



**UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO**



GEOCIÊNCIAS



***Recursos Minerais
(0440413)***

***PROSPECÇÃO, PESQUISA E AVALIAÇÃO DE
JAZIDAS***

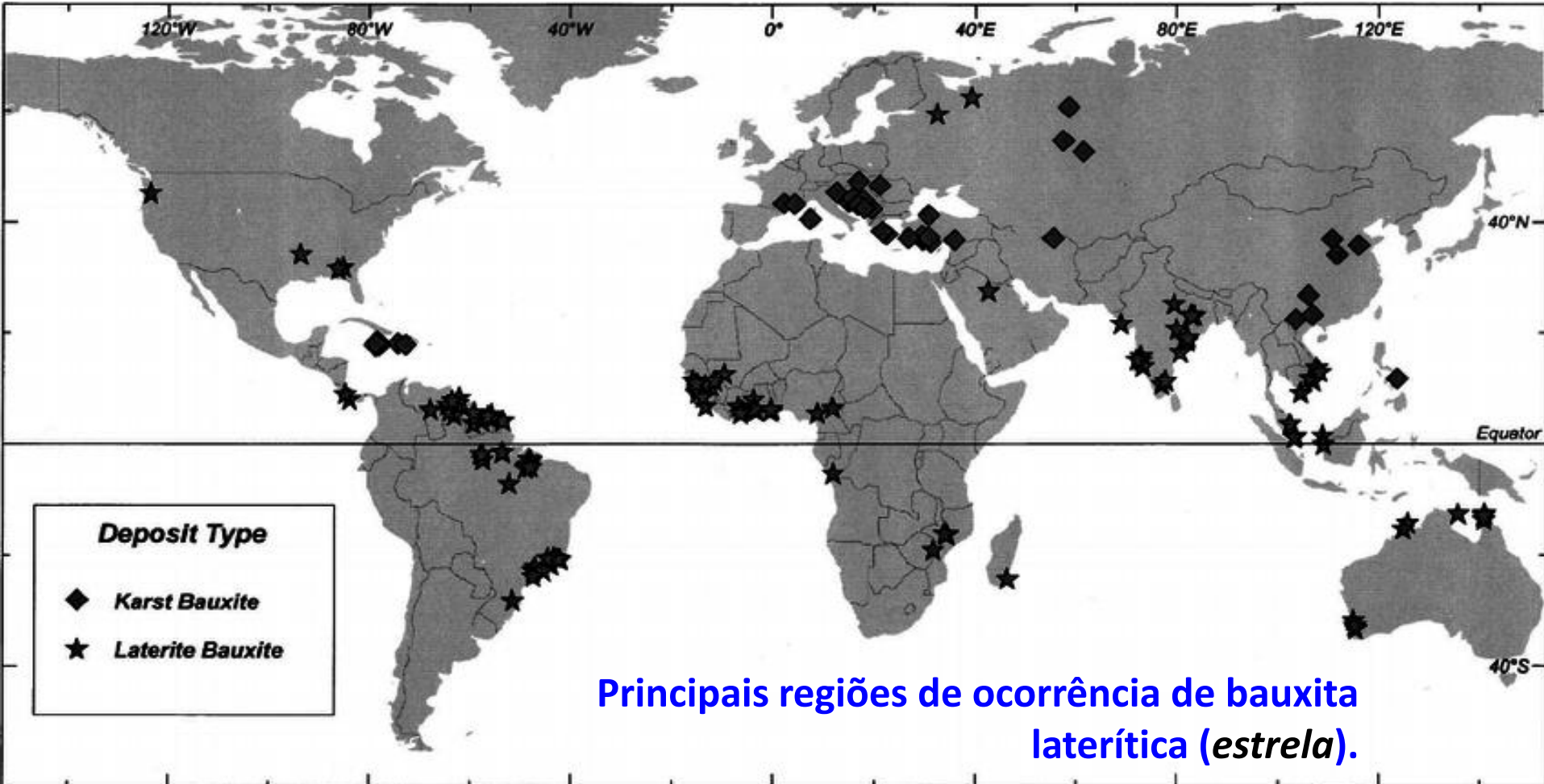
Prof. Dr. Rafael Rodrigues de Assis

Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA – IGC, USP)

assis.rafael@usp.br

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

A **irregularidade na distribuição geográfica dos recursos minerais**, seja em regiões inóspitas, climaticamente agressivas ou deficientes de água e energia elétrica, constitui um **fator limitante para a extração de muitos minérios** ou, até mesmo para a descoberta.



ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

A mineração trabalha com **bens naturais não renováveis**.

Uma vez exaurido um depósito, não há como recompô-lo e se **necessita de novo depósito para dispor do mesmo bem mineral**.

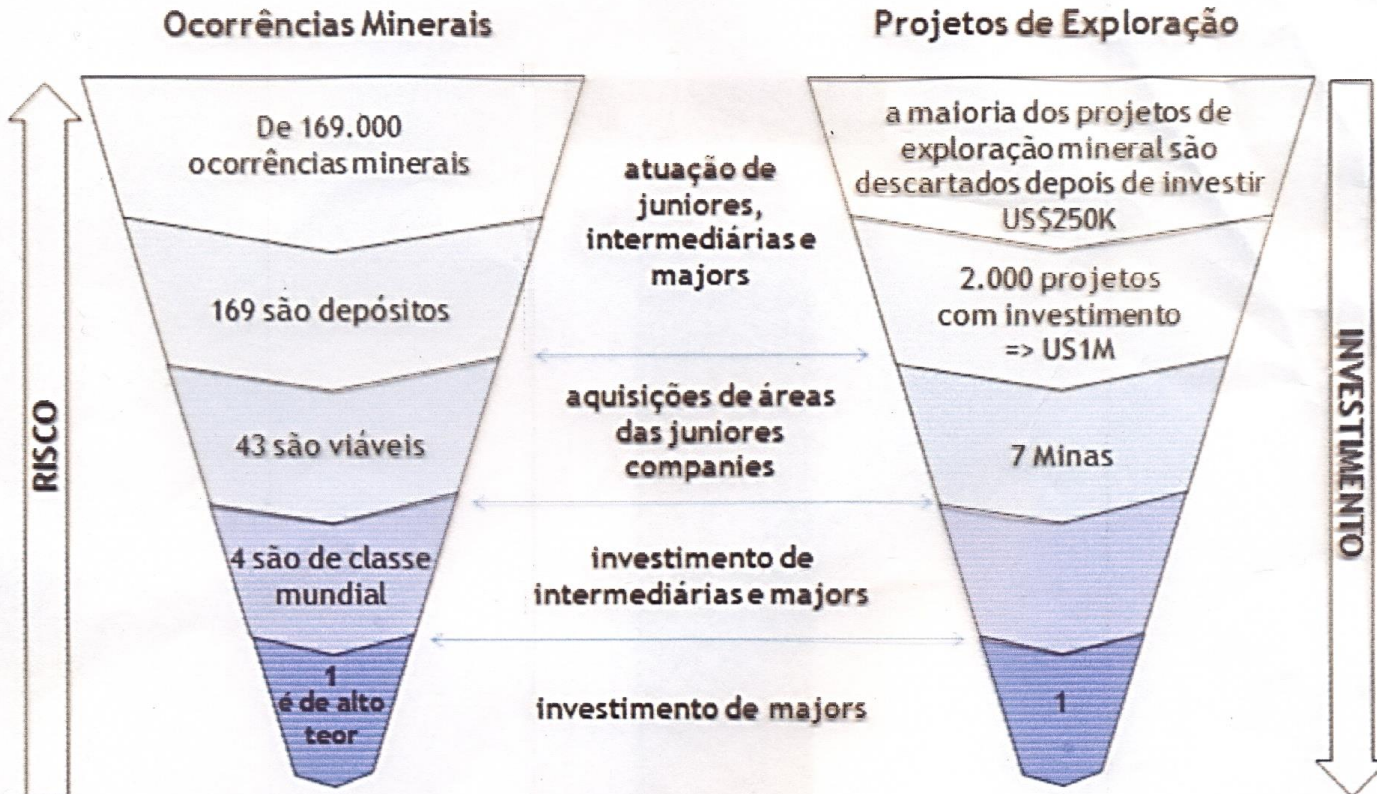
As reservas de bens minerais **para serem mantidas ou ampliadas**, exigem **esforços contínuos de exploração**, seja em torno das jazidas já existentes, seja visando a identificação de novos depósitos.

