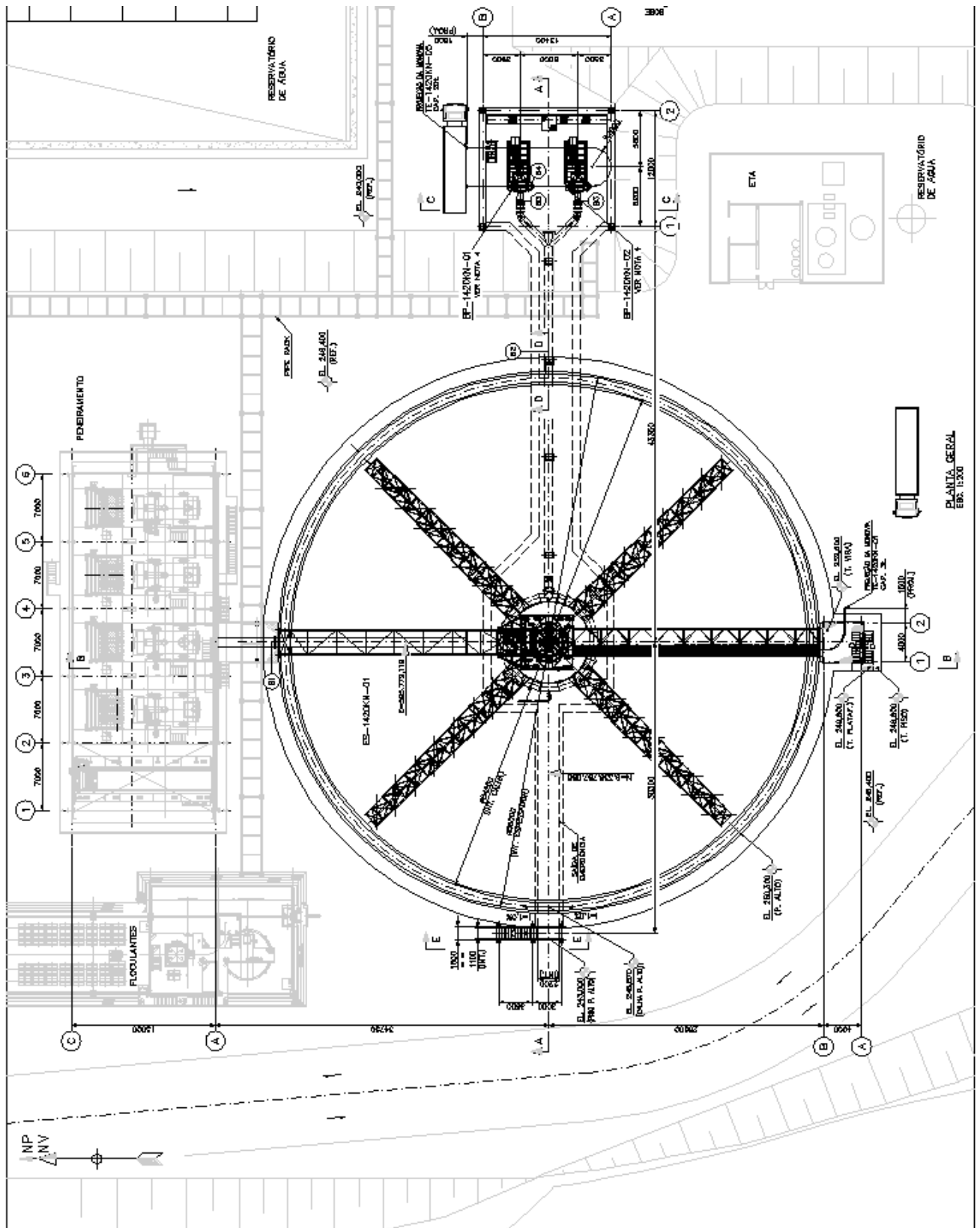


Figura 1 – Planta Geral

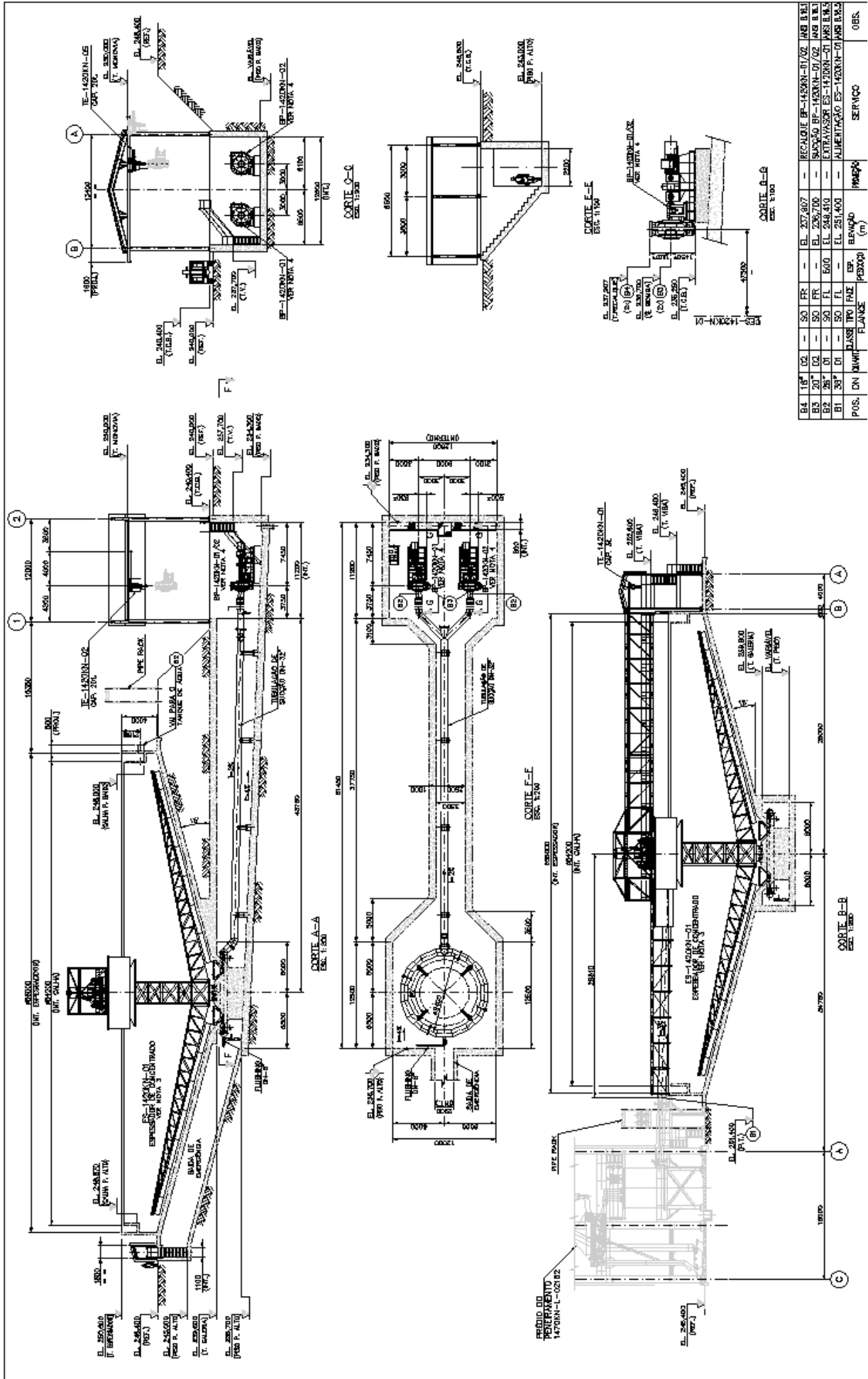


Figura 2 – Cortes

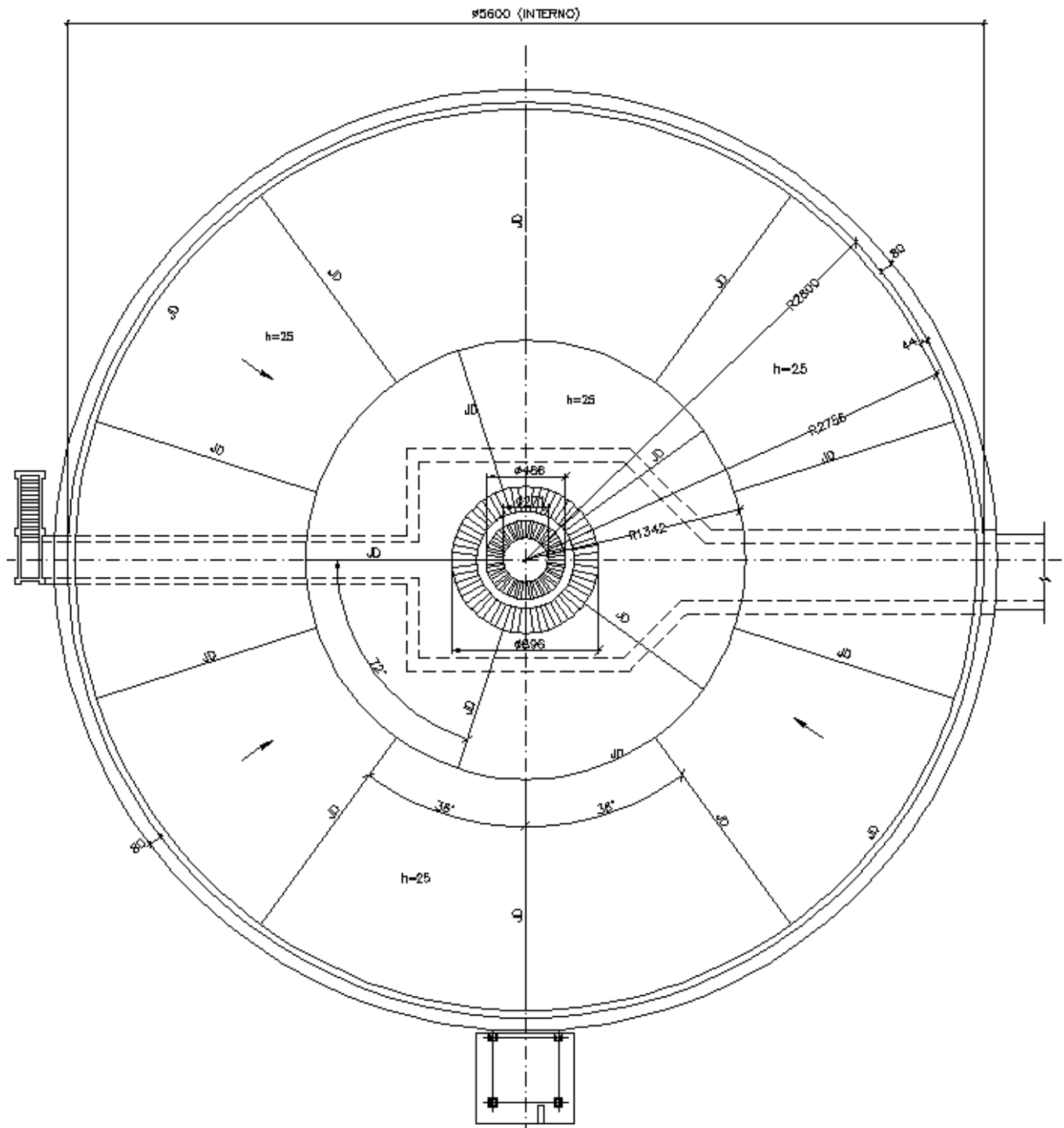


Figura 3 – Planta – laje de fundo



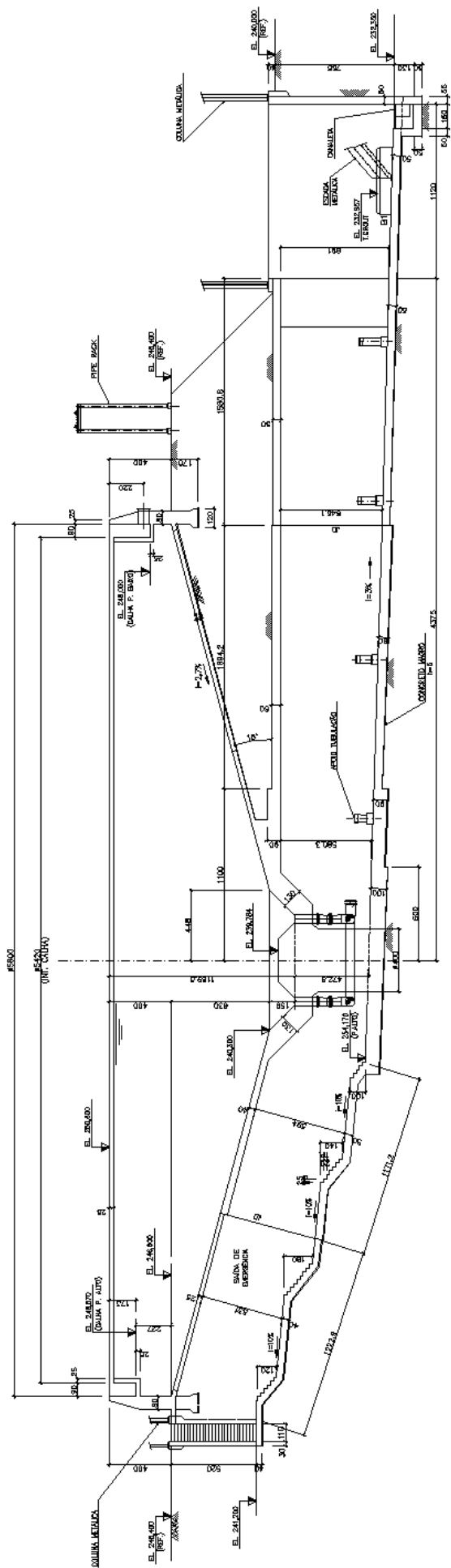


Figura 4 – Seção longitudinal (cm)

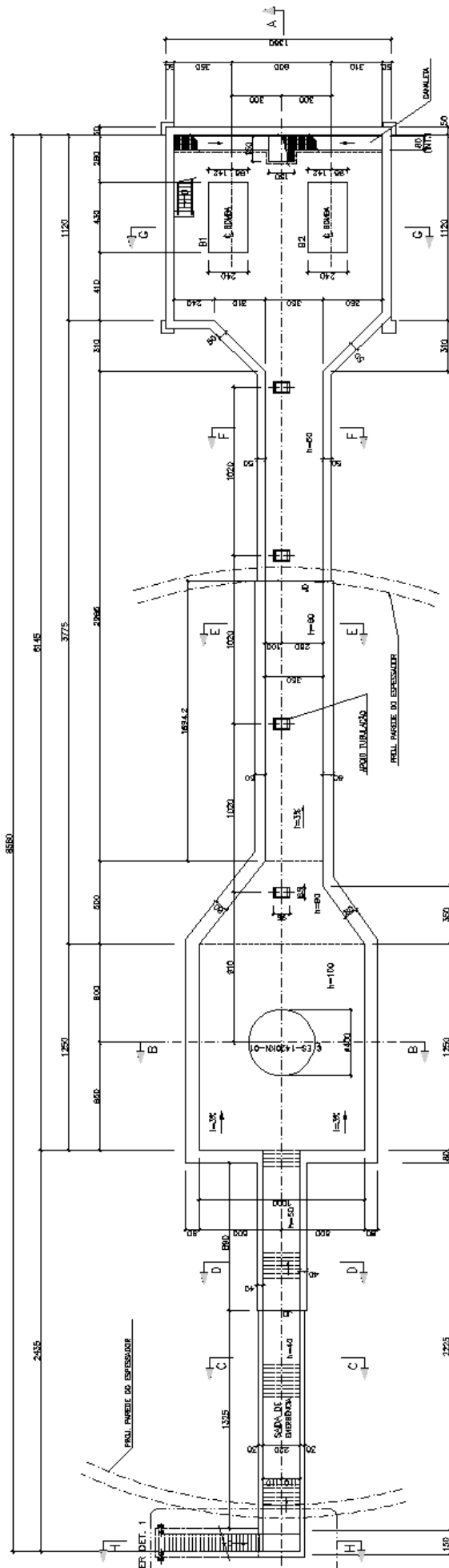


Figura 5 – Planta de túnel (cm)

## 4.2 DIMENSIONAMENTO DA LAJE DE FUNDO DO ESPESSADOR

O diâmetro interno do espessador é de 56,0m. Assim, quando vazio, a laje de piso pode ficar sujeita à grande variação de temperatura, sendo aconselhável a adoção de juntas de dilatação com barras de transferência.

Com o espessador estacionado a laje ficará sujeita apenas à compressão em suas faces, em contato com o solo e em contato com a polpa. Este tipo de esforço não provoca flexão na laje, provoca apenas tensões normais à seção transversal em virtude do coeficiente de Poisson, que podem ser desprezadas, pois são de pequeno valor. Com o raspador em movimento, pode ocorrer que entre na frente haja algum acúmulo de material sólido. Esta situação poderia provocar eventual flexão na laje, que seria tratada como se estivesse apoiada em meio elástico. Na prática, contudo verifica-se que a armadura mínima que se deve colocar na laje é suficiente para absorver estes esforços. Reveste-se de alguma importância a abrasão que o rejeito em movimento poderia provocar na laje e por isto se considerou um concreto de melhor qualidade,  $f_{ck} = 30\text{MPa}$ .

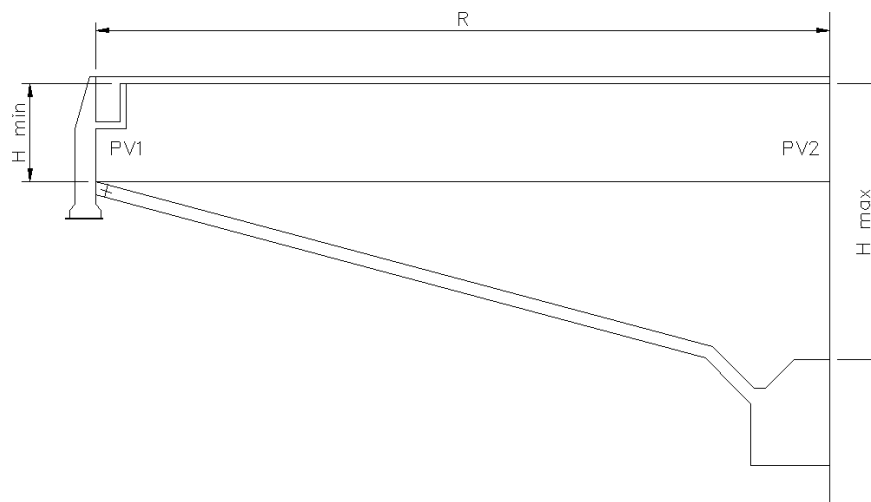


Figura 6 – Pressão na laje de fundo

A pressão na laje de fundo do espessador seria:

$$Pv1 = 13,1 \cdot H_{min} = 13,1 \cdot 3,7 = 48,47 \text{ kN/m}^2.$$

$$Pv2 = 13,1 \cdot H_{max} = 13,1 \cdot 10,5 = 137,55 \text{ kN/m}^2.$$

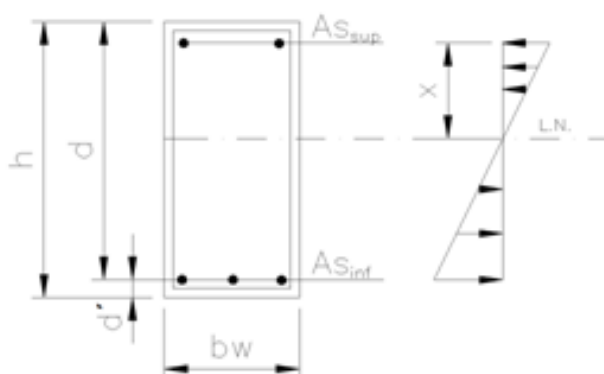
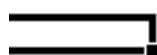
$$\text{A pressão resultante seria} = 2604,3 \text{ kN/m}^2$$

Entretanto, estando o espessador vazio, poderá ocorrer flexão da laje quer seja por acréscimo de temperatura, quer seja por decréscimo. Está-se considerando neste projeto a possibilidade de ocorrer uma variação de  $\pm 15^{\circ}\text{C}$ . O momento fletor que ocorrerá na laje será estimado por:

$$M = \frac{EI\alpha\Delta t}{h} = \frac{30 \times 10^6 \times 0,25^3 \times 10^{-5} \times 15}{12 \times 0,25} = 23,4 \text{ kNm/m}$$

Como se admite, que a variação de temperatura a que ficará submetida a face superior da laje pode tanto ser positiva quanto negativa, o momento acima poderá também ocorrer com ambos os sinais positivo ou negativo.

Para minimizar os esforços normais à seção transversal da laje por variação de temperatura, a laje foi dividida em vários painéis pela adoção de juntas de dilatação. Para se evitar possíveis tendências de aparecer ressaltos nestas juntas, foram utilizadas barras de transferência.



Aço CA-

Fck

Momento serviço

Base (bw)

Altura (h)

d'

kgf/cm<sup>2</sup>

(kgf.m)

cm

cm

cm

50
300
2340,0
100,0
25,0
4,00

Es (Mpa)	Es (Mpa)
210000	26071,6

# Página 1

RESULTADOS

Valor de  $K_{lim}$ 

Valor de K

Altura mínima D (cm)

Momento de fissuração (kgf.m)

Posição Linha Neutra - X (cm)

Armadura inferior  $A_s$  (cm<sup>2</sup>)Armadura superior  $A_s'$  (cm<sup>2</sup>)

0,320
0,041
7,50
4526
1,09
3,66
0,00

Altura sem armadura dupla

Seção não fissurada

Posição da linha neutra no domínio II

Verificação ( $A_s + A_s' < 4\% A_c$ )

VERIFICAÇÕES

Ok!

