

Aula 2 – Métodos de cálculo

PROF.^a PATRÍCIA ANDRADE

Projeto estrutural

Objetivos:

Garantia de segurança estrutural evitando-se o colapso da estrutura;

Garantia de bom desempenho da estrutura evitando-se a ocorrência de grandes deslocamentos, vibrações, danos locais.

Etapas

- Anteprojeto ou projeto básico: definição do sistema estrutural, os materiais a serem utilizados, o sistema construtivo;
- Dimensionamento ou cálculo estrutural: definição das dimensões da estrutura e suas ligações de maneira a garantir a segurança e o bom desempenho da estrutura;
- Detalhamento: elaboração do desenho executivo da estrutura com todas as especificações de todos os componentes.

Método dos Estados Limites

Estado limite último

- perdas de equilíbrio como corpo rígido;
- plastificação total de um elemento estrutural ou de uma seção;
- ruptura de uma ligação ou seção;
- flambagem em regime elástico ou não;
- ruptura por fadiga.
- **está ligado a iminência da ruptura da estrutura!!!!**

Estado limite de utilização ou serviço

- deformações excessivas;
- Vibrações excessivas;
- **Ou seja, o desempenho da estrutura em serviço ao longo da vida útil!!!**



Fonte: https://brasil.elpais.com/brasil/2017/06/19/estilo/1497881305_678826.html

COMO SÃO DETERMINADAS AS
FORÇAS SOBRE UMA
ESTRUTURA?

COMO SÃO DETERMINADOS OS
“VALORES” DAS FORÇAS SOBRE UMA
ESTRUTURA?

Normas de definição de cargas em estruturas

NBR 6120 – CARGAS PARA O CÁLCULO DE ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES

NBR 6123 – FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES

NBR 7188 – CARGA MÓVEL EM POTE RODOVIÁRIA E PASSARELA DE PEDESTRES

NBR 6120 – CARGAS PARA O CÁLCULO DE ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES

Estabelece as ações mínimas a serem consideradas no projeto de estruturas de edificações, qualquer que seja sua classe e destino, salvo os casos previstos em normas brasileiras específicas:

- ABNT NBR 6123/2019 FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES;
- ABNT NBR 15421/2006 PROJETO DE ESTRUTURAS RESISTENTES A SISMOS – PROCEDIMENTO
- ABNT NBR 14323/2013 PROJETO DE ESTRUTURAS DE AÇO E DE ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO DE EDIFÍCIOS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO
- ABNT NBR 15200/2012 PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Ações

➤ **Permanentes:**

pouca variação ou variação inexistente ao longo da vida da construção

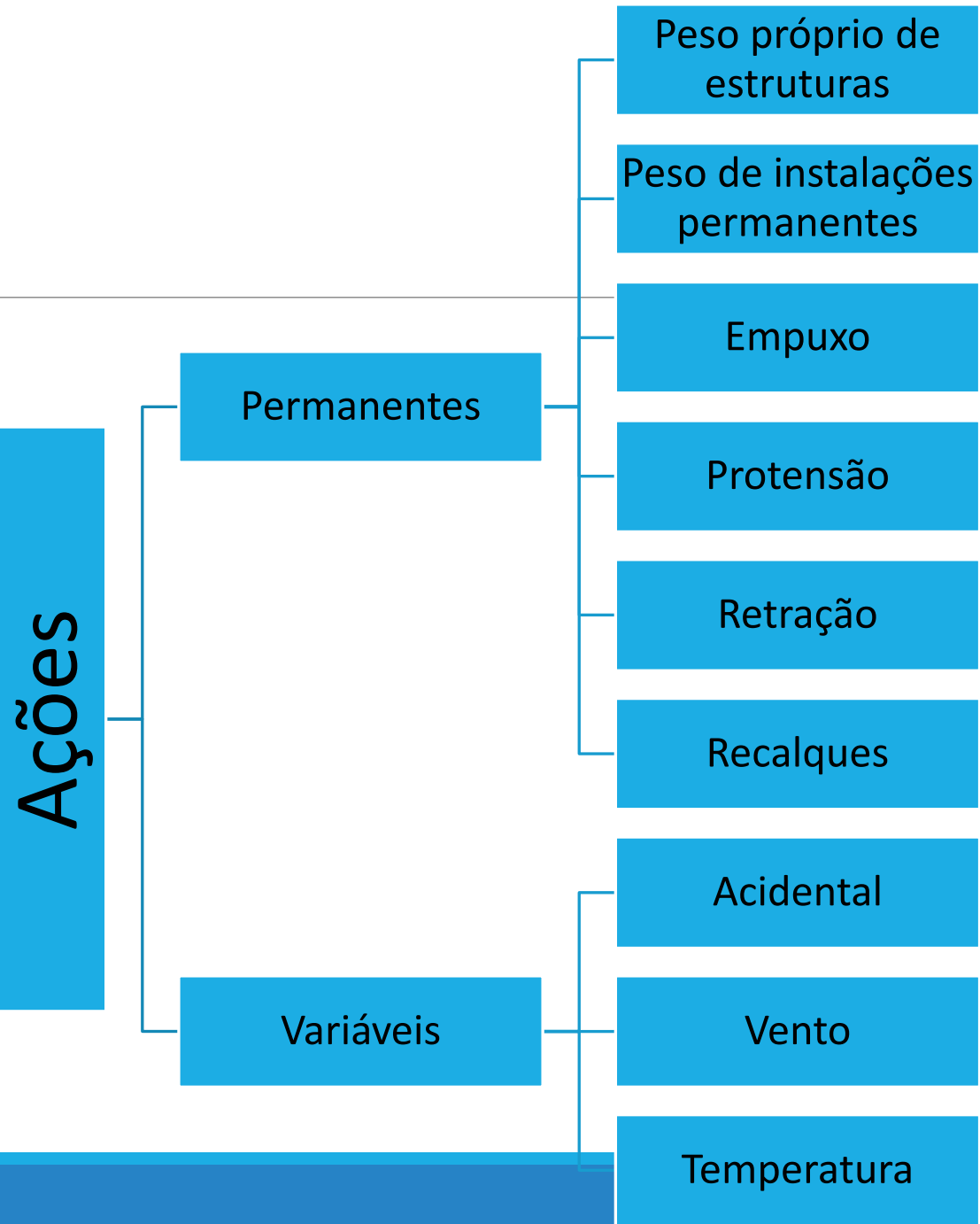
➤ **Variáveis:**

variação durante a vida da construção

➤ **Excepcionais:**

Baixa probabilidade de ocorrência;

Curta duração.



Ações devem ser combinadas!!!!

Por meio de coeficientes que levam em consideração de ocorrência de todas as ações simultaneamente com o intuito de pensar na estrutura na situação crítica

| Combinações | Ações permanentes (γ_g) ^{a c} | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|--|--|-------------|
| | Diretas | | | | | Indiretas |
| | Peso próprio de estruturas metálicas | Peso próprio de estruturas pré-moldadas | Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> | Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos | |
| Normais | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,35 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,50 (1,00) | 1,20 (0) |
| Especiais ou de construção | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,20 (0) |
| Excepcionais | 1,10 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,30 (1,00) | 0 (0) |
| | Ações variáveis (γ_q) ^{a d} | | | | | |
| | Efeito da temperatura ^b | Ação do vento | Ações truncadas ^e | Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação | | |
| Normais | 1,20 | 1,40 | 1,20 | 1,50 | | |
| Especiais ou de construção | 1,00 | 1,20 | 1,10 | 1,30 | | |
| Excepcionais | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | | |

| Ações | | γ_{f2}^a | | |
|--|---|-----------------|------------|------------|
| | | ψ_0 | ψ_1^d | ψ_2^e |
| Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação | Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^{b)} | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| | Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ^c | 0,7 | 0,6 | 0,4 |
| | Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1) | 0,8 | 0,7 | 0,6 |
| Vento | Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral | 0,6 | 0,3 | 0 |
| Temperatura | Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local | 0,6 | 0,5 | 0,3 |
| Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos | Passarelas de pedestres | 0,6 | 0,4 | 0,3 |
| | Vigas de rolamento de pontes rolantes | 1,0 | 0,8 | 0,5 |
| | Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes | 0,7 | 0,6 | 0,4 |
| ^a Ver alínea c) de 4.7.5.3. ^b Edificações residenciais de acesso restrito. ^c Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público. ^d Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar ψ_1 igual a 1,0. ^e Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero. | | | | |

Tipos de combinação

➤ Normal:

Uso previsto desde o início do projeto;

Longa duração;

ELU;

ESTADO LIMITE ÚLTIMO

NORMAIS

$$F_{sd} = \sum \gamma_{gi} * G_i + \gamma_{q1} * Q_1 + \sum \gamma_{qj} * \psi_{0j} * Q_j$$

γ_{gi} = Coeficiente de majoração de carga permanente i

G_i = Carga permanente i

γ_{q1} = Coeficiente de majoração de carga variável principal

Q_1 = Carga variável principal

γ_{qj} = Coeficiente de majoração de carga variável secundária

Q_j = Carga variável secundária

ψ_{0j} = Coeficiente de redução da aplicado à carga variável secundária

ESTADO LIMITE ÚLTIMO

ESPECIAIS OU DE CONSTRUÇÃO

➤ Especial:

