

**FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA
NÚCLEO DE PESQUISA PARA A PEQUENA MINERAÇÃO RESPONSÁVEL**

**CARLOS HENRIQUE XAVIER ARAUJO
OSWALDO MENTA SIMONSEN NICO
GIORGIO DE TOMI**

**PANORAMA NACIONAL DA
MINERAÇÃO ARTESANAL E EM PEQUENA ESCALA
DE OURO**

**VOLUME VII
DIAGNÓSTICO DOS ASPECTOS OPERACIONAIS**

**SÃO PAULO
MARÇO/2025**



CARLOS HENRIQUE XAVIER ARAUJO
OSWALDO MENTA SIMONSEN NICO
GIORGIO DE TOMI

**PANORAMA NACIONAL DA
MINERAÇÃO ARTESANAL E EM PEQUENA ESCALA
DE OURO**

**VOLUME VII
DIAGNÓSTICO DOS ASPECTOS OPERACIONAIS**

Estudo realizado no âmbito do Projeto “Desenvolvimento do Plano de Ação Nacional para a Mineração Artesanal e em Pequena Escala de Ouro no Brasil”, financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), implementado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e em apoio ao Ministério de Minas e Energia da República Federativa do Brasil.

GEFID 10860 - S1-32GFL-000749
Ctt. 2137 / 4197/ 4196/ 4295

SÃO PAULO
MARÇO/2025



Projeto Desenvolvimento do Plano de Ação Nacional para a Mineração Artesanal e em Pequena Escala de Ouro no Brasil

Coordenações do Projeto

Hassan Sohn

Articulação Institucional

Giorgio Francesco Cesare de Tomi

Técnica

Oswaldo Menta Simonsen Nico

Financeira

Carlos Henrique Xavier Araujo

Atividades de Campo

Ébida Rosa Santos

Comunicação

Dione Macedo

Organização e Sistematização

Equipe de Campo

Carlos Henrique Xavier Araujo

Deborah Goldemberg

Januaria Pereira Mello

Carlos Eduardo Porto Andrade

Rodrigo Daniel de Miranda Matos

Geoprocessamento

João Vítor Santos

Apoio Operacional

Elisangela Romanelli Terenci

As opiniões, conclusões, recomendações ou quaisquer afirmações emitidas neste trabalho são de exclusiva e inteira responsabilidade do(s) consultor(es) responsáveis pela sua elaboração, não exprimindo necessariamente a opinião da Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE), ou do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), ou do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) ou do Ministério de Minas e Energia da República Federativa do Brasil.

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.

Foto de capa: Carlos Henrique Xavier Araujo
Localidade: Garimpo de baixão, Pará (2019).



AGRADECIMENTOS

Os Autores expressam o seu agradecimento às seguintes instituições, pela contribuição para a realização deste trabalho:

Federação das Cooperativas de Mineração do Estado de Mato Grosso – FECOMIM

Federação das Cooperativas de Garimpeiros do Pará – FECOGAP

Organização das Cooperativas Brasileiras – OCB

Agência Nacional de Mineração – ANM

Departamento de Desenvolvimento Sustentável na Mineração do Ministério de Minas e Energia (MME/SGM/DDSM)

Global Mercury Partnership (UNEP/GMP)

Equipe do Projeto Ochroma

Os Autores igualmente expressam seus agradecimentos à equipe de campo e a todas as pessoas envolvidas para realização das atividades de campo, lideranças e corpo técnico de cooperativas e associações de garimpeiros, autoridades e agentes públicos que gentilmente contribuíram para o êxito do trabalho.

Expressa-se agradecimento especial ao Prof. Dr. Marcello Veiga pela valiosa colaboração e pelo compartilhamento de conhecimento para o desenvolvimento deste relatório, em particular nas análises do capítulo sobre testes metalúrgicos para recuperação de ouro.



RESUMO

Este documento apresenta um panorama da mineração artesanal e de pequena escala de ouro (MAPE) no Brasil, com foco nas práticas atuais de lavra e beneficiamento. O estudo analisa os métodos de produção, as tecnologias empregadas, o uso de equipamentos e as condições de trabalho observadas em campo. Especial atenção foi dada ao diagnóstico do uso de mercúrio, abordando as práticas de amalgamação e as emissões associadas. Foram analisadas a capacitação técnica e as condições de assistência técnica nas áreas estudadas, bem como a eficiência de recuperação e as perdas de ouro no processo produtivo. Os trabalhos de campo foram realizados em áreas de operação legal da MAPE de ouro, sendo que a equipe de campo do Projeto Ouro sem Mercúrio não realizou visitas a áreas de extração ilegal, localizadas fora de Permissões de Lavra Garimpeira (PLGs) ou em locais onde a existência de licença é proibida, como unidades de conservação de proteção integral e terras indígenas. Com base nos resultados, o documento apresenta recomendações para subsidiar a implementação de ações técnicas no futuro Plano de Ação Nacional para a MAPE de ouro no Brasil, conforme o artigo 7.º e o Anexo C da Convenção de Minamata sobre o Mercúrio.

Palavras-chave: garimpo de ouro; mercúrio; contaminação, capacitação técnica, extração e processamento.

ARAUJO, C. H. X.; NICO, O. M. S.; DE TOMI, G. **Panorama nacional da mineração artesanal e em pequena escala de ouro, vol. VII: diagnóstico dos aspectos operacionais**. São Paulo: FDTE, mar. 2025. DOI: <https://doi.org/10.29327/5675050>.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS	Espectroscopia de Absorção Atômica
ABNT	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AI	Inteligência Artificial
ANM	Agência Nacional de Mineração
APP	Área de Preservação Permanente
	Agência dos Estados Unidos para Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças
ATSRD	
CEFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes do Trabalho na Mineração
CIPAMIN	
COMIDEC	Cooperativa Mista de Desenvolvimento do Creporizão
CONEP	Comissão Nacional de Ética e Pesquisa
COOGAL	Cooperativa de Mineração dos Garimpeiros do Lourenço
COOGARIMA	Cooperativa dos Garimpeiros do Rio Madeira
COOGAVEPE	Cooperativa dos Garimpeiros do Vale do Rio Peixoto
COOPER POCONÉ	Cooperativa de Desenvolvimento Minerais de Poconé
COOPERTRANS	Cooperativa dos Garimpeiros de Moraes Almeida e Transgarimpeira
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRAFT	Código de Mitigação de Riscos
DDSM	Departamento de Desenvolvimento Sustentável na Mineração
DTVM	Distribuidora de Títulos e Valores Mobiliários
EGPS	Extractives Global Programmatic Support
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FDTE	Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia
FECOGAP	Federação das Cooperativas de Garimpeiros do Pará
	Federação das Cooperativas de Mineração do Estado de Mato Grosso
FECOMIM	
GEF	Global Environment Facility
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GMP	Global Mercury Partnership
GPS	Global Positioning System
IDMTAP	Instituto de Desenvolvimento Mineral do Tapajós
ILO	International Labour Organization
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MAPE	Mineração artesanal e em pequena escala
METAMAT	Companhia Matogrossense de Mineração
MIBC	Metil Isobutil Carbinol
MME	Ministério de Minas e Energia
NAP.Mineração/USP	Núcleo de Pesquisa para Pequena Mineração Responsável
NBR	Norma Brasileira Registrada
NR	Norma Regulamentadora
OCB	Organização das Cooperativas Brasileiras



PAAF	Província Aurífera Alta Floresta
PAN	Plano de Ação Nacional
PCO	Posto de Compra de Ouro
PGR	Programa de Gerenciamento de Riscos
PLG	Permissão de Lavra Garimpeira
PMT	Província Mineral Tapajós
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SBG	Swiss Better Gold
SEMUSA	Secretaria Municipal de Saúde de Porto Velho
SGB	Serviço Geológico do Brasil
	Secretaria Nacional de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
SGM	Mineral
SIGMINE	Sistema de Informações Geográficas da Mineração
UBC	University of British Columbia
UEA	Universidade do Estado do Amazonas
UNEP	United Nations Environment Programme
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
UNITAR	United Nations Institute for Training and Research
USP	Universidade de São Paulo
WOA	Whole Ore Amalgamation



LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Critérios para seleção das áreas do estudo	8
Tabela 2. Síntese dos impactos da formalização para os aspectos operacionais.....	48
Tabela 3. Seleção de um equipamento para processamento mineral.....	73
Tabela 4. Distribuição das operações visitadas (n = 43)	78
Tabela 5. Características técnicas das balsas	86
Tabela 6. Características técnicas das dragas	89
Tabela 7. Tipos de acesso e meios de transporte nas operações visitadas	95
Tabela 8. Consumo de óleo diesel ou gasolina (litros/mês)	105
Tabela 9. Descrição dos equipamentos para produção mineral.....	108
Tabela 10. Tipos de calhas concentradoras identificadas nas visitas de campo.....	113
Tabela 11. Produção mensal de ouro e média do valor do grama de ouro *	126
Tabela 12. Eficiência do processo para recuperação do ouro	128
Tabela 13. Práticas proibidas pela Convenção de Minamata (n = 46)	135
Tabela 14. Locais onde é feita a amalgamação (n = 43).....	145
Tabela 15. Classificação do uso de EPI.....	159
Tabela 16. Deveres para empregadores e trabalhadores	161
Tabela 17. Boas práticas praticadas por organizações nas regiões visitadas	164
Tabela 18. Riscos operacionais identificados.....	168
Tabela 19. Tipos de alojamentos identificados nas visitas de campo	175
Tabela 20. Tipos de instalações sanitárias	179
Tabela 21. Tipos de esgoto sanitários identificados nas visitas de campo	180
Tabela 22. Destino dos resíduos sólidos.....	182
Tabela 23. Temas pré-definidos para capacitação e treinamento.....	190
Tabela 24. Temas de capacitação e treinamento sugeridos por grupos	191
Tabela 25. Dados das amostras coletadas	197
Tabela 26. Ensaio realizado no laboratório.....	201
Tabela 27. Total de amostragens realizadas.....	202
Tabela 28. Resultados dos balanços metalúrgicos	204
Tabela 29. Balanço metalúrgico de minério coluvionar	206
Tabela 30. Balanço metalúrgico das operações visitadas de minério eluvionar	206
Tabela 31. Teores de Ouro dos rejeitos amalgamados.....	207

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Maiores concentrações de permissão de lavra garimpeira no Brasil	7
Figura 2. Localidades visitadas campanha de campo no Amapá.....	12
Figura 3. Localidades visitadas na campanha de campo no Mato Grosso	12
Figura 4. Localidades visitadas na campanha de campo em Rondônia.....	13
Figura 5. Localidades visitadas na campanha no Amazonas.....	13
Figura 6. Locais visitados durante as campanhas de campo	14
Figura 7. Número de pessoas que trabalham na MAPE (1993-2023).....	16
Figura 8. Diversidade de termos culturais e regionais utilizados na MAPE.....	18
Figura 9. Produção de minerais entre a MAPE e a mineração industrial	20
Figura 10. Províncias e distritos auríferos do Brasil	26
Figura 11. Ouro primário e ouro secundário.....	29
Figura 12. Práticas manuais nos garimpos	38
Figura 13. Evolução de práticas garimpeiras nos anos 80	39
Figura 14. Evolução de práticas garimpeiras nos anos 1990 e 2000	42
Figura 15. Métodos de amalgamação utilizados para extração de ouro	56
Figura 16. Amalgamação de todo minério em moinhos de bolas na Colômbia.....	62
Figura 17. Moinhos de arraste na Costa Rica, Honduras e Nicarágua.....	62
Figura 18. Benefícios do uso de retortas.....	64
Figura 19. Modelos de retortas utilizados na MAPE de ouro	66
Figura 20. Fatores associados ao uso de mercúrio na amalgamação do ouro	69
Figura 21. Planta modelo e unidade móvel para treinamento na Colômbia.	75
Figura 22. Planta modelo e unidade móvel para treinamento na Colômbia	75
Figura 23. Visualização dos tipos de operações visitadas	77
Figura 24. Método de lavra de baixão com desmonte hidráulico	79
Figura 25. Operações de baixão visitadas pela equipe de campo	81
Figura 26. Método de lavra em bancadas com desmonte mecânico	82
Figura 27. Operações em lavra em bancadas.....	84
Figura 28. Fluxograma do método de lavra em leito de rio por balsa.....	85
Figura 29. Operações de balsas no Rio Madeira	87
Figura 30. Fluxograma do método de lavra em leito de rio por draga	88
Figura 31. Operações de balsas e dragas	91
Figura 32. Método de lavra subternea com explosivos	92
Figura 33. Exemplos de vias de acesso.....	96
Figura 34. Acesso por grupo de operação visitada (n = 43).....	97
Figura 35. Acesso por estado e total de operações visitadas (n = 43).....	97
Figura 36. Vila do Distrito de Lourenço na década de 80, Amapá	99
Figura 37. Vila do Distrito de Lourenço em 2023, Amapá	99
Figura 38. Porto de entrada da cidade de Manicoré, Amazonas.....	100
Figura 39. Balsas aglomeradas ao longo do rio Madeira, Amazonas	100
Figura 40. Rodovia Transgarimpeira, Pará	103
Figura 41. Rio Crepori, Pará.....	103
Figura 42. Identificação do título minerário (n = 43)	104
Figura 43. Identificação da Licença Ambiental (n = 43).....	104
Figura 44. Fontes de energia por grupo de operação (n = 43).....	105
Figura 45. Guincho com motor elétrico ligado a gerador a óleo diesel.....	107
Figura 46. Painéis solares para produção de energia	107
Figura 47. Tipos de equipamentos utilizados por grupo de operação	108
Figura 48. Tipos de equipamentos observados nas visitas de campo	109



Figura 49. Lavador de carpetes em dragas.....	111
Figura 50. Lavador de carpetes em garimpo de baixão	111
Figura 51. Vista em seção de um exemplo de calha concentradora	112
Figura 52. Tipos de calhas concentradoras.....	114
Figura 53. Monitor hidráulico usado em operações de baixão	116
Figura 54. Monitor hidráulico usado em operações de baixão	116
Figura 55. Britador de martelo em área de garimpo	119
Figura 56. Britador de martelo em área de garimpo	119
Figura 57. Concentrador centrífugo utilizado em lavra de bancadas	122
Figura 58. Jigue acoplado na calha concentradora para separação de tantalita.....	122
Figura 59. Controle geológico para descobrir depósitos de ouro (n = 51).....	123
Figura 60. Dados de controle geológico por estado (n = 43).....	124
Figura 61. Perda de mercúrio no processo (n = 51).....	131
Figura 62. Aumento do preço do kg de mercúrio nos últimos três anos (n = 51)	132
Figura 63. Fontes de oferta do mercúrio (n = 51).....	133
Figura 64. Práticas proibidas pela Convenção por operação visitada (n = 46)	136
Figura 65. Remoção do excesso de mercúrio na filtração antes da queima	137
Figura 66. Queima do amálgama sem retorta próximo ao alojamento	137
Figura 67. Concentração do material da calha concentradora	139
Figura 68. Moinho com placas de cobre cobertas com mercúrio	140
Figura 69. Equipamentos para concentração do amálgama (n = 43).....	142
Figura 70. Equipamentos para concentração do amálgama	144
Figura 71. Método para queima do amálgama (n = 43)	146
Figura 72. Retortas identificadas nas visitas de campo	147
Figura 73. Desafios observados em campo para adoção de retortas	148
Figura 74. Estrutura de uma capela um posto de compra de ouro.....	150
Figura 75. Estado com centrais para amalgamação (n = 43).....	152
Figura 76. Central de amalgamação	154
Figura 77. Estrutura interna de uma central de amalgamação	154
Figura 78. Central de amalgamação	155
Figura 79. Estrutura interna de uma central de amalgamação.....	155
Figura 80. Central de amalgamação com piscina de fibra	156
Figura 81. Exemplo de poço com cimento para amalgamação.....	156
Figura 82. Importância dos EPIs (n = 1051 entrevistados).....	158
Figura 83. Frequência de uso de EPI (n = 43)	158
Figura 84. Frequência de uso de EPIs por grupo de operações (n = 43).....	160
Figura 85. Frequência de uso de EPIs por estado (n = 43).....	160
Figura 86. Frequência de uso de EPIs	162
Figura 87. Garimpeiro com equipamentos de proteção no Amapá	166
Figura 88. Garimpeiro com equipamentos de proteção no Amapá	166
Figura 89. Garimpeiros com equipamentos de proteção no Pará	167
Figura 90. Organização de botas para uso nas dragas em Rondônia	167
Figura 91. Distribuição dos riscos físicos agrupados por operação (n = 43).....	169
Figura 92. Riscos químicos (n = 43).....	170
Figura 93. Riscos ergonômicos (n = 43).....	171
Figura 94. Riscos de acidentes (n = 43).....	172
Figura 95. Classificação dos alojamentos por operações (n = 43).....	176
Figura 96. Classificação dos alojamentos por estado (n = 43).....	176
Figura 97. Classificação das instalações sanitárias por operações (n = 43).....	179
Figura 98. Tipos de esgotamento sanitários por operações (n = 43)	180



Figura 99. Destino dos resíduos sólidos por operações (n = 43)	182
Figura 100. Disponibilidade de rádio nas operações visitadas (n = 43)	184
Figura 101. Cobertura celular nas operações visitadas (n = 43)	185
Figura 102. Reserva financeira para fechamento de mina (n = 51)	187
Figura 103. Como aprenderam a trabalhar no garimpo (n = 1.051)	189
Figura 104. Suporte técnico para os donos e supervisores no dia a dia (n = 51)....	193
Figura 105. Interesse sobre técnicas para eliminação de mercúrio (n = 1.051)	194
Figura 106. Interesse sobre técnicas para eliminação do mercúrio por estado (n = 1.051)	195
Figura 107. Exemplo de amostragem de garimpo de baixão (eluviação/coluvição)	198
Figura 108. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #2	209
Figura 109. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #2	209
Figura 110. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #3	210
Figura 111. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #3	210
Figura 112. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #4	212
Figura 113. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #4	212
Figura 114. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #6	213
Figura 115. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #6	213
Figura 116. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #7	215
Figura 117. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #7	215
Figura 118. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #8	216
Figura 119. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #8	216
Figura 120. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #14	218
Figura 121. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #14	218
Figura 122. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #23	219
Figura 123. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #23	219



SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. METODOLOGIA.....	4
3.1. Metodologia para coleta de dados primários	4
3.2. Metodologia para coleta de dados secundários.....	6
3.3. Definição das áreas para pesquisa de campo deste estudo.....	7
3.4. Logística para realização desse estudo.....	9
3.5. Campanhas de campo para realização desse estudo.....	14
4. CONTEXTUALIZAÇÃO DA MAPE DE OURO	16
4.1. Panorama da mineração artesanal e em pequena escala.....	16
4.2. Panorama da MAPE de ouro	20
5. GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS DO MINÉRIO DE OURO	23
5.1. Classificação das ocorrências de depósitos auríferos	23
5.2. Principais províncias auríferas do Brasil	25
5.3. Características do minério de ouro	29
6. TECNOLOGIAS UTILIZADAS PELA MAPE DE OURO	32
6.1. Tecnologia na mineração artesanal	33
6.2. Tecnologia na mineração em pequena escala	34
6.3. Evolução tecnológica no garimpo de ouro na Amazônia	35
6.4. Relação da tecnologia na mineração convencional e a MAPE.....	43
7. IMPACTO DA FORMALIZAÇÃO NOS ASPECTOS OPERACIONAIS	45
8. USO DE MERCÚRIO NA MAPE DE OURO	50
8.1. Formas de mercúrio no ambiente	50
8.2. Uso de mercúrio para amalgamação de ouro	53
8.3. Formas de amalgamação do minério de ouro	55
8.3.1. Amalgamação do minério primário de ouro.....	60
8.3.2. Amalgamação do minério secundário de ouro	63
8.4. Formas de queima do amálgama para recuperação do ouro	63
8.5. Produto da decomposição térmica do amálgama	68
9. ANÁLISE DAS INTERVENÇÕES PARA SUBSTITUIÇÃO DO MERCÚRIO.....	69
9.1. Desafios para implementação de tecnologias alternativas	71
9.2. Processamento mineral e a heterogeneidade geológica	72
9.3. Avaliação de projetos para substituição do mercúrio.....	74
10. PANORAMA GERAL DAS OPERAÇÕES VISITADAS	77
11. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E PROCESSAMENTO DAS OPERAÇÕES VISITADAS DA MAPE DE OURO.....	78
11.1. Lavra de baixão com desmonte hidráulico.....	79
11.2. Lavra em bancadas com desmonte mecânico.....	82
11.3. Lavra em leito de rio por balsas.....	85
11.4. Lavra em leito de rio por dragas	88
11.5. Lavra subterrânea com explosivos	92



12. ASPECTOS OPERACIONAIS DAS OPERAÇÕES VISITADAS	94
12.1. Vias de acesso e meios de transporte	95
12.2. Identificação visual das operações	104
12.3. Fonte de energia e água para produção mineral	105
12.4. Equipamentos utilizados	108
12.4.1. Equipamentos manuais	110
12.4.2. Equipamentos mecanizados	115
12.4.3. Equipamentos pesados	117
12.4.4. Equipamentos industriais	118
12.5. Controle geológico	123
12.6. Produção mensal de ouro e valor do grama de ouro	126
12.7. Pureza do ouro e eficiência da recuperação	128
13. CADEIA DE SUPRIMENTO DE MERCÚRIO DAS OPERAÇÕES VISITADAS	130
13.1. Compra, consumo e controle de perdas de mercúrio	131
13.2. Fontes de oferta do mercúrio	133
13.2.1. Práticas banidas pela Convenção de Minamata	134
13.3. Práticas de uso de mercúrio nas operações visitadas	138
13.3.1. Formas de amalgamação do minério de ouro	138
13.3.2. Tipos de equipamentos para concentração do amálgama	142
13.3.3. Local onde é feita a amalgamação	145
13.3.4. Método para queima do amálgama	146
13.3.5. Práticas de fundição de ouro nos garimpos	149
13.3.6. Práticas de fundição de ouro nos postos de compra	150
13.3.7. Centrais para amalgamação e rejeitos de amalgamação	151
14. ASPECTOS DE SAÚDE E SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES VISITADAS	157
14.1. Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)	158
14.2. Riscos ocupacionais	168
14.3. Riscos físicos	169
14.4. Riscos químicos	170
14.5. Riscos ergonômicos	171
14.6. Riscos de acidentes	172
15. CONDIÇÕES DE ESTRUTURA DAS OPERAÇÕES VISITADAS	173
15.1. Nível de organização	174
15.2. Alojamentos	175
15.3. Instalações sanitárias	178
15.4. Esgotamento sanitário	180
15.5. Resíduos sólidos	182
15.6. Disponibilidade de rádio	184
15.7. Cobertura pela telefonia celular	185
15.8. Fechamento de mina	187
15.9. Recuperação de áreas impactadas	188
16. DESCRIÇÃO DA CAPACITAÇÃO TÉCNICA nas operações visitadas	189
16.1. Capacitação dos trabalhadores	189
16.2. Capacitação dos donos e supervisores	193
16.3. técnicas para eliminação ou redução de mercúrio	194
17. TESTES METALÚRGICOS PARA RECUPERAÇÃO DE OURO	196
17.1. Procedimentos para coleta de amostras em campo	198
17.2. Análise geral das amostragens realizadas	202
17.3. Estimativas de recuperação de ouro	204



17.4. Análise das amostras de rejeitos de amalgamação.....	207
17.5. Avaliação das análises dos rejeitos de amalgamação.....	220
18. CONSIDERAÇÕES FINAIS	221
19. RECOMENDAÇÕES.....	222
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	227

1. INTRODUÇÃO

Este volume faz parte da consolidação do conhecimento atual sobre a MAPE de ouro no Brasil, no âmbito do Projeto “Desenvolvimento do Plano de Ação Nacional (PAN) para a Mineração Artesanal e em Pequena Escala de ouro do Brasil”, ou “Projeto Ouro sem Mercúrio”. O documento apresenta um panorama sobre as práticas de lavra, processamento e o uso de mercúrio na MAPE de ouro no bioma Amazônia.

Em 2013, a Convenção de Minamata foi adotada como um tratado internacional para controlar o uso de mercúrio. Uma característica que diferencia o mercúrio de outros metais é sua capacidade de ser reemitido para o ar após ser depositado em superfícies (UNEP, 2019). Entre as principais fontes de emissões e liberações de mercúrio está a MAPE de ouro, conhecida no Brasil como garimpo, é um dos setores responsáveis pelas emissões de mercúrio para a atmosfera. Por essa razão, o acordo multilateral incentiva os países signatários a adotarem medidas para reduzir, e se possível, eliminar o uso de mercúrio.

A MAPE de ouro faz parte da dinâmica socioeconômica de diversos países do Sul Global. Esse setor não apenas proporciona recursos financeiros e oportunidades de emprego, como contribui para receitas de divisas e a redução da pobreza. Apesar de suas oportunidades, os maiores desafios são de natureza ambiental, causados pelo mercúrio. O uso de mercúrio na MAPE é difundido devido a sua facilidade de uso e acessibilidade para os trabalhadores¹, tornando-o o método predominante para a concentração e recuperação de ouro nesse setor.

Diversas soluções técnicas foram propostas para minimizar a exposição ao mercúrio e mitigar seus efeitos. Apesar das vantagens dessas alternativas, nenhum desses métodos alcançou uma adoção tão ampla no setor do MAPE de ouro quanto a técnica de amalgamação. A literatura atual indica que a introdução de inovações para substituir o mercúrio nem sempre gera resultados esperados e contínuos na MAPE de ouro. Frequentemente, após a introdução de tecnologias alternativas, os mineradores retomam a prática da amalgamação devido a desafios técnicos, econômicos e à falta de suporte para a implementação de métodos sem mercúrio.

¹ Neste relatório, “trabalhadores” é utilizado como termo coletivo e neutro.

Isso evidencia que a adoção de novas tecnologias, por si só, não garante mudanças sustentáveis. É essencial considerar os desafios logísticos, econômicos, culturais e estruturais que influenciam sua aceitação e permanência no setor. Nesse contexto, o presente relatório técnico discute os métodos de produção atuais nas localidades da MAPE de ouro visitadas pela equipe de campo. O universo da pesquisa foi constituído por operações legais de MAPE de ouro no Brasil, ou seja, garimpos que atuam sob o regime de Permissão de Lavra Garimpeira (PLG), outorgado pela Agência Nacional de Mineração (ANM). É importante ressaltar que a equipe de campo do Projeto Ouro sem Mercúrio não realizou em locais onde a existência de licença é proibida, como unidades de conservação de proteção integral e terras indígenas.

