

PMI-3328
Introdução ao Meio Ambiente e
Sustentabilidade na Mineração

Tema 9
Recuperação de áreas degradadas na
mineração

Luis E. Sánchez
2023



1. Conceito
2. Tópicos selecionados sobre planejamento de RAD
3. Implementação de medidas de RAD na mineração
4. Exemplos de novos usos de áreas de mineração

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

POLI USP L. E. Sánchez

1.
Conceito

O que é recuperar uma área degradada?

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

POLI USP L. E. Sánchez

Recuperação de áreas degradadas

conceito: o resultado da aplicação de técnicas de manejo visando tornar uma área degradada apta para um novo uso (sustentável)

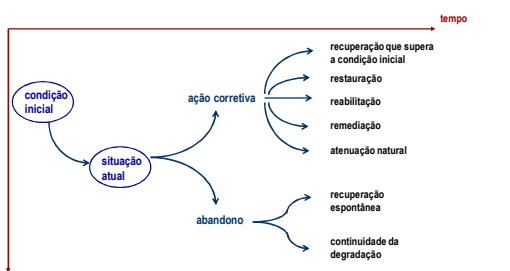
✓ o novo uso poderá ser diferente do uso que que tinha a área antes da mineração



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

POLI USP L. E. Sánchez

Um esquema conceitual de RAD



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

Fonte: Sánchez (2005)

POLI USP L. E. Sánchez

Princípios e critérios para RAD na mineração

CRITÉRIOS GERAIS

- **estabilidade física:** quando os processos do meio físico estejam em equilíbrio dinâmico possibilitando uso seguro da área
 - Exemplo: sem ocorrência de processos erosivos intensos, como ravinamento, ou de movimentos de massa, como escorregamentos
- **estabilidade química:** quando não ocorram reações químicas capazes de emitir uma carga poluente para o meio, como a geração de ácidos

CRITÉRIOS QUE DEPENDEM DO OBJETIVO DE RECUPERAÇÃO DE CADA MINA

- **ecossistemas autosustentáveis:** sem necessidade de intervenção humana para sua continuidade
- **produtividade agrícola:** produtividade equivalente dadas práticas agrícolas similares e condições comparáveis de solo
- **conformidade com valores estéticos:** aceitabilidade social

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

POLI USP L. E. Sánchez

Exigências legais

CF Art. 225
 Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.
 § 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:
 I - (...)
 § 2º Aquele que explorar **recursos minerais** fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei
 +
 "A recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente."
 Dec. Federal 97.632/89 (Art. 3º)

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez

Gestão do processo de RAD

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez

2. Tópicos selecionados sobre planejamento de RAD

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez

Planejamento da recuperação ambiental

envolve

- ✓ estudo de alternativas de uso futuro
- ✓ seleção de uso futuro preferido / do mosaico de usos / usos múltiplos
- ✓ compatibilização com plano de lavra

Engajamento das partes interessadas

necessidade de definir o **objetivo** da recuperação

considerando que a mineração pode resultar na **criação de novos ambientes** que podem implicar **restrições de uso** ?

considerando **oportunidades de uso da área** ?

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez

Exemplos de tipos de uso do solo pós-mineração

- ✓ uso agrícola
- ✓ uso residencial urbano
- ✓ uso industrial
- ✓ uso comercial
- ✓ uso recreativo
- ✓ conservação ambiental
- ✓ conservação do patrimônio histórico industrial e mineiro
- ✓ controle de cheias
- ✓ armazenamento de água
- ✓ disposição de resíduos
- ✓ geração de energia

usos múltiplos

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez

Planejamento da recuperação ambiental

Definir alternativas de usos pós-mineração
 Avaliar riscos e oportunidades de cada alternativa

Considerando

- 1) Requisitos legais e outros requisitos
- 2) Perspectivas da comunidade
- 3) Aptidões e restrições dos terrenos

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez

Planejamento da recuperação ambiental

Considerando

- 1) Requisitos legais e outros requisitos
- 2) Perspectivas da comunidade
- 3) Aptidões e restrições dos terrenos

Exemplos de requisitos legais:

- Legislação florestal: reserva legal e APP
- Planos diretores e planos de uso do solo municipais

Perspectivas da comunidade = ??