Natureza ou intensidade especiais;

$$F_D = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{gi} + \gamma_q (F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{qj,k})$$

γ_{gi} = Coeficiente de majoração de carga permanente i

F_{gi} = Carga permanente i

γ_{q1} = Coeficiente de majoração de carga variável principal

F_{Q1} = Carga variável principal

γ_{qj} = Coeficiente de majoração de carga variável secundária

$F_{qj,k}$ = Carga variável secundária

ψ_{0j} = Coeficiente de redução da aplicado à carga variável secundária

ESTADO LIMITE ÚLTIMO

EXCEPCIONAIS

► Excepcional:

Efeitos catastróficos

$$F_D = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{gi} + F_{EXP} + \gamma_q \left(\sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{qj,k} \right)$$

γ_{gi} = Coeficiente de majoração de carga permanente i

F_{Gi} = Carga permanente i

γ_{q1} = Coeficiente de majoração de carga variável principal

F_{EXP} = Carga excepcional

γ_q = Coeficiente de majoração de carga variável secundária

F_{qj} = Carga variável secundária

ψ_{0j} = Coeficiente de redução da aplicado à carga variável secundária

Exemplo 1

Uma viga de edifício está sujeita a momentos fletores característicos oriundos de diferentes cargas:

Peso próprio de estrutura metálica $M_{g1} = 10 \text{ kN.m}$

Peso próprio dos outros componentes não-metálicos permanentes $M_{g2} = 50 \text{ kN.m}$ (estrutura pré-moldada)

Ocupação da estrutura (biblioteca) $M_q = 30 \text{ kN.m}$

Vento $M_v = 20 \text{ kN.m}$

Calcular o momento solicitante de projeto M_{sd}

| Combinações | Ações permanentes (γ_g) ^{a c} | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|--|--|-------------|
| | Diretas | | | | | Indiretas |
| | Peso próprio de estruturas metálicas | Peso próprio de estruturas pré-moldadas | Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> | Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos | |
| Normais | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,35 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,50 (1,00) | 1,20 (0) |
| Especiais ou de construção | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,20 (0) |
| Excepcionais | 1,10 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,30 (1,00) | 0 (0) |
| | Ações variáveis (γ_q) ^{a d} | | | | | |
| | Efeito da temperatura ^b | Ação do vento | Ações truncadas ^e | Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação | | |
| Normais | 1,20 | 1,40 | 1,20 | 1,50 | | |
| Especiais ou de construção | 1,00 | 1,20 | 1,10 | 1,30 | | |
| Excepcionais | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | | |

Resolução

➤ Peso próprio de estrutura metálica $M_{g1} = 10 \text{ kN.m}$

-> $\gamma_{g1} = 1,25$

➤ Peso próprio dos outros componentes não-metálicos permanentes $M_{g2} = 50 \text{ kN.m}$

-> $\gamma_{g2} = 1,3$ (estrutura pré-moldada)

➤ Ocupação da estrutura (biblioteca) $M_q = 30 \text{ kN.m}$

-> $\gamma_q = 1,5$; $\psi_{0q} = 0,8$

➤ Vento $M_v = 20 \text{ kN.m}$

-> $\gamma_v = 1,4$; $\psi_{0v} = 0,6$

Resolução

1ª suposição: vento é a carga principal

$$F_{sd} = \sum \gamma_{gi} * G_i + \gamma_{q1} * Q_1 + \sum \gamma_{qj} * \psi_{0j} * Q_j$$

$$M_{sd} = \gamma_{g1} * M_{g1} + \gamma_{g2} * M_{g2} + \gamma_v * M_v + \gamma_q * \psi_{0q} * M_q$$

$$M_{sd} = 1,25 * 10 + 1,3 * 50 + 1,4 * 20 + 1,5 * 0,8 * 30$$

$$M_{sd} = 141,5 \text{ kN.m}$$

Resolução

2ª suposição: acidental é a carga principal

$$M_{sd} = \gamma_{g1} * M_{g1} + \gamma_{g2} * M_{g2} + \gamma_q * M_q + \gamma_v * \psi_{0v} * M_v$$

$$M_{sd} = 1,25 * 10 + 1,3 * 50 + 1,5 * 30 + 1,4 * 0,6 * 20$$

$$M_{sd} = 139,3 \text{ kN.m}$$

EXERCÍCIO DESAFIO

DETERMINE A força solicitante de projeto:

Ação solicitante:

PESO PRÓPRIO: $P_g = 2,5 \text{ kN/m}$

Acidental: 10 kN/m

EQUIPAMENTO 1: $P_{q1} = 20 \text{ kN/m}$

VENTO 1: $P_{q2} = 20 \text{ kN/m}$

EQUIPAMENTO 2: $P_{q3} = 30 \text{ kN/m}$

Elu – combinação normal

$$F_{sd} = \sum \gamma_{gi} * G_i + \gamma_{q1} * Q_1 + \sum \gamma_{qj} * \psi_{0j} * Q_j$$

1º suponha vento é a carga principal → acidental é secundária

$$F_{sd} = \gamma_{g1} * G_1 + \gamma_{g\ equ1} * G_{equ1} + \gamma_{g\ equ2} * G_{equ2} + \gamma_v * Q_v + \gamma_{q\ aci} * \psi_{0\ aci} * Q_{aci}$$

$$F_{sd} = (1,25 * 2,5) + (1,5 * 20) + (1,5 * 30) + (1,4 * 20) + (1,5 * 0,7 * 10)$$

$$F_{sd} = 211,125 \text{ kN/m}$$

2º suponha acidental é a carga principal → vento é secundária

$$F_{sd} = \gamma_{g1} * G_1 + \gamma_{g\ equ1} * G_{equ1} + \gamma_{g\ equ2} * G_{equ2} + \gamma_q * Q_{aci} + \gamma_v * \psi_{0v} * Q_v$$

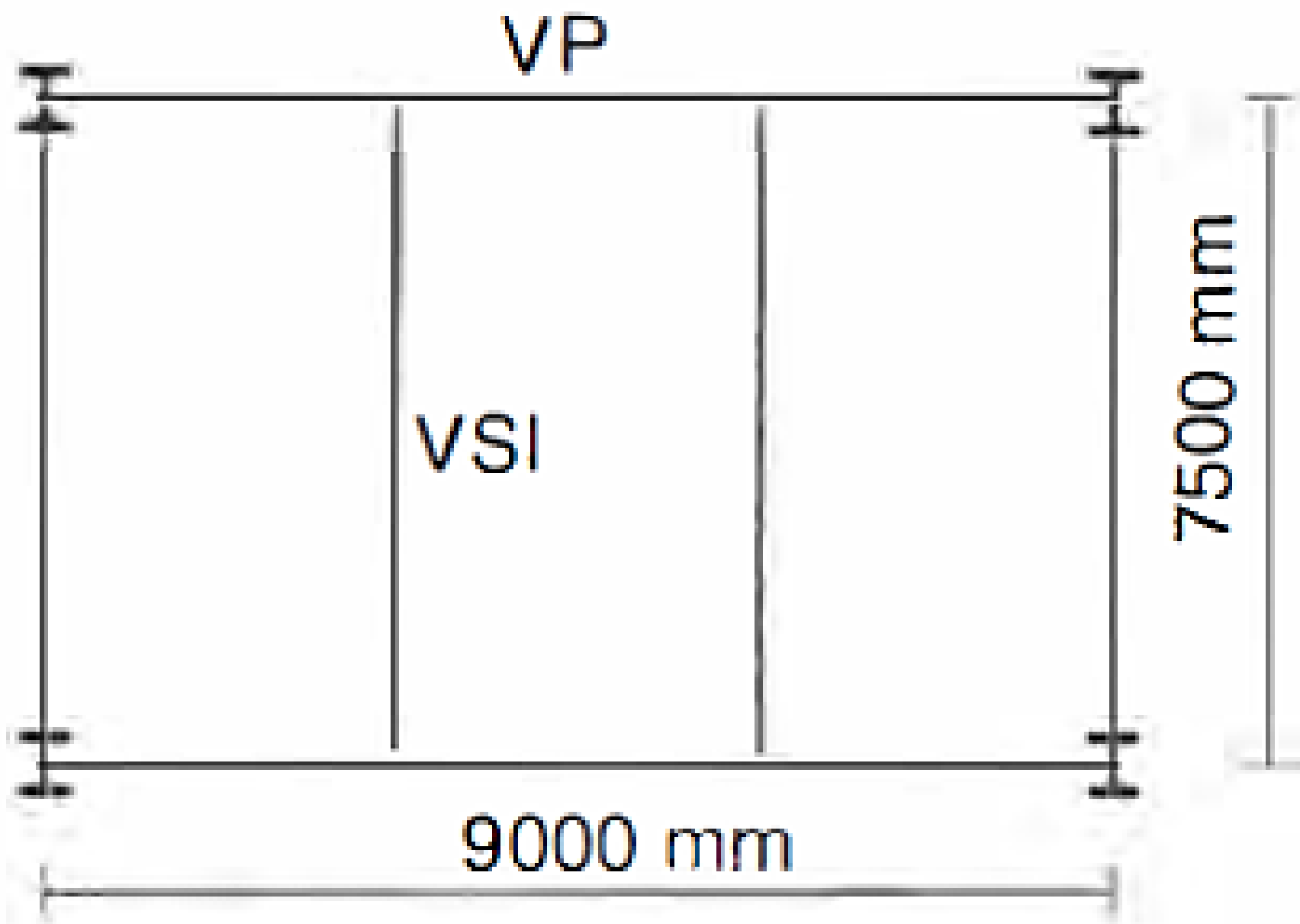
$$F_{sd} = (1,25 * 2,5) + (1,5 * 20) + (1,5 * 30) + (1,5 * 10) + (1,4 * 0,6 * 20)$$