O estudo foi conduzido nos estados do Amazonas (AM), Amapá (AP), Mato Grosso (MT), Pará (PA) e Rondônia (RO). A seleção dessas áreas baseou-se na alta concentração de atividades da MAPE de ouro e em suas características geológicas, socioeconômicas e ambientais. Os trabalhos de campo foram organizados em 6 campanhas de campo distribuídas em duas etapas, conforme cronograma previamente definido. A primeira etapa, realizada entre maio e setembro de 2023, foram realizadas visitas às áreas de extração de ouro e entrevistas com os proprietários dos garimpos. Nessa fase, foram conduzidos testes metalúrgicos para analisar as emissões de mercúrio na atmosfera e balanços de massa para identificar os teores de recuperação de ouro. A segunda etapa, realizada entre outubro e novembro de 2023, complementou a primeira fase, com a coleta de dados técnicos adicionais para aprofundar a compreensão dos processos observados e validar os resultados obtidos anteriormente.

2. OBJETIVO

Este documento apresenta um panorama da MAPE de ouro no Brasil com ênfase nas práticas atuais de lavra, processamento mineral e uso de mercúrio para subsidiar a elaboração do futuro Plano de Ação Nacional (PAN) para atendimento à Convenção de Minamata sobre Mercúrio no Brasil. São apresentados os seguintes assuntos:

- Levantamento do referencial teórico sobre o panorama da MAPE de ouro;
- Análise das áreas objeto no estudo em termos das técnicas de lavra, beneficiamento mineral e tecnologias utilizadas;
- Descrição das práticas de uso de mercúrio, incluindo a verificação do uso de práticas banidas pela Convenção de Minamata;
- Descrição das práticas de uso de rejeitos amalgamados nas áreas visitadas;
- Estimativa da eficiência de recuperação nos processos produtivos;
- Avaliação dos métodos de segurança ocupacional, inclusive da disponibilidade e uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), e sua adequação;
- Descrição da capacitação técnica e as condições de assistência técnica nas áreas estudadas;
- Avaliação da eficiência de recuperação e perdas de ouro no processo produtivo.
- Subsidiar a elaboração do PAN do Brasil por meio de recomendações no âmbito das técnicas de extração mineral e para promover a redução e a gestão de emissões de mercúrio.

3. METODOLOGIA

Este item descreve a abordagem metodológica adotada para a coleta de dados primários e secundários que fundamentam a elaboração do panorama sobre as práticas atuais de lavra, beneficiamento e uso de mercúrio da MAPE de ouro nos estados da Amazônia Legal visitados. Os dados primários são informações coletadas para a análise do problema de pesquisa em questão. Os dados secundários são fontes pré-existentes, coletadas, tabuladas, ordenadas e analisadas (MATTAR, 1996).

O relatório está estruturado em seções que vão desde o contexto teórico ao diagnóstico técnico. Após os capítulos introdutórios, são apresentados os marcos históricos da MAPE de ouro, caracterização geológica e tecnológica do setor. Na sequência, são analisados os dados coletados em campo, abordando os aspectos operacionais das áreas visitadas, uso de mercúrio, condições de trabalho, infraestrutura, produção e controle ambiental.

O panorama inclui a análise da cadeia de suprimento de mercúrio, aspectos relacionados à saúde e segurança ocupacional, iniciativas de capacitação técnica e testes de balanço metalúrgico para quantificar a eficiência de recuperação do ouro nas operações avaliadas. Por fim, são apresentadas recomendações relacionadas às técnicas de extração mineral e medidas para promover a redução e a gestão das emissões e liberações de mercúrio.

3.1. METODOLOGIA PARA COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS

A coleta de dados primários neste estudo foi realizada por meio de questionários estruturados, observações técnicas em campo e metodologias para testes metalúrgicos de ouro e mercúrio (Figura 1). Os questionários foram elaborados pela equipe de coordenação do projeto e disponibilizados no aplicativo *KoboCollect*², instalados nos dispositivos móveis utilizados pela equipe técnica. O KoboToolbox é uma plataforma de código aberto para coleta, gerenciamento e visualização de dados para uso offline. Durante as visitas de campo, os questionários foram preenchidos no aplicativo *KoboCollect*, de forma simultânea à condução das entrevistas.

² <https://www.kobotoolbox.org/features/>.

Assim que a conexão com a internet estivesse disponível, os questionários foram revisados e sincronizados com o servidor do *KoboCollect*. Durante as atividades de campo, utilizou-se o Avenza Maps 5.2 como ferramenta complementar para registrar pontos de *Global Positioning System* (GPS). Para apoiar esse processo, antes do início das campanhas foram elaborados e incorporados ao aplicativo mapas-base contendo informações logísticas e geográficas das áreas a serem visitadas.

Para este estudo, foram aplicados três tipos de questionários estruturados:

Questionário da caracterização da operação visitada: aplicado nas frentes de lavra visitadas pela equipe técnica, para identificar informações sobre métodos de extração, tipos de processamento, presença de práticas proibidas pela Convenção de Minamata, uso de mercúrio no processo produtivo, condições de saúde e segurança ocupacional e práticas de recuperação ambiental. No total, foram realizadas 43 visitas em frentes de lavra de ouro.

Questionário do responsável pela operação: direcionado aos proprietários ou supervisores das frentes de lavra visitadas. Este questionário buscou obter dados sobre o uso e comércio de mercúrio, conhecimento geológico, processos de amostragem, definição de teor e recuperação do ouro, acesso a novas tecnologias e uso de equipamentos no processo produtivo. Além dos 43 questionários aplicados nas lavras visitadas, foram realizadas 8 entrevistas adicionais com responsáveis de garimpos que não faziam parte da amostra original das frentes de lavra visitadas pela equipe, totalizando 51 entrevistas com responsável do garimpo.

Questionário dos trabalhadores do garimpo: aplicado aos trabalhadores que atuam em diversas funções nas frentes de lavra visitadas. Este questionário identificou dados de renda, gênero, dados, capacitação e treinamento, saúde e segurança, relações de trabalho, capacitação técnica. No total, foram registradas 1.070 entrevistas (1051 entrevistas com atores diretos do garimpo e 19 entrevistas com atores indiretos do garimpo). Para fins do diagnóstico sobre os aspectos operacionais, consideraram-se as entrevistas com as 1.051 entrevistas com atores diretos do garimpo.

Além da aplicação dos questionários, foram realizados 23 balanços metalúrgicos para quantificar a eficiência de recuperação de ouro nas operações avaliadas, e 51 balanços de mercúrio para compor o inventário das emissões atmosféricas. Os testes de ouro permitiram estimar a recuperação no concentrado (ouro produzido) e as perdas nos rejeitos (ouro perdido). Os resultados dos balanços de mercúrio são apresentados no Volume VIII - Inventário das Emissões e Liberações de Mercúrio deste Projeto.

O Termo de Consentimento Esclarecido foi elaborado pela equipe do projeto e assinado pelos participantes entrevistados. A Comissão de Ética em Pesquisa da Universidade de São Paulo (USP) aprovou e registrou os documentos apresentados pelo projeto na Plataforma Brasil³, sem a necessidade de apreciação pela Comissão Nacional de Ética e Pesquisa (CONEP).

Para a análise dos dados, foi gerada uma planilha geral contendo o conjunto de perguntas e respostas dos três questionários técnicos. Cada registro foi identificado de maneira única, como “Frente de Lavra 1”, “Frente de Lavra 2”, “Dono da Frente 1”, “Dono da Frente 2”, “Entrevistado 1”, “Entrevistado 2” etc. Os dados quantitativos coletados via KoboCollect foram disponibilizados para análises estatísticas e analíticas após a limpeza e depuração dos dados.

3.2. METODOLOGIA PARA COLETA DE DADOS SECUNDÁRIOS

A coleta de dados secundários envolveu a consulta a estudos acadêmicos e técnicos, assim como uma gama de dados secundários de natureza quantitativa e qualitativa. Foram ainda analisados artigos científicos sobre o garimpo e a Amazônia. O registro fotográfico foi adotado como método de apoio à pesquisa, considerando o acesso restrito que o público geral tem atividade garimpeira. As imagens obtidas das localidades visitadas e dos processos produtivos para apoiar a análise e à interpretação dos dados coletados em campo.

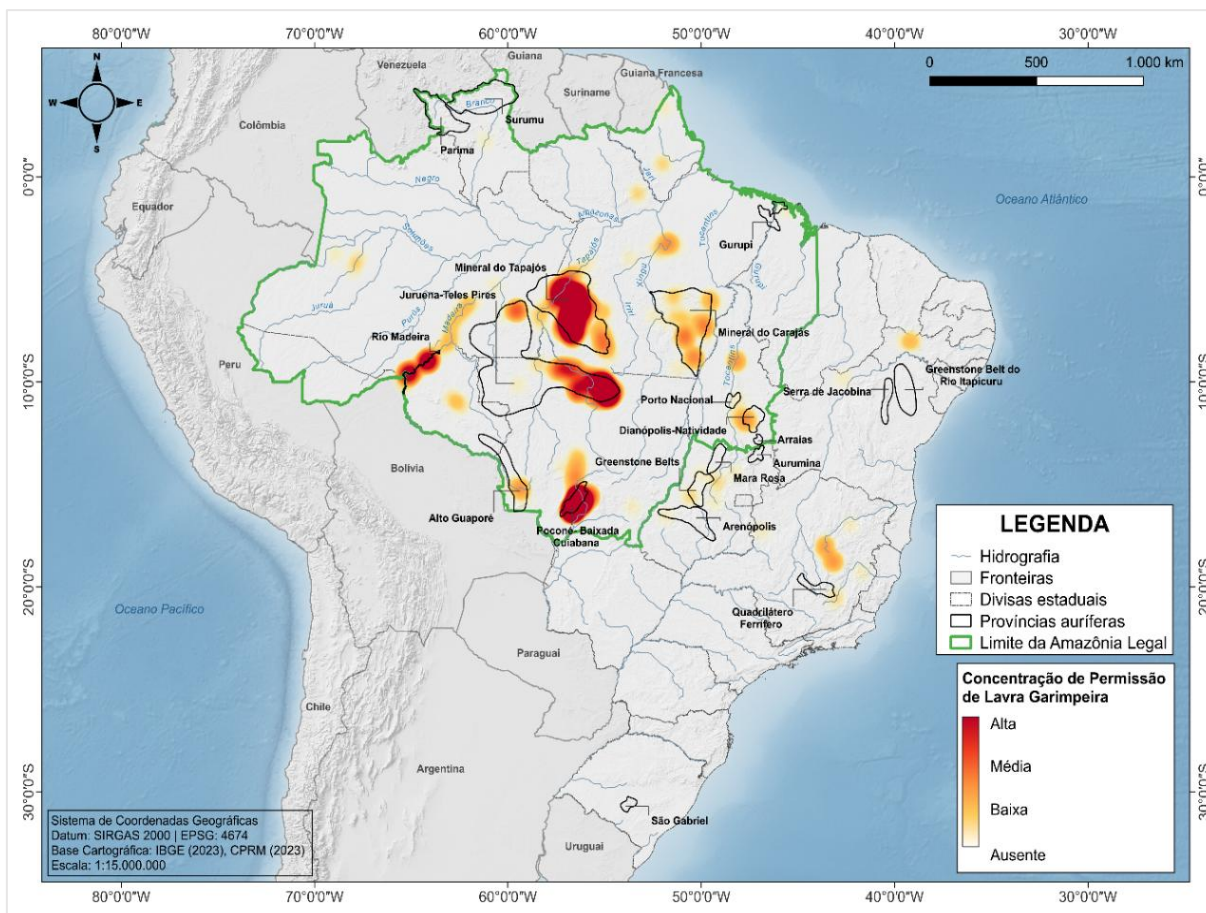
³ <https://plataformabrasil.saude.gov.br/login.jsf>

3.3. DEFINIÇÃO DAS ÁREAS PARA PESQUISA DE CAMPO DESTE ESTUDO

A definição das áreas para a pesquisa de campo foi baseada na triangulação de três aspectos: (i) análise de dados geográficos; (ii) critérios técnicos e analíticos voltados à caracterização da MAPE de ouro, e (iii) articulação prévia com stakeholders locais, como lideranças de cooperativas, órgãos públicos e representantes de comunidades locais. O levantamento inicial utilizou dados do Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE), da Agência Nacional de Mineração (ANM), que incluíam os números de processos requeridos e deferidos para lavra de minério de ouro em todo o território nacional.

Os processos foram classificados conforme o tipo e o status do título minerário: autorização de pesquisa, concessão de lavra, licenciamento e (PLG). A Figura 1 ilustra as áreas de maior concentração de processos de PLGs ativas de ouro. As regiões circuladas correspondem às províncias auríferas.

Figura 1. Maiores concentrações de permissão de lavra garimpeira no Brasil



Fonte: Base de dados da Agência Nacional de Mineração (2023), Elaborado pelos Autores.

Como parte do planejamento das campanhas de campo para a seleção final das áreas visitadas, foram definidos critérios de análise para representar as diferentes realidades da MAPE de ouro no Brasil, conforme descritos na Tabela 1. Entre os critérios adotados, destacou-se a priorização da segurança, de modo a evitar áreas com alto potencial de risco que pudessem comprometer a segurança da equipe e interferir na execução das atividades de campo.

Foram considerados aspectos de acessibilidade logística, uso de mercúrio (para avaliação das práticas associadas a essa substância), tipo de minério (primário ou secundário), técnicas de processamento, formas de organização, legalidade, utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), assistência técnica e o contexto histórico e político do local. Além disso, a seleção foi embasada no conhecimento técnico prévio da equipe, adquirido em trabalhos técnico-científicos realizados em diferentes regiões da MAPE de ouro no Brasil

Tabela 1. Critérios para seleção das áreas do estudo

Critérios	Definição
Segurança	Seguro / Moderado / Área de risco
Acessibilidade	Fácil acesso / Acesso Moderado / Acesso Difícil
Agendamento	Prévio / Sem agendamento /
Produção de ouro	Alta / Moderada / Baixa
Mercúrio	Presente / Desconhecido
Uso do mercúrio	Com retorta / Sem retorta / Com Capelas
Tipo de minério	Primário / Secundário
Extração	Céu-aberto / Subterrâneo / Subaquática
Processamento	Manual / Gravítico / Industrial
Formas de organização	Individual / Cooperativas
Uso de EPIs	Adequado / Parcial / Ausente
Assistência técnica	Com assistência técnica / Sem assistência técnica
Outras informações	Contexto histórico / Ambiental / Político

Fonte: Elaborado pelos Autores.

3.4. LOGÍSTICA PARA REALIZAÇÃO DESSE ESTUDO

Para a realização das campanhas de campo, foram utilizados diferentes meios de transporte, conforme as condições de acesso em cada região. O deslocamento terrestre até as frentes de lavra foi realizado principalmente com caminhonetes 4x4. Em alguns trechos, foi necessário o uso de balsas para a travessia de rios ou de motocicletas⁴ para facilitar o deslocamento entre garimpos situados na mesma região. Nas operações em ambientes fluviais, os deslocamentos ocorreram por meio de lanchas, rebocadores e voadeiras com motor.

Os estados visitados são Amapá (AP), Amazonas (AM), Mato Grosso (MT), Pará (PA) e Rondônia (RO). Os municípios visitados incluíram: Calçoene (AP); Humaitá (AM); Manicoré (AM); Colíder (MT); Matupá (MT); Sinop (MT); Peixoto de Azevedo (MT); Poconé (MT); Itaituba (PA); Novo Progresso (PA); Tucumã (PA); e Porto Velho (RO). Além das sedes municipais, foram visitados distritos, vilas e comunidades com incidência de atividade garimpeira. As localidades percorridas estão representadas nos mapas das Figuras 2 a 5.

Deslocamento da equipe no estado do Amapá

No Amapá, as visitas de campo foram concentradas no Distrito de Lourenço, no município de Calçoene. O estado está situado no extremo norte do país e faz fronteira com o Pará, Guiana Francesa e o Suriname. O acesso à região se dá por via aérea, através da pista de pouso do distrito, ou por via terrestre, a partir da cidade de Macapá, capital do Estado. O percurso total é de 420 km, sendo 366 km por via asfaltada pela BR-156 e 54 km por estrada não pavimentada até a sede do distrito. A equipe realizou o deslocamento por via terrestre. Dependendo das condições da estrada durante o período chuvoso, esse trajeto não pavimentado pode levar entre 2 e 4 horas. Além dessas visitas, a equipe visitou cavas de garimpo desativadas no município de Tartarugalzinho. A equipe de campo fez uma viagem de reconhecimento ao município de Oiapoque, localizado na fronteira com a Guiana Francesa. O deslocamento teve início no Distrito de Lourenço, seguiu pela estrada rural até a BR-156 e finalizou em Oiapoque.

⁴ Durante os deslocamentos de motocicletas, os membros da equipe de campo utilizavam capacetes.

Deslocamento da equipe no estado do Mato Grosso

No estado do Mato Grosso, as visitas foram realizadas em duas regiões: (i) região sul, no município de Poconé, na divisa com o estado de Mato Grosso do Sul, na região do Pantanal Mato-grossense; (ii) região centro-norte, no município de Peixoto de Azevedo, localizado no contexto da Província Aurífera Alta Floresta (PAAF). Para as visitas em Poconé, a equipe deslocou-se de carro, partindo de Cuiabá, seguindo pela MT-060 até o município. Em Peixoto de Azevedo, o deslocamento iniciou-se em SINOP pela BR-163 até a localidade.

Deslocamento da equipe no estado de Rondônia e Amazonas

As campanhas de campo em Rondônia e no Amazonas, foram feitas no mesmo período. Em Rondônia, as visitas concentram-se ao longo do Rio Madeira em Porto Velho. Após a conclusão dessa campanha, a equipe deslocou-se de carro de Porto Velho até o município de Humaitá, percorrendo aproximadamente 204 km pela BR-319, conhecida como Rodovia Manaus – Porto Velho. Em Humaitá, a equipe embarcou em um barco que realizou o deslocamento fluvial até Manicoré, ponto central da campanha de campo no Amazonas. A viagem pelo Rio Madeira teve duração de 23 horas, com pernoite a bordo, percorrendo diversas comunidades ribeirinhas ao longo do trajeto.

Deslocamento da equipe no estado do Pará

Devido à extensão territorial dos municípios e das áreas garimpeiras no estado do Pará, a logística das campanhas foi organizada em três regiões: (i) região sudoeste, abrangendo as localidades de Morais de Almeida, Novo Progresso, Creporizão e Creporzinho, dentro do município de Itaituba; (ii) região sudeste, no município de Tucumã e arredores; e (iii) região nordeste, no município de Cachoeira do Piriá.

Para as visitas à região sudoeste do estado, a equipe partiu de carro do município de Itaituba, pela rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163) até o Distrito de Morais de Almeida. A partir desse ponto, o deslocamento continuou pela rodovia estadual Transgarimpeira, que se inicia na margem esquerda da BR-163 e conecta Morais de Almeida até a Vila de Creporizão.

A Rodovia Transgarimpeira ou “**Rodovia do Ouro**”, foi inaugurada em 1986 e estadualizada pela Lei Ordinária 7.385, de 22 de março de 2010⁵. A Rodovia Transgarimpeira foi construída para escoar o ouro extraído da região, totalizando aproximadamente 200 km de extensão. Ao longo de seu percurso, várias comunidades garimpeiras se desenvolveram, entre elas: Jardim do Ouro, São Francisco, São Domingos, Água Branca, São João, Creporizinho e Creporizão. Entre essas localidades, a equipe de campo visitou as comunidades de Jardim do Ouro, Creporizinho e Creporizão.

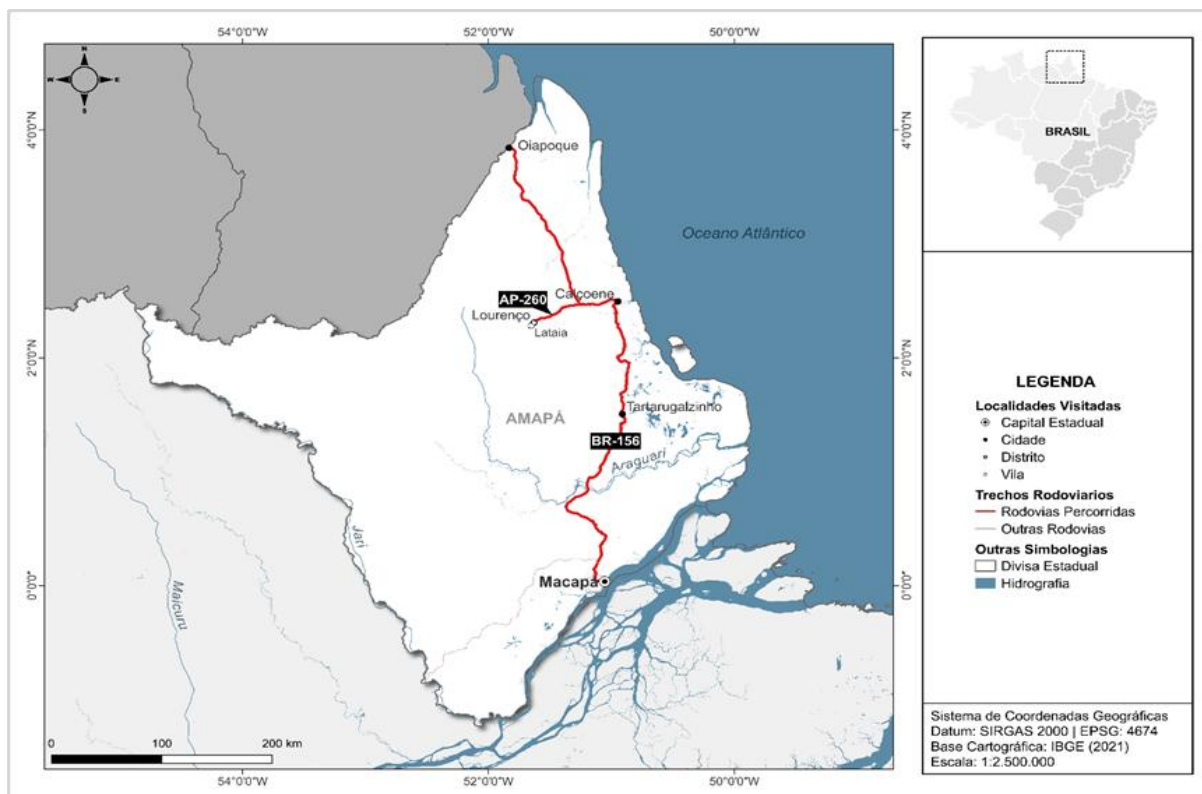
A vila de Creporizão está situada no trecho final da Rodovia Transgarimpeira, nas proximidades do Rio Crepori, que marca a divisa entre os municípios de Itaituba e Jacareacanga. A comunidade do Creporizão fica na margem direita do rio e na margem esquerda, encontra-se a Floresta Nacional do Crepori. Já Creporizinho localiza-se a 40 km da comunidade de Creporizão.

Para as visitas no Sudeste do Pará, a equipe partiu de Canaã dos Carajás, pela estrada de acesso ao Projeto S11D e a PA-279 até a localidade de Tucumã. Na região Nordeste, a equipe visitou o município de Cachoeira do Piriá, o percurso foi feito a partir da capital, Belém, pela BR-316. O município teve origem em atividades garimpeiras iniciadas na década de 80.

⁵ <https://www.legispara.pa.gov.br/lei/1814>.

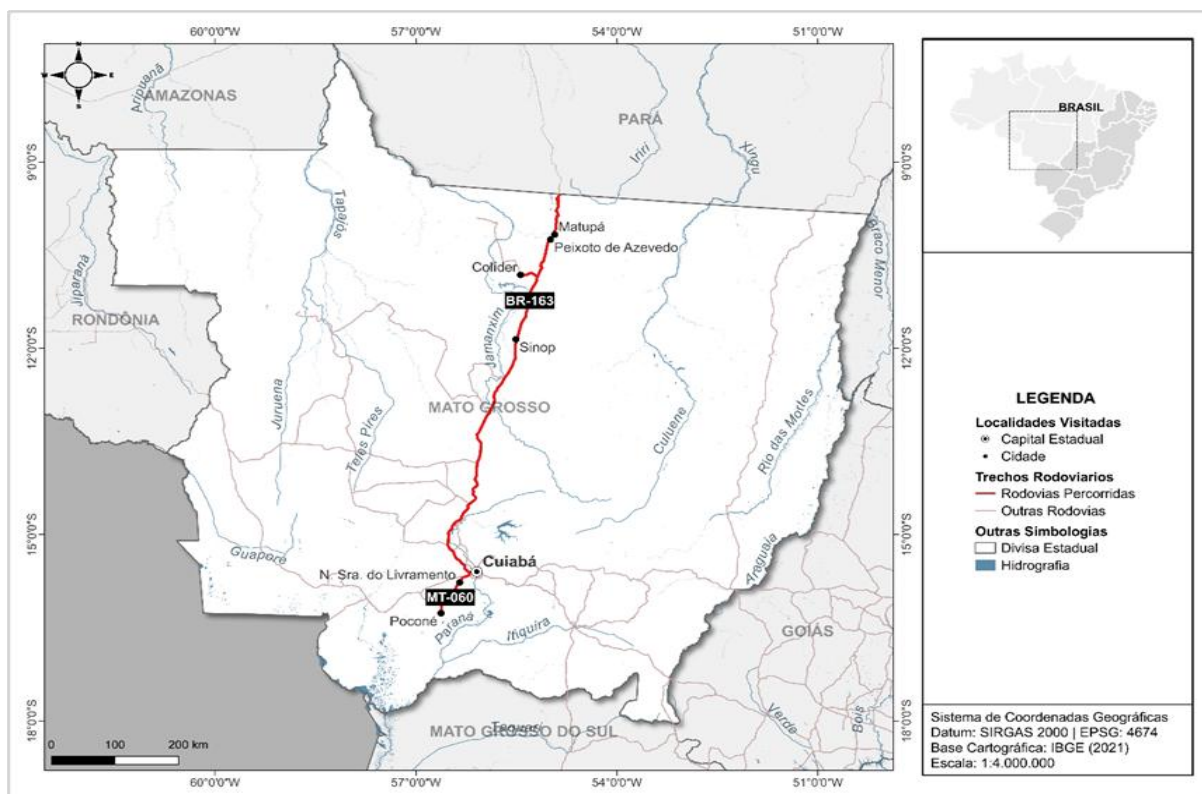


Figura 2. Localidades visitadas campanha de campo no Amapá



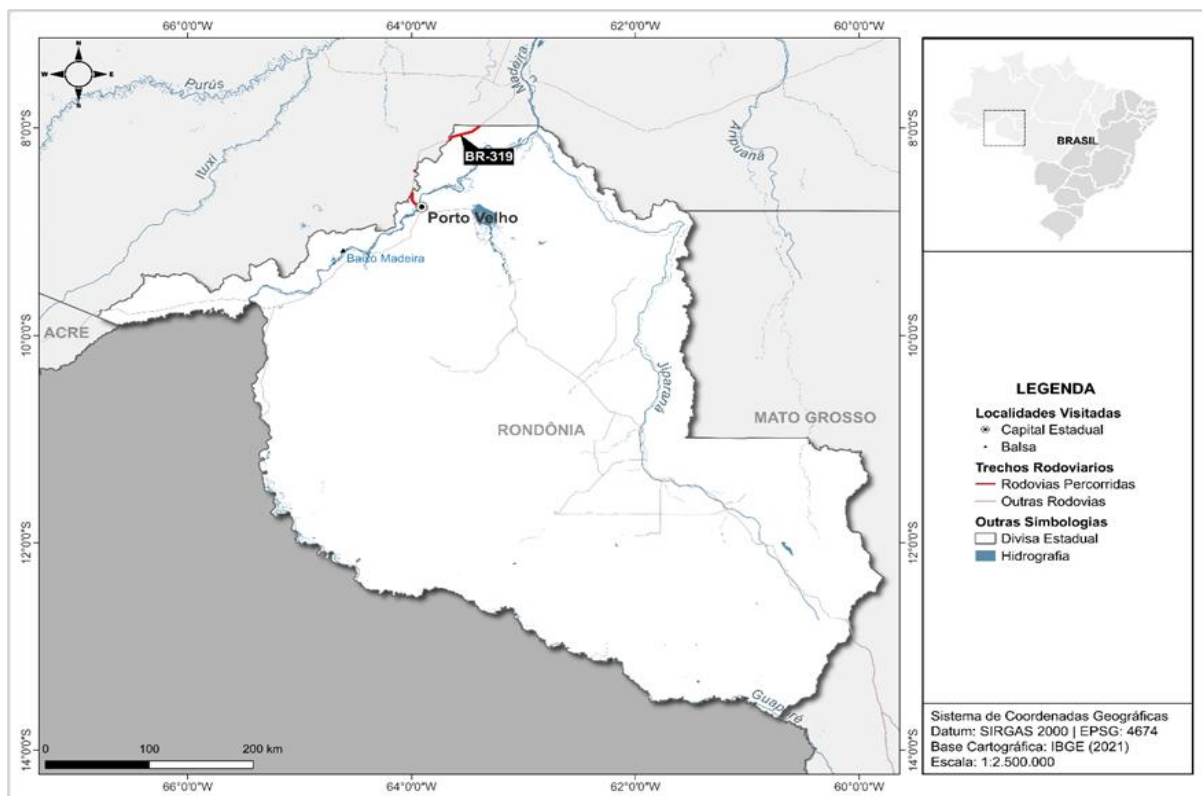
Fonte: Elaborado pelo geoprocessamento do Projeto.

