

ÉRIKA CAVALHEIRO HALLA

**O PAPEL DA ENGENHARIA DE MINAS NA TRANSFORMAÇÃO
PARA SUSTENTABILIDADE DA MINERAÇÃO ARTESANAL DE
OURO**

São Paulo

2019

ÉRIKA CAVALHEIRO HALLA

**O PAPEL DA ENGENHARIA DE MINAS NA TRANSFORMAÇÃO
PARA SUSTENTABILIDADE DA MINERAÇÃO ARTESANAL DE
OURO**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas do
curso de graduação do Departamento de Engenharia de
Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Giorgio Francesco Cesare de Tomi

São Paulo

2019

2991522

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

TF-2019
H15p

H2019a



Escola Politécnica - EPMI



31700000319

Catálogo-na-publicação

Halla, Erika Cavaleiro

O PAPEL DA ENGENHARIA DE MINAS NA TRANSFORMAÇÃO PARA
SUSTENTABILIDADE DA MINERAÇÃO ARTESANAL DE OURO / E. C. Halla -
São Paulo, 2019.

34 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.Mineração 2.Ouro 3.Sustentabilidade 4.Desenvolvimento sustentável
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Minas e Petróleo II.t.]

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grata aos meus pais e à minha irmã que, como meu porto seguro, ofereceram-me todo conforto e amor necessários para continuar nesta jornada. Vocês são o gigante em cujos ombros estou apoiada!

Agradeço aos meus amigos que estiveram comigo durante estes anos, sobretudo ao Gustavo que, com seu jeito especial, entrou em minha vida e trouxe-me paz.

Agradeço ao meu orientador, Professor Giorgio de Tomi, por ter acreditado e investido profissionalmente em mim como ninguém nunca havia feito até então. Obrigada pelos ensinamentos e pelo crescimento pessoal e profissional que experienciei sob sua tutoria.

"One must still have chaos in oneself to be able to give birth to a dancing star"

(Friedrich Nietzsche - "Thus spoke Zarathustra", 1883)

RESUMO

Nos últimos anos o preço do ouro sofreu significativo aumento e, como rápida resposta ao consequente crescimento na demanda por este metal precioso, as minerações artesanais também aumentaram sua produção e sua presença em diversos países em desenvolvimento, incluindo Brasil. Isto deve-se à flexibilidade deste tipo de atividade, propiciada pelos baixos custos de instalação e nível de tecnologia e pelo rápido retorno do investimento inicial. Entretanto, tais características resultam também em impactos ambientais, danos à saúde dos trabalhadores e baixa produtividade.

Para que estes impactos negativos sejam minimizados ou até eliminados, é necessário aumentar a produtividade das operações – através da implementação de novas técnicas e/ou melhoria das já utilizadas - pois isto resulta em elevação da sustentabilidade das atividades. Contudo, para atingir este objetivo é essencial promover conhecimento aos mineradores, treinando-os segundo princípios do desenvolvimento sustentável e considerando as particularidades de cada mineração.

Sendo assim, este trabalho objetiva analisar, através de estudos e pesquisas já realizados e de uma visita a uma operação de extração aurífera na Amazônia, o papel da Engenharia de Minas neste processo de transformação para sustentabilidade da mineração artesanal de ouro.

Palavras-chave: mineração artesanal, ouro, desenvolvimento sustentável, Engenharia de Minas

ABSTRACT

In recent years the price of gold has increased significantly and, as a rapid response to the consequent growth in demand for such precious metal, artisanal mining has also increased its production and its presence in several developing countries, including Brazil. This is due to the flexibility of such activity, caused by the low installation cost, low technology level and the short-term payback of the initial investment. However, these characteristics also result in environmental impacts, damage to workers' health and low productivity.

To modify this situation, it is necessary to increase the technical efficiency of operations because this results in higher sustainability. However, to achieve this goal it is essential to promote knowledge to the miners, training them according to the principles of sustainable development and considering the particularities of each mining site. Thus, this paper aims to analyze, through reviewing published studies/researches and through a visit to a gold mining operation in the Amazon, the role of Mining Engineering in this transformation process for the sustainability of artisanal gold mining.

Key-words: artesanal gold mine, gold, sustainable development, Mining Engineering

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Pilares do Desenvolvimento Sustentável	15
Figura 2- IDH vs Produção per capita.....	16
Figura 3 - Localização do distrito de Lourenço	20
Figura 4 - Arcabouço geotectônico e distritos metalogenéticos do Amapá.....	22
Figura 5 - Esboço Geológico do Distrito Aurífero de Lourenço	25
Figura 6 - Associação de quartzo e sulfetos.....	26
Figura 7 - Vista panorâmica da Mina do Mutum em que 1-Casa de bombas e compressores;2-Refeitório;3-Sala de amalgamação; 4-Cominuição; 5-Entrada para o subterrâneo.....	27
Figura 8 - Túnel de acesso à galeria principal.....	27
Figura 9 - Detalhe da parede de uma das galerias em que "A" indica o "Friso", "B" a Rocha encaixante (tonalito do grupo Lourenço) e "C" o "Caulim".	28
Figura 10 - Furos-teste no friso.....	29
Figura 11 - Sequência de atividades na etapa de cominuição.....	30
Figura 12 - Ouro e mercúrio em amálgama.....	31
Figura 13 - Queima da amálgama Au-Hg	31
Figura 14 - Produto final.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Diferenças fundamentais entre os tipos de mineração	12
Tabela 2 - Atributos das operações em mineração convencional e artesanal	13
Tabela 3 - Sugestão de passos a serem seguidos para promoção do treinamento dos mineradores.....	18

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 MINERAÇÃO ARTESANAL: ASPECTOS GERAIS	12
2.1.1 MINERAÇÃO ARTESANAL DE OURO E SEUS IMPACTOS	14
2.2 ABORDAGENS PAUTADAS PELO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	15
2.3 MINA DO MUTUM: UM EXEMPLO DE EXTRAÇÃO DE OURO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA....	20
2.3.1 CONTEXTO HISTÓRICO	20
2.3.2 GEOLOGIAS REGIONAL E LOCAL.....	22
2.3.3 PRODUÇÃO AURÍFERA.....	26
2.3.4 SOCIEDADE	32
3. METODOLOGIA.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
5. CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	41

1. INTRODUÇÃO

Segundo De Tomi (2018) 76% do setor brasileiro de mineração é formado por empresas de pequeno porte; enquanto as médias somam 18% e as de grande porte representam apenas 6% do total. Já em escala mundial, o Fórum Intergovernamental de Mineração, Minerais Metais e Desenvolvimento Sustentável (IGF) (2017) estimou que aproximadamente 40,5 milhões de pessoas estão diretamente envolvidas com as minerações de pequena escala e artesanal. A denominação “artesanal” é, de acordo com Seccatore et al (2014), utilizada para caracterizar um subgrupo da mineração de pequena escala em que se utilizam técnicas rudimentares para extração e concentração minerais, não contemplando práticas sustentáveis e princípios convencionais de engenharia.

Nos últimos anos houve um significativo aumento no preço do ouro, sobretudo devido à procura por uma forma mais segura de investimento em um período de crise econômica global. Neste cenário destacam-se as minerações artesanais por apresentarem uma resposta muito rápida às variações da demanda aurífera do mercado. Isto deve-se às características intrínsecas a este tipo de mineração - facilidade de instalação, baixo nível tecnológico e rápido retorno do investimento inicial – que criam uma condição de maior flexibilidade e adaptabilidade.

