

PMI-3328

Introdução ao Meio Ambiente e Sustentabilidade na Mineração

Tema 3

Impactos da mineração sobre a hidrosfera –

Parte B Drenagem de minas a céu aberto

Luis E. Sánchez

2023

Conteúdo

1. Sistemas de drenagem de águas pluviais em minas a céu aberto

2. Elementos de projetos conceituais de drenagem de minas

3. Vazões de projeto

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

2

Por que é necessário planejar a drenagem de uma mina?

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

poli.usp

L. E. Sánchez

Relembrando: Impactos da mineração na hidrosfera

Todas as instalações de uma mina ocupam **áreas expostas às chuvas**, propiciando o contato das águas com o minério, estéréis, rejeitos e solo exposto, potencializando

1. **processos do meio físico** (e.g. erosão) e

2. **processos químicos** (e.g. oxidação de sulfetos)

Ademais:

3. Mineração consome água

4. Mineração pode afetar **circulação de águas subterrâneas** (ex. nascentes e poços)

5. Mineração pode **poluir** as águas

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

4

Interações entre águas pluviais e áreas de mineração

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

poli.usp

L. E. Sánchez

Exemplos

► Erosão intensificada em superfícies expostas

► Transporte e lançamento de sedimentos em cursos d'água

► Riscos de movimentos de massas (ex. instabilização de taludes de pilhas de estéril)

► Risco de acidificação das águas

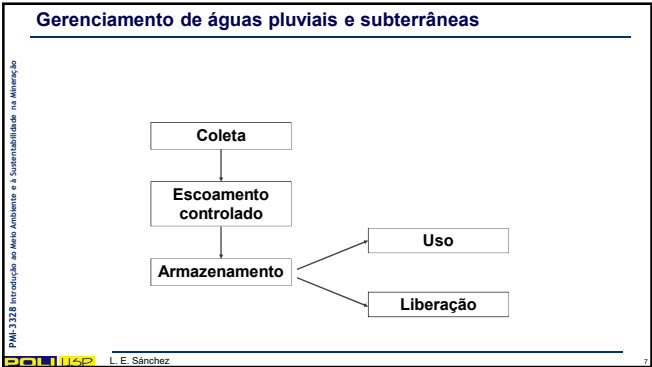
A mina na microbacia hidrográfica

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

poli.usp

L. E. Sánchez

Fonte: Mário Ciconelli Pinheiro (2020). Apresentação "Drenagem de Águas Pluviais em Projetos de Mineração" para a disciplina PMI-3328.



Sistemas de drenagem de minas a céu aberto

Composto por dispositivos de coleta, e escoamento (e armazenamento) de água de escoamento superficial

- Canais periféricos
- Canaletas
- Descidas de água
- Caixas de passagem
- Bacias de dissipação de energia
- Bacias de retenção

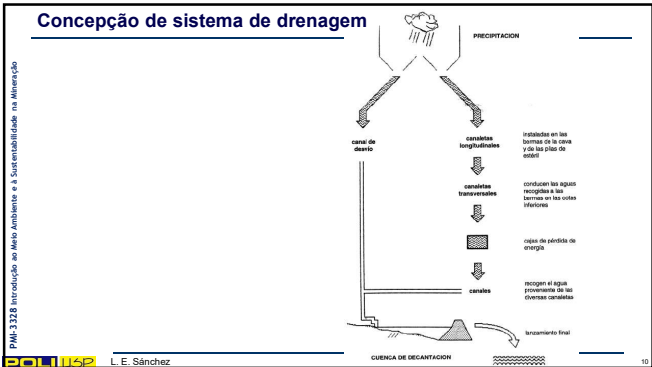
Diferentemente de obras civis (rodovias, ferrovias, pátios, urbanizações), muitas estruturas de drenagem em minas não são definitivas

Construídas em terrenos sem suporte para fundação das estruturas, necessidade de manutenção permanente

Distinção entre estruturas temporárias e as que permanecerão após o fechamento da mina

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e à Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez



Canais periféricos de drenagem

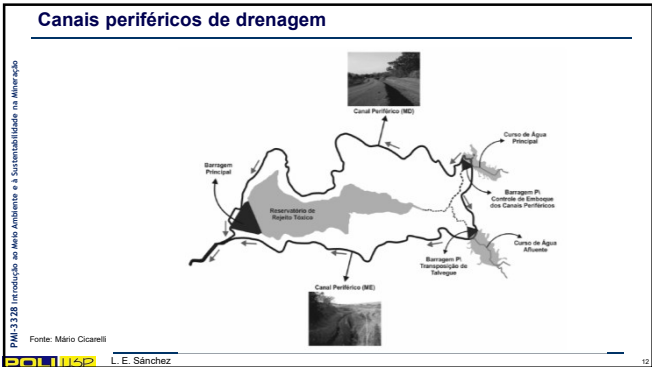
São constituídos pelas obras de desvio de fluxos de reservatórios formados por barragens de contenção de rejeitos, nos quais o material depositado apresenta propriedades químicas que impedem o lançamento na rede de drenagem natural.