Figura 3. Localidades visitadas na campanha de campo no Mato Grosso



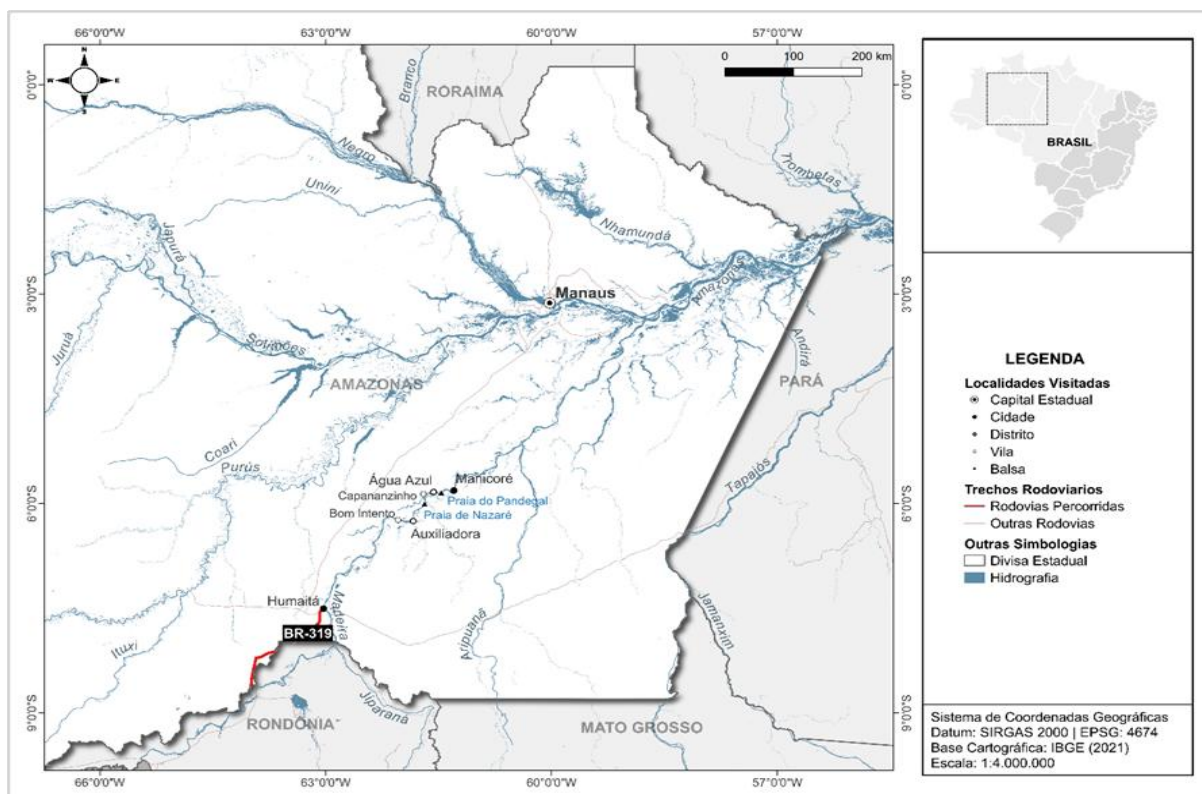
Fonte: Elaborado pelo geoprocessamento do Projeto.

Figura 4. Localidades visitadas na campanha de campo em Rondônia



Fonte: Elaborado pelo geoprocessamento do Projeto.

Figura 5. Localidades visitadas na campanha no Amazonas

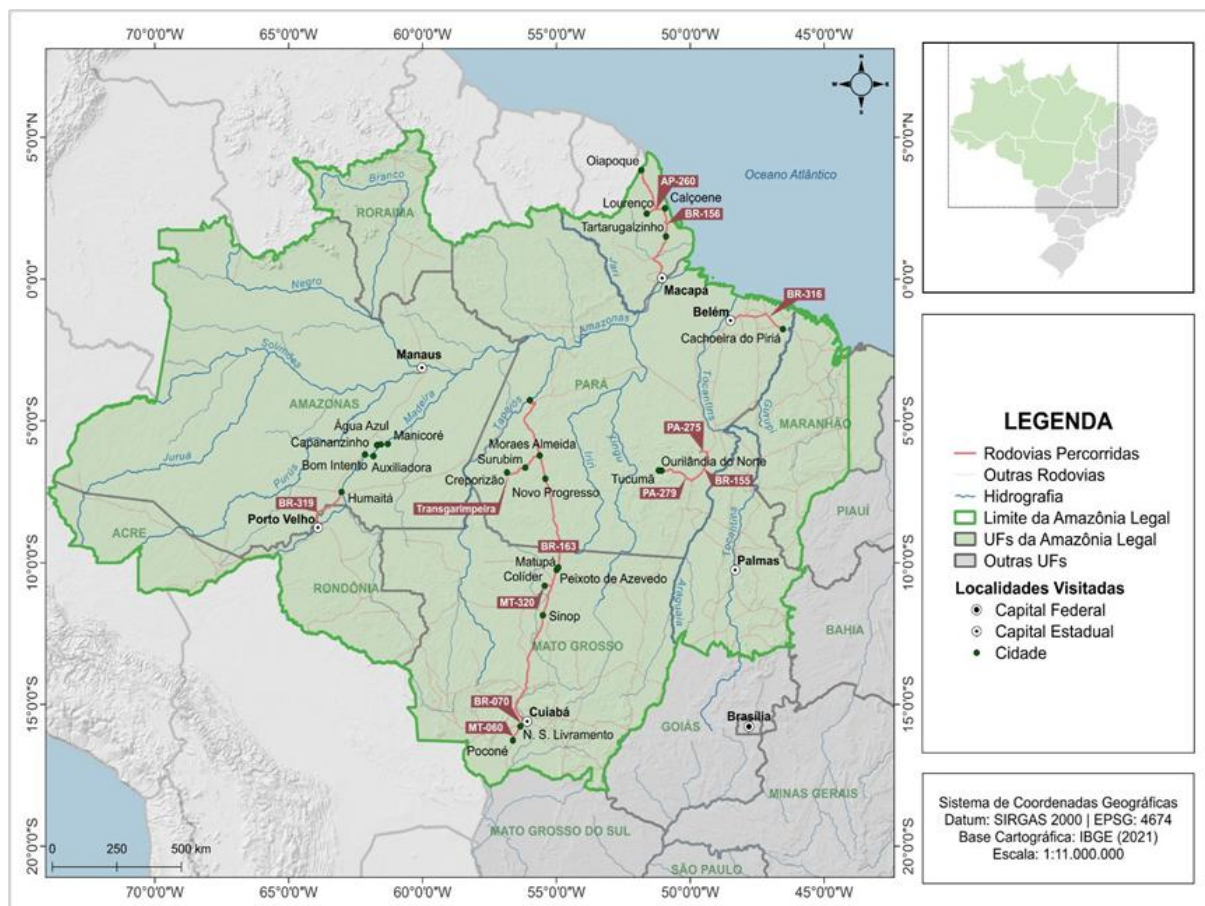


Fonte: Elaborado pelo geoprocessamento do Projeto.

3.5. CAMPANHAS DE CAMPO PARA REALIZAÇÃO DESSE ESTUDO

Foram realizadas 6 campanhas de campo nos estados selecionados, organizadas em duas etapas. A Figura 6 apresenta a distribuição geográfica das 34 localidades visitadas durante os trabalhos de campo do projeto Ouro sem Mercúrio.

Figura 6. Locais visitados durante as campanhas de campo



Fonte: Elaborado pelo geoprocessamento do Projeto.

A primeira etapa, realizada entre maio e setembro de 2023, consistiu em visitar áreas de extração de ouro (garimpos regulamentados) e entrevistas com os proprietários dos garimpos. Nessa fase, foram conduzidos testes metalúrgicos para analisar as emissões de mercúrio na atmosfera e balanços de massa para identificar os teores de recuperação de ouro. A segunda etapa, realizada entre outubro e novembro de 2023, complementou a primeira fase com a coleta de dados técnicos adicionais, visando aprofundar a compreensão dos processos observados e validar os resultados obtidos anteriormente.

As atividades dividiram-se entre duas equipes: A equipe técnica, composta por três engenheiros de minas e um engenheiro civil, foi responsável pelas visitas e entrevistas com donos das frentes de lavra, representantes de postos de compra de ouro e executou os testes metalúrgicos (recuperação do ouro e balanço de mercúrio). O time socioeconômico, formado por duas antropólogas, conduziu as entrevistas com os trabalhadores, representantes de unidades básicas de saúde e oficinas participativas. Ambas as equipes trabalharam de forma coordenada e simultânea nas mesmas localidades e garimpos.

Como parte do planejamento das campanhas de campo, a equipe de coordenação do Projeto realizou reuniões virtuais e presenciais com representantes das federações garimpeiras, cooperativas de garimpeiros e donos de garimpos nos estados selecionados. Esse alinhamento teve como objetivo esclarecer os propósitos da pesquisa, apresentar a equipe técnica responsável pela coleta de dados, e detalhar os procedimentos metodológicos a serem adotados durante as visitas. É importante enfatizar que o apoio das lideranças garimpeiras na divulgação prévia foi essencial para as campanhas de campo. Em geral, os trabalhadores demonstraram disposição para colaborar com o levantamento, contribuindo com informações técnicas, acesso às áreas e apoio logístico.

Em Poconé (MT), a equipe de campo contou com a colaboração de uma engenheira de minas, um geólogo e uma química da Cooperativa de Desenvolvimento Minerais de Poconé (COOPER POCONÉ). Em Peixoto de Azevedo (MT), a equipe técnica do projeto teve a assistência de um engenheiro de minas da Cooperativa dos Garimpeiros do Vale do Rio Peixoto (COOGAVEPE). No Distrito de Lourenço (AP), a Cooperativa de Mineração dos Garimpeiros do Lourenço (COOGAL) ofereceu suporte por meio de seu engenheiro de minas e equipe de fiscalização. Em Manicoré (AM), o trabalho teve apoio de duas botânicas e dois agroecólogos da Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Em Porto Velho (RO), a equipe de campo contou com a colaboração da Cooperativa dos Garimpeiros do Rio Madeira (COOGARIMA). No Pará (PA), houve o suporte das lideranças da Federação das Cooperativas de Garimpeiros do Pará (FECOGAP), da Cooperativa dos Garimpeiros de Moraes Almeida e Transgarimpeira (COOPERTRANS), da Cooperativa Mista de Desenvolvimento do Creporizão (COMIDEC) e do Instituto de Desenvolvimento Mineral do Tapajós (IDMTAP).

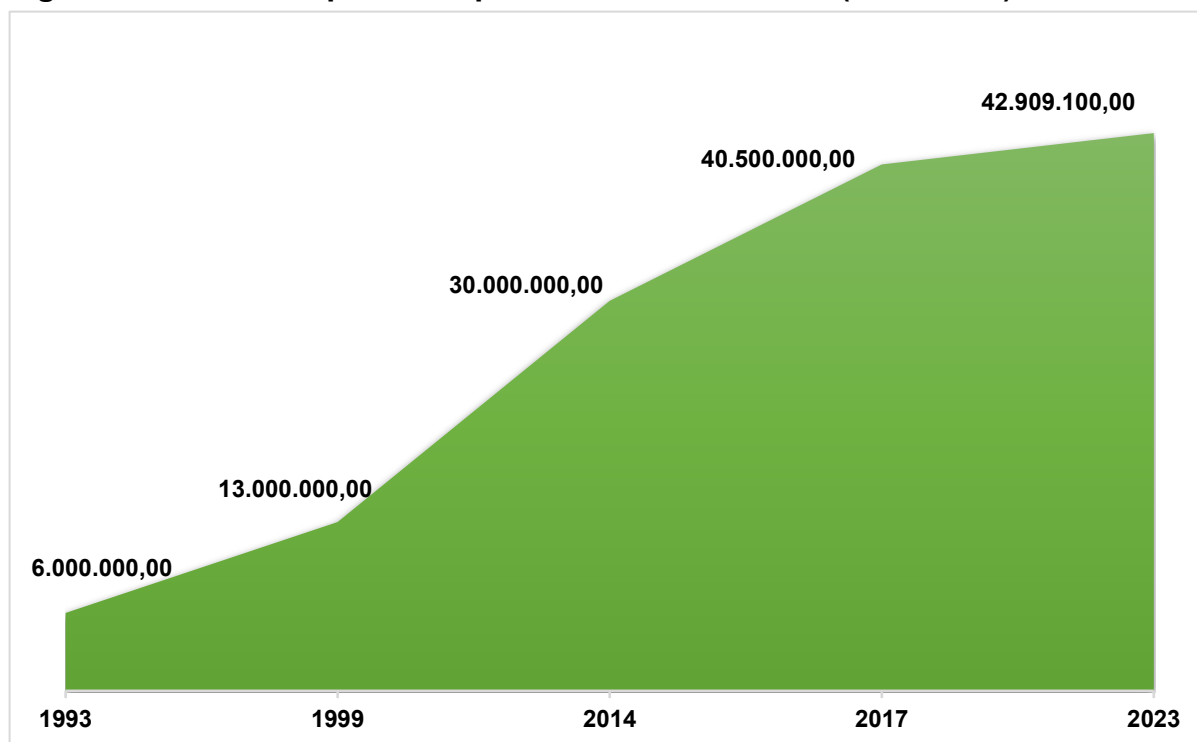
4. CONTEXTUALIZAÇÃO DA MAPE DE OURO

4.1. PANORAMA DA MINERAÇÃO ARTESANAL E EM PEQUENA ESCALA

A MAPE tem atividades em mais de 85 países do Sul Global, distribuídas entre a América Central, América do Sul, Ásia, África e Oceania. As primeiras estimativas do número de indivíduos envolvidos no setor datam de 1993 e foram revisadas em 1999, 2014 e 2017. Em 1993, a International Labour Organization (ILO) identificou cerca de 6 milhões de pessoas que dependiam diretamente das atividades relacionadas ao setor (Figura 7).

Dados mais recentes, de 2023, indicam um aumento exponencial, com mais de 44 milhões de indivíduos, incluindo homens e mulheres, que trabalham de forma autônoma, em parcerias, como membros de cooperativas ou em outras formas de associações e empresas jurídicas (IGF, 2017; DELVE, 2025). Há evidências da existência de atividades em outros 34 países, embora sem documentação que quantifique a população envolvida. Nesse contexto, estima-se que a MAPE esteja presente em 119 países (ARTISANALMINING.ORG, 2025).

Figura 7. Número de pessoas que trabalham na MAPE (1993-2023)



Fonte: Dados estimados pelo inventário da Artisanal Mining atualizado em 30/01/2025.

As atividades da MAPE incluem a extração de metais (ouro, prata e platina), metais não ferrosos (chumbo, cobre, zinco, estanho) e metais refratários (cromo, níquel, tungstênio, nióbio, tântalo). As commodities não metálicas comercializadas internacionalmente e extraídas pela pequena mineração são, por exemplo, gemas preciosas e semipreciosas (diamantes, safiras, esmeraldas) e minerais industriais (berilo, fluorita, mica, grafite, quartzo e barita), bem como minerais abrasivos e refratários (granada, quartzito e cromita) (DORNER et al., 2012; IGF, 2017).

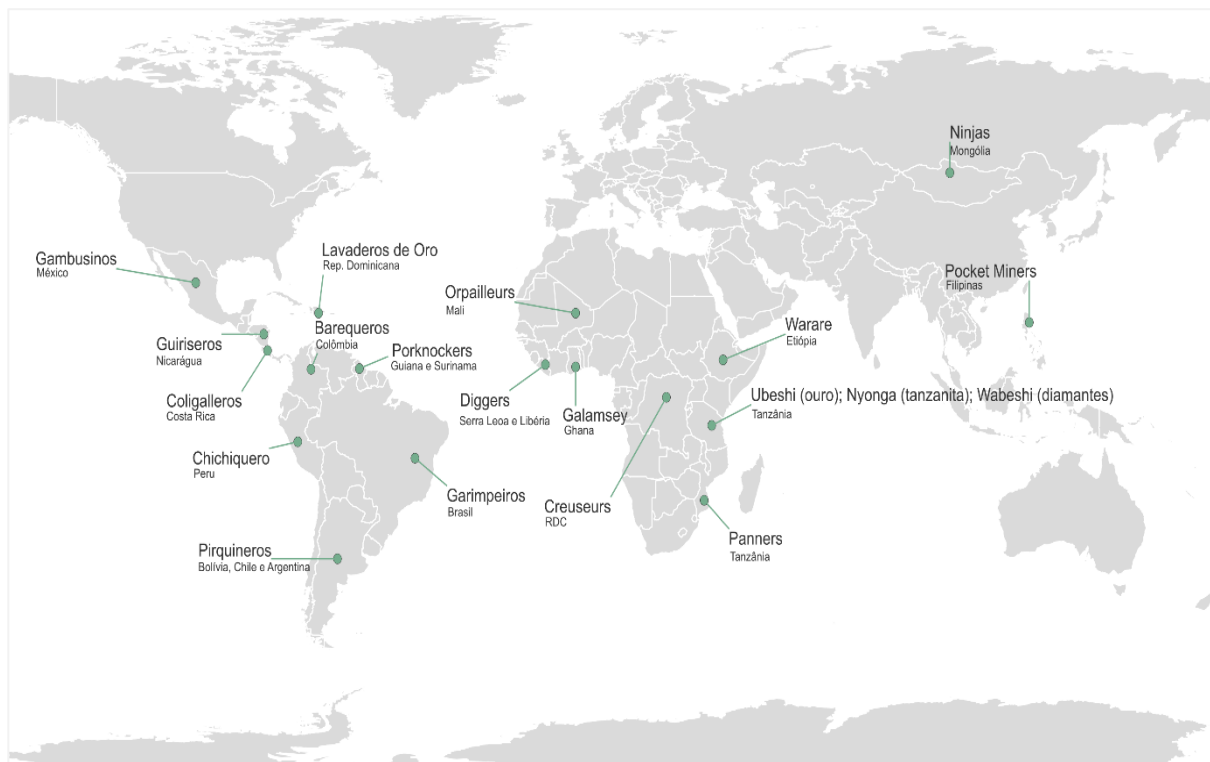
A distribuição geográfica e a diversidade de arranjos produtivos favoreceram a consolidação de um extenso corpo de literatura técnica sobre o setor, reconhecido por agências de financiamento e pela comunidade científica (MCKAY, 2025). As discussões científicas têm destacado os desafios específicos em diferentes contextos. Por exemplo, na África, os desafios estão relacionados à formalização e à redução da pobreza em áreas rurais. Na Ásia-Pacífico, questões multiculturais influenciam as práticas do setor. Na América Latina e Caribe, os impactos ambientais e as barreiras legais são predominantes (HILSON; MCQUILKEN, 2014; IGF, 2017; SIDORENKO; SAIRINEN; MOORE, 2020; FISHER et al., 2021; FISHER et al., 2023).

Nesse cenário, é fundamental compreender os aspectos sociais e econômicos que caracterizam a força de trabalho envolvida na MAPE. As pessoas que trabalham nesse setor desempenham múltiplas funções que vão desde trabalhos braçais (garimpeiros, garimpeiras), operadores de máquinas pesadas e ajudantes até tarefas especializadas e serviços administrativos. De modo geral, o crescimento está associado à alta volatilidade dos preços das commodities e à demanda da sociedade por minerais, fatores que tornam o setor como uma opção atrativa.

Em muitos territórios, a atividade representa uma fonte de renda maior do que outras formas de trabalho formais, ainda que os benefícios econômicos gerados não sejam distribuídos igualmente entre todos os envolvidos (HILSON; MACONACHIE, 2020; CALVIMONTES et al., 2020; McKAY, 2025). O crescimento acentuado de pessoas atuando no setor não apenas impacta diretamente os trabalhadores e suas famílias, mas gera uma ampla cadeia de valor que beneficia milhões de pessoas indiretamente. Essa cadeia inclui comerciantes locais, fornecedores de combustível, equipamentos e serviços de transporte, hospedagem, entretenimento, e diversas outras atividades econômicas indiretas ligadas à mineração (WORLD BANK, 2019; WORLD BANK, 2020).

A diversidade da MAPE se expressa nas terminologias utilizadas para designar as pessoas que atuam nesse setor. As expressões variam conforme as particularidades culturais e históricas de cada local. Em diferentes países, utilizam-se termos como “mineiro(a) tradicional”, “lavadores(as) de ouro”, “pequeno(a) mineiro(a)” e “mineiro(a) artesanal”, entre outros (Figura 8). Apesar da relevância da MAPE para as economias locais, o setor permanece desconsiderado nas discussões de políticas públicas. Essa exclusão decorre, em parte, da falta de interesse político e da escassez de narrativas de sucesso que evidenciem o potencial positivo do setor (LABONNE, 2014; LAHIRI-DUTT, 2018; MASSARO et al., 2022; BANSAH; ACQUAH; BOAFO, 2024).

Figura 8. Diversidade de termos culturais e regionais utilizados na MAPE



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Há pesquisas de literatura que reconhecem cada vez mais que a MAPE e a agricultura estão frequentemente interligadas. Em áreas rurais, a MAPE complementa ou substitui meios de subsistência, como a agricultura, e muitas pessoas podem estar envolvidas em ambas as atividades.

Os efeitos das mudanças climáticas, inundações e secas, têm acelerado a migração de trabalhadores rurais, que dependiam de meios de subsistência baseados na natureza, para o setor da mineração (BANSAH; ARTHUR-HOLMES; ASSAN, 2023; D'ANGELO; FISHER, 2024). Dessa forma, a MAPE consolidou-se como a principal fonte de renda não agrícola em muitas regiões do mundo (WORLD BANK, 2024).

A participação feminina na MAPE é subestimada. Estima-se que as 13,4 milhões de mulheres trabalhem no setor em todo o mundo, representando 30% da força de trabalho (IGF, 2017; WORLD BANK, 2023; HILSON et al., 2025). A falta de dados desagregados sobre a participação das mulheres pode tornar esse número muito mais alto, considerando a informalidade (JENKINS, 2014; TEDESCO, 2015; YAKOVLEVA et al., 2022; WORLD BANK, 2023). Elas desempenham diversos papéis, de trabalhadoras nas frentes de mina, motoristas, garimpeiras, catadoras no processamento dos minérios. A presença feminina estende-se a atividades indiretas relacionadas ao setor, incluindo prestadoras de serviços (fornecendo alimentos, roupas, água e suprimentos para minas), trabalho em casas noturnas, serviços de cozinhas, lojas, entre outros.

A MAPE responde por uma parcela significativa da produção de minerais estratégicos, incluindo 26% da produção de tântalo (columbita-tantalita), 25% da produção de estanho (cassiterita) e 15% de cobalto. Além de sua relevância socioeconômica, a MAPE atende a mercados de alto valor agregado, como o da indústria de artigos de luxo, suprimindo cerca de 80% da safira e 20% dos diamantes no mercado global (IGF, 2017).

