

# Orientações sobre capacitação e treinamento em melhores práticas na MAPE de ouro

Guia para Cooperativas na Mineração Artesanal e em Pequena Escala (MAPE) no Brasil



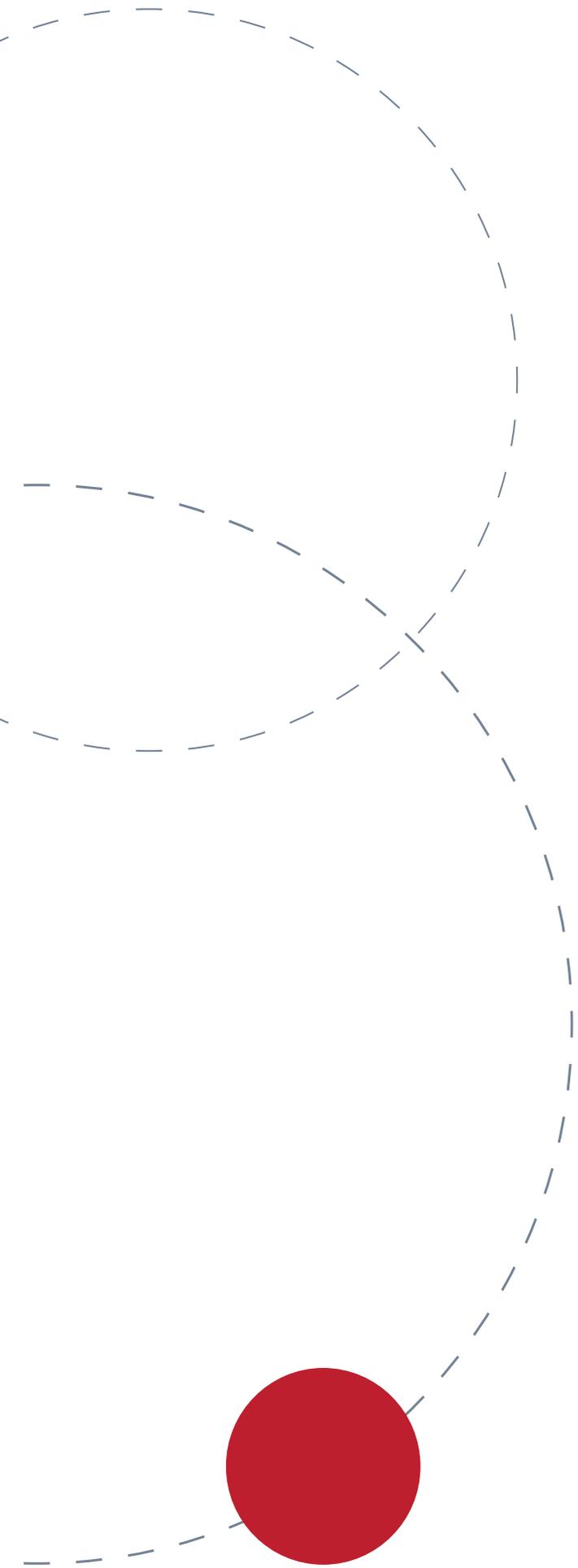
# Orientações sobre capacitação e treinamento em melhores práticas na MAPE de ouro

---

Guia para Cooperativas na Mineração Artesanal e em Pequena Escala (MAPE) no Brasil

**Responsável:**

Prof. Dr. Marcello M. Veiga



## **Coordenação Geral**

Prof. Dr. Giorgio de Tomi (NAP.Mineração/USP)

## **Coordenadores técnicos**

Carlos Henrique Xavier Araujo, MSc (NAP.Mineração/USP)

Oswaldo Menta Simonsen Nico, MSc (NAP.Mineração/USP)

## **Consultores Internacionais**

Prof. Dr. Marcello Mariz Veiga (University of British Columbia)

Prof. Dr. André Xavier (University of British Columbia)

## **Especialista em cooperativismo mineral**

Dr. Alex Dos Santos Macedo (Organização das Cooperativas do Brasil)

## **Iniciação científica**

Elisangela Romanelli (Universidade Cruzeiro do Sul)

Sara Wenceslao Ferrarini (Universidade de São Paulo)

Gustavo Ecker Ferreira (Universidade de São Paulo)

Joao Vittor Rodrigues Teixeira (Universidade de São Paulo)

## **PROGRAMAS DE CAPACITAÇÃO E TREINAMENTO**

### **Programa de capacitação e treinamento em governança**

Prof. Dr. André Xavier (University of British Columbia)

Dr. Alex dos Santos Macedo (Organização das Cooperativas do Brasil)

Samuel Soares da Silva, MSc (Universidade Federal de Viçosa)

Tamires Ramalho (Universidade Federal de Viçosa)

Prof. Dr. Alan Ferreira de Freitas (Universidade Federal de Viçosa)

### **Programa de capacitação e treinamento em saúde, segurança e gerenciamento de risco**

Prof. Dr. Sergio Medici de Eston (Universidade de São Paulo)

### **Programa de capacitação e treinamento em meio ambiente e fechamento de mina**

Prof. Dr. Wilson Siguemasa Iramina (Universidade de São Paulo)

### **Programa de capacitação e treinamento em equidade de gênero**

Profa. Dra. Anabelle Carrilho (UnB)

### **Orientações sobre capacitação e treinamento em melhores práticas na MAPE de ouro**

Prof. Dr. Marcello Mariz Veiga (University of British Columbia)

