



Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM
Processo Seletivo de Mestrado 2019.2



PROCESSO SELETIVO DE MESTRADO 2019.2
PROVA DE CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS – 27/06/2019

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
LAVRA DE MINAS

CHAVE DE RESPOSTAS

Instruções aos candidatos:

- 1) O candidato que assinar a prova ou se identificar de qualquer forma diferente ao número de inscrição será desclassificado;
- 2) Preencher o número de inscrição em todas as folhas;
- 3) As questões devem ser respondidas no espaço reservado a elas;
- 4) Questões respondidas fora dos locais indicados serão desconsideradas;
- 5) Utilizar caneta azul ou preta.

QUESTÃO 01

A Figura 1 mostra quatro ensaios de cisalhamento numa superfície de descontinuidade de foliação em xisto, a diferentes níveis de tensão normal indicados na figura: 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa e 400 kPa. A superfície apresenta material de preenchimento contendo quartzo.

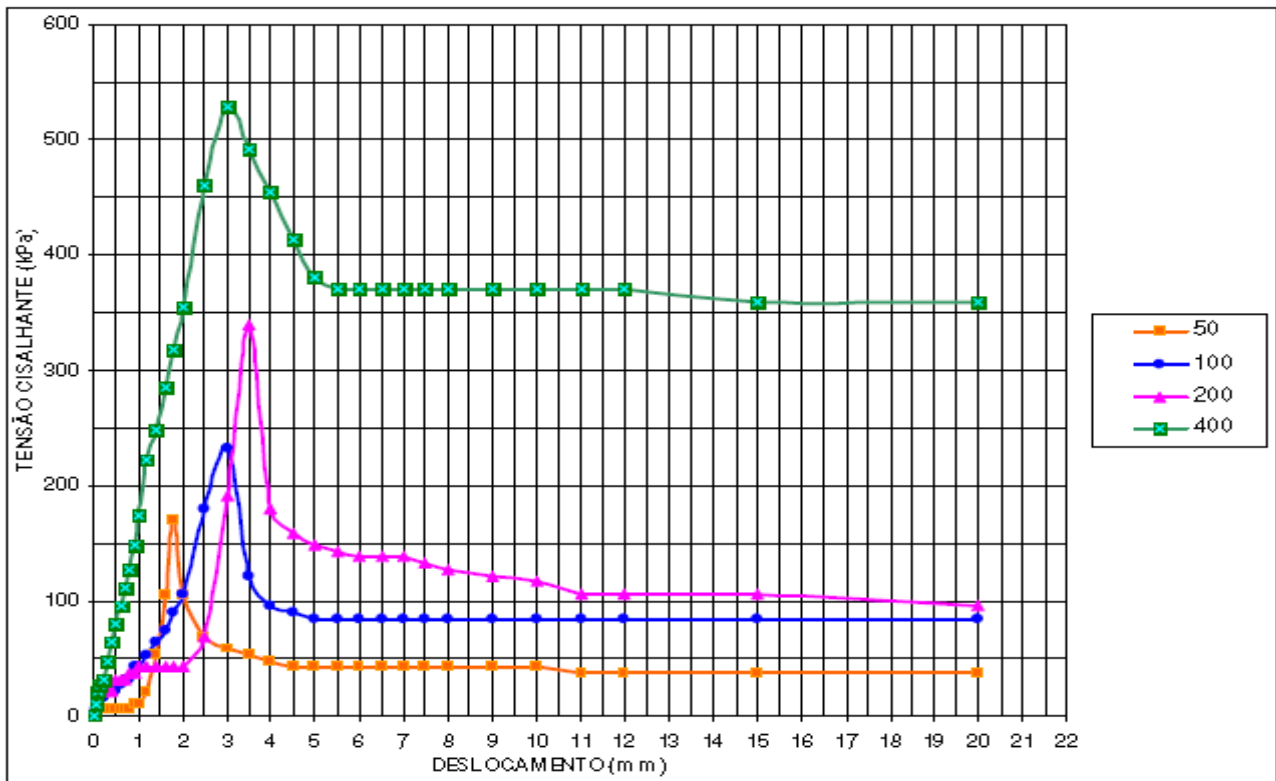


Figura 1: Ensaios de cisalhamento em descontinuidade de foliação, xisto.