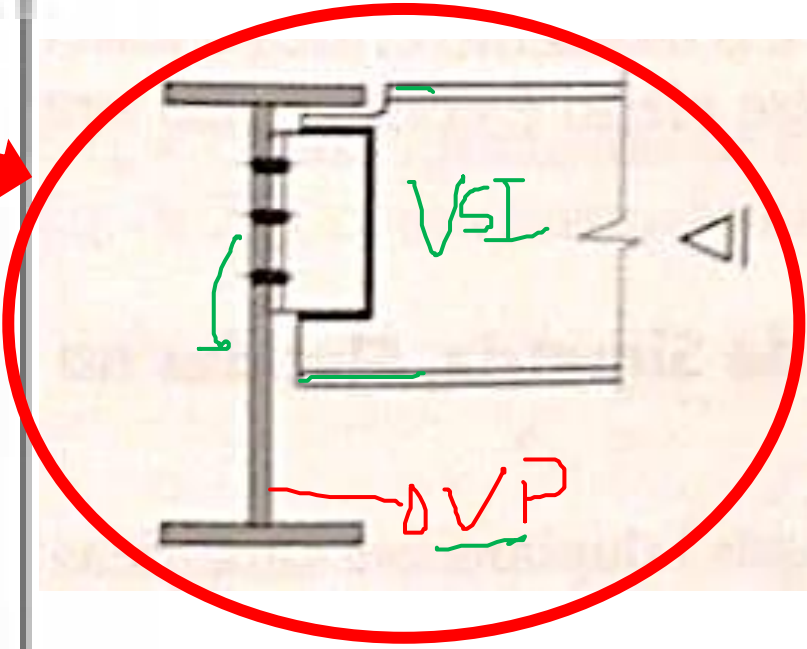
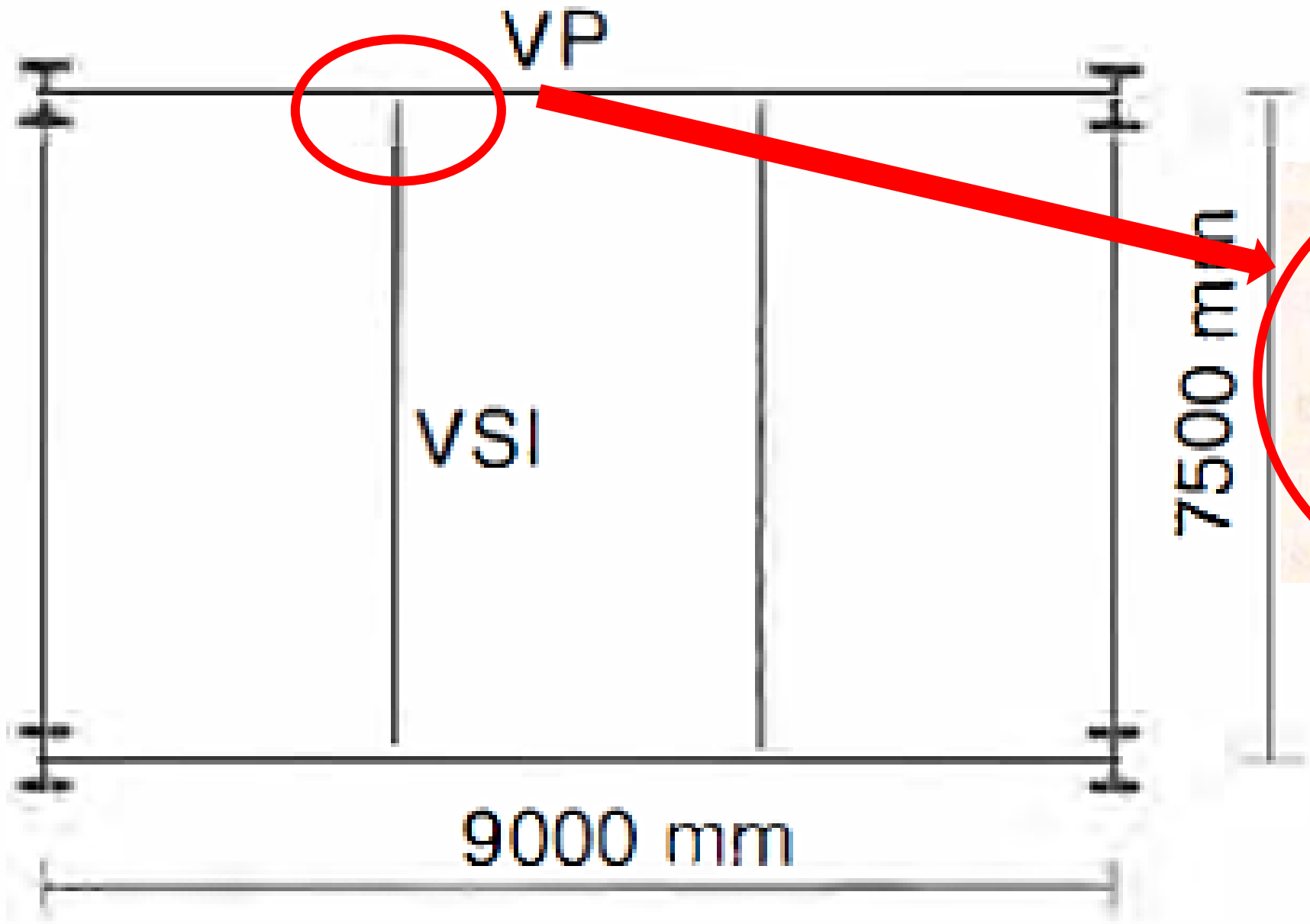
$$F_{sd} = 109,925 \text{ kN/m}$$

Exemplo 3

Determinar a força solicitante de projeto (chamada de F_d ou F_{sd}) das vigas de aço de um mezanino em uma laje pré-moldada de uma edificação industrial. Considere que:

- A laje tem esp. Total de 13 cm
 - esp. Da laje com preenchimento de EPS e sem capa de concreto = 8cm;
 - peso próprio da laje com preenchimento de EPS e sem capa de concreto = $1,5 \text{ kN/m}^2$ (dados de um fabricante)
 - Esp. Da capa de concreto 5 cm, no entanto considerar 7 cm de concreto
- Revestimento de 7 cm de espessura
- Há dutos de ar-condicionado presos a laje
- Há uma rede de dutos de sprinkler de até 70 mm presos a laje
- Será uma sala administrativa