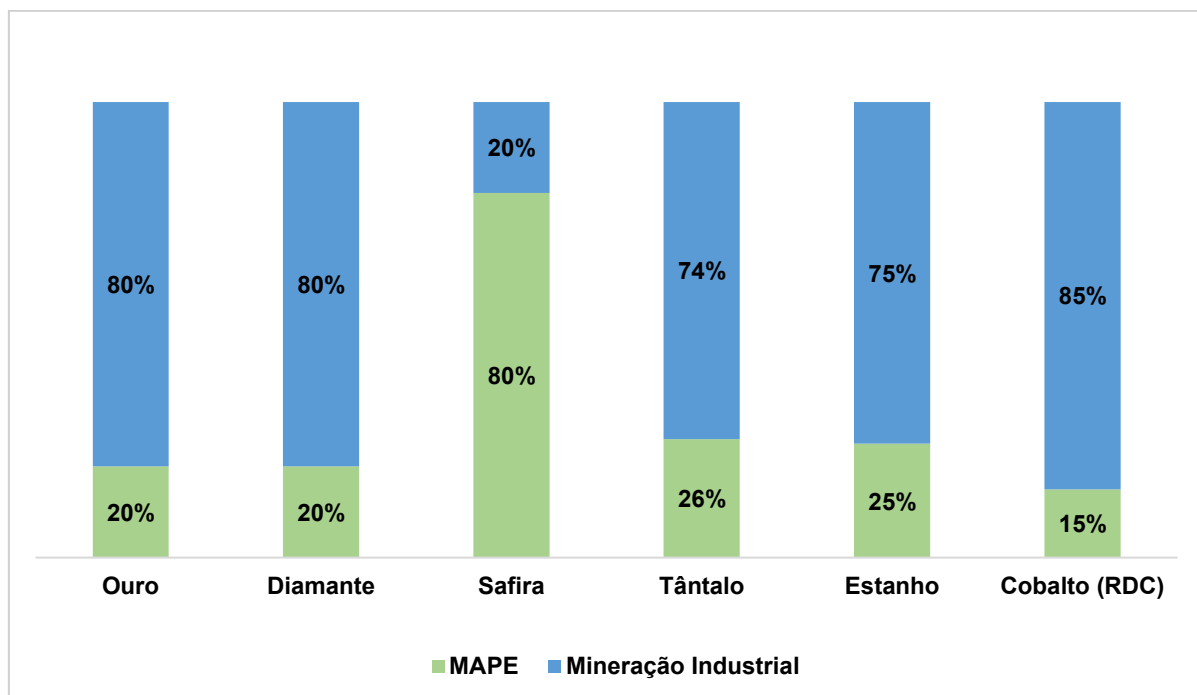
Estimativas indicam que a demanda por minerais críticos poderá aumentar entre 4 e 6 vezes até 2040 (WORLD ECONOMIC FORUM, 2025). Países como o Brasil, República Democrática do Congo, Zimbábue, África do Sul, Indonésia e China, concentram importantes reservas de elementos críticos para o apoio à ampliação da infraestrutura de energia e na eletrificação dos sistemas de transporte e mobilidade, entre outros (LAING; FINN; SIMON; NEWELL, 2024). Com o aumento da demanda e dos preços desses minerais, observa-se uma nova tendência de atração de mais pessoas para a mineração, sejam novos participantes no setor ou indivíduos que migram da extração de metais e pedras preciosas mais comuns para explorar recursos de maior valor no mercado.

4.2. PANORAMA DA MAPE DE OURO

Desde a antiguidade, o ouro (Au) é valorizado no sistema econômico e financeiro mundial. Na perspectiva brasileira, sua importância está relacionada à formação histórica e ao desenvolvimento do país desde o período colonial. Em 1500, a Carta de Pero Vaz de Caminha citava o Brasil como potencial produtor desse metal, e a Carta Régia de 1603, ao instituir o imposto do quinto, mencionava o Pará como região produtora de ouro (DA COSTA; RIOS, 2022).

No cenário contemporâneo, a indústria do ouro pode ser interpretada como um espectro que envolve, em um extremo, a mineração artesanal em pequena escala (MAPE) e, no outro, a mineração industrial em grande escala. Essas duas configurações operacionais se distinguem em termos de escala produtiva, nível tecnológico, impactos socioambientais e estrutura de trabalho. Em termos de participação no setor mineral, aplica-se a regra do '80-20', ver Figura 9. A MAPE é responsável por até 20% da produção global de ouro, mas emprega cerca de 80% da força de trabalho do setor. Por sua vez, a mineração em grande escala produz 80% do ouro com apenas 20% da mão de obra (IGF, 2017).

Figura 9. Produção de minerais entre a MAPE e a mineração industrial



Fonte: IGF (2017), Elaborado pelos Autores.

A demanda por ouro reflete o aumento no número de trabalhadores do setor. Em 1995, aproximadamente 1 milhão de pessoas atuavam na extração do metal na América Latina, com uma produção de até 200 toneladas de ouro. Desse total, entre 200 mil e 400 mil estavam no Brasil (VEIGA, 1997; VEIGA; SILVA; HINTON, 2002). Cerca de duas décadas depois, Seccatore et al. (2014) estimaram que mais de 16 milhões de pessoas estavam diretamente envolvidas em atividades de mineração de ouro em todo o mundo, com cerca de 10% desse total na América do Sul.

Nos últimos anos, o ouro voltou a ganhar relevância como ativo de investimento e reserva de valor, especialmente diante das incertezas econômicas e geopolíticas, que tem levado investidores e bancos centrais a procurarem ativos mais seguros para proteção de capital (BAUR; SMALES, 2020; ARSLANALP; EICHENGREEN; SIMPSON-BELL, 2023). Entre 2003 e 2022, o setor de joalheria foi responsável pelo consumo de 52% (2.222 toneladas) da produção mundial de ouro. Seguido pelo setor de barras e moedas, com 26% (1.128 toneladas), tecnologia com 8% (329 toneladas), fundos de investimentos, como os *Exchange Traded Funds* (ETFs) com 2% (66 toneladas) e os bancos centrais, 13% (569 toneladas) do total de 4.653 toneladas (WORLD GOLD COUNCIL, 2024).

O papel do ouro como ativo se intensificou em 2020, no contexto da pandemia da Covid-19. A adoção de medidas de lockdown, o fechamento de fronteiras e o distanciamento social buscavam conter a propagação da Covid-19. Essas medidas, embora necessárias, interromperam a produção global de suprimentos de diversos setores, inclusive a mineração (SMITH-ROBERTS et al., 2021). No mesmo período, o mercado do ouro registrou uma alta histórica. Dados do *World Gold Council* registraram que, somente em 2020, o preço do ouro atingiu uma alta histórica até a época, elevando seu valor a US\$ 2.067,15/onça. Esse aumento refletiu as incertezas econômicas globais, tornando o ouro um ativo de refúgio (WORLD GOLD COUNCIL, 2022). Diante desse cenário, o Fundo *Extractives Global Programmatic Support Multi-Donor Trust* (EGPS) do Banco Mundial, criou a iniciativa *Delve COVID-19 Impact Reporting*^{6,7}, que mapeou os impactos da pandemia na MAPE em 33 países, incluindo o Brasil.

⁶ <https://www.delvedatabase.org/covid-19-impact-on-asm/covid-data>.

⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=MR13FY7Niv0&t=13s>

Os dados revelaram que a intensificação do desemprego e da pobreza, causada pelo coronavírus, impulsionou a procura pela MAPE como alternativa econômica para inúmeras famílias em situação de vulnerabilidade (CALVIMONTES et al., 2020; PERKS; SCHNECK, 2021; PIJPERS; LUNING, 2021). No Brasil, o estudo de Calvimontes et al. (2020), realizado no Mato Grosso, Pará e Amapá, expôs conflitos pré-existentes relacionados à atividade garimpeira. O estudo destacou o potencial positivo de ações colaborativas locais de auto-organização e cooperação entre pessoas que trabalham no garimpo.

Apesar de seu potencial de desenvolvimento socioeconômico local, a MAPE de ouro enfrenta desafios estruturais que comprometem sua viabilidade a longo prazo. Entre os principais desafios, destacam-se o uso de métodos de extração e processamento mineral rudimentares, acesso limitado a capital financeiro e os impactos ambientais. Quando realizada sem adoção de boas práticas ambientais e técnicas, pode ocasionar contaminação de recursos hídricos, emissão de poluentes atmosféricos e degradação do solo.

Os problemas mais críticos estão ligados ao uso do mercúrio (ESDALIE; CHALKER, 2018). Uma vez liberado, o mercúrio persiste no meio ambiente, circulando pelo ar, água, solo e biota, adotando diversas formas. Quando depositado, pode ser transformado por microorganismos em metilmercúrio, uma forma especialmente perigosa que se concentra na cadeia trófica, sobretudo na aquática.

A literatura discute tentativas ainda não consolidadas de alternativas tecnológicas para eliminar o uso do mercúrio. Veiga, Anene e Silva (2025) refletem que, apesar de as intervenções tecnológicas serem recorrentes no setor da MAPE de ouro, as estratégias para reduzir o uso do mercúrio têm obtido resultados limitados. Isso se deve à ausência de avaliação prévia das necessidades dos mineradores e, ainda, ao fato de muitas propostas apresentarem custos elevados. É necessário compreender os desafios estruturais e assim melhorar as políticas de implementação para promover medidas para reduzir, e se possível, eliminar o uso de mercúrio.

5. GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS DO MINÉRIO DE OURO

Este capítulo apresenta uma visão geral sobre a geologia e a mineralização do ouro, destacando os tipos de depósitos auríferos. São apresentadas as principais províncias auríferas do Brasil e sua distribuição regional.

5.1. CLASSIFICAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE DEPÓSITOS AURÍFEROS

O ouro é um dos poucos metais que ocorrem na natureza em estado nativo. Com número atômico 79 na tabela periódica dos elementos químicos, é um recurso mineral finito e não renovável. O ouro é encontrado em depósitos com teores da ordem de gramas por tonelada (g/t), associado a outros minerais, como o quartzo e a pirita. As ocorrências auríferas podem ser classificadas em três tipos principais, com base nas rochas hospedeiras: ígneas, sedimentares e metamórficas.

Ocorrências em rochas ígneas: O ouro que ocorre em rochas ígneas está associado a fumarolas oceânicas, ou seja, ocorrências em fumaça de vulcões dentro do oceano. Esses depósitos são conhecidos como Depósitos Vulcanogênicos de Sulfeto Maciço ou Depósitos Vulcanogênicos Hospedados em Rochas Vulcânicas. Normalmente, ocorrem junto a minerais sulfetados, como pirita ou arsenopirita, sendo considerados depósitos primários de ouro.

Ocorrências em rochas sedimentares: Os depósitos de ouro em rochas sedimentares são denominados *placers* ou *paleoplacers*. No Brasil, são chamados popularmente de ouro de aluvião ou de coluvião. São classificados como depósitos secundários de ouro.

Ocorrências em rochas metamórficas: Os depósitos de origem metamórficas são conhecidos como veios hidrotermais de ouro e como *skarns*. O primeiro grupo é classificado como ouro orogênico devido ao evento tectônico responsável pela sua geração, podendo ser encontrado em falhas tectônicas, sendo popularmente referido como ouro em filão ou veio. O segundo grupo é formado a partir de uma reação de metamorfismo de contato entre diferentes tipos de rochas (BACHE, 1981).

A distribuição dos depósitos de ouro ocorreu em diferentes períodos geológicos. Os depósitos de ouro mundiais possuem sua gênese principal no período Arqueano, há mais de 2 bilhões de anos, considerado o mais favorável para a concentração de ouro primário. Os depósitos secundários foram gerados no Cambriano, há cerca de 500 milhões de anos. Apesar de os terrenos arqueanos representarem uma pequena porção da superfície terrestre, eles foram a fonte primária significativa para a formação do ouro, contribuindo com aproximadamente metade da produção mundial, provenientes de sequências vulcano-sedimentares do tipo *greenstone belt*. O ouro, ainda dentro do contexto dos *greenstone belts* pode ser muitas vezes extraído em quantidades econômicas como subproduto dos depósitos de sulfetos maciços de metais-base como o (BACHE, 1981).

No Proterozoico, entre 700 milhões de anos a 2 bilhões de anos, quase não houve concentração de ouro em comparação às rochas arqueanas e aos depósitos mais jovens do Fanerozoico. As mineralizações auríferas mais relevantes desse período encontram-se em depósitos de coluvião e aluvião (tipo *placer* ou *paleoplacers*), concentrados em bacias intracratônicas, como a Bacia Amazônica, a partir da erosão das rochas arqueanas (BACHE, 1981).

No Fanerozoico, cerca de 500 milhões de anos, os depósitos de ouro foram gerados por reações metamórficas e tectônicas (BACHE, 1981). Normalmente, esses depósitos são encontrados em regiões tectonicamente ativas, podendo estar associados ou não a atividade magmática. Exemplos incluem depósitos de cobre porfírico em rochas ígneas como o granito, depósitos do tipo *skarn* formados pela assimilação de uma rocha por outra, depósitos filonares associados a corpos intrusivos e encaixados em rochas ígneas terciárias, onde o ouro é depositado em veios de quartzo, e depósitos aluvionares recentes do tipo *placer*.

Durante o Mesozoico e o Terciário, por volta de 1.5 a 66 milhões de anos, ocorreu um aumento na acumulação de ouro e prata, principalmente por meio de depósitos associados a intrusões de rochas vulcânicas. Dentro do conjunto de corpos ígneos de natureza porfírica, que são mineralizados em cobre, molibdênio e ouro, encontra-se duas principais origens: aquelas relacionadas às margens continentais ativas, que estão localizados, normalmente em regiões montanhosas com tectonismo ativo e aquelas associadas a arcos insulares, cadeias de ilhas formadas por atividade vulcânica (BACHE, 1981).

5.2. PRINCIPAIS PROVÍNCIAS AURÍFERAS DO BRASIL

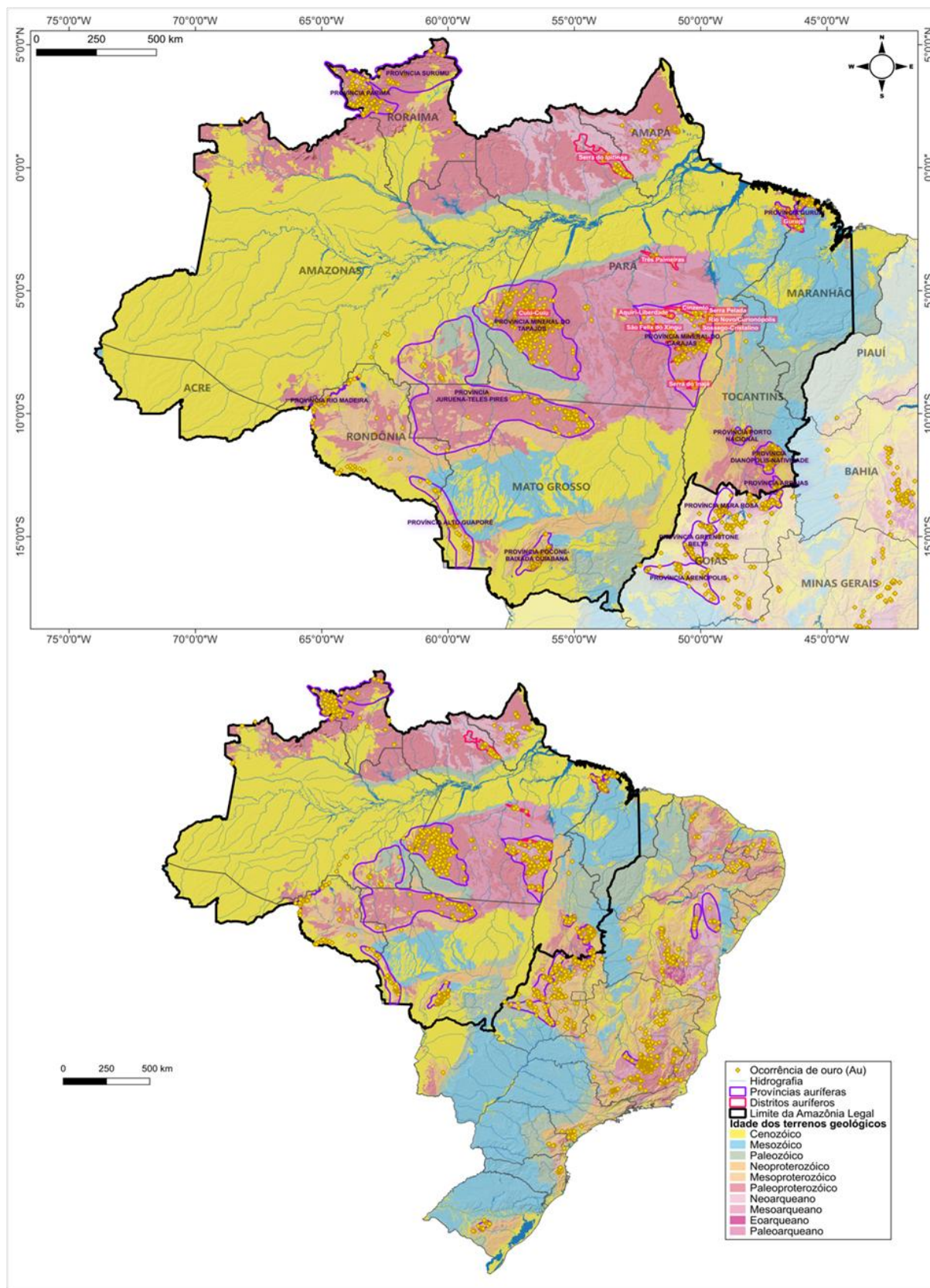
O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de substâncias minerais, com depósitos distribuídos por todo o território nacional. O país possui uma variedade de minerais metálicos, não metálicos e gemas preciosas, como minério de nióbio, tantalita, minério de ferro, grafita, magnesita, fosfato, ouro, minério de manganês, bauxita, minério de lítio, entre outros. Cerca de 46% do território nacional é formado por rochas pré-cambrianas com alto potencial geológico-metalogenético para metais, destacando-se o ouro (RIZZOTTO, 2022). Historicamente, a busca pelo ouro foi importante na ocupação e consolidação do território do país. Esse potencial é comprovado pelo número de ocorrências, depósitos, garimpos e minas, distribuídos em diversas regiões.

Desde o início das atividades mineradoras, que se iniciaram ao final do século XVI, o ouro continua sendo uma das substâncias minerais mais exploradas no país, mantendo-se relevante até os dias atuais. Grande parte da produção aurífera brasileira ocorre por meio da MAPE concentrada em áreas com vocação geológica, localizadas principalmente dentro da Amazônia Legal e em outras regiões do país. Segundo o Serviço Geológico do Brasil (SGB), foram mapeados 94 distritos auríferos com potencial para exploração mineral em todo o território nacional. Em 2020, as províncias auríferas mais produtivas foram, em ordem decrescente: Minas Gerais, Pará, Mato Grosso, Goiás, Bahia, Maranhão, Amapá, Rondônia, Paraná, Amazonas e Tocantins (RIZZOTO, 2022). As regiões do Tapajós, no Pará (Província Mineral do Tapajós), e norte de Mato Grosso (Província Polimetálica Juruena-Teles Pires) apresentam potencial para projetos de pequeno e médio porte, aliado a um número expressivo de garimpos controlados por cooperativas, que mineram ouro por meio de PLGs. Atualmente, já foram identificados 94 distritos auríferos propícios à extração mineral. A Figura 10 ilustra a distribuição dos distritos auríferos brasileiros.

As ocorrências de ouro no país estão predominantemente associadas a depósitos do tipo *greenstone belt* e em placers. Greenstone belts são rochas vulcânicas máficas-ultramáficas associadas a rochas vulcanoclásticas e epiclásticas, ricas em minérios e com potencial para mineralizações auríferas. Placers são depósitos nos quais minerais pesados, como o ouro primário, sofreram intemperismo e erosão de materiais hospedeiros e então transportadas para áreas de acumulação.



Figura 10. Províncias e distritos auríferos do Brasil



Fonte: Rizzotto (2022), Elaborado pelos Autores.

Em Minas Gerais, a produção de ouro está associada a duas províncias principais: o Cinturão Mineiro e o Quadrilátero Ferrífero. O Cinturão Mineiro divide-se nos distritos de Riacho dos Machados, Ribeirão da Folha - Minas Novas, Espinhaço Meridional, Alvorada de Minas-Serro, Cuieté Velho, Itabira, São Domingos do Prata, Congonhas-Itaverava, São João del-Rei e São Gonçalo do Sapucaí. O Quadrilátero Ferrífero compreende os distritos de Pitangui, Nova Lima-Caeté, Paciência (São Vicente), Santa Bárbara e Ouro Preto-Mariana

Na Bahia, a produção de ouro provém de duas províncias principais: *Greenstone Belt* do Rio Itapicuru e Serra da Jacobina. A primeira divide-se nos distritos mineiros de Fazenda Brasileiro, na porção sul do *greenstone belt*, e de Maria Preta, no centro-norte. Nestas províncias, o ouro apresenta controle estrutural e se hospeda em veios de quartzo e quartzo-carbonatos junto com sulfetos de ferro (pirita e pirrotita) e de ferro-arsênio (arsenopirita).

Em Mato Grosso, as províncias auríferas responsáveis pela produção de ouro são: (1) Juma (sequência vulcano-sedimentar), nos depósitos de Pombas, Grota do Guida, Jacaré, Galo, Manelão, Naldinho, Moagem e Bandeira; (2) depósitos Gavião e União, com ouro hospedado em sequências vulcânicas; nos depósitos; (3) Igarapé Dez Dias, com ouro secundário; (4) Apiacás-Paranaíta, com ouro hospedado em sequências vulcânicas nos depósitos de Cajueiro, Zé Vermelho e Pé de Anta (ouro em ignimbrito) e Papagaio (ouro em dacito porfirítico); (5) Peixoto de Azevedo, que concentra os principais depósitos da província nos depósitos X1, Pé Quente, Luizão, Trairão e Serrinha de Matupá (ouro pórfiro disseminado), João Fidélis, Peteca, Viúva, Serrinha de Garantã, Valentim, Edu e Fides (ouro pórfiro em veios de quartzo); e (6) Roosevelt-Aripuanã, nos depósitos de Serra do Expedito (com ouro hospedado em exalações vulcânicas do tipo VMS); Juruena (veios de quartzo e carbonato); e Gil (veios de quartzo).

No Maranhão, as principais ocorrências de ouro estão nos depósitos de Montes Áureos, Cachoeira, Roxo, Firmino, Chega Tudo, Cipoeiro, Serrinha e Catedral. Estudos recentes indicam que o depósito Montes Áureos pode estar relacionado à zona de cisalhamento em que ocorrem depósitos conhecidos do tipo lode e ouro orogenético, como Chega Tudo e Cipoeiro onde o potencial de recursos de ouro é bastante elevado (RIZZOTTO, 2022).

As ocorrências de ouro na região Norte do Brasil estão associadas ao Cráton Amazônico. O Cráton Amazônico é uma das maiores áreas pré-cambrianas do mundo e a principal unidade tectônica da América do Sul. Dentro do território brasileiro, ocupa uma área de 4,4 milhões de km² (BORGHETTI et al., 2018). O Cráton Amazônico resultou de eventos sucessivos de crescimento crustal constituída e estruturada principalmente entre o Arqueano e o Mesoproterozóico, dividido em duas províncias pela bacia sedimentar amazônica. A do Norte, que se inclui no Escudo das Guianas, denominada de Província Rio Branco. A do Sul, que é parte do Escudo Brasil Central, é a Província Tapajós (ALMEIDA et al., 1977).

Os depósitos amazônicos são de suma importância econômica e socioambiental devido a sua localização, estão próximos às fronteiras com outros países e muitas vezes dentro de unidades de conservação e território de populações tradicionais e originárias. A descoberta dos depósitos de minério de ferro em Carajás e a corrida do ouro em Serra Pelada, no estado do Pará, na década de 1980, foram os principais impulsionadores das descobertas de novos depósitos e da extração mineral na região. Em 1993, um novo ciclo de produção se iniciou com a descoberta das ocorrências de ouro na região do Tapajós.

Os depósitos de ouro na região Norte são, em sua maior parte, secundários. Na porção centro-sul do Cráton Amazônico localiza-se a Província Mineral Tapajós (PMT), reconhecida como uma das principais províncias metalogenéticas do Brasil, sobretudo pelas mineralizações de ouro. Os primeiros registros da atividade garimpeira na PMT datam do fim da década de 1950, com desenvolvimento de garimpos nas proximidades dos rios nos depósitos secundários, e posteriormente o ouro passou a ser extraído em depósitos primários.

Atualmente, há projetos de pesquisa mineral considerados promissores em diversas regiões do país, com destaque para os depósitos auríferos de Tocantzinho e Volta Grande (Pará), Borborema (Rio Grande do Norte), Posse (Goiás), Santa Luz (Bahia), Gurupi (Maranhão), Almas (Tocantins) e Matupá (Mato Grosso), entre vários outros. Segundo o SGB, esses projetos, quando implementados, tem potencial de produção entre 25 e 30 toneladas por ano, valor que ainda desconsidera iniciativas de menor porte ou em fase inicial de viabilidade econômica (RIZZOTTO, 2022).

5.3. CARACTERÍSTICAS DO MINÉRIO DE OURO

As ocorrências de ouro apresentam características variadas em função de suas propriedades físico-químicas, resistência à corrosão, alta gravidade específica, brilho (alta refletância), durabilidade, condutividade térmica e elétrica e maleabilidade. No contexto da MAPE de ouro, o minério de ouro é tipicamente proveniente de depósitos primários e secundários. Os depósitos primários de ouro ocorrem em veios de quartzo auríferos associados a rochas magmáticas ou metamórficas. A baixa reatividade e inércia química favorecem sua precipitação nas fraturas desses veios. Embora o ouro seja dúctil e maleável, tanto o quartzo quanto o ouro apresentam resistência relativa ao intemperismo. Essa resistência às alterações físicas e químicas favorece a busca por veios de quartzo na MAPE de ouro.

Os depósitos secundários de ouro resultam do intemperismo de depósitos primários, gerados pelo transporte de materiais não consolidados (WINGE, 2018⁸; MILLER; JUILLERET, 2020). A Figura 11 ilustra exemplos de ouro primário na rocha matriz e o ouro secundário.

Figura 11. Ouro primário e ouro secundário



Fonte: Souza (2017).

⁸ Glossário Geológico Ilustrado. <https://sigep.eco.br/glossario/index.html>

Os depósitos secundários são classificados em aluvionares, coluvionares e eluvionares, descritos a seguir:

Aluvionares⁹: depósitos formados por materiais detríticos (areia, siltes, cascalhos, argilas e outras partículas), transportados por longas distâncias pela ação da água corrente. Esses materiais são depositados ao longo do leito ou em planícies de inundação, embora nem sempre tenham se originem no próprio curso d'água. Os minérios aluvionares são normalmente extraídos por dragagem em leito de rio.

Coluvionares: depósitos formados por materiais intemperizados misturados com solos e fragmentos de rochas provenientes de zonas mais altas. Esses materiais são transportados por curtas distâncias pela ação da gravidade, depositados em encostas ou declives de cascalho. O colúvio constituído por uma mistura entre o solo e os detritos.

Eluvionares: depósitos formados por materiais intemperizados que permanecem no local de formação ou próximo. Esses depósitos são constituídos por fragmentos de minerais e rochas mais resistentes ao intemperismo e mantidos in situ, enquanto partículas mais finas são removidas por processos erosivos.

As ocorrências de ouro podem apresentar associações com diversos minerais e elementos metálicos, dependendo das características de formação de cada depósito. Dentre os elementos típicos estão o cobre, prata e paládio. Para que o ouro presente nos depósitos possa ser eficientemente recuperado é necessário que as partículas de ouro estejam liberadas ou parcialmente liberadas dos minerais hospedeiros¹⁰. Esse conceito, conhecido como grau de liberação, é prioritário para seleção dos métodos de processamento na mineração. No entanto, trata-se de um conceito pouco disseminado na MAPE de ouro, o que impacta diretamente na eficiência da recuperação (VEIGA; ANGELOCI-SANTOS; MEECH, 2014).

