

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

**PMI-3213**  
**Escavação e Transporte em Mineração**

**Tema 1**  
**CONCEITOS FUNDAMENTAIS**

Prof. Dr. Luis E. Sánchez      Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo  
2017

**Nota explicativa**

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

Material de uso exclusivo na disciplina PMI-2741 Escavação Mecânica e Transporte em Mineração, facultado aos alunos em caráter complementar à bibliografia e demais fontes indicadas no programa da disciplina.

© 2017 Luis E. Sánchez  
Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

**Operações unitárias na lavra a céu aberto**

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte



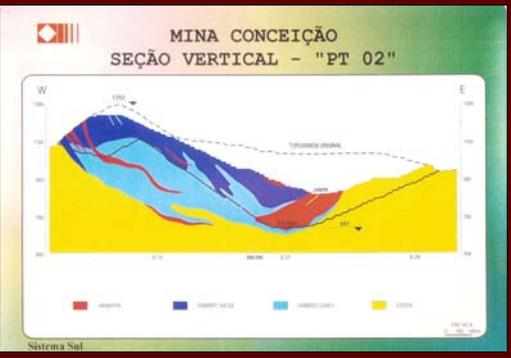
Fonte: Mineração Serra da Fortaleza

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

**Materiais a serem escavados: minério e estéril**

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte



Fonte: CVRD

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

**Operações unitárias na lavra a céu aberto**

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

Quais são as principais atividades na operação de lavra a céu aberto?

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

**Operações unitárias na lavra a céu aberto (1)**

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

- remoção da vegetação
- decapeamento:
  - remoção do solo superficial (ou "solo orgânico")
  - transporte e estocagem do solo superficial
  - remoção do solo de alteração

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Perfil típico de um solo tropical

Classificação			
geotécnica	pedológica		perfil de alteração
	O		solo orgânico
solo laterítico	A		areia argilosa
	B		argila arenosa
solo saprolítico	C		argila silteosa
			bloco de rocha e solo
saprolito			
rocha alterada	R		rocha alterada
			rocha sã

Desenho: Igor Gallardo

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Remoção de vegetação e solo superficial

Mina de calcário CCRG, Ribeirão Grande, SP

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Transporte e reposição de solo superficial

Pilhas de solo orgânico basculadas por caminhões, à espera de espalhamento em área minerada, para posterior plantio

Mina de caulim de Ipixuna, Pará, Pará Pigmentos S/A

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Disposição de solo superficial

Espalhamento de solo superficial para posterior plantio

Mina de bauxita no planalto de Poços de Caldas, CBA

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Operações unitárias na lavra a céu aberto (2)

- perfuração e desmonte de rocha:
  - . perfuração pneumática ou hidráulica
  - . carregamento de explosivos
  - . detonação
- desmonte mecânico
- desmonte hidráulico
- dragagem

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Operações unitárias na lavra a céu aberto (3)

- carregamento de minério e estéril
- transporte de minério e estéril
- descarregamento de minério (britagem primária, pilha pulmão)
- descarregamento de estéril em pilhas
- compactação e ajuste geométrico das pilhas de estéril

[ Preparação de área de disposição de estéril ]

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Carregamento e transporte de minério



PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

foto: L.E. Sánchez

Pedreira Embu

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Carregamento de caminhões



PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

foto: L.E. Sánchez

Pedreira Serveng

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Carregamento de caminhões



PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

foto: L.E. Sánchez

Mina de bauxita Pinjarra (Austrália)

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Disposição de estéril em cava



PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

foto: L.E. Sánchez

Mina de caulim de Ipixuna, Pará, Pará Pigmentos S/A

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Pilha de estéreis



PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

foto: L.E. Sánchez

Mina de urânio de Caldas, Minas Gerais, INB

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Estéril lançado em ponta de aterro (bota-fora)



PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

foto: L.E. Sánchez

taludes estabilizados com implantação de bermas, drenagem e graminéas

"retaludamento" em curso

Mina de calcário no Estado de São Paulo

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Pilha de estéril com processo erosivo



Mina de calcário no Paraná

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

foto: L.E. Sánchez

### Operações unitárias na lavra a céu aberto (4)

- recuperação de áreas degradadas
  - . reafeição da topografia
  - . reposição do solo superficial
  - . implantação de sistema de drenagem
  - . preparação do solo para plantio
  - . plantio ("revegetação")
  - . manutenção do sistema de drenagem
  - . manutenção das áreas de plantio

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

### Algumas operações auxiliares

- abertura de vias de acesso
- construção de rampas
- preparação da frente de lavra
- preparação das fundações das pilhas de estéril
- manutenção mecânica de equipamentos
- abastecimento e lubrificação
- aspersão de água em pistas de rolamento