Contudo, o aumento do número de minerações artesanais não vem acompanhado por uma melhora das condições e práticas de trabalho. Valendo-se de técnicas com baixos níveis de eficiência, sustentabilidade e segurança, os mineradores colocam sua saúde em risco ao mesmo tempo em que lançam à natureza rejeitos contaminados por mercúrio – e/ou cianeto – e obtêm baixíssima recuperação mineral (frequentemente abaixo de 30%). Neste contexto encontra-se uma janela de oportunidades para incorporação de novas práticas de desenvolvimento sustentável capazes de impactar positivamente as esferas social, econômica e ambiental da população ligada às minerações artesanais.

Seccatore, De Tomi e Veiga (2015) defendem que quanto maior a eficiência técnica de uma mineração artesanal maiores serão a sustentabilidade da operação e a qualidade de vida dos trabalhadores. Para atingir tal condição é essencial que a

Engenharia de Minas contribua com conhecimento técnico, orientando os mineradores segundo formas de produção sustentáveis e adequadas à realidade de cada local.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho objetiva analisar as principais características da mineração artesanal de ouro e identificar possíveis abordagens por parte da Engenharia de Minas no processo de transformação para sustentabilidade deste tipo de operação.

Como objetivo complementar, essa pesquisa propõe a avaliação da aplicação de uma abordagem técnica em uma mineração artesanal de ouro na Amazônia brasileira, para identificar os aspectos positivos e negativos da implantação de um plano de ação fomentador da mineração responsável e sustentável em operações artesanais de extração de ouro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MINERAÇÃO ARTESANAL: ASPECTOS GERAIS

Segundo Veiga (1997) o termo “mineração artesanal” faz referência a diversos tipos de operações de mineração, incluindo informais, legais e ilegais; o que todos possuem em comum é a utilização de métodos rudimentares para extração mineral. Já Hilson (2002) caracteriza este tipo de mineração como típica de depósitos próximos à superfície, com intenso trabalho da mão-de-obra, localizada tipicamente em locais remotos e isolados, valendo-se de técnicas rudimentares, com baixo conhecimento tecnológico, baixa mecanização e baixos níveis de consciência ambiental, de segurança e de saúde. A tabela 1 traz as principais diferenças entre as operações de mineração artesanal e convencional.

Tabela 1- Diferenças fundamentais entre os tipos de mineração

Tipo de mineração	Tamanho	Situação legal	Mecanização
Artesanal (Rudimentar)	Micro	Ilegal Informal Legal	Manual
	Pequeno		Semi mecanizada
	Médio		Mecanizada
	Grande		
Convencional	Pequeno	Legal	Mecanizada
	Médio		
	Grande		

Fonte: Adaptado de Veiga, Angeloci-Santos e Meech, 2014

De acordo com Stocklin-Weinberg, Veiga e Marshall (2019), calcula-se que em todo o mundo aproximadamente 30 milhões de pessoas dependam diretamente da mineração artesanal; ou seja, tal atividade possui forte impacto social e econômico e, por isto, é essencial aprofundar o conhecimento a respeito da realidade a ela associada e entender suas principais características e limitações.

Pobreza e falta de educação e de treinamento são os principais fatores contribuintes à manutenção dos garimpeiros em um ciclo de práticas rudimentares e degradantes (Stocklin-Weinberg, Veiga e Marshall, 2019). A tabela 2 apresenta a diferença entre alguns atributos da mineração convencional – pequena, média e grande escala – e da

artesanal, evidenciando a falta de ciência como princípio das atividades desta última. Sendo assim, uma abordagem técnica mais limpa e eficiente, concomitante à promoção de conhecimento aos trabalhadores, poderia gerar uma melhora sensível na produtividade dos trabalhos e, também, reduzir os danos ambientais e à saúde dos garimpeiros. Entretanto, para que qualquer mudança seja concretizada neste cenário, é necessário haver capital disponível e, assim como aponta Marin (2016), um dos maiores desafios às minerações artesanais é a obtenção deste montante financeiro, sobretudo devido à ausência de qualquer garantia de sucesso financeiro. Marin (2016, p.531) destaca que

"For artisanal miners, this creates a situation similar to a 'gambling' scenario: with the limited economic resources available, they invest directly in operations without previous geological exploration, restricting their operational planning to that based on the available information, on experience from previous operations, and, often, simply on instinct"

Tabela 2 - Atributos das operações em mineração convencional e artesanal

MINERAÇÃO CONVENCIONAL	MINERAÇÃO ARTESANAL
Geologia, perfuração	" <i>feeling</i> ", testes
Reservas	Subsistência
Engenharia	Curiosidade, " <i>feeling</i> "
Controle	Resultados
Estudos de viabilidade	Pagar as contas
Equipamentos sofisticados	Dispositivos rudimentares, artesanais

Fonte: Adaptado de Veiga, Angeloci-Santos e Meech, 2014

2.1.1 MINERAÇÃO ARTESANAL DE OURO E SEUS IMPACTOS

O principal aspecto relacionado à ausência de técnicas adequadas neste tipo de atividade é o uso de mercúrio para extração do ouro, por se tratar de uma alternativa barata, simples e rápida. Segundo a UNEP (2013), 37% das emissões globais de mercúrio (Hg) – a maior parcela – advêm do uso em minerações artesanais.

Após formada, a amálgama Hg-Ouro é aquecida até que se atinja a máxima evaporação do mercúrio e neste processo o vapor do metal pesado é liberado à atmosfera e, na maior parte dos casos, também inalado pelo trabalhador. Além disto, pode ocorrer também a liberação de Hg na sua forma nativa, contaminando corpos d'água e solos. Nesta situação, bactérias anaeróbicas geram o composto metil-mercúrio (MeHg), absorvido pelo *fitoplâncton*, que por sua vez é consumido pelo *zooplâncton* e assim contamina-se toda a cadeia alimentar, inclusive ocasionando o efeito de bioacumulação.

O mercúrio ocasiona sérios danos aos sistemas nervosos centrais e periféricos. Em seres humanos a contaminação ocorre através da ingestão de peixes advindos de águas contaminadas e/ou da inalação de vapor de mercúrio e os sintomas neurológicos consequentes incluem retardo mental, convulsões, perda de audição e visão, desenvolvimento atrasado, distúrbios de linguagem e perda de memória. Em crianças, uma síndrome que ocasiona a vermelhidão e dor de extremidades vem sendo reportada como resultado de exposição crônica ao mercúrio. (WHO, 2007)

Em outros casos os trabalhadores utilizam cianeto para recuperação do ouro remanescente e o composto altamente tóxico $\text{Hg}(\text{CN})_2$ é formado e liberado à natureza.

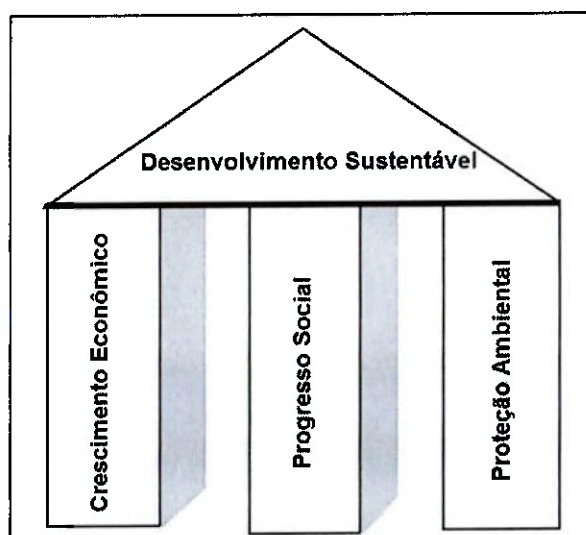
Além disto, os baixos graus de segurança nas operações e de instrução dos trabalhadores os colocam em situações de risco constantemente. Portanto, como apontam Hoadley e Limpitlaw (2004), apesar de estas atividades de mineração artesanal representarem uma forma de sustento aos mineradores, geralmente não há geração de riqueza uma vez que os custos oriundos das baixas condições de segurança e de saúde superam os benefícios.