As propriedades físico-químicas do ouro apresentam três características que influenciam os métodos para sua recuperação. A primeira é a capacidade de formar compostos intermetálicos com o mercúrio, possibilitando o uso da amalgamação como forma de recuperação das partículas grosseiras de ouro.

⁹ Glossário Geológico Ilustrado. <https://sigep.eco.br/glossario/index.html>.

¹⁰ De acordo com o Glossário Geológico Ilustrado da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), rocha hospedeira significa "rocha que contém o mineral em estudo, o minério ou mineral de minério, disseminado ou em finos veios.

A segunda é a hidrofobicidade entre o ouro e os minerais a ele associados em respostas positivas a coletores de flotação. A flotação recupera as partículas de ouro livre e o beneficiamento mineral foca na recuperação do ouro contido, definindo o teor de ouro no concentrado. Por fim, a solubilidade do ouro em soluções aquosas de cianetos de metais alcalinos (MARSDEN; HOUSE, 1992).

Historicamente, a recuperação de ouro foi realizada por processos gravíticos. A necessidade de processar minérios de ouro mais complexos e de menor teor levou à introdução de tecnologias na mineração, como lixiviação com cianeto, flotação e outros processos tecnológicos avançados (SURIMBAYEV et al., 2024). A escolha do método de processamento mineral para minérios auríferos depende das características mineralógicas, natureza do ouro, tamanho das partículas, composição química e a presença de minerais associados ao ouro. Dessa forma, a investigação mineralógica torna-se necessária para identificar as causas das baixas recuperações e propor soluções (MITCHELL; EVANS; STYLES, 1997).

Os minerais aluviais apresentam partículas de ouro liberadas. O movimento contínuo dos grãos de rocha nas correntes de água desintegra os minerais de ganga¹¹ e libera as partículas metálicas. No entanto, essa condição não é universal. Existem depósitos aluviais em que as partículas de ouro ainda estão parcialmente associadas à ganga e, nesses casos, é necessária a moagem¹² para a liberação do material. Apesar disso, a maioria dos operadores da MAPE de ouro que trabalham com minerais aluviais não opta por realizar essa etapa no processamento.

Na prática, a maior parte das perdas de ouro ocorre nas frações grosseiras, onde o metal não está liberado da ganga. Nas frações finas, as partículas finas de ouro não são recuperadas eficientemente por métodos rudimentares de gravidade. Portanto, quanto maior o grau de liberação, maior será a eficiência na recuperação de ouro. Assim, a distribuição do tamanho das partículas de ouro não corresponde à distribuição do tamanho das partículas do minério como um todo. Isso significa que uma quantidade de ouro pode estar concentrada em frações muito pequenas (MITCHELL; EVANS; STYLES, 1997).

¹¹ Conjunto de minerais misturados ao ouro que não possuem interesse econômico.

¹² A moagem é a operação de fragmentação fina obtendo-se nesta um produto adequado à concentração ou a qualquer outro processo industrial.

6. TECNOLOGIAS UTILIZADAS PELA MAPE DE OURO

A tecnologia, no contexto da mineração, pode ser compreendida como a aplicação sistemática de conhecimentos técnicos, ferramentas e métodos para extração, processamento e transformação mineral. Ela representa mais do que a simples mecanização, pois envolve técnicas para criar, aprimorar e otimizar processos. Ou seja, corresponde a um avanço dinâmico, capaz de capacitar indivíduos com eficiência e inovação (MUTEMERI; PONNAN, 2024).

Na MAPE de ouro, a diversidade tecnológica exerce influência direta na diferença entre os dois conceitos que compõem esse tipo de atividade: ‘mineração artesanal’ e ‘mineração em pequena escala’. O espectro produtivo da MAPE varia desde operações que processam alguns gramas de minério por dia até operações de maior porte, que podem processar até 1 milhão de toneladas por ano. Algumas dessas operações de maior escala utilizam maquinário pesado e equipamentos industriais.

Nesse sentido, as diferenças tecnológicas entre essas duas configurações estão relacionadas, principalmente, ao nível de mecanização. Na mineração artesanal, as atividades são realizadas por indivíduos ou grupos de pequeno, médio ou grande porte, formais ou informais, legais ou ilegais, que utilizam métodos rudimentares e tecnologias de baixo nível para a extração e o processamento de minérios secundários e primários. Na mineração em pequena escala, as tecnologias são intermediárias e dependem de processos semimecanizados ou mecanizados. Embora ambos compartilhem características de simplicidade e recursos limitados, esse espectro evidencia os diferentes graus de formalidade, escala e avanço tecnológico dentro da MAPE.

Contudo, o aspecto tecnológico baseado na escala de produção torna-se secundário diante das demandas estruturais que caracterizam o setor em nível global. A literatura tem destacado a importância de práticas tecnológicas mais responsáveis e eficientes, que vão além das características operacionais (LAHIRI-DUTT, 2018; RUSHEMUKA; CÔTE, 2024). Um aspecto comum nas abordagens recentes é a valorização de tecnologias acessíveis e apropriadas, isto é, aquelas que os operadores podem construir, comprar, manter, operar, desenvolver e reparar de forma independente. Essa perspectiva contrasta com definições tradicionais baseadas em termos como “mecanizado”, “mais avançado” ou “intensivo em mão de obra”, que nem sempre consideram o contexto local.

6.1. TECNOLOGIA NA MINERAÇÃO ARTESANAL

Historicamente, os operadores artesanais dos séculos XVIII e XIX empregavam métodos simples e manuais. Os conhecimentos sobre essas técnicas e práticas geralmente eram transmitidos de geração em geração, consolidando-se como parte da cultura e das práticas locais (MUTEMERI; PONNAN, 2024). Até os dias atuais, os trabalhadores atuam em locais remotos, muitas vezes de difícil acesso, motivados por expectativas de enriquecimento rápido ou por constituírem uma fonte financeira mais lucrativa do que outras atividades disponíveis em seus territórios.

Apesar da informalidade predominante, dentro do espectro da mineração artesanal, observa-se uma organização interna, na qual os trabalhadores se adaptam às mudanças na disponibilidade de minerais por meio do trabalho em equipe e de uma divisão de tarefas. Essa divisão inclui funções na exploração, extração, processamento, transporte e negociação dos minérios.

Apesar dessas motivações, a “**mineração artesanal**” enfrenta obstáculos. Esse tipo de mineração é visto como ilegal no contexto global e no Brasil. As operações podem ocorrer em áreas remotas, sem acesso à eletricidade, o que limita o uso de equipamentos industriais. Além disso, o acesso a financiamento para a aquisição de equipamentos industriais ou conhecimento geológico é restrito, resultando em baixos índices de recuperação e em maiores impactos ambientais. Embora essa descrição da mineração artesanal ainda reflita a realidade de diferentes contextos, por exemplo, na África Subsaariana, o setor passou por transformações em algumas regiões, especialmente nas Américas e em alguns países da Ásia.

A introdução de equipamentos mais sofisticados como bombas de sucção, calhas concentradoras e outras tecnologias, transformou a forma como a mineração artesanal é praticada, alterando sua relação com a tecnologia e o meio ambiente, ainda que continue sendo realizada com recursos e conhecimentos limitados (VEIGA, ANGELOCI-SANTOS; MEECH, 2014).

6.2. TECNOLOGIA NA MINERAÇÃO EM PEQUENA ESCALA

A tecnologia na “**mineração em pequena escala**” é caracterizada pela combinação do uso de métodos tradicionais com maior acesso a recursos financeiros e tecnologias mecanizadas. Essa configuração operacional permite a adoção de processos mais complexos, incluindo escavadeiras, retroescavadeiras, moinhos de bolas, centrífugas, hidrociclones e britadores. No aspecto de processamento mineral, observa-se o uso crescente de processos químicos, como a lixiviação com cianeto para a extração de ouro (VERBRUGGE; LANZANO; LIBASSI, 2021; TOMASSI, 2024). A introdução dessas tecnologias transformou o setor, antes voltado à subsistência, em um modelo de negócio direcionado à intensificação da produção e ao retorno econômico imediato.

Essas inovações aumentaram a produtividade e viabilizaram a extração aurífera em áreas remotas. A mecanização permitiu maior produtividade, redução parcial do esforço físico e expansão da atividade para regiões de difícil acesso. A literatura pontua que a adoção de tecnologias mecanizadas requer elevados investimentos financeiros e acentua as relações assimétricas de poder entre os investidores da operação e a força de trabalho que executa as atividades diariamente. Dessa forma, a transição para práticas mecanizadas não é apenas uma questão técnica, mas resulta de transformações socioeconômicas (BRYCESON; GEENEN, 2016; DOUMBOUYA et al., 2024; ANDRADE et al., 2024; NICO et al., 2024).

Além disso, o uso de tecnologias mecanizadas não garante maior eficiência operacional em uma operação da MAPE de ouro, especialmente pelos desafios estruturais, como a falta de conhecimento técnico para operar os equipamentos mais sofisticados, baixa capacitação técnica e o acesso limitado a recursos financeiros para investir em tecnologias eficientes. Essas limitações têm impactos diretos, refletindo-se em baixos índices de recuperação de ouro, falta de controle no processamento mineral e degradação ambiental (HILTON; VEIGA; VEIGA, 2003; VEIGA; GUNSON, 2020; ARAUJO, 2023). Apesar da crescente mecanização dos processos de extração e processamento, práticas rudimentares e ineficientes, como o uso de mercúrio e cianeto, permanecem comuns. Deste modo, mesmo com a introdução de novas tecnologias, muitas operações de mineração em pequena escala ainda mantêm prática rudimentares.

6.3. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NO GARIMPO DE OURO NA AMAZÔNIA

Desde o século XVII, a extração do minério de ouro ocorre na Amazônia brasileira de forma permanente, alternando momentos de menor e maior intensidade. Hoje, a Amazônia é uma região retratada por dinâmicas socioeconômicas, demográficas e territoriais, composta pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins e parte do estado do Maranhão. A ocupação e a exploração aurífera na Bacia Amazônica ocorreram em diferentes fases, com avanços tecnológicos incorporados gradualmente.

Dados históricos indicam que, até o final da década de 1970, a lavra e a recuperação de minérios auríferos eram realizadas por métodos manuais. Essas práticas envolviam o uso intensivo da força de trabalho humana, com auxílio de ferramentas simples como pás, picaretas, enxadas, bateias e marretas. A lavra era conduzida principalmente por meio de escavação direta em barrancos ou leitos de rios. A concentração do ouro era realizada por processos gravíticos rudimentares, utilizando pequenas calhas de madeiras simples ou duplas.

Com a introdução da mecanização na atividade garimpeira, as operações passaram a ser classificadas como semimecanizadas, evoluindo, com o tempo, para diferentes níveis de mecanização. No entanto, essa transição não eliminou o caráter rudimentar e os impactos socioambientais associados, sobretudo os decorrentes do uso indiscriminado do mercúrio. A redução de custos operacionais tem sido um dos principais estímulos à adoção de inovações, bem como à apropriação de tecnologias adaptadas às condições geológicas específicas de cada local. Em contextos de operações informais ou ilegais, favoreceu o uso de tecnologias portáteis e de rápida mobilidade (MASSARO; DE THEIJE, 2018; LEIVA, 2022).

A consequente expansão territorial criou um contexto dinâmico, no qual os fluxos migratórios, impulsionados pela corrida do ouro, transformaram a evolução da fronteira da floresta tropical e contribuíram para a consolidação do processo de urbanização no bioma Amazônia. Nas décadas de 1980 e 1990, diversos autores e organizações documentaram a intensificação da atividade de garimpeira na Amazônia, destacando, entre outros aspectos, os impactos ambientais causados pela contaminação por mercúrio. Entre eles, Cleary (1990), Lacerda e Salomons (1998), Gaspar (1990), Mathis (1995), Lacerda (1997), Mathis (1998), Castilhos, Bidone e Lacerda (1998).

Nesse mesmo período, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, atual Serviço Geológico do Brasil – SGB) desenvolveu programas de mapeamento geológico da Amazônia. Em paralelo, o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) desenvolveu pesquisas para caracterização e rotas de processamento de ouro. A partir dos anos 2000, novas abordagens teóricas e empíricas passaram a enfocar os impactos técnicos, socioeconômicos e ambientais da atividade garimpeira. Esses temas foram discutidos nos trabalhos de Veiga, Silva e Hinton (2002), Castilhos et. al (2006), Schuber (2013), Coelho e Wanderley (2013), Castilhos et. al (2015), Wanderley (2015), Chagas (2019), Junior e Carvalho (2023).

No Estado do Roraima¹³ a história da garimpagem está relacionada à descoberta de jazida de diamante no Rio Maú em 1912, na fronteira ocidental da Guiana com o Brasil, na serra do Tepequém, no município de Amajari, nos períodos de 1944 – 1947 e 1956 – 1959 (MATHIS, 1998). A garimpagem desenvolve-se em cascalhos mineralizados no leito do rio, nas aluviões e em coluviões. A exploração do ouro começou na década de 1970, e na década 1980, a CPRM (atual SGS) iniciou os trabalhos de mapeamento geológico no estado. Nos relatórios técnicos da época, indicam que os garimpeiros utilizavam equipamentos semimecanizados e apontam os desafios enfrentados pelos geólogos diante da resistência dos garimpeiros em modificar seus métodos de trabalho, sob o argumento de que as práticas tradicionais atendiam às necessidades de produção (CPRM, 1984).

O estado do Amapá está relacionado com a história da mineração, isto é, a ocupação do território amapaense e suas formações sociais e econômicas estiveram em grande parte conectadas às atividades de extração mineral, sobretudo auríferas, descobertas na década de 1930. Nesse período, ocorreram surtos de garimpagem no rio Cassiporé, que possui 210 km de extensão, desaguando na altura do Cabo Cassiporé. Entre as atividades garimpeiras mais antigas e ativas mais importantes no estado, é a região do Distrito de Lourenço, no município de Calçoene. De acordo com Oliveira (2010), as mineralizações primárias mais conhecidas no Distrito de Lourenço são as do morro do Salamangone e Yoshidome e morro da Mina. Foi no final da década de 1940 que houve a implementação do desmonte hidráulico no Lourenço.

¹³ No final do século XVIII, colonizadores portugueses venderam no Forte São Joaquim (hoje Boa Vista) mercadorias para os índios Macuxi, que pagaram as compras em ouro (MATHIS, 1998).

O norte do Mato Grosso atraiu dezenas de milhares de migrantes, em busca do ouro e das oportunidades geradas pela economia do garimpo. Com a implantação da rodovia BR-163, denominada Cuiabá-Santarém, na década de 1970, deu-se a descoberta de ouro em depósitos de ouro ao longo do rio Peixoto de Azevedo. A atividade garimpeira iniciou-se de forma “manual” caracterizada pelo uso de ferramentas simples (pá, bateia), que vai do final dos anos 70 ao início dos anos 90, quando o preço do ouro caiu repentinamente (MASSARO; DE THEIJE, 2018). Após esse período, a região de Peixoto de Azevedo passou por diversas transformações. Aos poucos, o desenvolvimento tecnológico chegou ao garimpo com a introdução das primeiras dragas de sucção de 3 polegadas nos garimpos de barranco da região.

Nas **décadas de 1950 e 1960**, o garimpo estava associado à “lavra manual” no Tapajós, que dependia da exploração de ocorrências aluvionares com altos teores de ouro para garantir rendimento financeiro. A extração era realizada com ferramentas simples, como pá, picareta, bateia, peneira e pequenas motobombas para sucção de água. A remoção do capeamento a lavagem do cascalho resultava em uma produção de aproximadamente 3m³ por dia. A extração era feita por meio da escavação de poços retangulares ou quadrados. À medida que os garimpeiros atingiam a camada de cascalho mineralizado, esse material era removido e acumulado nas margens, posteriormente, transportado para lavagem em pequenas calhas concentradoras para separar o ouro de sedimentos (CPRM, 1984). O mercúrio era (e ainda é) utilizado para amalgamar-se com o ouro (MOLINA; WANDERLEY, 2021).

A transição tecnológica do garimpo manual para o semimecanizado surgiu no **final da década de 1970 e começo de 1980** (Figura 12; Figura 13). Molina e Wanderley (2021), citam que a implementação de políticas de colonização no território amazônico e criação de reservas garimpeiras, incentivaram a migração, atraindo garimpeiros de diversas regiões na década de 70. Atraídos pela chamada “fofoca do ouro” com a consequente “febre do ouro”, milhares de pessoas se mobilizaram desde outras regiões amazônicas, do sul do país e da região Nordeste em direção à região, onde a exploração do ouro lhes oferecia a chance de obter ganhos financeiros extremamente difíceis em suas regiões de origem.



Figura 12. Práticas manuais nos garimpos

Lavra manual



Pequena calha concentradora



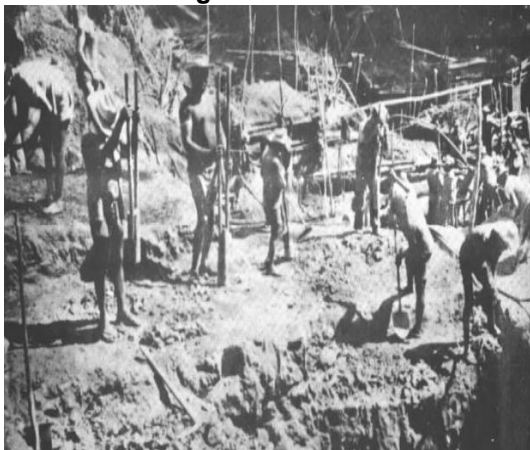
Lavra em cata ou barranco



Calha e britador de martelo



Britagem manual



Calha concentradora dupla



Fonte: CPRM (1981).

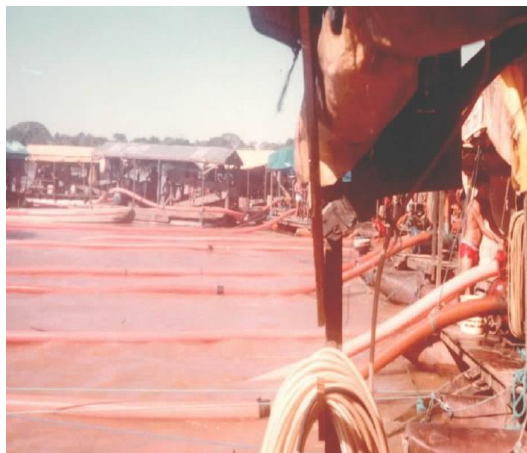


Figura 13. Evolução de práticas garimpeiras nos anos 80

Garimpo manual “Cata”



Aglomerado de pequenas balsas



Frente de uma draga 1 polegadas



Motobomba para sucção de cascalho



Moinho acoplado à calha concentradora



Despesca de ouro



Fonte: CPRM (1984).

Nos depósitos secundários conhecidos como **garimpos de baixão**, foi introduzido o uso da “chupadeira” ou “par-de-máquina”, um conjunto de motores a diesel de até 32 hp e bombas para retirar material aurífero. Essa técnica envolve o desmonte hidráulico com uso de mangueiras de alta pressão para a sucção de cascalho, posteriormente enviado a uma calha concentradora (MIRANDA et al., 1997). A adoção dessa nova prática aumentou os volumes de terra extraídos, complementada pelo uso de tratores e escavadoras, permitindo a lavra de minérios com teores mais baixos (VEIGA; SILVA; HINTON, 2002). Os estudos realizados pela CPRM ainda na década de 1980 já indicavam limitações operacionais desses sistemas. Os relatórios apontavam falhas nos ajustes de vazão, capacidade de retenção e uso inadequado de água, estimando perdas de ouro entre 60% e 80% nos processos de recuperação de ouro.

Em paralelo à abertura de garimpos em áreas de baixão, a introdução de balsas nos leitos de rios teve uma forte influência no crescimento da atividade garimpeira, especialmente nos afluentes do Rio Tapajós e no Baixo Madeira. A bacia superior do rio Madeira foi a segunda mais importante região produtora de ouro de garimpo na Amazônia durante as duas últimas décadas do século passado. A corrida do ouro no Rio Madeira teve início em 1975, inicialmente como uma atividade individual e não mecanizada, concentrada nos bancos de areia e nas margens do rio, durante o período de seca. Esse processo evoluiu rapidamente com a introdução de balsas com mergulhadores e grandes dragas mecânicas capazes de trabalhar em profundidades. Em 1985, aproximadamente 800 dragas e 700 balsas operavam entre Porto Velho e Guajará-Mirin, na fronteira com a Bolívia (BASTOS; LACERDA, 2004).

As primeiras balsas eram construídas sobre plataformas de madeira, flutuando por meio de cilindros metálicos e acionadas por motores responsáveis pela sucção do cascalho do fundo do rio. No Rio Madeira, as balsas operavam (e ainda operam) aglomeradas em pequenas áreas, onde ocorriam muitos acidentes. Com o tempo, as pequenas balsas evoluíram para dragas de grande porte, equipadas com motores mais potentes e sistemas de sucção mais profundos (SCHUBER, 2013).

A partir dos anos 2000, a atividade garimpeira na Amazônia entrou em um novo ciclo de transição tecnológica (Figura 14).

O caráter semimecanizado, predominante nas décadas anteriores, foi gradualmente substituído por operações mecanizadas, com maior capacidade de remoção de material e adoção de práticas com mais recursos financeiros, influenciadas pelo aumento do preço do grama de ouro no mercado internacional.

Esse processo de modernização técnica não foi acompanhado por mecanismos proporcionais de mitigação dos impactos ambientais. Diversos estudos apontam problemas de ordem econômica, social, ambiental e de saúde, além do desmatamento, destruição de cursos d'água, poluição de rios pelos resíduos gerados durante a extração do ouro e a contaminação do solo e dos recursos naturais devido ao descarte anual de toneladas de mercúrio (QUEIROZ et al., 2022; JUNIOR; CARVALHO, 2023; ARAUJO, 2023).

Nesse cenário, o conceito de 'mineração artesanal' ou 'mineração em pequena escala' tornou-se mais complexo e contestado devido ao crescente impacto ambiental causado pelo garimpo. O avanço da mecanização, ao mesmo tempo em que ampliou a capacidade de extração e reduziu o esforço físico, não promoveu necessariamente melhorias na eficiência dos processos produtivos. Estudos recentes, como o de Nico et al. (2023), destacam que o uso de equipamentos mecanizados e sofisticados, que demandam altos investimentos financeiros, afasta essas operações dos métodos artesanais e coloca em questão a classificação dessas operações como "artesanais" para descrever a realidade atual.

À medida que as operações na Amazônia se distanciam dos métodos manuais e adotam tecnologias de grande porte, o termo "artesanal" perde relevância nesse contexto. É importante destacar que os termos grande ou pequena referem-se ao porte das operações, e não necessariamente a tecnologia utilizada (VEIGA, 1997). Assim, uma operação pode ser classificada como de pequena escala com base no volume de produção, mesmo empregando tecnologias relativamente avançadas. Enquanto uma operação de grande porte pode manter práticas artesanais, dependendo de métodos rudimentares para o processamento de minérios independentemente do volume de produção (HENTSCHEL; HRUSCHKA; PRIESTER, 2002).



Figura 14. Evolução de práticas garimpeiras nos anos 1990 e 2000



Ordem da leitura das imagens: da esquerda para direita e de cima para baixo: (1), (2) Massaro e De Theije (2018); (3) Balzino et al. (2015); (4), (5), (6) Arquivo pessoal Carlos Henrique Xavier Araujo.

6.4. RELAÇÃO DA TECNOLOGIA NA MINERAÇÃO CONVENCIONAL E A MAPE

A mineração abrange uma ampla gama de arranjos operacionais, que vão desde empreendimentos com alto capital de investimento e baseados em tecnologia avançada até formas mais simples e adaptativas. Essa diversidade reflete dois contextos tecnológicos distintos: a mineração convencional, estruturada e tecnologicamente avançada, e a mineração artesanal e em pequena escala, caracterizada por métodos simples e menos eficientes, conforme discutido anteriormente.

As operações convencionais são conduzidas por empresas de grande, médio ou pequeno porte, que demandam investimentos substanciais de capital ao longo de toda a vida útil da mina. Essas empresas possuem acesso a mercados financeiros e estão inseridas em cadeias internacionais de fornecimento de commodities minerais e metálicas. A viabilidade econômica e técnica dessas operações depende de estudos geofísicos, geoquímicos, sondagens, modelagem geológica, planejamento de mina, caracterização tecnológica do minério e da aplicação dos princípios da engenharia de minas e da geologia (KEMP; OWEN, 2019; RODRÍGUEZ-NOVOA; HOLLEY, 2023).

A escolha do método de lavra nas operações convencionais é uma decisão estratégica, fundamentada na compatibilidade entre as características do corpo mineral e os parâmetros técnicos, econômicos e operacionais dos métodos disponíveis. Alterações posteriores no método adotado costumam ser tecnicamente complexas, o que reforça a necessidade de um processo decisório estruturado e embasado em critérios de engenharia.

Nas últimas décadas, a mineração convencional tem incorporado vários avanços tecnológicos como modelagem geológica 3D, inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina, robótica, big data, blockchain e economia circular (CHATTERJEE et al., 2025). Essas transformações evidenciam um processo contínuo de modernização e digitalização na mineração.

Em contraste, os avanços tecnológicos na MAPE ainda se restringem, principalmente, à mecanização, com pouco ou nenhum acesso a sistemas de automação e controle de processos. Na MAPE a definição do método de lavra tende a ser empírica e baseada em práticas locais, experiências ou tentativa e erro. A ausência de dados geológicos e de conhecimento técnico faz com que muitos operadores escolham técnicas sem considerar sua adequação ao tipo de depósito.

Além das diferenças tecnológicas e operacionais, a gestão de rejeitos distingue mineração convencional da MAPE. Os rejeitos são os resíduos resultantes do processamento mineral. Eles incluem rocha moída (minério fragmentado) contendo os metais não recuperados, bem como substâncias adicionadas durante o processamento (por exemplo, produtos químicos e água). Na mineração convencional, o minério é transportado (por exemplo, caminhão, ferrovia, correia transportadora ou oleoduto) para áreas de processamento mineral. Os métodos de processamento podem variar, mas geralmente incluem a cominuição do minério em partes menores, separar os minerais uns dos outros e, em seguida, processar o concentrado. Os rejeitos desses processos são depositados como lama em barragens de rejeitos.

Com o aumento progressivo das dimensões dessas barragens e a ocorrência de desastres, como o da barragem de rejeitos em Mount Polley, mina de cobre e ouro no Canadá em 2014, barragem de fundão em Mariana da Empresa Samarco em 2015 e o rompimento da Barragem do córrego do Feijão da Empresa Vale S.A em 2019 (FRANKS et al., 2021; FABRÍCIO, FERREIRA, BORBA, 2021), intensificou-se a atenção voltada para a segurança e o monitoramento dessas estruturas.

