Sánchez, L.E. *Notas de Aula. PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e Sustentabilidade na Mineração.* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2023.

PMI-3328
Introdução ao Meio Ambiente e Sustentabilidade na Mineração

Tema 3
Impactos da mineração sobre a hidrosfera – Parte A

Luis E. Sánchez

2023

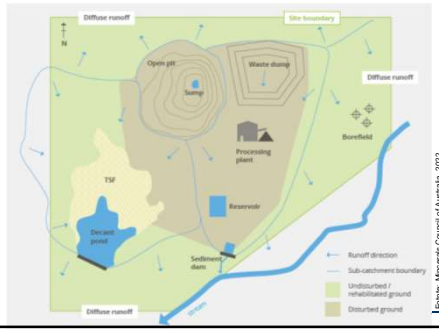
Conteúdo

1. Principais impactos da mineração na hidrosfera
2. Consumo de água e pegada hídrica na mineração
3. Poluição das águas e principais poluentes

Mineração x hidrosfera: quais interações?

foto: P.S.M. Ribeiro

Mineração x hidrosfera: quais interações?



Fonte: Minerals Council of Australia, 2022

Interações da mineração com a hidrosfera

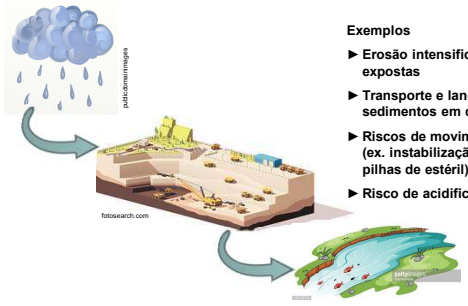
Todas as instalações de uma mina ocupam **áreas expostas às chuvas**, propiciando o contato das águas com o minério, estéreis, rejeitos e solo exposto, potencializando

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

Interações entre águas pluviais e áreas de mineração



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

Sánchez, L.E. *Notas de Aula. PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e Sustentabilidade na Mineração.* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2023.

Impactos da mineração na hidrosfera (1)

A mineração *consome* água em vários processos
Quais são os principais usos da água em uma mina?

Captação de água superficial em uma mina de bauxita

Foto: L.E. Sánchez

- Tratamento de minério
- Abatimento de emissões de poeira
- Lavagem de equipamentos
- Limpeza em geral
- Consumo humano

Balanço hídrico de uma mina

Estratégias de gerenciamento de água

- Redução do consumo e reúso (recirculação) da água
  - importante em regiões áridas
  - reduz captações e descargas em corpos receptores
- Evaporação
  - pode ser utilizada em regiões de déficit hídrico para eliminar ou reduzir lançamentos de efluentes
- Recirculação e reutilização
- Tratamento de efluentes e lançamento em corpos receptores

Estratégias de gerenciamento de água

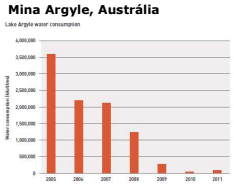
- Recirculação a partir de barragem de rejeitos

Fotos: L.;E. Sánchez

Exemplo de redução de consumo

- Recirculação e reutilização

Mina Argyle, Austrália



fonte: ICMM. *Water Management in Mining*: a selection of case studies. Londres: ICMM, 2012.

- Mina a céu aberto de diamante
- Água captada em barragens e em um lago de importância para conservação da biodiversidade (Ramsar)
- Plano para reduzir captação no lago
  - ✓reciclagem de 40% da água consumida na usina
  - ✓captação e uso de água percolada na barragem
  - ✓uso de água da cava

Pegada hídrica

- Volume de água utilizado na produção medido ao longo de toda a cadeia produtiva
  - ➔ consumo direto e indireto
  - ➔ consumo de água por fonte e poluentes emitidos
  - ➢ **Pegada azul**: consumo de água nova, superficial ou subterrânea
  - ➢ **Pegada verde**: consumo de água de chuva
  - ➢ **Pegada cinza**: volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes

Sánchez, L.E. *Notas de Aula. PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e Sustentabilidade na Mineração.* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2023.