As min=	0,173%	bwh	4,33	cm <sup>2</sup>
---------	--------	-----	------	-----------------

Armadura necessária

Armadura	6,3	8	10	12,5	16	20	25
$A_s = 4,33$	14	9	6	4	3	2	1
$A_s' = 0$	0	0	0	0	0	0	0

Figura 7 – Dimensionamento da laje de fundo

### 4.3 DIMENSIONAMENTO DA PAREDE DO ESPESSADOR

O cálculo da pressão horizontal na parede do espessador é:

$$Ph1 = 13,1 \cdot 3,74 = 49,0 \text{ kN/m}^2.$$

Para a pressão do solo imediatamente sob a laje de piso, considerando o coeficiente de empuxo em repouso  $K_0=0,45$  tem-se:

$$Ph2 = 0,45 \cdot (49,0 + 25 \cdot 0,25) = 24,8 \text{ kN/m}^2.$$

$$Ph3 = 24,8 + 0,45 \cdot 18 \cdot 1,44 = 36,5 \text{ kN/m}^2.$$

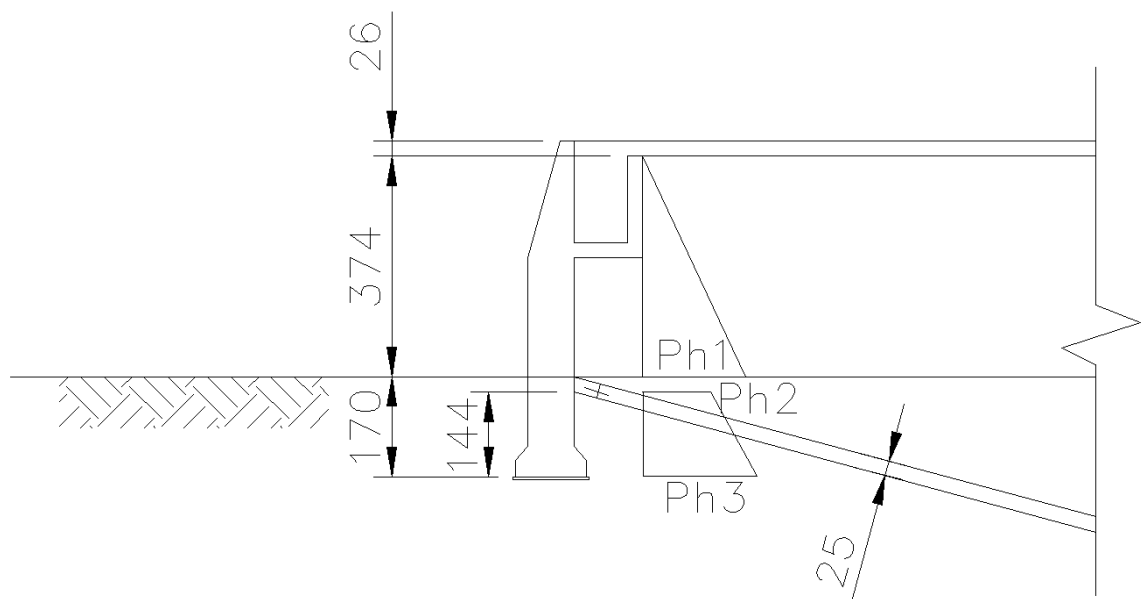


Figura 8 – Pressão horizontal na parede

De modo a simplificar o cálculo da tensão na parede foi adotada uma pressão média, baseando-se nas resultantes do empuxo da polpa e do solo.

$$R1 = 24,8 \cdot 3,74 / 2 = 91,6 \text{ kN/m}^2$$

$$R2 = (24,8 + 36,5) \cdot 1,44 / 2 = 44,1 \text{ kN/m}^2$$

$$R_{\text{total}} = 91,6 + 44,1 = 135,7 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{\text{hm}} \cdot 5,44 / 2 = 135,7 ; P_{\text{hm}} = 49,9 \text{ kN/m}^2$$

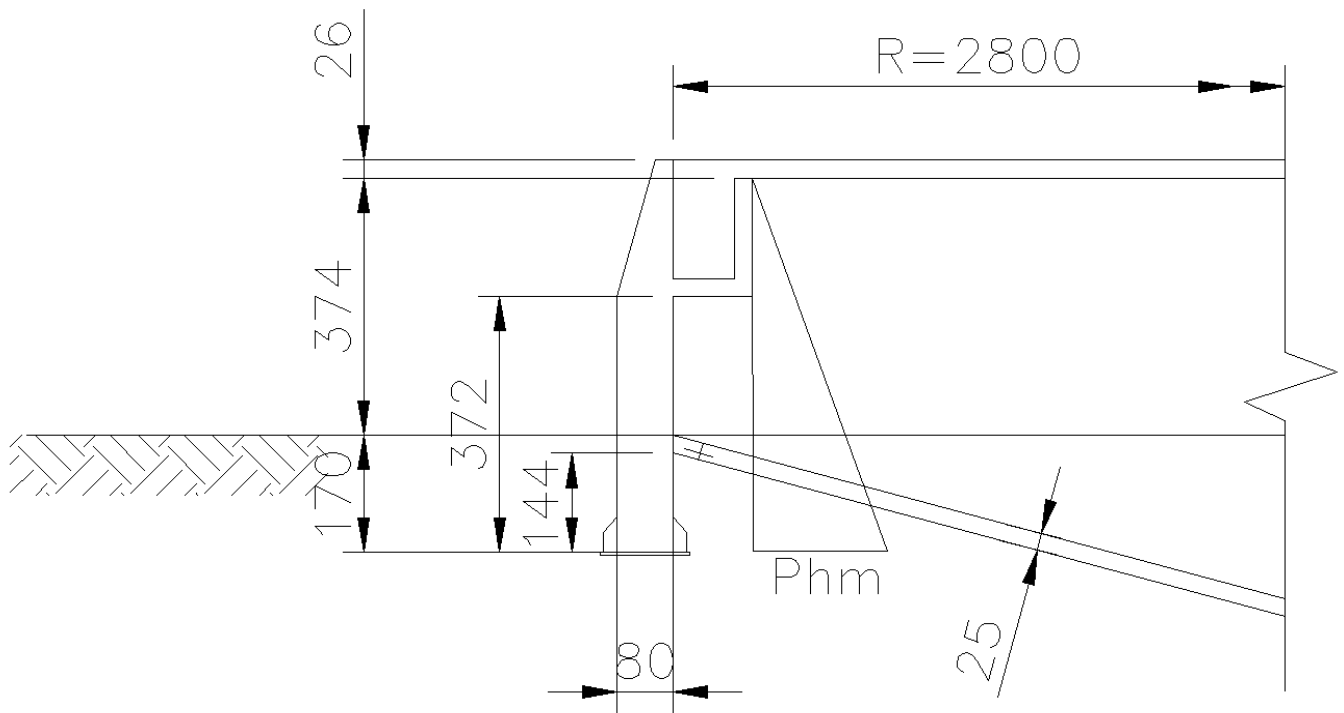


Figura 9 – Pressão horizontal média na parede

A tensão radial na parede será, admitindo a espessura da parede  $d = 80\text{cm}$ .

$$\tau = P_{hm} \cdot R/d; \quad \tau = 49,9 \cdot 28/0,80 = 1746,5 \text{ kN/m}^2.$$

Considerando uma seção transversal da parede de  $80 \times 372\text{cm}$ , o esforço radial  $N$  seria:

$$N = (0,8 \cdot 3,72) \cdot 1746,5 = 5197,6 \text{ kN};$$

A armadura adotada seria:

$$A_s = 1,4N/f_yd = 1,4 \cdot 5197,6/43,47 = 167 \text{ cm}^2; \text{ adotar } 40 \phi 25\text{mm}$$

#### 4.4 TÚNEL DE ACESSO ÀS BOMBAS

O túnel de acesso às bombas tem largura interna de 3,5m, comprimento de aproximadamente 44,0m medido a partir do centro do espessador e altura variável de 3,33m até 4,85m. Este túnel foi dividido em 3 trechos A, B e C, conforme figura abaixo:

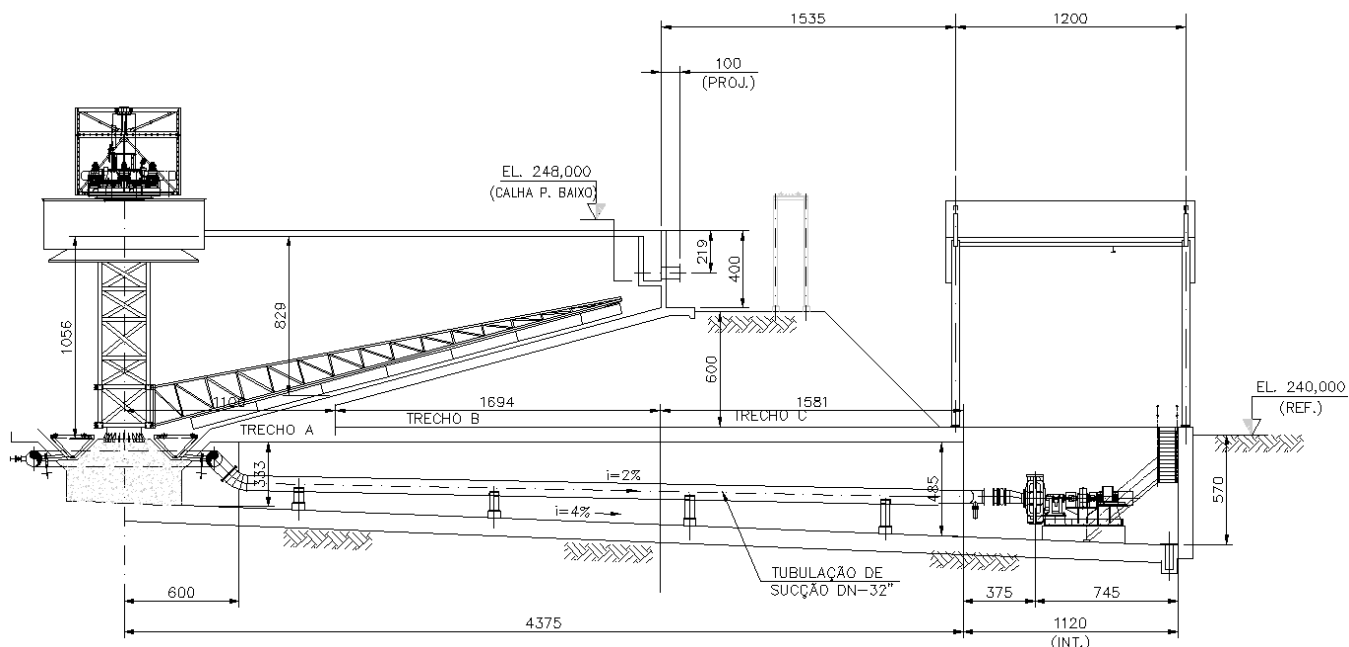


Figura 10 – Túnel de acesso às bombas

A tabela abaixo indica as pressões no túnel em cada trecho considerado:

TÚNEL DE ACESSO ÀS BOMBAS									
TRECHO	h terra (m)	h polpa (m)	laje espessador (m)	Pterra (kN/m <sup>2</sup> )	Ppolpa (kN/m <sup>2</sup> )	Plaje espessador (kN/m <sup>2</sup> )	laje de topo túnel (m)	Plaje topo túnel (kN/m <sup>2</sup> )	Soma (kN/m <sup>2</sup> )
A	0,0	10,56	1,4	0,0	138,3	35,0	0,9	22,5	195,8
B	6,0	8,29	0,25	108	108,6	6,3	0,6	15,0	237,8
C	6,2	0	0,25	111,6	0,0	6,3	0,5	12,5	130,4

Utilizando-se o coeficiente de empuxo em repouso  $K_0=0,45$  tem-se:

TRECHO	altura túnel(m)	Empuxo parede (kN/m <sup>2</sup> ) inicial	Empuxo parede (kN/m <sup>2</sup> ) final
A	4,7	78,0	116,1
B	5,0	100,3	140,8
C	5,6	53,0	98,4

Demais cargas consideradas:

Peso da tubulação de sucção na laje de fundo do túnel = 14,0 tf/apoio.



4.4.1 TRECHO A

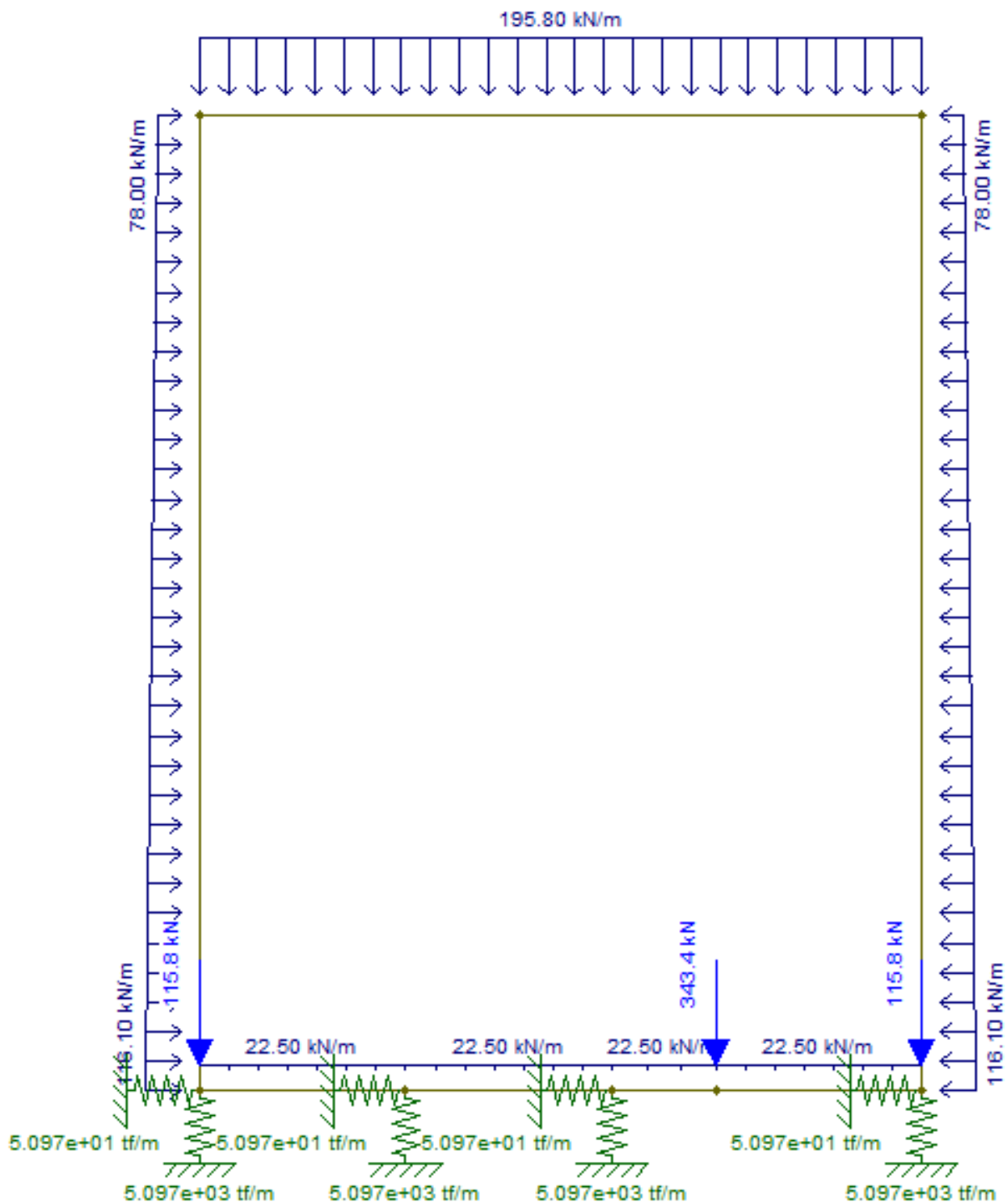


Figura 11 – Cargas do Túnel de acesso às bombas

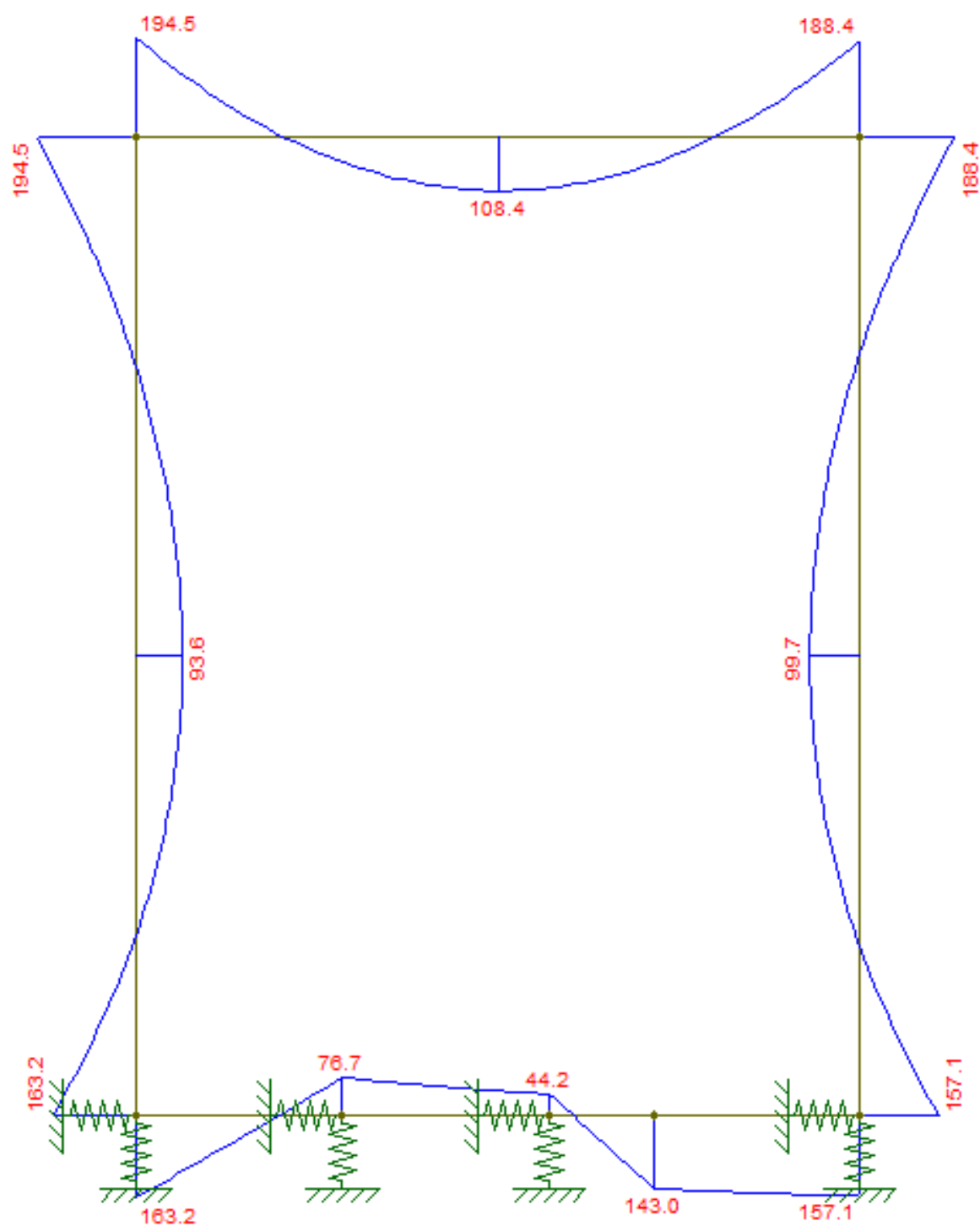


Figura 12 – Diagrama de momento (kNm/m)