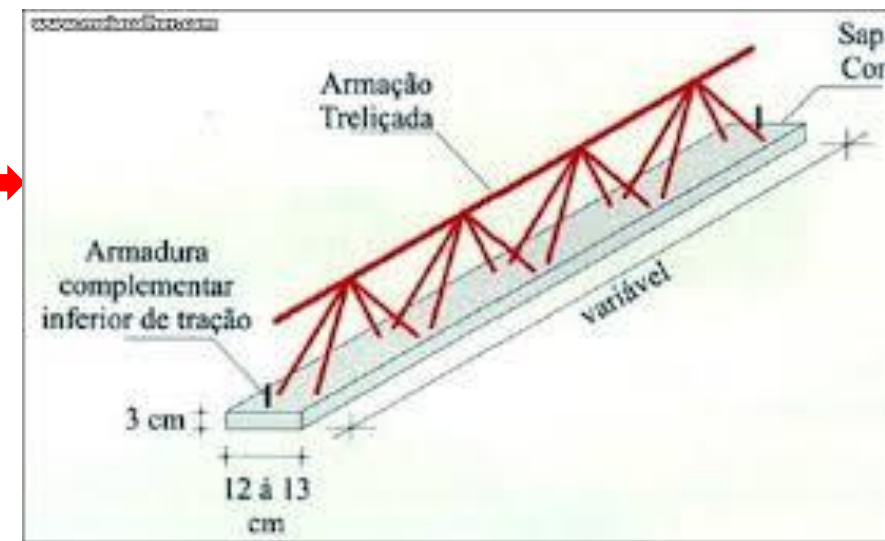
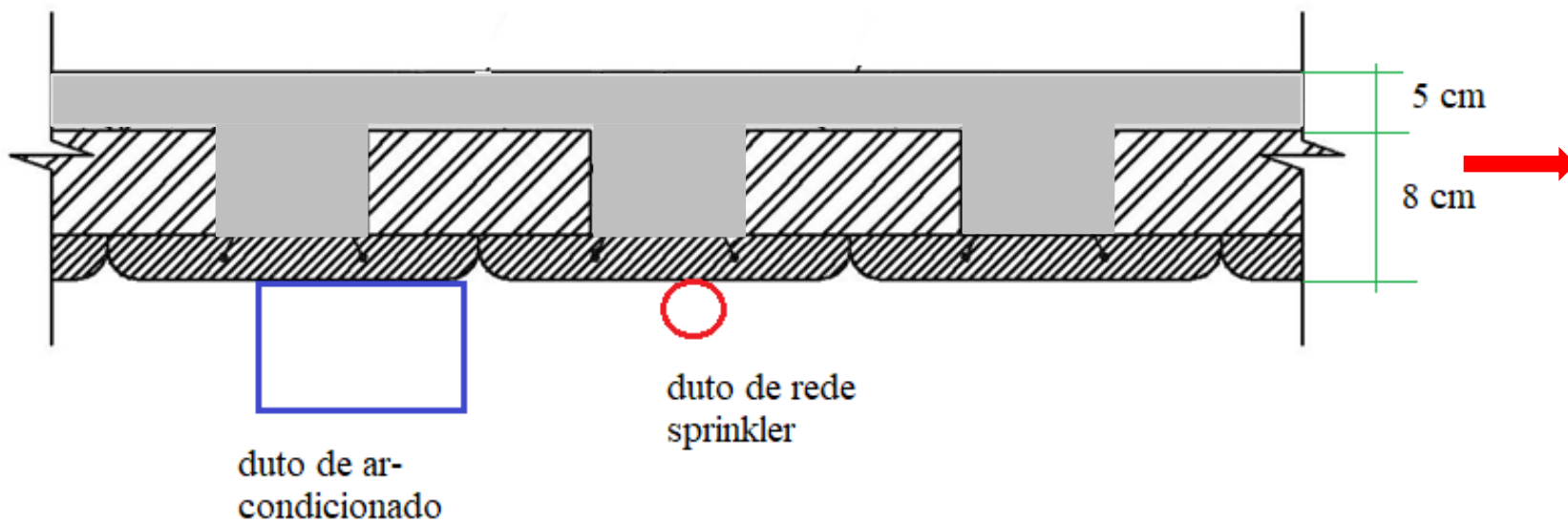
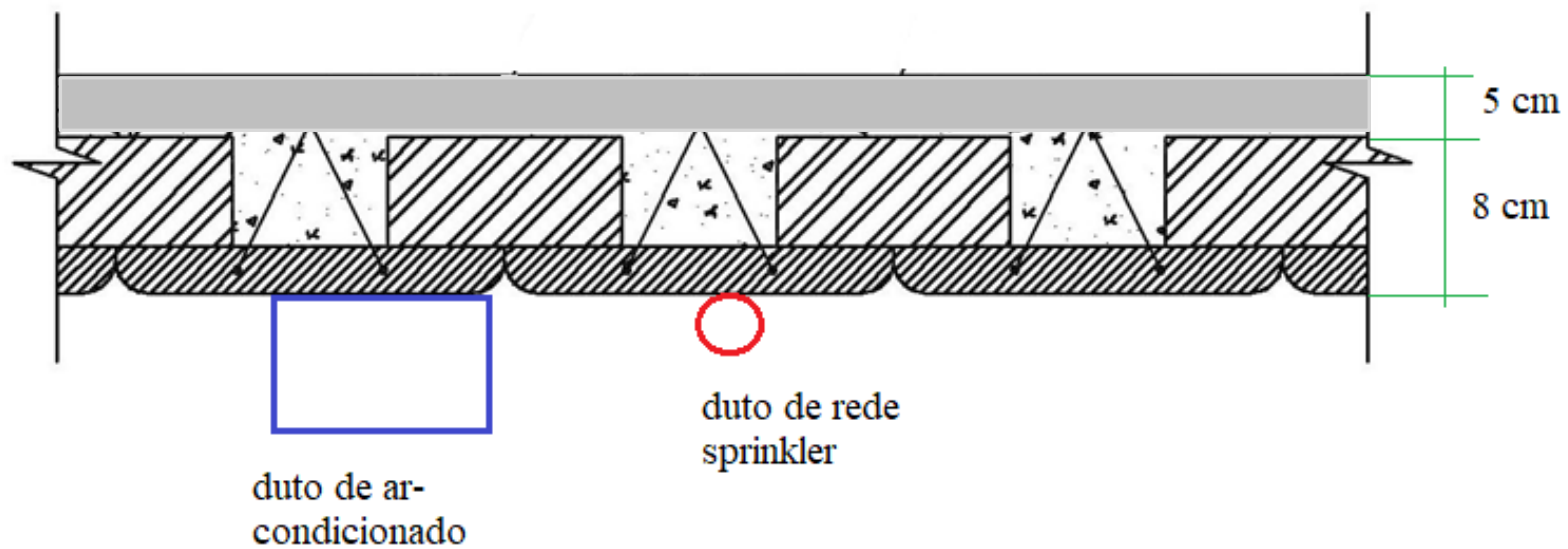
Resolução

Cargas permanentes

- $\text{Peso próprio da laje} = \text{Peso próprio da laje sem capa de concreto} + \text{Peso próprio da capa de concreto}$
- Revestimento
- Dutos de ar-condicionado
- Dutos sprinkler

Cargas variáveis

- Acidental



Resolução

1. Determinação das cargas

- A laje tem esp. Total de 13 cm
 - peso próprio da laje com preenchimento de EPS e sem capa de concreto = 1,5 kN/m² (dados de um fabricante)
 - Esp. Da capa de concreto 5 cm, no entanto considerar 7 cm de concreto

$$Pp_{conc.laje} = \gamma_{ap} * esp$$

γ_{ap} : **Peso específico aparente do concreto armado segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 1)**

esp. **Espessura da laje**

Resolução

1. Determinação das cargas

- A laje tem esp. Total de
 - peso próprio da laje com fabricante)
 - Esp. Da capa de concreto

Tabela 1 (continuação)

| | Material | Peso específico aparente γ_{ap} kN/m ³ |
|--------------------------|-----------------------------------|---|
| 3 Argamassas e concretos | Argamassa de cal, cimento e areia | 19 |
| | Argamassa de cal | 12 a 18 (15) |
| | Argamassa de cimento e areia | 19 a 23 (21) |
| | Argamassa de gesso | 12 a 18 (15) |
| | Argamassa autonivelante | 24 |
| | Concreto simples | 24 |
| | Concreto armado | 25 |

$$Pp_{conc.laje} = \gamma_{ap} * esp$$

γ_{ap} : **Peso específico aparente do concreto armado segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 1)**

esp. **Espessura da laje**

$$Pp_{conc.laje} = 25 \text{ (kN/m}^3\text{)} * 0,07 \text{ (m)}$$

$$Pp_{conc.laje} = 1,75 \text{ kN/m}^2$$

$$Pp_{laje} = Pp_{conc.laje} + Pp_{laje \text{ pre moldada}} = 1,75 + 1,5$$

$$Pp_{laje} = 3,25 \text{ kN/m}^2$$

Resolução

- Revestimento de 7 cm de espessura
 - Edificação industrial
- Rev=2,4 kN/m²

Tabela 4 – Revestimentos de pisos e impermeabilizações

| <u>Material</u> | <u>Espessura</u> <u>cm</u> | <u>Peso</u> <u>kN/m²</u> |
|--|-------------------------------|--|
| Impermeabilização com manta asfáltica simples (apenas manta com 15 % de sobreposição e pintura asfáltica, sem camada de regularização nem proteção mecânica) | 0,3 | 0,08 |
| | 0,1 | 0,10 |
| | 0,5 | 0,11 |
| Piso elevado interno com placas de aço, sem revestimento (até 30 cm de altura) | – | 0,5 |
| Piso elevado interno com placas de polipropileno, sem revestimento (até 30 cm de altura) | – | 0,15 |
| Revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais ($\gamma_{ap-m} = 20 \text{ kN/m}^3$) | 5 | 1,0 |
| | 7 | 1,4 |
| Revestimentos de pisos de edifícios industriais ($\gamma_{ap-m} = 34 \text{ kN/m}^3$) | 5 | 1,7 |
| | 7 | 2,4 |
| Impermeabilizações em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento ($\gamma_{ap-m} = 18 \text{ kN/m}^3$) | 10 | 1,8 |
| | 15 | 2,7 |

NOTA Calcular caso a caso, considerando a espessura dos componentes do revestimento de pisos e seus respectivos pesos específicos. Na falta de informações mais precisas, podem ser considerados os pesos específicos médios indicados.