ISO 14046: 2017

- Uma forma de avaliação de ciclo de vida de produto

→ Inventário de pegada hídrica
→ Avaliação do impacto da pegada hídrica

Escassez hídrica
Alteração da qualidade

NORMA BRASILEIRA
ABNT NBR ISO 14046

Gestão ambiental — Pegada hídrica — Princípios, requisitos e diretrizes

Consumo específico

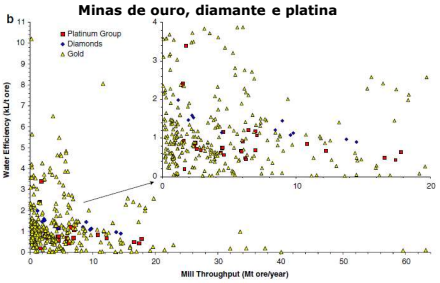
Volume de água por tonelada de minério/metal:
grande dispersão (alto desvio padrão)

Mineral/metal	Total number of years of data	v_ore throughput (e.g. kL/t ore)		v_ore grade (e.g. kL/t metal)	
		Average	SD	Average	SD
Bauxite (kL/t bauxite)	17	1.09	0.44	–	–
Black coal (kL/t coal)	18	0.30	0.26	–	–
Copper (kL/t ore; kL/t Cu)	48	1.27	1.03	172	154
Copper–gold (kL/t ore; kL/t Cu)	42	1.22	0.49	116	114
Diamonds (kL/t ore; kL/carat)	11	1.32	0.32	0.477	0.170
Gold (kL/t ore; kL/kg Au)[a]	311[a]	1.96[a]	5.03[a]	716[a]	1,417[a]
Zinc ± lead ± silver ± copper ± gold (kL/t ore; kL/t Zn ± Pb ± Cu)	28	2.67	2.81	29.2	28.1
Nickel (sulfide) (kL/t ore; kL/t Ni)	33	1.01	0.26	107	87
Platinum group (kL/t ore; kL/kg PGM)	30	0.94	0.66	260	162
Uranium (kL/t ore; kL/t U_3O_8)	24	1.36	2.47	505	387

Fonte: Mudd, G.M. Sustainability reporting and water resources: a preliminary assessment of embodied water and sustainable mining. *Mine Water Environment 27*: 136-144, 2008.

Consumo específico

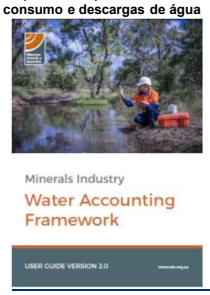
Minas de ouro, diamante e platina



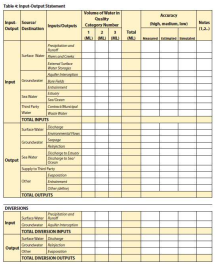
Fonte: Mudd, G.M. Sustainability reporting and water resources: a preliminary assessment of embodied water and sustainable mining. *Mine Water Environment 27*: 136-144, 2008.

Monitoramento e informação

É importante para as empresas monitorar e informar sobre captação, consumo e descargas de água



Minerals Industry
Water Accounting Framework
USER GUIDE VERSION 2.0



Padronização para informação pública

Categorias de análise

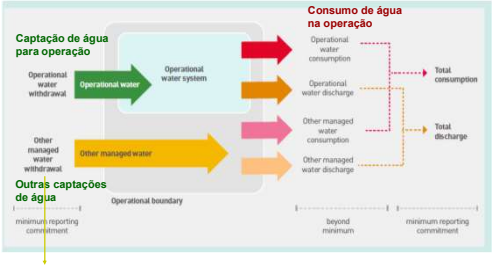
Captação: água consumida no sistema operacional da mina

Outras captações: água "ativamente manejada" (ex. bombeada, tratada) sem intenção de consumo no sistema operacional da mina