Exemplos de restrições técnicas:

- Condições geotécnicas (estabilidade de taludes, resistência para uso como fundações)
- Condições geoquímicas (potencial de gerar drenagem ácida)

Exemplos de aptidões :

- Condições edáficas e topográficas adequadas para plantios florestais homogêneos
- Água de qualidade adequada para abastecimento público

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

3. Implementação de medidas de RAD na mineração

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Implementação da recuperação ambiental

envolve

- ✓ práticas de caráter topográfico e geotécnico
- ✓ práticas de caráter edáfico
- ✓ práticas de caráter hidrico
- ✓ práticas de caráter ecológico

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Práticas de caráter topográfico e geotécnico


visam garantir a **estabilidade física** da área a ser recuperada, levando em conta o uso futuro e a conformação final pretendida

incluem:

- escavação de solo e rocha para reaquecimento de taludes
- armazenamento seguro de estéréis e rejeitos
- implementação da alternativa escolhida de conformação final da cava, pilhas de estéril e bacias de rejeitos
- arranjo final da área industrial e das áreas de apoio

requerem

- critérios geotécnicos para garantir estabilidade física longo prazo de todas as estruturas
- consideração da posição do lençol freático



PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Práticas de caráter topográfico

Reaquecimento de taludes em local minerado (bauxita)



Mina de bauxita no planalto de Poços de Caldas, Alcoa

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Práticas de caráter topográfico

Reaquecimento de taludes e implantação de sistema de drenagem em local minerado (bauxita)



Mina de bauxita no planalto de Poços de Caldas, Alcoa

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Práticas de caráter topográfico

Taludes de pilha de estéril com declividade adequada, capaz de facilitar o posterior estabelecimento de vegetação



Mina de calcário

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: A.C. Neri

L. E. Sánchez

Práticas de caráter topográfico

Nivelamento de estereis em superfície lavrada em tiras seguido de plantio de espécies nativas



Mina de bauxita de Oriximiná, Pará, Mineração Rio do Norte

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

fotos: L. E. Sánchez

L. E. Sánchez

Práticas de caráter topográfico

Reafeição do terreno pelo preenchimento de cava com estereis em mina de caulim



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


PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: L. E. Sánchez

L. E. Sánchez

Práticas de caráter geotécnico

Plantio de grama em placas sustentada por estacas de bambu, com efeitos paisagísticos e de proteção contra erosão



Pedreira em São Paulo

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: ?

L. E. Sánchez

Práticas de caráter topográfico e geotécnico

Talude de cava em conformação final



matações em condição de estabilidade mantidos

Mina de calcário no Estado de São Paulo

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: A.C. Neri

L. E. Sánchez

Práticas de caráter topográfico e paisagístico

Frente de lava em pedreira de calcário "esculpida" para criar aparência similar à do ambiente natural



Hope Quarry, Inglaterra

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

fonte: Mining Environmental Management

L. E. Sánchez

Práticas de caráter edáfico ou de manejo de solo

visam conservação do solo (um recurso escasso)
incluem:

- remoção seletiva da camada de solo orgânico e reposição imediata ou posterior
- armazenamento temporário da camada de solo orgânico
- aproveitamento de diferentes fontes de matéria orgânica (galhos, raízes, certos resíduos)
- subsolagem (para descompactação)
- calagem, adubação

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração



L. E. Sánchez

Práticas de caráter edáfico

Retirada da vegetação com conservação do solo orgânico e da serrapilheira



Foto: A.C. Henri

Mina de calcário CCRG, Ribeirão Grande, SP

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração



L. E. Sánchez

Práticas de caráter edáfico

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



Foto: L.E. Blotz

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

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração



L. E. Sánchez

Práticas de caráter edáfico

Espalhamento de solo orgânico para posterior



Foto: Premier Projetos S/C Ltda.

Mina de bauxita no planalto de Poços de Caldas, CBA

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração



L. E. Sánchez

Práticas de caráter edáfico

Camada de argila disposta sobre bermas de pilha de estéril composta de fragmentos de rocha



Foto: L. E. Sánchez

Mina de calcário Saivá, Rio Branco do Sul, PR

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração



L. E. Sánchez

Práticas de caráter edáfico

Camada de solo argiloso disposta sobre bermas de pilha de estéril composta de fragmentos de rocha



Foto: AC Henri

de calcário de Itaú de Minas, MG

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração



L. E. Sánchez

Práticas de caráter edáfico

Espalhamento de calcário para correção de acidez do previamente ao plantio



de bauxita no planalto de Poços da Caldas, MG

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: ?