## **Fotografias**

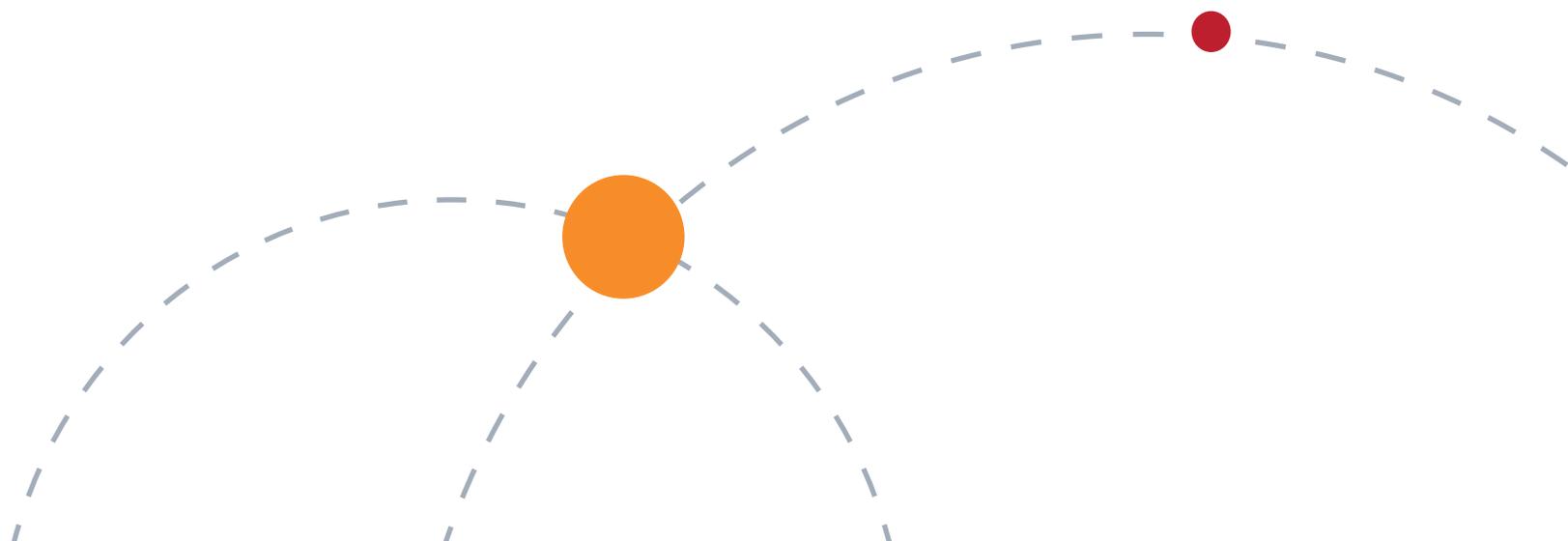
Alex Macedo

Carlos Henrique Xavier Araujo



# SUMÁRIO

<b>1. A Mineração Artesanal e em Pequena Escala (MAPE) no Brasil.....</b>	<b>1</b>
<b>2. O Mercúrio na Mineração Artesanal e em Pequena Escala.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Preparando o Treinamento para a Capacitação dos Mineiros e Membros.....</b>	<b>3</b>
1.ª parte: mostrar aos mineiros como ter mais controle sobre suas operações .....	5
2.ª parte: o mercúrio e seus problemas .....	13
3.ª parte: trabalho de campo.....	14
4ª parte: mostrando como uma usina de processamento eficiente funciona .....	15
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>18</b>
<b>SUGESTÕES DE LEITURA.....</b>	<b>20</b>
<b>LISTA DE SIGLAS .....</b>	<b>21</b>





Este material faz parte de uma série de programas de capacitação e treinamento que incluem: governança para cooperativas na mineração, saúde, segurança e gerenciamento de riscos, meio ambiente e fechamento de mina e equidade de gênero.

O conteúdo foi elaborado com recursos do Projeto ASGM Co-existência no Brasil, coordenado pelo Núcleo de Pesquisa para a Pequena Mineração Responsável (NAP.Mineração) da Universidade de São Paulo, conta com financiamento do The Extractives Global Programmatic Support (EGPS) do Banco Mundial, referente ao EGPS 2 Emergency Response Window for Artisanal Mining Communities e, também, com a participação de diversos parceiros<sup>1</sup>.

A intenção deste trabalho é apoiar as comunidades locais relacionadas com a Mineração Artesanal e em Pequena Escala (MAPE) nas respostas de curto e médio prazo à Covid-19, relacionadas com a educação, formação e capacitação. Todas as opiniões, pontos de vista e comentários expressos neste trabalho pertencem exclusivamente aos autores e não refletem, necessariamente, o Banco Mundial ou EGPS.

### **Copyright**

Todos os dados e conteúdo escrito do presente relatório estão protegidos pela Licença Creative Commons Atribuição Não Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0). Os leitores são livres para compartilhar e adaptar o material, mas devem fazer as devidas citações, fornecer um link para o material original e indicar se foram feitas alterações. O material publicado não pode ser utilizado para fins comerciais, nem de forma discriminatória, degradante ou distorcida.

---

<sup>1</sup>OCB (Organização das Cooperativas Brasileiras), UBC (Norman B. Keevil Institute of Mining Engineering da University of British Columbia, Canada), UFV (Universidade Federal de Viçosa), Cooperativa dos Garimpeiros do Vale do Rio Peixoto (COOGAVEPE) e Cooperativa de Mineração dos Garimpeiros do Lourenço (COOGAL).



## **APRESENTAÇÃO**

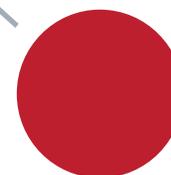
Nesta cartilha, você terá a oportunidade de compreender melhor a importância de um projeto de formação que seja bem-sucedido e que possa ensinar aos mineiros a importância de produzir ouro de forma mais eficaz e, conseqüentemente, reduzir impactos ambientais e de saúde.

É importante salientar que a implementação de estratégias eficazes e específicas para capacitação e treinamento na MAPE de ouro deve ser facilitada por meio da evolução da assistência governamental, políticas e regulamentos que atendam às condições locais.

Bons estudos!

### **Como usar este Programa de Capacitação e Treinamento**

Os conceitos e metodologias apresentadas neste Programa de Capacitação e Treinamento são de livre utilização para desenvolvimento de materiais educativos, pedagógicos e de conscientização, bem como para realização e facilitação de treinamentos de curta e média duração por multiplicadores locais.



## 1. A MINERAÇÃO ARTESANAL E EM PEQUENA ESCALA (MAPE) NO BRASIL

Para começar, precisamos falar um pouco sobre o que é Mineração Artesanal e em Pequena Escala e qual é o atual cenário da MAPE no Brasil.

A MAPE é considerada um setor complexo e diversificado, que contempla uma gama de situações muito diferentes entre si, o que acaba dificultando sua definição. Entretanto, podemos elencar algumas características que podem ajudar a identificar esse tipo de atividade:

- Exploração de depósitos de pequeno porte;
- Baixo aporte de capital;
- Emprego de técnicas rudimentares de extração;
- Pouca tecnologia no processo produtivo;
- Trabalho intensivo em mão de obra;
- Dificuldade no acesso a mercados formais;
- Informalidade;
- Baixo nível de segurança e saúde ocupacional e altos impactos ambientais e sociais (OIT, 1999; HENTSCHEL et al. (2002); IGF, 2017; WORLD BANK, 2020).



### LEMBRE-SE!

A atividade de mineração artesanal não se limita a essas características. Podemos encontrar mineração em pequena escala, em depósitos de média escala, ou com mais acesso ao mercado, por meio de cooperativas, por exemplo.

Para você ter uma ideia da dificuldade de se definir o que se enquadra como MAPE, de acordo com o **Fórum Intergovernamental sobre Mineração, Minerais Metais e Desenvolvimento Sustentável (IGF)**, o setor da Mineração Artesanal e em Pequena Escala é composto desde homens e mulheres, mineiros individuais informais, que usam a extração mineral como meio de subsistência, até entidades comerciais e formais que praticam a mineração em pequena escala e que produzem minerais de maneira responsável.

No Brasil, a Lei n.º 7.805, de 18 de julho de 1989, alterada pelo Decreto n.º 10.966/2022, define MAPE como a atividade de extração de substâncias

minerais garimpáveis, nas formas listadas na mesma lei, incluindo o garimpo.

Estima-se que cerca de 861 mil trabalhadores conseguem seu sustento trabalhando com mineração no país. Para se ter uma ideia da importância da extração em pequena escala, em 2017, cerca de 88,2% das minas registradas e em operação no Brasil retiravam até 100 mil toneladas de minérios por ano, sendo, assim, consideradas de micro ou de pequeno porte (IBRAM, 2020).

Por isso é importante olhar para frente e discutir questões que possam contribuir com a evolução do trabalho da MAPE, visando o desenvolvimento e seu acesso a mercados formais.



#### IMPORTANTE!

Estima-se que a Mineração Artesanal e em Pequena Escala é um meio de subsistência para mais de 40 milhões de pessoas em todo o mundo, principalmente nos países em desenvolvimento.

## 2. O MERCÚRIO NA MINERAÇÃO ARTESANAL E EM PEQUENA ESCALA

A literatura atual aponta que muitos dos problemas sociais, econômicos, legais e técnicos enfrentados pelo setor da MAPE de ouro estão direta ou indiretamente relacionados ao uso de mercúrio.

Todo mineiro e mineira sabe a dificuldade que se enfrenta para separar os pequenos (e muitas vezes minúsculos) grãos de ouro de outros materiais e sedimentos dragados, seja em rios ou em terra escavada. Mesmo depois de passar por diversos processos para que os metais – mais pesados que a areia e o cascalho – se assentem, ainda sobram partículas que precisam ser removidas. E aí é que entra o mercúrio (Hg).

Entre suas muitas propriedades, esse metal líquido se junta ao ouro, formando o que chamamos de amálgama (quer dizer mistura, união, liga). Essa mistura acaba unindo os grãos de ouro, o que facilita sua separação. E, como o mercúrio derrete a temperaturas mais baixas, sua remoção do amálgama é fácil, sobrando apenas o tão desejado metal dourado. O mercúrio é o único metal conhecido que fica líquido em temperatura ambiente! Seu ponto de fusão, ou seja, a temperatura em que fica sólido é de  $-38,87^{\circ}\text{C}$ !