Com relação à Figura 1, responda:

a) Explique o comportamento tensão-deformação da descontinuidade nos ensaios, com base em seus conhecimentos e nas curvas apresentadas na Figura 1, descrevendo sucintamente os fenômenos observados antes e após a ruptura dos corpos de prova.

Na Figura 2 é mostrada a resistência ao cisalhamento da descontinuidade de foliação, cuja equação obtida por regressão linear é dada pela Equação (1) e indicada na Figura 2.

$$y = 1,0157x + 126,97 \text{ em kPa} \quad (1)$$

QUESTÃO 01 - CONTINUAÇÃO

Com relação à Figura 2, responda:

- b) Especificar o ângulo de atrito e a coesão da descontinuidade.
- c) Dizer se a resistência ao cisalhamento apresentada na Figura 2 refere-se à resistência de pico ou residual. Justifique sua resposta.

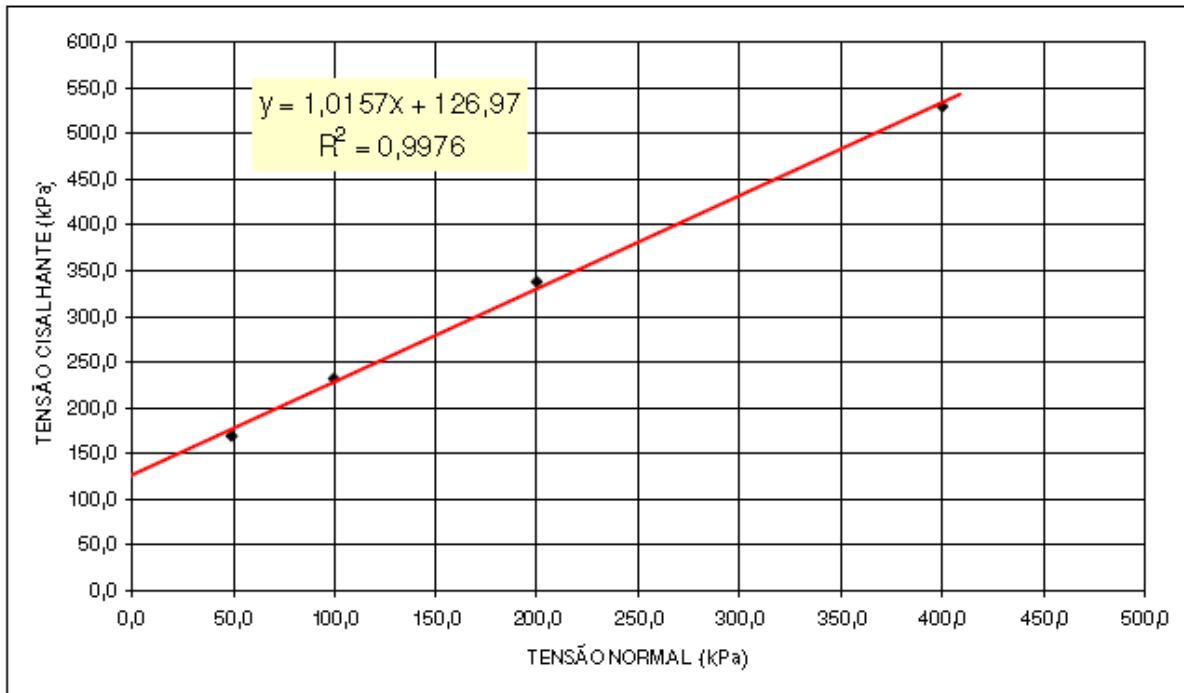


Figura 2: Critério de resistência ao cisalhamento da descontinuidade de foliação.