O setor mineral, quando **considerado desde a fase inicial de exploração mineral até a instalação de projeto industrial** de aproveitamento de minério é considerado um **investimento de alto risco**.

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

A grande maioria das pesquisas feitas em exploração mineral **não resulta em jazidas economicamente rentáveis**, independentemente da competência da equipe envolvida na execução.

Mineração um negócio de alto risco



Fonte: Mine Valuation - Michael Dogget - Queens University / Canada.

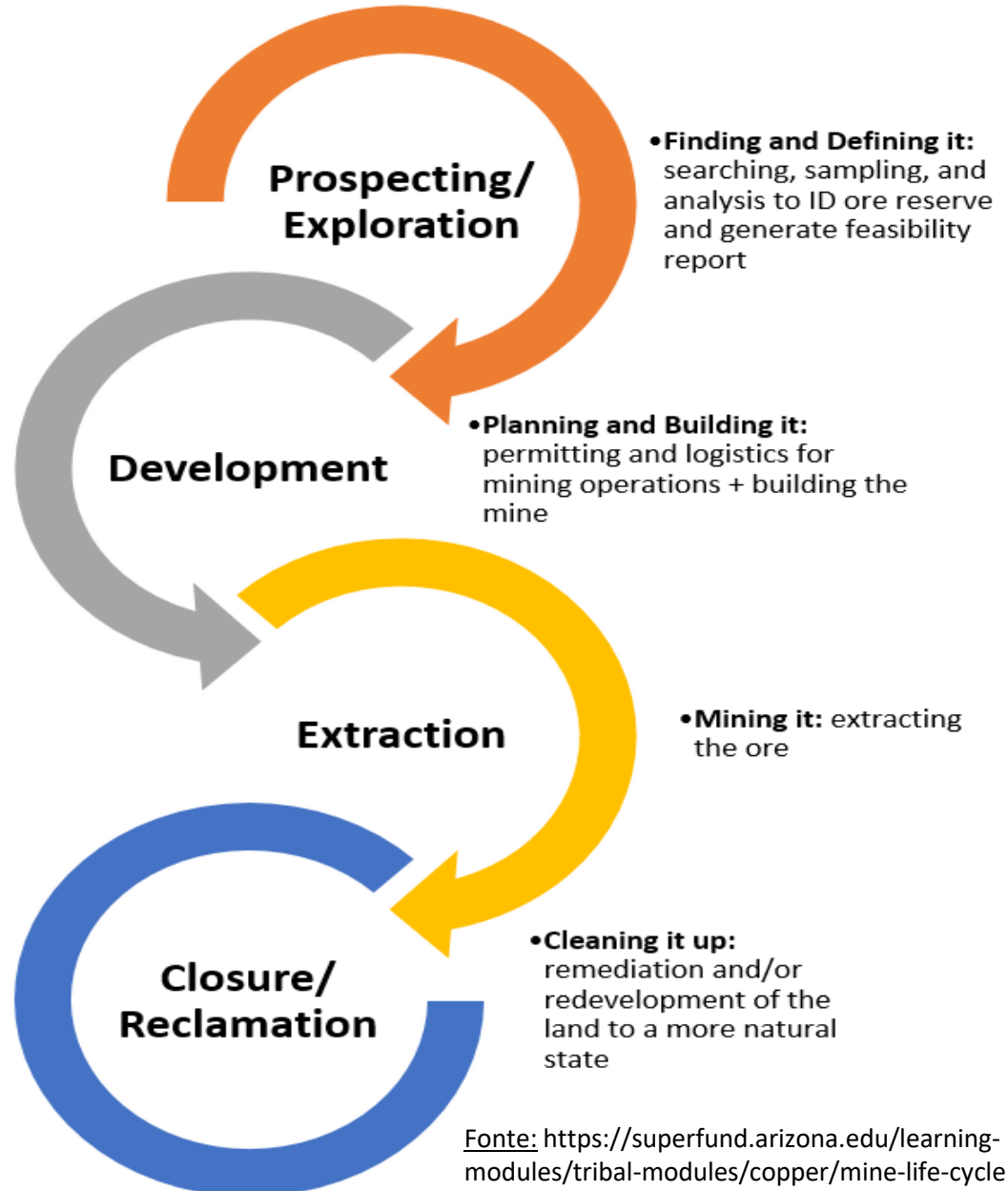
Fonte: How to profit on the road to failure - Richard S. Appel Estudo realizado pela Cominco na década de noventa.

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

CICLO DE VIDA DE UMA MINA

O tempo de maturação de projetos de mineração é muito longo, sendo estimado em período mínimo de dez anos entre o planejamento da exploração mineral visando determinado bem mineral e a entrada em atividade de projeto industrial para seu aproveitamento efetivo.

E a própria operação, geralmente, pode se desenvolver por dezenas de anos.



ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

Exploration & Feasibility

Exploration:

- reconnaissance; locate mineral anomalies
- discovery, sampling

Feasibility:

- decision about economic feasibility of mining

Planning & Construction

Planning:

- mine planning
- environmental/social planning
- closure plan
- environmental assessment
- environmental and other permits

Construction:

- clearing, stripping, blasting; Infrastructure

Operations

- ore extraction
- crushing, grinding, concentrating
- waste rock and tailings management
- wastewater management
- progressive reclamation

Closure

- site clean-up; reclamation; rehabilitation
- maintenance; environmental monitoring