#### VEJA ISSO:

A mineração artesanal e em pequena escala de ouro é a maior fonte global de poluição por mercúrio, com uma estimativa de 2 mil toneladas de mercúrio perdidas para o meio ambiente por ano.

Fonte: UNEP, 2019.

Só que o uso do mercúrio causa graves problemas. Entre eles está o fato de que os sedimentos (resíduos) descartados durante esse processo saem contaminados por esse metal e, quando absorvidos por plantas e animais, tornam-se muito nocivos à saúde da população. Além disso, o vapor de mercúrio inalado por mineiros, beneficiadores, compradores e vendedores de ouro é muito tóxico, causando problemas sérios de saúde.

Por isso é tão importante que se invista na redução, no uso das chamadas melhores práticas ou até mesmo na eliminação total do mercúrio. No próximo item, vamos apresentar um treinamento sobre como tornar a produção mais efetiva e investir na proteção do meio ambiente, da comunidade e dos trabalhadores das minas.



#### LEMBRE-SE!

Nosso país está habilitado a desenvolver e implementar seu Plano de Ação Nacional para a Mineração Artesanal e em Pequena Escala de Ouro (PAN) para o Brasil, em conformidade com as diretrizes do Anexo C da Convenção de Minamata.

A Convenção Internacional de Minamata foi assinada pelo Brasil e por outros 128 países. O objetivo desse tratado é impor restrições ao uso de mercúrio a fim de reduzir emissões desse elemento em todos os segmentos, para a proteção da saúde humana e do meio ambiente.

### 3. PREPARANDO O TREINAMENTO PARA CAPACITAÇÃO DOS MINEIROS E MEMBROS DE COOPERATIVAS DE PEQUENA MINERAÇÃO

Antes de mais nada, precisamos falar sobre alguns detalhes que você deve considerar na hora de preparar o treinamento dos seus trabalhadores ou cooperados. Um ponto muito importante para o sucesso da iniciativa é garantir o engajamento e a presença de todos. Sem isso, os mineiros

terão dificuldades para implementar as técnicas apresentadas, voltando às antigas.

Uma forma de aumentar esse engajamento é trabalhando o objetivo do curso com foco no aumento da produtividade e nos ganhos com a entrada em novos mercados. A proteção ao meio ambiente e a redução dos danos à saúde podem ser apresentadas como uma consequência dessa mudança.



### IMPORTANTE!

Há também o fato de que muitos mineiros tendem a não confiar em "estranhos", ou seja, pessoas de fora da mina ou da cooperativa, já que muitas vezes eles descobrem a jazida, mas não possuem o título sobre ela. Converse com seus cooperados para que entendam a importância do treinamento e o quanto podem ganhar com o que vai ser demonstrado.

Outro ponto essencial para o sucesso da iniciativa é a escolha de quem vai treinar os mineiros. Dê preferência a líderes da comunidade ou pessoas que tenham algum tipo de influência sobre os mineiros. Os treinadores precisam falar claramente e de forma simples, para que possam ser compreendidos. É importante que esses indivíduos passem também por um treinamento, desta vez com especialistas, sobre os assuntos que serão tratados a seguir.

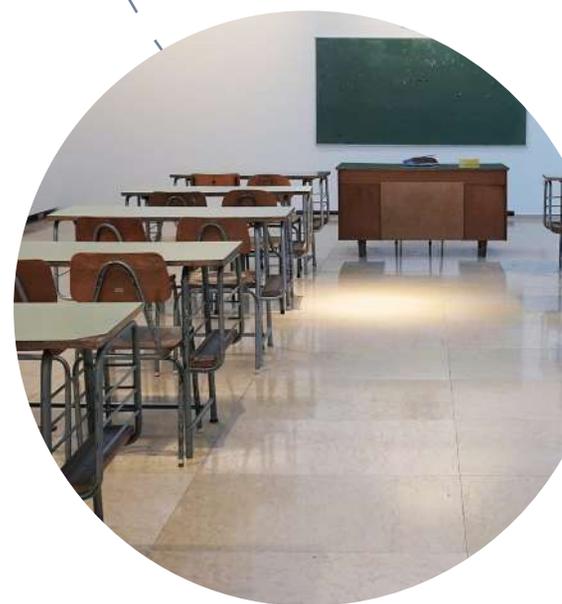
Além disso, você precisa levar em conta as características únicas presentes na cooperativa ou na mina onde o treinamento será aplicado. Assim, o curso pode ser ajustado para a realidade de quem vai participar.



### LEMBRE-SE!

Siga as seguintes orientações quando estiver se preparando para treinar os mineiros:

- O projeto e o currículo do treinamento precisam ser adaptados e específicos para cada área;
- É fundamental tornar a concepção do projeto um processo participativo. Converse com mineiros e líderes comunitários antes de planejar e desenhar o projeto;
- Selecione treinadores que sejam líderes comunitários e sejam influentes;
- As melhorias apresentadas para aumentar a produção e reduzir os





impactos ambientais e à saúde precisam ser possíveis, lucrativas e efetivas em termos de custos;

- Projetos de treinamento exigem presença, flexibilidade e engajamento constante.

Fonte: Stocklin-Weinberg et al., 2019.

O próximo passo é projetar o treinamento em si. Um bom ponto de partida é mostrar aos mineiros os problemas que normalmente acontecem e que reduzem a produtividade de ouro. Para isso, eles precisam aprender a calcular o seu Grau de Recuperação atual, usando como base a quantidade de material retirado e a quantidade de resíduos que sobra no final do processo. Esses são temas que devem ser trabalhados na primeira parte do treinamento.

Muitos dos obstáculos para a obtenção do grau de recuperação estão relacionados à retirada de amostras feita de maneira errada. Por isso, muitas vezes uma intervenção em uma mina de ouro pode não gerar os resultados esperados. Por exemplo, se o minério tiver pouco ouro e a amostragem for feita do jeito errado, a culpa pode cair na nova máquina ou técnica e não na pequena quantidade de metal. Assim, é muito importante tratar da eficiência da amostragem antes de apresentar novos jeitos de se separar o ouro dos resíduos.

O treinamento que será descrito a seguir foi dividido em quatro fases:

- Mostrar aos mineiros como ter mais controle sobre suas operações;
- Demonstrar os riscos ambientais e à saúde causados pelo uso errado do mercúrio, cianeto, descarte de resíduos, óleo na água etc.;
- Demonstrar aos mineiros em campo que a sua retirada de ouro é baixa e propor pequenas mudanças em seus processos;
- Apresentar métodos para eliminar totalmente o mercúrio e estabelecer uma planta de processamento mais limpa e eficiente, discutindo os aspectos econômicos.

### **1.<sup>a</sup> parte: mostrar aos mineiros como ter mais controle sobre suas operações**

Nessa primeira etapa, o foco deve estar em mostrar aos mineiros como eles podem ter um controle mais eficiente do que produzem e de suas operações como um todo.