POLI USP L. E. Sánchez

Práticas de caráter edáfico

Adução de berço antes do plantio de mudas de espécies arbóreas



Mina de bauxita no planalto de Poços da Caldas, MG

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: ?

POLI USP L. E. Sánchez

Práticas de caráter edáfico

Adição de matéria orgânica (casca de eucalipto) ao solo para manter umidade e incorporar matéria orgânica



Mina de calcário de Itaú de Minas, MG

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: A. C. Neri

POLI USP L. E. Sánchez

Práticas de caráter edáfico

Desenvolvimento radicular em substrato argiloso para plantio em pilha de estéril



Mina de calcário Itaretama, PR

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: L. E. Sánchez

POLI USP L. E. Sánchez

Práticas de caráter hídrico

visam disciplinar a circulação das águas superficiais e reduzir erosão hídrica e garantir a **estabilidade física**

incluem:

- implantação de sistema de drenagem para desvio, coleta, transferência, decantação e lançamento de águas pluviais
- implantação de sistema de controle de erosão e retenção de sedimentos

- cava
- pilas de estéréis e bacias de rejeitos
- áreas industrial e de apoio

Tema 3B
Drenagem de minas

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

POLI USP L. E. Sánchez

Práticas de caráter hídrico

drenagem de águas pluviais e retenção de sedimentos



Minas de bauxita de Poços de Caldas, Alcoa

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: L. E. Sánchez

POLI USP L. E. Sánchez

Práticas de caráter hídrico

Taludes de pilha de estéril com declividade adequada para condução das águas pluviais; plantio de eucaliptos nos taludes



Pedreira Embu, Embu das Artes, São Paulo

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: L.E. Sánchez

L. E. Sánchez

Práticas de caráter hídrico

Bacia de retenção de sedimentos carregados por águas pluviais em via de circulação interna



Mina de calcário Saivá, Rio Branco do Sul, PR

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: L.E. Sánchez

L. E. Sánchez

Práticas de caráter hídrico

Drenagem de águas pluviais em pilha de estéril



Mina de calcário Saivá, Rio Branco do Sul, PR

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: L.E. Sánchez

L. E. Sánchez

Práticas de caráter hídrico

Canaletas de drenagem de águas pluviais em pilha de estéril



Mina de calcário

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

foto: A. C. Neri

L. E. Sánchez

Práticas de caráter ecológico: vegetação e fauna

visam implementar e garantir a perenidade da vegetação escolhida

incluem:

- procedimentos para seleção, produção ou aquisição de mudas e sementes
- plantio para proteção contra erosão e para melhoria da qualidade do solo (tapete verde e leguminosas)
- plantio de sementes ou mudas arbóreas
 - nativas ?
 - exóticas ?
 - para produção silvicultural ?

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Restabelecimento de vegetação nativa

- plantio de gramíneas não leguminosas
- plantio de leguminosas (tapete verde ou adubação natural): promove descompactação, aeração e incorporação de nitrogênio, eleva a capacidade de armazenamento de água e os teores de matéria orgânica
- plantio de sementes ou mudas arbóreas nativas
 - escolha das espécies - pode haver exigências legais, como alta diversidade de espécies, e.g. Res. SMA-SP 58/2006 e 8/2007
 - escolha da estratégia (pioneiras, secundárias)
 - análise do contexto: há fragmentos remanescentes nas imediações ?
 - obtenção das mudas
 - preparo do solo, plantio e manutenção

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Práticas de caráter ecológico

uso do modelo sucessional (sucessão ecológica)

Tipo de espécie	Exigência de luz	Velocidade de desenvolvimento	Dispersão de sementes	Tempo de vida
pioneira	heliófila	rápido	pássaros, vento, gravidade	< 10 anos
secundária	intermediária	médio	pássaros, vento, gravidade	10 a 25 anos
secundária tardia	ombrófila	lento	principalmente vento	> 20 anos
climácica	ombrófila	lento a muito lento	roedores, mamíferos	> 20 anos

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
L. E. Sánchez

Plantio de leguminosas

Talude de depósito de estéril em mineração de brita revegetado com plantio consorciado de aveia-preta e nabo-ferrageiro, após três meses de implantação