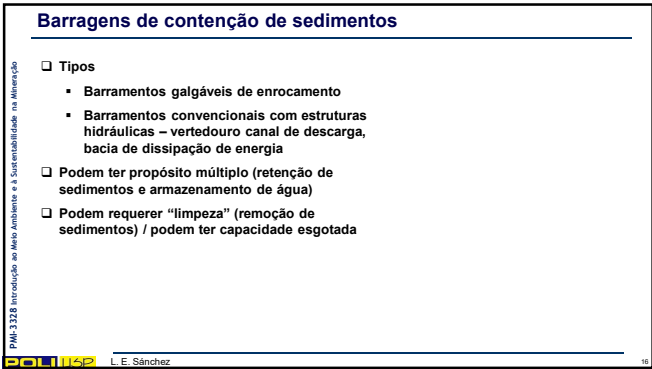
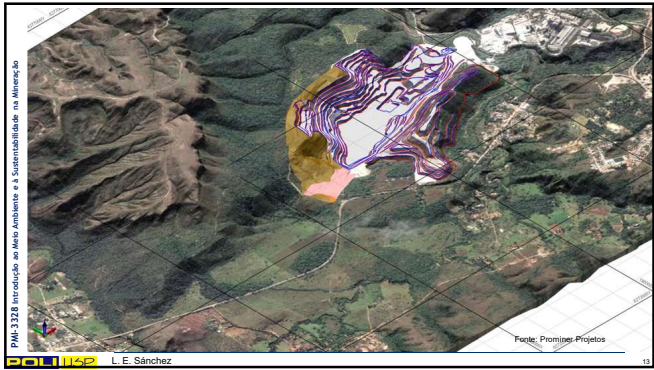
Estruturas componentes: canais escavados a meia encosta (revestidos ou em terreno natural), diques de desvio de fluxos, bueiros de travessias e descidas de água.

Características especiais condicionadoras de critérios: cruzamento de talvegues, terrenos com alta permeabilidade, compatibilidade de traçado com os limites dos depósitos de rejeitos.

Fonte: Mário Cicarelli

L. E. Sánchez





PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Barragem de água e de retenção de sedimentos



pilha de estéril

Foto: L.E. Sánchez

PMI-3328

L. E. Sánchez

19

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Projeto de drenagem

1. Projeto conceitual

2. Projeto básico

3. Projeto executivo

Atualização conforme avanço da mina ou mudança do plano de lavra

PMI-3328

L. E. Sánchez

20

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Projeto de drenagem

1. Projeto conceitual

- Baseado no Plano Diretor da mina.
- Projeto elaborado sobre planta topográfica detalhada e hidrografia regional e local.
- Evolução em cenários de acordo com as previsões de avanço das frentes de lavra
- Os estudos hidrológicos são definitivos nesta etapa do projeto.
- As estruturas hidráulicas são representadas por detalhes típicos, com dimensionamentos preliminares e ainda sem o dimensionamento final.

PMI-3328

L. E. Sánchez

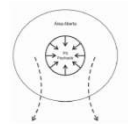
21

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Projeto conceitual de drenagem

- Obtenção da planta dos terrapienios, com taludes e cortes, larguras e declividades das bermas;
- Inserção da planta na rede hidrográfica natural, por sobreposição com a cartografia disponível;
- Identificação de todos os pontos de entradas concentradas e difusas de água superficial de origem externa, gerada na bacia hidrográfica, bem como os pontos de lançamento na rede de drenagem natural;
- Identificação dos caminhos preferenciais do escoamento das águas pluviais, através (i) dos talvegues naturais, (ii) das linhas de maior declividade dos taludes de cortes e aterros e (iii) das laterais das bermas e bancadas em geral;
- Lançamento, de forma esquemática, das estruturas recomendadas para cada trecho (canaletas, descidas, bacias de dissipação, caixas de passagem, bacias de detenção e de contenção de sedimentos), adotando-se uma convenção de traço para cada tipo de estrutura;
- Identificação das áreas que podem ser drenadas por gravidade, conforme o esquema mostrado na figura ao lado.



Fonte: Mário Cicarelli

PMI-3328

L. E. Sánchez

22

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Projeto conceitual de drenagem

- Identificação das áreas de contribuição que deverão ser drenadas para o interior das cavas das minas, nos casos de projetos em lavras;
- Identificação das seções de referência para o cálculo das vazões de projeto, geralmente nas caixas de passagem, compondo diagramas unifilares das redes de fluxo;
- Delimitação das áreas de contribuição em cada seção de referência;
- Cálculo das vazões de projeto, segundo critérios de acompanhamento do diagrama unifilar;
- Dimensionamento preliminar das estruturas, considerando escoamento uniforme e as respectivas equações de controle hidráulico;
- Identificação de possíveis impactos na morfologia natural dos cursos de água nos pontos de lançamento;
- Elaboração da planta do Projeto Conceitual de Drenagem, com detalhes típicos das estruturas componentes e quantitativos preliminares.