Entretanto, como apontam Veiga, Angeloci-Santos e Meech (2014), tentativas de formalização das atividades e de proibição do uso do mercúrio não são eficientes, uma vez que não levam em conta a realidade do garimpo. Veiga et. al (2014, p.543) apontam que “Without education and organization, the formalization initiatives are only formalizing the pollution, as miner will not change their ways of working if they do not have knowledge and capital.”

2.2 ABORDAGENS PAUTADAS PELO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Dentre as diversas definições existentes para “desenvolvimento sustentável” vale destacar a fornecida pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Relatório Brundtland em 1987: “Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”. Além disto, para Adams (2006) o conceito de desenvolvimento sustentável é suportado por três pilares: econômico, ambiental e social, conforme ilustra a figura 1.

Figura 1- Pilares do Desenvolvimento Sustentável

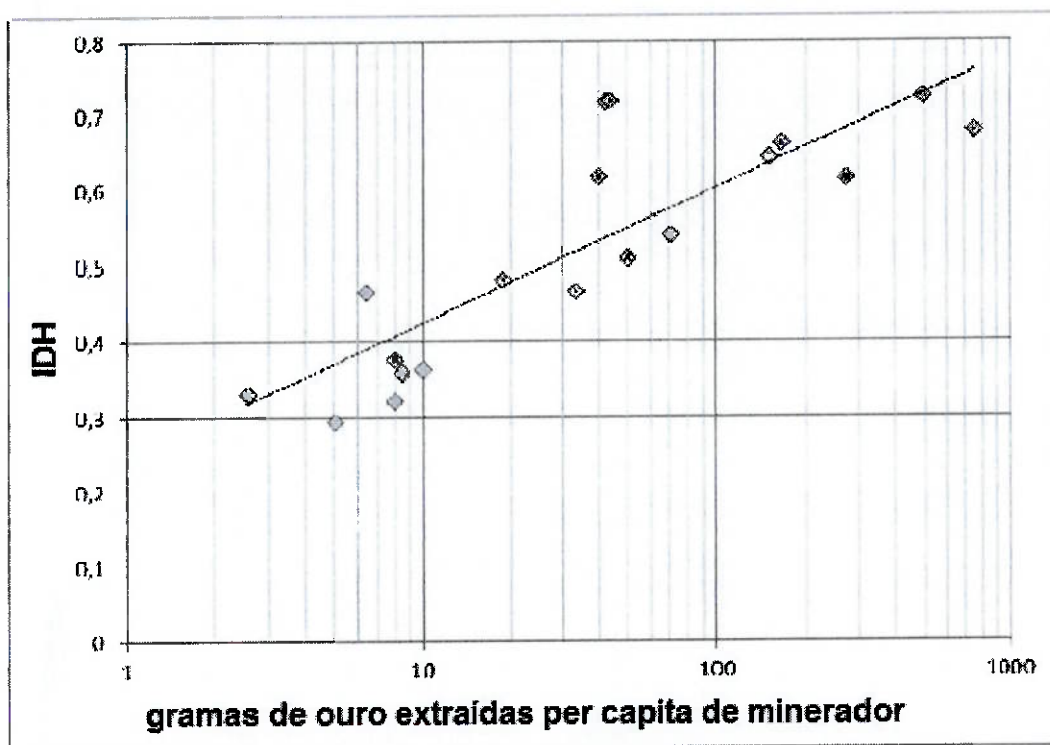


Fonte: Elaboração própria

Seccatore, De Tomi e Veiga (2015) defendem que para atingir o desenvolvimento sustentável de uma mineração artesanal é ideal que o processo de transformação se

inicie pelo pilar econômico. Isto é, a sustentabilidade desta atividade depende altamente da otimização da operação – maior a eficiência técnica. Para embasar tal argumento os autores utilizam o gráfico da figura 2, que relaciona o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e a produtividade de uma mineração artesanal (gramas de ouro extraídas per capita).

Figura 2- IDH vs Produção per capita



Fonte: Adaptado de Seccatore, De Tomi e Veiga (2015)

Além disto, Guerrero Almeida e Blaco Torrens (2002) definem alguns critérios para que uma mineração seja considerada sustentável, sejam eles:

- 1) Melhora da atividade de mineração (maior produtividade)
- 2) Melhora das condições de segurança
- 3) Redução dos impactos ambientais
- 4) Uso de equipamentos corretos
- 5) Uso racional e compreensivo dos recursos minerais
- 6) Redução de perigos geomecânicos

Considerando estas definições, a Engenharia de Minas – com seus conceitos técnicos de lavra, beneficiamento, mecânica de rochas, segurança do trabalho e manejo

sustentável de recursos minerais - pode contribuir com a transformação para sustentabilidade de minerações artesanais, seja pela adoção de novas práticas ou aprimoramento das já em uso. Isto deve ocorrer através de uma abordagem que respeite a organização cultural e social das comunidades locais e que estimule e ensine práticas capazes de otimizar a produção e, concomitantemente, de minimizar os impactos ambientais.

Para atingir tal objetivo, o método mais eficiente é a promoção de conhecimento técnico aos mineradores. Contudo, é essencial que tal iniciativa considere as particularidades de cada mineração – geologia e condições ambientais locais, recursos disponíveis etc.- suas necessidades e sua dinâmica de funcionamento. Isto é, a abordagem deve ser integralmente direcionada a cada unidade de mineração artesanal. Em consideração a isto, Stocklin-Weinberg, Veiga e Marshall (2019) apontam que diversos autores vêm discutindo um projeto de treinamento voltado a mineradores artesanais e, sinteticamente, enumeram as condições essenciais para isto:

- 1) Direcionar o conteúdo para cada mineração, em específico.
- 2) Promover consultas/diálogos com os mineradores e líderes da comunidade local
- 3) Selecionar, dentre os garimpeiros, os que possuem algum tipo de influência e então treiná-lo para ser um dos treinadores
- 4) Qualquer proposta para aumento da produtividade e minimização dos impactos ambientais deve ser economicamente viável e lucrativa
- 5) Governos precisam participar deste processo, promovendo apoio técnico, regulatório e financeiro
- 6) Considerar os fracassos e sucessos de projetos e iniciativas anteriores.
- 7) Considerar que projetos de treinamento requerem um longo período de implementação, assim como flexibilidade e constante engajamento das partes envolvidas.

Considerado tais condições, Veiga, Angeloci-Santos e Meech (2014) sugerem uma sequência de passos a serem seguidos para uma intervenção bem-sucedida em prol do treinamento dos mineradores artesanais de ouro, como indicado na tabela 3. De acordo com os autores, é essencial considerar que a principal – ou talvez única - razão

pela qual um garimpeiro mudaria seu modo de trabalho é para aumentar sua produção e, conseqüentemente, seu ganho.