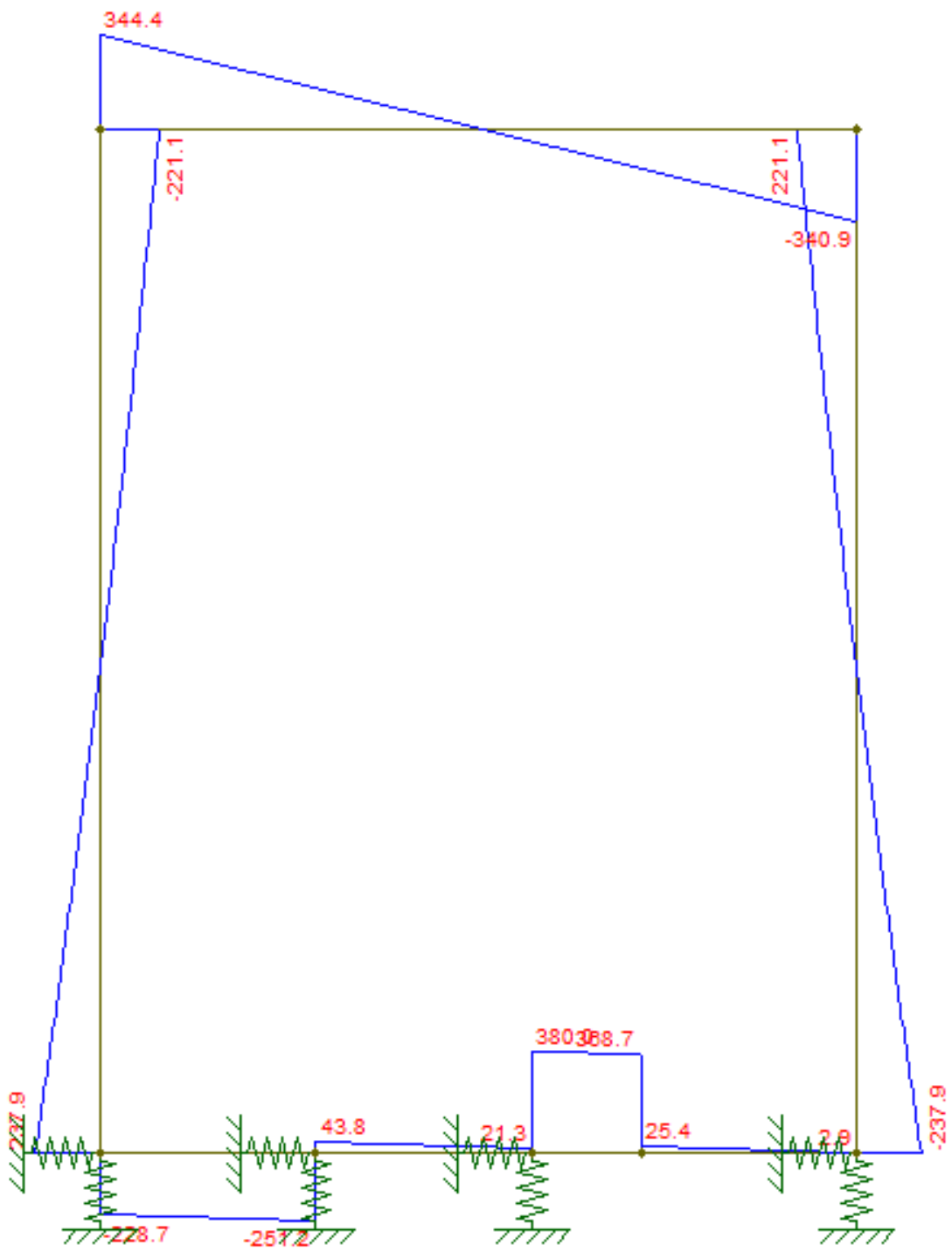


Figura 13 – Diagrama de cortante (kN/m)

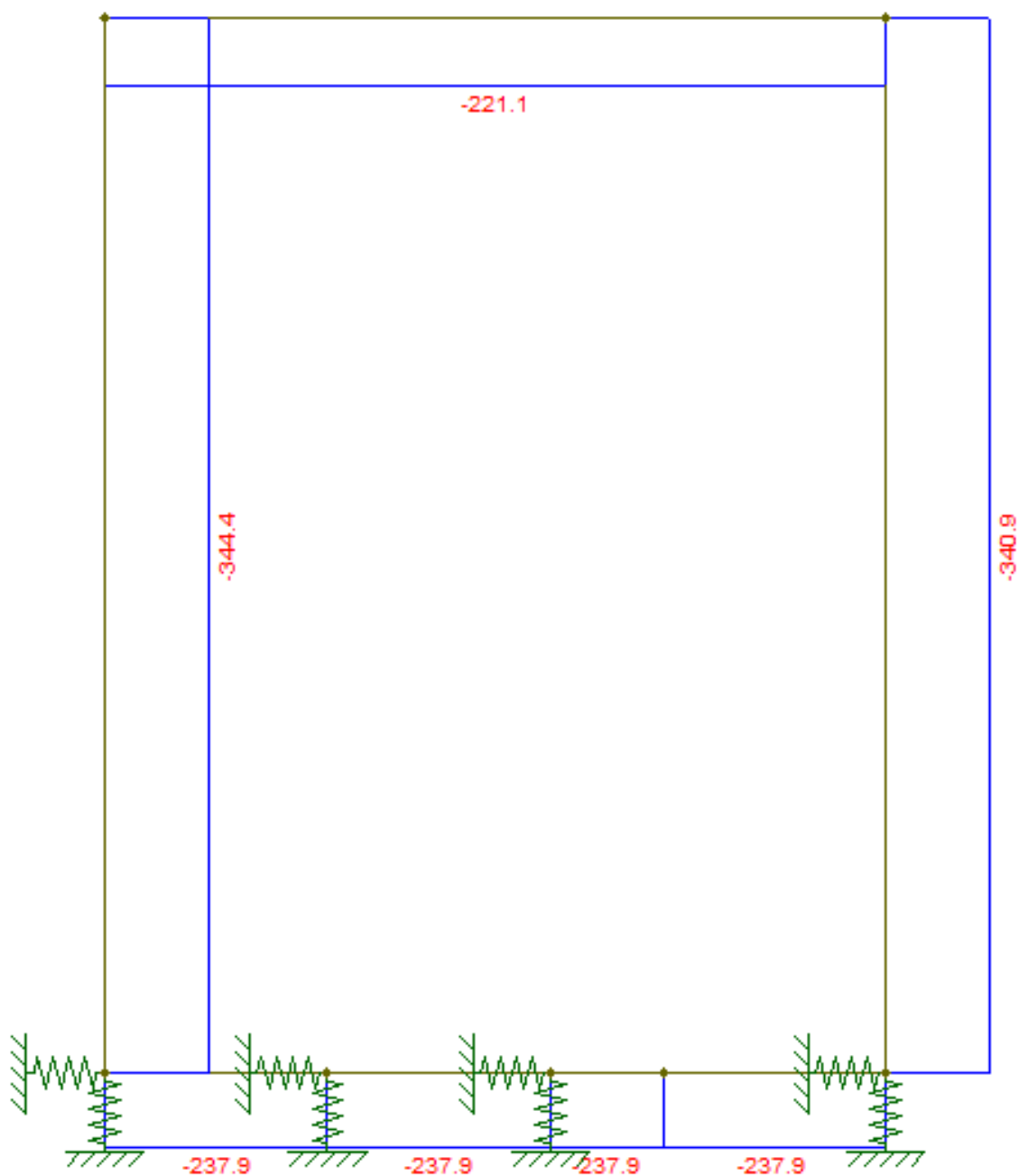


Figura 14 – Diagrama de esforço axial (kN)

#### 4.4.1.1 DIMENSIONAMENTO DA LAJE SUPERIOR

FLEXÃO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SEÇÃO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012

Obra / Elemento:	VALE-LAJE SUPERIOR TÚNEL DE ACESSO			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	90			
d	86			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	221			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	19450			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,25			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,25			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	3,72			
K fis	1,58			
As inf com fiss	5,87			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	3,23			
d lim	19,93			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,065			

(0.5 a  
4.0mm)

Alternativa 1

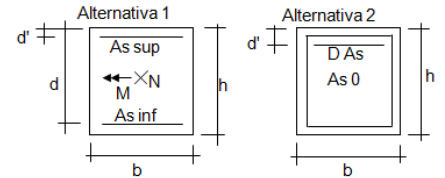
Alternativa 2

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-0,62			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	33,71			
x II	11,13			
I II (relativa à LN)	214030			
I II / I g	0,0352			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

Altern. 1 (sem fiss.)

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,25			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,25			
Espaç. p/ larg. b	20,89			
Nº $\phi$ As inf	4,79			

Altern. 1 (com fiss.)



TIPO DE BARRA / $\eta_1$
Lisa (CA-25) / 1
Entalhada (CA-60) / 1.4
Alta Ader. (CA-50) / 2.25

#### 4.4.1.2 DIMENSIONAMENTO DA LAJE INFERIOR

FLEXÃO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SEÇÃO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012

Obra / Elemento:	VALE-LAJE INFERIOR TÚNEL DE ACESSO			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	90			
d	86			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	237.9			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	16320			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,25			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,25			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	6,16			
K fis	1,49			
As inf com fiss	9,20			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	1,84			
d lim	19,80			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,102			

(0.5 a  
4.0mm)

Alternativa 1

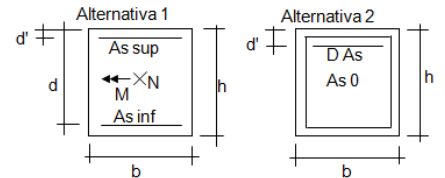
Alternativa 2

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-0,45			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	31,87			
x II	8,76			
I II (relativa à LN)	318580			
I II / I g	0,0524			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

Altern. 1 (sem fiss.)

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,25			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,25			
Espaç. p/ larg. b	13,34			
Nº $\phi$ As inf	7,50			

Altern. 1 (com fiss.)



TIPO DE BARRA / $\eta_1$
Lisa (CA-25) / 1
Entalhada (CA-60) / 1.4
Alta Ader. (CA-50) / 2.25

### 4.4.1.3 DIMENSIONAMENTO DA PAREDE

#### FLEXAO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SECAO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012

Obra / Elemento:	VALE-PAREDE TÚNEL DE ACESSO			
Seção	S1			
$f_{ck}$	3			
$f_{yk}$	50			
b	100			
h	80			
d	76			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	344			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) (>=0)	19450			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,25			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,25			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	2,71			
K fis	1,67			
As inf com fiss	4,53			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	4,11			
d lim	19,93			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/As(%) (<=4%)	0,057			

(0.5 a  
4.0mm)

Alternativa 1  
Alternativa 2

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma$ fibra sup. (compr. -)	-0,78			
$\sigma$ s sup (tração +)				
$\sigma$ s inf (tração +)	35,72			
x II	11,34			
I II (relativa à LN)	139816			
I II / I g	0,0327			
Var. Última iteração (%)	4,28E-14			

Altern. 1 (sem fiss.)

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,25			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,25			
Espaç. p/ larg. b	27,08			
Nº $\phi$ As inf	3,69			

Altern. 1 (com fiss.)

TIPO DE BARRA / $\eta_1$
Lisa (CA-25) / 1
Entalhada (CA-60) / 1.4
Alta Ader. (CA-50) / 2.25

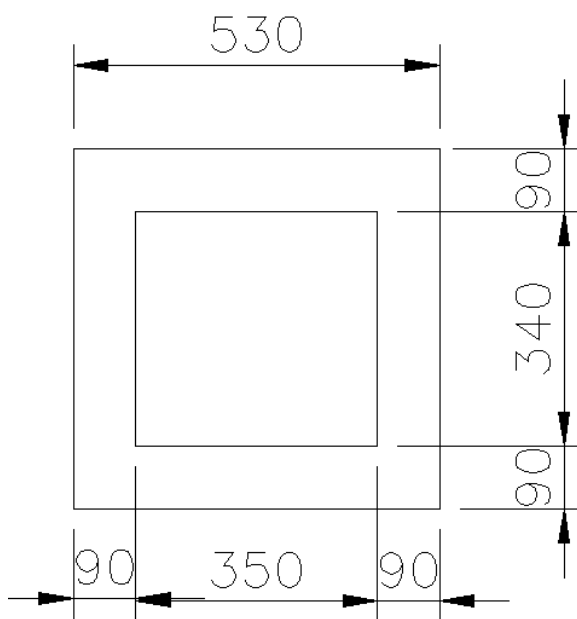
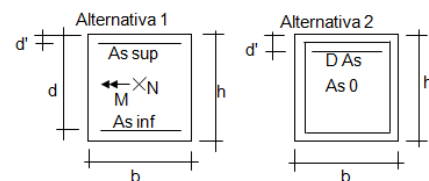


Figura 15 – Seção transversal trecho A (cm)

#### 4.4.2 TRECHO B

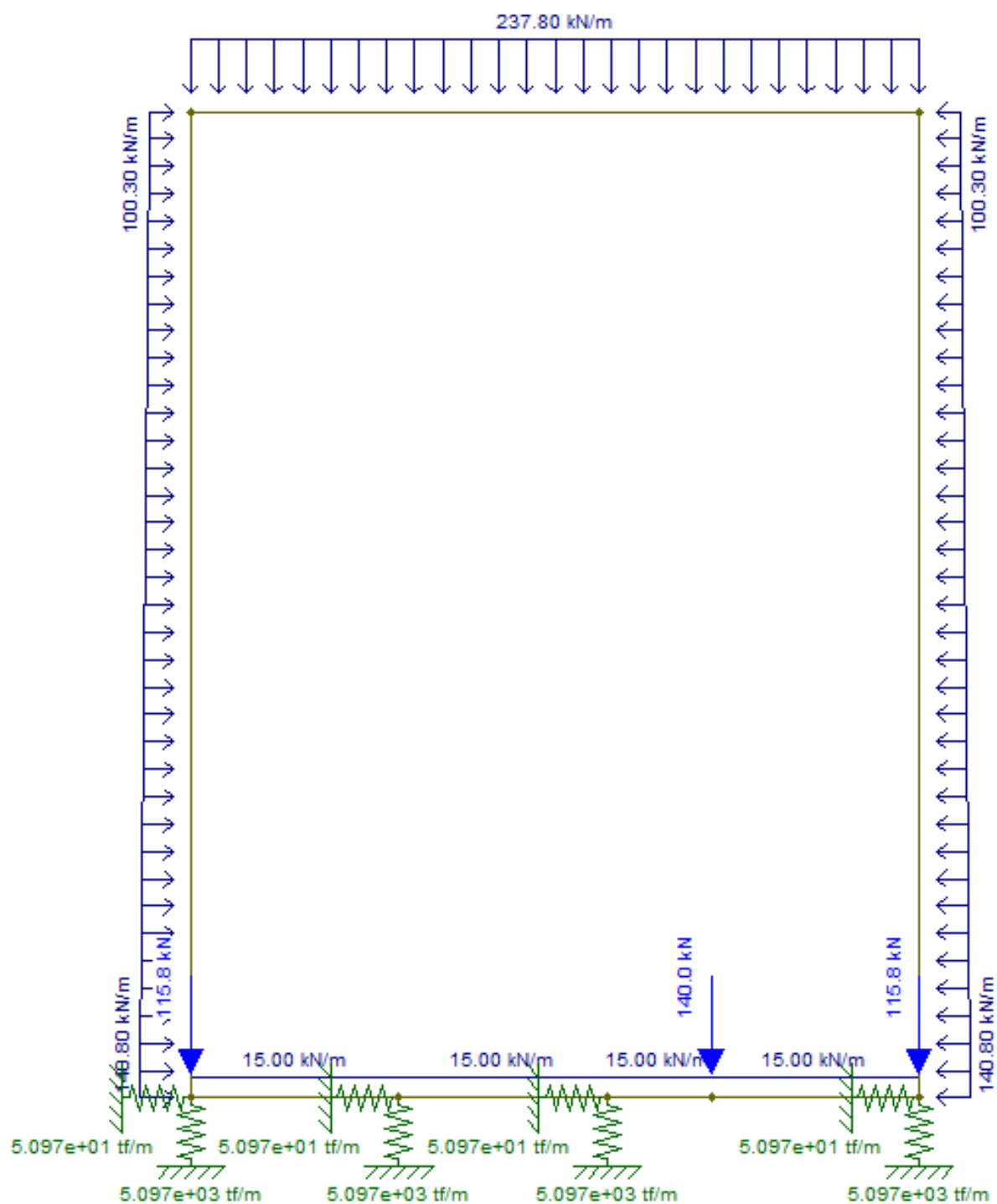


Figura 16 – Cargas do Túnel de acesso às bombas

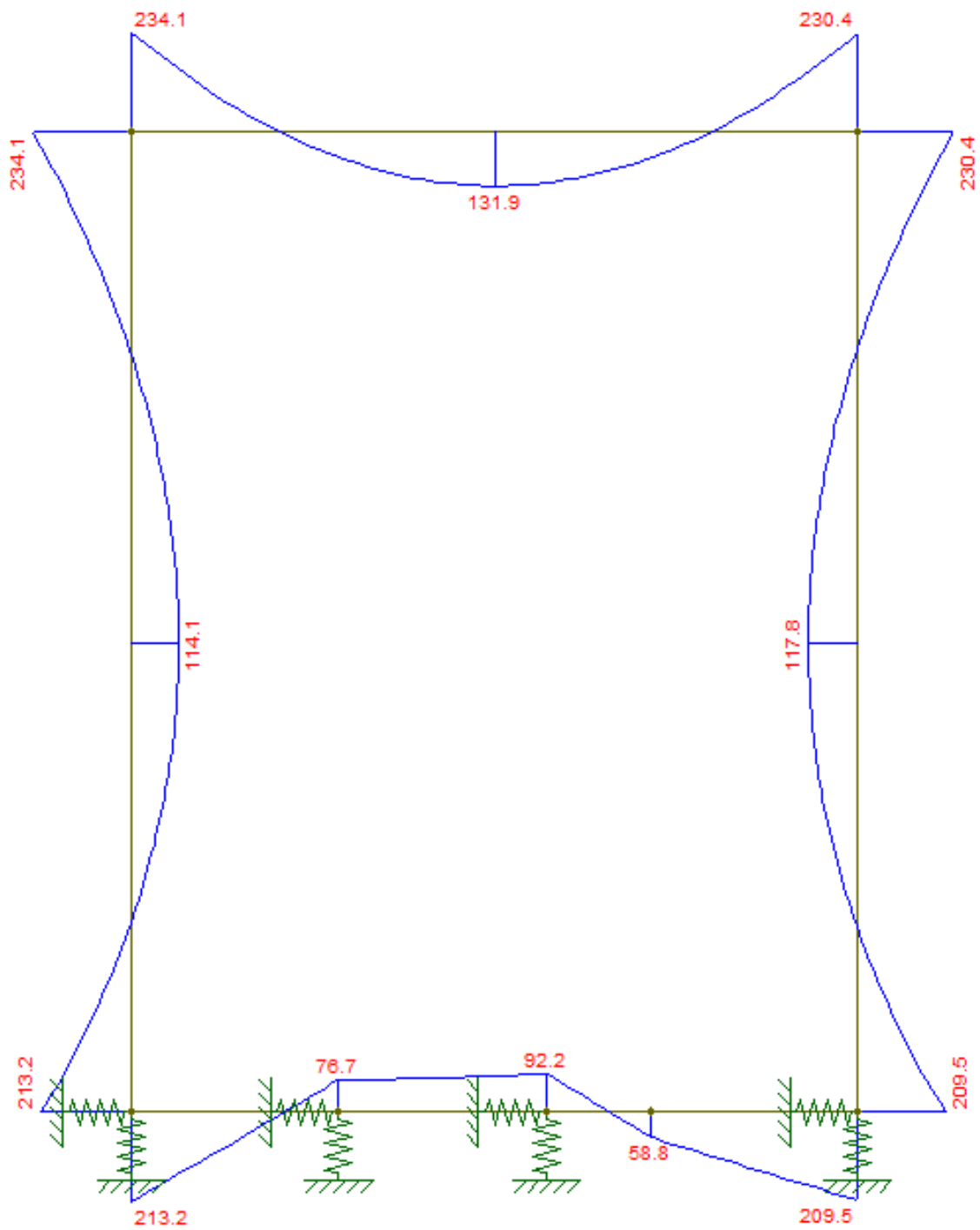


Figura 17 – Diagrama de momento (kNm/m)



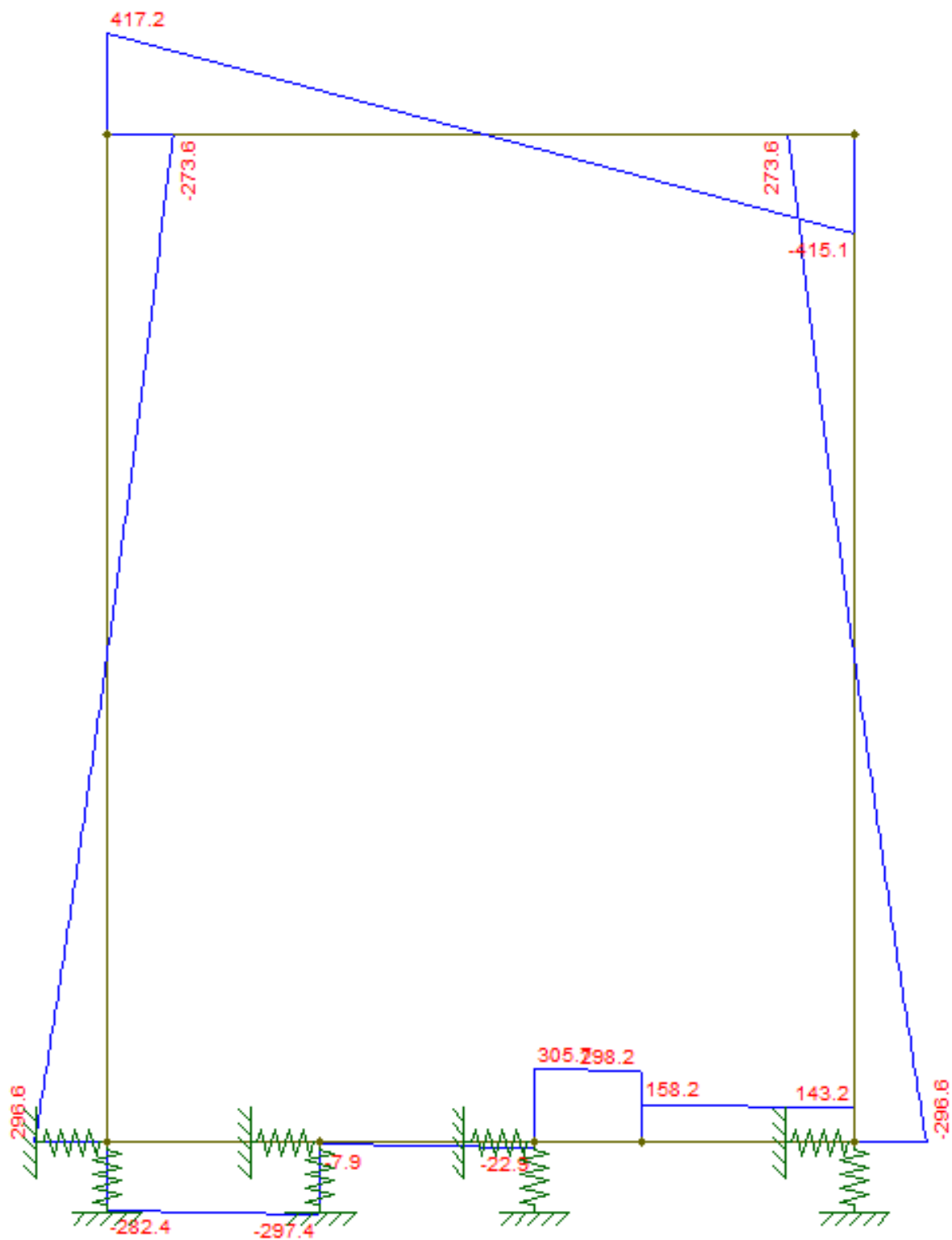


Figura 18 – Diagrama de cortante (kN/m)

