

# ESTUDO DE CASO 1



MASP

MUSEU DE ARTE DE SÃO PAULO

Janeiro/2007

# Seqüência da Apresentação



1. Características Geométricas e Arquitetônicas
2. Características/Cargas Estruturais
3. Modelo Estrutural
4. Análise de Esforços e Deslocamentos

# 1. Características Geométricas e Arquitetônicas



[www.sampaonline.com.br](http://www.sampaonline.com.br)



# 1. Características Geométricas e Arquitetônicas



## 2. Características Estruturais

### **Laje Nervurada/Vigas de Piso**

- Laje Nervurada situada na cota +8,40 m, com 50 cm de espessura , responsável pela sustentação de uma carga de 500 kgf/m<sup>2</sup>;

OBS: A Laje Nervurada é suspensa por tirantes à duas Vigas protendidas, com 70 m de comprimento, 2,50 m de largura e 3,50 m de altura com topo na cota +14,50 m;

## 2. Características Estruturais



### **Cobertura/Vigas de Cobertura**

- A cobertura da cota +17,63 m é composta por lajes calha apoiadas em vigas de concreto armado que, por sua vez, descarregam em vigas protendidas de 2,5 m de largura e 4,0 m de altura, com 74 m de vão;

## 2. Características Estruturais



### **Pilares**

As vigas protendidas do piso e da cobertura se apóiam em 4 pilares, situados nas extremidades das vigas. Estes pilares são ocos próximos à cobertura, contendo um pendulo interno, de modo a evitar que os efeitos de dilatação/contração das vigas acarretem na transferência de esforços para os pilares e conseqüentemente acarretem em momentos fletores;



## 2. Características Estruturais



Vigas Protendidas de Cobertura  
(Cota 17,63 m)



Laje Nervurada  
(Cota +8,40 m)

Pilares  
(Ocos na região das vigas de Cobertura)



## 2. Características Estruturais



Regiões "Ocas" dos Pilares na Cobertura (Pendulo interno para evitar introdução de momentos fletores nos pilares por esforços de retração/dilatação advindo das vigas)

## 2. Características Estruturais



Vigas Protendidas de Cobertura  
(Cota 17,63 m)



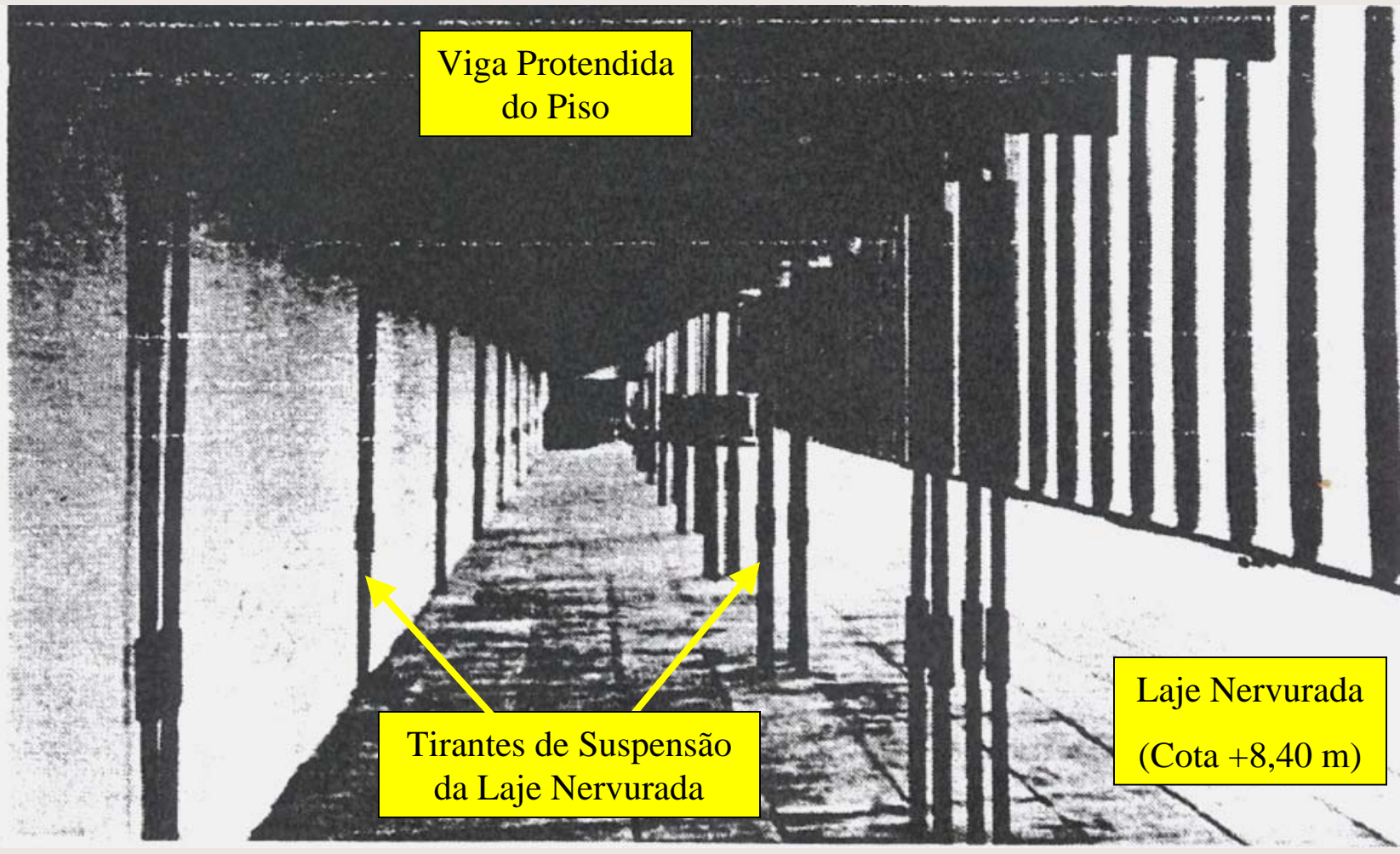
Pilares  
(Ocos na região das vigas de Cobertura)

Lajes Calhas apoiadas em Vigas de Concreto Armado





## 2. Características Estruturais

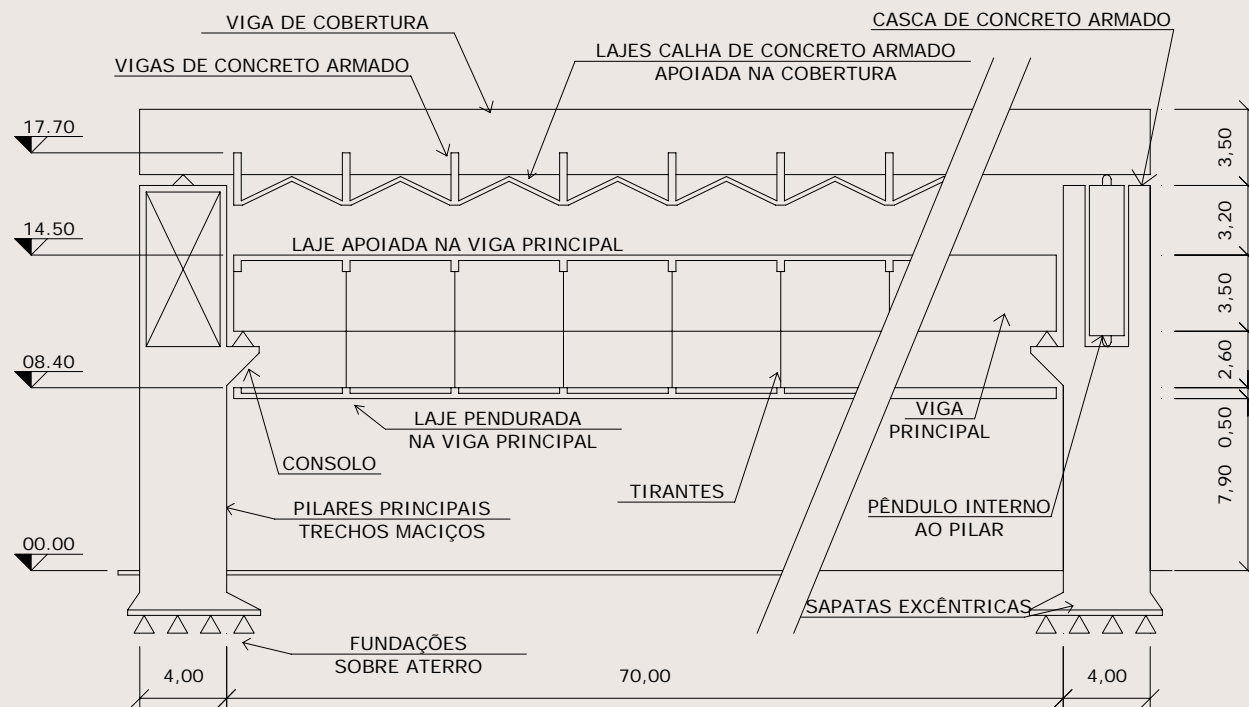
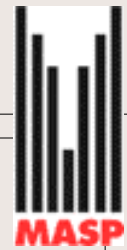