Tabela 3 - Sugestão de passos a serem seguidos para promoção do treinamento dos mineradores

Conceito	Ação
Conhecer os mineradores	Identificar suas principais questões, problemas
Identificar os problemas	Identificar a principal técnica requerida para melhorar a produção
Ser conhecido	Criar laços de amizade e confiança com os mineradores e com os membros da comunidade
Promover tecnologias	Para ganhar credibilidade: demonstrar a eficiência da "nova" tecnologia nos rejeitos
Educar pacientemente	Iniciar lentamente o processo de educação, esclarecendo sempre a razão de a "nova" tecnologia funcionar melhor
Não complicar	Usar linguagem familiar aos mineradores
Deixar os mineradores decidirem	Demonstrar mais de uma "nova" tecnologia e deixar os mineradores decidirem qual é melhor a eles
Ser flexível	Checar a receptividade à "nova" tecnologia e estar preparado a demonstrar mais de uma opção
Escolher as pessoas corretas	Selecionar líderes locais e treiná-los para serem treinadores
Ouro é o mais importante para os mineradores	Mostrar inicialmente as vantagens ECONÔMICAS da nova tecnologia e então mostrar os benefícios à saúde e ao meio ambiente

Fonte: Adaptado de Veiga, Angeloci-Santos e Meech, 2014

Além disto, Veiga et. al (2014) destacam a evolução técnica da mineração artesanal no sudeste do Equador, graças a forte investimento do setor privado, esforços internacionais de treinamento e cooperação, participação ativa dos mineradores na tomada de decisões e ao aumento da presença governamental nos locais de mineração. Isto é, o sucesso de uma abordagem promotora de melhorias neste setor depende da atuação de alguns *stakeholders*-chave tais como:

- 1) Representantes do Governo – No caso do Brasil, representantes da ANM - Agência nacional de mineração, do Ministério de Minas e Energia, Ministério da Saúde, Ministério do Trabalho etc.
- 2) Autoridades locais – líderes da comunidade, administradores de cooperativas etc.
- 3) Profissionais nacionais e internacionais, incluindo ONG's, pesquisadores, agências de financiamento, médicos etc
- 4) Envolvidos com atividades de mineração, desde grandes empresas, até donos de pequenos centros de processamento.

2.3 MINA DO MUTUM: UM EXEMPLO DE EXTRAÇÃO DE OURO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

2.3.1 CONTEXTO HISTÓRICO

A Mina do Mutum está localizada no distrito amapaense de Lourenço, pertencente ao município de Calçoene distante cerca de 380 km da capital Macapá, conforme ilustra a figura 3.

Figura 3 - Localização do distrito de Lourenço



Fonte: Adaptado de Guia Geográfico

A Agência de Desenvolvimento Econômico do Amapá (AP) aponta que a história do Amapá se confunde com a história da mineração, isto é, a ocupação do território amapaense e suas formações social e econômica estiveram em grande parte conectadas às atividades de extração mineral, sobretudo auríferas. Relata-se que motivados pela busca de riquezas, estrangeiros iniciaram a mineração nas terras amapaenses ainda no século XVII, porém apenas em 1893 a região se consolidou como um notável polo garimpeiro a partir da descoberta de enormes quantidades de ouro na região do Lourenço. De acordo com DNPM (1986) a descoberta destes depósitos consolidou a região como de grande potencial mineral, pois elevou a produção média anual de ouro do Lourenço/Cassiporé de 165kg para cerca de 4992kg em 1894.

O Decreto nº 74.607, de 25 de setembro de 1974 instituiu a criação do Programa de Pólos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (POLAMAZÔNIA). Tal programa objetivava implantar pólos econômicos regionais - com forte investimento em infraestruturas - capazes de permitir a fixação populacional nas regiões abrangidas, a concentração de capitais e a consequente criação de novos espaços de desenvolvimento na Amazônia, considerada pelo governo militar – sobretudo de Ernesto Geisel (1974-1979) – como importante fronteira tropical devido às suas riquezas naturais. Os incentivos trazidos pela POLAMAZÔNIA ocasionaram a atração de empresas mineradoras para a região do Lourenço, em áreas de garimpo de ouro. Assim, ao final da década de 1980 a Mineração Novo Astro S.A. (MNA) e a Mineração Yukio Yoshidome S.A. (MYRSA) instalaram-se no local. Segundo Mathis, Brito e Bruseke (1997), entre os anos de 1983 a 1995, a MNA investiu cerca de US\$53 mi com uma produção total declarada de 20 toneladas de ouro. Com o encerramento das atividades da MNA, seus direitos minerários foram transferidos para a Cooperativa dos Garimpeiros do Lourenço (COOGAL), que explora tal região até os dias de hoje.

A comunidade dos garimpeiros do Lourenço foi oficialmente categorizada como comunidade tradicional, enquadrando-se na definição proposta pelo Decreto nº 6.040, de 7 de fevereiro de 2007 (que institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais – PNPC):

“Povos e Comunidades Tradicionais: grupos culturalmente diferenciados e que se reconhecem como tais, que possuem formas próprias de organização social, que ocupam e usam territórios e recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica, utilizando conhecimentos, inovações e práticas gerados e transmitidos pela tradição;”.

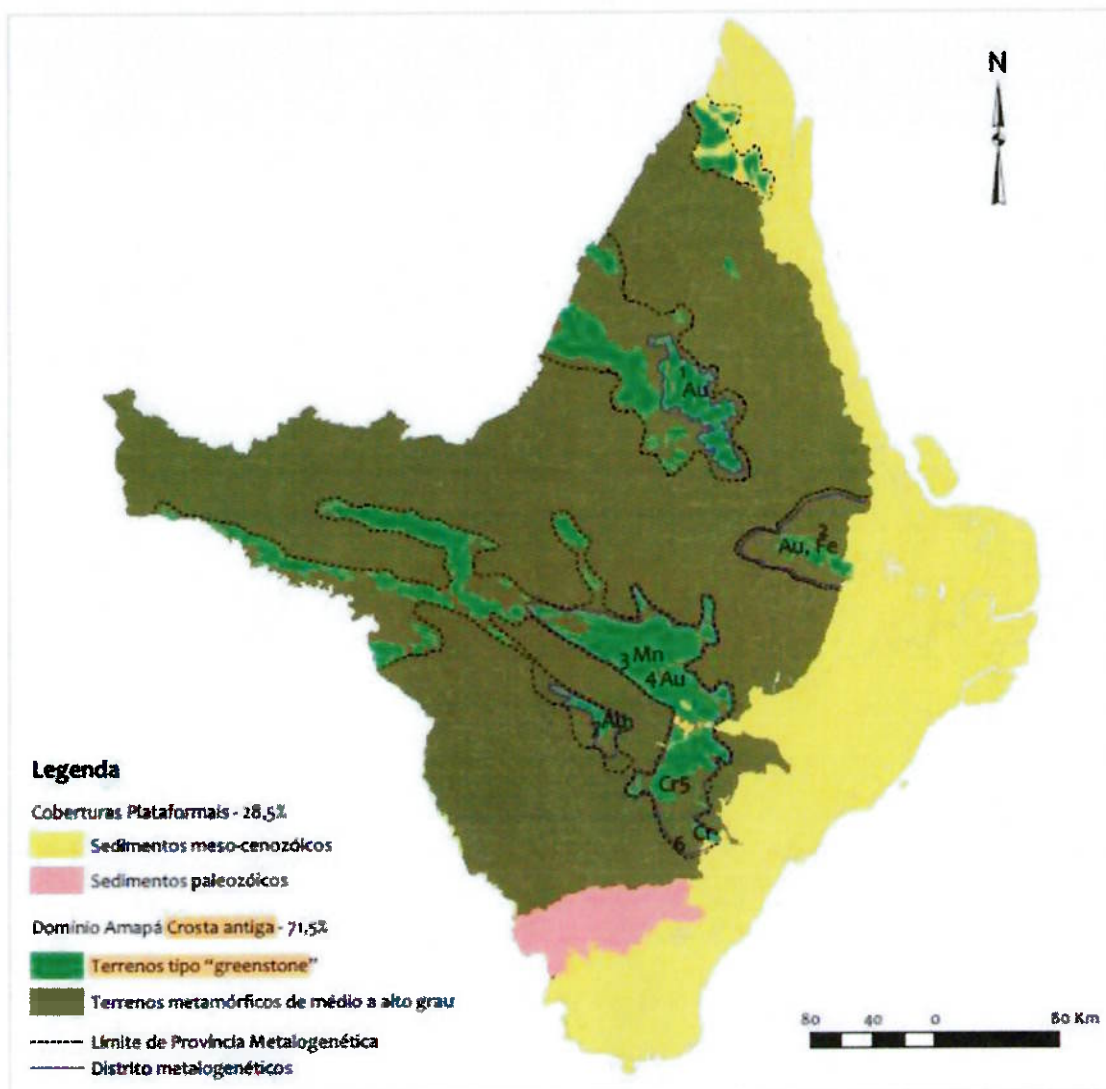
No dia-a-dia local, o garimpo configura a principal fonte de renda, impulsionando outras atividades como o comércio.