Veja algumas sugestões de tópicos que podem ser trabalhados com a turma:

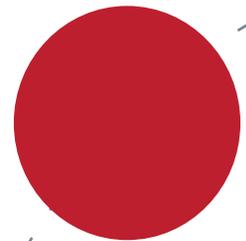
- O mercado de ouro, produção mundial e seus usos possíveis;
- Definições de mineração artesanal x mineração tradicional;
- As propriedades do ouro e como calcular sua pureza (como usar uma escala de densidade caseira para verificar a pureza do ouro);
- Como o ouro é mineralizado (minérios primários e secundários): depósitos aluviais, coluviais e eluviais;
- Como as pepitas de ouro se formam;
- Conceitos de ouro livre:, ouro liberado em outros minerais (sulfetos e silicatos);
- Distribuição granulométrica;
- Conceitos de teor de ouro, recuperação metalúrgica e razão de enriquecimento;
- Método de análise de teor de ouro: ensaio de fogo e absorção atômica;
- Análise de tamanhos dos grãos: como o ouro está distribuído nas diferentes frações granulométricas, ouro fino e ouro não liberado nas frações mais grosseiras;
- Situações em que o ouro pode ser concentrado e amalgamado (conceitos de libertação);
- Moagem e não moagem (quando é possível, vantagens e custos);
- Métodos para concentrar o ouro: calhas concentradoras, centrífugas;
- Como funciona uma calha concentradora e como operam os outros métodos de concentração por gravidade;
- Como aumentar a recuperação de ouro mesmo usando uma caixa concentradora (ângulos, tipos de tapete, densidade da polpa, velocidade da vazão etc.);
- Amalgamação segura: como usar mercúrio com segurança e com mais eficiência (ativação do mercúrio, uso de barris de amalgamação, uso de diferentes retortas caseiras etc.);
- Ida a campo para mostrar aos mineiros seus principais problemas.



#### ATENÇÃO!

Você pode começar o curso apresentando alguns dados sobre como as reservas de ouro no mundo não mudaram nos últimos dez anos:

- Em 2021, foram produzidas 54 mil toneladas de ouro, sendo a China o maior produtor, com 370 toneladas por ano (USGS, 2022).
- A Austrália tem as maiores reservas, com 11 mil toneladas (Statista, 2022).
- Empresas de mineração tradicional concentram suas atividades em grandes depósitos (com mais de 57 toneladas), restando assim as milhares de pequenas reservas para os mineradores artesanais.





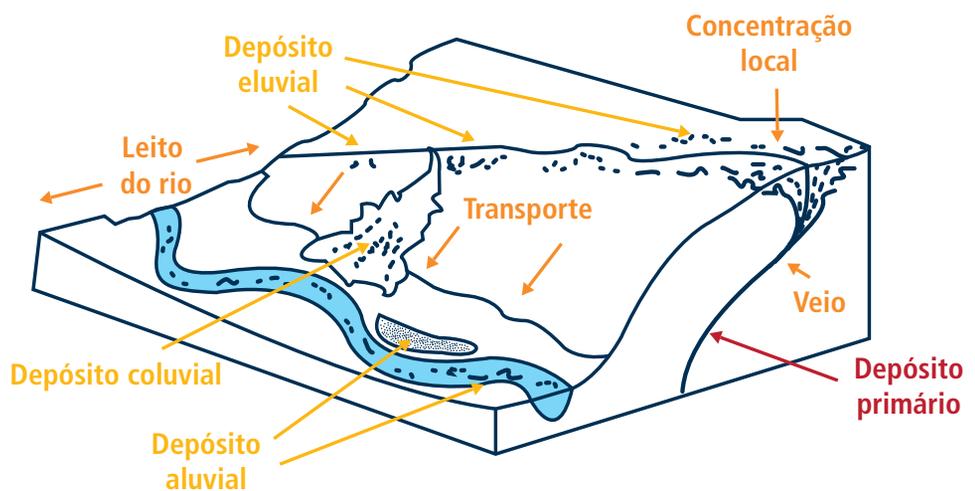
Quanto aos usos possíveis para o ouro minerado, você pode citar que cerca de 50% são destinados à fabricação de joias, 30% para investimento, entre 10% e 15% para os bancos centrais e de 5% a 10% para a área de tecnologia (World Gold Council, 2022). Ressalte que a China e a Índia são os maiores consumidores de ouro em joias, já que, culturalmente, não investem em bancos.

Em seguida, o instrutor pode falar sobre como a realidade dos mineiros no Brasil não é diferente da realidade dos mineiros ao redor do mundo, mostrando imagens da MAPE de ouro em diferentes continentes e mencionando que aproximadamente 20 milhões de pessoas em 70 países estão diretamente envolvidas com a MAPE de ouro (IGF, 2017; Veiga e Fadina, 2020). Nos exemplos, destaca-se a participação das mulheres, maior na África – onde cerca de 30% dos mineiros são mulheres (Hinton *et al.*, 2003).

O próximo passo é falar sobre as propriedades do ouro, além de fazer uma descrição breve dos tipos de minérios (primário e secundário, aluvial, coluvial e eluvial), demonstrando o seu processo de mineralização e ilustrando o tipo de ouro encontrado em cada tipo de depósito.

### Exemplos de tipos de depósitos de minério de ouro

Fonte: B. Peregovich, 2005



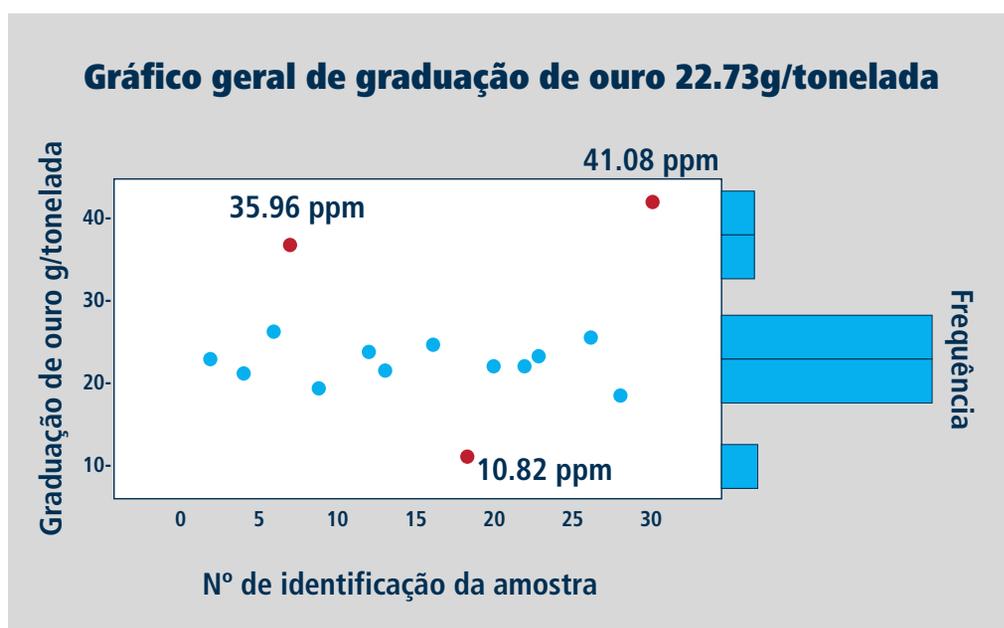
#### IMPORTANTE!

Não deixe de mencionar as seguintes características:

- Nos minérios aluviais, o ouro é liberado naturalmente quando rola pelo veio de água.

- Já nos minérios coluviais e eluviais, o ouro é parcialmente liberado e muitos mineiros descartam as porções mais grosseiras que possam estar associadas a silicatos.
- No caso dos minérios primários, o ouro não é liberado e é necessário triturar.

Em uma próxima etapa, demonstre em laboratório como analisar a graduação de ouro, seja por meio do ensaio de fogo ou pela espectrometria de absorção atômica. Esse conhecimento é muito importante para que os mineiros compreendam como cada amostra pode ter uma graduação diferente devido ao efeito das pepitas de ouro, como observamos na imagem abaixo.



**ATENÇÃO!**

Não é trivial convencer os mineiros a confiar em procedimentos analíticos para conhecer os teores de ouro nos minérios.

Ao falar sobre o efeito pepita, evite usar a análise dos concentrados, principalmente pela variação dos teores neles. Além disso, os mineiros tendem a ficar incomodados quando pessoas estranhas tocam em suas amostras. Baseie-se no peso do concentrado e na análise da quantidade de material retirado e na quantidade de resíduos, além do peso do material processado.