No caso da MAPE, os rejeitos são dispostos da maneira mais conveniente, com pouco ou nenhum gerenciamento planejado. Isso pode envolver empilhar rejeitos próximos ao local da mina, despejá-los em corpos d'água próximos ou reabastecer o poço original da mina com resíduos não tratados. Os rejeitos contaminados com mercúrio têm graves impactos ambientais nos ecossistemas.

O World Bank (2024) observa que a mineração convencional tem construído uma narrativa que destaca sua contribuição para a sustentabilidade, apoiando-se em iniciativas de responsabilidade social corporativa. Em muitos casos, argumenta-se que a mineração convencional apresenta menos problemas que a mineração de pequena escala, por ser um tipo de mineração mais fácil de monitorar e controlar, devido à sua contribuição fiscal e da forte influência política. Por essa razão, muitos governos priorizam grandes empreendimentos.

7. IMPACTO DA FORMALIZAÇÃO NOS ASPECTOS OPERACIONAIS

Devido à sua relevância como fonte de renda em regiões com alto potencial mineral, mas com baixo desempenho econômico, a MAPE passou a atrair maior atenção de agências de desenvolvimento. Um marco histórico ocorreu entre 26 de novembro e 5 de dezembro de 1978, com a realização da conferência sobre o setor em Jurica, México, financiada pelo *United Nations Institute for Training and Research* (UNITAR). O evento destacou a necessidade de abordagens específicas para cada contexto e deu ênfase na mineração em pequena escala dos países em desenvolvimento no Sul Global (CARMAN, 1985).

Em 1987, o Banco Mundial publicou o relatório “*Small-Scale Mining: A Review of the Issues*”, que reforçou o reconhecimento da MAPE como um sistema de produção presente em diferentes territórios e destacou sua importância socioeconômica. Esse relatório apontou os desafios tecnológicos e socioambientais associados à atividade (NOETSTALLER, 1987). Desde então, diversas organizações têm contribuído para consolidar diferentes interpretações da MAPE sob enfoques diversos, que refletem a heterogeneidade dessa atividade em termos de escala, tecnologia e contexto socioeconômico-cultural (VEIGA; MAXSON; HYLANDER, 2006; SIEGEL; VEIGA, 2010).

A formalização tornou-se um tema recorrente na literatura técnica e política. Entretanto, a formalização, por si só, ainda não é suficiente para compreender as condições técnicas e tecnológicas sob as quais as atividades da MAPE se desenvolvem. A discussão sobre formalização ganhou ainda mais destaque após a adoção da Convenção de Minamata em 2013. A Convenção de Minamata sugere que a mineração artesanal e em pequena escala de ouro nos países signatários, ainda que considerada insignificante, desenvolva um Plano de Ação Nacional (NAP), incluindo etapas para a formalização.

Esse marco colocou a MAPE de ouro no centro dos esforços globais de mitigação de impactos ambientais e promoção da legalidade (STYLO, DE HAAN; DAVIS, 2020). Entretanto, a formalização possui interpretações e formas de aplicação variadas, o que dificultam a formulação de estratégias coerentes e eficazes (RUSHEMUKA; CÔTE, 2024). Nesse contexto, o conceito de formalização é sinônimo de legalidade e, conseqüentemente, à legitimidade das operações.

Para os governos, a formalização representa uma estratégia que visa não apenas controlar e monitorar as operações e aumentar da arrecadação fiscal por meio de royalties, mas promover a visibilidade dos atores formalizados. Essa maior visibilidade facilita a formulação e implementação de políticas públicas direcionadas para a redução dos impactos ambientais associados à atividade (HILSON, 2020; MARTINEZ; SMITH; MALONE, 2021; VELEZ et al., 2025). Para os mineradores, a formalização apresenta vantagens econômicas e operacionais. Pode oferecer maior segurança na posse do título mineral, o que possibilita que invistam em suas operações (e reduzir a ameaça de terem seus equipamentos destruídos ou queimados); favorece o acesso a financiamento e, potencialmente, ao investimento em tecnologias mais limpa.

A formalização tende a estar associada em torno de melhores resultados ambientais e sociais, já que a conformidade com as leis ambientais e trabalhistas é vista como um caminho para práticas responsáveis. No entanto, esses esforços não alcançam todo o setor, uma vez que apenas uma parcela das pessoas que atuam na MAPE consegue superar as barreiras estruturais para formalizar suas operações (CLIFFORD, 2022; VELEZ et al., 2025). Estima-se que mais de US\$ 1 bilhão tenha sido investido nas últimas quatro décadas em iniciativas voltadas à formalização da MAPE, sendo o ouro o principal recurso mineral de interesse para financiamento (WORLD BANK, 2024). Apesar desses esforços, 90% das pessoas que trabalham na MAPE ainda operam de forma informal. Na América do Sul, apenas 1% está formalizado (MARSHALL; VEIGA, 2017; STOCKLIN-WEINBERG et al., 2019). Na África Subsaariana, 95% das operações não são licenciadas (HILSON et al., 2025).

Na prática, a formalização vai além do cumprimento de requisitos legais, integrando dimensões socioeconômicas e culturais, bem como a assistência técnica. Dessa forma, a formalização da MAPE de ouro pode ser interpretada como um processo de integração desse setor à economia formal, por meio da adaptação de leis e políticas específicas direcionadas à resolução dos desafios do setor (UNEP, 2012; MARSHALL; VEIGA, 2017; VERBRUGGE; GEENEN, 2020). A obtenção de títulos legais é reconhecida como passo importante no processo de formalização.

Especialistas apontam que o foco desproporcional na legalidade tem limitado o potencial de abordagens mais abrangentes e holísticas para a MAPE de ouro (VEIGA; FADINA, 2020; WORLD BANK, 2024). Essa visão restritiva, em torno da legalização, não é recente. Na década de 1990, o Banco Mundial destacava que a obtenção de títulos legais era considerada a principal necessidade para resolver os desafios relacionados a MAPE (BARRY, 1996). Essa perspectiva mostra que a formalização tem sido considerada uma solução universal para mitigar os desafios da MAPE, muitas vezes desconsiderando os esforços anteriores que não levaram em conta as diferentes realidades.

O contexto político e midiático contribui para uma visão distorcida da MAPE, associando-a à ilegalidade. Em diversos países, os trabalhadores do setor são rotulados com termos pejorativos. Por exemplo, no Suriname, eles são referidos como “*pork-knockers*”. Em Gana, o termo “*galamsey*” deriva da expressão em inglês *gather them and sell*, é utilizado para descrever a MAPE de ouro ilegal, não licenciada ou informal (HILSON, 2017; STACEY, 2025). No Brasil, a associação do garimpo e ilegalidade persiste, não apenas devido ao histórico de clandestinidade, mas devido ao aumento da extração ilícita que ocorre em grandes proporções em várias regiões do país, especialmente no Bioma Amazônia. Além dos impactos ambientais, a atividade ilícita serve de fachada para organizações criminosas e amplia os impactos negativos nas áreas afetadas (SIQUEIRA-GAY; SÁNCHEZ, 2021; MANZOLLI et al., 2021).

A Tabela 2 ilustra uma síntese dos resultados de processos de formalização em alguns países, destacando os aspectos positivos e as dificuldades encontradas. Por um lado, os estudos indicam que as estratégias adotadas para fomentar a formalização do setor tem se baseado em abordagens centralizadas e *top-down* (de cima para baixo), com ênfase no cumprimento de requisitos legais e regulatórios (SIEGEL; VEIGA, 2009; HILSON; MCQUILKEN, 2014; PERSAUD et al., 2017; LAHIRI-DUTT 2018; CLIFFORD, 2022; JIMÉNEZ; SMITH; HOLLEY, 2024; RUSHEMUKA; CÔTE, 2024; ARAUJO; DE TOMI, 2025). Por outro lado, abordagens *bottom-up* (de baixo para cima) revelam dinâmicas mais complexas e interativas entre os atores envolvidos, permitindo que os mineradores e comunidades articulem seus interesses em processos decisórios (LABONNE, 2014).

Tabela 2. Síntese dos impactos da formalização para os aspectos operacionais

País	Positivos	Dificuldades	Referências
Colômbia	Criação de Comitês para gestão da pequena mineração	Falta de apoio técnico; Uso contínuo do mercúrio.	VEIGA; MARSHALL, 2019
Peru	Implementação da Estrutura legal que reconhece a MAPE. Melhorias nas práticas de saúde e segurança. Leis para uso controlado do mercúrio;	Suporte técnico limitado; Insuficiente apoio técnico;	MARTÍNEZ; SMITH; MALONE, 2023
Brasil	Propostas de medidas para rastreabilidade do ouro.	Implementação e eficácia ainda incertas. Uso contínuo do mercúrio;	Resolução ANM nº 103/2022
Equador	Proibição do mercúrio; Programa de compra direta pelo Banco Central.	Uso de mercúrio e cianeto em operações formais; Atuação de atravessadores na comercialização do ouro	THOMAS et al., 2019
Bolívia	Organização em cooperativas; Reconhecimento das limitações do governo para monitoramento.	Lacunas de governança além da legislação	SALMAN; CARRILLO; SORUCO, 2015 OROZCO; MCKIERNAN 2022
República Democrática do Congo	Reconhecimento do setor	Incentivos limitados para adesão às regras; alta informalidade;	GEENEN, RADLEY, 2014
Zimbabwe	Expansão da extração de ouro	Conflitos pelo controle de áreas de mineração; Burocracia; Corrupção	MKODZONGI, 2020;
Tanzânia	Centros de excelência para treinamento e capacitação.	Tecnologias não levam automaticamente a formalização	KINYONDO; HUGGINS, 2020
Gana	Criação de políticas, controle do uso de mercúrio; Leis e regulamentos.	Medidas repressivas; Falta de apoio dos trabalhadores; Corrupção	HILSON; MACONACHIE, 2020; BANSAH, 2023
Camarões	Políticas de regulamentação; Acesso ao mercado	Diversos arranjos de comercialização; Falta de adesão	WENG; MARGULES, 2022
Nigéria	Cooperativa e associações para formalização	Falta de recursos financeiros Aspectos culturais dos trabalhadores	ORAMAH et al., 2015

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Um exemplo dos desafios persistentes na MAPE de ouro é o que Martínez, Smith e Malone (2023) definem como “pós-formalização”. Esse termo refere-se a desafios que surgem após o início da formalização, incluindo acesso limitado a financiamento e a exclusão de grupos que não conseguem cumprir integralmente os requisitos legais e burocráticos exigidos. Por exemplo, ainda há resistência por parte do setor bancário em financiar operações da MAPE de ouro, devido às percepções negativas vinculadas a essa atividade. Nesse contexto, Veiga e Marshall (2019) argumentam que a formalização deve ser entendida como um processo contínuo, e não como um resultado.

Uma parcela da força de trabalho vive em condições de vulnerabilidade social e econômica, o que reduz seu interesse e limita sua capacidade de adesão aos processos formais. Entretanto, o setor não se caracteriza apenas pela fragilidade. A MAPE de ouro apresenta dinâmicas complexas de poder, conflitos territoriais e redes organizadas que operam legalmente, além de organizações criminosas. Operações ilegais têm causado graves danos ambientais e sociais, como invasões em áreas de reservas florestais e de concessão de grandes empresas especialmente em países da América do Sul (MARSHALL; VEIGA, 2017). A formalização, nesse cenário, enfrenta obstáculos persistentes, como desinteresse governamental, ausência de políticas públicas eficazes e a limitação do conhecimento geológico para identificar áreas adequadas para extração. A oneração do uso do subsolo e a falta de áreas disponíveis reforçam os conflitos de coexistência entre mineradores, empresas privadas e comunidades locais (VEIGA; FADINA, 2020; WORLD BANK, 2024).

Os efeitos da informalidade são ainda mais críticos em um contexto de mudança tecnológica. A introdução de novas tecnologias aplicadas na MAPE tem o potencial de aumentar a produtividade, ao mesmo tempo em que amplia os riscos. Por exemplo, garimpeiros que trabalham informalmente têm adotado ferramentas e técnicas (moinho de bolas, cianetação e outras) que eram tradicionalmente restritas ao setor industrial. Embora essas inovações possibilitem o processamento de maiores quantidades de minério, a ausência de regulamentação específica e supervisão adequada eleva os riscos ambientais, de saúde e segurança.

8. USO DE MERCÚRIO NA MAPE DE OURO

Neste capítulo são abordadas as formas de ocorrência do mercúrio no ambiente e o seu papel no contexto da MAPE de ouro.

8.1. FORMAS DE MERCÚRIO NO AMBIENTE

O mercúrio é um metal líquido à temperatura ambiente, com número atômico 80 e peso atômico 200,59, que ocorre naturalmente na crosta terrestre em uma média de 0,08 partes por milhão (ppm). É considerado um elemento calcófilico, por sua tendência a formar sulfetos. Na crosta terrestre, sua ocorrência natural ocorre principalmente na forma de mineral. Entre esses, o cinábrio (α -HgS), um sulfeto de mercúrio, é o mais comum. O cinábrio está presente em formações geológicas ao redor do mundo, distribuído em cinturões minerais com alta concentração de mercúrio, principalmente em ambientes vulcânicos e depósitos de fontes termais.

Seu ponto de fusão é $-38,9^{\circ}\text{C}$ e seu ponto de ebulição é $357,3^{\circ}\text{C}$. Abaixo do ponto de fusão, o mercúrio é um sólido branco, e em seu estado gasoso, é um vapor incolor. Devido à sua alta pressão de vapor, evapora facilmente à temperatura ambiente (BECKERS; RINKLEBE, 2017). Em geral, utiliza-se o termo “vapor de mercúrio” quando o mercúrio elementar está presente na atmosfera, e “mercúrio metálico” quando está na forma líquida. O mercúrio pode ser encontrado em três formas distintas:

Mercúrio elementar (metálico) (Hg): É a forma pura do metal que permanece líquido à temperatura ambiente. É caracterizado por alta pressão de vapor (tendência de evaporar a temperatura ambiente) e baixa solubilidade em água (0.025 mg/L a 20°C). Quando evaporado o mercúrio forma um vapor tóxico, invisível e inodoro.

Compostos mercúricos (Hg II): Compostos formados quando o mercúrio em seu estado de oxidação $2+$ entra em contato com outra substância, como cloro, enxofre e oxigênio, para formar sais de mercúrio. O íon Hg^{2+} não é estável em condições ambientais naturais, por isso sua representação é Hg (II), indicando o estado de oxidação. O mercúrio em estado de oxidação $+1$ existe na natureza, como o calomel (Hg_2Cl_2), mas é raro.

Compostos orgânicos: São compostos organometálicos (não facilmente dissociáveis) resultantes da combinação de mercúrio com carbono. O mais conhecido composto orgânico de mercúrio é o metilmercúrio (CH_3Hg^+) que é formado a partir do Hg (II), especialmente em sistemas aquáticos anaeróbicos, através da ação microbiana. Esse composto é altamente tóxico devido ao seu potencial de acumulação em organismos vivos ao longo da cadeia alimentar, processo conhecido como biomagnificação (WHO, 2008; WHO, 2019).

Esse metal pode ser encontrado em diferentes formas orgânicas e inorgânicas. A liberação de vapor de mercúrio é limitada pela formação superficial de óxido de mercúrio. O mercúrio é liberado por processos naturais, como gases do manto terrestre, erupções vulcânicas, evaporação dos oceanos e fontes geotérmicas (LINDQVIST; RODHE, 1985; SCHROEDER; MUNTHER, 1998). As emissões e liberações antropogênicas ocorrem de acordo com sua origem e modo de liberação. Essas categorias incluem: (i) liberações não intencionais associadas à mobilização do mercúrio presente nas matérias-primas utilizadas na atividade humana; (ii) liberações intencionais decorrentes do uso deliberado de mercúrio em produtos e processos industriais; e (iii) remobilização de fontes históricas, que liberam o mercúrio acumulado em solos, sedimentos, corpos d'água, aterros sanitários e depósitos de resíduos industriais e de mineração (PNUMA, 2015).

Uma característica que diferencia o mercúrio de outros metais comumente encontrados na atmosfera é sua capacidade de ser reemitido para o ar após ter sido depositado em superfícies (LINDQVIST; RODHE, 1985; SCHROEDER; MUNTHER, 1998). O mercúrio pode entrar na atmosfera por meio da liberação de vapor de mercúrio de rochas, solos e água. O mercúrio é uma substância volátil, pode retornar da terra e das águas superficiais para a atmosfera na forma elementar, reiniciando o ciclo biogeoquímico (SELIN; SELIN, 2020; SELIN; SELIN, 2022). Este processo é definido como “emissão” (*emission* em inglês). Quando o mercúrio é depositado no ambiente terrestre ou aquático, denomina-se “deposição” ou “liberação” (*release*, em inglês). Além de seu transporte pela atmosfera, que pode variar de dias a anos, o mercúrio pode ser transportado em solução como íons complexos ou adsorvido em material particulado, como argilas, óxidos hidratados de ferro e matéria orgânica (MEECH; VEIGA; TROMANS, 1998; CRESPO-LOPEZ et al., 2021).

As principais fontes antropogênicas de emissões de mercúrio são a mineração artesanal de ouro, a geração de energia a partir da queima de combustíveis fósseis (carvão) em instalações estacionárias e processos industriais de alta temperatura, como metalurgia, fundição e produção de cimento (UNEP, 2013; UNEP, 2019).

Diversos produtos contêm mercúrio, como termômetros antigos, lâmpadas fluorescentes, interruptores elétricos e amálgamas dentárias, pilhas, baterias e alguns produtos farmacêuticos. O descarte inadequado desses materiais resulta na liberação de mercúrio para a atmosfera ou corpos d'água. Na indústria, o mercúrio ainda é utilizado em processos como a produção de cloro e álcalis, por meio da tecnologia de células de mercúrio, mas este método está sendo substituído por células eletrolíticas de diafragma. Além disso, o mercúrio é utilizado como catalisador na produção de monômero de cloreto de vinila de acetileno (UNEP, 2019).

Várias minas de produção de mercúrio têm sido fechadas. Entre elas, as minas de Huancavelica, no Peru (1974), Idrija, na Eslovênia (1995), e Almandén, na Espanha (2002). A extração informal em minas de mercúrio no México e na Indonésia, associada a exportações não documentadas, contribuiu para aumentar a oferta internacional (SELIN; SELIN, 2022). Da mesma forma muitos países, como o Canadá, exportam mercúrio para Cuba sem discriminar sua origem e o seu uso, que provavelmente seja para revenda (VEIGA, MARSHALL, 2016).

O Brasil não é produtor de mercúrio, sendo este metal consumido principalmente no beneficiamento de ouro no país, proveniente de importações oficiais de mercúrio para outros fins e da entrada ilegal de outros países. A Convenção de Minamata busca alternativas para redução do uso do mercúrio em diferentes setores. Por exemplo, o uso de amálgamas dentárias, tem sido substituído por materiais cerâmicos. O mercúrio em termômetros e outros dispositivos de medição pode ser substituído por etanol e outros líquidos ou por termômetros digitais e dispositivos de medição eletrônicos (HYLANDER; MEILI, 2003). Nas plantas de produção de cloro-álcalis, a tecnologia de células de mercúrio está sendo substituída por células de diafragma e de membrana, que não utilizam o mercúrio (UNEP, 2013; UNEP, 2019). Lâmpadas fluorescentes, que dependiam de mercúrio para funcionar, estão sendo substituídas por tecnologias de *Light Emitting Diode* (LED) (Diodo Emissor de Luz, em português).

8.2. USO DE MERCÚRIO PARA AMALGAMAÇÃO DE OURO

O uso do mercúrio na extração de ouro remonta a práticas históricas documentadas em diferentes regiões do mundo, inclusive no Brasil colonial. Durante o ciclo do ouro, foram instituídas casas de fundição e amalgamação, além das intendências, com o objetivo de fiscalizar a extração e arrecadar os impostos devidos à Coroa. Nesses espaços, o ouro era fundido em barras e quintado (tributado em um quinto para a Coroa). Registros indicam o uso de cloreto de mercúrio para amalgamação nas casas de fundição (BARCELOS, 2013).

A técnica metalúrgica de amalgamação baseia-se na dissolução do ouro no mercúrio, que resulta na formação de uma liga metálica de ouro-mercúrio conhecida por amálgama (VEIGA, 1997; HYLANDER; MEILI, 2003; VEIGA; MAXSON; HYLANDER, 2006; CASTILHOS; DOMINGOS, 2024). Durante o século XIX, o mercúrio foi utilizado na extração de ouro, principalmente na América do Norte a partir de 1850. Em 1889, o uso da amalgamação de ouro começou a ser gradualmente substituído pelo processo de cianetação devido à maior eficiência desse processo. No início do século XX, empresas convencionais de mineração interromperam a prática da amalgamação (VEIGA; BAKER, 2004). Entretanto, a partir da década de 1980, o aumento no preço do grama de ouro impulsionou o novo ciclo de mineração, especialmente no Brasil e em países da África Central e Sudeste Asiático, levando ao uso descontrolado do mercúrio para amalgamação (LACERDA, 1997; MALM, 1998).

Nos últimos anos, a comunidade científica tem se dedicado a quantificar as emissões globais de mercúrio, buscando fornecer dados para a formulação de políticas públicas e estratégias para mitigar e controlar o uso e o comércio de mercúrio. Desde 1990, são produzidos inventários que monitoram as emissões antrópicas de mercúrio para a atmosfera. A primeira avaliação global do mercúrio foi publicada pela UNEP em 2002, com atualizações em 2008, 2013, 2015 e 2018 (UNEP, 2002; UNEP, 2008; UNEP, 2013; AMAP/UNEP, 2015, UNEP, 2019). Atualmente, as maiores fontes contemporâneas de emissões antropogênicas de mercúrio são as usinas termelétricas a carvão e a MAPE de ouro. De acordo com a UNEP (2019), a MAPE de ouro é responsável por aproximadamente 38% (838 toneladas) das emissões globais de mercúrio para a atmosfera, de um total estimado de 2.220 toneladas.

A literatura científica sobre a poluição por mercúrio proveniente da MAPE de ouro está disponível e, em grande parte, destaca os riscos associados a metilação, a bioacumulação de metilmercúrio na biota aquática e às implicações para a saúde das populações ribeirinhas e indígenas que consomem peixes contaminados com Hg (BOISCHIO; HENSHEL, 2000, DOREA; BARBOSA, 2007; BASTOS et al., 2007; LAVOIE et al., 2018; O'CONNOR et al., 2019; MORENO-BRUSH; McLAGAN; BIESTER, 2020; BASTA et al., 2021).

As pessoas que participam de atividades que envolvem mercúrio estão potencialmente expostas a níveis mais elevados de mercúrio do que a população em geral. O vapor de Hg é altamente tóxico, inodoro e invisível a olho nu. A Agência dos Estados Unidos para Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças (ATSDR) define o nível mínimo de risco para o vapor de Hg como 200 ng/m³. Para ambientes residenciais, os níveis são de 1.000 ng/m³ para exposição normal e 10.000 ng/m³ para isolamento de residentes (ATSDR, 2021; MOODY et al., 2020). Gibb e O'Leary (2014) identificaram que os operadores da MAPE de ouro estão sujeitos a vivenciar efeitos neurológicos, renais e, possivelmente, imunotóxicos/autoimunes pela exposição ao mercúrio. Durante o processo de queima, as concentrações de Hg frequentemente excedem 1.000.000 ng/m³, e os trabalhadores podem sofrer danos pulmonares debilitantes ou morrer de envenenamento por mercúrio (ATSDR, 2021; MOODY et al., 2020).

Diversas soluções técnicas foram propostas para minimizar a exposição ao mercúrio, incluindo o uso de retortas para queima do amálgama e a implementação de centrais de processamento (SOUZA; LINS, 1989; VEIGA et al., 1991; BRAGA; ARAÚJO, 2007; VEIGA et al., 2014; GARCÍA et al., 2015). Além disso, estudos exploram técnicas para substituição do mercúrio, como o uso de bórax como alternativa (APPEL; NA-OY, 2014), métodos gravitacionais (TESCHNER et al., 2017; VEIGA; GUNSON, 2020) e a cianetação (DRACE; KIEFER; VEIGA, 2016). Apesar dessas alternativas, nenhum desses métodos tem sido tão amplamente utilizado quanto a técnica de amalgamação com mercúrio devido à sua facilidade e acessibilidade. Embora a amalgamação seja comum entre os garimpeiros, é considerada uma técnica obsoleta e ineficiente (TELMER; VEIGA, 2009). A seguir, são apresentadas as formas de amalgamação na MAPE de ouro.

8.3. FORMAS DE AMALGAMAÇÃO DO MINÉRIO DE OURO

A amalgamação é uma técnica utilizada na recuperação de ouro, baseada na propriedade físico-química da molhabilidade, que envolve a interação entre interfaces líquidas, sólidas e gasosas. No caso da extração de ouro, essa propriedade é determinada pelo contato da superfície do ouro em meio aquoso, sendo assim, uma característica influenciada pelo ângulo de contato entre ouro, mercúrio e água (Au-Hg-H₂O). Estudos indicam que esse ângulo de contato é de aproximadamente 160°, que facilita a adesão do mercúrio à superfície do ouro, permitindo sua separação de outros materiais (PRYOR, 1965).

A composição química do amálgama varia conforme a proporção entre o ouro e mercúrio, dependendo das características do minério processado. Os três principais tipos de amálgamas formados a partir de concentrados de minério de ouro são: AuHg₂ (um átomo de ouro para dois de mercúrio), Au₂Hg (dois átomos de ouro para cada átomo de mercúrio) e Au₃Hg (três átomos de ouro para cada átomo de mercúrio) (TAGGART; BEHRE, 1945).