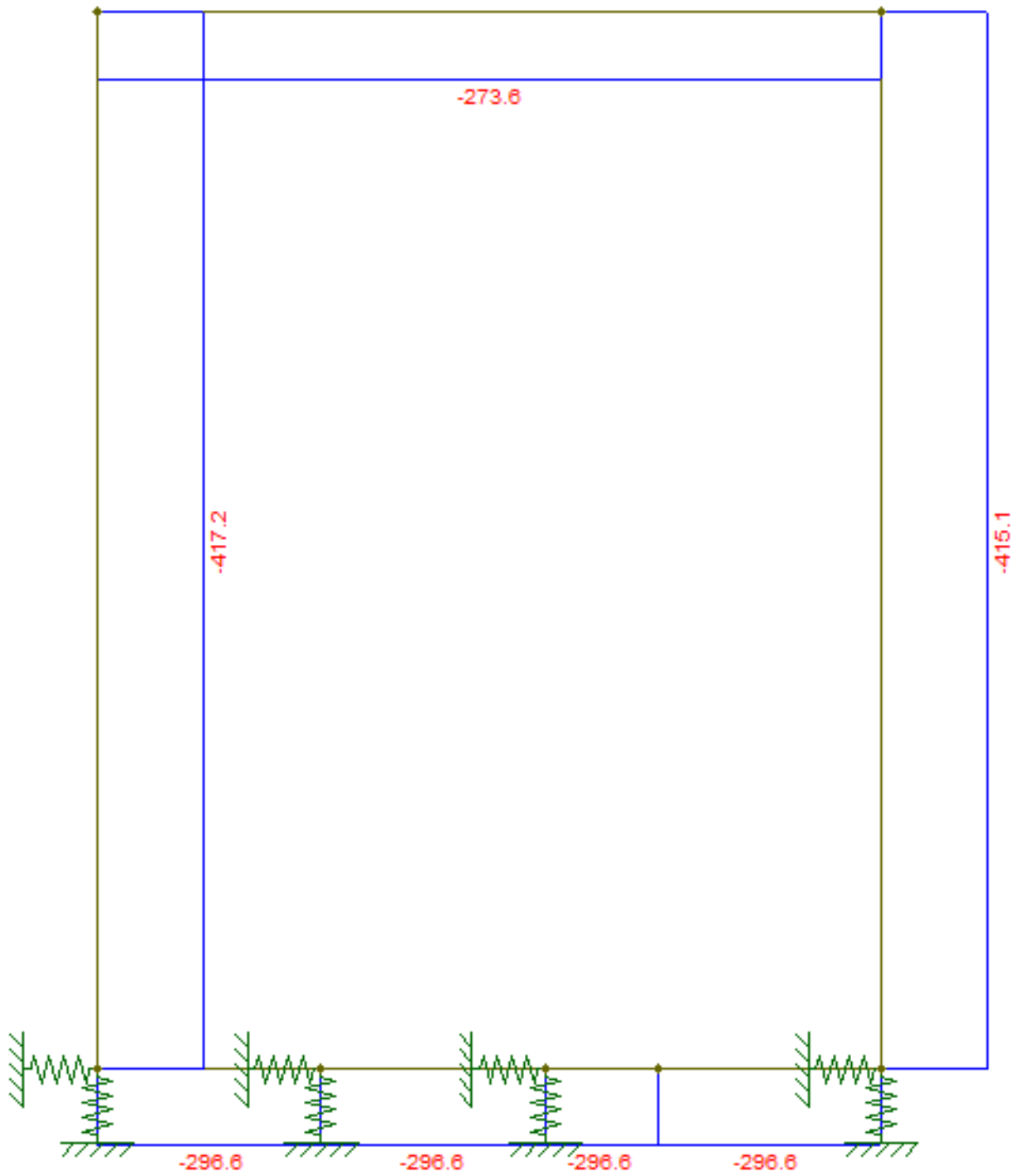


Figura 19 – Diagrama de esforço axial (kN)

#### 4.4.2.1 DIMENSIONAMENTO DA LAJE SUPERIOR

FLEXAO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SECAO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012				
Obra / Elemento:	VALE-LAJE SUPERIOR TUNEL DE ACESSO			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	60			
d	56			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	273,6			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	23410			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,6			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,6			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	9,45			
K fis	1,74			
As inf com fiss	16,46			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	5,45			
d lim	21,87			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,274			

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-1,03			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	32,88			
x II	11,31			
I II (relativa à LN)	200284			
I II / I g	0,1109			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

DIÁMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,6			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,6			
Espaç. p/ larg. b	12,21			
Nº $\phi$ As inf	8,19			

TIPO DE BARRA / $\eta_1$	
Lisa (CA-25) / 1	
Entalhada (CA-60) / 1.4	
Alta Ader. (CA-50) / 2.25	

#### 4.4.2.2 DIMENSIONAMENTO DA LAJE INFERIOR

FLEXAO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SECAO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012				
Obra / Elemento:	VALE-LAJE INFERIOR TUNEL DE ACESSO			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	60			
d	56			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	296,6			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	23120			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,6			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,6			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	8,90			
K fis	1,75			
As inf com fiss	15,56			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	5,51			
d lim	21,73			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,259			

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-1,04			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	33,00			
x II	11,34			
I II (relativa à LN)	191676			
I II / I g	0,1061			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

DIÁMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,6			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,6			
Espaç. p/ larg. b	12,92			
Nº $\phi$ As inf	7,74			

TIPO DE BARRA / $\eta_1$	
Lisa (CA-25) / 1	
Entalhada (CA-60) / 1.4	
Alta Ader. (CA-50) / 2.25	

### 4.4.2.3 DIMENSIONAMENTO DA PAREDE

FLEXÃO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SEÇÃO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012				
Obra / Elemento: VALE-PAREDE TUNEL DE ACESSO				
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	50			
d	46			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	417,2			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) (>=0)	23420			
$\eta_1$	2,25			
ok	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,6			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,6			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	10,59			
K fis	1,73			
As inf com fiss	18,30			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	7,17			
d lim	21,87			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) (<=4%)	0,366			

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
cc fibra sup. (compr. -)	-1,34			
cs sup (tração +)				
cs inf (tração +)	32,62			
x II	11,41			
I II (relativa à LN)	151603			
I II / I g	0,1448			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,6			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,6			
Espaç. p/ larg. b	10,99			
Nº $\phi$ As inf	9,10			

TIPO DE BARRA / $\eta_1$				
Lisa (CA-25) / 1				
Entalhada (CA-60) / 1.4				
Alta Ader. (CA-50) / 2.25				

Alternativa 1

Alternativa 2

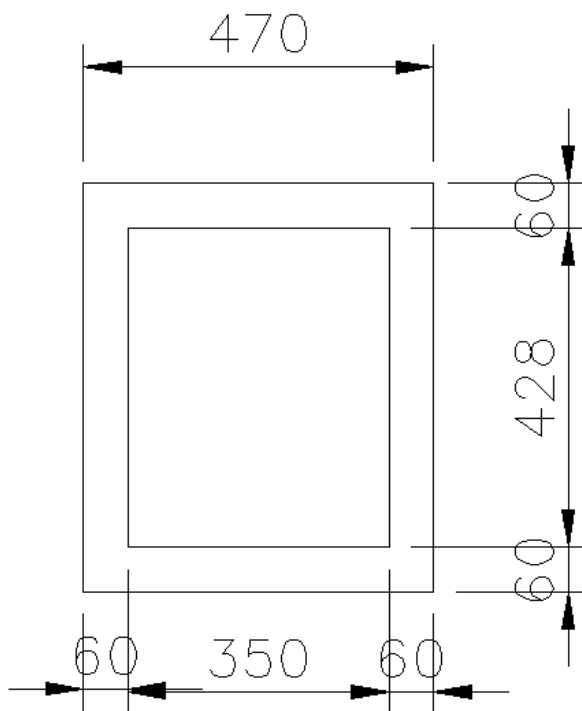


Figura 20 – Seção transversal trecho B (cm)

4.4.3 TRECHO C

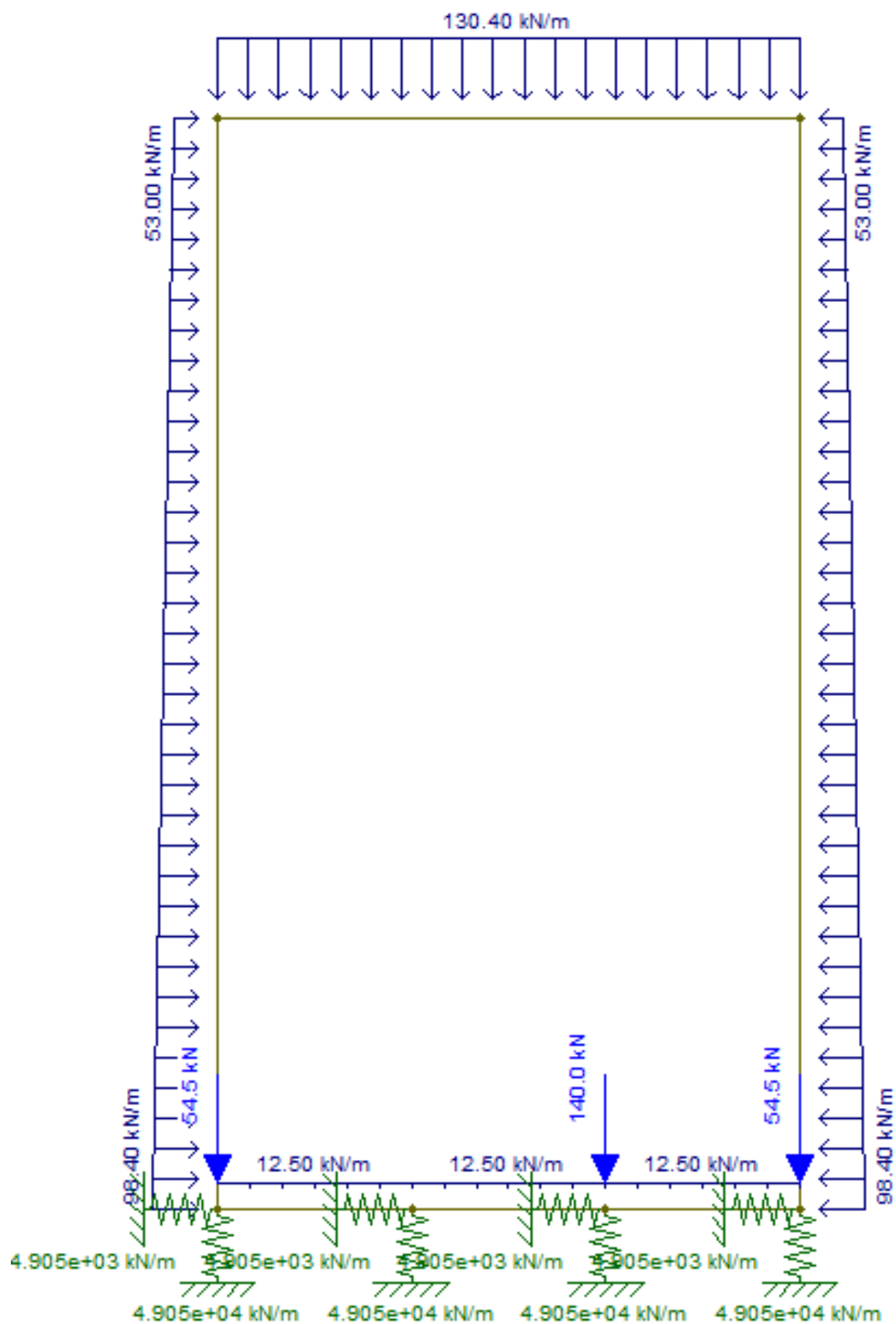


Figura 21 – Cargas do túnel de acesso

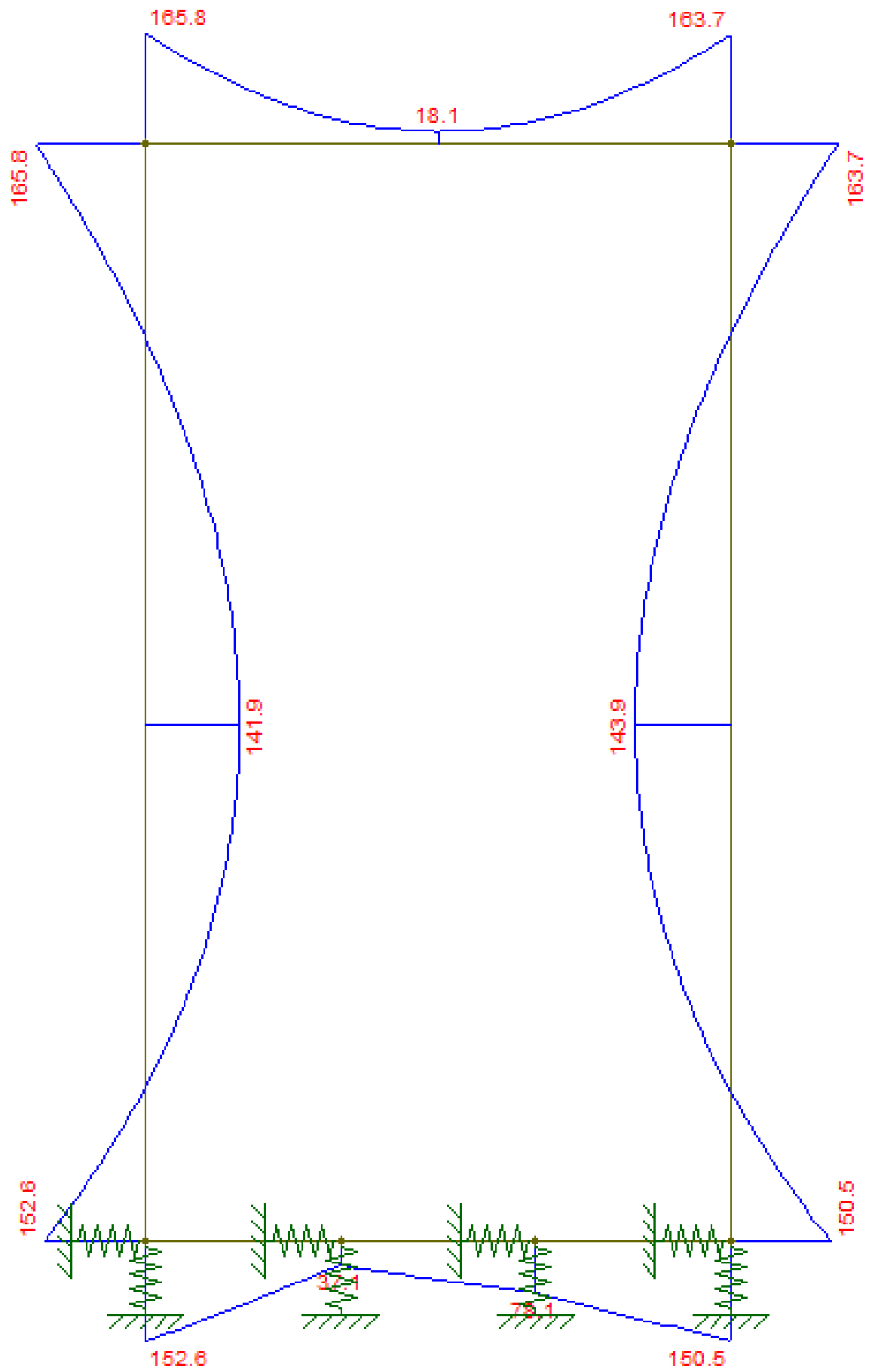


Figura 22 – Diagrama de momento (kNm/m)

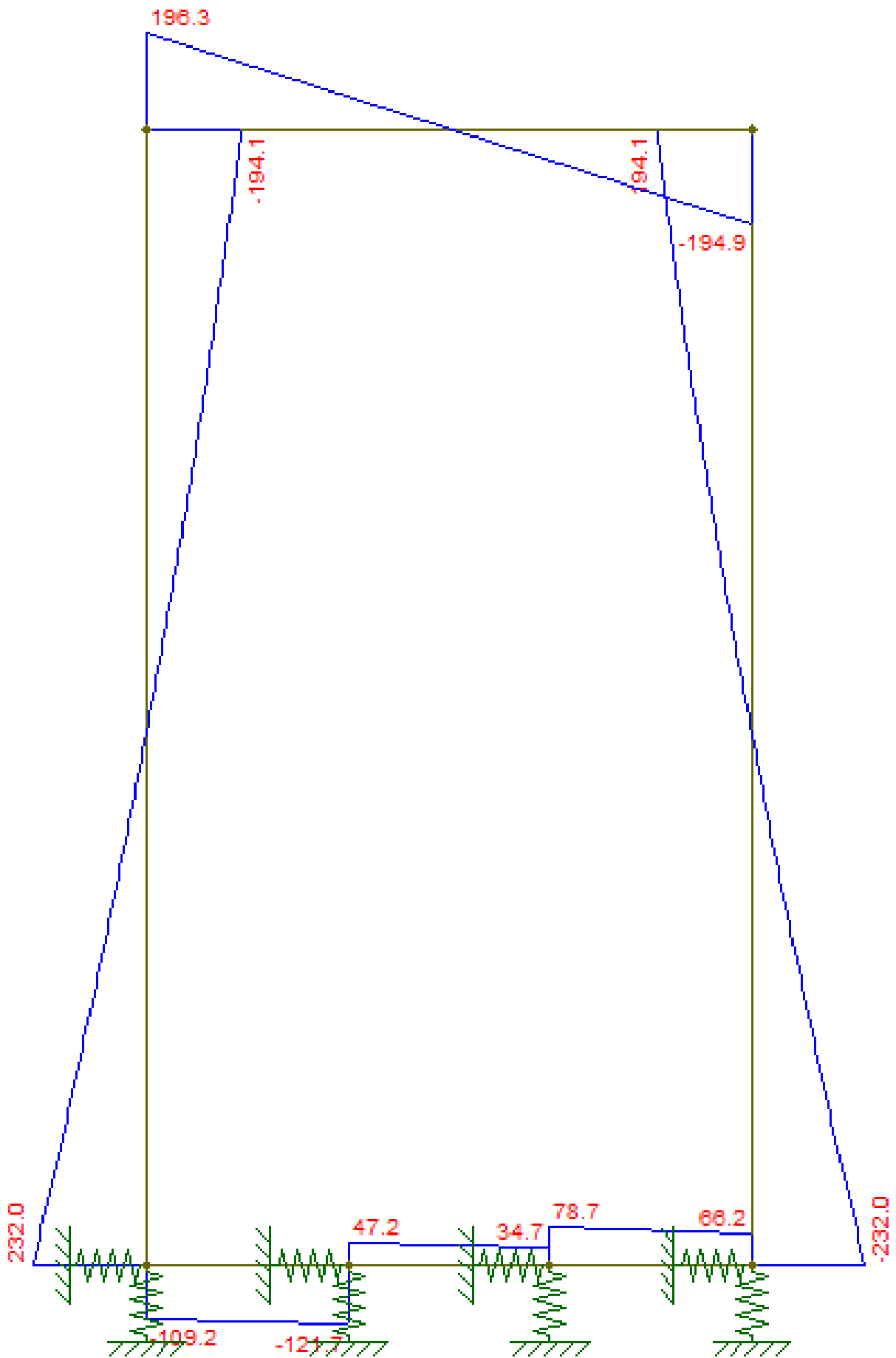


Figura 23 – Diagrama de cortante (kN/m)