A porcentagem de ouro recuperado pode ser calculada também com base na análise da quantidade de material retirado e de resíduos. Para que a análise seja mais precisa, use material retirado por pelo menos quatro horas de operação, escolhendo duas amostras compostas para avaliação. Uma vez que os mineradores artesanais não têm o controle geológico do minério, esse processo precisa ser repetido pelo menos dez vezes, de preferência em diferentes partes da mina.

Uma vez que os mineiros não estão acostumados com a análise do material utilizando qualquer tipo de equipamento, essas análises químicas precisam ser desmistificadas. Toda essa primeira parte do treinamento deve se encaminhar para a demonstração da eficiência dos métodos de análise e os problemas que envolvem o processo de amostragem. Por isso é tão importante levar os mineiros a um laboratório, para que compreendam que podem confiar nos resultados ali obtidos.

Veja na figura a seguir como calcular a recuperação de ouro em uma operação artesanal:

### Como calcular a recuperação do ouro (Distribuição)

Alimentação: Minério de Au

Rejeitos:

$$W_{Au} = 1t$$

$$Y_{Au} = \text{Graduação} = 10 \text{ g/t}$$

$$D_{Auf} \% = 100\%$$

Análise química

$$W_t \sim 1t$$

$$Y_t = \text{Graduação} = 2 \text{ g/t}$$

$$D_{Aut} \% = ???\%$$

$$D_{aut} \% = \frac{(W_t * Y_t)}{(W_{Au} * Y_{Au})} * 100 \dots \text{ se considerarmos que } W_t = W_{Au}$$

$$D_{Aut} \% = \frac{2}{10} * 100 = 20\% , \text{ Então}$$

$$100 - 20 = D_{Auc} \% \text{ no concentrado} = 80\%$$

Essa é a recuperação do ouro!

Agora que está claro como os mineiros podem ter maior controle sobre suas operações, chegou a hora de falar sobre a concentração de ouro. Para isso, é imprescindível falar primeiro sobre o que é a **liberação mineral**. Diferentemente das partículas de silicatos (como o quartzo, por exemplo), o ouro não precisa ser totalmente liberado, já que entre 10% e 20% do seu peso pode ser capturado por processos de concentração por gravidade.

Outra forma de liberar as partículas de ouro é por meio da moagem. Entretanto, é preciso ressaltar que o ouro não é moído durante o processo, mas se solta dos materiais ditos "inúteis".



### ATENÇÃO!

Reforce a seguinte informação: partículas de ouro que não foram liberadas não podem ser capturadas com mercúrio. Porém, quando em contato com esse metal, elas podem ser dissolvidas com o uso de um lixiviante, como o cianeto.

Depois de o conceito de liberação ser bem compreendido pelos participantes, chegou a hora de falar sobre a **classificação de tamanho**. Essa fase é considerada o coração do processamento mineral. A maioria dos mineiros artesanais acredita que é uma perda de tempo operar instalações de processamento em circuito fechado, que envia as partículas muito grandes e grosseiras de volta ao circuito de moagem. Entretanto, o circuito fechado deixa os grãos com um tamanho mais homogêneo, empurra as partículas de ouro para fora do moinho e gasta menos energia por tonelada de minério processado. Mostre aos mineiros os diferentes tipos de peneiras, *trommels*, espirais de classificação (Atkins) e hidrociclones. Nesse ponto é essencial salientar que a maior parte do ouro perdido pelos mineiros artesanais não é liberada, ou seja, o ouro fica preso nas partículas grosseiras de silicato.

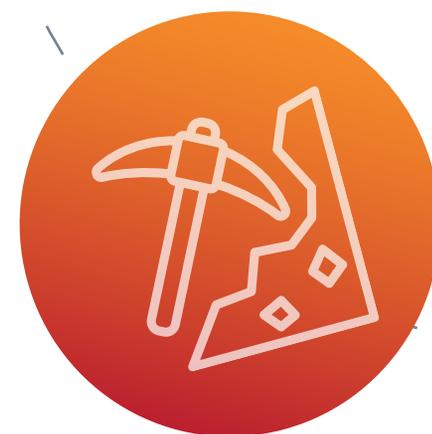
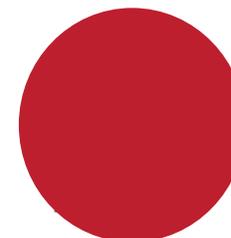
O instrutor pode apresentar, então, os vários tipos de equipamentos de cominuição utilizados mundo a fora, como britadeiras de maxilas, moinhos de martelos, moinhos chilenos e moinhos de bolas. É indispensável que os mineiros compreendam que uma boa concentração de ouro começa com a trituração e moagem para libertar parcialmente as partículas.

Agora que o minério está moído e classificado por tamanho, podemos obter o chamado P80, que é quando 80% das partículas de ouro estão abaixo de um tamanho pré-determinado. Nesse momento, ressalte a capacidade de processamento de cada equipamento de concentração. Por exemplo, uma calha concentradora processa entre 10 e 15 toneladas de minério por hora, enquanto uma mesa de agitação processa de 1 a 2 toneladas/h.



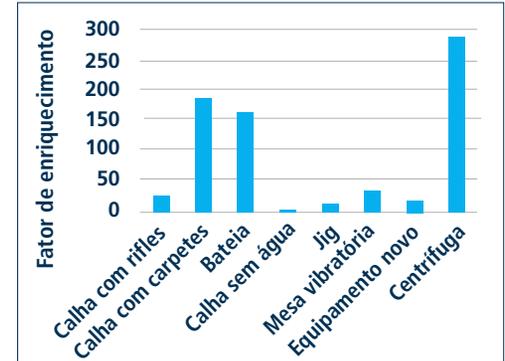
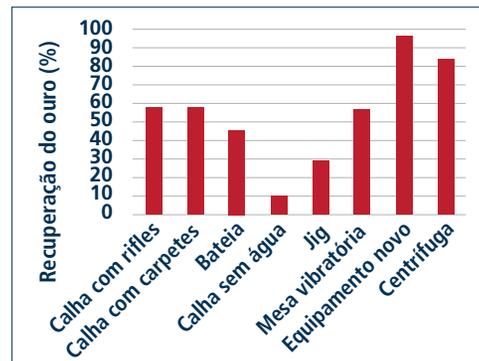
### IMPORTANTE!

Apresente e discuta com os mineiros dois equipamentos de concentração por gravidade diferentes, que processam grandes volumes de minério e são bastante acessíveis: caixas concentradoras e centrífugas. Realce as limitações dos dois equipamentos e dê exemplos de como controlar e melhorar as operações com caixas concentradoras. Isto inclui como controlar a densidade da polpa, ângulos, tipos de tapetes, períodos de limpeza, rifles, turbulência etc.





Compare os processos de concentração por gravidade utilizando os gráficos abaixo, que avaliam tanto a porcentagem de recuperação do ouro quanto o seu fator de enriquecimento. Ao comparar os dados, fica claro que o melhor equipamento é a centrífuga, que teve melhor resultado quando avaliamos os dois quesitos.



Essa abordagem simples vai dar aos mineiros maior capacidade de avaliação quando forem abordados por vendedores de novos equipamentos que prometem 99% de recuperação de ouro, uma vez que a recuperação sozinha não é suficiente para determinar a eficiência de um método.

É preciso ressaltar ainda a possibilidade de montar o seu próprio equipamento de concentração e gravidade. Veiga *et al.* (2018) descrevem como construir equipamentos caseiros baratos, mas estes têm capacidades de processamento que não passam de duas toneladas por dia.



#### IMPORTANTE!

Não deixe de apresentar também maus exemplos de concentração de gravidade. Ressalte principalmente aqueles em que não há gestão de rejeitos, como os que depositam tais rejeitos nos cursos de água. Mencione ainda que alguns mineiros adicionam mercúrio no equipamento de concentração, o que acaba levando a uma pulverização do metal em partículas muito pequenas, que se perdem junto com os rejeitos.