- a) A Figura 1 ilustra um comportamento típico tensão-deformação de uma descontinuidade plana preenchida num ensaio de cisalhamento. Para pequenos deslocamentos antes da ruptura, os corpos de prova apresentam comportamento elástico; as curvas tensão-deformação são aproximadamente lineares. A resistência ao cisalhamento de pico corresponde ao valor máximo da tensão de cisalhamento no teste. Após este valor a tensão requerida para causar posteriores deslocamentos cai rapidamente até atingir um valor constante denominado resistência ao cisalhamento residual.
- b) O ângulo de atrito da descontinuidade é igual ao arco tangente de 1,0157, inclinação da reta na Figura 2, aproximadamente $45,5^\circ$. A coesão é o termo independente, igual a 126,97 kPa.
- c) A resistência ao cisalhamento na Figura 2 é a resistência ao cisalhamento de pico, pois os pontos máximos de tensão de cisalhamento em cada ensaio foram plotados. Além disso, a coesão é um valor diferente de zero, o que reforça que a resistência ao cisalhamento na Figura 2 representa o valor de pico.

QUESTÃO 02

Um aluno de iniciação científica deve realizar o procedimento da krigagem simples em um banco de dados pré-estabelecido em um local estimado. Para isso, o banco de dados foi fornecido para o aluno. De posse desses dados o aluno deve calcular a estimativa e a variância de krigagem. Considere que a média m é conhecida e igual a 110 com a função de covariância definida como $c(h) = 2000 \exp\left(\frac{-h}{250}\right)$.

ID	X	Y	Valor
1	10	20	40
2	30	280	130
3	250	130	90
4	360	120	160
X_0	180	120	?

- a) Determine as distâncias euclidianas entre os pontos e o ponto a ser estimado.

Utilizando a distância euclidiana entre os pontos temos a matriz de distância entre os pontos amostrados.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 260,8 & 0 & 0 & 0 \\ 264,0 & 266,3 & 0 & 0 \\ 364,0 & 366,7 & 110,4 & 0 \end{bmatrix}$$

Utilizando a distância euclidiana entre os pontos temos a matriz de distância entre o ponto a ser estimado.

$$\begin{bmatrix} 197,2 \\ 219,3 \\ 70,7 \\ 180,0 \end{bmatrix}$$

- b) Determine os pesos associados a cada estimador.

Utilizando as distâncias e sendo conhecida a covariância da variável regionalizada, a matriz de covariância pode ser obtida. Desse modo calculado os pesos associados aos estimadores.

$$\begin{bmatrix} 2000 & & & \\ 704,8 & 2000 & & \\ 695,6 & 698,4 & 2000 & \\ 466,4 & 461,2 & 1285,8 & 2000 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 908,7 \\ 831,8 \\ 1507,2 \\ 973,6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,185 \\ 0,128 \\ 0,646 \\ -0,001 \end{bmatrix}$$

c) Determine o valor no ponto X_0 .

O ponto X_0 pode ser determinado:

$$Z_{KS}^*(180,120) = 100 + \begin{bmatrix} 40 - 110 \\ 130 - 110 \\ 90 - 110 \\ 160 - 110 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0,185 \\ 0,128 \\ 0,646 \\ -0,001 \end{bmatrix} = 76,7$$

d) Determine a variância da estimativa.

Variância da Estimativa:

$$\sigma_{KS}^2 = 2000 - \begin{bmatrix} 908,6 \\ 831,8 \\ 1507,2 \\ 973,6 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0,185 \\ 0,128 \\ 0,646 \\ -0,001 \end{bmatrix} = 752,9$$

QUESTÃO 03

Uma equipe de Planejamento de Lavra recebeu o ângulo geral de talude de 50° da equipe de Mecânica de Rochas. A Figura 3 é uma representação de perfil da cava no período analisado com 5 níveis de operação. Considere o ângulo de face de 75° , praça de operação possui 30 metros de largura, altura de bancada de 15 metros, largura de berma de 10 metros.