2.3.2 GEOLOGIAS REGIONAL E LOCAL

O Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (2002) apresenta um modelo de arcabouço geológico simplificado para o estado, caracterizado por duas unidades geotectônicas distintas assim como exibido na figura 4:

- a) Crosta antiga, retrabalhada ou não e
- b) Coberturas plataformais.

Figura 4 - Arcabouço geotectônico e distritos metalogenéticos do Amapá



Fonte: Adaptado de Oliveira(2010)

Observa-se que cerca de 71,5% do território amapaense é composto pelo domínio de crosta antiga. Os números assinalados indicam as principais concentrações mineralógicas do estado, sendo:

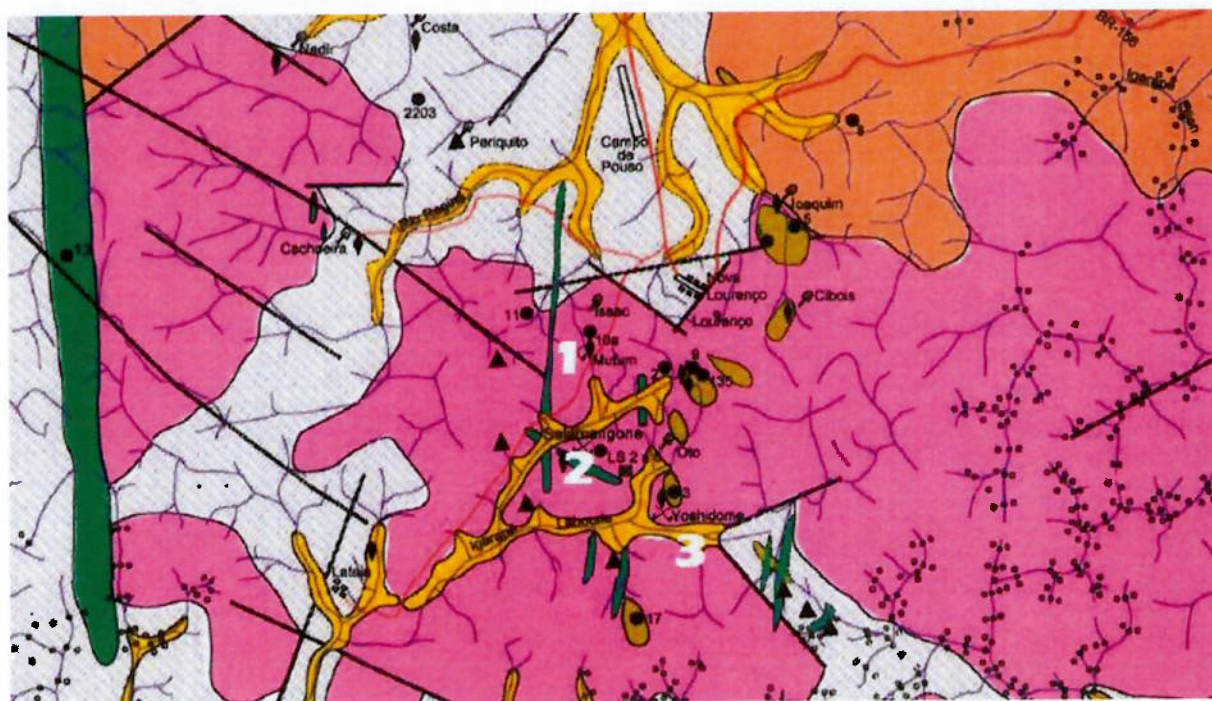
- 1-Lourenço (Au);
- 2-Tartarugalzinho (Au);
- 3-Serra do Navio (Mn);
- 4-Serra do Navio/Vila Nova (Au);
- 5-Bacuri (Cr);
- 6-Igarapé do Breu (Cr) e
- 7-Cupixi (Au).

Segundo Faraco et al.(2000) o domínio de crosta antiga é composto por terrenos metamórficos de médio a alto grau, formados por gnaisses, granulitos e migmatitos. Destaca-se que a região do Lourenço é formada por terrenos tipo "*greenstone*", que são associações litológicas de grande interesse econômico representadas por rochas metavulcano-sedimentares, onde comumente estão concentrados minerais metálicos de alto valor econômico. Em tal região a mineralização aurífera está associada a veios de quartzo hospedados em gnaisses tonalíticos (denominados "frisos" pelos garimpeiros locais) acompanhados geralmente por uma alteração hidrotermal de caráter cálcico (denominada "caulim" pelos garimpeiros locais).

Na figura 5 estão indicadas as principais formações rochosas ao entorno do Lourenço, incluindo-o, em que:

- 1- Mina do Mutum,
- 2- Salamangone,
- 3- Yushidome.

Figura 5 - Esboço Geológico do Distrito Aurífero de Lourenço



Legenda

Quaternário	Aluvião (Unidade F)
Permiano-Trilítico (Suíte Intrusiva Caseiporé)	Diabásio/Gabro (Unidade E)
Mesoproterozóico (?)	Granitóides indiferenciados (Unidades D1, D3 e D4)
Paleoproterozóico	Tonalitos/Granodioritos/Tonalitos-Gnaissicos indiferenciados (Unidade B1)
Evento Transamazônico	Metasedimentos e Metavulcânicas (Unidade B1)
	Xistos indiferenciados
	Quartzitos
	Anfibolitos
Paleoproterozóico (Grupo Vila Nova ?)	
Paleoproterozóico/ Arqueano (?)	Gnaisses/Migmatitos/Granitóides indiferenciados (Sub-unidade A1)

Fonte: Adaptado de NOGUEIRA (2002)

Segundo Nogueira (2002), as rochas granitóides gnáissicas e migmatitos predominam em cerca de 40% da área do Lourenço; tonalitos e granodioritos concentram-se na porção central, sobretudo nas áreas do Mutum e Salamangone; veios de quartzo cortam estas unidades geológicas e orientam-se, em sua maioria, segundo a direção NW (mergulhando para NE ou SW); áreas do Mutum e Salamangone apresentam afloramentos com maior expressão de veios de quartzo. A figura 6 ilustra um fragmento de quartzo, associado a sulfetos, oriundo da Mina do Mutum.

Figura 6 - Associação de quartzo e sulfetos



Fonte: Arquivo pessoal

2.3.3 PRODUÇÃO AURÍFERA

A área relativa à frente do Mutum pertenceu, na década de 1980, à Mineração Novo Astro, que desenvolveu uma mina subterrânea da qual explorou os níveis mais superficiais – oxidados. A figura 7 ilustra a disposição física da área relativa à mina do Mutum.

Figura 7 - Vista panorâmica da Mina do Mutum em que 1-Casa de bombas e compressores; 2-Refeitório; 3-Sala de amalgamação; 4-Cominuição; 5-Entrada para o subterrâneo



Fonte: Arquivo pessoal

Tempos depois, foi realizada a limpeza do túnel de acesso à galeria principal da Mina do Mutum a fim de se retomar as atividades de lavra subterrânea. A figura 8 exibe tal túnel ao longo do qual há aproximadamente 60 metros de escada e um conjunto de trilhos através dos quais escoam-se o minério desmontado à superfície, onde é coletado e levado às etapas de cominuição.