Mine Phase	Primary Objectives	Typical Activities
Exploration	Discovery and mapping of the extents of an economic ore deposit	Review existing geologic information. Detailed surface reconnaissance (e.g., geologic mapping, geochemical sampling, geophysics) Subsurface investigations (i.e., drilling; exploration pits, adits or shafts)
Mine Planning, Feasibility and Design (Development)	Assess the economic viability of mining and processing	Development of the mine plan and waste management plan Characterization of baseline site conditions Completion of the Environmental and Social Impact Assessment Completion of the Feasibility Assessment Design of mine layout and facilities Mine permitting
Construction and Commissioning	Construction of facilities and infrastructure for operational mine	Construction of mine infrastructure (e.g., power, roads, water) Construction of metallurgical processing , waste containment and water treatment facilities
Operation	Extraction and processing of ore deposit	Mineral extraction and processing Ore body dewatering Development of waste facilities (waste rock, tailings)
Decommissioning	Site closure - to the extent possible, re-establishment of pre-mining conditions or conditions suitable for post-mining land use	Site reclamation (e.g., regrading, covers) Dismantling of buildings and road decommissioning Ongoing water treatment
Post-Closure	Land use commensurate with owner's desire and adjacent land uses Management of long-term environmental impacts	Environmental monitoring Site redevelopment Possible water treatment Long-term maintenance of waste storage facilities

FONTES:

<http://www.undervaluedequity.com/Mine-Life-Cycle-How-Accurate-are-the-Resources-Reported-in-Each-Project-Phase.html>

https://www.google.com.br/url?sa=i&rct=j&q=&esc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwimqMS6hePTAhWIIJAKHWWCCskQjhwIBQ&url=https%3A%2F%2Fwww.ec.gc.ca%2Ffcpe-cepa%2Fdefault.asp%3Flang%3Den%26n%3DCBE3CD59-1%26offset%3D4&psig=AFQjCNHGsxw_PjVTI0TQUUnu1yMufcjFsA&ust=1494422935103655&cad=rja

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

EXPLORAÇÃO MINERAL (Prospecção e Pesquisa)

- Fundamentais para a implantação de qualquer empreendimento mineiro.
- Investimento relativamente pequeno.
- Possibilitam o aproveitamento racional da jazida.
- Permitem o gerenciamento das operações com resultados mais lucrativos e competitivos no setor.

Lavra e Beneficiamento do Minério

- Etapas de extração do minério da jazida, assim como sua concentração por processos de beneficiamento

DESENVOLVIMENTO mineiro

- Fundamentais para a implantação de qualquer empreendimento mineiro.
- Investimento relativamente pequeno.
- Possibilitam o aproveitamento racional da jazida.
- permitem o gerenciamento das operações com resultados mais lucrativos e competitivos no setor

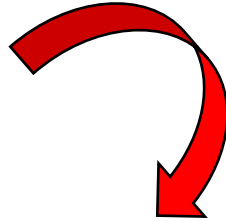
DESATIVAÇÃO do empreendimento

- Procedimentos de encerramento da lavra, com devolução da área para outras atividades (evitar/minimizar os passivos).

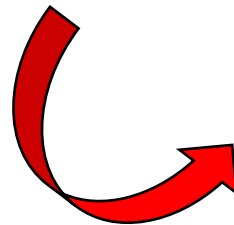
ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

Prospecção Mineral

Sua função é a descoberta de novos depósitos minerais que posteriormente se tornaram jazidas minerais.



EXPLORAÇÃO MINERAL (Prospecção e Pesquisa)



Pesquisa Mineral

Seu objetivo é a avaliação econômica da jazida mineral (em termos de teor e tonelagem).

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

ETAPAS DA PROSPECÇÃO MINERAL

- **Seleção de áreas alvos para detalhamento;**
 - **Elaboração, acompanhamento e execução do plano de pesquisa;**
 - **Definição do pessoal e dos equipamentos necessários à pesquisa;**
 - **Detalhamento do cronograma físico-financeiro do projeto;**
- **Realização dos serviços geológicos/geofísicos/geoquímicos exploratórios e de detalhamento;**
 - **Abertura de poços-teste e de trincheiras;**
 - **Cálculo das reservas e dos valores médios de cada depósito estudado;**
 - **Coleta de amostras representativas em todas as fases de estudo;**
- **Verificação da viabilidade da lavra do depósito encontrado, com base nas reservas, propriedades qualitativas/quantitativas/tecnológicas do minério;**
 - **Determinação de custos de exploração e dados de mercado e comparação dos resultados da pesquisa com os valores verificados na lavra dos setores em exploração.**

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

EXPLORAÇÃO MINERAL

Para direcionar a escolha de áreas de pesquisa e descoberta de novos depósitos minerais, o prospector utiliza-se do modelo genético (alimentado pelo modelo descritivo) de depósito mineral, o qual consiste em um arranjo sistemático de informações que descrevam os atributos essenciais de uma dada classe de depósito mineral.

Empíricos (descritivos)

Modelos nos quais os vários atributos dos depósitos são reunidos, mesmo que suas relações sejam desconhecidas.

Ambiente tectônico e de formação?

Idade dos eventos mineralizantes?

Hospedeira?

Estilo da mineralização?

Associação mineral?

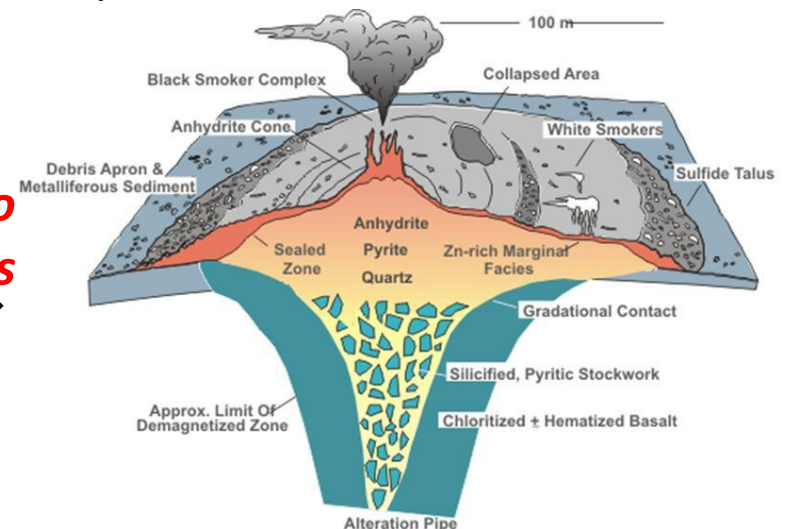
Controle do depósito?

*Alimentam o
banco de dados*



Teóricos (genéticos)

Modelos nos quais os atributos são inter-relacionados por conceitos fundamentais geológicos, geoquímicos, físicos, etc.



ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

EXPLORAÇÃO MINERAL

A prospecção sistemática de uma região com potencialidades mineiras é realizada com base em vários procedimentos e utilização de várias ferramentas (**trabalhos superficiais**):

CARTOGRAFIA GEOLÓGICA

Caracterização das unidades

Mapa litológico

Mapa estratigráfico

Mapa estrutural

AMOSTRAGEM GEOQUÍMICA

Rochas

Solos

Sedimentos de correntes

Trincheiras

GEOFÍSICA

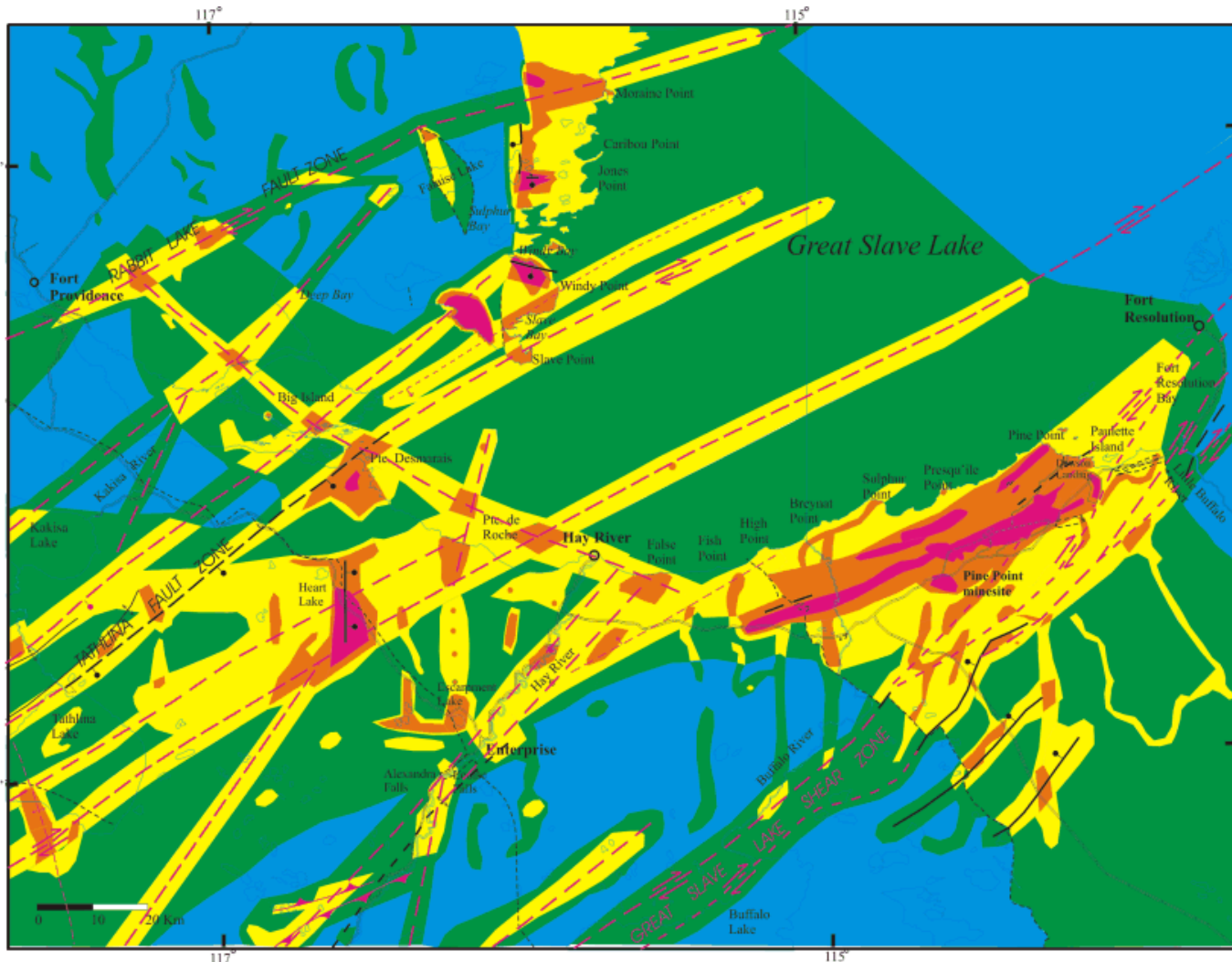
Aeromagnetismo

Gravimetria

Resistividade elétrica

MODELO DE PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA

Modelos de probabilidade de ocorrência



Mapa de probabilidade de ocorrência para o distrito de Pine Point (Canadá), elaborado a partir da combinação de ocorrências minas conhecidas e número e intensidade de vários fatores diagnósticos na área que são diretamente ou indiretamente relacionados a mineralizações de Pb-Zn do tipo MVT.

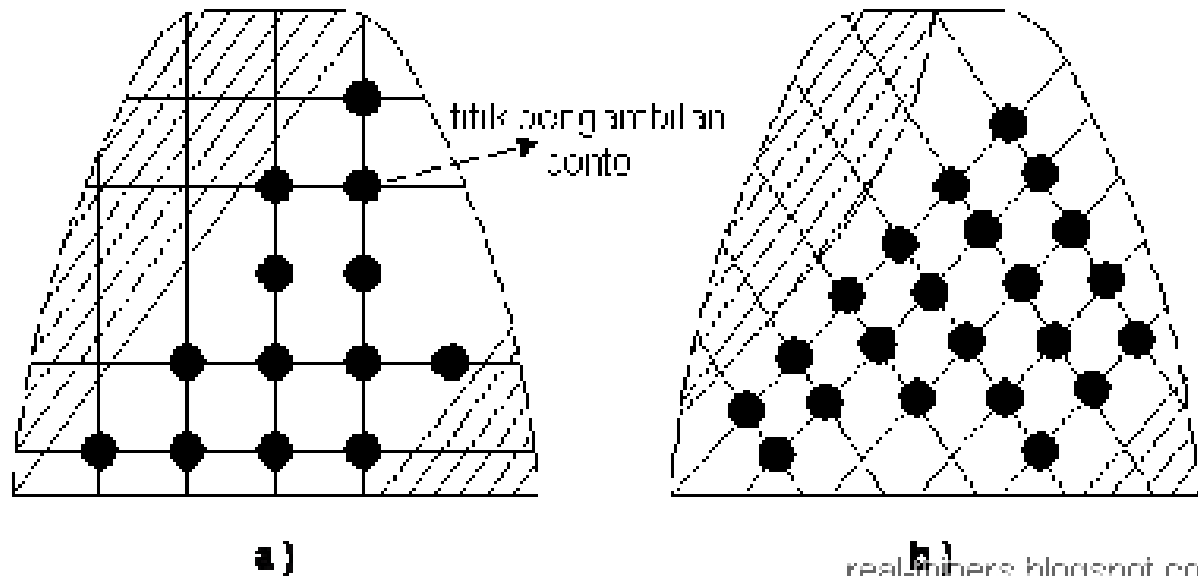
LEGEND



ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

EXPLORAÇÃO MINERAL

A depender da intensidade e dispersão das anomalias encontradas, ocorre maior detalhamento das informações.