Por fim, priorize o uso das centrífugas, que têm uma capacidade de processamento de até 250 toneladas/hora. Apresente vários modelos, como aqueles destinados a mineradores artesanais, e aproveite para discutir os parâmetros de funcionamento das centrífugas com pressão em contrafluxo.

O curso pode mostrar que o processo de concentração mais popular utilizado nas instalações mineiras convencionais é a flutuação, expondo

seus princípios e exemplos de plantas que o utilizam. Não deixe de ressaltar que esse processo requer um investimento alto e competências específicas para controlar os parâmetros operacionais.

Uma vez que foram apresentados os principais processos de concentração (fique livre para incluir outros processos utilizados na região), o curso deve focar em como retirar o ouro dos concentrados. Mencione as tabelas de Gemeni e as rodas espirais. Os métodos físicos para extrair ouro dos concentrados – tais como a concentração por gravidade – são limitados, pois, quanto mais um minério é concentrado, mais ouro é perdido.

As limitações da fundição direta com bórax podem ser discutidas também, uma vez que os concentrados devem ter graus de ouro acima de 50 mil ppm; portanto, a recuperação do ouro é muito baixa para obter um grau de ouro tão elevado. Apresente exemplos de como o ouro é perdido com o entulho quando a fundição direta é aplicada a concentrados de baixa qualidade. Debata com os mineiros o método de amalgamação, mostrando métodos para ativar o mercúrio, transformando em amálgama de sódio, que tem mais aderência e maior capacidade de reter partículas finas de ouro libertado. Isso reduz muito a eliminação do mercúrio nos rejeitos do amálgama.

Descreva aos mineiros diferentes métodos de amalgamação e de filtração desse amálgama por centrifugação (utilizando uma bicicleta, por exemplo). Por fim, apresente métodos para decompor termicamente as amálgamas. O mercúrio pode ser reciclado de modo que os operadores não são expostos a vapores de mercúrio. Mostre aos mineiros alguns exemplos de réplicas de saladeiras e de tubos de água, como os das figuras abaixo:



## 2.<sup>a</sup> parte: o mercúrio e seus problemas

Agora que os mineiros já estão engajados e conscientes de como podem melhorar a sua produção, podemos passar para os problemas relacionados com o uso do mercúrio na extração do ouro. Nessa segunda parte, é importante falar sobre:

- Quanto de mercúrio tem um amálgama;
- O quanto é perigoso estar exposto ao vapor de mercúrio;
- Emissões de mercúrio em oficinas de ouro;
- Como reduzir a exposição ao mercúrio usando retortos e coifas;
- Limites de exposição ao vapor de mercúrio de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS);
- Quais são e como utilizar as máscaras específicas para mercúrio;
- Como determinar se uma pessoa está contaminada e/ou intoxicada por vapor de mercúrio;
- Métodos de análise de mercúrio na urina e no hálito;
- Sintomas da intoxicação por mercúrio;
- Problemas renais e morte;
- Exemplos de pessoas intoxicadas pelo vapor de mercúrio;
- Problemas relacionados ao uso de cianeto para lixiviar rejeitos contaminados por mercúrio;
- Como o mercúrio é transformado em metilmercúrio e se acumula em peixes;
- Pessoas vulneráveis: crianças e gestantes;
- Antídotos para a intoxicação por mercúrio.

Nessa parte, é importante ressaltar o quanto o mercúrio é nocivo para a saúde tanto do mineiro quanto dos membros da comunidade onde a mina, usinas de processamento e oficinas de ouro estão inseridas. No caso das usinas e das oficinas, o risco maior está na emissão de vapor de mercúrio, uma vez que muitas vezes não são instaladas coifas com filtros, fazendo com que todo o vapor seja emitido para a atmosfera.

É imprescindível ainda mencionar que o mercúrio derramado em barragens ou rios pode se transformar em metilmercúrio, que acaba sendo absorvido por peixes e plantas. Entretanto, saliente-se que não existem estudos de isótopos de mercúrio capazes de provar que a contaminação de peixes é gerada pela mineração artesanal. Ainda assim, o curso precisa mostrar técnicas que removam o mercúrio dos resíduos para evitar a contaminação.

Um dos processos que podem ser demonstrados é o uso de cianeto para extrair ouro de resíduos contaminados com mercúrio. É essencial destacar que o composto de cianeto e mercúrio é mais tóxico que o cianeto de sódio utilizado primariamente para lixiviar o ouro.



#### ATENÇÃO!

Tente deixar essa segunda parte mais interessante e menos cansativa, já que é, talvez, a mais importante de todo o treinamento.

### 3.ª parte: trabalho de campo

Se as duas primeiras fases foram em sala de aula e/ou em laboratório, com pequenas visitas externas, agora chegou a hora de levar os mineiros a campo, para ver de perto o que foi falado até agora. É preciso preparar amostras e análises químicas dos produtos, para que os mineiros possam aprender a retirar essas amostras da sua própria produção e analisar a alimentação e os rejeitos para obter a porcentagem de ouro retirado e o seu fator de enriquecimento.

Essa etapa deve ser conduzida por um técnico local com a ajuda de operadores da planta de beneficiamento. Depois da análise das amostras, o facilitador deve avaliar, com os mineiros, os resultados obtidos. Quando convencidos sobre a ineficiência da concentração de ouro, o facilitador deve levantar a possibilidade de execução de pequenos testes, com pequenos ajustes em equipamentos já utilizados ou usando novos equipamentos para melhorar essa concentração.



#### ATENÇÃO!

Reforce que não se deve esperar milagres! Entretanto, como boa parte do ouro obtido pela mineração artesanal se perde em frações brutas, não liberadas do minério e não capturadas por métodos simples, o aumento na produção com as novas técnicas deve ser substancial.

Nesse momento do curso, os mineiros irão verificar a baixa recuperação de ouro que conseguem e serão conscientizados sobre a necessidade de melhorar esses resultados. Porém, devem ser informados de que essa melhora demanda capacidade de investimento e conhecimentos em engenharia.



## 4ª parte: mostrando como uma usina de processamento eficiente funciona

Quando usamos técnicas simples de processamento de ouro, observamos que há uma baixa produtividade. Nessa fase, os mineiros presenciarão esse fato e entenderão que a amalgamação serve apenas para capturar partículas livres de ouro. Mesmo as menores partículas não são capturadas por técnicas tradicionais de amalgamação. Para acabar com o uso de mercúrio, os mineiros precisam utilizar outros métodos químicos para extrair o ouro dos concentrados. A cianetação é o método mais popular, porém há outros lixiviantes para o caso de grandes quantidades de ouro nos concentrados. Todos esses métodos devem ser discutidos com os mineiros. Porém, a principal questão a considerar é o alto custo dos equipamentos necessários para o processamento do ouro. O conceito de cianetação ou de qualquer outro processo pode ser mencionado, mas a avaliação econômica é que irá demonstrar os altos custos envolvidos para melhorar a operação. Caso os mineiros queiram saber mais sobre cianetação, você pode montar um curso mais detalhado sobre o assunto com os seguintes tópicos:

1. Extraíndo ouro usando concentrados de cianeto;
2. Carvão ativado e Merrill-Crowe;
3. Prática de cianetação: tanques de agitação, lixiviação de cuba e de pilha;
4. Rejeitos de amalgamação de lixiviamento: removendo o mercúrio;
5. Cianetação intensiva: lixiviação em moinho;
6. Métodos para destruir o cianeto;
7. Os efeitos do cianeto na saúde e no meio ambiente;
8. Sintomas da intoxicação por cianeto;
9. Antídotos para intoxicação por cianeto;
10. Alternativas ao cianeto (outros lixiviantes);
11. Refinamento do ouro;
12. Lixiviação diagnóstica.