Figura 8 - Túnel de acesso à galeria principal



Fonte: Adaptação de arquivo pessoal e de Prof. Giorgio de Tomi

Atualmente está sendo lavrado um nível com notável concentração de ouro associado a minérios sulfetados, uma vez que os níveis predominantemente oxidados já foram explotados no passado, sobretudo pela Mineração Novo Astro. Destaca-se a presença de pirita (FeS_2 , conhecida como “malacaxeta” pelos garimpeiros), calcopirita (CuFeS_2) e pirrotita (FeS). Entretanto, a atual planta de beneficiamento não é capaz de concentrar ouro oriundo dos níveis sulfetados, que acaba sendo redirecionado às pilhas de rejeito (“curimãs”).

A escolha da frente a ser desmontada baseia-se na presença do “friso”, isto é, dos veios de quartzo. Portanto a lavra avança na direção e sentido do avanço do friso, sendo interrompida quando o “caulim” (intrusão cálcica) se sobrepõe ao quartzo. A localização dos veios de quartzo é puramente visual pois há um limite de coloração bem definido para a rocha encaixante (tonalito do grupo Lourenço), o quartzo e a intrusão cálcica, conforme exhibe a figura 9. Entretanto este método de avanço não é acurado, uma vez que a presença de quartzo não é indicativa suficiente da existência de minério de ouro. Por vezes são realizados alguns furos-teste – como exemplifica a figura 10 - e o material oriundo do avanço da perfuração é bateado a fim de se encontrar fagulhas de ouro, justificando ou não o desmonte de tal frente. Outras vezes, para tal finalidade, estes furos são detonados e o material amostral resultante é moído e separado na bateia.

Figura 9 - Detalhe da parede de uma das galerias em que “A” indica o “Friso”, “B” a Rocha encaixante (tonalito do grupo Lourenço) e “C” o “Caulim”.

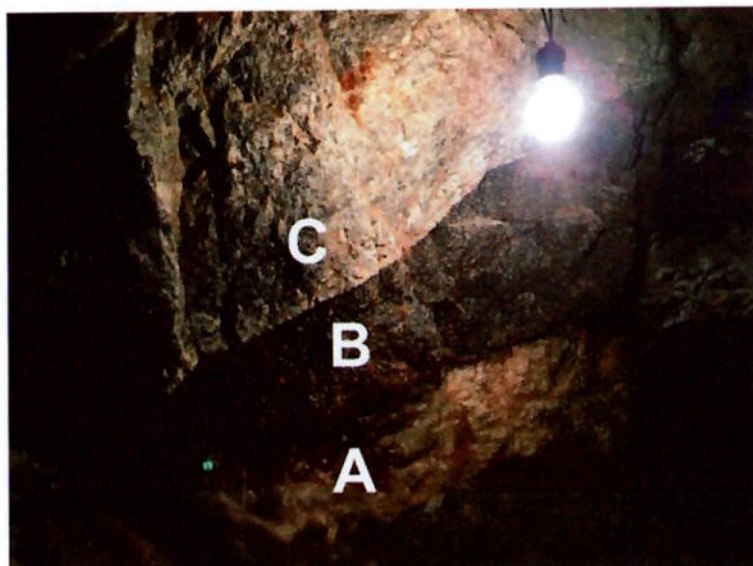


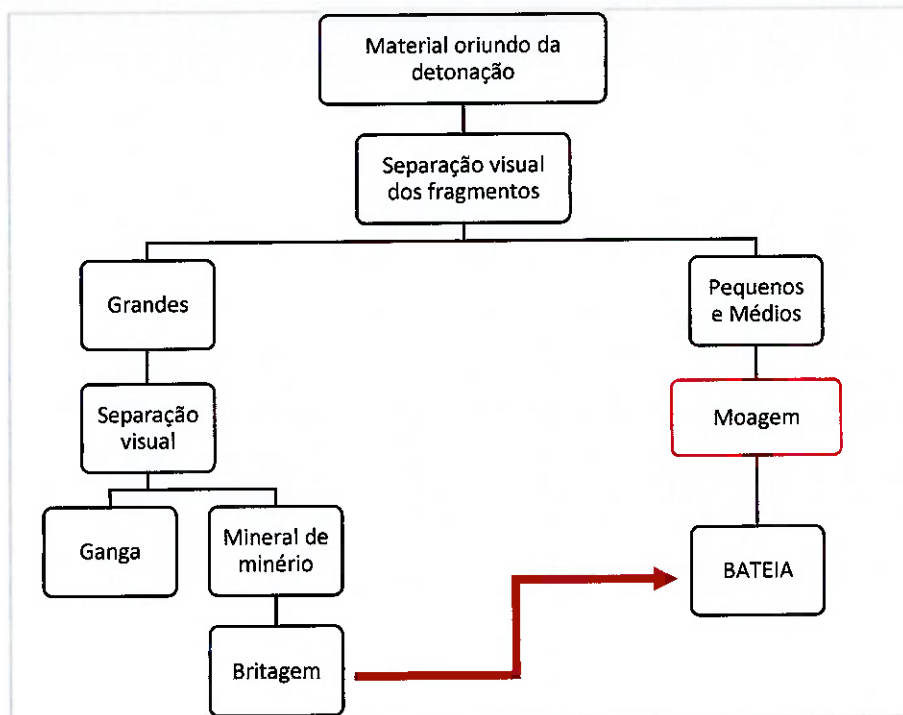
Figura 10 - Furos-teste no friso.



Fonte: Arquivo pessoal

O fluxograma da figura 11 ilustra a sequência de atividades realizadas na etapa de cominuição, evidenciando o baixo nível de conhecimento técnico aplicado às atividades. Ao final do dia o material retino na moagem dos quatro moinhos de martelos é separado por densidade através do uso de uma bateia, a fim de se concentrar o ouro coletado.

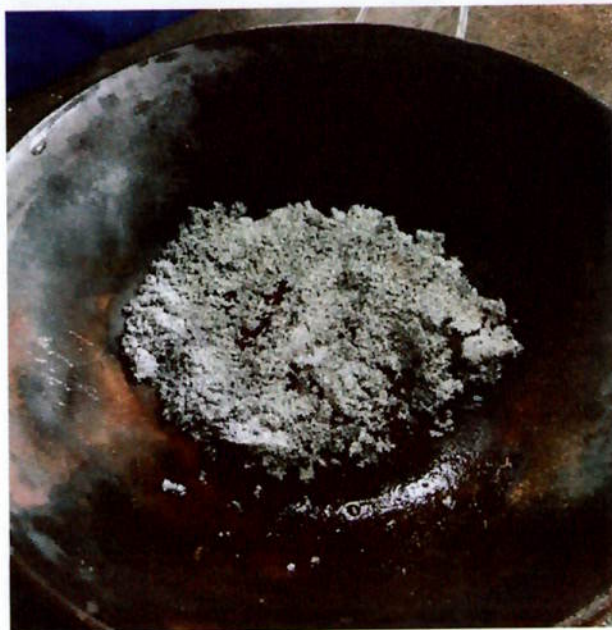
Figura 11 - Sequência de atividades na etapa de cominuição



Fonte: Elaboração própria

Nas etapas de moagem e “bateamento” adiciona-se mercúrio, que, diferentemente de o que comumente ocorre em minerações artesanais de ouro, é quase inteiramente recuperado. A figura 12 exhibe a amálgama final antes da queima, e as figuras 13 e 14 mostram o processo de evaporação do mercúrio e a obtenção do produto final, respectivamente.

Figura 12 - Ouro e mercúrio em amálgama.



Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 13 - Queima da amálgama Au-Hg



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 14 - Produto final



Fonte: Arquivo Pessoal

2.3.4 SOCIEDADE

O garimpo possui uma importância histórica no Lourenço e está na base da sociedade local. Em cada frente de lavra, a renda oriunda da venda do ouro extraído é dividida entre os cooperados em um sistema de parceria no qual no mínimo 15% do total bruto produzido é destinado aos membros da cooperativa - na mina do Mutum esse percentual é de 25%. Há também as atividades de comércio, que se sustentam graças ao garimpo uma vez que os trabalhadores gastam seus pagamentos com os produtos ofertados localmente.

O repasse de recursos públicos é insignificante ou até nulo, sobretudo porque o Lourenço é um dos três distritos de um pequeno município do estado – Calçoene- cuja expressividade em termos federais também é pouco significativa no sentido de aporte de auxílios financeiros públicos. Sendo assim é possível notar, por exemplo, a absoluta carência de saneamento básico na comunidade, que destina seus dejetos e lixos no próprio meio ambiente, isto é, na floresta amazônica. Um pequeno posto de saúde abastece a população, lidando com as patologias mais simples e com a malária, doença muito comum e que atingiu quase quatrocentos moradores no ano de 2018.

Portanto, é possível dizer que melhorias na produção da Mina do Mutum impactariam toda a comunidade do Lourenço. Tal mina já apresenta diversas singularidades em relação às outras frentes de lavra – o fato de ser subterrânea, ter maior porte, recircular a água utilizada nos processos de beneficiamento etc – e por isto seus integrantes já apresentam uma pré-disposição a mudanças.

3. METODOLOGIA

Para melhor compreender como a Engenharia de Minas poderia contribuir para a transformação para sustentabilidade da mineração artesanal de ouro, a metodologia adotada foi:

1) Revisão bibliográfica

- Geologias regional e local
- Contexto histórico
- Características da lavra e do beneficiamento de ouro
- Aspectos gerais de uma mineração artesanal
- Pesquisas, estudos e publicações sobre mineração artesanal de ouro (Artisanal Gold Mine – ASM) e suas características
- Estudos sobre os impactos ambientais oriundos da mineração artesanal de ouro
- Desenvolvimento sustentável aplicado à mineração

2) Visita a uma mineração artesanal de ouro na Amazônia

- Trinta dias acompanhando pessoalmente os trabalhos realizados e a rotina dos mineradores, visando obter:
 - i) Diagnóstico das atividades de lavra e beneficiamento
 - (1) Problemas/dificuldades enfrentados
 - (2) Oportunidades de melhoria
 - ii) Diagnóstico dos fatores sociais e ambientais envolvidos
 - (1) Cotidiano da comunidade
 - (2) Relação comunidade-mineração
 - iii) Proposição de um plano de intervenção que contemple os princípios do desenvolvimento sustentável
 - (1) Pontos positivos e negativos

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante trinta dias foram coletadas, em campo, diversas informações sobre aspectos técnicos, sociais e ambientais dos trabalhos realizados na Mina do Mutum.

. Tal mina já apresenta diversas singularidades em relação às outras frentes de lavra – o fato de ser subterrânea, ter maior porte, recircular a água utilizada nos processos de beneficiamento etc – e por isto seus integrantes já apresentam uma pré-disposição a mudanças.

Com o objetivo de elevar a eficiência produtiva das atividades propõem-se a participação da Engenharia de Minas, contribuindo com seus conhecimentos de lavra, beneficiamento, gerenciamento de reservas e produção sustentável. Para tal sugere-se a abordagem:

- 1) Caracterização tecnológica de amostras das pilhas de rejeitos;
- 2) Análise da viabilidade de se concentrar o ouro remanescente nestas pilhas,
- 3) Se comprovada a viabilidade:
 - Criação de um plano técnico-econômico para contemplar os investimentos para concentração do ouro das pilhas de rejeito e para aquisição equipamentos adequados à concentração do ouro oriundo do desmonte.
 - Pagamento: receita oriunda da venda do o ouro obtido do rejeito e dos desmontes diários.
 - Criação de uma reserva de capital para futuramente desenvolver atividades de pesquisa mineral.
 - Criação de uma planta-piloto para aprendizagem das novas técnicas.
- 4) Se não comprovada a viabilidade:
 - Criação de um plano econômico a longo prazo para implementação lenta e gradual de melhores técnicas de produção de ouro
 - Pagamento: economia de pequenos montantes da receita gerada pela venda do ouro produzido e/ou investimentos externos (governos, terceiros, ONG's etc)

Para o sucesso de tal abordagem é essencial que se desenvolva uma relação de confiança com os mineradores, sempre evidenciando o retorno financeiro (aumento na produção de ouro) como resultado primário das mudanças propostas. Além de, contemplar, nos planos a serem aplicados, a realidade desta mineração, as necessidades e dificuldades dos mineradores.

Ainda assim é preciso evidenciar os possíveis pontos positivos e negativos de tal iniciativa, sejam eles:

1) Positivos

- Aumento na produtividade
- Melhoria nas condições de saúde e segurança do trabalho
- Redução dos impactos ambientais
- Melhoria nas condições financeiras dos trabalhadores e da comunidade local
- Exemplo um case de sucesso de transformação para sustentabilidade em mineração artesanal de ouro, embasando iniciativas futuras.

2) Negativos

- Desconfiança por parte dos mineradores, resultando em não aceitação ou não cooperação.
- Ausência de investimentos externos

Mesmo perante os pontos negativos, é essencial que se reconheça a importância de uma abordagem neste cenário, pois há uma forte tendência ao aumento na demanda por ouro e, conseqüentemente, uma tendência ao crescimento do número de minerações artesanais, à elevação da participação deste segmento no fornecimento mundial do metal precioso assim como aumento das emissões de mercúrio à atmosfera e aos corpos d'água locais e dos impactos à saúde dos trabalhadores.

5. CONCLUSÃO

A partir deste trabalho conclui-se que a produção global de ouro está progressivamente mais relacionada à participação de minerações artesanais uma vez que, graças ao seu caráter flexível, elas oferecem uma rápida resposta à variação na demanda global por tal metal. Sendo assim faz-se necessário atentar-se às características deste tipo de mineração analisadas neste trabalho, sendo as principais: uso de técnicas rudimentares, baixo capital investido, baixo nível tecnológico, carência de investimentos e geração de grandes impactos ambientais e sociais.

Apesar de haver diversos impactos negativos oriundos desta atividade – danos à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente e baixas condições de segurança no trabalho - é possível sugerir uma abordagem que conte com a participação da Engenharia de Minas na promoção de conhecimento técnico aos mineradores e na implantação de tecnologias sustentáveis e adequadas à realidade local. Isto porque, deste modo melhora-se a eficiência da produção de ouro e, conseqüentemente, eleva-se a sustentabilidade das técnicas aplicadas e a qualidade de vida dos envolvidos.

Como proposta de abordagem à mineração artesanal de ouro analisada neste trabalho ("Mina do Mutum"), sugeriu-se desenvolver planos econômicos para implementar novas práticas (e/ou aprimorar as já em vigor) mais produtivas e sustentáveis, desde que respeitadas as especificidades – geológicas, sociais, econômicas, ambientais etc.- desta frente de lavra. Para tanto, é ideal que a abordagem se inicie pelo pilar econômico pois ele é estratégico para convencer os trabalhadores locais a participarem de todo trabalho a ser conduzido. Isto porque a partir da faceta econômica aumenta-se a produtividade das atividades mineradoras e, conseqüentemente, o ganho dos garimpeiros.