FONTE:

<http://mininggeotek.blogspot.com.br/2013/06/sampling-methods.html>

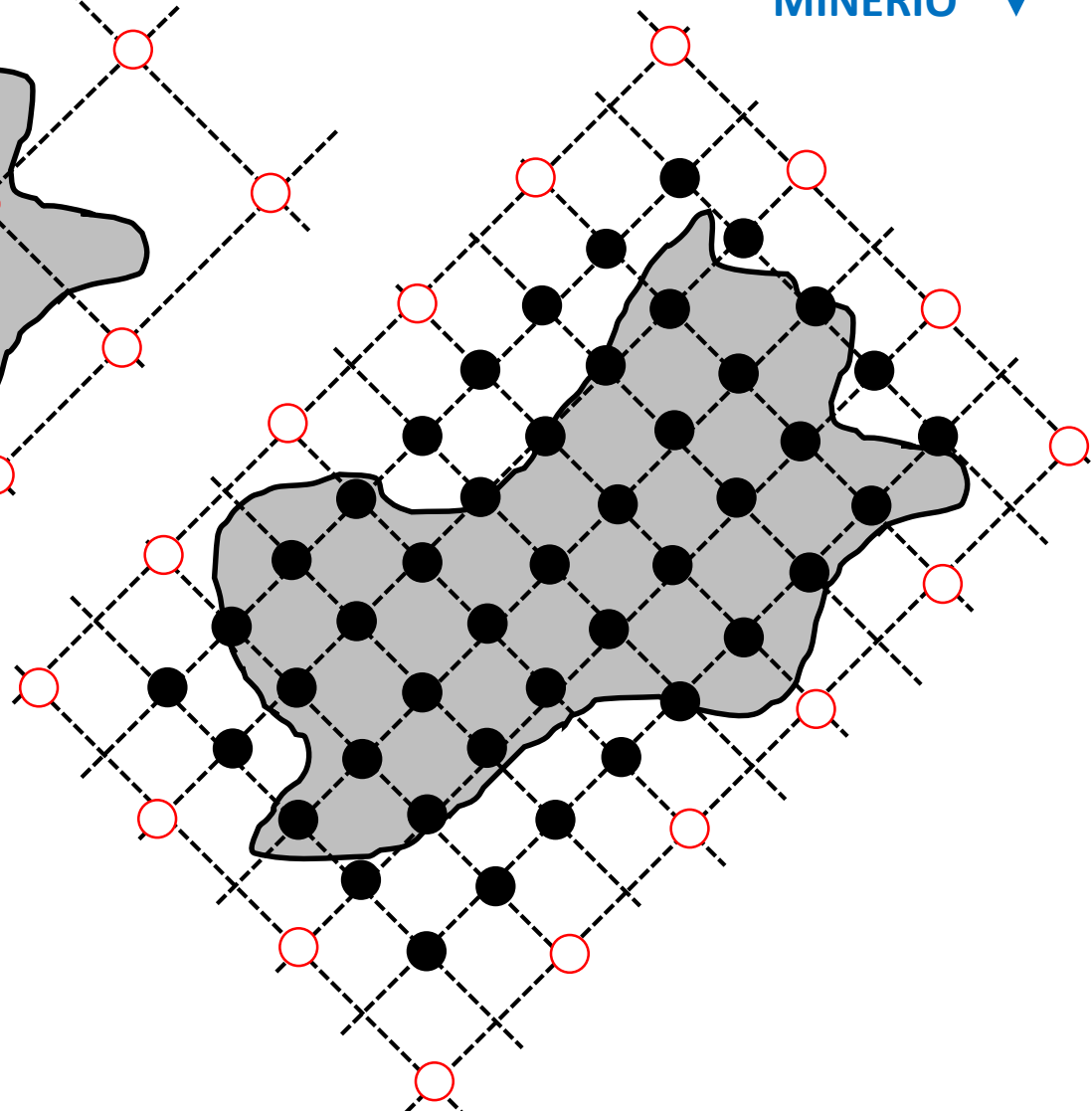
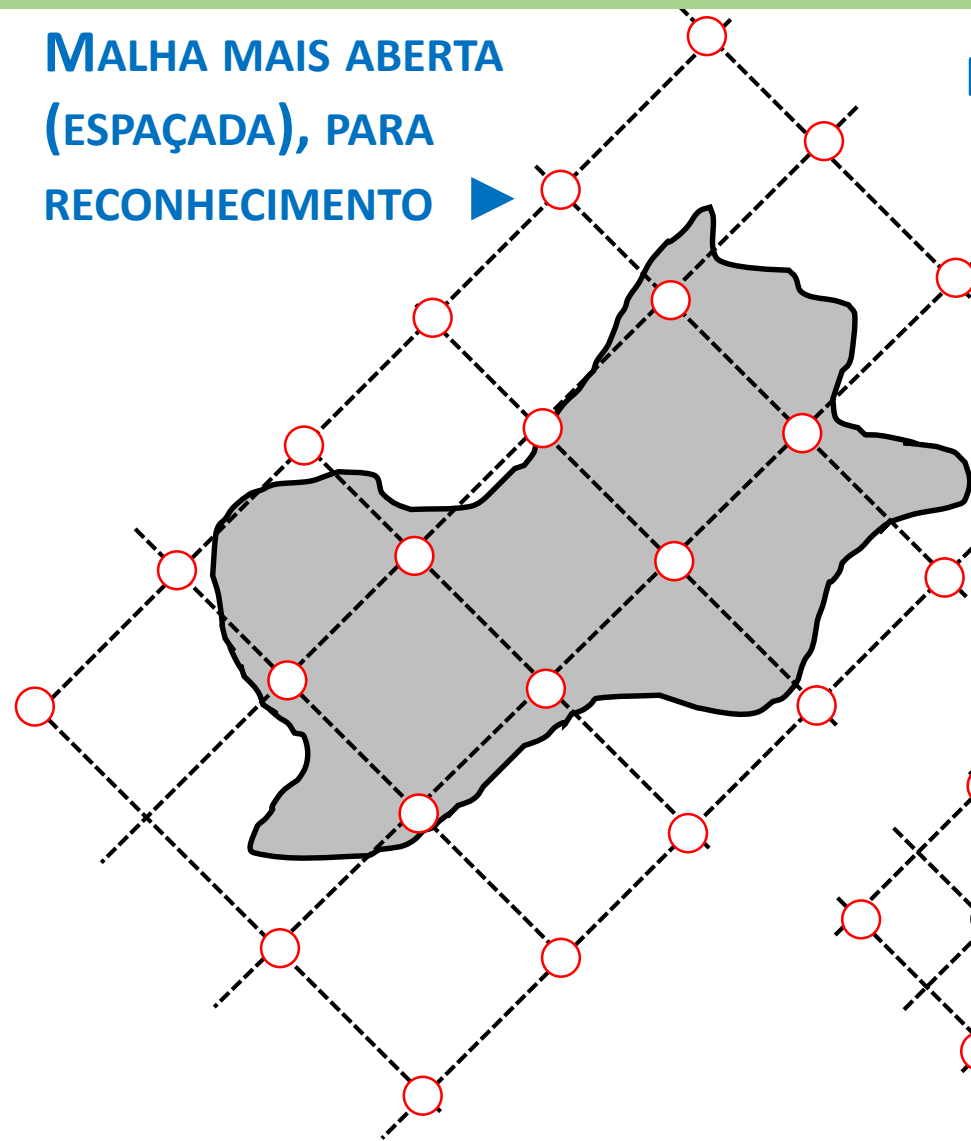
real-miners.blogspot.com

Decidindo-se, a partir dos dados superficiais, a **conveniência da avaliação do depósito**, que deve ser empreendida na **fase de Pesquisa Mineral**.

EXPLORAÇÃO MINERAL

**MALHA MAIS ABERTA
(ESPAÇADA), PARA
RECONHECIMENTO** ▶

**MALHA MAIS FECHADA (DETALHAMENTO),
PARA DELIMITAÇÃO DO CORPO DE
MINÉRIO** ▼





© Stephanie Sykora (<http://www.exploringtheearth.com>)

Atividades de campo (mapeamento geológico)



Uso da bússola em medições das atitudes das rochas.