Resolução

- Há dutos de ar-condicionado presos a laje

$$A_r = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

- Há uma rede de dutos de sprinkler de até 70 mm presos a laje

$$S_p = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

Tabela 8 – Forros, dutos e *sprinkler*

| Material | Peso kN/m ² |
|--|---------------------------|
| Forro de fibra mineral, inclui estrutura de suporte | 0,10 |
| Forro de gesso acartonado, inclui estrutura de suporte | 0,25 |
| Forro de gesso em placas, inclui estrutura de suporte | 0,15 |
| Forro de PVC, inclui estrutura de suporte | 0,10 |
| Forro de placas de alumínio, inclui estrutura de suporte | 0,10 |
| Dutos de ventilação, sem isolamento térmico | 0,20 |
| Dutos de ar-condicionado, com isolamento térmico | 0,30 |
| Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 65 mm | 0,10 |
| Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 80 mm | 0,15 |

Resolução

Carga variável

➤ Será uma sala administrativa

$A_{ci} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Tabela 10 (continuação)

| Local | | Carga uniformemente distribuída kN/m ² | Carga concentrada kN |
|---|--|--|------------------------------------|
| Edificações industriais ^{a,s} As cargas devem ser validadas caso a caso, porém com os valores mínimos indicados nesta Tabela. | Áreas de produção, processos, manufatura etc. Refeitórios Sanitários, vestiários Cozinhas <u>Salas administrativas</u> Corredores Áreas técnicas (ver item nesta Tabela) | (ver 6.8) 3 2 3 2,5 3 | (ver 6.8) — — — — — |

Resolução

Carga total na laje

$$F_{sd} = \sum \gamma_{gi} * G_i + \gamma_{q1} * Q_1 + \sum \gamma_{qj} * \psi_{0j} * Q_j$$

$$F_{sd} = \gamma_{g \text{ laje}} * Pp_{\text{laje}} + \gamma_{rev} * Rev + \gamma_{ar} * Ar + \gamma_{sp} * Sp + \gamma_{aci} * Aci$$

Cargas obtidas na aula anterior

$$Pp_{\text{laje}} = 3,25 \text{ kN/m}^2$$

$$Rev = 2,40 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Permanentes}$$

$$Ar = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

$$Sp = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

$$Aci = 2,50 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Variável}$$

Cargas obtidas na aula anterior

$P_{plaje} = 3,25 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{g laje} = 1,30$

$Rev = 2,40 \text{ kN/m}^2$

$Ar = 0,30 \text{ kN/m}^2$

$Sp = 0,15 \text{ kN/m}^2$

$Aci = 2,50 \text{ kN/m}^2$

| Combinações | Ações permanentes (γ_g) ^{a c} | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|--|--|-------------|
| | Diretas | | | | | Indiretas |
| | Peso próprio de estruturas metálicas | Peso próprio de estruturas pré-moldadas | Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> | Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos | |
| Normais | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,35 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,50 (1,00) | 1,20 (0) |
| Especiais ou de construção | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,20 (0) |
| Excepcionais | 1,10 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,30 (1,00) | 0 (0) |

Cargas obtidas na aula anterior

$P_{plaje} = 3,25 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{g \text{ laje}} = 1,30$

$Rev = 2,40 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{rev} = 1,50$

$Ar = 0,30 \text{ kN/m}^2$

$Sp = 0,15 \text{ kN/m}^2$

$Aci = 2,50 \text{ kN/m}^2$

| Combinações | Ações permanentes (γ_g) ^{a c} | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|--|--|-------------|
| | Diretas | | | | | Indiretas |
| | Peso próprio de estruturas metálicas | Peso próprio de estruturas pré-moldadas | Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> | Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos | |
| Normais | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,35 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,50 (1,00) | 1,20 (0) |
| Especiais ou de construção | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,20 (0) |
| Excepcionais | 1,10 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,30 (1,00) | 0 (0) |

Cargas obtidas na aula anterior

$$P_{plaje} = 3,25 \text{ kN/m}^2 \quad \longrightarrow \quad \gamma_{g \text{ laje}} = 1,30$$

$$R_{ev} = 2,40 \text{ kN/m}^2 \quad \longrightarrow \quad \gamma_{rev} = 1,50$$

$$A_r = 0,30 \text{ kN/m}^2 \quad \longrightarrow \quad \gamma_{ar} = 1,50$$

$$S_p = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{ci} = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

| Combinações | Ações permanentes (γ_g) ^{a c} | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|--|--|-------------|
| | Diretas | | | | | Indiretas |
| | Peso próprio de estruturas metálicas | Peso próprio de estruturas pré-moldadas | Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> | Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos | |
| Normais | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,35 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,50 (1,00) | 1,20 (0) |
| Especiais ou de construção | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,20 (0) |
| Excepcionais | 1,10 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,30 (1,00) | 0 (0) |

Cargas obtidas na aula anterior

$$P_{plaje} = 3,25 \text{ kN/m}^2 \quad \longrightarrow \quad \gamma_{g \text{ laje}} = 1,30$$

$$Rev = 2,40 \text{ kN/m}^2 \quad \longrightarrow \quad \gamma_{rev} = 1,50$$






$$Ar = 0,30 \text{ kN/m}^2 \quad \longrightarrow \quad \gamma_{ar} = 1,50$$

$$Sp = 0,15 \text{ kN/m}^2 \quad \longrightarrow \quad \gamma_{sp} = 1,50$$

$$Aci = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

| Combinações | Ações permanentes (γ_g) ^{a c} | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|--|--|-------------|
| | Diretas | | | | | Indiretas |
| | Peso próprio de estruturas metálicas | Peso próprio de estruturas pré-moldadas | Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> | Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos | |
| Normais | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,35 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,50 (1,00) | 1,20 (0) |
| Especiais ou de construção | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,20 (0) |
| Excepcionais | 1,10 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,30 (1,00) | 0 (0) |

Cargas obtidas na aula anterior

$P_{plaje} = 3,25 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{g laje} = 1,30$
 $Rev = 2,40 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{rev} = 1,50$
 $Ar = 0,30 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{ar} = 1,50$
 $Sp = 0,15 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{sp} = 1,50$
 $Aci = 2,50 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{aci} = 1,50$

| | Ações variáveis (γ_q) ^{a,d} | | | |
|----------------------------|---|---------------|------------------------------|--|
| | Efeito da temperatura ^b | Ação do vento | Ações truncadas ^e | Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação |
| Normais | 1,20 | 1,40 | 1,20 | 1,50 |
| Especiais ou de construção | 1,00 | 1,20 | 1,10 | 1,30 |
| Excepcionais | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Resolução

Carga total na laje

$$F_{sd} = \sum \gamma_{gi} * G_i + \gamma_{q1} * Q_1 + \sum \gamma_{qj} * \psi_{0j} * Q_j$$

$$F_{sd} = \gamma_{glaje} * P_{plaje} + \gamma_{rev} * Rev + \gamma_{ar} * Ar + \gamma_{sp} * Sp + \gamma_{aci} * Aci$$

Cargas obtidas na aula anterior

$P_{plaje} = 3,25 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{glaje} = 1,30$