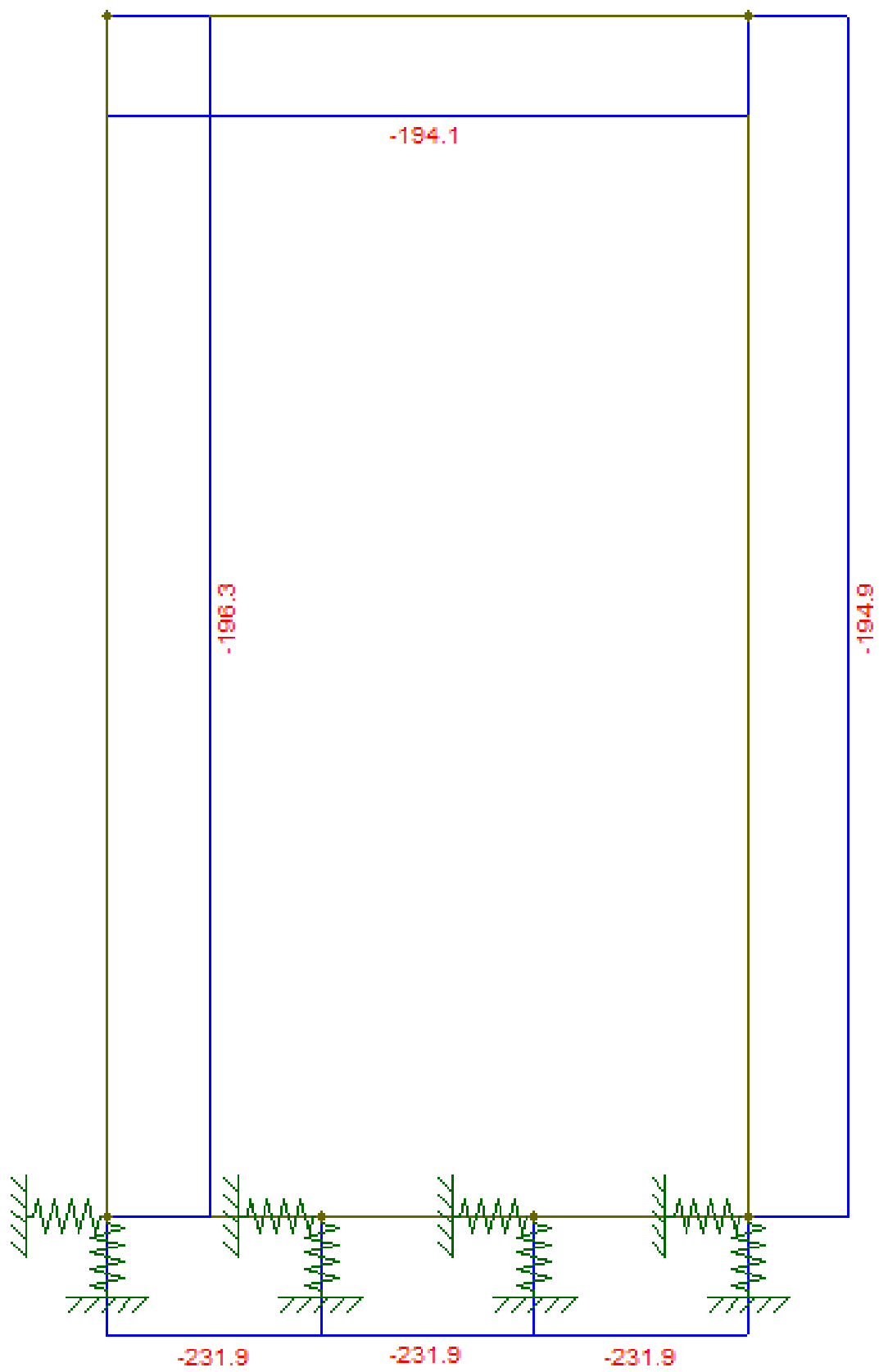


Figura 24 – Diagrama de esforço axial (kN)



#### 4.4.3.1 DIMENSIONAMENTO DA LAJE SUPERIOR

FLEXÃO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SEÇÃO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012

Obra / Elemento:	VALE-LAJE SUPERIOR TUNEL DE ACESSO			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	50			
d	46			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	194,1			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) (>=0)	16580			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,6			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,6			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	8,80			
K fis	1,73			
As inf com fiss	15,23			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	4,49			
d lim	18,40			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) (<=4%)	0,305			

(0.5 a  
4.0mm)

Alternativa 1

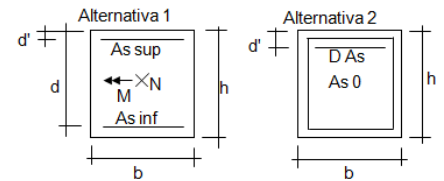
Alternativa 2

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-1,03			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	32,68			
x II	9,33			
I II (relativa à LN)	122350			
I II / I g	0,1169			
Var. Última Iteração (%)	4,30E-14			

Altern. 1 (sem fiss.)

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,6			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,6			
Espaç. p/ larg. b	13,20			
Nº $\phi$ As inf	7,57			

Altern. 1 (com fiss.)



TIPO DE BARRA / $\eta_1$
Lisa (CA-25) / 1
Entalhada (CA-60) / 1.4
Alta Ader. (CA-50) / 2.25

#### 4.4.3.2 DIMENSIONAMENTO DA LAJE INFERIOR

FLEXÃO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SEÇÃO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012

Obra / Elemento:	VALE-LAJE INFERIOR TUNEL DE ACESSO			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	50			
d	46			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	231,9			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) (>=0)	15260			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,6			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,6			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	7,18			
K fis	1,75			
As inf com fiss	12,55			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	4,37			
d lim	17,65			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) (<=4%)	0,251			

(0.5 a  
4.0mm)

Alternativa 1

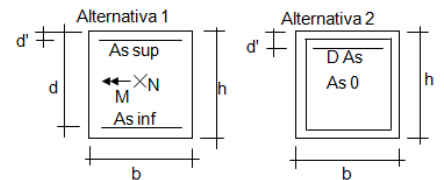
Alternativa 2

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-1,02			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	32,99			
x II	9,18			
I II (relativa à LN)	104199			
I II / I g	0,0995			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

Altern. 1 (sem fiss.)

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,6			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,6			
Espaç. p/ larg. b	16,03			
Nº $\phi$ As inf	6,24			

Altern. 1 (com fiss.)



TIPO DE BARRA / $\eta_1$
Lisa (CA-25) / 1
Entalhada (CA-60) / 1.4
Alta Ader. (CA-50) / 2.25

### 4.4.3.3 DIMENSIONAMENTO DA PAREDE

FLEXÃO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SECAO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012				
Obra / Elemento:	VALE-PAREDE TUNEL DE ACESSO			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	40			
d	36			
d'	4			
N ( $\gamma f=1,4$ ; compr.+)	196,3			
M ( $\gamma f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	16580			
$\eta 1$	2,25			
$\omega k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,6			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,6			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	12,49			
K fis	1,70			
As inf com fiss	21,26			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	5,61			
d lim	18,40			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,531			

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma c$ fibra sup. (compr. -)	-1,33			
$\sigma s$ sup (tração +)				
$\sigma s$ inf (tração +)	32,12			
x II	9,00			
I II (relativa à LN)	97639			
I II / I g	0,1817			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,6			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,6			
Espaç. p/ larg. b	9,46			
Nº $\phi$ As inf	10,57			

TIPO DE BARRA / $\eta 1$	
Lisa (CA-25) / 1	
Entalhada (CA-60) / 1.4	
Alta Ader. (CA-50) / 2.25	

Alternativa 1

Alternativa 2

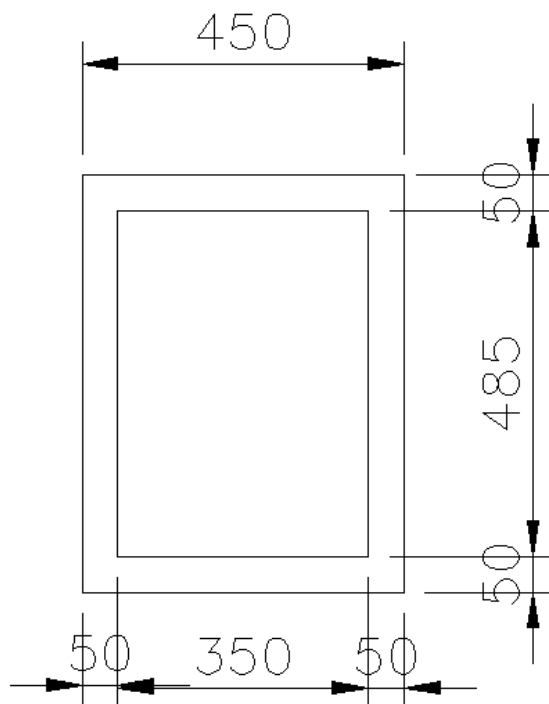


Figura 25 – Seção transversal trecho C (cm)

#### 4.4.4 TÚNEL DE EMERGÊNCIA

O túnel de emergência tem largura interna de 2,2m, comprimento de aproximadamente 24,0m e altura constante de 3,30. Este túnel foi dividido em 2 trechos A, B conforme figura abaixo:

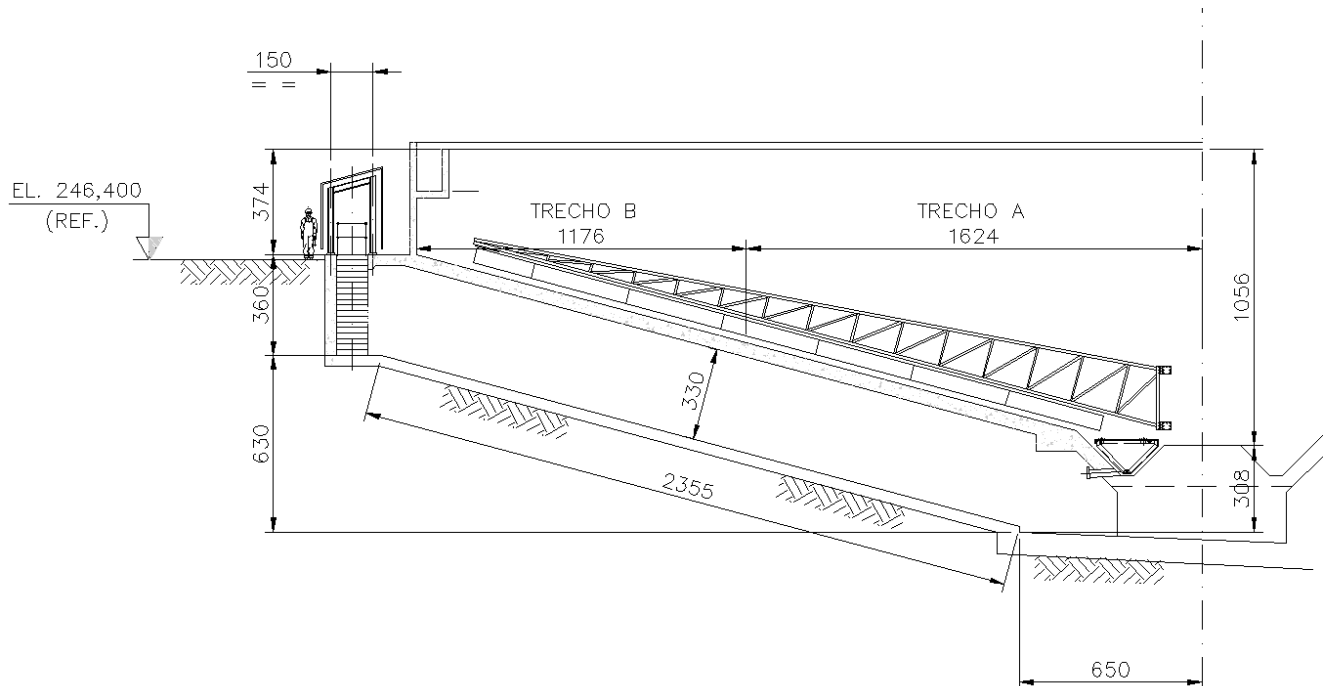


Figura 26 – Vista do túnel de emergência

As tabelas abaixo indica as pressões no túnel em cada trecho considerado, utilizando-se o valor de 0,45 para o coeficiente de empuxo em repouso:

TÚNEL DE EMERGÊNCIA							
TRECHO	h terra (m)	h polpa (m)	hlaje espessador (m)	Pterra (kN/m <sup>2</sup> )	Ppolpa (kN/m <sup>2</sup> )	Plaje espessador (kN/m <sup>2</sup> )	Soma (kN/m <sup>2</sup> )
A	0	10,6	0,4	0	138,3	10,0	148,3
B	0	3,7	0,3	0	49,0	7,5	56,5

TÚNEL DE EMERGÊNCIA			
TRECHO	altura (m)	Empuxo parede (kN/m <sup>2</sup> ) inicial	Empuxo parede (kN/m <sup>2</sup> ) final
A	3,3	62,2	89,0
B	3,3	22,1	48,8

4.4.5 TRECHO A

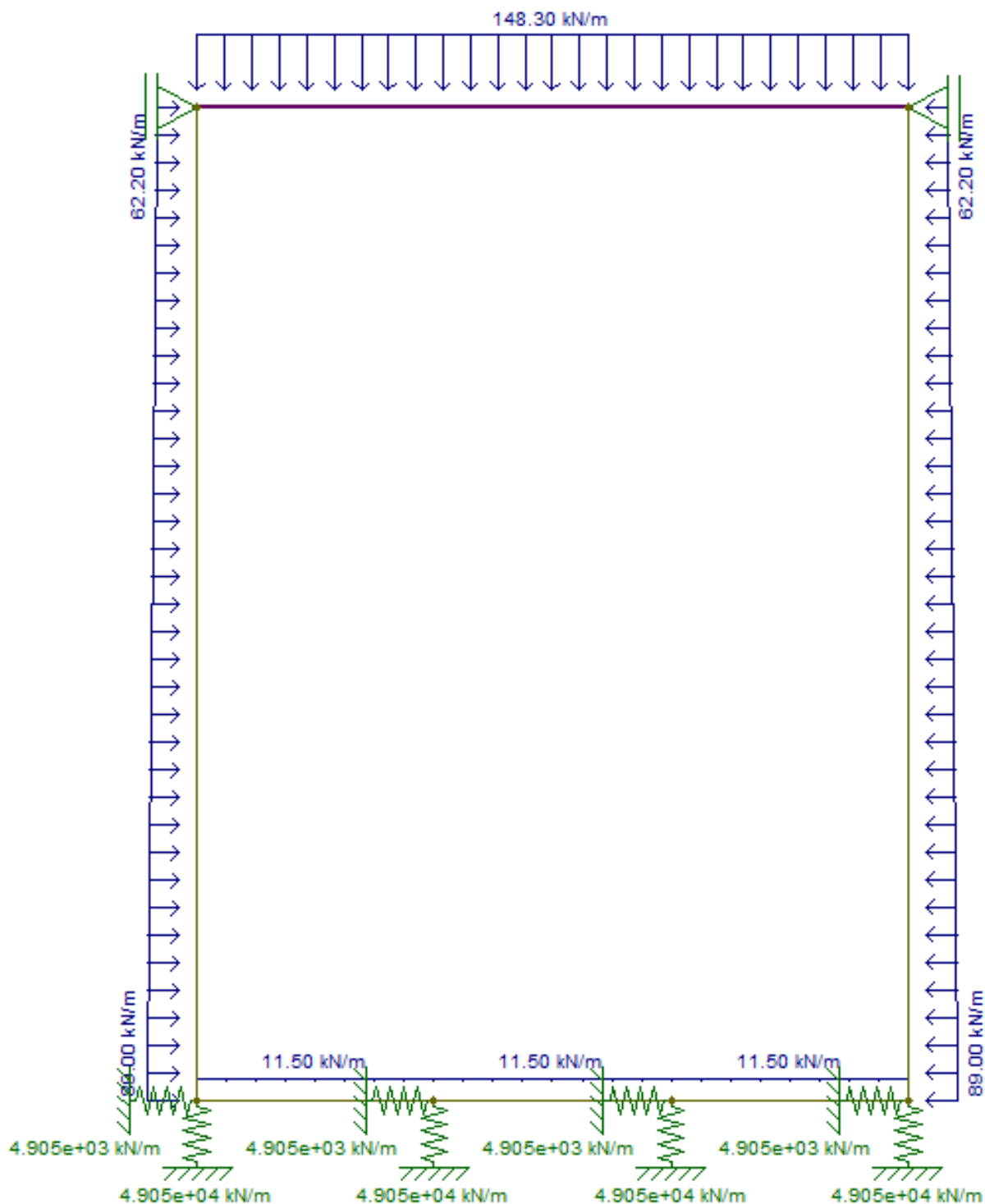


Figura 27 – Cargas do túnel de emergência

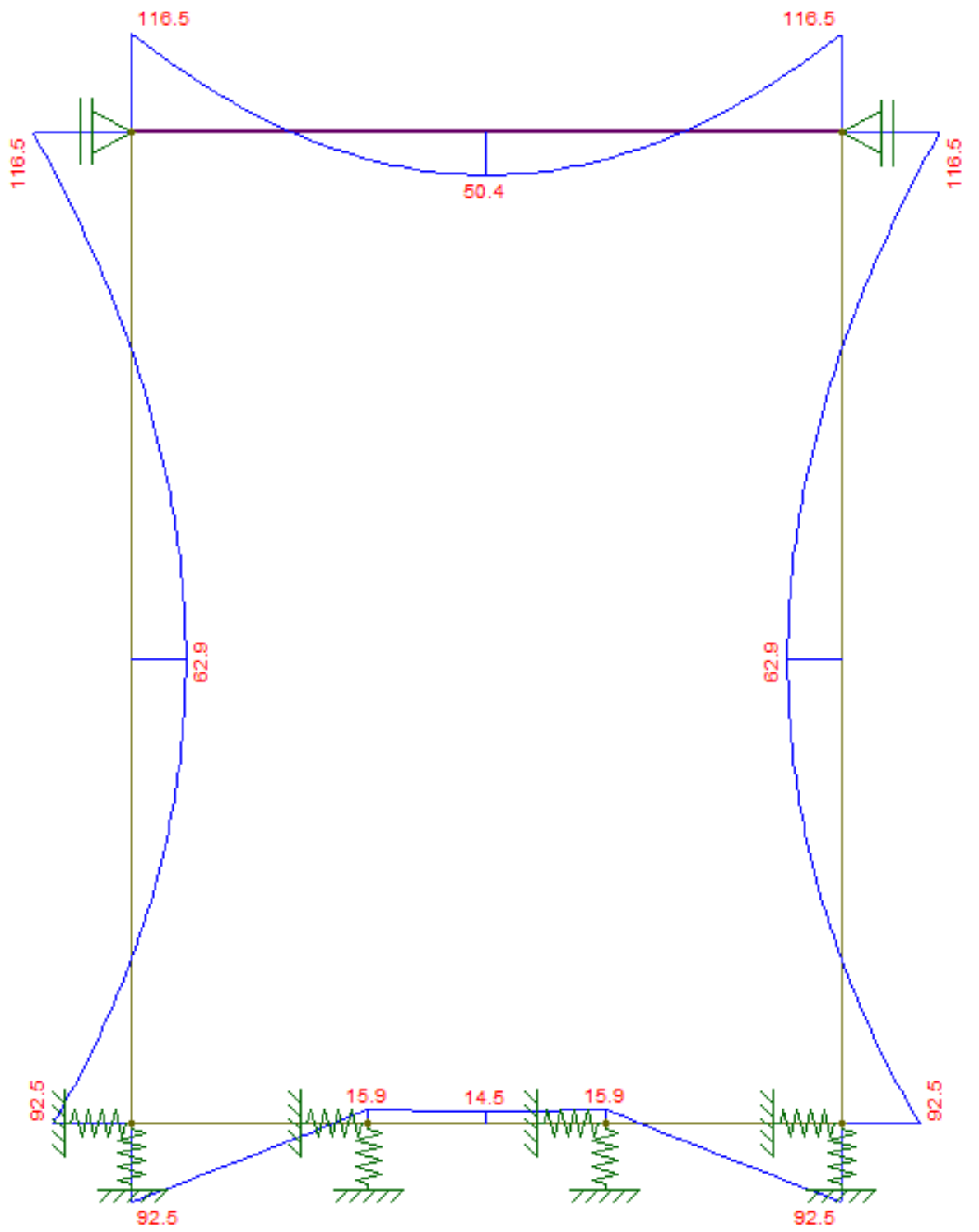


Figura 28 – Diagrama de momento (kNm/m)

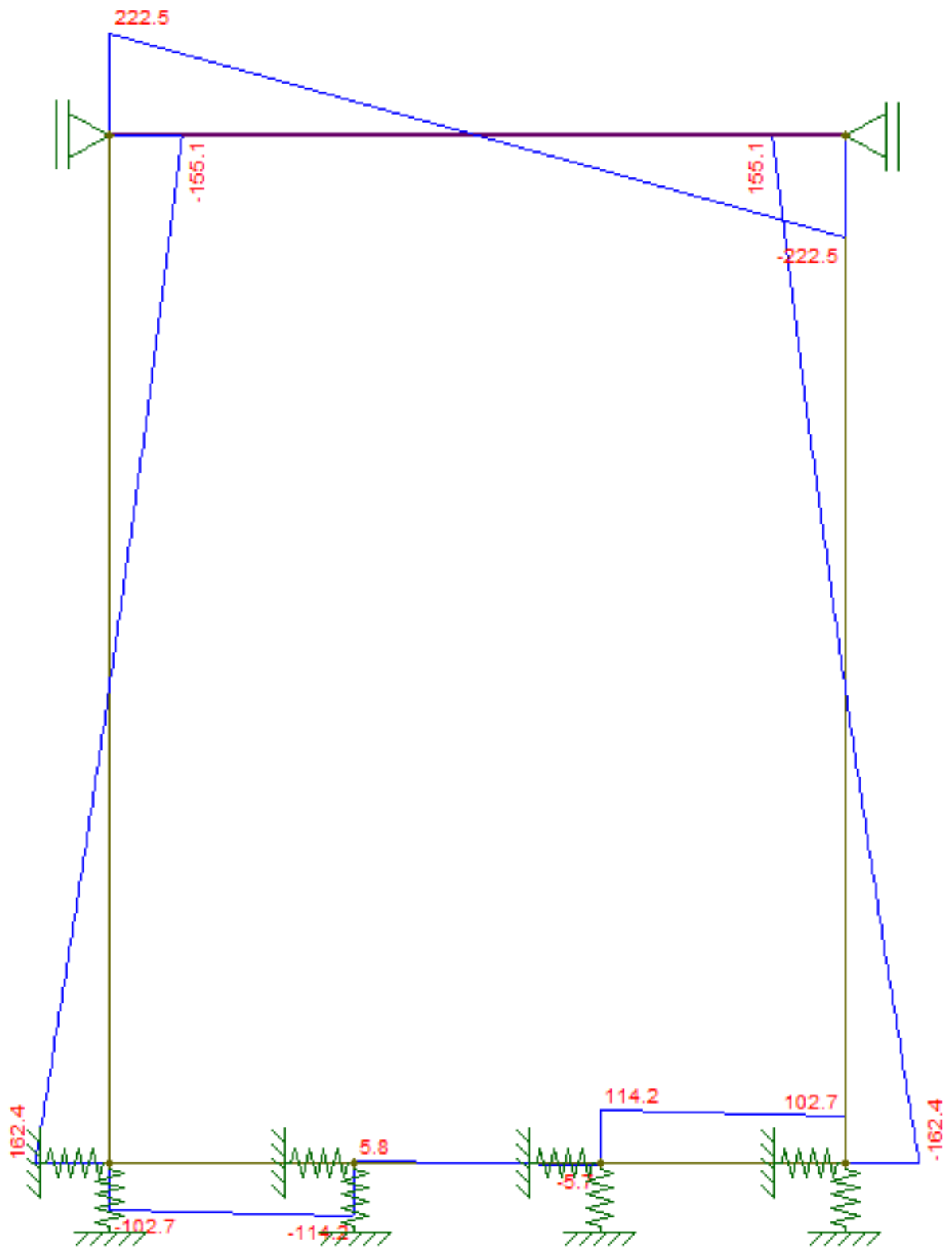


Figura 29 – Diagrama de cortante(kN/m)

