



**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo**

ATIVIDADE PARA ENTREGA 13-2 DIMENSIONAMENTO DE PILARES EM MINAS SUBTERRÂNEAS

**PMI 3309 - Mecânica de Rochas Aplicada à Mineração II
Prof. Eduardo César Sansone**

EXERCÍCIO 13-1



Uma mina subterrânea lavra por meio do método de "Câmaras e Pilares" uma camada horizontal de minério de manganês localizada a 250 m de profundidade com espessura de 3 m. A largura das câmaras, necessária à circulação de pessoal e de equipamentos, dever ser de 4,5 m.

A Resistência à Compressão Uniaxial (σ_c) da rocha determinada a partir de ensaios realizados em laboratório é igual a 200 MPa e o fator de redução da resistência da rocha intacta para o maciço rochoso (Fator de Escala) é de 6. Deve ser utilizado um Fator de Segurança de 2.

O Fator de Forma sobre a Resistência à Compressão Uniaxial é dado por:

$$\sigma_p = \sigma_c \left(0,778 + 0,222 \frac{L}{H} \right)$$

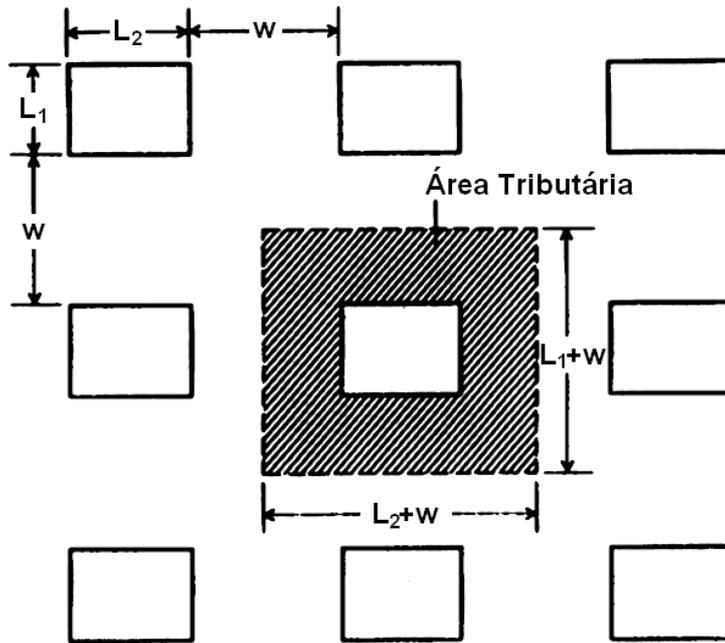
Determinar as dimensões mínimas dos pilares para que estes atuem efetivamente como elementos de sustentação, bem como, a recuperação de minério obtida, para os seguintes casos:

A) Pilares quadrados.

B) Pilares retangulares com menor dimensão igual a 5 m.



A) Pilares quadrados.



Área do Pilar

$$A_p = L_1 \cdot L_2$$

Área Tributária (ou Total)

$$A_t = (L_1 + w) \cdot (L_2 + w)$$

$$L_1 = L_2 = L \Rightarrow \begin{cases} A_p = L^2 \\ A_T = (L + 4,5)^2 = L^2 + 9L + 20,25 \end{cases}$$



A Tensão Atuante sobre o Pilar (σ_p) será dada por:

$$\sigma_p = \sigma_v \frac{A_t}{A_p}$$

Onde:

σ_v = tensão vertical natural

A_t = área total

A_p = área do pilar

$$\sigma_v = \gamma \cdot z = 0,027 \cdot 250 = 6,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_p = \sigma_v \cdot \frac{A_T}{A_p} = 6,75 \frac{L^2 + 9L + 20,25}{L^2}$$



O Fator de Segurança de um pilar será dado por:

$$\text{Fator de Segurança} = \frac{\text{Forças Resistentes}}{\text{Forças Solicitantes}} = \frac{\text{Resistência da Rocha}}{\text{Tensão no Pilar}}$$

Ou

$$\text{Fator de Segurança} = \frac{\text{Efeito de Forma} \Rightarrow \sigma_{Ci} \leftarrow \text{Efeito de Escala}}{\sigma_v \frac{A_t}{A_p}}$$

$$FS = \frac{F_{RES}}{F_{SOL}} = \frac{\frac{200}{6} (0,778 + 0,222 L/3)}{6,75 \frac{L^2 + 9L + 20,25}{L^2}} = 2$$

5



$$FS = \frac{F_{RES}}{F_{SOL}} = \frac{\frac{200}{6} (0,778 + 0,222 L/3)}{6,75 \frac{L^2 + 9L + 20,25}{L^2}} = 2$$

$$\frac{4,938 L^2 (0,778 + 0,074 L)}{L^2 + 9L + 20,25} = 2$$

$$3,842 L^2 + 0,365 L^3 - 2 L^2 - 18L - 40,5 = 0$$

$$0,365 L^3 + 1,842 L^2 - 18L - 40,5 = 0$$

$$\Rightarrow L = 6,1 \text{ m}$$

6



A Recuperação (R) do minério será dada por:

$$R = \frac{A_t - A_p}{A_t} = 1 - \frac{A_p}{A_t}$$

Onde:

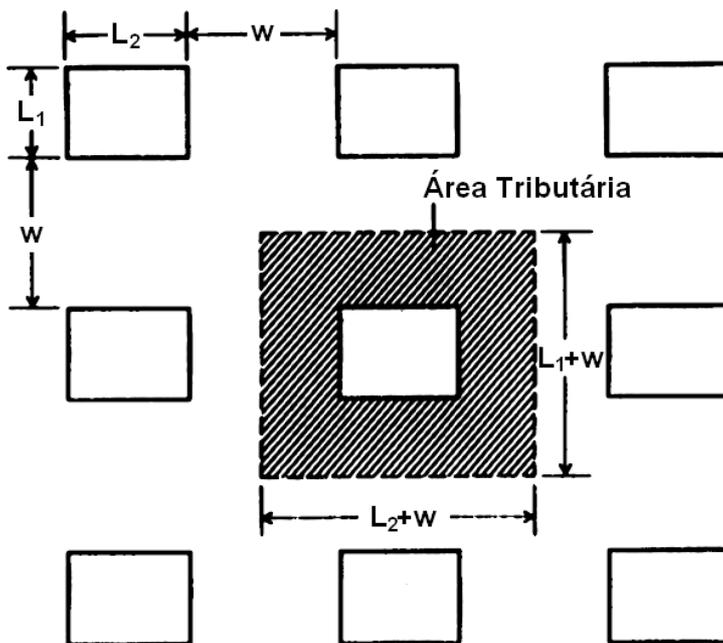
A_t = área total

A_p = área do pilar

$$R = 1 - \frac{6,12}{(6,1 + 4,5)^2} = 66,9\%$$



B) Pilares retangulares com menor dimensão igual a 5 m.



Área do Pilar

$$A_p = L_1 \cdot L_2$$

Área Tributária (ou Total)

$$A_t = (L_1 + w) \cdot (L_2 + w)$$

$$\left. \begin{array}{l} L_1 = L \\ L_2 = 5 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A_p = 5L \\ A_T = (L + 4,5)(5 + 4,5) = 9,5L + 42,75 \end{array} \right.$$



A Tensão Atuante sobre o Pilar (σ_p) será dada por:

$$\sigma_p = \sigma_v \frac{A_t}{A_p}$$

Onde:

σ_v = tensão vertical natural

A_t = área total

A_p = área do pilar

$$\sigma_v = \gamma \cdot z = 0,027 \cdot 250 = 6,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_p = \sigma_v \cdot \frac{A_t}{A_p} = 6,75 \frac{9,5L + 42,75}{5L}$$



O Fator de Segurança de um pilar será dado por:

$$\text{Fator de Segurança} = \frac{\text{Forças Resistentes}}{\text{Forças Solicitantes}} = \frac{\text{Resistência da Rocha}}{\text{Tensão no Pilar}}$$

Ou

$$\text{Fator de Segurança} = \frac{\text{Efeito de Forma} \Rightarrow \sigma_{ci} \Leftarrow \text{Efeito de Escala}}{\sigma_v \frac{A_t}{A_p}}$$

$$FS = \frac{F_{RES}}{F_{SOL}} = \frac{\frac{200}{6} (0,778 + 0,222 \cdot 5/3)}{6,75 \frac{9,5L + 42,75}{5L}} = 2$$

$$191,333L = 128,25L + 577,125 \Rightarrow L = 9,15 \text{ m}$$



A Recuperação (R) do minério será dada por:

$$R = \frac{A_t - A_p}{A_t} = 1 - \frac{A_p}{A_t}$$

Onde:

A_t = área total

A_p = área do pilar

$$R = 1 - \frac{9,15 \cdot 5}{(9,15 + 4,5) \cdot (5 + 4,5)} = 64,7\%$$

EXERCÍCIO 13-2 (PARA ENTREGA)



Em uma mina subterrânea é lavrada uma camada de minério com espessura de 6 m, localizada a 190 m de profundidade, utilizando o método de "Câmaras e Pilares". Considerar a largura das câmaras de 8 m e o peso específico da rocha de 0,023 MN/m³.

A Resistência à Compressão Uniaxial (σ_c) da rocha determinada a partir de ensaios realizados em laboratório é igual a 160 MPa e o fator de redução da resistência da rocha intacta para o maciço rochoso (Fator de Escala) é de 4.

O Fator de Forma sobre a Resistência à Compressão Uniaxial é dado por:

$$\sigma_p = \sigma_c \left(0,778 + 0,222 \frac{L}{H} \right)$$

Determinar as dimensões mínimas dos pilares de seção quadrada de forma a garantir um Fator de Segurança de 2,5. Determinar, também, a recuperação de minério obtida.



OBRIGADO!

Contato:
Prof. Eduardo César Sansone
esansone@usp.br