Viga Protendida  
do Piso

Tirantes de Suspensão  
da Laje Nervurada

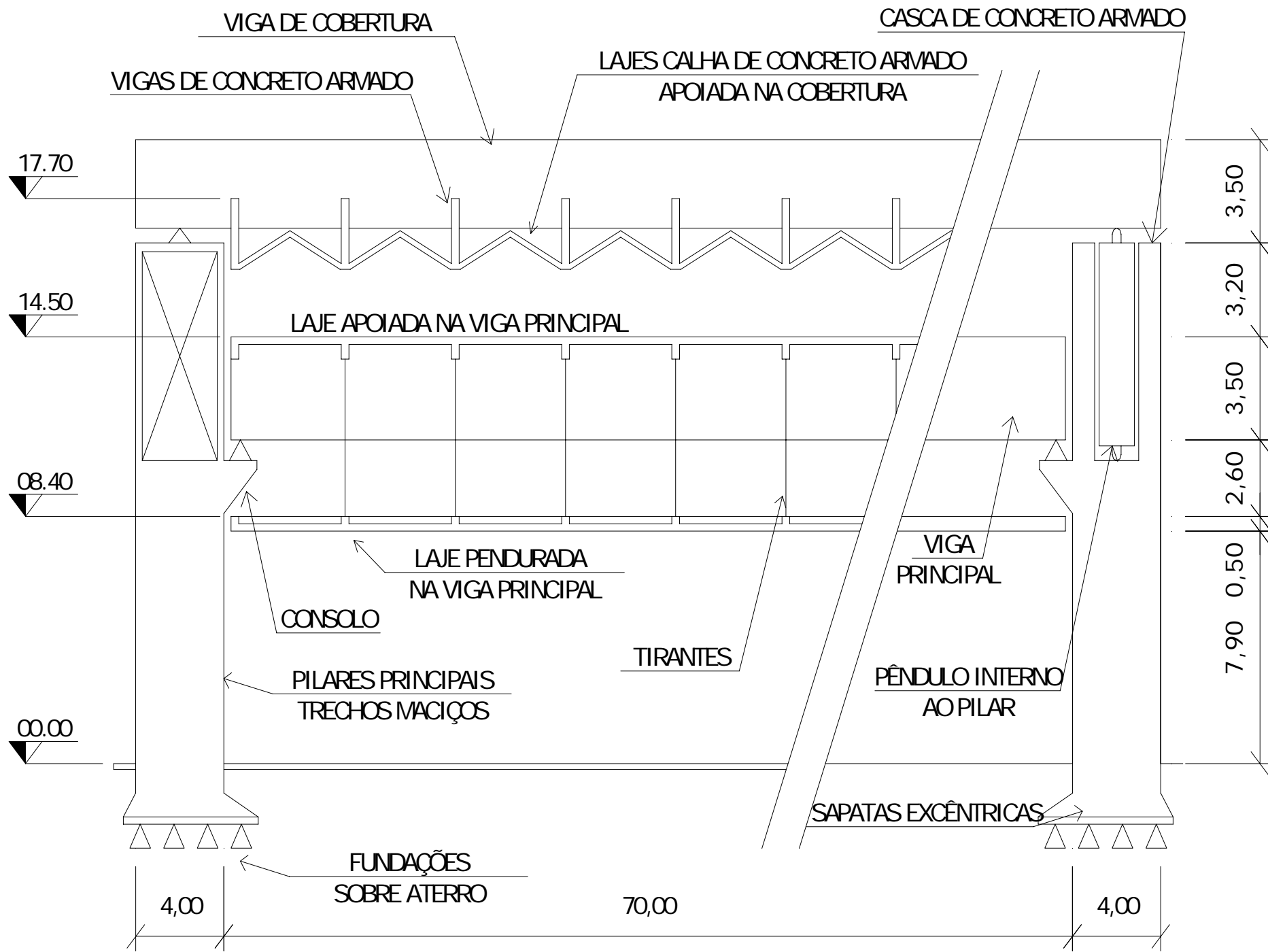
Laje Nervurada  
(Cota +8,40 m)