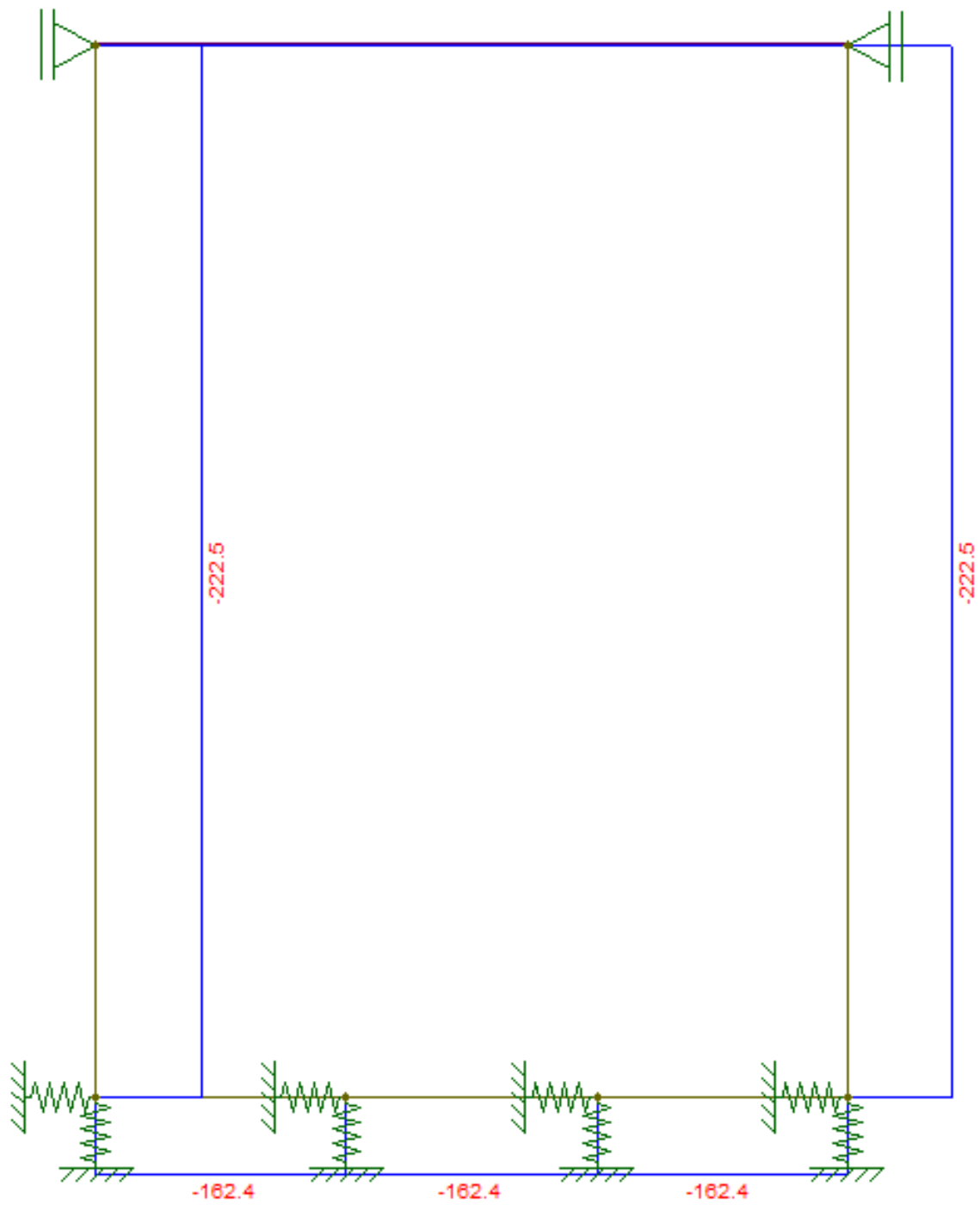


Figura 30 – Diagrama de esforço axial (kN/m)

#### 4.4.5.1 DIMENSIONAMENTO DA LAJE SUPERIOR

**FLEXAO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SECAO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012**

Obra / Elemento:	VALE-LAJE SUPERIOR TUNEL EMERGÊNCIA			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	40			
d	36			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	1			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	11650			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,6			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,6			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	10,79			
K fis	1,70			
As inf com fiss	18,32			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	3,23			
d lim	15,43			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,458			

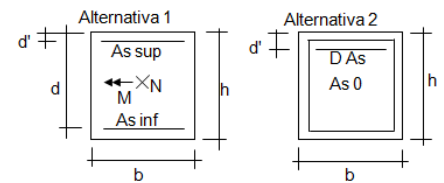
(0.5 a  
4.0mm)

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-0,98			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	32,05			
x II	7,10			
I II (relativa à LN)	84524			
I II / I g	0,1573			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

Altern. 1 (sem fiss.)

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,6			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,6			
Espaç. p/ larg. b	10,98			
Nº $\phi$ As inf	9,11			

Altern. 1 (com fiss.)



TIPO DE BARRA / $\eta_1$
Lisa (CA-25) / 1
Entalhada (CA-60) / 1.4
Alta Ader. (CA-50) / 2.25

#### 4.4.5.2 DIMENSIONAMENTO DA LAJE INFERIOR

**FLEXAO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SECAO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012**

Obra / Elemento:	VALE-LAJE INFERIOR TUNEL EMERGÊNCIA			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	40			
d	36			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	162,4			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	9250			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,6			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,6			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	5,77			
K fis	1,74			
As inf com fiss	10,05			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	3,28			
d lim	13,75			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,251			

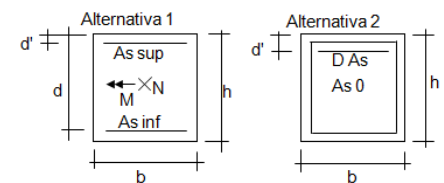
(0.5 a  
4.0mm)

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-1,00			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	32,89			
x II	7,06			
I II (relativa à LN)	50662			
I II / I g	0,0943			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

Altern. 1 (sem fiss.)

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,6			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,6			
Espaç. p/ larg. b	20,01			
Nº $\phi$ As inf	5,00			

Altern. 1 (com fiss.)



TIPO DE BARRA / $\eta_1$
Lisa (CA-25) / 1
Entalhada (CA-60) / 1.4
Alta Ader. (CA-50) / 2.25



### 4.4.5.3 DIMENSIONAMENTO DA PAREDE

FLEXÃO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SEÇÃO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012				
Obra / Elemento:	VALE-LAJE INFERIOR TUNEL EMERGÊNCIA			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	40			
d	36			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	222,5			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	11650			
$\eta^1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,6			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,6			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	7,12			
K fis	1,74			
As inf com fiss	12,37			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	4,26			
d lim	15,43			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,309			

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-1,15			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	32,81			
x II	7,93			
I II (relativa à LN)	61778			
I II / I g	0,1149			
Var. Última iteração (%)	0,00E+00			

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,6			
Espaç. p/larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,6			
Espaç. p/larg. b	16,26			
Nº $\phi$ As inf	6,15			

TIPO DE BARRA / $\eta^1$	
Lisa (CA-25) / 1	
Entalhada (CA-60) / 1.4	
Alta Ader. (CA-50) / 2.25	

Alternativa 1

Alternativa 2

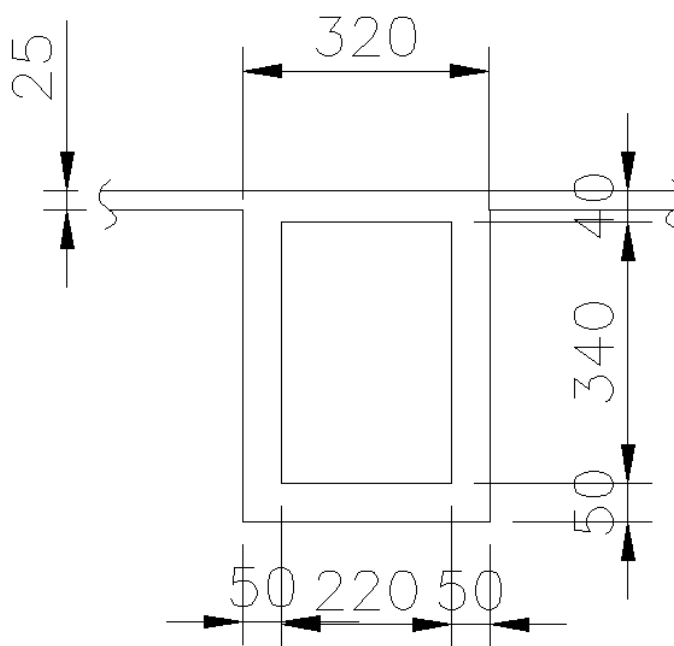


Figura 31 – Seção transversal trecho A (cm)

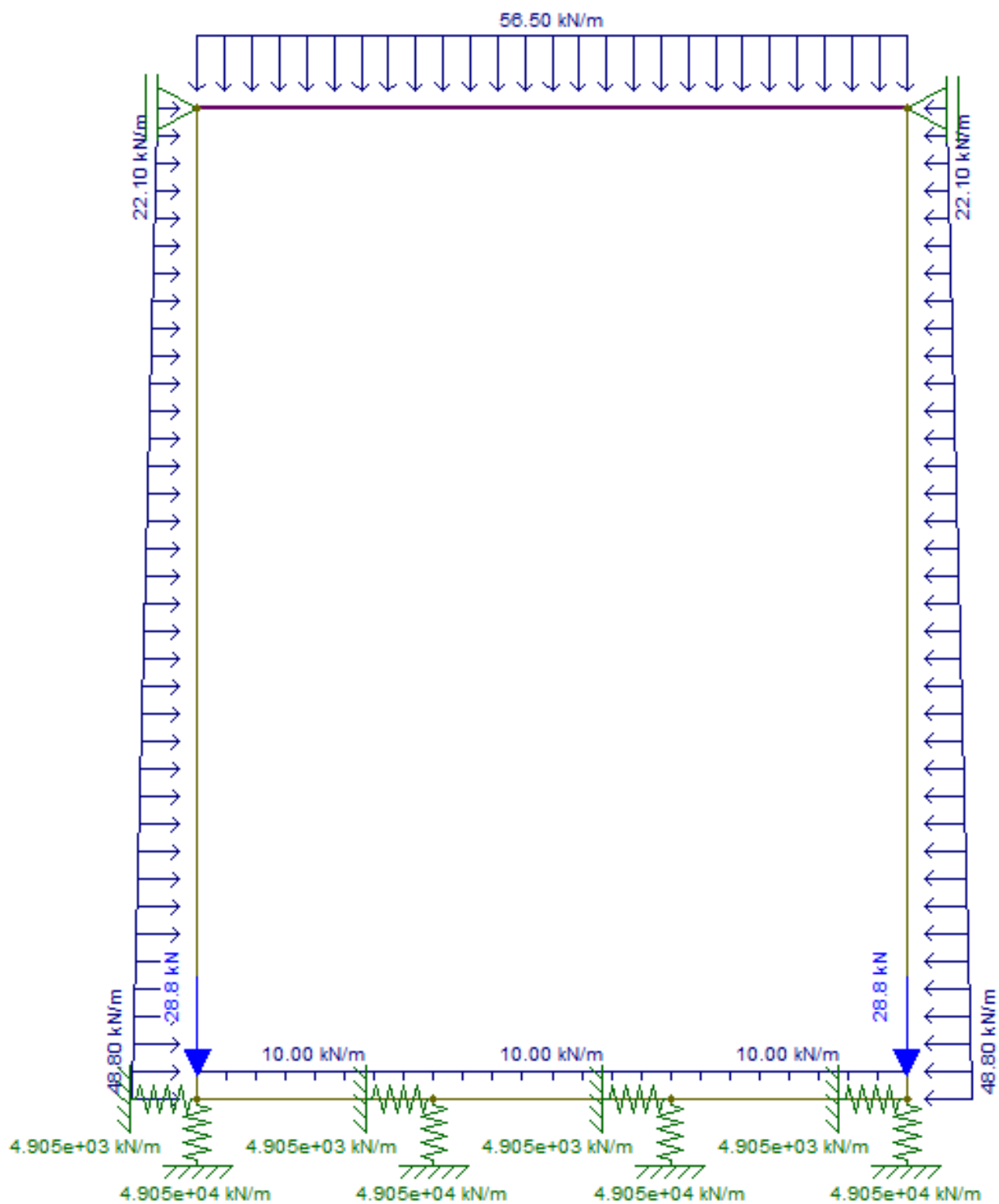


Figura 32 – Cargas do túnel de emergência

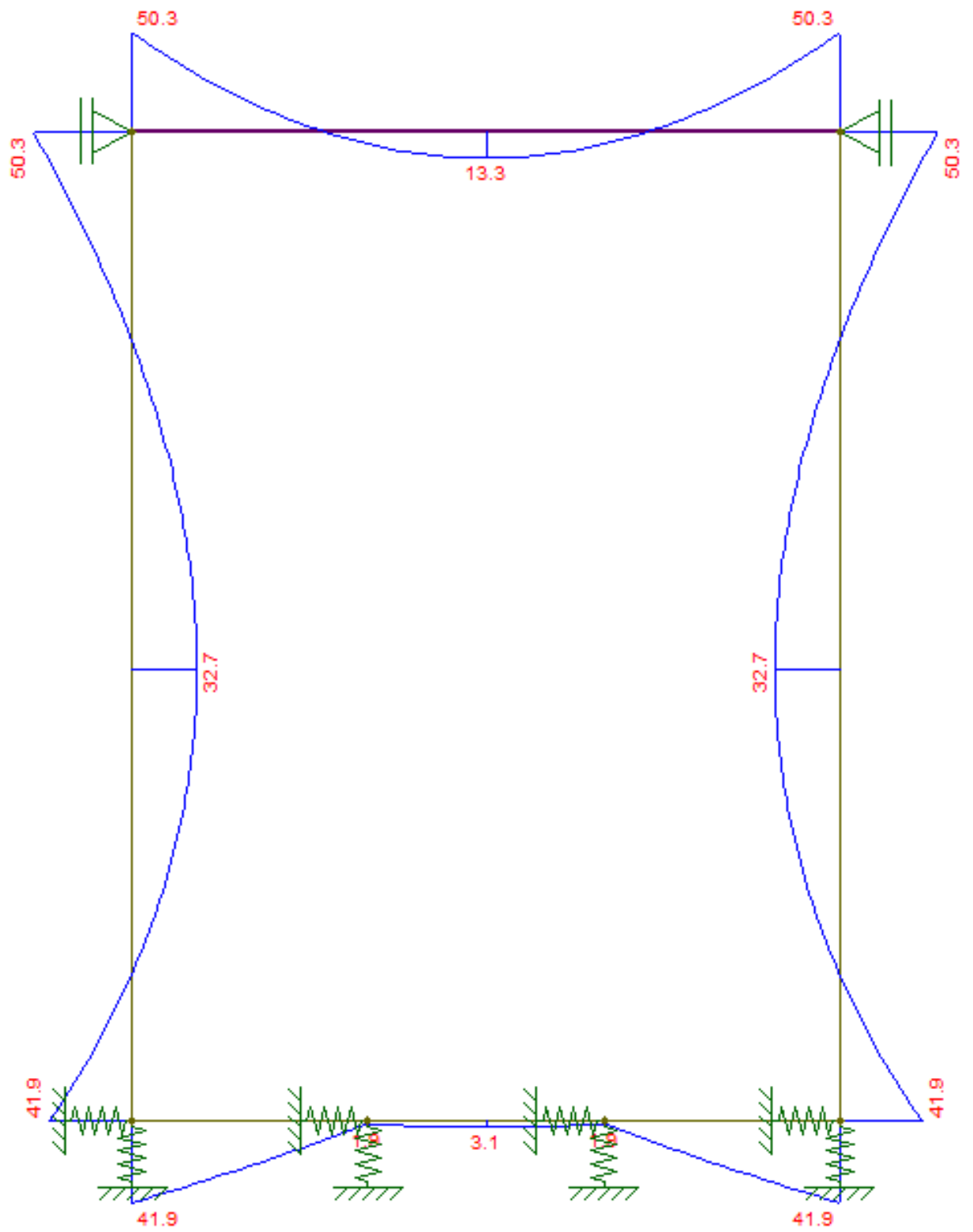


Figura 33 – Diagrama de momento (kNm/m)

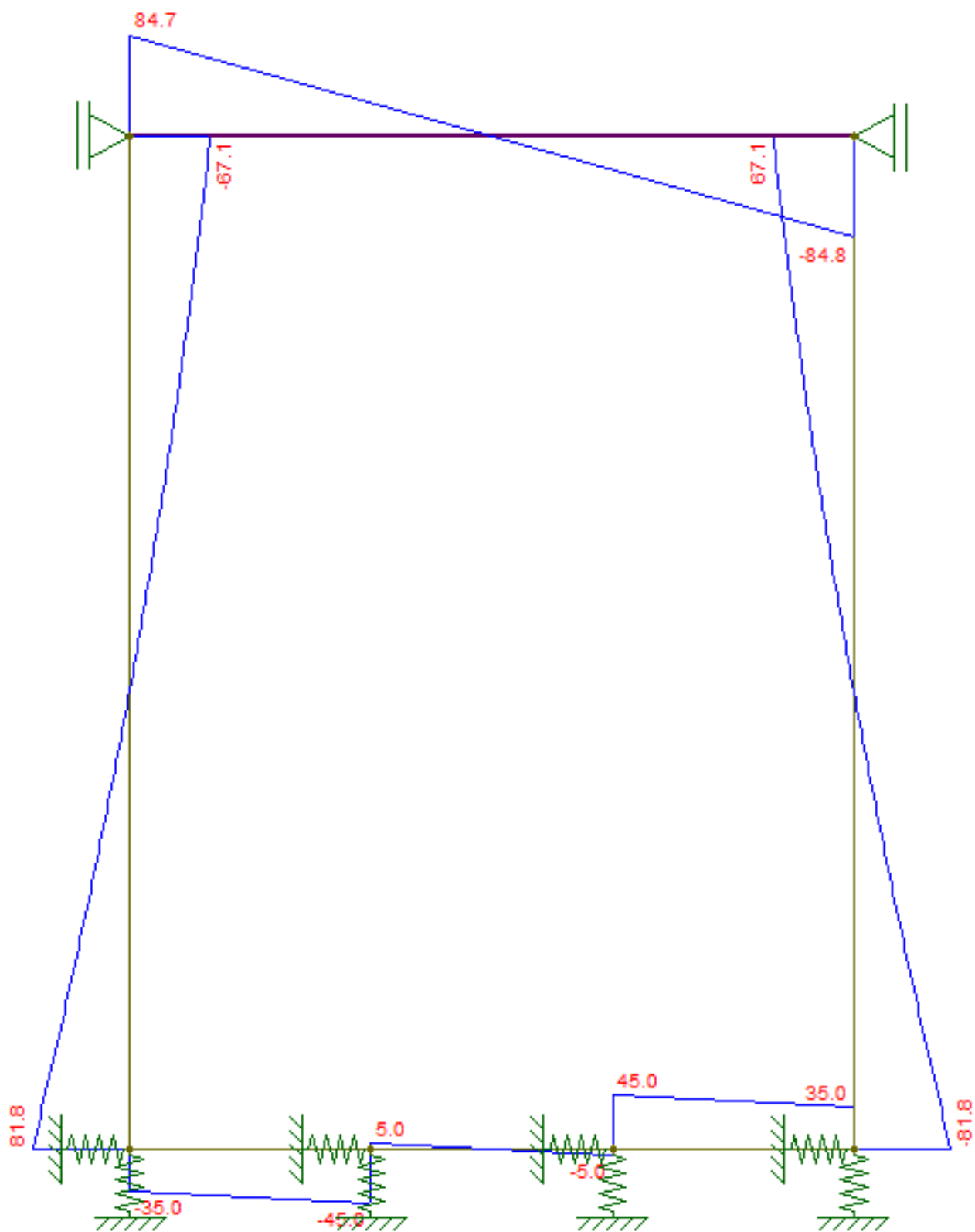


Figura 34 – Diagrama de cortante (kN/m)