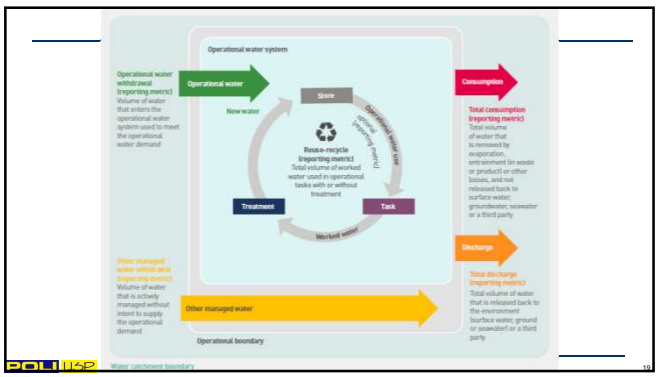
Liberação: água descartada no ambiente ou para uma terceira parte

Consumo total: água evaporada, contida no produto ou resíduos ou outras perdas, não liberada para o ambiente

Padronização para informação pública



"água ativamente gerenciada, ex. bombeada, tratada, sem intenção de suprir a demanda de água operacional"



Modelo para preparação de balanço

Captação (por fonte)	Quantidade (ML)
Água superficial	
Água subterrânea	
Água do mar	
Água fornecida por terceiros	

Descargas (por tipo)	Quantidade (ML)
Água superficial	
Água subterrânea	
Água do mar	
Fornecida para terceiros	

- Descargas de efluentes
- Garantia de vazão mínima (*environmental flow*)
- Infiltração
- Injeção no aquífero

Consumo líquido	Quantidade (ML)
Evaporação	
Água contida	
Outras perdas	

Requisitos legais para captação de água no Brasil

Outorga

➔ **Lei de Política Nacional de Recursos Hídricos (9433/97)**

- **Ato administrativo que faculta o direito de uso de recursos hídricos, por prazo determinado**
- **Necessária para**
  - **derivação ou captação de água superficial**
  - **extração de água subterrânea**
  - **lançamento de efluentes**
  - **aproveitamento hidrelétrico**
- **Competência**
  - **União: rios federais - ANA**
  - **Estados: rios estaduais – DAEE, IGAM etc**

Captação de água para uma mina em um rio

Foto: L.E. Sánchez

Para outorga considera-se um percentual da vazão mínima ($Q_{7,10}$)

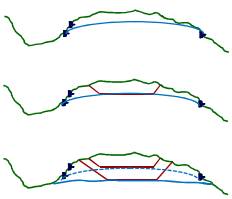
Mineração e águas subterrâneas (2)

Mineração da Vale seca 6 nascentes e compromete outras 8 em Tapira (MG)

De outubro 2015 à junho de 2016, foi elaborado um Diagnóstico Socioambiental e de Disponibilidade Hídrica, da área de influência das operações da Vale Fertilizantes S/A,no município de Tapira (MG). Técnicos contratados pela Prefeitura local visitaram produtores rurais visando o detalhamento da situação hídrica nas propriedades. Foram Inventariadas as nascentes presentes nas áreas, bem como avaliadas suas condições de conservação, alterindo-se suas coordenadas geográficas e altitude com o aparelho de GPS. Demarcaram as nascentes que apresentavam surgências de água e também os antigos pontos de surgência relatados.

A partir dos dados coletados em campo, constatou-se 14 nascentes comprometidas, sendo que seis delas secaram totalmente.

fonte: http://www.falachico.org/2016/08/mineracao-da-vale-seca-6-nascentes-e_6.html



Impactos da mineração sobre qualidade das águas (3)

A mineração pode *poluir* a água mediante (1) lançamento de efluentes, (2) de águas pluviais, (3) de águas de drenagem de mina ou (4) vazamentos provenientes de:

- **drenagem de cavas e de minas subterrâneas**
- **pilhas de estéreis**
- **vias de circulação**
- **pátios de estocagem de minério**
- **áreas de embarque e carregamento**
- **usinas de beneficiamento**
- **bacias de rejeitos**
- **oficinas mecânicas**
- **áreas de apoio operacional (refeitórios etc.)**
- **canteiros de obras**
- **áreas de estocagem de combustíveis e lubrificantes, reagentes e demais insumos**