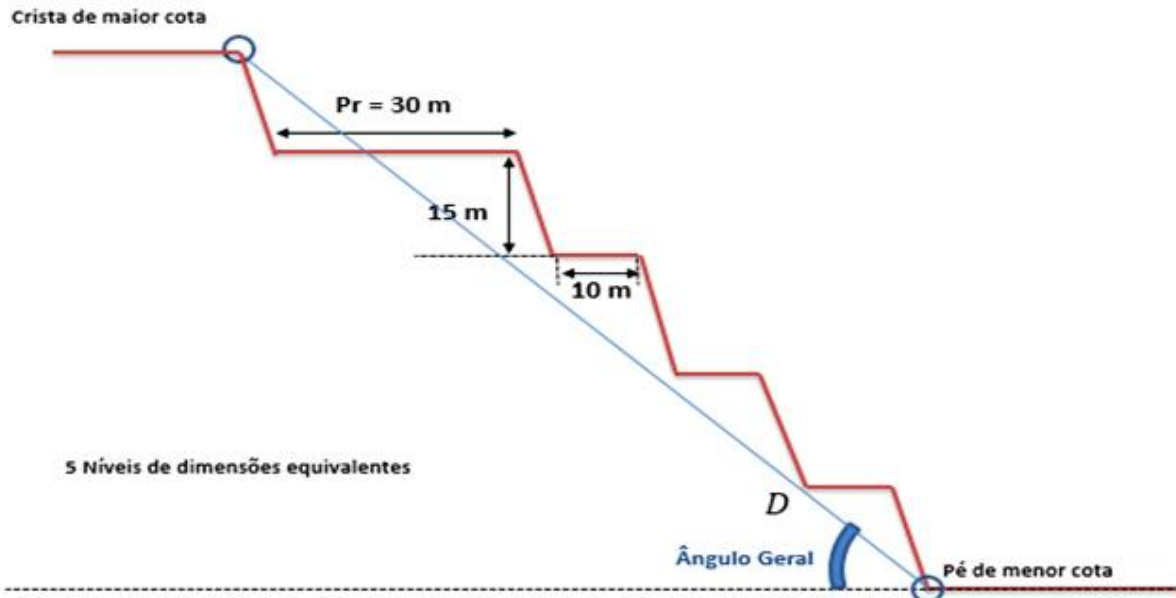


Figura 3 – Perfil da cava

a) Determine se o ângulo geral de talude atende as especificações da equipe de geotécnica.

O ângulo geral determinado é menor do que o determinado pela geotecnia, deste modo não ocorre prejuízo quanto a segurança da operação de lavra.

$$\beta = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{5 A_b}{3 L_b + 5 D + Pr} \right] = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{5 \times 15}{3 \times 10 + 5 \times \frac{15}{\text{Tan } 75} + 30} \right] = 43,11^\circ$$

b) Qual o impacto na seletividade de lavra e diluição caso fosse adotado o ângulo de 50° adotado pela equipe de geotécnica?

A proposta sugerida pela geotecnia resulta em ângulos de taludes mais íngremes que resultam em maior seletividade de lavra. Contribuindo para a diminuição da diluição na operação de lavra.

c) Determine os possíveis impactos do aumento da largura da praça de serviços no ângulo geral de talude.

O aumento da largura da praça de serviços considerando a equação presente na resposta da questão (A) aumenta o produto do numerador da razão levando a diminuição do ângulo geral de talude.