## 2. Características Estruturais

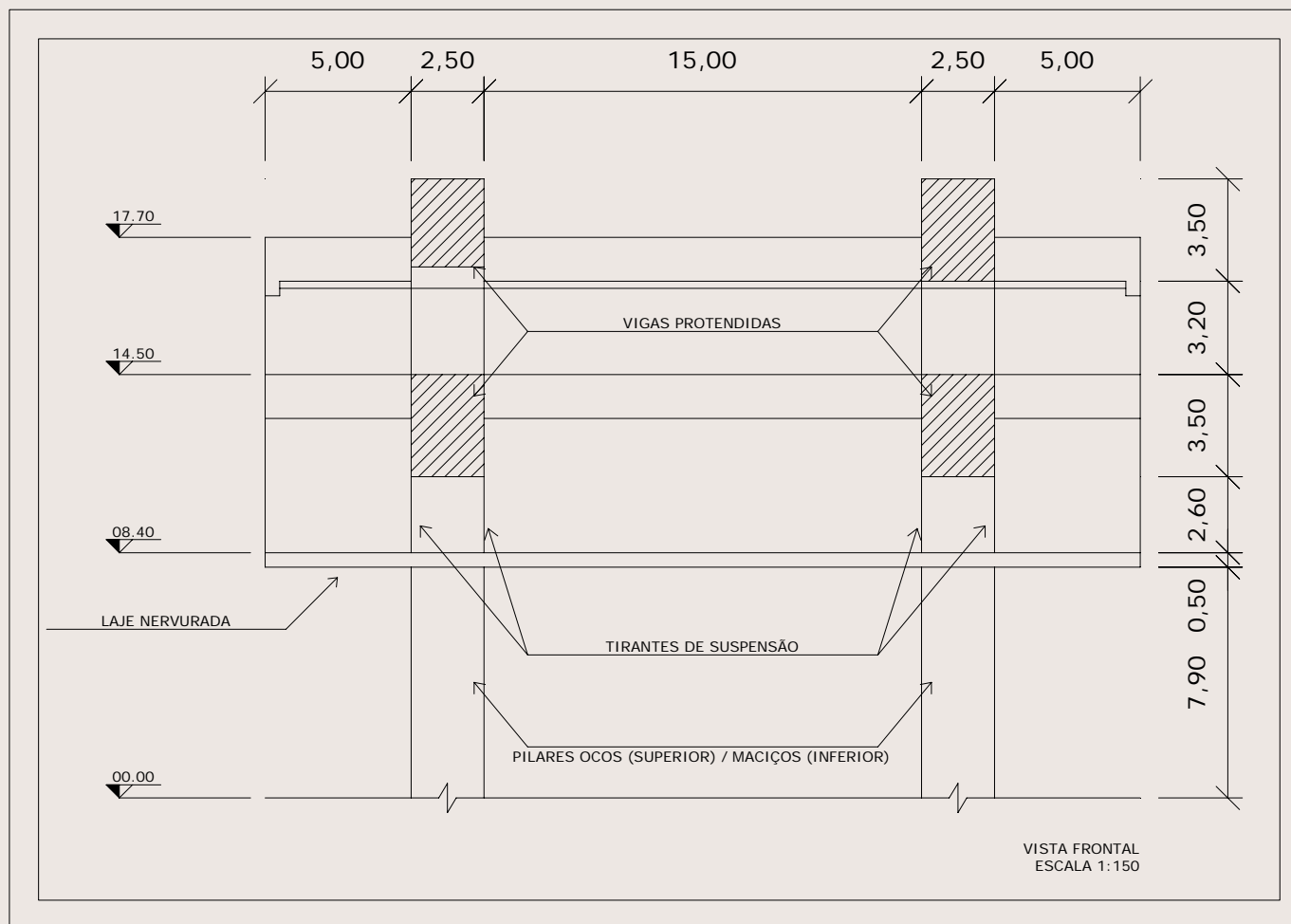


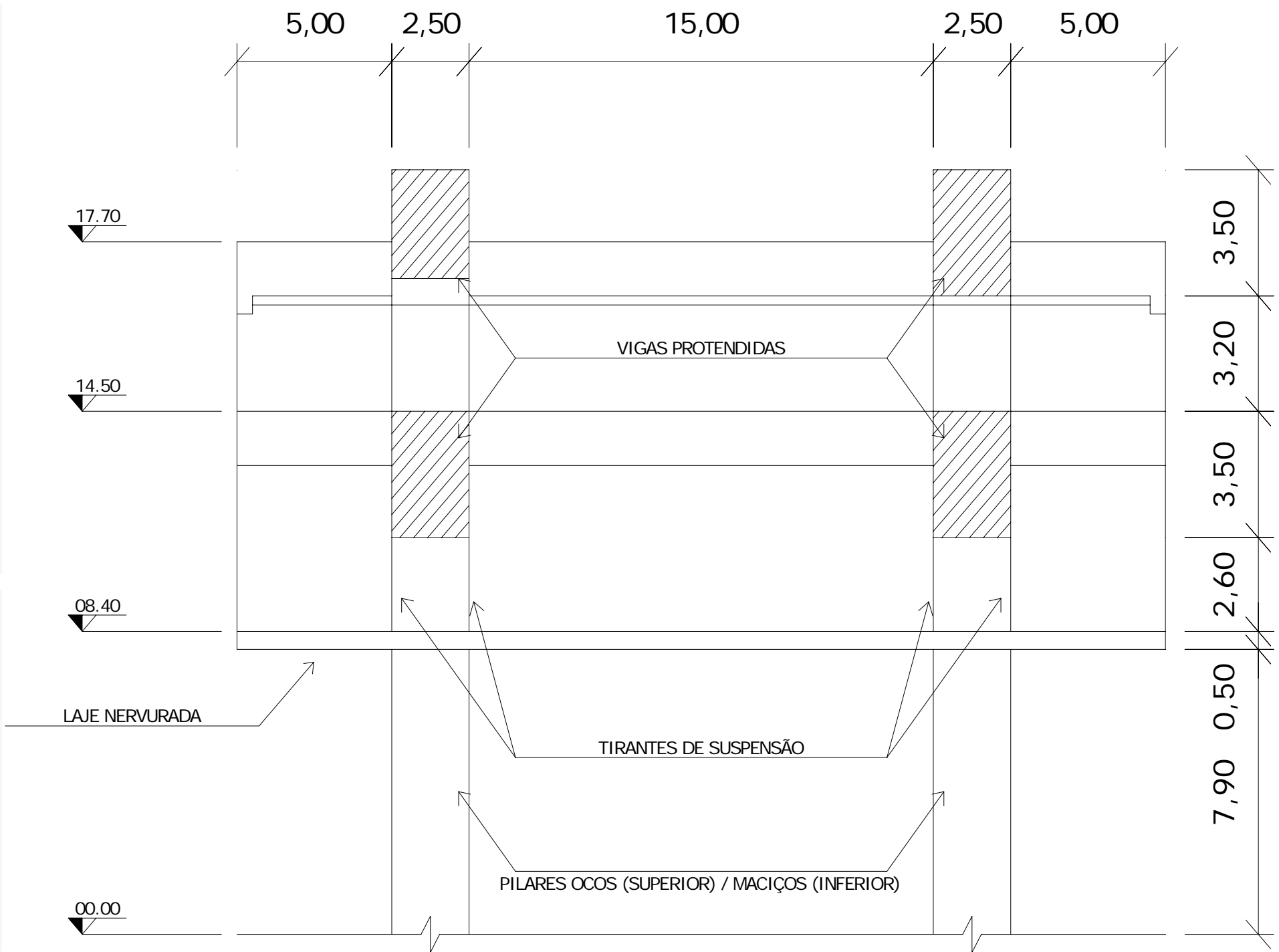
VISTA LATERAL  
ESCALA 1:250





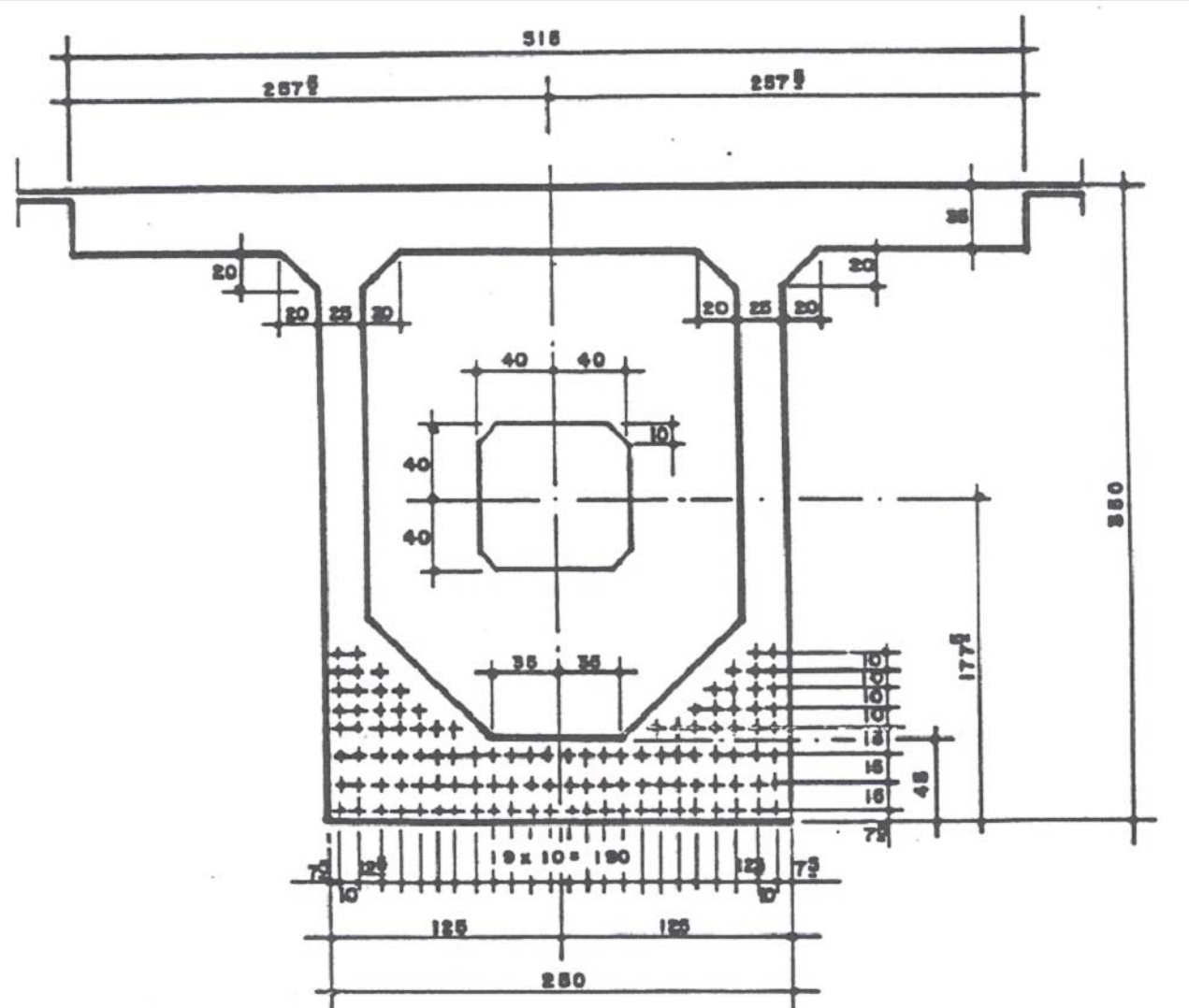
## 2. Características Estruturais



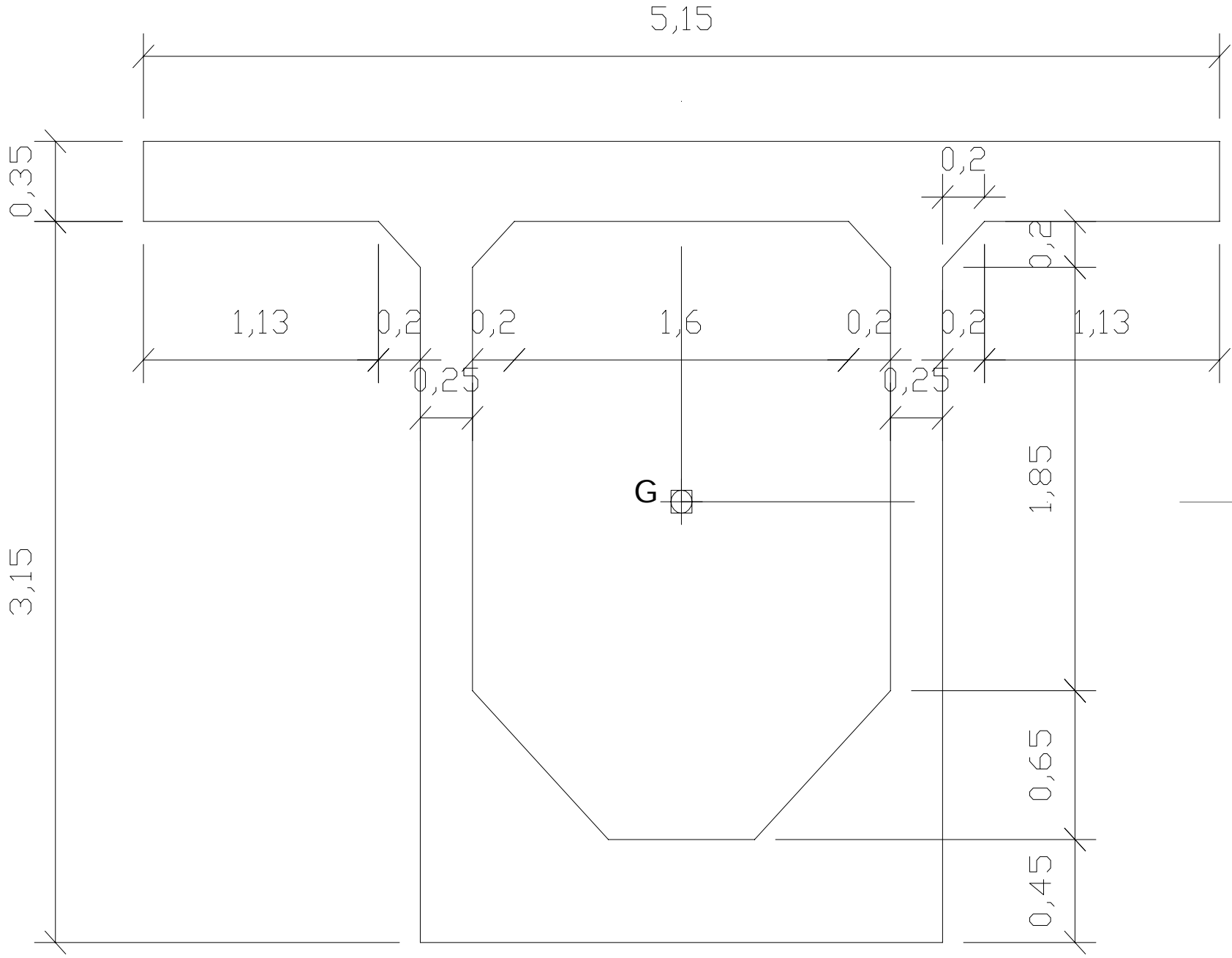


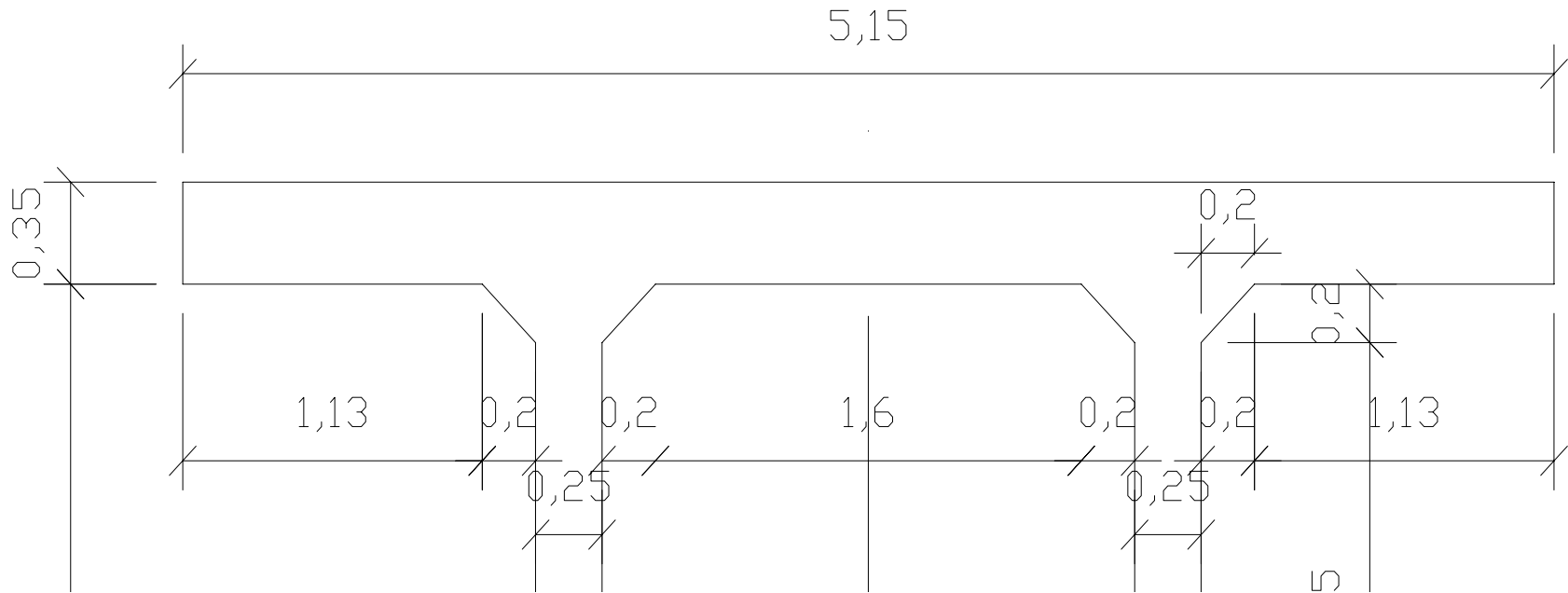
## 2. Características Estruturais

### Vigas









## Características Geométricas:

$$\text{Área} = A = 4,78 \text{ m}^2$$

**Estádio I**

$$\text{Momento de Inércia em torno do eixo } X_g = I_{xg} = 8,4491 \text{ m}^4$$

$$\text{Momento de Inércia em torno do eixo } Y_g = I_{yg} = 6,659 \text{ m}^4$$

## 2. Características Estruturais



### Vigas

Para efeitos de cálculo da Inércia da Seção nas condições do Estádio II, adotou-se, apenas para efeitos didáticos, as seguintes simplificações:

- Hipótese da viga do Masp ser de concreto armado;
- Seção transversal simplificada por uma seção retangular com largura de 2,35 m, altura de 3,50 m, altura útil de 3,10 m e área de Aço de 957,7 cm<sup>2</sup>