Qualidade das águas de superfície: Legislação

- ***Classificação*** **dos corpos d'água segundo seus usos preponderantes em nove classes (Res. Conama 357/05)**
  - ✓ **cinco classes de águas doces**
  - ✓ **duas classes de água salinas**
  - ✓ **duas classes de águas salobras**
- ***Enquadramento:*** **estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado ou mantido para um determinado segmento de um corpo d'água – é um *ato administrativo***

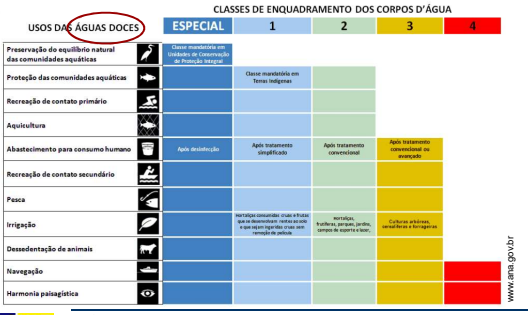
Conama 430/2011

Qualidade das águas de superfície: Legislação

- ***Águas de classe 2*** **são destinadas:**
  - ✓ **ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional**
  - ✓ **à proteção das comunidades aquáticas**
  - ✓ **à recreação de contato primário**
  - ✓ **à irrigação de hortaliças e frutíferas**
  - ✓ **à criação natural ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana**
- **Enquanto não for feito o enquadramento de um corpo d'água, os de água doce são de classe 2**

Qualidade das águas de superfície: Legislação

Qualidade das águas de superfície: Legislação



Qualidade das águas de superfície: Legislação

- **Os efluentes de fontes de poluição devem obedecer aos *padrões de emissão***
- **Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com seu enquadramento**

Principais poluentes das águas na mineração

- **Partículas sólidas**
- **Óleos e graxas**
- **Nutrientes e poluentes orgânicos**
- **Ácidos**
- **Metais**
- **Cianeto**
- **outros**

Sánchez, L.E. *Notas de Aula. PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e Sustentabilidade na Mineração.* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2023.

Parâmetros de qualidade das águas

Proteção das comunidades aquáticas:

- Oxigênio Dissolvido
- DBO
- pH
- Temperatura da água
- Nutrientes (N, P)
- Amônia
- Toxicidade
- Algas
- Clorofila
- Turbidez
- Substâncias tóxicas
- Coliformes termot.
- Sólidos em suspensão

Recreação:

- Coliformes termotolerantes
- Algas
- Óleos e graxas
- Turbidez

Abastecimento humano:

- Turbidez
- DBO
- Coliformes termotolerantes
- Nutrientes (N e P)
- Algas
- Potencial de formação de trihalometanos
- Patógenos
- Substâncias tóxicas

www.ana.gov.br

Principais poluentes das águas na mineração

partículas sólidas

- **Origem**
  -
  -
  -
- **Principais aspectos ambientais**
  -
  -
  -
  -
  -
- **Principais impactos ambientais**
  -
  -

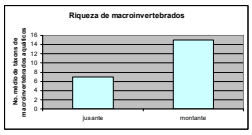
Principais poluentes das águas na mineração

partículas sólidas

- **Origem**
  - Escoamento superficial e drenagem de águas pluviais
  - Focos de erosão e áreas expostas às chuvas
  - Efluentes do tratamento de minérios
- **Principais aspectos ambientais**
  - aumento da carga de sedimentos nos corpos d'água
  - assoreamento dos cursos d'água
  - soterramento de comunidades bentônicas
  - diminuição da luminosidade na coluna d'água
  - diminuição da produtividade primária devido à redução da fotossíntese
- **Principais impactos ambientais**
  - degradação da qualidade da água
  - perda de organismos e diversidade da biota aquática