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

### Aspersão para abatimento de poeira



Pedreira em Barueri

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

foto: L.E. Sánchez

### Oficina de manutenção



Mina de calcário

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

foto: L.E. Sánchez

### Definições

empolamento = expansão volumétrica

volume solto ( $V_s$ ) > volume natural ( $V_n$ ) ou volume no corte ( $V_c$ )

densidade solta ( $D_s$ ) < densidade natural ( $D_n$ )



$f_{emp} = \text{volume do banco} / \text{volume desmontado}$

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

### Valores típicos para fator de empolamento

material	fator de empolamento
carvão	0,9
bauxita	0,8
areia seca	0,9
solo argiloso	0,8
rocha bem desmontada	0,75 a 0,6
rocha mal desmontada	0,5 a 0,4

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Definições

capacidade rasa (*struck capacity*)

capacidade coroada (*heaped capacity*)  
definição SAE considera a relação 2H:1V

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Definições

❑ fator de eficiência do trabalho

$f_{ef} = \text{minutos trabalhados por hora} / 60'$

condições de trabalho  $f_{ef}$

"favorável"	92% (55'/60')
"média"	83% (50'/60')
"desfavorável"	67% (40'/60')

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Definições

❑ disponibilidade física

. percentagem do tempo em que o equipamento está mecanicamente apto para funcionar

HORAS DISPONÍVEIS		HORAS DE MANUTENÇÃO	
HORAS OPERACIONAIS		HORAS NÃO OPERACIONAIS	
HORAS DE PRODUÇÃO	ATRASO OPERACIONAL	PREVENTIVA	CORRETIVA

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Definições

❑ índice de horas operacionais

. relação entre horas em operação (HO) e horas disponíveis para operação (HD)

HORAS DISPONÍVEIS		HORAS DE MANUTENÇÃO	
HORAS OPERACIONAIS		HORAS NÃO OPERACIONAIS	
HORAS DE PRODUÇÃO	ATRASO OPERACIONAL	PREVENTIVA	CORRETIVA

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

### Definições

❑ produtividade do trabalho

$\frac{\text{produção total (t ou m}^3\text{)}}{\text{soma das horas de produção}}$

Horas de produção = horas efetivas de trabalho, subtraindo-se do total de horas do mês as horas de manutenção e as horas despendidas em outras atividades não ligadas à produção

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

Escola Politécnica da USP

Prof. Luis E. Sánchez

**Escavação mecânica de solos e rochas:  
Classificações dos materiais**

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

- **classificação segundo a resistência à escavação (norma TB-3 da ABNT): rocha e solo**
- **termos usuais:**
  - Terra
  - Moledo ou piçarra
  - Rocha branda
  - Rocha dura

Escola Politécnica da USP Prof. Luis E. Sánchez

**Escavação mecânica de solos e rochas:  
Classificações dos materiais para terraplenagem**

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

- **1ª. categoria: "Terra em geral, piçarra ou argila, rocha em adiantado estado de decomposição, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo inferior a 15 cm, qualquer que seja o teor de umidade, compatíveis com a utilização dos equipamentos convencionais, como dozers, scrapers, moto-scrapers e escavo ou pás carregadoras. Podem ser desmontados com ferramentas manuais comuns."**

Escola Politécnica da USP Prof. Luis E. Sánchez

**Escavação mecânica de solos e rochas:  
Classificações dos materiais para terraplenagem**

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

- **2ª. categoria: "Rocha com resistência à penetração mecânica inferior ao granito – arenitos e argilitos, por exemplo – blocos de pedra com volume inferior a 1 m<sup>3</sup>, matacões de pedras de diâmetro médio superior a 15 cm, cuja extração se processa com emprego de explosivo ou uso combinado de explosivos e máquinas de terraplenagem e ferramentas manuais comuns."**

**DER-SP: 2ª. categoria com ripper  
2ª. categoria com explosivos**

Escola Politécnica da USP Prof. Luis E. Sánchez

**Escavação mecânica de solos e rochas:  
Classificações dos materiais para terraplenagem**

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

- **3ª. categoria: "Rocha com resistência à penetração igual ou superior ao granito e blocos de rocha com volume igual ou superior a 1 m<sup>3</sup>, cuja extração e redução, para tornar possível o carregamento, se processa com o emprego contínuo de explosivos."**

Escola Politécnica da USP Prof. Luis E. Sánchez

**Escavação mecânica de solos e rochas**

PMI-2741 Escavação mecânica e transporte

- **classificação segundo a velocidade de propagação de ondas sísmicas no maciço:**

material	velocidade de propagação (m/s)	categoria
escavável	300 a 400	1a.
escarificável	1000 a 2600	2a.
desmonte por explosivos	> 2600	3a.

Escola Politécnica da USP Prof. Luis E. Sánchez