## 2. Características Estruturais



### Vigas

#### Objetivos da Análise do Estádio II:

Comparar os deslocamentos nos vãos centrais do MASP considerando a Inércia aproximada da situação de protensão completa (mais próxima da real) como sendo aquela do Estádio I (“sem fissuração”), frente à utilização da Inércia aproximada do Estádio II, ou seja, supondo-se que esta mesma viga seria constituída e dimensionada com modelo de concreto armado



$I_{II} = 3,14335 \text{ m}^4$  (Momento De Inércia Do Estádio II  
Da Seção Simplificada da)

$I_{eq} = 3,1502 \text{ m}^4$  (Momento De Inércia Equivalente e  
De Acordo Com A NBR 6118)

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$

$E_{cs} = 0,85 \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}} = 0,85 \times 5600 \times \sqrt{45} = 31931,05 \text{ MPa}$

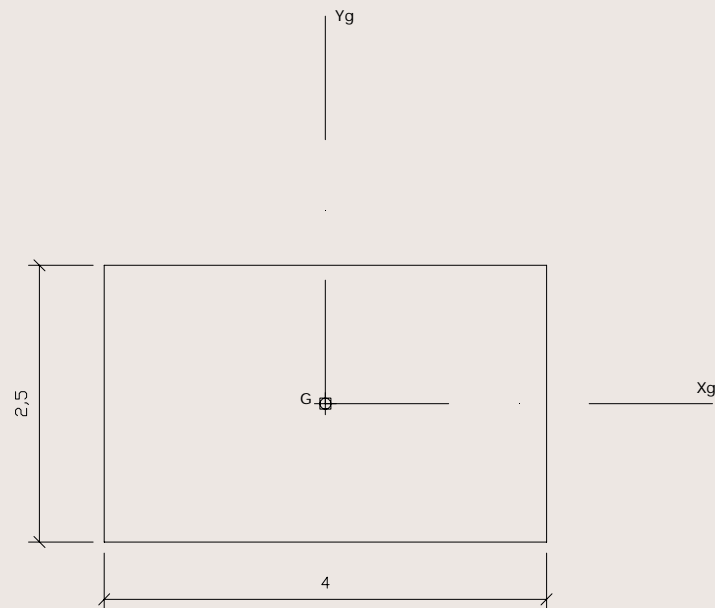
$E_{cs} = 31931050,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$(E I_{eq})_{EQ} = E_{cs} \times I_{EQ} = 100589196 \text{ kN} \times \text{m}^2$

## 2. Características Estruturais



# Pilares



ESCALA 1: 40

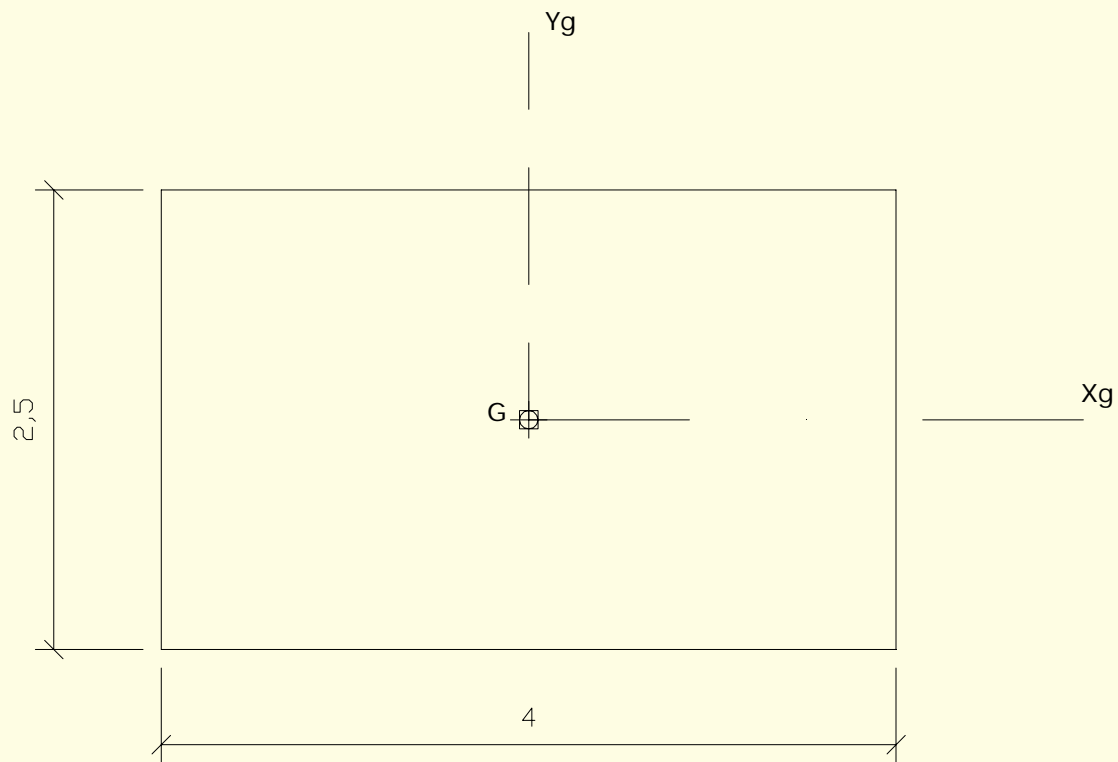
Unidades em metros (m)

Características Geométricas:

$$\text{Area} = A = 10,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento de Inércia em torno do eixo } X_g = I_{xg} = 5,2083 \text{ m}^4$$

$$\text{Momento de Inércia em torno do eixo } Y_g = I_{yg} = 13,3333 \text{ m}^4$$



ESCALA 1:40

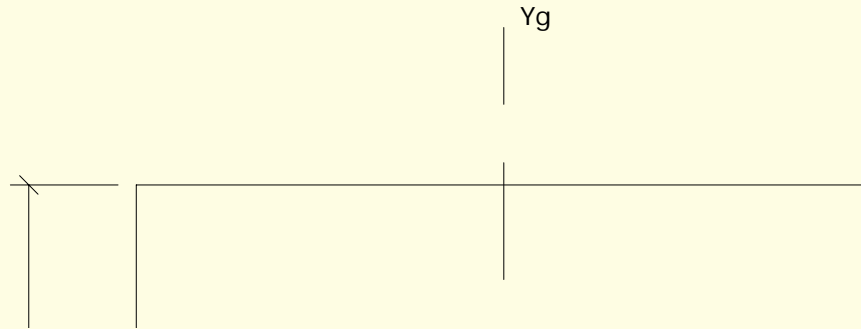
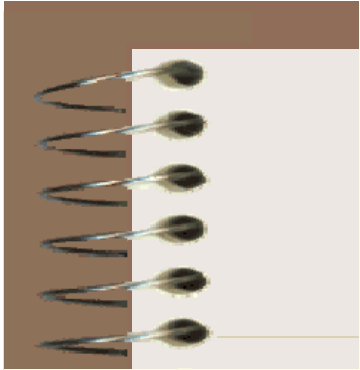
Unidades em metros (m)

Características Geométricas:

$$\text{Área} = A = 10,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento de Inércia em torno do eixo } Xg = I_{xg} = 5,2083 \text{ m}^4$$

$$\text{Momento de Inércia em torno do eixo } Yg = I_{yg} = 13,3333 \text{ m}^4$$