Pedreira em São Paulo

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
L. E. Sánchez

Produção de mudas

viveiro de mudas de espécies nativas



Minas de bauxita de Poços de Caldas, Alcoa

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
L. E. Sánchez

Resgate de plântulas

Viveiro das plântulas resgatadas na área da mina



Mina de calcário no Estado de São Paulo

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
L. E. Sánchez

Plantio de mudas e manutenção

manutenção e tratos culturais em mudas de espécies nativas



Minas de bauxita de Poços de Caldas, Alcoa

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
L. E. Sánchez

4. Exemplos de novos usos de áreas de mineração

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
L. E. Sánchez

Novos usos: recreação



PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e à Sustentabilidade na Mineração

Raia olímpica da Cidade Universitária, formada por extração de areia associada às obras de retificação do rio Pinheiros, década de 1960

Fonte: mapa IGC 1:50.000 (1972), baseado em fotografias aéreas de 1962

POLI USP L. E. Sánchez

Novos usos: áreas comerciais



PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e à Sustentabilidade na Mineração

Supermercado construído no início dos anos de 2000 em área antiga pedreira, desativada nos anos de 1970, bairro Jaguaré, São Paulo

Fonte: C.F.R. Roccardi

POLI USP L. E. Sánchez

Novos usos: recreação



PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e à Sustentabilidade na Mineração

Parque Francisco Rizzo, Embu das Artes, antiga área de extração de areia

Fonte: W. Iriani

POLI USP L. E. Sánchez

Novos usos: controle de cheias



PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e à Sustentabilidade na Mineração

Cava da pedreira Lageado, São Paulo, parcialmente inundada e usada para controle de cheias do córrego Itaquera; pedreira iniciou suas atividades nos anos de 1950 e encerrou em 2003

Fonte: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretaria/regional/guia/areas/indicadas/?p=45357>

Fonte: C.F.R. Roccardi

POLI USP L. E. Sánchez

Novos usos: disposição de resíduos



PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e à Sustentabilidade na Mineração

Pedreira Itaquera, São Paulo, final dos anos de 1950 (iniciou suas atividades nos anos de 1950)

Aterro de resíduos de construção civil na antiga Pedreira Itaquera, 2004

Fonte: M. Hachem

POLI USP L. E. Sánchez

Novos usos: disposição de resíduos



PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e à Sustentabilidade na Mineração

Pedreira Itaquera, São Paulo, situação do aterro em abril de 2006

Pedreira Itaquera, São Paulo, situação do aterro em abril de 2007

Fonte: F.N. de Aguiar

POLI USP L. E. Sánchez

Novos usos: conservação ambiental



Antiga pilha de estêreis em mina de calcário, Floresta Nacional de Ipanema, Iperó, SP

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Roba, Rosem

POLI USP L. E. Sánchez

Novos usos: armazenamento de água



Área: 0,7 km²
Profundidade máxima: 234 m

fonte: von Sperling, E.; Jardim, F.A.; Grandchamp, C.A.P. Qualidade da água durante a formação de lagos profundos em cavas de mineração: estudo de caso do lago de Águas Claras - MG. Engenharia Sanitária e Ambiental 9(3), 2004.

Mina de Águas Claras, Nova Lima, MG

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

POLI USP L. E. Sánchez

Novos usos: conservação do patrimônio

conservação do patrimônio histórico e educação patrimonial



Museu Histórico Mineiro de Lewarde, França

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

Rob, L.E. Sánchez

POLI USP L. E. Sánchez

Novos usos: geração de energia



Kidston, Austrália, antiga mina de ouro: UHE reversível 250 MW + solar fotovoltaica 270 MW Em construção

Fonte: <https://www.energymatters.com.au/renewable/news/kidston-renewable-energy-hub-progress/>

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

POLI USP L. E. Sánchez

Recapitulação

- ❑ Objetivo de RAD e de uso futuro
- ❑ O planejamento da RAD deve considerar:
 - Requisitos legais e outros requisitos
 - Perspectivas da comunidade
 - Aptidões e restrições dos terrenos
- ❑ Implementação
 - práticas de caráter topográfico e geotécnico
 - práticas de caráter edáfico
 - práticas de caráter hídrico
 - práticas de caráter ecológico
- ❑ Avaliação: a área está em trajetória de recuperação?

PMI-3228 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

POLI USP L. E. Sánchez