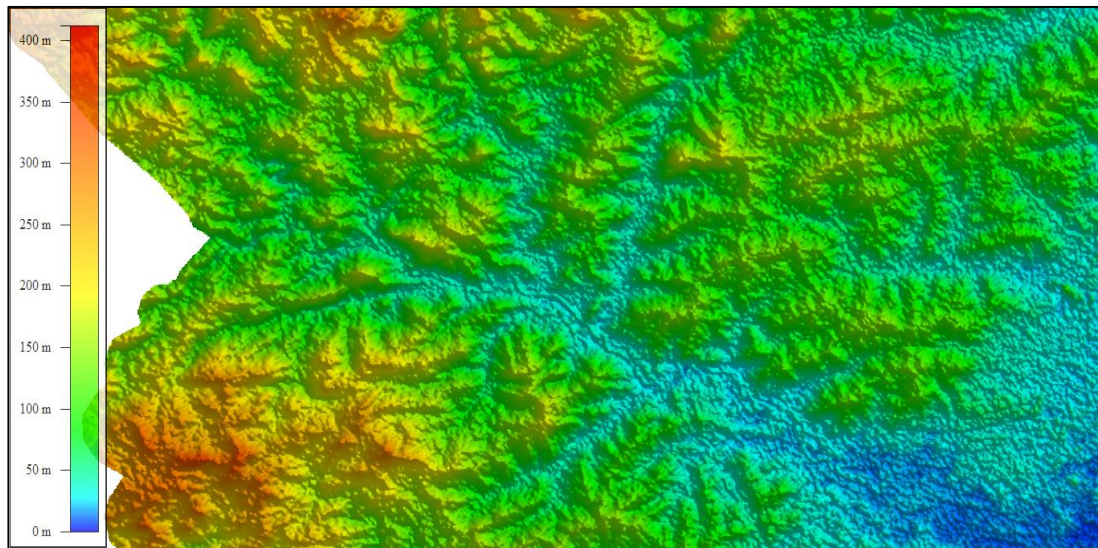


Imagem ASTER (Satélite)

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

EXPLORAÇÃO MINERAL



▲ Sonda Banka



▲ Amostragem de Solo



Amostragem de sedimento ativo de corrente ►

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

EXPLORAÇÃO MINERAL



◀ Abertura de trincheira para amostragem.



Trincheira para amostragem geoquímica ▶

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

PESQUISA MINERAL

A pesquisa mineral tem como objetivo a caracterização e avaliação do depósito mineral a partir de:

**MAIOR DETALHAMENTO
DAS INFORMAÇÕES**

GALERIAS

FUROS DE SONDAGENS

SHAFTS

**LEVANTAMENTOS
TOPOGRÁFICOS**

**CARACTERIZAÇÃO
MINERALÓGICA**

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

PESQUISA MINERAL

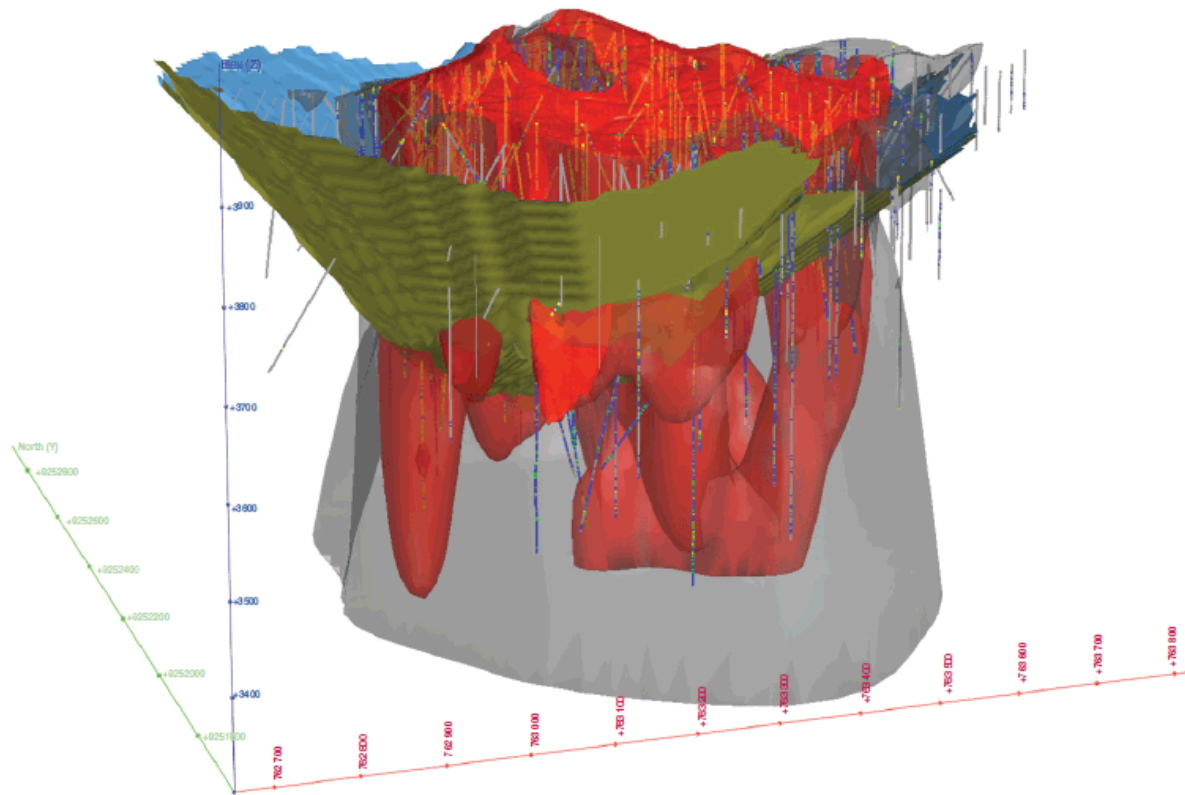
Na pesquisa mineral, a **sondagem é o método investigativo mais utilizado** e tem como principal objetivo **fornecer dados referentes ao depósito mineral, que sejam passíveis de interpretação.**



ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

PESQUISA MINERAL

A **finalidade** da pesquisa é conseguir a **geometrização do minério** e, conseqüentemente, obter suas **reservas e teores** até certa profundidade



É no **fim desta etapa** que se determinam os **custos de obtenção do material** que será extraído e conclui-se sobre a **viabilidade econômica** da sua exploração.

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

Terminados os trabalhos de prospecção e pesquisa mineral, **o depósito pode apresentar características econômicas que compensem a sua exploração e passa a ser considerado uma jazida mineral, ou pode representar apenas uma concentração anormal de um ou mais minerais, porém, sem interesse econômico imediato.**



Ocorrência..?



... Ou minério?

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

PESQUISA MINERAL: *diferenças entre recursos e reservas minerais*

Recursos Minerais representam uma estimativa de teor e tonelagem para um corpo mineralizado, baseado em amostragem.

concentração mineral ou o depósito na crosta da Terra, de material mineral natural ou de água mineral, em quantidade e qualidade suficientes que, uma vez pesquisado, exiba parâmetros que indiquem a possibilidade de seu aproveitamento econômico.