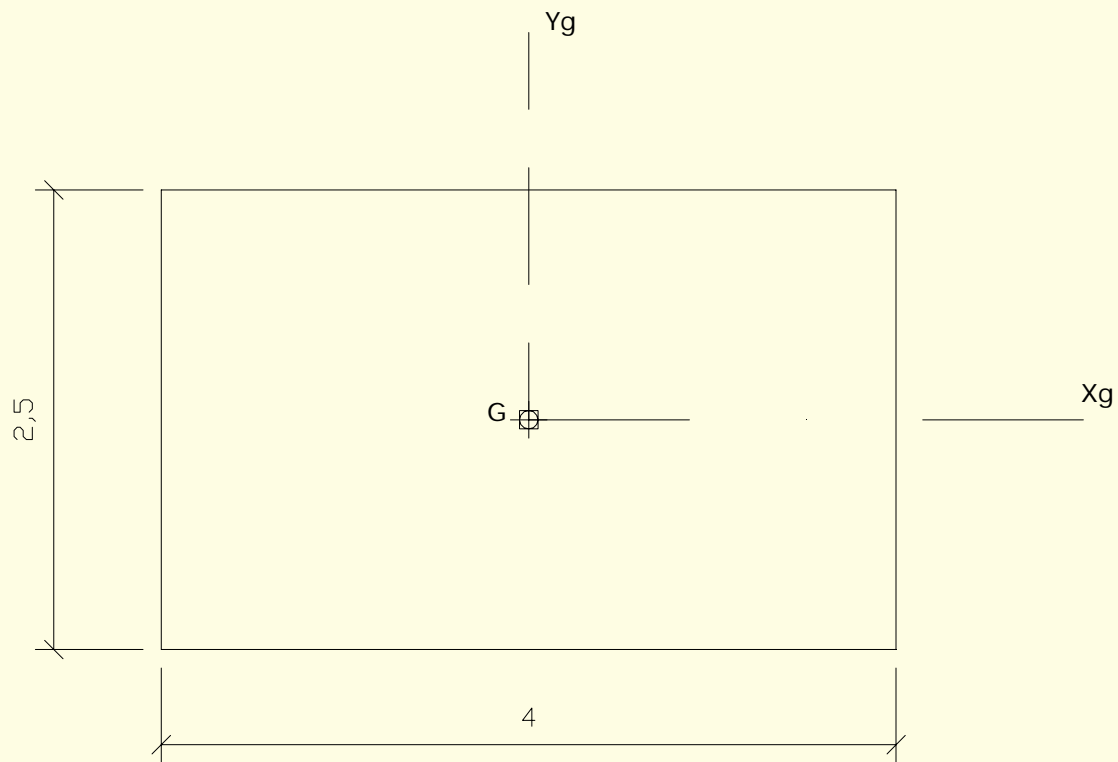
$$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$$

$$E_{cs} = 0,85 \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}} = 0,85 \times 5600 \times \sqrt{45} = 31931,05 \text{ MPa}$$

$$E_{cs} = 31931050,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$E_{I_{eq}} = 0,7 \times E_{cs} \times I_{(EstádioI)} = 298023140 \text{ kN} \times \text{m}^2 \text{ (NBR6118)}$$





ESCALA 1:40

Unidades em metros (m)

Características Geométricas:

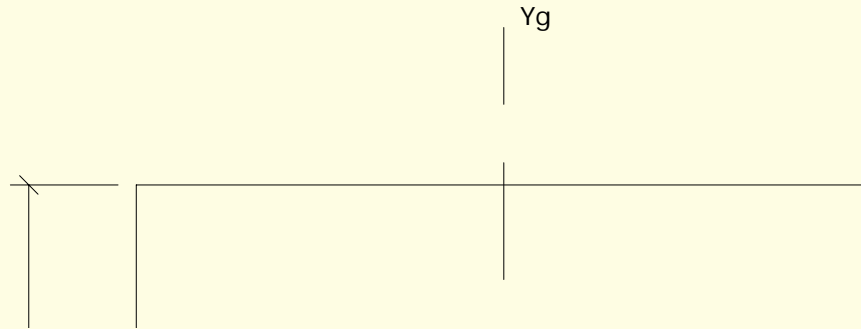
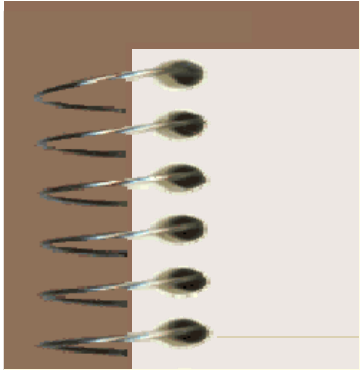
$$\text{Área} = A = 10,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Momento de Inércia em torno do eixo } Xg = I_{xg} = 5,2083 \text{ m}^4$$

$$\text{Momento de Inércia em torno do eixo } Yg = I_{yg} = 13,3333 \text{ m}^4$$

**Estádio I**





$$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$$

$$E_{cs} = 0,85 \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}} = 0,85 \times 5600 \times \sqrt{45} = 31931,05 \text{ MPa}$$

$$E_{cs} = 31931050,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$E_{I_{eq}} = 0,7 \times E_{cs} \times I_{(EstádioI)} = 298023140 \text{ kN} \times \text{m}^2 \text{ (NBR6118)}$$

## *Vigas*

*Estádio I ⇒ Simulação de Protensão Completa*

$$(E_{Ieq}) = 269788640,63 \text{ kN} \times \text{m}^2$$

*Estádio II ⇒ Simulação de Concreto Armado*

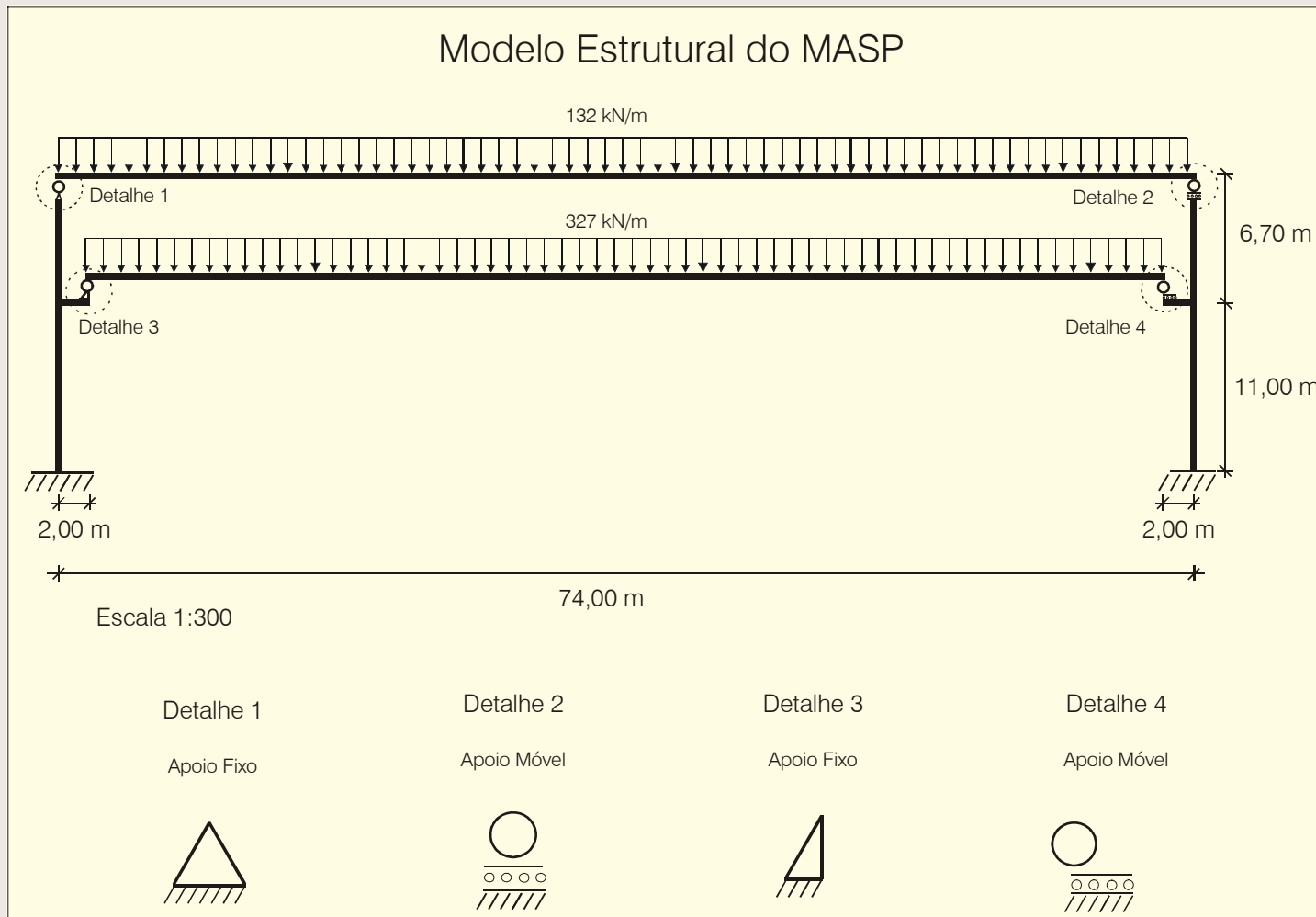
$$(E_{Ieq}) = 100589196 \text{ kN} \times \text{m}^2$$