Entretanto qualquer abordagem neste sentido deve contar com total aceitação por parte dos envolvidos. Mesmo diante dos benefícios a serem gerados pela implementação de um plano de ação – melhoria na produção e nas condições de trabalho, redução de impactos ambientais e à saúde – é possível que não haja aceitação e/ou cooperação dos mineradores. Isto é, mesmo havendo mais pontos positivos do que negativos, a participação ativa dos trabalhadores é crucial para o sucesso da iniciativa.

REFERÊNCIAS

ADAMS, William M. et al. The future of sustainability: Re-thinking environment and development in the twenty-first century. In: **Report of the IUCN renowned thinkers meeting**. 2006. p. 31.

AGÊNCIA AMAPÁ. Macapá. Apresenta informações e notícias sobre o estado, sobretudo de cunho econômico. Disponível em: <<http://ageamapa.ap.gov.br/>>. Acesso em: 11 out. 2019.

AMBIENTE, Comissão Mundial Sobre Meio. Desenvolvimento-CMMAD.(1988). **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas.

DE TOMI, Giorgio Assessing risk in small- and medium-scale mining enterprises in Brazil In: **Proceedings of London FINEX 2018**. Londres: IOM3, 2018. (online). Disponível em: <<http://www.londonfinex.com/wp-content/uploads/2018/08/20-FINEX-DeTomi.pdf>>. Acesso em: 16 nov 2019.

Decreto 6.040, de 07 de fevereiro de 2007. Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6040.htm>. Acesso em: 07 out. 2019

Decreto 74.607, de 25 de setembro de 1974. Dispõe sobre a criação do Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (POLAMAZÔNIA). Brasília, DF, 1974. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-74607-25-setembro-1974-423225-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 14 out. 2019.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Inventário sócio-econômico das regiões auríferas do Território Federal do Amapá. Fase I: Lourenço, Cassiporé e Vila Nova. Belém, 1986. Relatório Técnico. 40p

FARACO, Maria Telma Lins; MARINHO, PA da C.; VALE, Armínio Gonçalves. Metallogenic map of Pará state, Brazilian Amazon integrated to radar image and airborne geophysical survey. 2000

GUERRERO ALMEIDA, Diosdanis; BLANCO TORRENS, Roberto Cipriano. **Criterios generales de sostenibilidad para la actividad minera**. 2002.

GUIA GEOGRÁFICO. Apresenta informações gerais sobre aspectos geográficos mundiais. Disponível em <<https://www.guiageografico.com>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

HILSON, Gavin. Small-scale mining and its socio-economic impact in developing countries. In: **Natural Resources Forum**. Oxford, UK and Boston, USA: Blackwell Publishing Ltd, 2002. p. 3-13.

HOADLEY, M.; LIMPITLAW, D. The artisanal and small scale mining sector and sustainable livelihoods. In: **Mintek Small Scale Mining Conference, Book of Proceedings**. 2004. p. 1-9.

INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO AMAPÁ. Macrodiagnóstico do Estado do Amapá: primeira aproximação do ZEE. Macapá, 2002. 140 p.

Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development (IGF). **Global Trends in Artisanal and Small-Scale Mining (ASM): A review of key numbers and issues**. Winnipeg: The International Institute for Sustainable Development (IISD), 2017. (Relatório técnico)

MARIN, Tatiane et al. Economic feasibility of responsible small-scale gold mining. **Journal of cleaner production**, v. 129, p. 531-536, 2016.

MATHIS, Armin; DE BRITO, Daniel Chaves; BRÜSEKE, Franz Josef. Riqueza volátil: a mineração de ouro na Amazônia. Editora Cejup, 1997.

NOGUEIRA, Sonia Aparecida Abissi; BETTENCOURT, Jorge Silva. Contribuição ao estudo metalogenético do depósito de ouro de Salamangone, Distrito Aurífero de Lourenço, Amapá. 2002

SECCATORE, Jacopo et al. An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. **Science of the Total Environment**, v. 496, p. 662-667, 2014.

SECCATORE, Jacopo; DE TOMI, Giorgio; VEIGA, Marcello. Efficiency as a road to sustainability in small scale mining. In: **Materials Science Forum**. Trans Tech Publications, 2015. p. 395-402.

STOCKLIN-WEINBERG, Ruby; VEIGA, Marcello M.; MARSHALL, Bruce G. Training artisanal miners: A proposed framework with performance evaluation indicators. **Science of The Total Environment**, v. 660, p. 1533-1541, 2019. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719301299>>. Acesso em: 21 set 2019.

UNEP (United Nations Environment Programme). **Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport**. Geneva UNEP: Chemicals Branch, 2013. (Relatório técnico)

VEIGA, Marcello M. et al. Processing centres in artisanal gold mining. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 535-544, 2014.

VEIGA, Marcello M.; ANGELOCI-SANTOS, Gustavo; MEECH, John A. Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining. **The Extractive Industries and Society**, v. 1, n. 2, p. 351-361, 2014.

VEIGA, Marcello Mariz. **Introducing new technologies for abatement of global mercury pollution in Latin America**. CETEM/CNPq, 1997.

WHO (World Health Organization). 2007. **Exposure to Mercury: A Major Public Health Concern**. Geneva:WHO, 2007. (Relatório técnico)

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BOND, Carol J. Positive peace and sustainability in the mining context: beyond the triple bottom line. **Journal of Cleaner Production**, v. 84, p. 164-173, 2014. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614000468>>. Acesso em: 15 jun 2019.

FERREIRA, L. G. As relações sociais no garimpo de Lourenço: um estudo de caso. 1990. 45 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal do Pará, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Belém.

GIBB, Herman; O'LEARY, Keri Grace. Mercury exposure and health impacts among individuals in the artisanal and small-scale gold mining community: a comprehensive review. **Environmental health perspectives**, v. 122, n. 7, p. 667-672, 2014.

GONÇALVES, Adriana O. et al. Evidence of reduced mercury loss and increased use of cyanidation at gold processing centers in southern Ecuador. **Journal of cleaner production**, v. 165, p. 836-845, 2017.

HYLANDER, Lars Daniel. Gold and amalgams: Environmental pollution and health effects. 2011.

KUNTER, R.; MRIDHA, S. Gold: Alloying, properties, and applications. **Encyclopedia of Materials: Science and Technology**, p. 3593-3596, 2001.

LINS, Fernando Antonio Freitas. Aspectos diversos da garimpagem de ouro. 1992.

PUCHE-RIART, O.; SELLEY, R. C. LRM and Cocks, IR, Plimer, Encyclopedia of Geology, History of Geology up to 1780. 2005.

SALMAN, Ton; DE THEIJE, Marjo. Analysing conflicts around small-scale gold mining in the Amazon: the contribution of a multi-temporal model. **The Extractive Industries and Society**, v. 4, n. 3, p. 586-594, 2017.

SILVA, Eva de Fátima Grêlo da et al. Análise da implementação dos planos de recuperação de áreas degradadas pela mineração em Lourenço (AP). 2005.

UN Environment 2019. **Global Mercury Assessment -2018**. Geneva : UN Environment Programme Chemicals and Health Branch, 2019. (Relatório técnico)

UNEP (United Nations Environment Programme). 2013b. **Mercury, Negotiations: The Negotiating Process**. Available: <http://www.unep.org/hazardoussubstances/>

WALS, Arjen EJ; KRASNY, Marianne; HART, Paul. Social learning, sustainability and environmental education research. In: **THE ANNUAL MEETING OF THE NORTH AMERICAN ASSOCIATION FOR ENVIRONMENTAL EDUCATION**. 2007.

ZHU, Yongfeng; AN, Fang; TAN, Juanjuan. Geochemistry of hydrothermal gold deposits: a review. **Geoscience Frontiers**, v. 2, n. 3, p. 367-374, 2011.