A estimativa dos recursos **representa um inventário** que, sob condições técnicas e econômicas justificáveis, pode, no todo ou em partes, **tornar-se economicamente viável.**

Porções de um depósito que não apresentam prospectos adequados para extração futura não representam recursos minerais.

Recursos são estimados e não calculados.

Novas informações ou uma nova interpretação geológica podem mudar as estimativas.

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

PESQUISA MINERAL: *diferenças entre recursos e reservas minerais*

Recurso Mineral é uma **mineralização estimada por pesquisa**.
Condicionantes diversos farão com que o todo, ou uma parcela do mesmo, possa se tornar uma Reserva Mineral.

Pesquisa mineral pode indicar que uma concentração ou depósito é economicamente aproveitável ou não, com base nas características geológicas do material, tais como tonelagem ou volume, qualidade e/ou teor, espessura, atitude, etc. A adequação dos parâmetros de quantidade e teor e/ou qualidades deve ser realizada, ou supervisionada, por um ou mais profissionais experientes e qualificados.

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

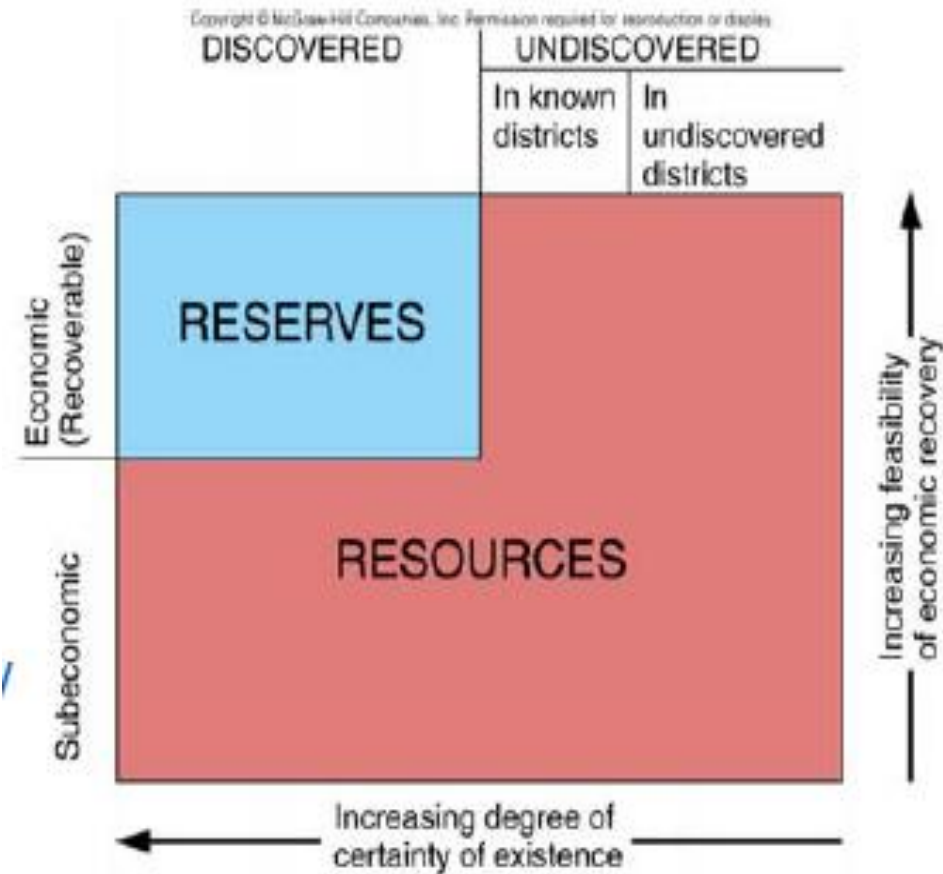
PESQUISA MINERAL: *diferenças entre recursos e reservas minerais*

Reserva mineral (ore reserve) é uma estimativa de tonelagem e teor de minério que espera-se que possa ser lavrado.

Porção do recurso mineral, a partir da qual um ou mais bens minerais podem ser extraídos econômica e legalmente à época de sua avaliação.

Reserva representa a parte “minerável” dos recursos minerais estimados.

É a parte do recurso mineral para a qual demonstra-se viabilidade técnica e econômica(o) para produção.



ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

DESENVOLVIMENTO MINEIRO

Corresponde a **preparação para a lavra** propriamente dita (*instalação do projeto de mineração*).



As etapas de desenvolvimento muitas vezes são semelhantes as da fase de **Exploração Mineral**, porém, se distinguem deles pela sua finalidade => **preparação para a lavra**.

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

DESENVOLVIMENTO MINEIRO

O Desenvolvimento mineiro envolve todos os serviços necessários para uma lavra eficiente e segura, tais como:

- *Vias de acesso;*
 - *Vias de transporte,*
 - *Dutos de ventilação,*
 - *Rotas de esgotamento,*
 - *Estabelecimento de unidades de desmonte,*
 - *Área de depósitos (rejeito, estéril, minério, piscina de decantação).*
 - *Planta de beneficiamento*
- ... etc.*

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

DESENVOLVIMENTO MINEIRO



As vias de acesso são consideradas como os desenvolvimentos principais e dependem essencialmente da extração diária planejada, dos meios de transporte utilizados, dos tipos de veículos, dos equipamentos empregados na lavra (*Mina Samitri, Mariana, MG*).



ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

DESENVOLVIMENTO MINEIRO

A **lavra** (em seu processo de exploração) geralmente **inicia-se** em estágio que o **desenvolvimento esteja suficientemente adiantado** para permiti-la.

Isso requer, quase sempre, a **execução de serviços adequados** para atingir as frentes de desmonte, para transporte dos produtos, para estocagem de estéril e rejeito.



O desenvolvimento sistemático da jazida deve objetivar:

- Acesso aos vários horizontes da jazida,
- Dividir o corpo em unidades de desmonte convenientes,
- Promover aberturas ou depósitos, de modo a possibilitar a lavra econômica, segura e higiênica.

DESENVOLVIMENTO MINEIRO



Mina de carvão norte-americana



◀ Operação de lavra em mina de argila, com acesso aos horizontes mineralizados (Mina Alagoinha, Argimax).

Avanço da frente de lavra em depósito de Au com desmonte de blocos de rochas (Jaguar Mining INC – MSOL) ▶





FONTE: <http://www.argimax.com.br/fotos.html>

O minério extraído é disposto em pilhas formando lotes, que podem ser reservados a clientes específicos para retiradas regulares (Mina Alagoinha, Argimax).

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

DESENVOLVIMENTO MINEIRO: Lavra e beneficiamento do Minério

➤ Representam operações das atividades no empreendimento mineiro.

LAVRA corresponde ao conjunto de *operações coordenadas que visam o aproveitamento industrial da jazida*, desde a extração de suas substâncias minerais úteis, até o beneficiamento das mesmas.



BENEFICIAMENTO de minério consiste de operações, aplicadas aos bens minerais, que visam modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem, contudo modificar a identidade química ou física dos materiais (*concentração do bem de interesse*).



ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

DESENVOLVIMENTO MINEIRO: Lavra e beneficiamento do Minério



O produto da mina (o minério lavrado) é frequentemente denominado ROM (*run of mine*), que vem a ser a alimentação da usina de beneficiamento.