QUESTÃO 04

O método de lavra subterrânea *shrinkage* é também chamado de armazenamento temporário. A designação "armazenamento" decorre da prática de conservar-se, dentro do realce, durante o período de desmonte de todo minério de um bloco, um volume de minério desmontado igual ao volume *in situ*, removendo-se apenas a porção correspondente ao empolamento. O minério desmontado serve como piso para perfuração e desmonte com explosivos, e como suporte das encaixantes até que seja drenado do realce. Considerando uma operação com as seguintes características:

Extensão: 60 metros

Empolamento: 36%

Número de painéis: 5

Largura: 4 metros

Densidade: 3,20 t/m³

Avanço: 1 corte/semana

Altura de extração: 3,5 metros

a) Calcule a produção diária inicial (durante as operações de perfuração e desmonte dos painéis).

$$\text{Volume} = \text{Extensão} \times \text{Largura} \times \text{Altura de Extração} = 60 \times 4 \times 3,5 = 840 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume Empolado} = \text{Volume} \times \text{Empolamento} = 840 \text{ m}^3 \times 0,36 = 302,4 \text{ m}^3$$

- A produção nesse método é dada pelo volume empolado.

$$\text{Produção} = \text{Volume Empolado} \times \text{Densidade} \times \text{N}^\circ \text{ Painéis} = 302,4 \text{ m}^3 \times 3,20 \text{ t/m}^3 \times 5 = 4838,4 \text{ t}$$

Como o avanço semanal é de 1 corte, portanto a produção semanal será de 4838,4 t.

Considerando 5 dias de trabalho por semana:

$$\text{Produção Diária} = 4838,4 \text{ t/semana} \times 1 \text{ semana}/5 \text{ dias} = 967,68 \text{ t/dia}$$

b) Calcule a altura mínima de trabalho do realce.

A altura mínima do realce deve permitir o empolamento gerado pelo material e possibilitar o trabalhador operar o realce.

$$H_{\text{min}} = \text{Altura de Extração} \times \text{Empolamento} = 3,5 \times 0,36 = 1,26 \text{ metros.}$$

Considerando que um trabalhador padrão possui uma altura superior a 1,26 metros é recomendável utilizar a altura média do trabalhador da região da operação. Para este trabalho iremos considerar um trabalhador padrão de 1,8 metros.

QUESTÃO 05

Otimização de custos de desenvolvimento em uma mina subterrânea

Uma empresa de mineração está planejando extrair minério (digamos, ouro) de um corpo de minério subterrâneo profundo. O tamanho, a posição e o volume aproximado de minério no corpo são conhecidos a partir de levantamentos geológicos. A jazida será lavrada via quatro pontos de acesso na base do corpo. As posições desses pontos de acesso foram determinadas e estão todos a 300 m abaixo da superfície. A extração do minério será por um sistema de galerias e um poço vertical. Solicita-se projetar a rede de galerias conectando os quatro pontos de acesso à base do poço, de modo a minimizar os custos de desenvolvimento e construção dos acessos (galerias e poço).

PARTE 1:

No primeiro caso, o(a)s engenheiro(a)s de minas optaram abrir o poço até profundidade dos pontos de acesso. Isso significa que as galerias serão todas horizontais. Solicita-se otimizar os custos de desenvolvimento e construção das galerias. Para esta parte do problema, o custo do poço pode ser tratado como uma quantidade fixa e, portanto, não precisa ser considerado. Um custo fixo de US \$ 2.000/m para a construção das galerias é adotado. Não há custo adicional para junções, suportes etc. Proponha um sistema de galerias ligando o corpo de minério ao poço para que os custos de construção sejam mínimos.

PARTE 2:

Observa-se, entretanto, que a base do poço não precisa ser tão profunda quanto os pontos de acesso. Embora a posição da parte superior do poço seja fixa, pode-se economizar mais, minimizando os custos de construção do poço. O custo de construção do poço é cerca de US\$ 10.000/m. O gradiente máximo para a rampa não deve ser superior a 12,5% ou 1 (vertical): 8 (horizontal). Economias adicionais podem ser feitas sobre a solução para a parte (1) escolhendo uma posição diferente para a base (fundo) do poço? Como você projetaria uma rede composta de galerias e um poço para que os custos totais de construção sejam mínimos?