$Rev = 2,40 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{rev} = 1,50$

$Ar = 0,30 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{ar} = 1,50$

$Sp = 0,15 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{sp} = 1,50$

$Aci = 2,50 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_{aci} = 1,50$

$$F_{sd} = 1,30 * 3,25 + 1,5 * 2,4 + 1,5 * 0,30 + 1,5 * 0,15 + 1,5 * 2,5$$

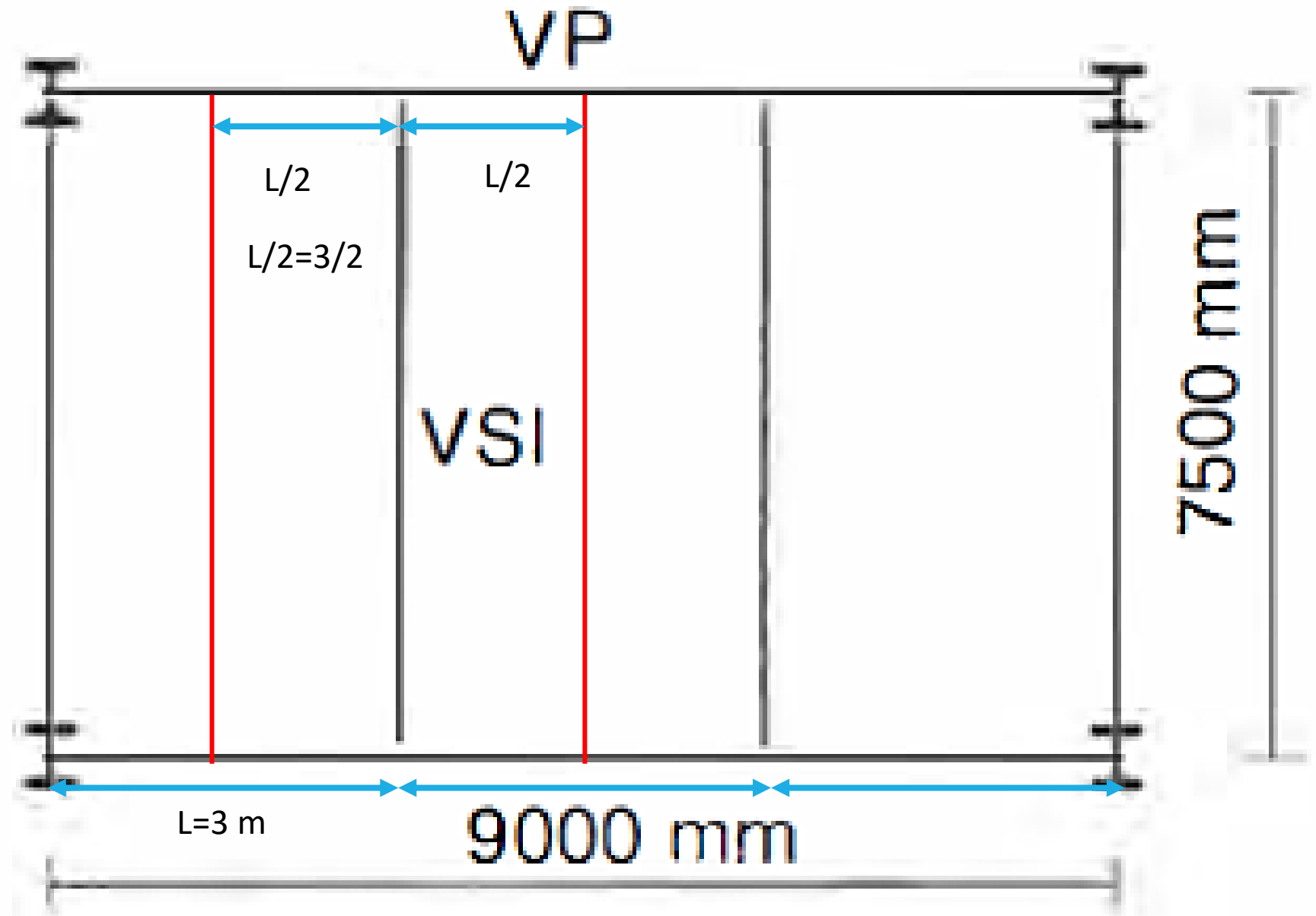
$$F_{sd} = 12,25 \text{ kN/m}^2$$

Carga da laje na viga

$$Q = Fsd * \left(\frac{L}{2} + \frac{L}{2} \right)$$

$$Q = 12,25 * \left(\frac{3}{2} + \frac{3}{2} \right)$$

$$Q = 36,75 \text{ kN/m}$$

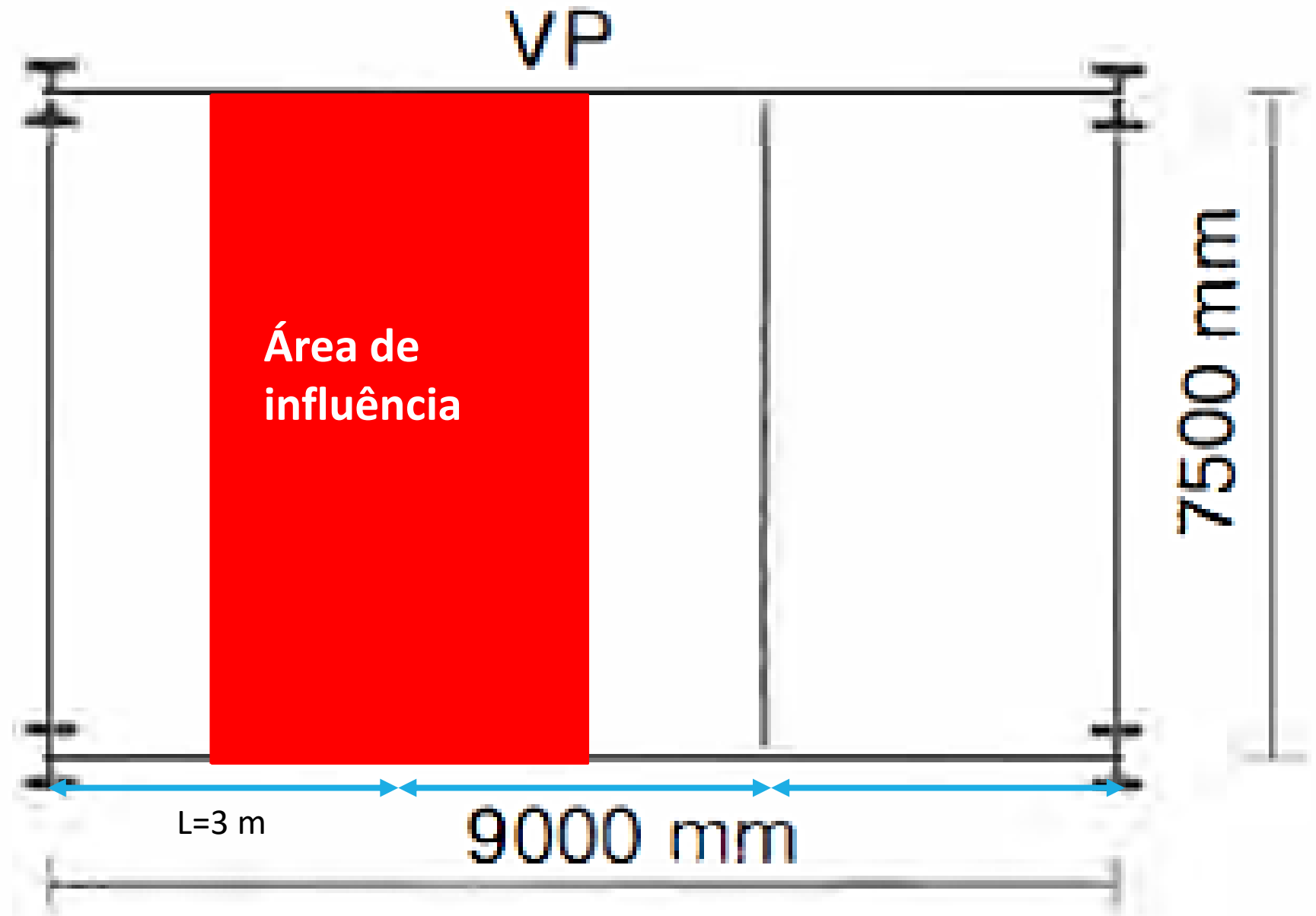


Carga da laje na viga

$$Q = Fsd * \left(\frac{L}{2} + \frac{L}{2} \right)$$

$$Q = 12,25 * \left(\frac{3}{2} + \frac{3}{2} \right)$$

$$Q = 36,75 \text{ kN/m}$$



Resolução

Carga total na viga

$$Q_{total} = Q + \gamma_{g \text{ viga}} * PP_v$$

Q_{total} é carga total solicitante de projeto sobre a viga dada em unidade de **força/comprimento**

Q é carga da laje pré-moldada na viga já com as majorações (coeficientes de majoração)

Peso próprio da viga depende da seção transversal do perfil

Para o nosso exemplo vamos um perfil W 200 x 26,6

Segundo a tabela de perfis a **MASSA LINEAR** do perfil W 200 x 26,6 é de 26,6 kg/m

ATENÇÃO!!!!

MASSA LINEAR É DIFERENTE DE **FORÇA PESO**

MASSA LINEAR é a massa do perfil por comprimento de peça

Normalmente, as pessoas confundem força peso com massa em situações do cotidiano

Ex.: As balanças medem a **MASSA**

FORÇA PESO é uma força que sempre aponta para o centro de gravidade da Terra e pode ser obtida por meio da 2ª Lei de Newton:

$$P = m * g$$

g é a aceleração da gravidade de 9,81 m/s²

m é a massa em kg

P é a força peso dada em N

Resolução

$$PP_v = \rho_{linear} * g$$

ρ_{linear} é a massa linear do perfil de acordo com a tabela de perfis de fabricantes dada em kg/m

g é a aceleração da gravidade de 9,81 m/s²

PP_v é o peso próprio da viga que deverá sair em unidade de força/comprimento compatível com as unidades da carga da laje na viga (Q)

$$[PP_v] = \frac{[kg]}{[m]} * \frac{[m]}{[s^2]} \rightarrow N \rightarrow [PP_v] = \left[\frac{N}{m} \right]$$

Como a carga da laje na viga (Q) foi obtida em kN/m, para que PP_v deve ser convertida também para kN/m, dividindo por 1000

$$PP_v = \frac{\rho_{linear} * g}{1000}$$

PP_v peso próprio da viga em kN/m

Resolução

Para o perfil W 200 x 26,6

$$PP_v = \frac{\rho_{linear} * g}{1000}$$

$$PP_v = \frac{26,6 * 9,81}{1000}$$

$$PP_v = 0,261 \text{ kN/m}$$

$$Q_{total} = Q + \gamma_g \text{ viga} * PP_v$$

| Combinações | Ações permanentes (γ_g) ^{a c} | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|--|--|-------------|
| | Diretas | | | | | Indiretas |
| | Peso próprio de estruturas metálicas | Peso próprio de estruturas pré-moldadas | Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> | Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos | |
| Normais | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,35 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,50 (1,00) | 1,20 (0) |
| Especiais ou de construção | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,20 (0) |
| Excepcionais | 1,10 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,30 (1,00) | 0 (0) |