Nesse ponto, é imprescindível falar sobre os Custos de Capital (CAPEX) e os Custos Operacionais (OPEX) em uma planta de processamento de ouro. Veiga e Gunson (2020) citam um bom exemplo usando como referência preços da Colômbia, demonstrados na tabela abaixo. Esses custos consideraram a concentração gravimétrica e eventual flotação dos rejeitos gravitacionais e cianetação dos concentrados com gestão completa do rejeito e infraestrutura.



Os maiores custos de capital estão relacionados aos equipamentos de cominuição. O custo de capital pode ser drasticamente reduzido usando equipamentos de segunda mão e/ou fabricados localmente, mas ainda assim é alto e os mineiros artesanais precisam de habilidades específicas para operar esses tipos de usinas. O CAPEX e OPEX por tonelada de material processado e a receita em US\$/tpa (toneladas por ano) se tornam mais vantajosos com uma taxa de produção acima de 50 tpd, mas o investimento é alto para a construção de uma planta capaz de processar esse volume (por volta de US\$ 1,7 milhão). Esses custos incluem a gestão ambiental adequada de rejeitos, com destruição de cianeto, e barragens de rejeitos com recirculação de água. As considerações econômicas para uma usina limpa e eficiente são muito altas e as medidas para cortar investimentos reduzem as recuperações de ouro.

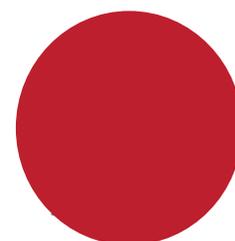
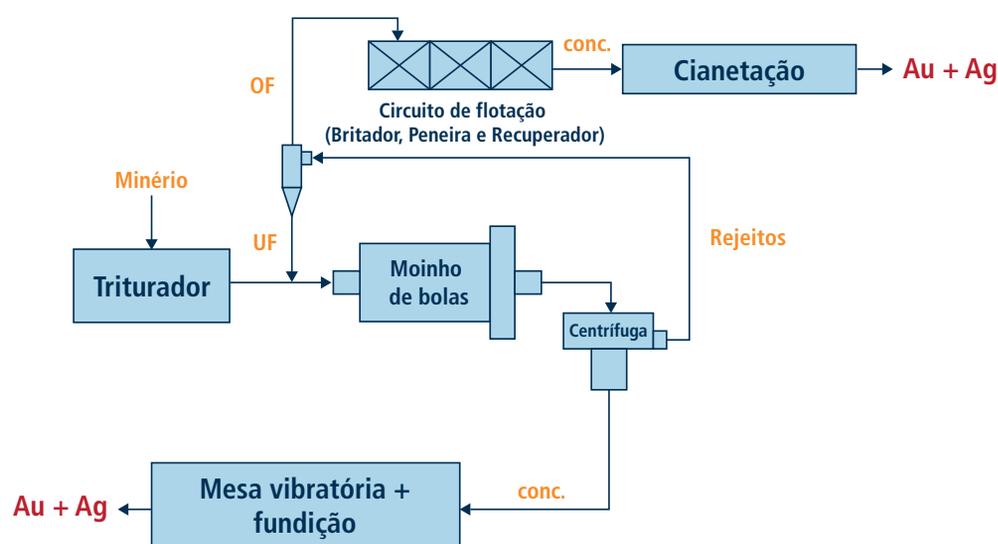


Tabela 1 – CAPEX e OPEX para pequenas usinas de processamento de ouro				
Produção (tpd)	CAPEX, US\$	OPEX, US\$/a	CAPEX (US\$/tpa)	OPEX (US\$/tpa)
200	3,946,266	855,091	66	14
100	2,603,565	564,150	87	19
50	1,717,712	372,200	115	25
25	1,133,267	245,560	151	33
10	653,986	141,708	218	47
5	431,470	93,492	288	62
2	248,993	53,953	415	90

Nota: tpa = toneladas por ano de 300 dias de operação.

### Sugestão de fluxograma para concentrar e lixiviar ouro com eficiência





## IMPORTANTE!

Vários pesquisadores propõem o estabelecimento de modelos de coexistência entre mineiros organizados em cooperativas e empresas de mineração de ouro como um meio eficaz para reduzir ou mesmo eliminar o uso de mercúrio no processo de recuperação de ouro. Existem diferentes modelos de coexistência propostos na literatura, mas os exemplos mais bem-sucedidos na América Latina incluem a possibilidade de uma empresa de mineração instalar e operar um plano de processamento para processar os rejeitos das operações dos mineiros (Tarra, Restrepo e Veiga, 2022).

Uma tendência comum nos casos de coexistência de sucesso é a importância de envolver os trabalhadores no desenvolvimento desse modelo de negócios e estabelecer acordos equilibrados e transparentes. Isso também pode funcionar com os mineiros que vendem os minérios para plantas de processamento, conforme observado em algumas operações no Peru, Costa Rica e Colômbia. Nesse sistema, os mineiros recebem mais dinheiro pelo teor de ouro dos minérios do que se utilizassem seus métodos rudimentares com mercúrio (Veiga; Fadina, 2020). Existem diferentes modelos de coexistência, que variam de local para local, dependendo do envolvimento da empresa com os mineiros, bem como da compreensão dos mineradores sobre o processo.

Os benefícios de tal modelo de coexistência entre os mineradores e uma empresa de mineração de ouro incluem recursos como a melhoria das condições de trabalho por meio de assistência técnica; redução de acidentes; geração de renda adicional aos mineiros ao dar-lhes a oportunidade de vender seus rejeitos; encorajando-os a usar de processos mais sustentáveis com maiores recuperações sem mercúrio e, conseqüentemente, promover um melhor ambiente de trabalho, abordando questões como equidade de gênero e redução do comércio ilegal.



## REFERÊNCIAS

HENTSCHEL, T.; Hruschka, f.; Priester, M. **Global Report on Artisanal and Small Scale Mining**. IISD, 2002. 67 p.

HINTON, J.J.; Veiga, M.M.; Beinhoff, C. **Women, Mercury and Artisanal Gold Mining: Risk Communication and Mitigation**. Journal de Physique IV. France, 107, 617-620, 2003.

IBRAM. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 – Ano base 2019**. 1. ed. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), 2020.

IGF – Intergovernmental Forum on Mining, Mineral, Metals and sustainable development (2017). **Global trends in artisanal and small-scale mining (ASM): a review of key numbers and issues**. IIED, Winnipeg, Canada, 2017.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. **Social and Labour Issues in Small-scale Mines**. Report for discussion at the Tripartite Meeting on Social and Labour Issues in Small-scale Mines Geneva: International Labour Organization, 1999.

STATISTA. **World mine reserves of gold as of 2021, by country**. 2022.