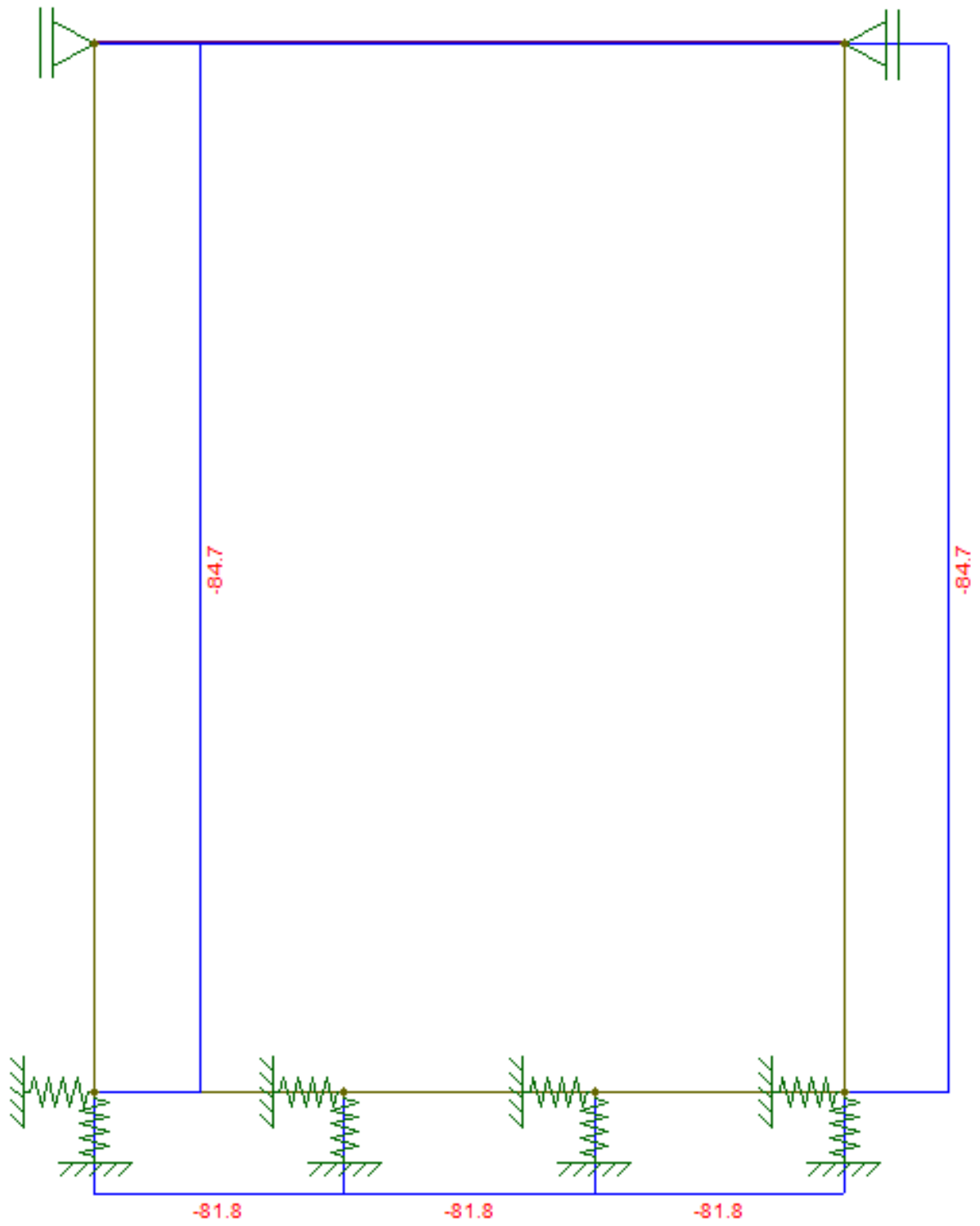


Figura 35 – Diagrama de esforço axial (kN)

## 4.5.1 DIMENSIONAMENTO DA LAJE SUPERIOR

### FLEXÃO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SEÇÃO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012

Obra / Elemento:	VALE-LAJE SUPERIOR TÚNEL EMERGÊNCIA			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	30			
d	26			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	1			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	5030			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,6			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,6			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	6,40			
K fis	1,70			
As inf com fiss	10,88			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	1,92			
d lim	10,14			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,363			

(0.5 a  
4.0mm)

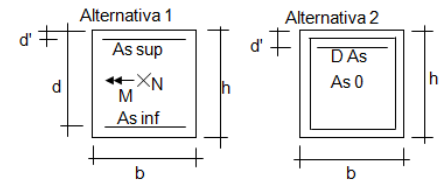
Alternativa 1  
Alternativa 2

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-0,88			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	32,08			
x II	4,70			
I II (relativa à LN)	26852			
I II / I g	0,1177			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

Altern. 1 (sem fiss.)

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,6			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,6			
Espaç. p/ larg. b	18,49			
Nº $\phi$ As inf	5,41			

Altern. 1 (com fiss.)



TIPO DE BARRA / $\eta_1$
Lisa (CA-25) / 1
Entalhada (CA-60) / 1.4
Alta Ader. (CA-50) / 2.25

## 4.5.2 DIMENSIONAMENTO DA LAJE INFERIOR

### FLEXÃO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SEÇÃO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012

Obra / Elemento:	VALE-LAJE INFERIOR TÚNEL EMERGÊNCIA			
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	30			
d	26			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	81,8			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	4190			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,25			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,25			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	3,86			
K fis	1,53			
As inf com fiss	5,92			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	1,94			
d lim	9,25			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,197			

(0.5 a  
4.0mm)

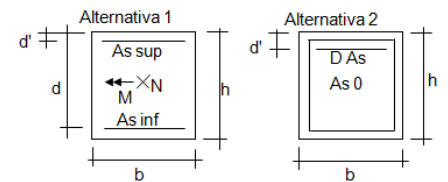
Alternativa 1  
Alternativa 2

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-0,89			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	32,73			
x II	4,68			
I II (relativa à LN)	17557			
I II / I g	0,0770			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

Altern. 1 (sem fiss.)

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,25			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,25			
Espaç. p/ larg. b	20,73			
Nº $\phi$ As inf	4,82			

Altern. 1 (com fiss.)



TIPO DE BARRA / $\eta_1$
Lisa (CA-25) / 1
Entalhada (CA-60) / 1.4
Alta Ader. (CA-50) / 2.25

## 4.5.3 DIMENSIONAMENTO DA PAREDE

FLEXÃO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SEÇÃO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012				
Obra / Elemento: VALE-PAREDE TUNEL EMERGÊNCIA				
Seção	S1			
fck	3			
fyk	50			
b	100			
h	30			
d	26			
d'	4			
N ( $\gamma_f=1,4$ ; compr.+)	84,7			
M ( $\gamma_f=1,4$ ) (>=0)	4900			
$\eta_1$	2,25			
$\omega_k$	0,01			
$\phi$ As sup e As0	1,25			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	1,25			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	4,75			
K fis	1,53			
As inf com fiss	7,25			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	2,23			
d lim	10,00			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) (<=4%)	0,242			

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	2607			
Es	21000			
$\sigma_c$ fibra sup. (compr. -)	-0,96			
$\sigma_s$ sup (tração +)				
$\sigma_s$ inf (tração +)	32,60			
x II	4,99			
I II (relativa à LN)	21035			
I II / I g	0,0922			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	1,25			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	1,25			
Espaç. p/ larg. b	16,92			
Nº $\phi$ As inf	5,91			

TIPO DE BARRA / $\eta_1$	
Lisa (CA-25) / 1	
Entalhada (CA-60) / 1.4	
Alta Ader. (CA-50) / 2.25	

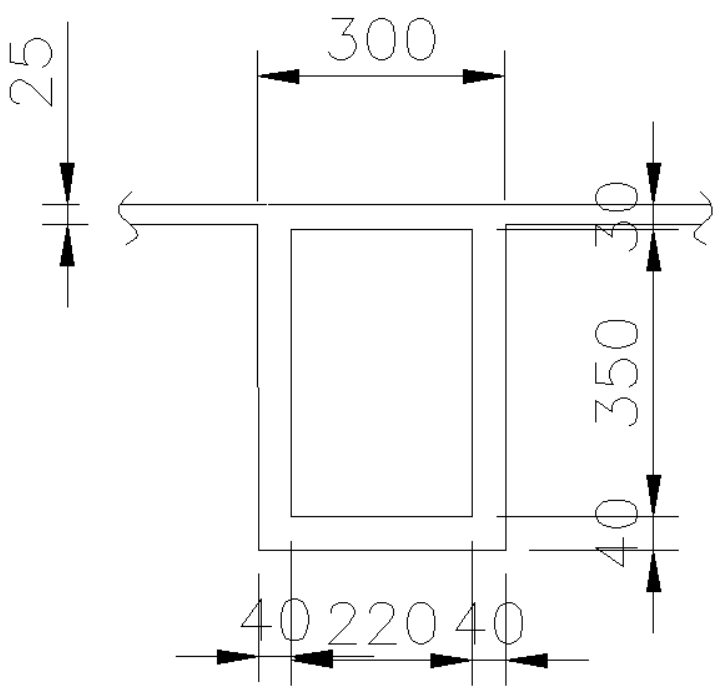
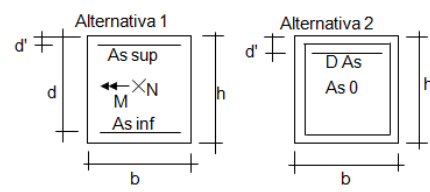


Figura 36 – Seção Transversal

#### 4.6 SUPORTE CENTRAL

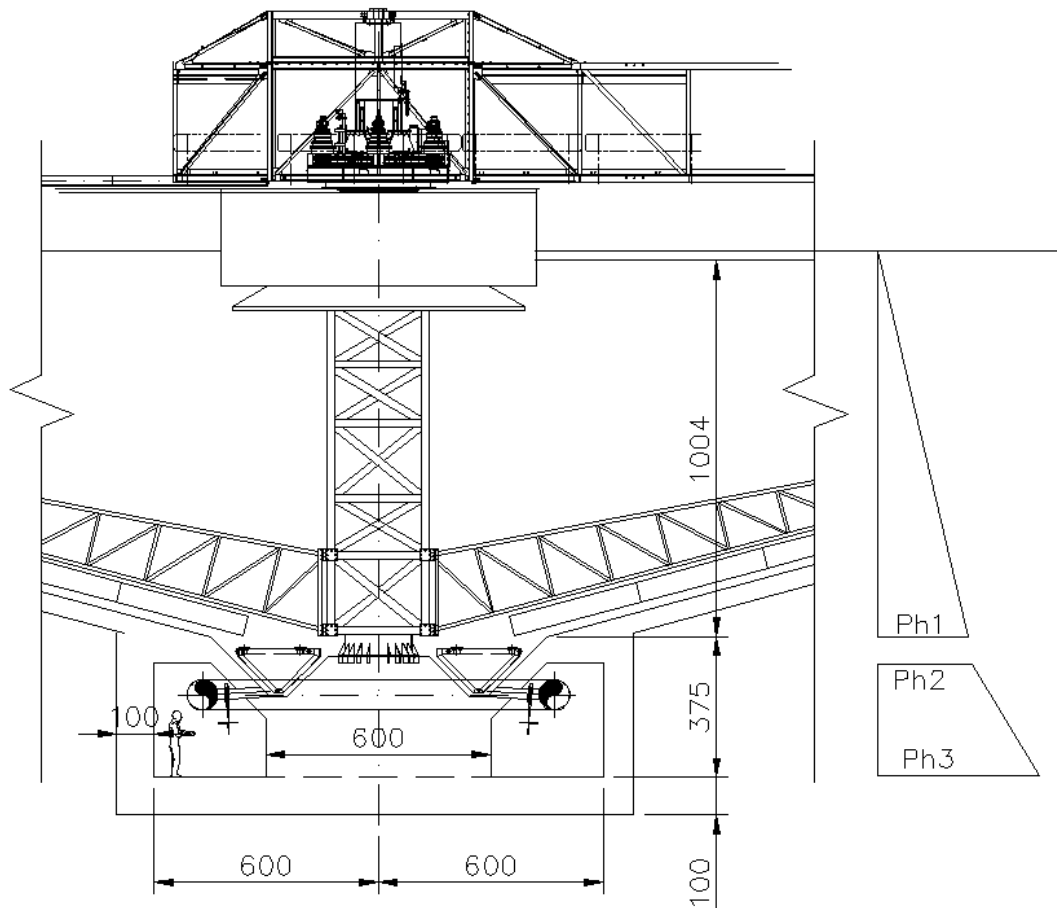


Figura 37 – Suporte central

O cálculo da pressão horizontal na parede do suporte é:

$$Ph1 = 13,1 \cdot 10,04 = 131,5 \text{ kN/m}^2.$$

Para a pressão do solo imediatamente sob a laje de piso, considerando o coeficiente de empuxo em repouso  $K_0=0,45$  tem-se:

$$Ph2 = 0,45 \cdot (131,5 + 25 \cdot 0,25) = 62,0 \text{ kN/m}^2.$$

$$Ph3 = 62,0 + 0,45 \cdot 18 \cdot 3,75 = 92,4 \text{ kN/m}^2.$$

Peso da Ponte + Drive + Suporte + Rake + Tubulação de polpa+ tubulação de floculante = 100,0 tf.



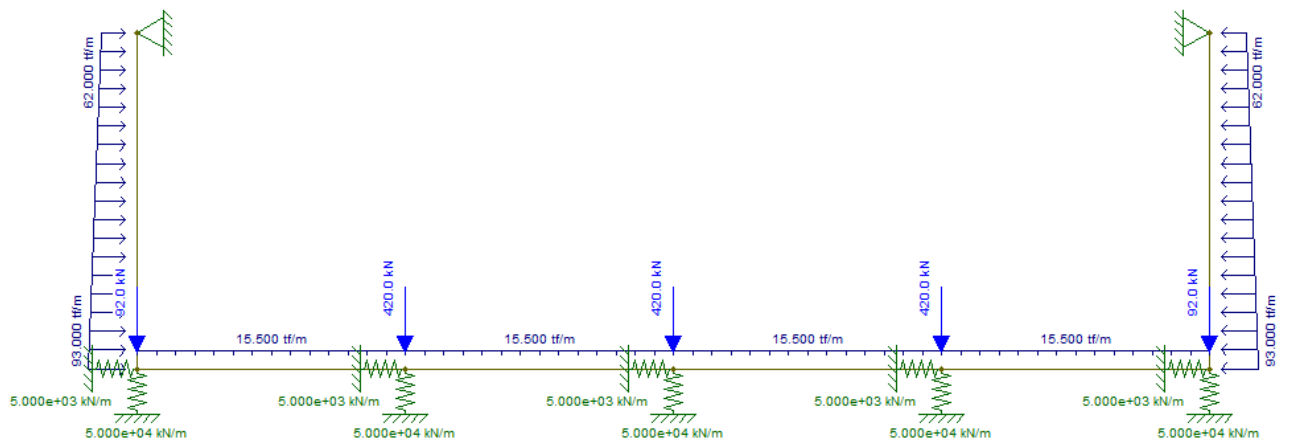


Figura 38 – Modelo estrutural

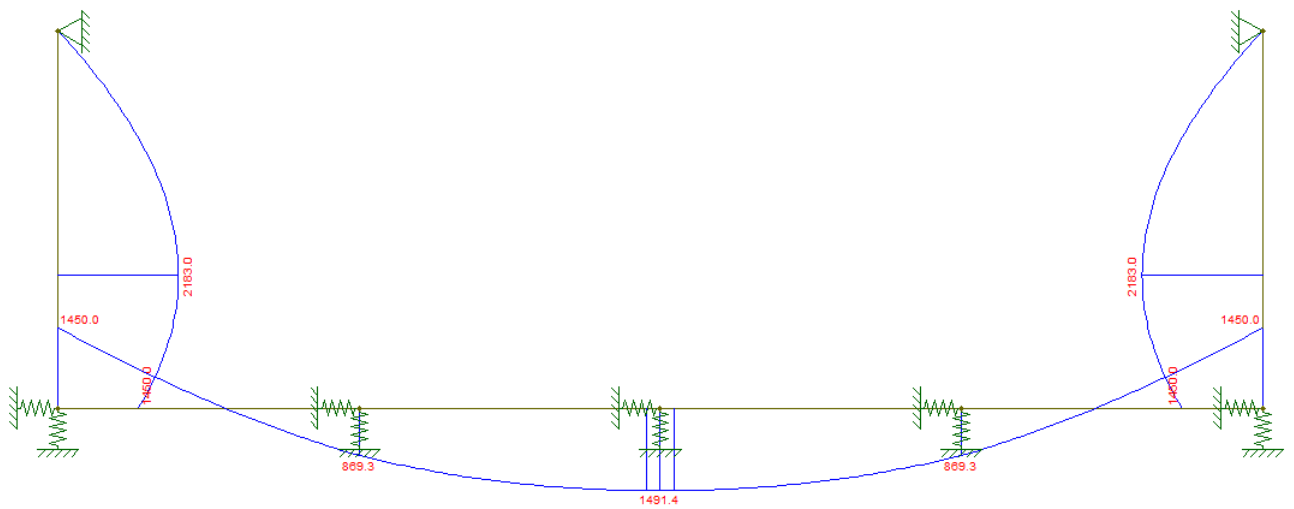


Figura 39 – Diagrama de momento (kNm/m)

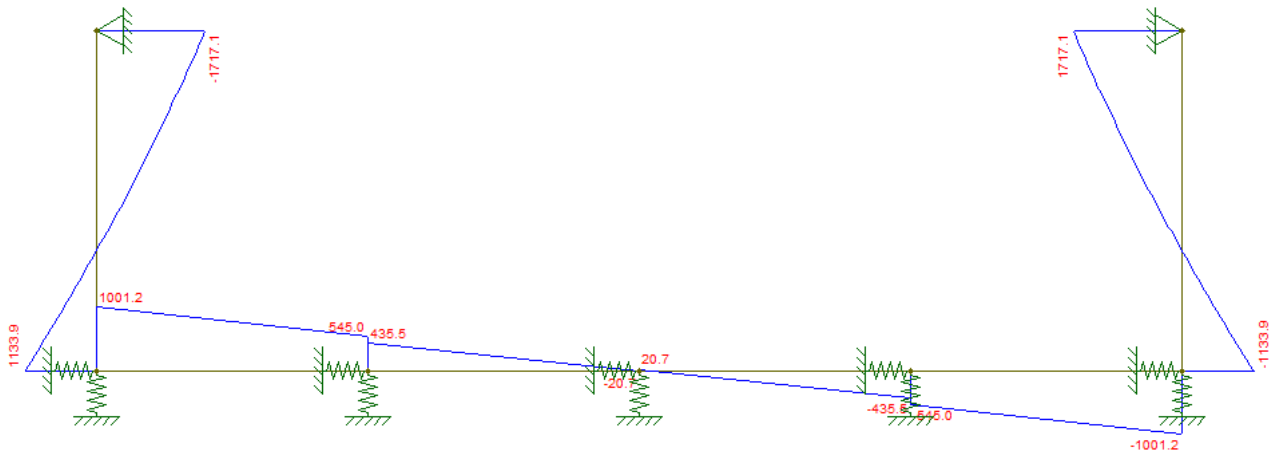


Figura 40 – Diagrama de cortante (kN/m)

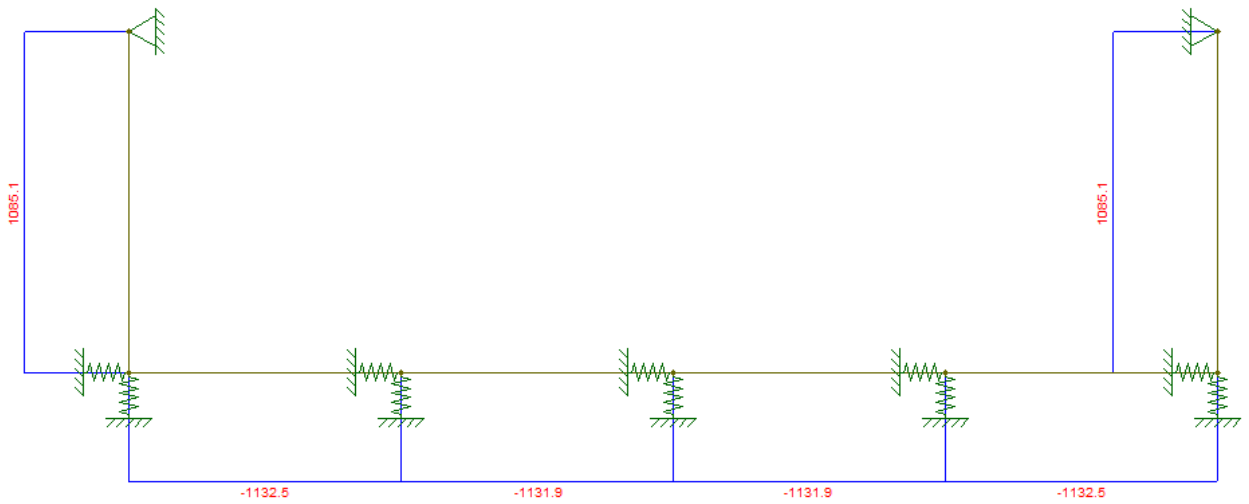


Figura 41 – Diagrama de esforço axial (kN)

#### 4.6.1 DIMENSIONAMENTO DA LAJE INFERIOR

##### FLEXAO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SECAO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012

Obra / Elemento:	VALE-LAJE DE FUNDO DO SUPORTE			
Seção	S1			
fck	4			
fyk	50			
b	100			
h	100			
d	96			
d'	4			
N ( $\gamma f=1,4$ ; compr.+)	1132			
M ( $\gamma f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	149100			
$\eta 1$	2,25			
$\omega k$	0,03			
$\phi$ As sup e As0	2			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	2			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	35,91			
K fis	1,00			
As inf com fiss	35,91			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	16,19			
d lim	47,79			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,359			

(0.5 a  
4.0mm)

Alternativa 1

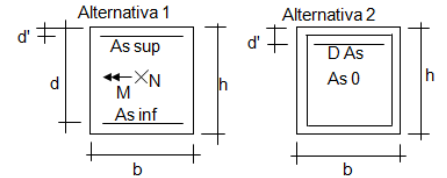
Alternativa 2

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	3010			
Es	21000			
$\sigma$ c fibra sup. (compr. -)	-1,76			
$\sigma$ s sup (tração +)				
$\sigma$ s inf (tração +)	32,68			
x II	26,21			
I II (relativa à LN)	1820158			
I II / I g	0,2181			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

Altern. 1 (sem fiss.)