O corpo, os pontos de acesso ao corpo e a base do poço são mostrados na vista de planta na Figura 4. O problema tem duas partes:

1. Suponha que os pontos de acesso e a base do poço estejam todos na mesma profundidade. Uma rede de galerias deve ser construída conectando os pontos de acesso à base do poço. Projete uma rede de galerias para que os custos de construção sejam mínimos?
2. Suponha que a base do poço não necessita estar na mesma profundidade dos pontos de acesso ao corpo. Dado que a inclinação máxima permitida de qualquer

acionamento é de 1/8, economias adicionais podem ser obtidas alterando a profundidade do poço? Como você projetaria a rede de poço e galerias para que os custos de construção sejam mínimos?

Locais e Custos

As coordenadas (x, y, z) em metros dos pontos de acesso e a parte superior do eixo são:

Pontos de Acessos A1 (4, 22, 300)

A2 (45, 52, 300)

A3 (92, 117, 300)

A4 (138, 75, 300)

Topo do poço: TP (98,6,0)

O custo de abertura das galerias é de US \$ 2.000 por m. Custo de construção do poço é de US\$10.000 por m. Para a parte (1) a posição da base do poço é Base do Eixo SB (98, 6, 300). Para a parte (2) a posição da base do poço é (98, 6, k), onde k fica entre 0 e 300.

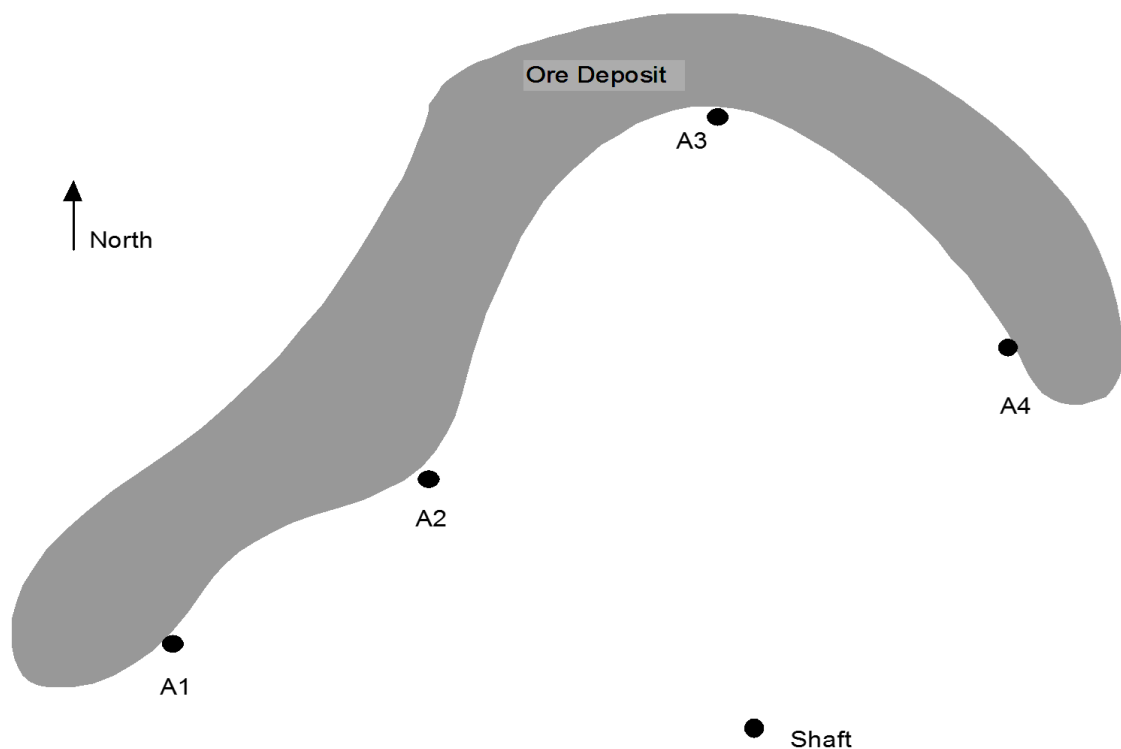
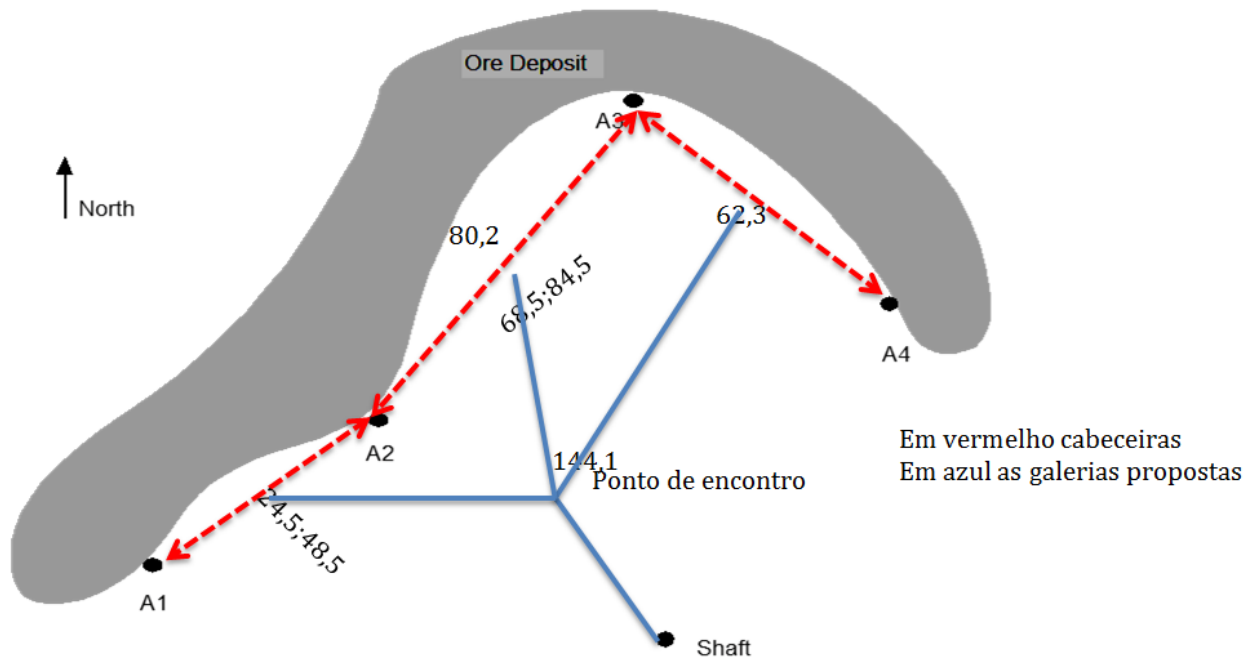