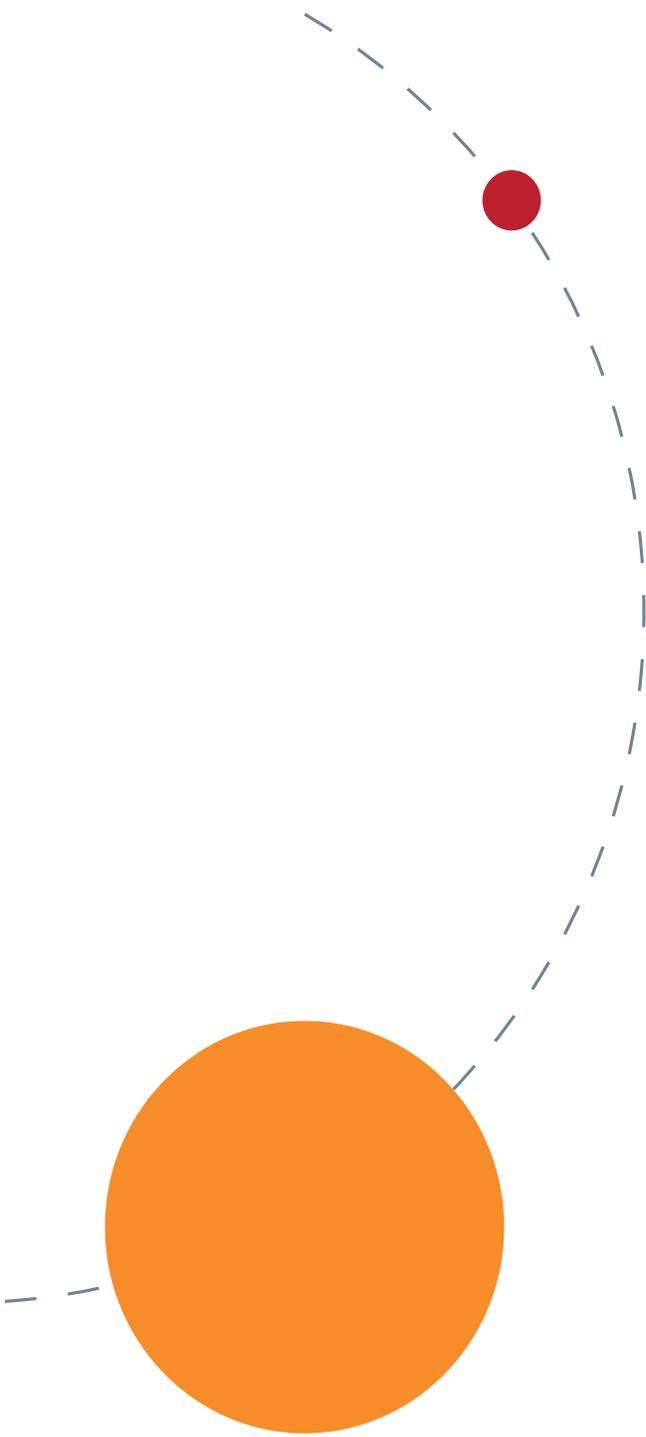
STOCKLIN-Weinberg, R.; Veiga, M.M.; Marshall, B.G. **Training Artisanal Miners: a Proposed Framework with Performance Evaluation Indicators**. Science of the Total Environment, 660, 1533-1541, 2019.

TARRA, J. A.; Restrepo, O. J.; Veiga, M. M. **Coexistence between conventional alluvial mining and artisanal mining to deal with problems associated with informality in the lower Nechí River Basin-Colombia**. Resources Policy, 78, 102821, 2022.

UNEP, 2019. United Nations Environment Programme. Chemicals and Health Branch. **Global Mercury Assessment 2018**. Geneva, Switzerland.

US GEOLOGICAL SERVICE. **Gold**. 2022.

VEIGA, M. M.; Fadina, O. **A Review of the Failed Attempts to Curb Mercury Use at Artisanal Gold Mining and a Proposed Solution**. The Extractive Industries and Society, 7, 1135-1146, 2020.



VEIGA, M. M.; Gunson, A.J. **Gravity Concentration in Artisanal Gold Mining.** Minerals 10(11), 1026, 2022.

VEIGA, M. M.; Masson, P.; Peron, D.; Laflamme, A. C.; Gagnon, R.; Jimenez, G.; Marshall, B. G. **An Affordable Solution for Micro-miners in Colombia to Process Gold Ores without Mercury.** Journal of Cleaner Production, 205, 905-1005, 2018.

WORLD BANK. **2020 State of the Artisanal and Small Scale Mining Sector.** Washington, D.C.: World Bank, 2020.

WORLD GOLD COUNCIL. **Gold Demand Trends Full Year 2021.** 2022.

Crédito/Banco de imagens:

Unsplash/@chetan-kolte, @iraj-ishtiak, @jo-anne-mcarthur, @mufid-majnun, @markus-spiske;

## SUGESTÕES DE LEITURA

DRACE, K.; Kiefer, A. M.; Veiga, M. M. **Cyanidation of Mercury-Contaminated Tailings: Potential Health Effects and Environmental Justice.** *Current Environmental Health Reports*, 3(4), 443-449, 2016.

GARCIA, O.; Veiga, M. M.; Cordy, P.; Suescún, O. E.; Molina, J. M.; Roeser, M. **Artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: a successful case of mercury reduction.** *Journal of Cleaner Production*, 90, 244–252, 2015.

MARSHALL, B. G.; Veiga, M. M.; Silva, H. A. M.; Guimarães, J. R. D. **Cyanide Contamination of the Puyango-Tumbes River Caused by Artisanal Gold Mining in Portovelo-Zaruma, Ecuador.** *Current Environmental Health Reports*, 7, 303-310, 2020.

MARTINEZ, G.; Restrepo, O. J.; Veiga, M. M. **The Myth of Gravity Concentration to Eliminate Mercury Use in Artisanal Gold Mining.** *The Extractive Industries and Society*, 8, 477-485, 2021.

PROJEKT-CONSULT/RCS GLOBAL. **Relatório Final do Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental da Mineração em Pequena Escala no Brasil (MPE)**, 2018.

TORKAMAN, P.; Veiga, M. M.; De Andrade Lima, L. R. P.; Oliveira, L. A.; Motta, J. S.; Jesus, J. I.; Lavkulich, L. M. (2021). **Leaching gold with cassava: An option to eliminate mercury use in artisanal gold mining.** *Journal of Cleaner Production*, 311, 127531, 2021.

VEIGA, M. M.; Mason, P.; Perron, D.; Laflamme, A. C.; Gagnon, R.; Jimenez, G.; Marshall, B. G. **An Affordable Solution for Micro-miners in Colombia to Process Gold Ores without Mercury.** *Journal of Cleaner Production*, 205, 995-1005, 2018.

## LISTA DE SIGLAS

Cooperativa de Mineração dos Garimpeiros do Lourenço – COOGAL

Cooperativa dos Garimpeiros do Vale do Rio Peixoto – COOGAVEPE

Extractives Global Programmatic Support – EGPS

Fórum Intergovernamental sobre Mineração, Minerais Metais e Desenvolvimento Sustentável – IGF

Mineração Artesanal e em Pequena Escala – MAPE

Mineração Artesanal e em Pequena Escala de Ouro (Artisanal and small-scale gold mining) – ASGM

Núcleo de Pesquisa para a Pequena Mineração Responsável – NAP. Mineração

Objetivo de Desenvolvimento Sustentável – ODS

Organização das Cooperativas Brasileiras – OCB

Organização das Nações Unidas – ONU

Organização Mundial da Saúde – OMS

Plano de Ação Nacional para a Mineração Artesanal e em Pequena Escala de Ouro – PAN

Universidade de São Paulo – USP

Universidade Federal de Viçosa – UFV

University of British Columbia – UBC

World Commission on Environment and Development – WCED

## **SOBRE O NAP.MINERAÇÃO/USP**

O Núcleo de Pesquisa para a Pequena Mineração Responsável (NAP.Mineração) da Universidade de São Paulo foi fundado em 2012 e desenvolve pesquisa aplicada para a gestão integrada da extração mineral, planejamento de mina e fechamento de mina. A equipe do NAP.Mineração trabalha junto à indústria mineral, cooperativas de mineração, setor governamental e outras instituições, como agências de pesquisa e agências de financiamento internacional. Os resultados dessa atuação incluem um número expressivo de publicações científicas em periódicos de alto impacto. O NAP.Mineração/USP vem atuando no sentido de desenvolver o conceito que a mineração pode ser uma atividade sustentável, tendo como premissa que a MAPE não necessita ser uma atividade puramente extrativista, ela pode estar integrada à comunidade local contribuindo para o desenvolvimento de forma sustentável. Para isso, nosso núcleo de pesquisa promove a comunicação e a integração entre as diferentes áreas do conhecimento relacionadas à atividade da mineração, e apoia o trabalho de pesquisa transdisciplinar, que inclui colaboradores acadêmicos e não acadêmicos. Essa abordagem é inovadora e busca contribuir para a obtenção da licença social, reduzindo as resistências e os prazos de implantação, melhorando a competitividade dos empreendimentos e fomentando o desenvolvimento regional de forma integrada com a mineração.