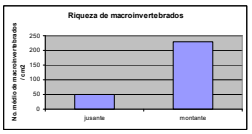
Efeitos da carga de sólidos sobre biota aquática

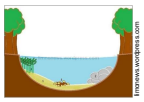
Impactos do aporte de sedimentos sobre comunidades bentônicas



Macroinvertebrados bentônicos:

organismos aquáticos de tamanho maior que 0,5mm





fonte: modificado de Couceiro, S.R.M. e Fonseca, C.P. *Ciência Hoje* 262: 60-63

Lago assoreado pelo lançamento de rejeitos

fotos: L.E. Sánchez

Assoreamento por erosão de pilha de estéril

Planície aluvionar assoreada com sedimentos provenientes de uma pilha estéril localizada a montante

foto: L.E. Sánchez

Turbidez na água afluente de um reservatório

Foto: L.E. Sánchez

Principais poluentes das águas na mineração

partículas sólidas

- **Principais medidas de controle**
  - coleta de águas pluviais mediante sistema de drenagem
  - retenção de água e partículas em bacias de decantação
  - clarificação de água antes do lançamento
- **Principais indicadores e padrões**

Parâmetro	Padrão de emissão		Padrão de qualidade
	Brasil	IFC	
sólidos sedimentáveis	1 mL/L	-	
sólidos totais		50 mg/L	
turbidez			40 UNT

Bacia de retenção de sedimentos em mineração

Fotos: A.C. Neri e L.E. Sánchez

Barragem de água e de retenção de sedimentos

Foto: L.E. Sánchez

Principais poluentes das águas na mineração

óleos e graxas

- **Origem**
  -
  -
- **Principais aspectos ambientais**
  -
  -
  -
  -
- **Principais impactos ambientais**
  -
  -

Principais poluentes das águas na mineração

óleos e graxas

- **Origem**
  - vazamentos de combustíveis e lubrificantes
  - oficinas mecânicas
  - áreas de lavagem de veículos e máquinas
- **Principais aspectos ambientais**
  - redução da oxigenação das águas paradas
  - recobrimento das guelras dos peixes
  - esteticamente inconveniente
  - toxicidade para biota
- **Principais impactos ambientais**
  - degradação da qualidade da água
  - contaminação de solos e águas subterrâneas

Sánchez, L.E. *Notas de Aula. PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e Sustentabilidade na Mineração.* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2023.

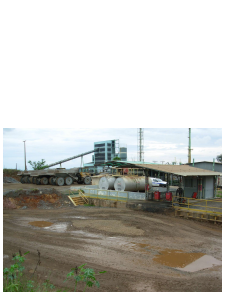
Principais poluentes das águas na mineração

óleos e graxas

- **Principais medidas de controle**
  - realizar trocas de óleos com equipamentos apropriados
  - armazenar óleos e combustíveis em áreas impermeabilizadas e preparadas para retenção de vazamentos
  - caixas separadoras água/óleo
- **Principais indicadores e padrões**

Parâmetro	Padrão de emissão		Padrão de qualidade
	Brasil	Banco Mundial	
óleos e graxas	20 mg/L	10 mg/L	virtualmente ausentes

Prevenção da poluição por óleos e graxas



Fotos: L.E. Sánchez

Prevenção da poluição por óleos e graxas

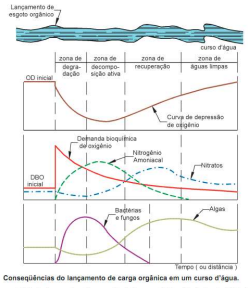
Fotos:A.C. Neri e L.E. Sánchez

Principais poluentes das águas na mineração

nutrientes e poluentes orgânicos

- **Origem**
  - instalações sanitárias
  - refeitórios, vilas residenciais
  - detergentes contidos nos efluentes de oficinas mecânicas e áreas de lavagem de veículos e máquinas
  - reservatórios inundados sem prévia remoção da vegetação
  - minérios (e.g. fosfato)
  - fertilizantes utilizados na recuperação de áreas
- **Principais aspectos ambientais**
  - são nutrientes de microorganismos que, no processo de decomposição da matéria orgânica, consomem oxigênio
  - Diminuição da capacidade de autodepuração dos corpos d'água

Biodegradação



Conseqüências do lançamento de carga orgânica em um curso d'água.