Resolução

Para o perfil W 200 x 26,6

$$PP_v = \frac{\rho_{linear} * g}{1000}$$

$$PP_v = \frac{26,6 * 9,81}{1000}$$

$$PP_v = 0,261 \text{ kN/m}$$

$$Q_{total} = Q + \gamma_{g \text{ viga}} * PP_v$$

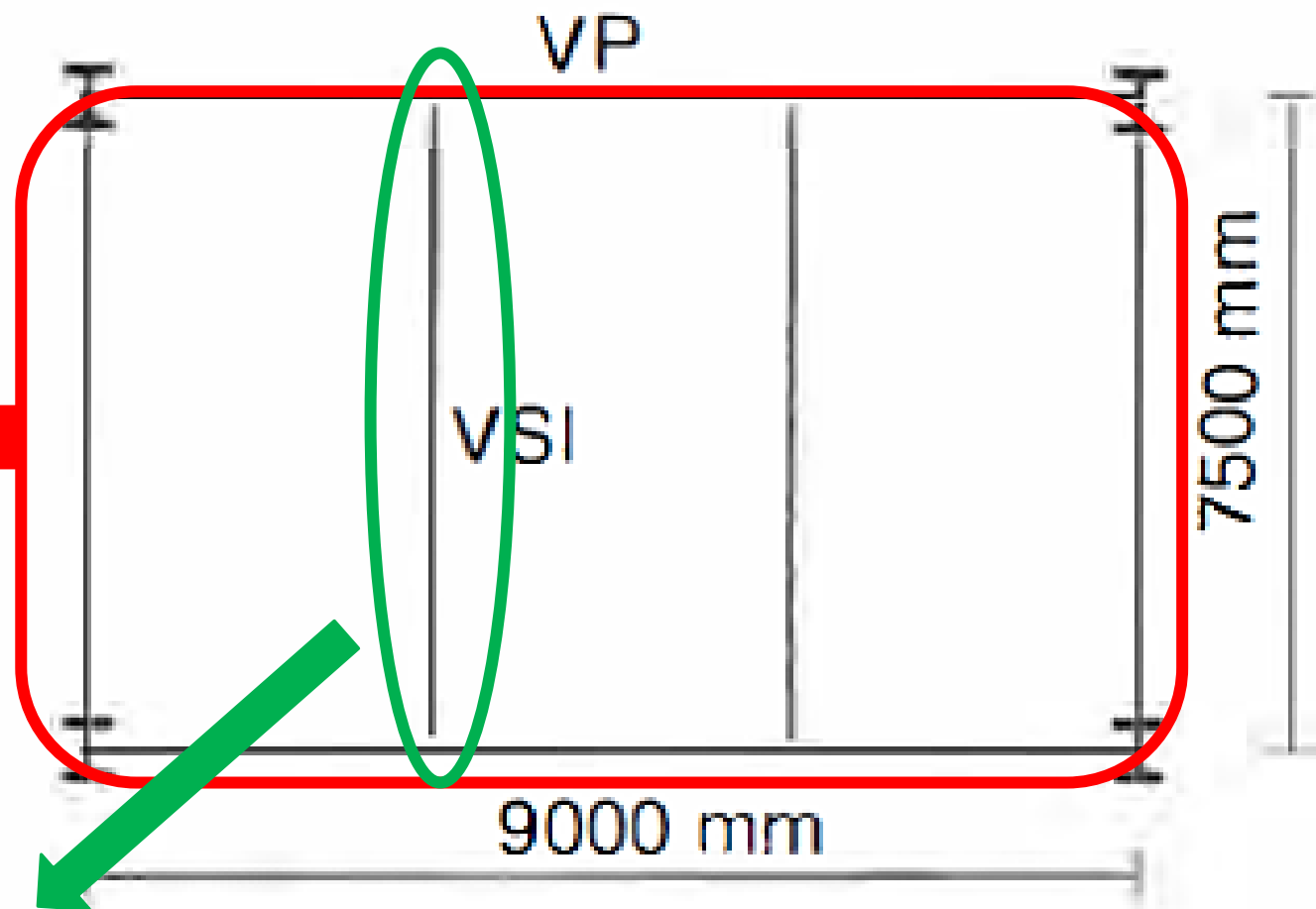
$$Q_{total} = 36,75 + 1,25 * 0,261$$

$$Q_{total} = 37,07 \text{ kN/m}$$

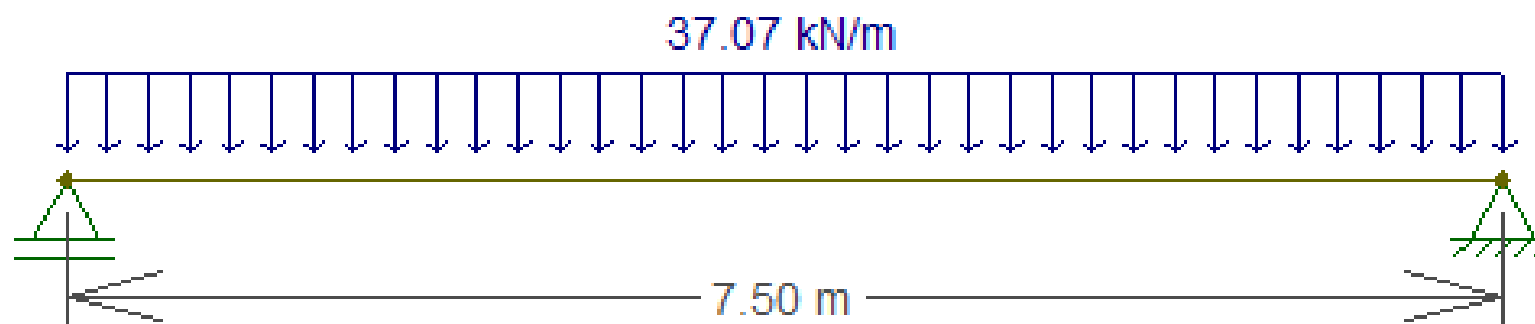
$Q_{total} = 37,07 \text{ kN/m}$ é a Força solicitante de projeto total sobre cada viga intermediária

| Combinações | Ações permanentes (γ_g) ^{a c} | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|--|--|-------------|
| | Diretas | | | | | Indiretas |
| | Peso próprio de estruturas metálicas | Peso próprio de estruturas pré-moldadas | Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> | Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos | |
| Normais | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,35 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,50 (1,00) | 1,20 (0) |
| Especiais ou de construção | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,25 (1,00) | 1,30 (1,00) | 1,40 (1,00) | 1,20 (0) |
| Excepcionais | 1,10 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,15 (1,00) | 1,20 (1,00) | 1,30 (1,00) | 0 (0) |