## *Pilares*

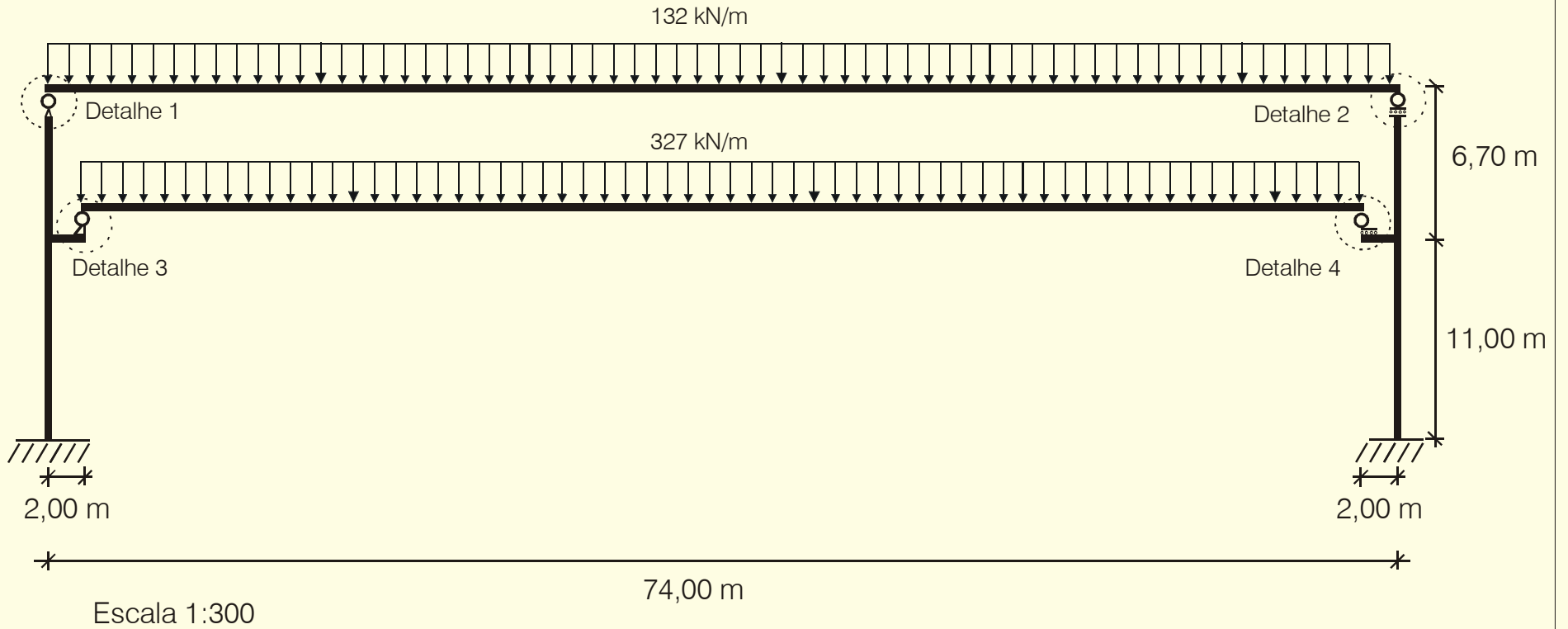
*Norma ⇒ 70% da Rigidez Inicial*

$$(E_{Ieq}) = 298023140 \text{ kN} \times \text{m}^2$$

# 3. Modelo Estrutural



# Modelo Estrutural do MASP



Detalhe 1

Apoio Fixo



Detalhe 2

Apoio Móvel



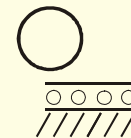
Detalhe 3

Apoio Fixo

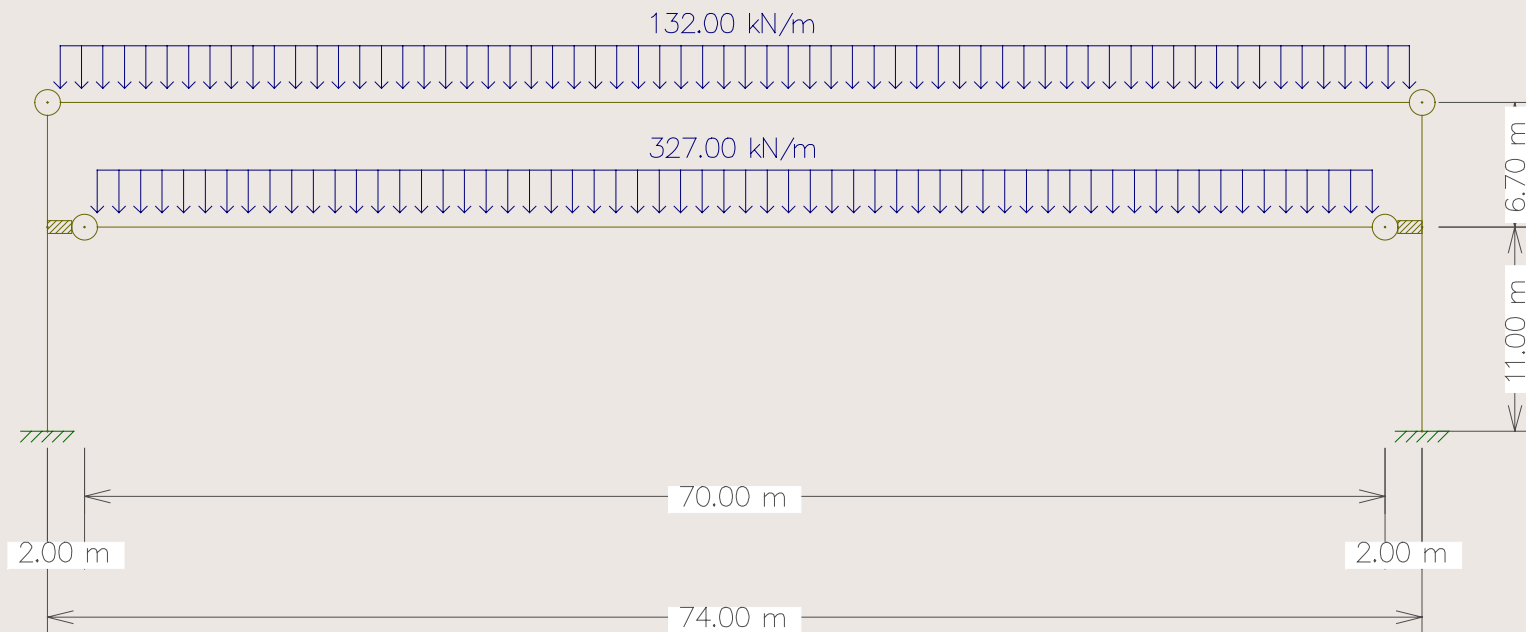


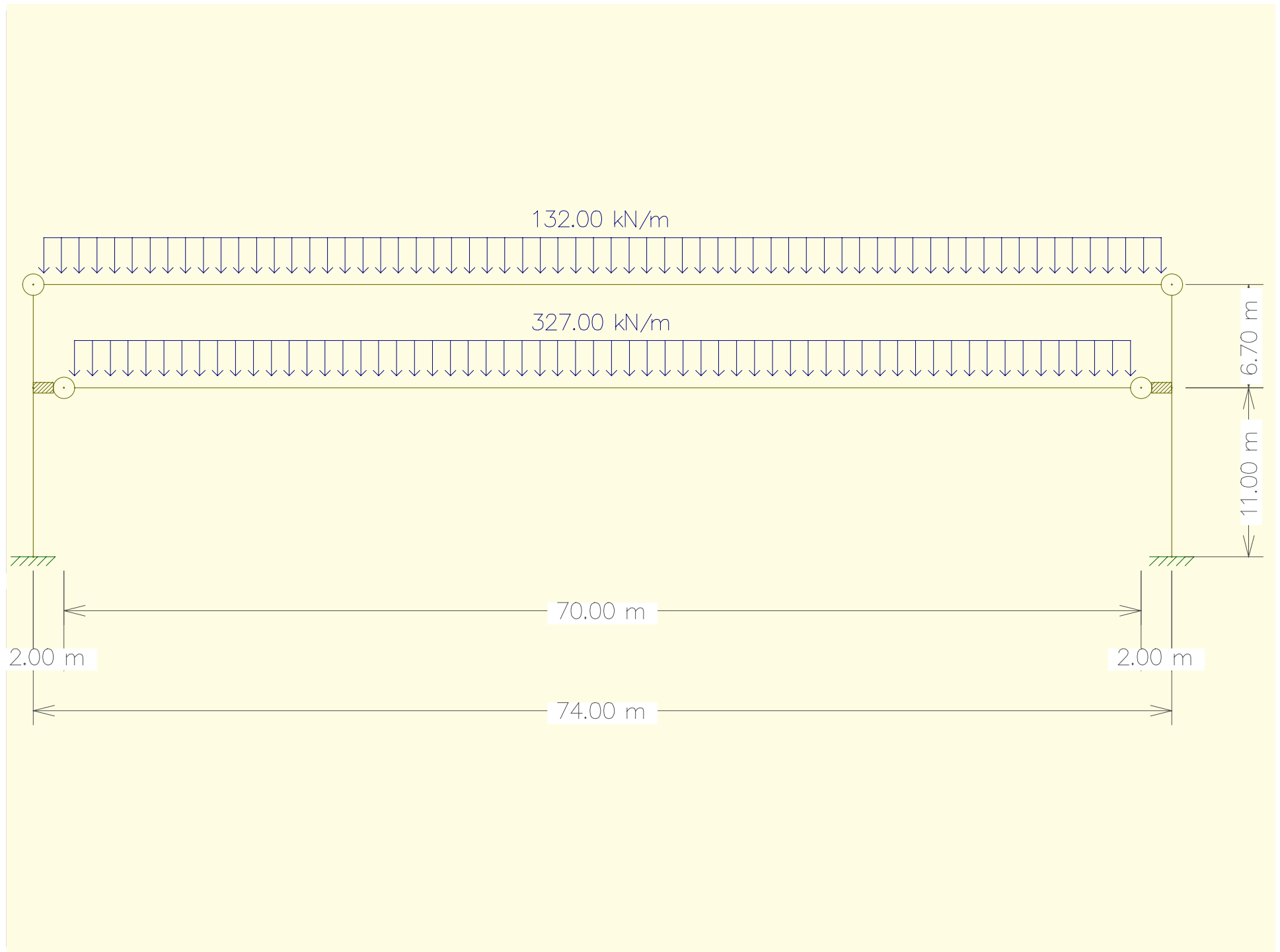
Detalhe 4

Apoio Móvel



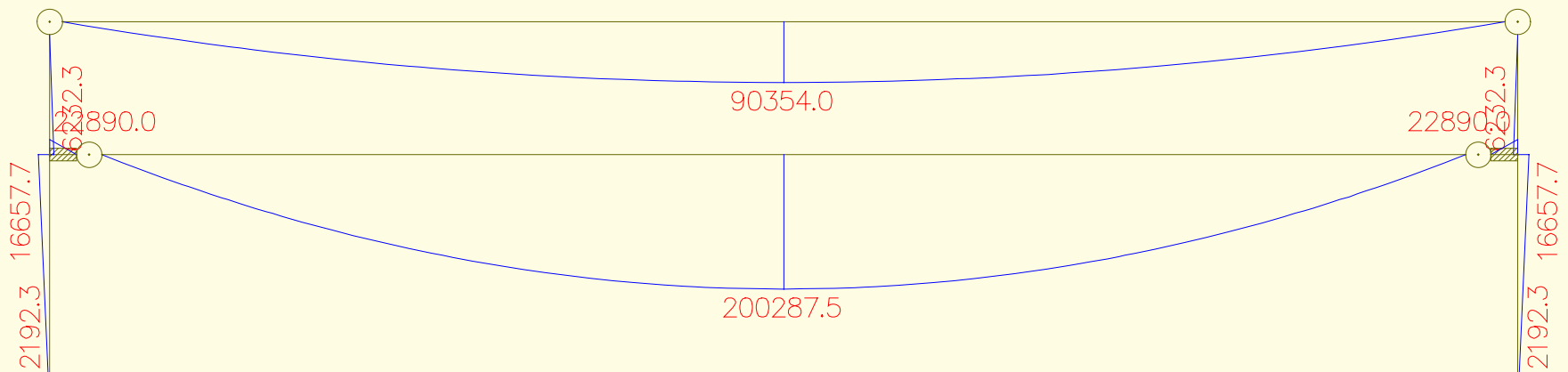
# 4. Análise de Esforços e Deslocamentos







# 4. Análise de Esforços e Deslocamentos

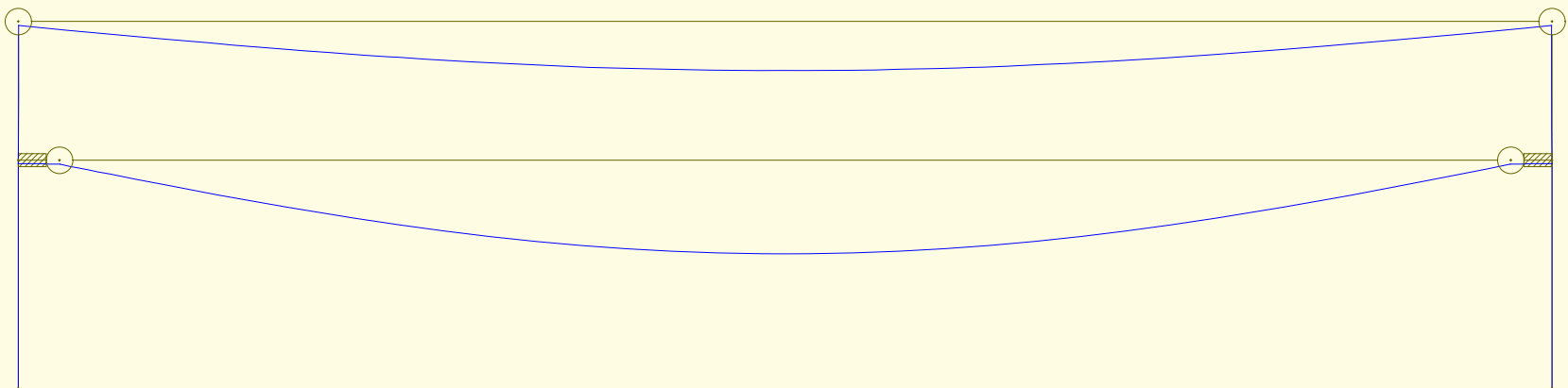


**Diagrama de Momentos Fletores - kNm**

# 4. Análise de Esforços e Deslocamentos



## Deformada da Estrutura



## 4. Análise de Esforços e Deslocamentos



### Resultados

| <b>Vigas</b>     | <b>Momento Máximo (kNm)</b> | <b>Flecha no Estádio I (m)</b> | <b>% Vão (flecha/vão)</b> | <b>Flecha no Estádio II (m)</b> | <b>Relação (flecha/vão)</b> |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <b>Piso</b>      | <b>200288</b>               | <b>0,4006</b>                  | <b>0,5723%</b>            | <b>1,038</b>                    | <b>1,48 %</b>               |
| <b>Cobertura</b> | <b>90354</b>                | <b>0,2123</b>                  | <b>0,2869%</b>            | <b>0,533</b>                    | <b>0,720 %</b>              |

## 4. Análise de Esforços e Deslocamentos



FIM