O processo de amalgamação é eficaz para minérios em que o ouro ocorre de forma nativa, livre e grosseira, não incluso ou disseminado nos sulfetos, embora estes possam estar presentes no minério. Outra aplicação ocorre nos minérios de aluvião, nos quais o ouro nativo está praticamente liberado. Na prática dos garimpos, a escolha do método de amalgamação varia conforme o tipo de minério e a escala de produção, sendo possível identificar dois principais métodos:

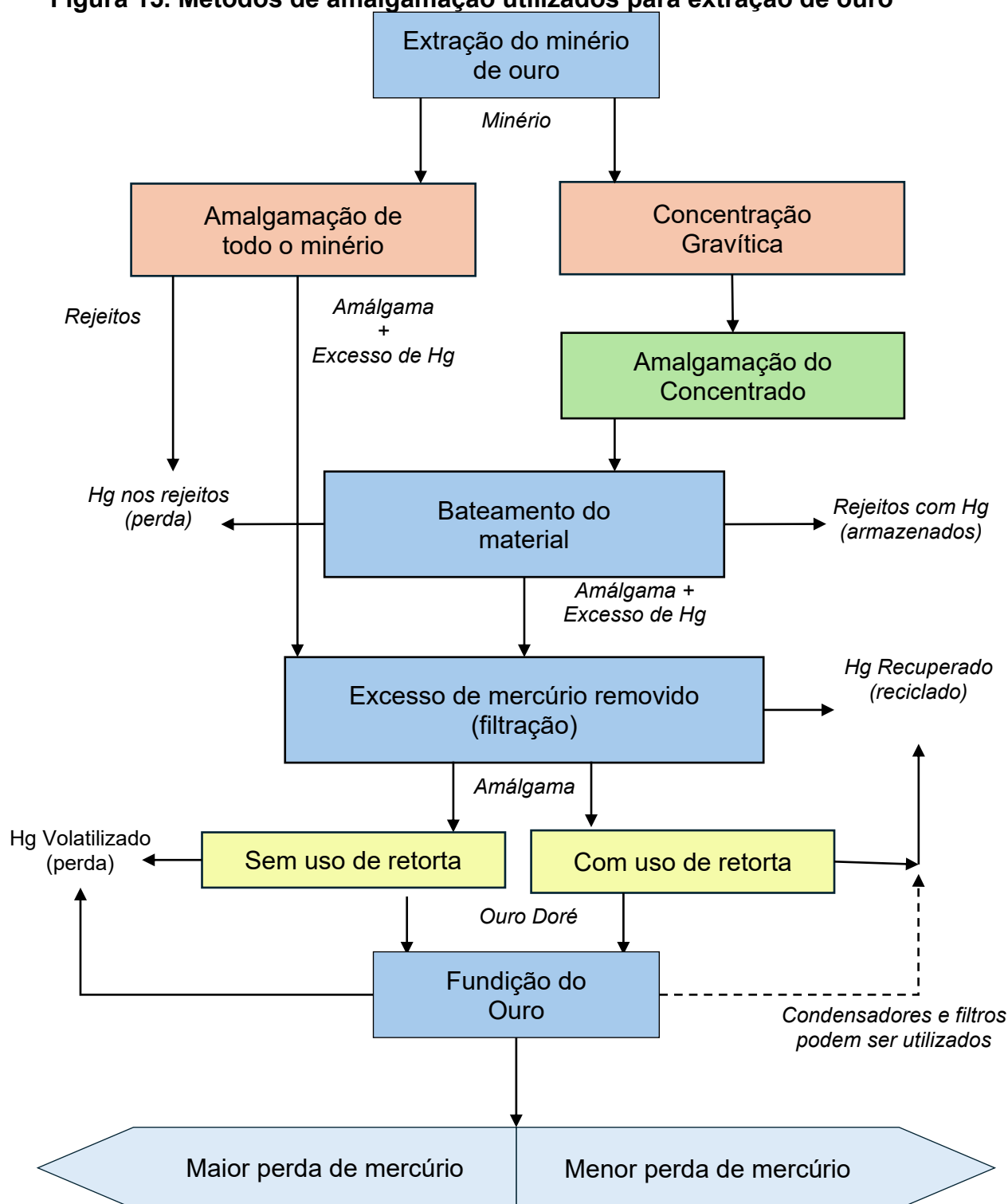
- (i) amalgamação de todo o minério (Whole Ore Amalgamation – WOA).
- (ii) Amalgamação de concentrados

Ambas as técnicas envolvem o uso de mercúrio, porém diferem em relação às quantidades e formas de uso. A técnica de amalgamação de todo minério é observada no Brasil e em outros países quando se processam minérios primários com alto teor de ouro. Caracteriza-se pela aplicação direta do mercúrio sobre o minério bruto, o que gera maior volume de rejeitos e intensifica as emissões e liberadores de mercúrio, especialmente quando não se utilizam dispositivos para recuperação, como retortas.



Os minérios secundários, por terem baixos teores, são normalmente concentrados antes da amalgamação. As principais características de cada método estão resumidas na Figura 15.

Figura 15. Métodos de amalgamação utilizados para extração de ouro



Fonte: Veiga e Hinton (2002), Adaptado pelos Autores.

As maiores emissões de mercúrio no processo de amalgamação ocorrem, principalmente, durante a decomposição térmica do amálgama, denominada pirólise, quando o amálgama é aquecido para produzir o *doré*, que é o ouro ainda impuro e não refinado. Nessa etapa, o mercúrio metálico presente no amálgama se volatiliza e, na ausência de mecanismos adequados de contenção e condensação (como retortas ou capelas), é liberado para a atmosfera. A inalação dos vapores de mercúrio liberados durante a queima do amálgama é uma das principais vias de exposição humana. Os efeitos tóxicos dependem da intensidade e da duração da exposição (PFEIFFER et al., 1989; GIBB; O'LEARY, 2014; ESDALIE; CHALKER, 2018; CRESPO-LOPEZ et al., 2021; ALEKU; LAZAREVA; PICHLER, 2024).

O mercúrio elementar liberado na atmosfera durante a decomposição térmica do amálgama (Au-Hg) ou durante a fundição do ouro nos postos de compra de ouro é oxidado a Hg(II) por reações mediadas por ozônio, energia solar e vapor d'água. Esse mercúrio iônico é removido da atmosfera por precipitação e depositado em ambientes aquáticos e terrestres. Nesses ambientes, o mercúrio pode passar por novas transformações, incluindo sua conversão em metilmercúrio (UNEP, 2012).

Antes da etapa da queima, parte do mercúrio no amálgama é separada por meio de **filtração** (*squeezing* em inglês). Normalmente, os operadores realizam esse processo manualmente, utilizando um pedaço de tecido para espremer o amálgama (UNEP, 2009). O amálgama obtido pela filtração manual apresenta, em média, entre 40 e 50% de mercúrio, e entre 50 e 60% de ouro e outros metais associados (HINTON; VEIGA; VEIGA, 2003; UNEP, 2012). A eficiência da filtração varia de acordo com a força aplicada: quanto maior a compressão, maior a remoção do mercúrio livre, resultando em um amálgama mais denso e concentrado. No entanto, uma filtração inadequada ou com pouca força para compressão, pode resultar em amálgamas com maior teor de mercúrio, aumentando o potencial de emissões durante a etapa de queima.

Quando o processo de filtração é realizado em uma centrífuga, uma quantidade maior de mercúrio é extraída, resultando em um amálgama com menos de 20% de mercúrio em sua composição (VEIGA et al., 1991; VEIGA et al., 2006). As perdas de mercúrio durante o processo de amalgamação são influenciadas por uma série de fatores operacionais, mineralógicos e físico-químicos (TAGGART; BEHRE, 1945; WOTRUBA et al., 1998; SURIMBAYEV et al., 2024).

Alguns desses problemas mencionados pelos autores citados são descritos a seguir:

Reatividade com sulfetos: Sulfetos de arsênio (As), antimônio (Sb) e bismuto (Bi) reagem com o mercúrio, formando compostos estáveis que impedem a formação da amálgama de ouro. Essa reação resulta na perda do ouro e do mercúrio. Em ambientes oxidantes (águas ácidas de mina), pirrotita (Fe (1-x) S), pirita (FeS_2) e calcopirita (CuFeS_2) podem reduzir a eficiência da recuperação de ouro na amalgamação ao dispersarem o mercúrio formando gotículas (reduz a coalescência do mercúrio).

Interferência de minerais hidratados: Baritas (BaSO_4), talco ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), esteatita e outros silicatos hidratados de magnésio e alumínio podem interromper o processo de amalgamação. Esses minerais formam uma camada superficial que impede o contato direto entre o mercúrio e as partículas de ouro.

Presença de lubrificantes e graxas: aderem ao mercúrio e tendem a agrupar sulfetos, talco, argilas e outros minerais finos. Essa cobertura de partículas finas sobre o mercúrio reduz sua capacidade de formar amálgama com o ouro. A presença de óleos e graxas provoca a flotação do ouro que é hidrofóbico, e assim, reduzem a eficiência da amalgamação.

Presença de outros metais: O alumínio (Al), cobre (Cu) metálico de detonadores ou cabos elétricos, chumbo (Pb) metálico, zinco (Zn) de bateias podem levar a formação de amálgamas com esses metais. Os amálgamas desses metais se dispersam como partículas muito finas em condições oxidantes, contaminando os rejeitos e reduzindo a disponibilidade de mercúrio para a formação da amálgama.

Para que a amalgamação seja eficiente, é necessário que as partículas de ouro estejam liberadas da ganga, o que ocorre por meio da moagem do minério (VEIGA et al., 1991; BRAGA; ARAÚJO, 2007). No entanto, essa técnica apresenta baixa eficiência na recuperação de partículas de ouro menores que 200 mesh (0,074 mm) (WENGLAN; POLING, 1983). Estudos confirmam que partículas de ouro muito pequenas, abaixo de 0,07 mm, não são eficientemente capturadas pelo mercúrio nos processos convencionais de amalgamação.

Nesses casos, a cianetação mostra-se uma alternativa eficiente para grãos de ouro inferiores a 0,2 mm (HYLANDER et al., 2007). A cianetação é utilizada para a extração de ouro de uma ampla gama de minérios, incluindo aqueles refratários que contêm ouro finamente disseminado ou encapsulado em sulfetos (TORKAMAN; VEIGA, 2023). Dentre as desvantagens desse método está o alto risco ambiental, pois o cianeto é muito tóxico e pode causar graves impactos ambientais se não for manejado corretamente. Além disso, devido à toxicidade do cianeto, existem regulamentações rigorosas sobre seu uso e descarte, o que pode aumentar os custos operacionais e administrativos para garantir a conformidade.

A diferença de eficiência entre os métodos é ilustrada por um experimento de laboratório realizado com minério primário da mina La Maria, na região de Providência, Antioquia, na Colômbia. No teste de amalgamação, utilizando minério com granulometria inferior a 0.13 mm, a recuperação de ouro foi inferior a 19%. Em contraste, os testes realizados com cianetação deste mesmo minério, na mesma granulometria, obtiveram 84% de recuperação com 1 g/L de cianeto de sódio (NaCN) e 92% com 2 g/L de NaCN (TORKAMAN; VEIGA, 2023). Diferente da amalgamação, a cianetação tem a capacidade de extrair ouro que não está completamente liberado da ganga, desde que esteja exposto ao reagente químico.

Para reduzir a perda de eficiência e reduzir o esfarinhamento do mercúrio, fenômeno em que o mercúrio se fragmenta em partículas finas que se dispersam e se perdem no processo, alguns mineradores da MAPE de ouro em diferentes partes do mundo adicionam reagentes durante o processo de moagem com mercúrio ou de amalgamação de concentrados. Esses aditivos têm como objetivo aumentar a coalescência (capacidade de aglomeração em gotas). Entre os aditivos mais comumente utilizados, destacam-se:

- **Cítricos:** suco de limão, suco de laranja (Colômbia)
- **Substâncias orgânicas:** urina (Chile)
- **Compostos alcalinos:** cal virgem, bicarbonato (Colômbia)
- **Detergentes:** Indonésia, Peru, Brasil
- **Uso doméstico:** açúcar mascavo, Coca-Cola, pasta de dente (Equador)

A maior parte da perda de mercúrio durante a amalgamação ocorre nos rejeitos sólidos, que muitas vezes são descarregados diretamente no solo, água e nos sedimentos, com ou sem contenção (TELMER; VEIGA, 2009). Por exemplo, análises realizadas com 15 amostras de rejeitos de amalgamação em moinhos de distintas operações na Colômbia apontaram concentrações entre 70 e 150 ppm Hg, com uma média de 125 ppm de mercúrio nos rejeitos. Isso demonstra que, independentemente do efeito dos reagentes adicionados no processo de amalgamação, a dispersão de mercúrio no ambiente continua ser um grave problema ambiental (RODRIGUEZ et al., 2024).

Os rejeitos de amalgamação contêm resíduos de mercúrio e ouro. Esses rejeitos não podem ser descartados em rios ou cursos d'água, nem reutilizados no circuito de moagem ou lixiviados com cianeto (VELASQUEZ-LÓPEZ et al., 2011; MARSHALL et al., 2020; TORKAMAN; VEIGA, 2023). O mercúrio pode formar complexos de cianeto, que são mais poluentes para a biota aquática do que o próprio mercúrio metálico puro (DRACE; KIEFER; VEIGA, 2016; MARSHALL et al., 2020). Quando esses complexos são despejados em corpos d'água, eles podem se bioacumular na cadeia alimentar de peixes, e o consumo desses peixes contaminados por humanos pode causar intoxicação por mercúrio. É importante destacar que o tipo de minério extraído e processado determina o método mais adequado de amalgamação a ser utilizado conforme descrito a seguir:

8.3.1. AMALGAMAÇÃO DO MINÉRIO PRIMÁRIO DE OURO

Nesse processo, o minério primário, normalmente associado a veios de quartzo, é extraído por perfuração e desmonte com explosivos para liberar o material mineralizado. Nos minérios primários, os teores de ouro devem ser altos para justificarem os custos diretos de lavra e beneficiamento. Uma parte dos operadores da MAPE de ouro utiliza o processo de amalgamação de todo o minério lavrado por meio da adição de mercúrio nos moinhos de bolas ou de arraste, ou usando placas de cobre cobertas com mercúrio. Nesse processo, uma quantidade maior de mercúrio é liberada no solo ou na água em comparação à amalgamação exclusiva de concentrados, pois um volume mais elevado de material é submetido ao processo de amalgamação (TELMER; VEIGA, 2009; ESDAILE; CHALKER, 2018).

Em geral, os processos de amalgamação de minérios primários recuperam menos de 30% do ouro contido no minério. Nos métodos de concentração rudimentares, uma parte do ouro fino é perdida devido a ineficiência do processo, pelo fato de que o ouro não se apresenta liberado e permanece associado às partículas grosseiras de silicatos. Além disso, a amalgamação é ineficiente para minérios com ouro não liberado, pois somente o ouro livre é extraído (VEIGA, GUNSON, 2020, VELÁSQUEZ-LÓPEZ; VEIGA; HALL, 2010; YOSHIMURA; SUEMASU; VEIGA, 2021).

A amalgamação de todo minério em moinhos de bolas é comum em países da Bolívia, Colômbia, Chile, Equador, Indonésia Peru (Figura 16). Práticas de amalgamação de todo o minério são observadas na República Democrática do Congo, Gana, Madagascar, Uganda, China e Zimbábue (KEANE et al., 2023). Por exemplo, na América Central, os minérios primários podem apresentar teores de 200 ppm Au (g/t). Nesses casos, a amalgamação é realizada em “rastras”, que são moinhos de arraste (Figura 17) com adição de mercúrio (VEIGA et al., 2014).

As rastras são circuitos de moagem nos quais quatro rochas são arrastadas em movimentos circulares por um motor elétrico, sobre um fundo composto por rochas. Comumente, uma placa de cobre revestida com mercúrio é posicionada na descarga (saída) da rastra, para capturar partículas de ouro que possam escapar do meio de moagem. A eficiência de recuperação de ouro nesse processo é inferior a 20% (VEIGA et al., 2014). As perdas de mercúrio durante esses processos são atribuídas à oxidação e à desintegração do mercúrio dentro dos moinhos, formando pequenas gotículas dispersas, conhecidas como “esfarinhamento” que se perdem nos rejeitos (VEIGA, 1997). Esse tipo de equipamento não é utilizado no Brasil.

No contexto brasileiro, os teores de ouro nos minérios primários de garimpo, variam entre 5 e 10 Au/ppm (parte por milhão), sendo valores relativamente baixos em comparação com outros países sul-americanos. Um dos processos mais comuns de amalgamação de todo o minério da MAPE de ouro no Brasil envolve o uso placas de cobre revestidas com mercúrio, conhecidas nos garimpos como placas “azogadas”. Nesse processo, o minério é britado, moído em moinhos de martelos, direcionado para as placas de mercúrio, onde o ouro é extraído na forma de amálgama.



Figura 16. Amalgamação de todo minério em moinhos de bolas na Colômbia



Fonte: Torkaman e Veiga (2023).

Figura 17. Moinhos de arraste na Costa Rica, Honduras e Nicarágua.



Fotos: Veiga et al. (2014).

8.3.2. AMALGAMAÇÃO DO MINÉRIO SECUNDÁRIO DE OURO

Os minérios secundários são classificados em três tipos: eluvionares, coluvionares e aluvionares. Nos minérios eluvionares e coluvionares, os grãos de ouro podem não estar totalmente liberados, e normalmente podem estar oclusos em partículas maiores de quartzo. Para esses tipos de minério, é recomendada uma etapa de moagem; no entanto, a moagem é uma operação pouco difundida na MAPE de ouro entre os operadores de minérios secundários. Isso se deve ao fato de esses minérios possuírem baixos teores (<1 ppm ou g/t), tornando a moagem um dos processos mais caros no beneficiamento mineral. Nos minérios aluvionares, os teores são mais baixos do que nos coluvionares, mas os grãos de ouro já estão liberados devido ao atrito natural entre as partículas.

Nos minérios secundários, a amalgamação de todo o minério não é muito comum, devido aos baixos teores. Ainda assim, mineradores utilizam placas amalgamadoras em minérios eluvionares e coluvionares. Geralmente, os minérios são concentrados e a amalgamação ocorre somente nos concentrados. Quando apenas os concentrados são amalgamados, seja em minérios primários ou secundários, as perdas de mercúrio são reduzidas, já que apenas uma pequena massa de material concentrado tem contato com o mercúrio.

O processo mais utilizado para o beneficiamento de minérios secundários é a concentração gravítica via calhas concentradoras (em inglês *sluice boxes* ou popularmente conhecida no Brasil como “cobra fumando”). As calhas concentradoras têm sido utilizadas na recuperação de minerais pesados há mais de mil anos, sendo ainda empregadas na MAPE de ouro na América do Sul, África e Ásia-Pacífico. Seu uso permanece popular devido à simplicidade de construção, baixo custo, fácil operação e possibilidade de fabricação local.

8.4. FORMAS DE QUEIMA DO AMÁLGAMA PARA RECUPERAÇÃO DO OURO

A separação do mercúrio do ouro é realizada pela decomposição térmica do amálgama (pirólise). Esse procedimento consiste em aquecer a mistura ouro-mercúrio a temperaturas superiores a 400°C , provocando a volatilização do mercúrio e a obtenção do ouro doré. É possível separar o mercúrio por lixiviação com ácido nítrico (30% v/v).

A decomposição térmica do amálgama pode ser realizada por três métodos distintos:

- (i) queima ao ar livre com o auxílio de maçaricos, sem uso de retortas ou condensadores de vapores de mercúrio;
- (ii) queima em retortas para condensação do mercúrio; e
- (iii) queima em capelas com exaustão, com ou sem tanques de água conectados para condensação dos vapores de mercúrio.

A queima ao ar livre ainda é amplamente praticada em diversas regiões do mundo, incluindo o Brasil, países africanos e parte da Ásia (CHEN et al., 2023). Os amálgamas são queimados a céu aberto em painéis abertos ou com uma pá, utilizando uma tocha de gás ou mesmo uma fogueira. Essa prática é considerada uma das piores práticas de manuseio de mercúrio pela Convenção de Minamata.

A utilização de retortas representa uma alternativa simples e eficaz para prevenção da inalação de vapores de mercúrio e para a minimizar os impactos ambientais e os riscos à saúde dos trabalhadores e das comunidades próximas (CHEN et al., 2023). Trata-se de um dispositivo composto por um cadinho de aço blindado e conectado a um condensador, que captura todos os vapores de mercúrio gerados durante o aquecimento do amálgama, transformando-os novamente em mercúrio líquido para reutilização (UNEP, 2012). O uso de retortas oferece pelo menos três benefícios (Figura 18; Figura 19).

Figura 18. Benefícios do uso de retortas

Benefício 1	Benefício 2	Benefício 3
Reduz a quantidade de mercúrio liberada no ambiente.	Limita a exposição dos trabalhadores aos vapores tóxicos de mercúrio.	Permite a recuperação do mercúrio, que pode ser reativado e reutilizado.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Em casas de compra de ouro e, em menor escala, em garimpos, é comum o uso de capelas com sistemas de exaustão com ou sem tanques de água conectados para condensação dos vapores de mercúrio, de modo a resguardar o operador e os clientes dos perigos de contaminação por meio da inalação de vapores, gases e partículas do manuseio de substâncias tóxicas e corrosivas.

Estudos demonstram que as retortas podem reduzir as emissões de mercúrio em mais de 90% e as configurações de retortas mais avançadas podem atingir eficiências de 99% na captura de mercúrio (HILSON, 2006; AMANKWAH; OFORI-SARPONG, 2014; KIEFER et al., 2015). Na prática, as retortas podem não capturar todo o mercúrio liberado do amálgama devido a falhas no equipamento, operação inadequada ou à formação de pequenas quantidades de mercúrio residual. O uso incorreto, como abrir a retorta antes do resfriamento completo, pode resultar na liberação de vapores tóxicos, expondo tanto os operadores quanto as pessoas próximas a riscos à saúde.

A eficiência do processo de decomposição térmica do amálgama depende diretamente da qualidade da retorta utilizada. Retortas com um sistema de vedação eficiente, boa refrigeração e um queimador intenso são mais eficazes na captura dos vapores de mercúrio. Retortas não devem ser construídas em alumínio ou outro metal que não seja o aço, pois o mercúrio forma amálgamas com todos os metais exceto o ferro e platina. Esta última, no entanto, pode ser amalgamada quando o mercúrio é eletroliticamente ativado com uma solução de cloreto de potássio (VEIGA, GUNSON, 2020).

Um exemplo de retorta eficaz é a “RETORCET”, desenvolvida no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), que apresentou 97% de eficácia em testes de laboratório e em campo (BRAGA; ARAÚJO, 2007). O kit completo para uso em campo é composto pelos seguintes itens: retorta, maleta de madeira, bico queimador, frasco coletor, suporte, braçadeiras, mangueira e válvula. Para evitar a exposição e a contaminação por mercúrio durante o manuseio da retorta, o CETEM estabelece um conjunto de boas práticas descritas no livro Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais (SAMPAIO; FRANÇA; BRAGA, 2007).



Figura 19. Modelos de retortas utilizados na MAPE de ouro



Ordem da leitura das imagens: da esquerda para direita e de cima para baixo: (1) UNEP (2009); (2) Chen et al. (2023); (3) Veiga (2005); (4) Jønsson, Charles, Kalvig (2013); (5) Veiga (2005); (6) Arquivo pessoal Carlos Henrique Xavier Araujo.

No Senegal, Chen et al. (2023) desenvolveram uma retorta prática e de fácil construção. Para promover a adoção desse equipamento, foram distribuídos cartazes educativos e retortas nas comunidades e nos postos de compra de ouro. O estudo revelou que muitos entrevistados desconheciam as retortas, seja por nunca terem ouvido falar delas ou por possuírem apenas uma compreensão superficial sobre seu funcionamento. No entanto, a intervenção no Senegal conseguiu disseminar o conhecimento sobre os riscos do mercúrio e os benefícios das retortas, incluindo material gráfico no idioma local e treinamentos conduzidos por líderes comunitários.

Existem diferentes modelos de retortas disponíveis para condensação dos vapores de mercúrio e para a proteção dos operadores. Por exemplo, tigelas comuns, baldes de ferro, retortas de aço inoxidável ou de ferro e retortas de vidro, com preços que variam de alguns dólares até várias centenas (CHEN et al., 2023). Um experimento realizado nos laboratórios da University of British Columbia (UBC) avaliou a eficácia de retortas de tigela para queima de 5 gramas de amálgama por 15 minutos. Os resultados mostraram que, quando a retorta é selada com areia seca, a concentração de mercúrio no ar de 50.000 ng/m³. Ao utilizar areia molhada, a emissão de mercúrio foi reduzida, com uma concentração no ar foi de 5.000 ng/m³. As medições foram feitas com o LUMEX RA-915M a 10 cm da areia, com concentrações ainda menores registradas a 1 metro de distância. Para comparação, os níveis normais de mercúrio no ar variam entre 2 e 4 ng/m³, e em áreas urbanas a concentração de mercúrio na atmosfera é da ordem de 10 ng/m³ (VEIGA; BAKER, 2004). A *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) recomenda um limite máximo de exposição ao mercúrio na forma de vapor de 25.000 ng/m³ para trabalhadores durante 8 horas diárias.

Embora as retortas de tigela e outras soluções caseiras não sejam perfeitas, elas evitam que os operadores sejam diretamente expostos a concentrações de mercúrio que podem alcançar milhões de ng/m³ durante a queima ao ar livre. Retortas feitas com canos de aço foram introduzidas em várias operações artesanais na década de 1990 (VEIGA; MEECH; HYPOLITO, 1995). Esses dispositivos, desenvolvidos pelo professor Raphael Hypollito da Universidade de São Paulo, utilizam canos e conexões de aço-carbono não galvanizados (HINTON; VEIGA; VEIGA, 2003).

8.5. PRODUTO DA DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DO AMÁLGAMA

O produto resultante da decomposição térmica do amálgama, seja por retorta ou por queima ao ar livre é chamado de *ouro doré*, que é o ouro não refinado. Se a temperatura de aquecimento for baixa, como no caso da queima em fogueiras, ou se o tempo de aquecimento for curto, o doré pode conter até 20% de mercúrio. Mesmo quando a queima do amálgama é bem executada, o *doré* ainda pode conter entre 2 e 5% de mercúrio, que evapora durante a fusão do ouro nos postos de compra de ouro. Quando esse procedimento é realizado em ambiente não controlado ou sem o uso de capelas, pode causar contaminação dos operadores e do meio ambiente (VEIGA; BAKER, 2004; MOODY et al., 2020). Contudo, o uso de retortas, embora essencial, não é suficiente para controlar completamente a poluição por mercúrio. Temer e Veiga (2008) destacam que os impactos ambientais são agravados pelo descarte inadequado do mercúrio oxidado e pela má gestão dos rejeitos contaminados com mercúrio, que muitas vezes são despejados em corpos d'água.

O mercúrio condensado por retortas pode ser reutilizado para amalgamar o concentrado, mas a sua eficiência pode ser reduzida à medida que o mercúrio se oxida e se contamina com impurezas. O processo desenvolvido pelo Dr. Freddy Pantoja de ativar o mercúrio com um sal (NaCl ou KCl) formando um amálgama de sódio ou potássio, mostrou-se um método mais eficaz de capturar ouro livre e perder menos mercúrio para os rejeitos (PANTOJA; ALVAREZ, 2000). Neste processo, os íons de sódio são atraídos para o cátodo (polo negativo) formando um amálgama de sódio ou de potássio que possui melhores propriedades de amalgamar ouro do que o mercúrio puro e tem maior coalescência. O sódio ou potássio retido pelo mercúrio reage lentamente com a água e formando NaOH ou KOH solúvel.