Figura 4 – Vista de planta

QUESTÃO 05

SOLUÇÃO PARTE 1



Uma solução proposta para primeira questão deve seguir a figura em linhas cheias mostrada na figura. Pode-se ter várias soluções que devem ser calculadas pela fórmula:

$$d = \sqrt{(x1 - x2)^2 + ((y1 - y2)^2 + (z1 - z2)^2)}$$

Para se calcular a menor distância deve-se avaliar propostas de galerias e escolher o sistema que dará a menor extensão.

SOLUÇÃO PARTE 2

A questão colocada refere a redução de custo de desenvolvimento pela redução da profundidade do poço e abertura de uma rampa até o ponto de encontro com as galerias que acessam os blocos de lavra assim escolhido.

Tem: Poço (98,6,K). Pede-se o K

Para tal usa-se o gradiente máximo permitido pela rampa que é de 12,5%. Calcule a distância do ponto de encontro à base do poço (98,6,300). A distância do ponto de encontro é dada pela equação:

$$d = \sqrt{(xpo - 98)^2 + ((ypo - 6)^2 + (z1 - 300)^2)}$$

onde xpo, ypo, zpo são as coordenadas do ponto de encontro. (Continuação na próxima página)



D=Distância do ponto de encontro das galerias à base do poço

$$K/D = 0,125$$