**VIGAS VERTICAIS
COM SEÇÃO
IDÊNTICA**

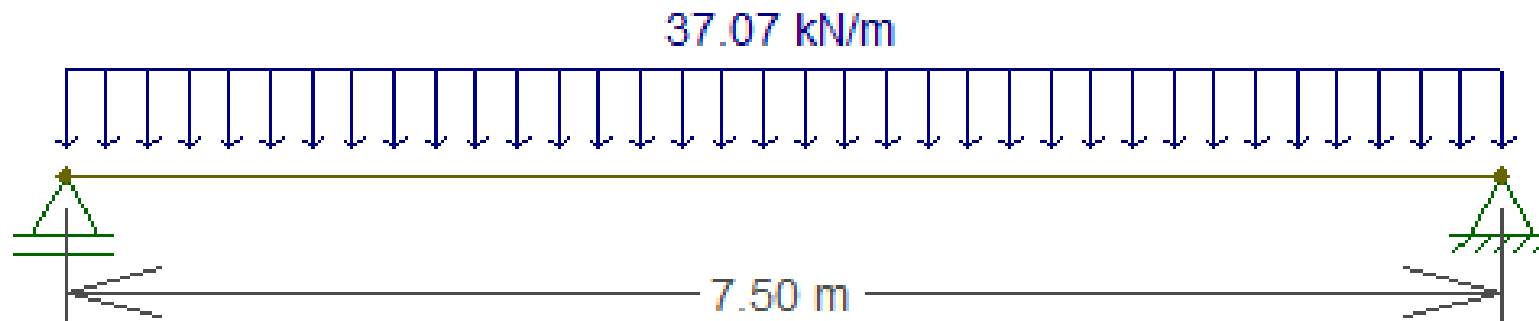


**ESQUEMA ESTRUTURAL DAS
VIGAS INTERMEDIÁRIAS**



Resolução

Reação de apoio das vigas intermediárias

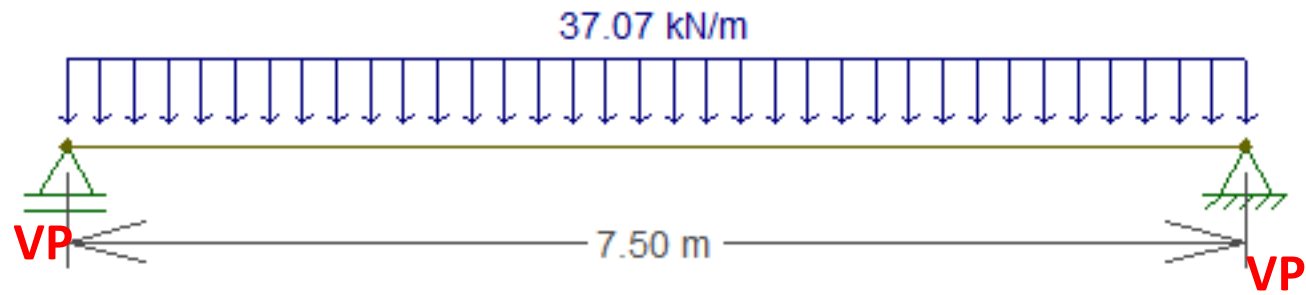


$$R_a = R_b = Q \cdot 7,5/2$$

$$R_a = R_b = 37,07 \cdot 7,5/2$$

$$R_a = R_b = 139 \text{ kN}$$

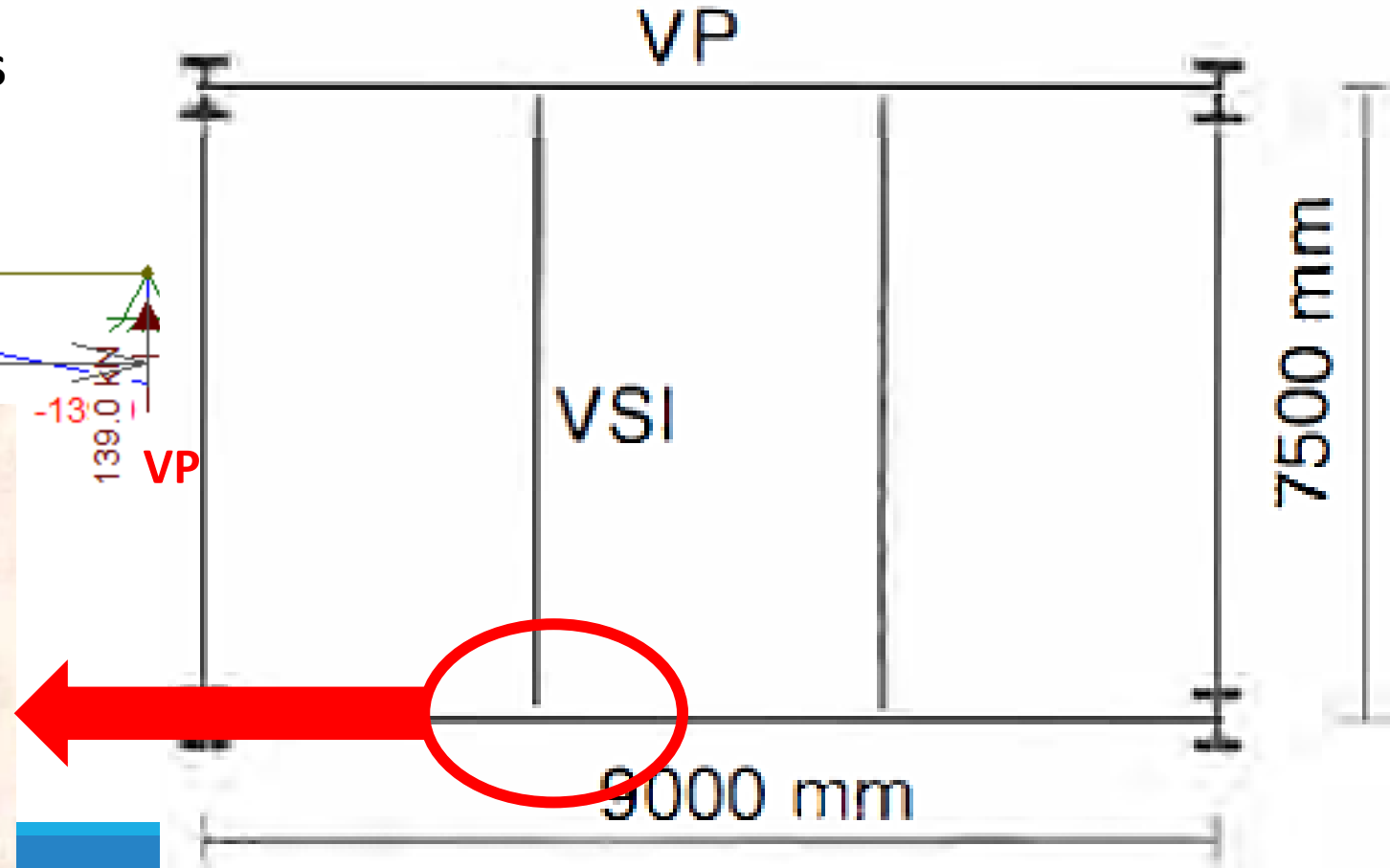
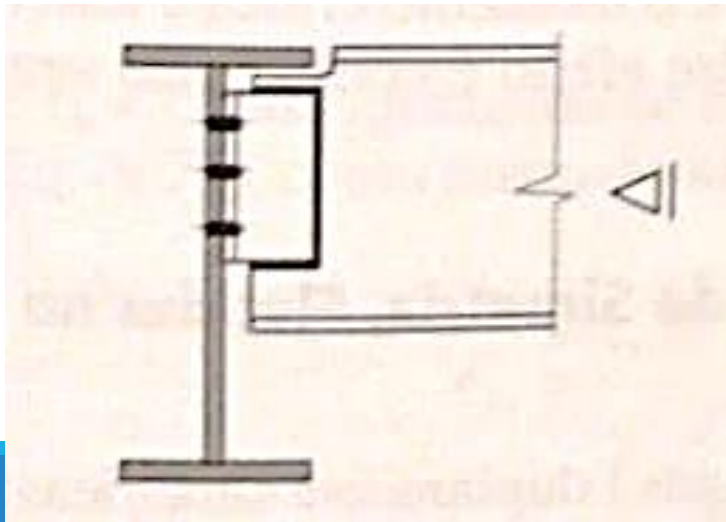
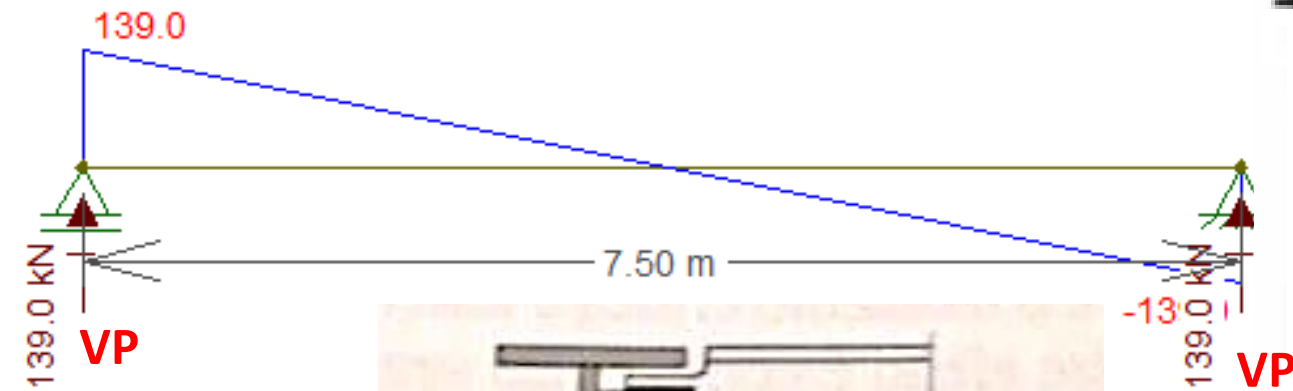
ESQUEMA ESTRUTURAL DAS VIGAS INTERMEDIÁRIAS



A VIGA PRINCIPAL É O APOIO DA VIGA INTERMEDIÁRIA

PORTANTO, AS REAÇÕES DE APOIO DAS VIGAS INTERMEDIÁRIAS SÃO CARGAS PONTUAIS SOBRE A VIGA PRINCIPAL

REAÇÕES DE APOIO DAS VIGAS INTERMEDIÁRIAS



Resolução

Determinando as forças atuantes sobre a viga principal

Sobre a viga principal atuam:

-peso próprio da viga principal (obtido da mesma forma que foi realizada para as vigas intermediárias)

$$PP_v = \frac{\rho_{linear} * g}{1000}$$

-as reações das vigas intermediárias na viga principal (já com os coeficientes de segurança também chamados de coeficientes de majoração) e que são cargas pontuais

Lajes recebe a maioria das cargas → transmite para as vigas intermediárias → vigas principais recebem as reações das vigas intermediárias → pilares → fundação