Fonte: Mário Cicarelli

PMI-3328

L. E. Sánchez

23

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Vazões de projeto

- Lançar em planta topográfica o arranjo geral de cada etapa do Plano Diretor, abrangendo o avanço das frentes de lavra e os projetos conceituais das pilhas de estéril;
- Avaliar os sentidos dos fluxos de escoamento superficial das áreas de cavas e pilhas em relação à rede hidrográfica natural;
- Desenhar o Projeto Conceitual de Drenagem: lançamento das principais estruturas componentes e definição dos pontos de lançamento na rede hidrográfica natural;
- Sobre a planta do Projeto Conceitual, definir as principais seções de controle para cálculo das vazões de projeto: pontos de mudança de direção de fluxo, pontos de deságues de bancadas superiores, interceptação de talvegues naturais;
- Delimitar as bacias de contribuição nas seções de controle;
- Desenhar o diagrama unifilar do Projeto Conceitual, acoplado às áreas das bacias de contribuição;
- Calcular as vazões de projeto em cada seção de controle.

Fonte: Mário Cicarelli

PMI-3328

L. E. Sánchez

24

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

Vazões de projeto

Chuva:

- Altura (mm)
- Duração (min)
- Intensidade i (mm/hora)
- Período de recorrência (anos)

Vazão:

- $Q = C.i.A$

onde:

- C – coeficiente de escoamento superficial
- A – área de drenagem

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

L. E. Sánchez

25

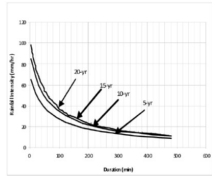
PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

Vazões de projeto

Chuva:

- Altura (mm)
- Duração (min)
- Intensidade i = altura/duração (mm/hora)
- Período de recorrência (anos)



PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

L. E. Sánchez

26

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

Vazões de projeto

Vazão:

- $Q = C.i.A$

onde:

- C – coeficiente de escoamento superficial
- i – intensidade pluviométrica
- A – área de drenagem

Tipo de cobertura del suelo	Textura del suelo e inclinación de la vertiente (en porcentaje)					
	Arenosa		Limosa		Arcillosa	
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30
Bosque	0,10	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50
Pasto	0,10	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50
Superficie expuesta / cultivada	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,70
						0,80

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

L. E. Sánchez

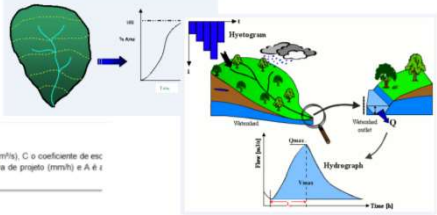
27

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

Tempo de concentração

- Conceito: tempo de percurso da água ao longo dos terrenos e talvegue principal da bacia.
- Calculado por fórmulas empíricas ou pelo método cinemático



Fonte: Mario Cicarelli

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

L. E. Sánchez

28

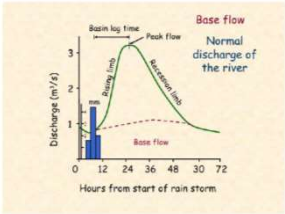
PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

Tempo de concentração

- MÉTODOS EMPÍRICOS: curvas envoltórias.
- MÉTODOS DIRETOS: baseados na análise estatística de frequência dos máximos anuais de vazões de cheias.
- MÉTODOS INDIRETOS: baseados em transformações **chuva → vazão**.

Todos os métodos apresentam incertezas.



Fonte: Mario Cicarelli

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

L. E. Sánchez

29

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

Dimensões do sistema de drenagem

- Canaletas:
- Área de seção transversal do canal de drenagem
- Reservatórios
- Capacidade (volume) do reservatório
- Tempo de retenção
- Vazão efluente

$Q = V.A$

Onde:

- V = velocidade de fluxo (m/s)
- A = área da seção transversal (m²)

V calculada pela fórmula de Manning

$V = (1,49/n).R^{2/3}.S^{1/2}$

Onde:

- V = velocidade de fluxo (m/s)
- n = coeficiente de rugosidade do canal (adim.)
- R = raio hidráulico (m) = área da seção transversal/perímetro molhado
- S = gradiente da seção longitudinal do canal (%)

Tipo de fondo	Vel. indicativa (m/s)	Indicativa (%)
Árcillo-arenoso	0,75	0,5
Árcillo-arenoso	0,90	1,0
Árcilloso	1,20	2,0
Mezcla de arcillo y pedregoso	1,50	2,5
Roca	2,40	4,0

Fonte: Lyle (1987)

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Pol USP

L. E. Sánchez

30

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Objetivos de aprendizagem

- ❑ Conhecer as duas principais formas de interferência da mineração nos recursos hídricos: consumo e poluição da água
- ❑ Compreender os fundamentos da preparação do balanço hídrico de uma mina
- ❑ Conhecer os principais poluentes das águas na mineração e as medidas de controle mais comuns

 L. E. Sánchez

31