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

DESENVOLVIMENTO MINEIRO: Lavra e beneficiamento do Minério



A lavra pode ser executada de modo bastante simples, por meio de atividades manuais (e.g. garimpeiros), ou até por meios altamente mecanizados e em larga escala.

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

LAVRA

corresponde ao conjunto de operações coordenadas que visam o aproveitamento industrial da jazida. Há lavras a céu aberto, *shafts* e subterrâneas.



Mas isso....

**DESENVOLVIMENTO
MINEIRO** (*lavra e beneficiamento*)



... Veremos na próxima aula.

BENEFICIAMENTO

Para ser aproveitado pela indústria o minério necessita ser tratado ou beneficiado.

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

DESATIVAÇÃO DA MINA

Corresponde ao **encerramento do empreendimento**, e visa a preparação da área para outra finalidade, visto a **atividade mineral ser uma ação temporária**. Portanto, a área afetada **deve ser devolvida para outra finalidade/uso**.



O plano de desativação de uma mina pode ser definido como o conjunto de ações preparadas na fase anterior às operações mineiras, reavaliado periodicamente durante a vida útil da mina, visando encontrar o desenvolvimento sustentável após sua desativação, com a participação de todos os interessados (empresa, comunidade e demais cidadãos).

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

DESATIVAÇÃO DA MINA

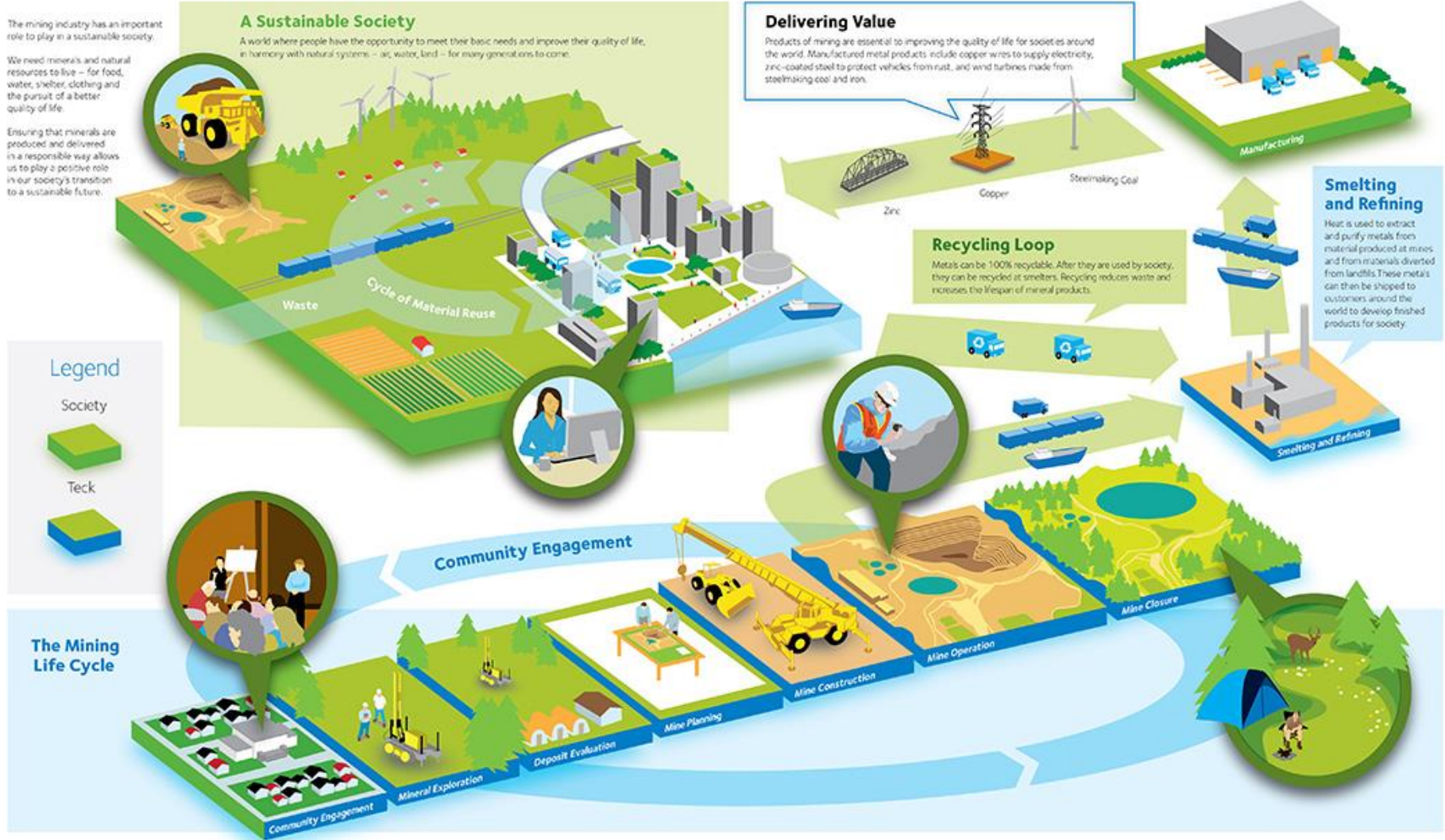
As atividades de desativação têm por **função colocar as obras e instalações resultantes** em condições tais que, ou possam ser removidas, vendidas, ou, caso permaneçam na localidade, não **coloquem em risco a saúde e a segurança do público circundante e do meio ambiente**.

O projeto de desativação do empreendimento mineiro **deve fazer parte do próprio projeto de lavra** (o fechamento é parte integrante do seu ciclo de vida).

É durante a fase de desativação do empreendimento minerário que se **deve gerir os efeitos dos impactos, no sentido de mitigá-los**, para que **não haja a geração de passivos ambientais** que, além do problema já acarretado, fatalmente, serão o **veículo propagador da imagem negativa da mineração**.

ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

The Cycle of Mineral Use in a Sustainable Society



ETAPAS DA ATIVIDADE MINERAL

DESATIVAÇÃO DA MINA

O objetivo mais amplo de um plano de desativação é assegurar que a desativação e recuperação de um sítio satisfaçam os seguintes requisitos:



- ❖ Permitir um uso produtivo e sustentável do local degradado após a mineração e que seja aceitável por todos os envolvidos (comunidade, empresa e órgão ambiental);
- ❖ Proteger a saúde e a segurança públicas;
- ❖ Diminuir ou eliminar danos ambientais e, como resultado encorajar a sustentabilidade do ambiente;
- ❖ Minimizar os impactos sócio-econômicos adversos (desemprego, etc.);
- ❖ Maximizar os benefícios sócio-econômicos.



Desativação das atividades de lavra em mina a céu aberto.



Desativação da mina de Gregg River (Hinton, Alberta, Canadá)

FONTE: <http://www.trcr.bc.ca/mine-closure-2011-35th-annual-trcr-symposia-a-success/>



Desativação da mina de Luscar (Hinton, Alberta, Canadá).

FONTE: <http://www.trcr.bc.ca/mine-closure-2011-35th-annual-trcr-symposia-a-success/>