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	2			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	2			
Espaç. p/ larg. b	8,75			
Nº $\phi$ As inf	11,43			

Altern. 1 (com fiss.)



TIPO DE BARRA / $\eta 1$
Lisa (CA-25) / 1
Entalhada (CA-60) / 1.4
Alta Ader. (CA-50) / 2.25

#### 4.6.2 DIMENSIONAMENTO DA PAREDE

##### FLEXAO NORMAL COMPOSTA COM FISSURAÇÃO - SECAO RETANGULAR - NBR 6118:2007 - Unidades: kN, cm - Revisão 12 - 21Fev2012

Obra / Elemento:	VALE-PAREDE DO SUPORTE			
Seção	S1			
fck	4			
fyk	50			
b	100			
h	100			
d	96			
d'	4			
N ( $\gamma f=1,4$ ; compr.+)	1085			
M ( $\gamma f=1,4$ ) ( $\geq 0$ )	218300			
$\eta 1$	2,25			
$\omega k$	0,03			
$\phi$ As sup e As0	2			
$\phi$ As inf e $\Delta$ As	2			
Tipo aço	A	A	A	A
As sup	0,00			
K fis				
As sup com fiss	0,00			
As inf	64,19			
K fis	1,00			
As inf com fiss	64,19			
As0				
K fis				
As0 com fiss				
$\Delta$ As inf				
K fis				
$\Delta$ Asf inf com fiss				
x	22,18			
d lim	57,83			
Caso	Caso 1			
$\Sigma$ As fiss/Ac(%) ( $\leq 4\%$ )	0,642			

(0.5 a  
4.0mm)

Alternativa 1

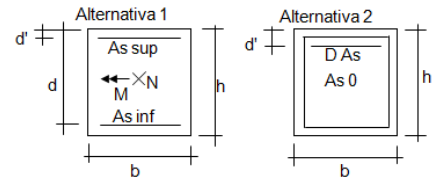
Alternativa 2

ESTÁDIO II				
Seção	S1			
Ecs	3010			
Es	21000			
$\sigma$ c fibra sup. (compr. -)	-2,07			
$\sigma$ s sup (tração +)				
$\sigma$ s inf (tração +)	31,70			
x II	30,08			
I II (relativa à LN)	2852974			
I II / I g	0,3419			
Var. Última Iteração (%)	0,00E+00			

Altern. 1 (sem fiss.)

DIÂMETRO / Nº BARRAS / ESPAÇAMENTO				
Seção	S1			
$\phi$ As sup	2			
Espaç. p/ larg. b				
Nº $\phi$ As sup	0,00			
$\phi$ As inf	2			
Espaç. p/ larg. b	4,90			
Nº $\phi$ As inf	20,43			

Altern. 1 (com fiss.)



TIPO DE BARRA / $\eta 1$
Lisa (CA-25) / 1
Entalhada (CA-60) / 1.4
Alta Ader. (CA-50) / 2.25

## 5.0 ESPESSADOR COM ESTRUTURA ELEVADA

A concepção estrutural do espessador elevado se deu pela necessidade de facilitar a operação abaixo do espessador, excluindo a necessidade de tuneis de acesso que poderiam ser qualificados como área confinada.

A estrutura foi pré-dimensionada para uma laje de fundo com espessura de 30 cm, costado com paredes em concreto com espessura 40 cm. A estrutura está apoiada sobre pilares com dimensões de 50X100 à 80X100 e sapatas com dimensões máximas 390X470/125 cm e mínimas

200X300/70 cm, assentadas na elevação indicadas nos croquis de dimensionamento a seguir.

### 5.1 CROQUIS DO DIMENSIONAMENTO

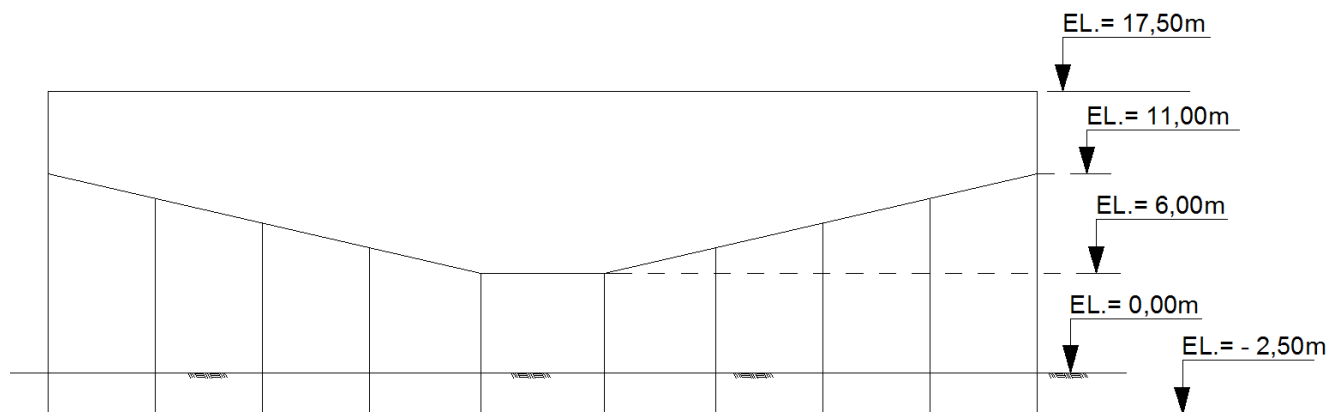


Figura 42: Elevações

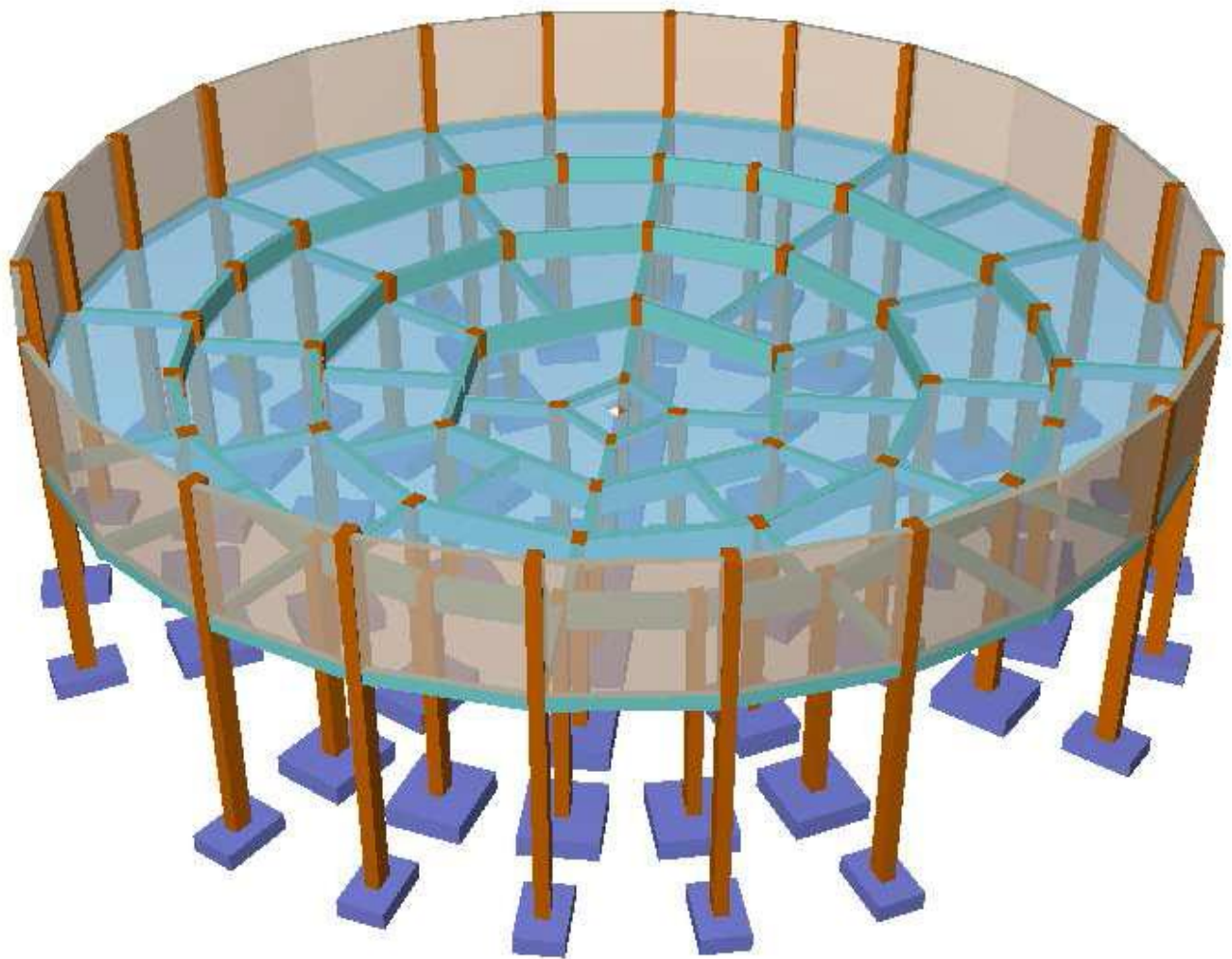


Figura 43: Esquema estrutural 3D

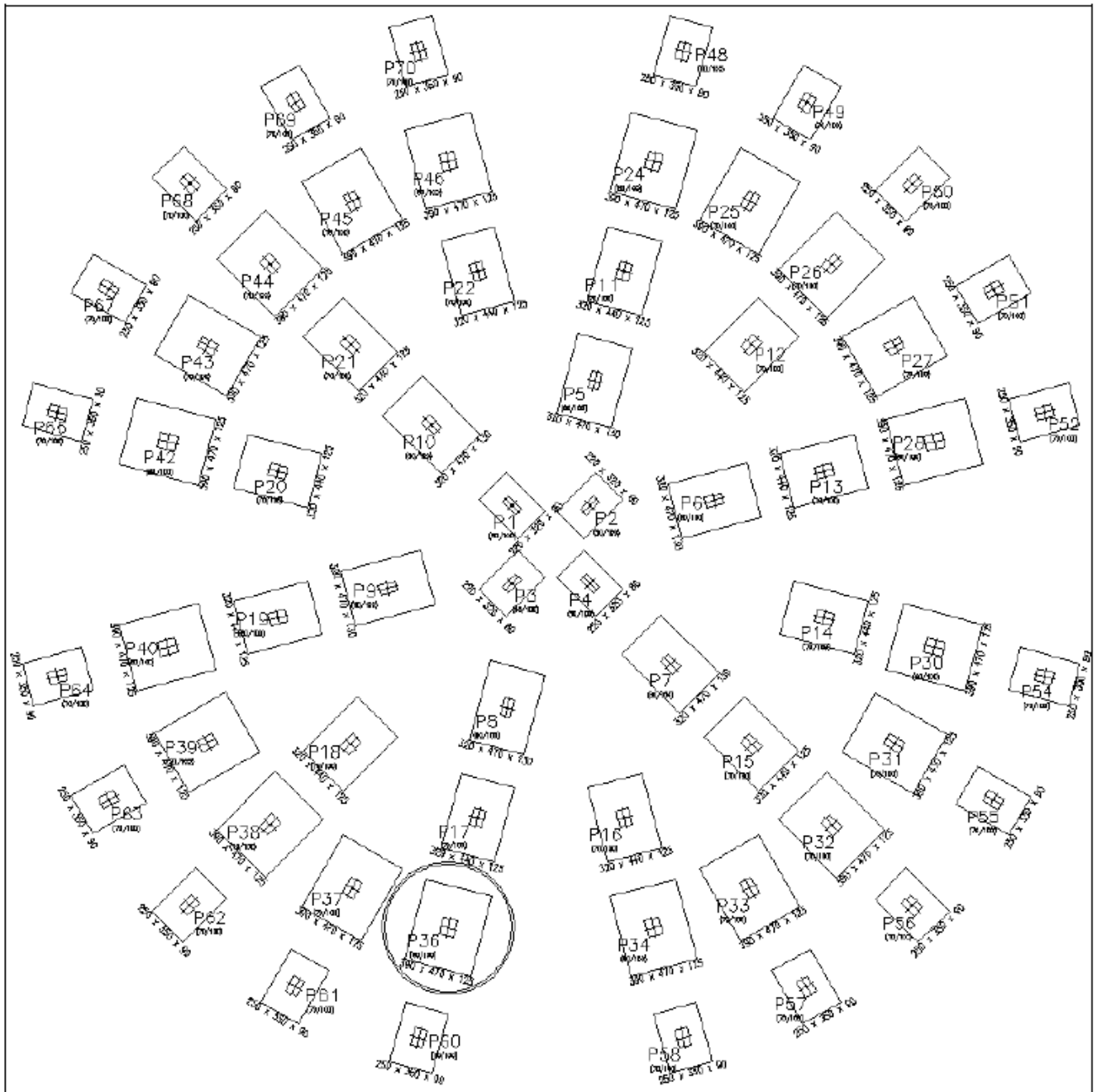


Figura 44: Croquí das sapatas

## 5.2 CARREGAMENTOS

### Carga Permanente

Peso próprio da estrutura de concreto – geometria de cada peça multiplicado pela densidade específica do concreto, neste caso  $2500 \text{ kgf/m}^3$ . Num total de 8719 toneladas.

### Sobrecarga

As sobrecargas adotadas para o volume de rejeito do Espessador foram:

- Altura de 0,50m de sólidos no fundo do espessador com densidade específica de  $2900 \text{ kgf/m}^3$
- Para o restante da altura do espessador (10,67m) foi considerado um rejeito de densidade específica de  $1400 \text{ kgf/m}^3$ .

### Equipamentos

Para o projeto foi considerado o equipamento de um espessador de lamas.

Os carregamentos considerados seguem abaixo:

- No centro do espessador foi considerado um carregamento axial de  $95000 \text{ kgf}$ , momento fletor de  $6934 \text{ kgf.m}$  e momento torsor de  $168671 \text{ kgf.m}$

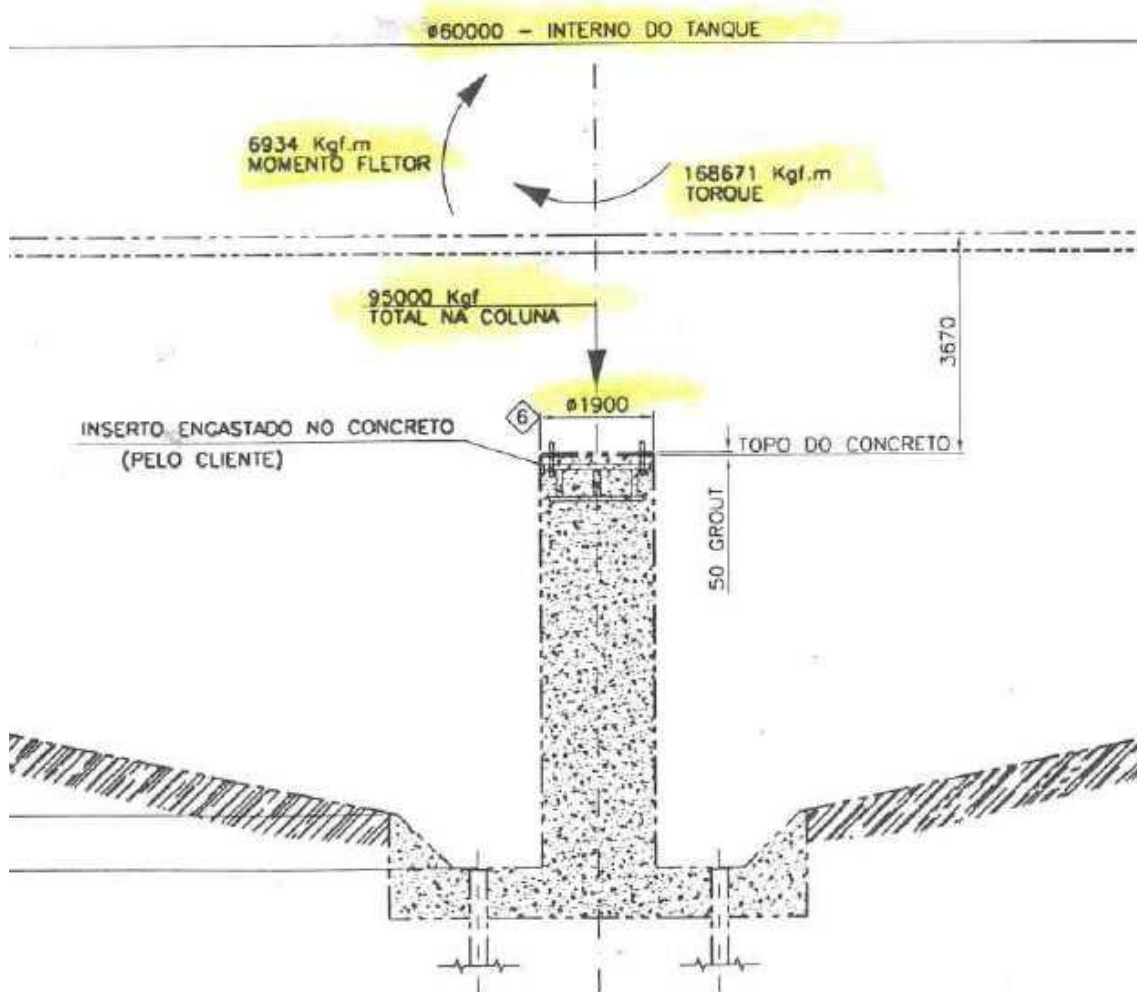


Figura 45: Esforço de equipamentos

## 6.0 COMPARATIVO

Levando em consideração apenas as quantidades de concreto facilita-se o entendimento das diferenças entre os quantitativos das duas opções. Pode-se notar que enquanto a opção apoiada no solo pode ser viabilizada com um volume total de 3326 m<sup>3</sup> a opção elevada precisará de no mínimo 4181m<sup>3</sup> para ser instalada, uma diferença de aproximadamente 20% apenas em termos de quantidades de concreto.

### Opção apoiada no solo

CONCRETOS							
CONCRETO - PREPARO, TRANSPORTE, LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E CURA (COM FORNECIMENTO DE TODOS OS MATERIAIS)							
Concreto Convencional em estrutura de fundação fck = 10,0 MPa.	m3	CMS	C	65	15	000	158,00
Concreto Convencional em estrutura de fundação fck = 30,0 MPa.	m3	CMS	C	65	15	000	1.357,00
Concreto Convencional em estrutura elevada fck = 30,0 MPa.	m3	CMS	C	65	15	000	1.811,00

### Opção Elevada

CONCRETOS							
CONCRETO - PREPARO, TRANSPORTE, LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E CURA (COM FORNECIMENTO DE TODOS OS MATERIAIS)							
Concreto Convencional em estrutura de fundação fck = 10,0 MPa.	m3	CMS	C	65	15	000	182,11
Concreto Bombeado em estrutura de fundação fck = 30,0 MPa.	m3	CMS	C	65	15	000	973,99
Concreto Bombeado em laje de piso fck = 30,0 MPa.	m3	CMS	C	65	15	000	434,50
Concreto Bombeado em estrutura elevada fck = 30,0 MPa.	m3	CMS	C	65	15	000	2.592,46

Alem deste fato há também que se considerar a executabilidade de cada uma das opções, enquanto uma usa o solo como material de apoio servindo de forma perdida em concreto magro para execução do fundo do espessador a outra exige grande quantidade de mão de obra, cimbramentos, formas e escoramentos para ser executada, podendo ser considerado até a possibilidade de protensão de suas armaduras. Aumentando assim seu tempo de execução, riscos de obra e custos.

## 7.0 CONCLUSÃO

Além da vantagem com relação a menor utilização de materiais e ativos a opção apoiada sobre o solo apresenta-se mais vantajosa pelo fato de conferir maior segurança tanto na obra quanto ao longo da vida útil da estrutura.

Pelo fato de estar em sua maior parte apoiada sobre o solo seus parâmetros de estabilidade globais são notadamente mais favoráveis se comparados com a estrutura elevada, devido a indeslocabilidade que essa situação confere a estrutura. É de conhecimento de todos também que manutenções em estruturas no ambiente industrial são raramente executadas, neste quesito também ganha a estrutura apoiada sobre o solo, pois sendo menos deslocável não está sujeita a esforços oriundos da atuação de ventos fortes e tem maior poder de absorção de vibrações. Sendo menos suscetível a estes esforços tem menor abertura de fissuras no concreto, que por sua vez diminui o risco de erosões, oxidações e carbonatação no concreto ao longo dos anos.