MOTA, S. **Preservação e Conservação de Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995, pg.

↓ oxigênio
↑ DBO
↑ Nitrogênio

Macrófitas no Rio Tietê

Foto: L.E. Sánchez

Principais poluentes das águas na mineração

nutrientes e poluentes orgânicos

- **Principais impactos ambientais**
  - eutrofização dos corpos d'água
  - riscos à saúde humana se contiverem organismos patogênicos
- **Principais medidas de controle**
  - instalação de fossas sépticas ou estações de tratamento de esgotos

Principais poluentes das águas na mineração

nutrientes e poluentes orgânicos

- Principais indicadores e padrões

Parâmetro	Padrão de emissão		Padrão de qualidade
	Brasil	Banco Mundial	Brasil
oxigênio dissolvido (OD)		6 mg/L O_2	3 mg/L
demanda bio-química de O_2		50 mg/L	6 mg/L
demanda química de O_2		150 mg/L	-
coliformes termotolerantes	-	-	200/100 mL em 80% de 6 amostras
P total	0,1 mg/L (amb. lóticos)	-	-
N amoniacal tot	3,7 mg/L	-	20 mg/L

Principais poluentes das águas na mineração

Ácidos (e metais)

- Origem
  - minérios sulfetados
  - materiais estéreis contendo sulfetos
  - rejeitos contento sulfetos
  - vazamento de reagentes químicos
- Principais aspectos ambientais
  - acidificação das águas
  - solubilização de metais
- Principais impactos ambientais
  - degradação da qualidade da água
  - riscos para biota aquática

Principais poluentes das águas na mineração

Ácidos (e metais)

- Principais medidas de controle
  - segregação de materiais potencialmente geradores e disposição em células
  - cobertura e isolamento das fontes (impermeabilização, cobertura orgânica, cobertura aquosa)
  - estação de neutralização das águas de drenagem
  - áreas úmidas artificiais

Parâmetro	Padrão de emissão		Padrão de qualidade
	Brasil	Banco Mundial	
pH	5 a 9	6 a 9	6 a 9
concentração de metais	consultar	consultar	consultar

Principais poluentes das águas na mineração

cianeto

- Origem
  - lixiviação de minério de ouro (NaCN)
- Principais aspectos ambientais
  - toxicidade aguda para homem e biota
  - combina-se com metais
- Principais impactos ambientais
  - degradação da qualidade da água
  - mortalidade de peixes e outros organismos em caso de vazamento

Principais poluentes das águas na mineração

Pilha de lixiviação de minério de ouro

foto: P. S. M. Ribeiro

Principais poluentes das águas na mineração

cianeto

- Principais medidas de controle
  - degradação natural em bacias (ação de temperatura, radiação ultravioleta e aeração)
  - oxidação (e.g. com peróxido de hidrogênio), que transforma o cianeto em cianato (OCN^-) - menos tóxico - que em seguida é hidrolisado a carbonato e amônia (em meio alcalino) ou gás carbônico (em meio ácido)
  - aplicar o Código Internacional do Cianeto

Sánchez, L.E. *Notas de Aula. PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e Sustentabilidade na Mineração.* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2023.

Principais poluentes das águas na mineração

Principais poluentes das águas na mineração

cianeto

➡ **Principais indicadores e padrões**

Parâmetro	Padrão de emissão		Padrão de qualidade
	Brasil	Banco Mundial	
CN livre (=HCN e $[CN]^-$)		0,1 mg/L	0,005 mg/L
CN WAD (dissociável em ácido fraco)		0,5 mg/L	
CN total	0,2 mg/L	1 mg/L	

Objetivos de aprendizagem

- Conhecer as duas principais formas de interferência da mineração nos recursos hídricos: consumo de água 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