No entanto, o mercúrio ativado (amálgama de sódio) não dura muito tempo, provavelmente menos de 2 horas. Assim, a ativação deve ser feita imediatamente antes da amalgamação. Os íons cloreto são atraídos para o ânodo e formam hipoclorito. A platina, que não é amalgamada com mercúrio puro, é amalgamada com o amálgama de potássio quando KCl é usado neste processo de ativação.

9. ANÁLISE DAS INTERVENÇÕES PARA SUBSTITUIÇÃO DO MERCÚRIO

A persistência do uso do mercúrio na MAPE de ouro pode ser explicada por uma série de fatores inter-relacionados (Figura 20). Ao longo de décadas de uso contínuo, a técnica de amalgamação consolidou-se como uma prática percebida como simples, de fácil aplicação, acessível e relativamente eficiente. O mercúrio possibilita que os operadores trabalhem de forma independente, sem a necessidade de infraestrutura complexa ou investimentos em equipamentos tecnológicos.

Essa combinação de fatores torna inviável propor uma única abordagem eficaz para reduzir, e se possível, eliminar o uso de mercúrio. As intervenções requerem estratégias adaptadas às condições locais, considerando não apenas os aspectos técnicos e econômicos, mas as dinâmicas sociais que sustentam o modelo atual de produção (HINTON; VEIGA; VEIGA, 2003; HILSON; HILSON; PARDIE, 2007; VEIGA; FADINA, 2020; CLIFFORD, 2022; PRESCOTT et al., 2022; CHENG et al., 2023; KEANE et al., 2023; KOHIO et al., 2024).

Figura 20. Fatores associados ao uso de mercúrio na amalgamação do ouro



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Nos anos 2000, a redução do uso de mercúrio tornou-se uma prioridade global, marcada pela implementação de diversos projetos, como o *“Removal of Barriers to the Introduction of Cleaner Artisanal Gold Mining and Extraction Technologies”* ou o *Global Mercury Project* e a Convenção de Minamata, que buscou mitigar os impactos relacionados ao mercúrio. Essa ênfase na redução do mercúrio destacou a necessidade de abordar outros desafios associados ao setor.

Historicamente, os esforços globais concentram-se em dois aspectos: a formalização e o desenvolvimento de novas alternativas tecnológicas que substituíssem o mercúrio, e que ao mesmo tempo, promovessem a conscientização sobre os riscos associados ao seu uso. No entanto, avaliações do *Global Environment Facility (GEF)* concluíram que a sustentabilidade dessas intervenções no setor da MAPE de ouro somente será alcançada se o enfoque for ampliado para além da eliminação do mercúrio, incorporando outros fatores essenciais para a transformação estrutural do setor. Entre essas prioridades, estão o acesso a financiamentos e a implementação de programas de capacitação (GEF, 2020).

A crescente pressão por práticas mais sustentáveis e tecnologias limpas tem fomentado avanços em pesquisas, publicações, eventos e projetos (PRESCOTT et al., 2022). No entanto, críticas da literatura à abordagem atual, que foca na restrição do uso do mercúrio sem abordar suas causas estruturais, indicam que a responsabilidade pela redução do mercúrio não pode recair apenas sobre a MAPE. É necessário considerar as redes ilícitas, que facilitam o acesso ao mercúrio, envolvendo indivíduos, locais e organizações que facilitam o acesso ao mercúrio de forma ilegal.

Embora haja avanços importantes na pesquisa e na implementação de projetos em escala global, os resultados ainda são insuficientes para provocar mudanças estruturais consistentes nos comportamentos dos atores ligados à MAPE de ouro e na formulação de políticas governamentais que considerem as particularidades do setor (VEIGA; FADINA, 2020; PRESCOTT et al., 2022; KEANE et al., 2023). Ainda assim, tais iniciativas têm proporcionado lições sobre os diversos desafios, contribuindo para o aperfeiçoamento de futuras estratégias e políticas.

A seguir são apresentados três eixos centrais que ajudam a compreender as limitações e oportunidades para substituição do mercúrio na MAPE de ouro.

9.1. DESAFIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS

Estudos e projetos de financiamento por organizações internacionais para redução do mercúrio apontam que a maioria dos operadores considera o uso de mercúrio inevitável e não prioriza as mensagens de saúde sobre os perigos do metal (QUISPE AQUINO et al., 2022; BUGMANN et al., 2023). Essa percepção está enraizada na falta de evidências visíveis e imediatas dos efeitos crônicos do mercúrio, que muitas vezes se manifestam a longo prazo e são menos perceptíveis no cotidiano de quem trabalha diariamente na extração e processamento do ouro. Dessa forma, enquanto a amalgamação do minério de ouro tem sido objeto de crescente preocupação da comunidade acadêmica e de órgãos reguladores, essa preocupação não é igualmente refletida entre os trabalhadores do setor, que tendem a considerar outras prioridades.

Soluções técnicas para substituição do mercúrio incluem o uso de retortas para queima do amálgama, centrais de processamento, métodos gravitacionais, cianetação, entre outros. No entanto, o processo de amalgamação com mercúrio é simples e acessível. Ainda que métodos mais eficientes de concentração de ouro possam aumentar a produtividade, a introdução destes nem sempre reduz significativamente a poluição por mercúrio. Isso ocorre porque o uso de cianeto de forma imprudente pode gerar rejeitos contaminados (VEIGA; GUNSON, 2020).

No âmbito dos trabalhadores, observa-se um baixo engajamento em propostas que se limitam a questões sociais, jurídicas e de saúde, incluindo a substituição do mercúrio. Veiga e Fadina (2020) afirmam que os garimpeiros não mudarão nenhum método se não virem vantagens econômicas. A resistência à adoção de práticas mais seguras na MAPE de ouro não se limita aos incentivos econômicos. Diversos estudos indicam que estratégias de implementação de tecnologias limpas falham por serem impostas de cima para baixo, com pouca ou nenhuma colaboração e diálogo com as comunidades e trabalhadores diretamente afetados pelo mercúrio (HILSON; HILSON; PARDIE, 2007; PERSAUD et al., 2017; STOCKLIN-WEINBERG et al., 2019; VEIGA; FADINA, 2020; ONDAYO et al., 2024; ARAUJO; ULLAH; DE TOMI, 2025).

Em determinadas situações, os processos de substituição do mercúrio são conduzidos por indivíduos com conhecimento limitado ou com pouco poder de influência sobre as dinâmicas socioeconômicas específicas do setor, comprometendo a eficácia dessas iniciativas. Enquanto algumas tecnologias permitem a produção direta de ouro, outras requerem integração com métodos complementares, aumentando os custos, complexidade operacional e a necessidade de capacitação técnica contínua. A literatura destaca que a adoção de novas tecnologias depende de insumos necessários, disponibilidade local, escalabilidade e adaptabilidade (KEANE et al., 2023).

Governos e instituições internacionais tentaram soluções para mitigar o uso do mercúrio por modelos de coexistência entre empresas industriais e a MAPE de ouro. Nesse modelo, os garimpeiros não precisam investir em equipamentos e nem processar minérios de ouro com técnicas rudimentares. Sob esse arranjo, o processamento do minério e a gestão dos rejeitos tornam-se uma responsabilidade compartilhada com as empresas industriais, eliminando a exposição dos trabalhadores e das comunidades aos riscos do mercúrio e do cianeto. Esses esforços, apesar de positivos ainda são limitados por questões de logística e pela resistência dos trabalhadores (VEIGA; FADINA, 2020; VEIGA; RESTREPO-BAENA; DE TOMI, 2022; ARAUJO; VEIGA; DE TOMI, 2020).

9.2. PROCESSAMENTO MINERAL E A HETEROGENEIDADE GEOLÓGICA

A abordagem de muitas iniciativas para substituição do uso de mercúrio na MAPE de ouro desconsidera a complexidade do processamento mineral e a heterogeneidade geológica e mineralógica. Métodos convencionais são muitas vezes utilizados como estratégias para convencer garimpeiros a investir em equipamentos que não necessariamente atendem às necessidades reais do setor. Além disso, parte-se do pressuposto equivocado de que uma única técnica pode ser aplicada de forma uniforme a todos os minérios auríferos, desconsiderando as diferenças regionais, geológicas e mineralógicas de cada região interessada na implementação de tecnologias alternativas ao uso do mercúrio (VEIGA; GUNSON; 2020).

A seleção de um equipamento de concentração para processamento mineral depende de várias variáveis (Tabela 3).

Tabela 3. Seleção de um equipamento para processamento mineral

Propriedades do minério	Fatores econômicos
Mineralogia do minério	Custo do equipamento;
Formato das partículas de ouro	Disponibilidade de peças de reposição
Densidade da polpa	Durabilidade do equipamento
Viscosidade da polpa	Impactos ambientais
Grãos das partículas de ouro	Localização da planta de processamento

Fonte: Veiga e Gunson (2020), Adaptado pelos Autores.

O estudo de Veiga e Gunson (2020) demonstra uma relação direta entre a capacidade de processamento das plantas de beneficiamento e os custos operacionais. Em plantas de pequeno porte, com capacidade de processamento de 2 toneladas de minério de ouro por dia, os custos operacionais, incluindo as etapas de cominuição (britagem e moagem), concentração gravítica, flotação, cianetação, fundição, gerenciamento de rejeitos e custos auxiliares, são estimados em US\$ 415 por tonelada de minério processado anualmente. Para uma planta de maior porte, com capacidade de 200 toneladas de minério por dia, o custo estimado reduz para US\$ 66 por tonelada processada ao ano. Essa redução de custos reforça o argumento de que plantas de maior porte são mais eficientes em termos de retorno sobre o investimento. Ainda assim, fatores como complexidade mineralógica, localização da planta e as exigências da legislação ambiental podem influenciar o custo total.

Quando esses custos são comparados com os métodos tradicionais de garimpagem, como o uso de bateias e amalgamação com mercúrio, as novas tecnologias apresentam vantagens a médio e longo prazo. Embora os métodos tradicionais sejam considerados acessíveis e de baixo custo inicial, operam sob um modelo de ganho rápido, característico do garimpo. Além disso, a literatura indica que o conceito de eficiência ou taxa de recuperação de ouro não é familiar aos garimpeiros. Muitos acreditam, sem evidências, que a taxa de recuperação de ouro supera os 90%, mesmo quando as operações, na prática, apresentam eficiências entre 30% e 50% (GONÇALVES et al., 2017).

9.3. AVALIAÇÃO DE PROJETOS PARA SUBSTITUIÇÃO DO MERCÚRIO

Nos últimos anos, diversos projetos têm contribuído para a introdução de equipamentos sem mercúrio na MAPE de ouro. Entre os destaques recentes, estão os projetos do programa PlanetGOLD, implementados nos países de Burkina Faso, Colômbia, Equador, Guiana, Indonésia, Quênia, Mongólia, Peru e Filipinas. Essas iniciativas introduziram, ou planejam introduzir, equipamentos de concentração gravítica como alternativa ao uso de mercúrio. Entre os equipamentos mais utilizados, destacam-se mesas vibratórias, concentradores centrífugos, calhas concentradoras e concentradores espirais. Para aumentar a eficiência do processo, o minério é previamente fragmentado por meio do uso de moinhos de bolas, britadores de mandíbulas ou peneiras vibratórias (Figura 21; Figura 22).

Um dos aspectos estratégicos adotados para implementação dessas iniciativas é a consulta aos representantes dos mineradores, de modo que as intervenções sejam aceitas e utilizadas na prática. Os projetos incluem planos de sustentabilidade e de transferência de propriedade dos equipamentos após a conclusão das ações, como forma de assegurar a continuidade dos benefícios a longo prazo (PLANETGOLD PROGRAMME, 2023). No entanto, desafios operacionais persistem. A principal preocupação dos operadores diz respeito à curta duração dos projetos e à falta de assistência contínua. O relatório do GEF (2020) cita que a satisfação dos operadores não esteve diretamente ligada à melhoria das condições de saúde pela eliminação do mercúrio, mas sim aos benefícios econômicos percebidos com a adoção das novas tecnologias.

Por exemplo, em Burkina Faso e Senegal, equipamentos de processamento sem mercúrio foram instalados em distritos da MAPE de ouro como parte de iniciativas para promover tecnologias mais limpas. No entanto, operadores locais relataram que parte desses equipamentos estavam inoperantes por diversos motivos, entre eles, a falta de disponibilidade de peças para reposição no mercado local e a ausência de capacitação para manutenção. Como resultado, os operadores voltaram ao uso do mercúrio, embora em quantidades inferiores às utilizadas antes da implementação das novas tecnologias (GEF, 2020).



Figura 21. Planta modelo e unidade móvel para treinamento na Colômbia.



Observação: à esquerda, planta modelo sem mercúrio com painéis solares; à direita, planta móvel usada em testes com ouro aluvionar em Caucasia, Colômbia. Custo estimado: US\$ 60.000.

Fonte: PlanetGOLD Programme (2023).

Figura 22. Planta modelo e unidade móvel para treinamento na Colômbia



Observação: à esquerda, planta móvel para aproveitamento de ouro primário; à direita, planta com processos de britagem do material e separação gravitacional do ouro em etapas sem utilização de mercúrio em testes com ouro primário em Caucasia, Colômbia. Custo: US\$ 120.000

Fonte: PlanetGOLD Programme (2023).

Segundo a literatura, diversos projetos de capacitação para a MAPE de ouro não têm focado na mudança do comportamento dos mineradores e, conseqüentemente, na reestruturação de suas operações e modelos de negócios para operar sem mercúrio. Tais programas deveriam incluir atividades para convencer os operadores a adotarem novos equipamentos. Por exemplo, Zolnikov e Ortiz (2018) e Stocklin-Weinberg et al. (2019) comentam que a cultura da MAPE de ouro é uma parte fundamental da mudança no processo de intervenção para a utilização de tecnologias limpas. Os impactos ambientais, de saúde e sociais causados por atividades inadequadas poderiam ser mitigados com mudanças eficazes de comportamento, viabilizadas por programas de formação culturalmente apropriados. Nessa perspectiva, Prescott et al. (2022) apontam o custo financeiro necessário para implementar programas de capacitação e treinamentos, criar incentivos adequados e realizar monitoramento contínuo para promover mudanças.

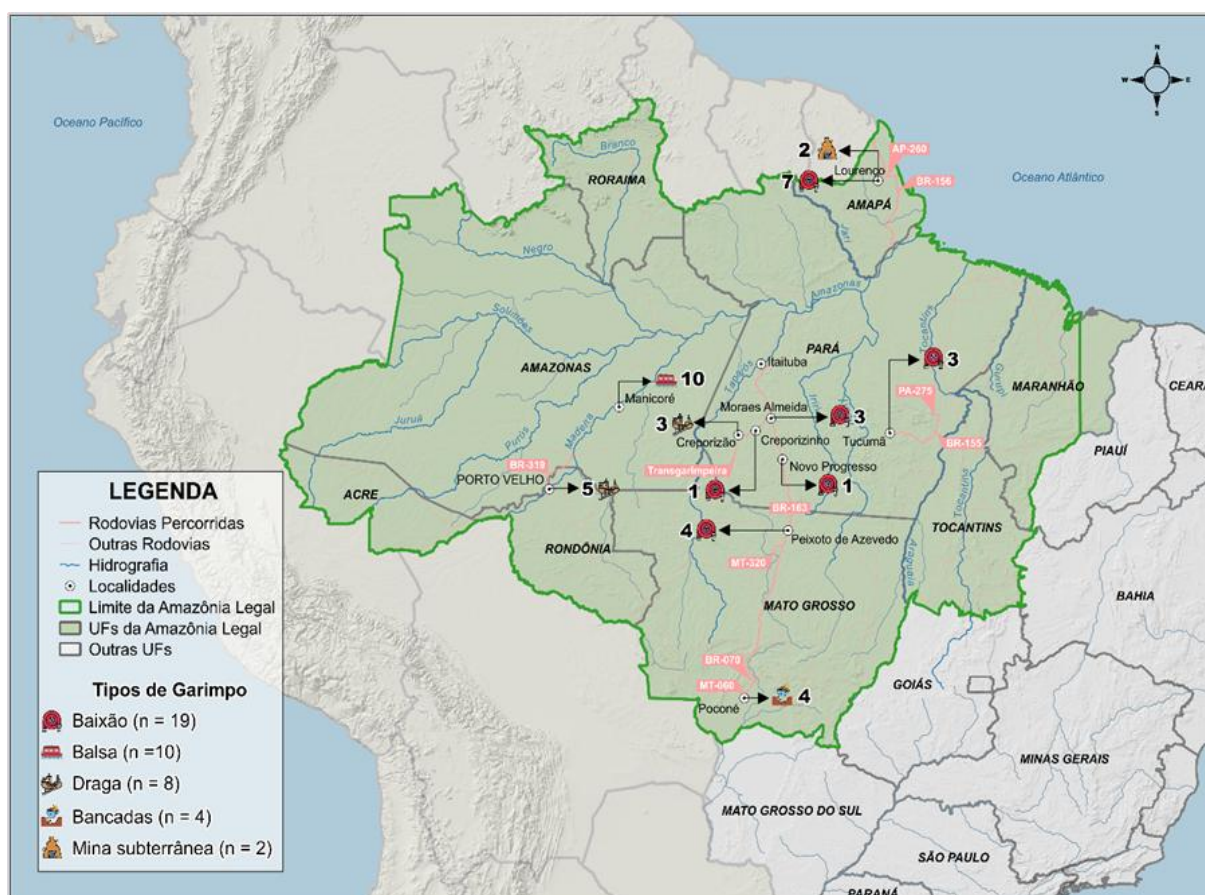
Um dos projetos globais para treinar e capacitar garimpeiros com o uso de tecnologias limpas foi o *Global Mercury Project*, realizado pelo GEF/PNUD/UNIDO entre 2002 e 2007. Este projeto capacitou quase 30.000 garimpeiros e suas comunidades em seis países (Brasil, Indonésia, Laos, Sudão, Tanzânia e Zimbabué) sobre os impactos do mercúrio na saúde e no ambiente, bem como sobre como melhorar a produção de ouro. A literatura aponta que a falta de continuidade desses esforços por parte dos governos locais comprometeu o sucesso dos resultados alcançados. Sem assistência técnica permanente, a tendência é que mineradores retornem às práticas rudimentares (JØNSSON, APPEL, CHIBUNDA, 2009; McDANIELS; CHOUINARD; VEIGA, 2010).

No Brasil, o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) nas décadas de 1980 e 1990 desenvolveu pesquisas para avaliar o estado da arte e propor soluções para a poluição por mercúrio na Amazônia. No entanto, esses projetos não tiveram continuidade a longo prazo. Esse histórico evidencia a importância de um sistema de treinamento contínuo, capaz de promover mudanças comportamentais duradouras. A síntese desses esforços globais mostra que, quando iniciativas não atingem o sucesso esperado, ocorre uma tendência de retornos a métodos tradicionais. Com isso, a consolidação de mudanças não depende apenas de inovações tecnológicas ou financeiras, mas da garantia de sua incorporação de forma sustentável pelas comunidades garimpeiras.

10. PANORAMA GERAL DAS OPERAÇÕES VISITADAS

Foram analisadas 43 frentes de lavra, denominadas “operações”, distribuídas entre os cinco estados-alvo do projeto na Amazônia Legal. Conforme ilustrado na Figura 23, o estado com o maior número de operações visitadas foi o Pará, com (11) operações, seguido pelo Amazonas (10). O Amapá teve (9), Mato Grosso (8), e Rondônia contou com (5) operações. As características das operações variaram desde pequenas balsas de madeira até operações de maior escala, com distintos níveis tecnológicos e de produção. Além das visitas, foram conduzidas 51 entrevistas com os responsáveis pelas frentes de lavra e 1.051 entrevistas com garimpeiros(as). Os resultados detalhados dessas análises serão apresentados nos capítulos subsequentes.

Figura 23. Visualização dos tipos de operações visitadas



Fonte: Elaborado pelo Geoprocessamento do Projeto.



11. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E PROCESSAMENTO DAS OPERAÇÕES VISITADAS DA MAPE DE OURO

No contexto do Projeto Ouro sem Mercúrio, as operações visitadas foram classificadas em cinco categorias, com base no tipo de lavra (a céu aberto, subaquática e subterrânea), no tipo de garimpo e no método de desmonte (Tabela 4).

Tabela 4. Distribuição das operações visitadas (n = 43)

Tipo de lavra	Tipo de garimpo	Tipo de desmonte	Nº de operações
Lavra a céu aberto	Cava em baixão	Hidráulico	19
Lavra subaquática	Balsas em leito de rio	Sucção	10
	Dragas em leito de rio	Sucção	8
Lavra a céu aberto	Cava em bancadas	Mecânico	4
Lavra subterrânea	Subterrâneo (filão)	Explosivos	2
Total			43

Fonte: Elaborado pelos Autores.

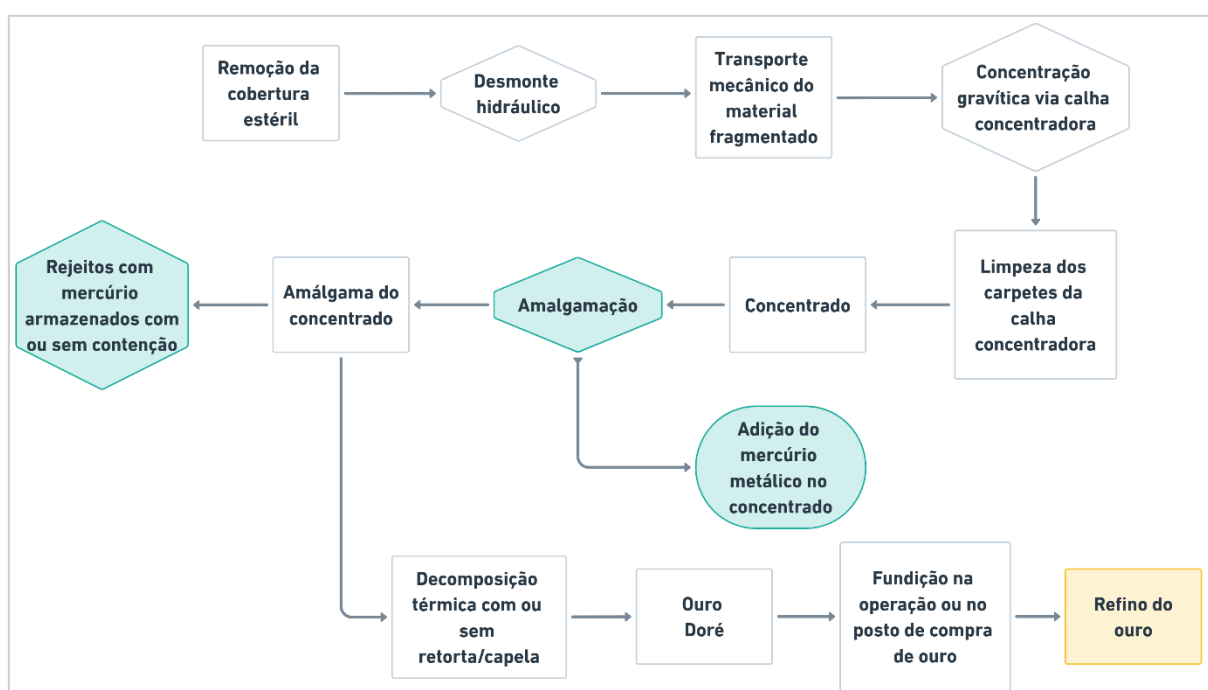
De forma geral, observou-se o uso de métodos empíricos e de baixo nível tecnológico, o que contribui para o subaproveitamento mineral e para a intensificação dos impactos ambientais, especialmente em decorrência da limitada adoção de práticas técnicas mais avançadas. Do ponto de vista legal, a maioria das operações visitadas atua sob o regime de PLG, conforme estabelecido na legislação brasileira. A exceção ocorre no Amapá, onde a cooperativa local detém concessão de lavra regularizada. Por esse motivo, foram realizadas visitas de campo em lavras subterrâneas.

A seguir, este capítulo apresenta a caracterização técnica das operações visitadas, conforme os cinco métodos identificados durante as campanhas de campo.

11.1. LAVRA DE BAIXÃO COM DESMONTÉ HIDRÁULICO

Durante as visitas de campo, foram observadas 19 operações com lavra de baixão, distribuídas entre os estados do Pará (8), Amapá (7) e no Mato Grosso (4). A Figura 24 apresenta o fluxograma típico do método de lavra com desmonte hidráulico adotado nessas operações. A lavra de baixão é um método de mineração a céu aberto para extração de minérios secundários, ou seja, minérios coluviais/eluviais, denominado de “baixão” ou “barranco” na região amazônica (Figura 25).

Figura 24. Método de lavra de baixão com desmonte hidráulico



Fonte: Elaborado pelos Autores.

O método de lavra de baixão consiste na desagregação do minério por meio do desmonte hidráulico e posteriormente, pelo bombeamento da polpa resultante para a etapa de concentração gravítica. As operações desse tipo empregam, em média, entre cinco e oito pessoas trabalhando, incluindo os operadores de máquina e uma cozinheira. Os operadores de máquina são contratados como prestadores de serviço por hora pelo dono da respectiva frente de trabalho. O trabalho de extração, inicia-se com a remoção da cobertura estéril da área para abrir a cava, com o auxílio de escavadeiras hidráulicas ou tratores de esteira. Em seguida, realiza-se o desmonte hidráulico com o uso de motobombas (denominadas localmente de chupadeira ou par de máquinas) de 4 a 8 polegadas, que operam com jatos de água de alta pressão.

As motobombas são acopladas a bicos-jato na extremidade para aumentar a pressão da água e fragmentar o material. As motobombas são montadas em flutuadores metálicos e fixadas em uma estrutura de madeira no formato retangular. A polpa gerada (água + sedimentos) é conduzida por mangueiras com sucção e direcionada por motobombas até a área de concentração. O direcionamento das mangueiras durante o desmonte é feito por um operador “maraqueiro”, que mantém a extremidade da mangueira “maraca” sobre os sedimentos. O desmonte na frente de lavra pode incluir um ou mais par de máquinas e formar taludes irregulares com alturas entre 5 e 20 m, podendo, em alguns casos, ultrapassar 40 ou até 60 metros.

A etapa de processamento consiste no direcionamento da polpa de minério para as calhas concentradoras. A polpa sofre uma segregação gravimétrica, na qual as partículas pesadas são transportadas para as partes inferiores do fluxo e as partículas leves se mantêm na parte superior do fluxo. Nesse processo, os carpetes acoplados na calha trabalham como um ‘filtro’ que dificulta o transporte do material pesado, esta fração, devido sua alta densidade, fica presa nos carpetes que, posteriormente, é removido. Após a remoção, realiza-se o bateamento dos sedimentos para concentração do ouro, seguida da etapa de amalgamação.

No processo de amalgamação, adiciona-se o mercúrio à polpa concentrada, para que o mercúrio se associe às partículas de ouro e outros metais contidos, formando o amálgama. Em seguida, o amálgama é aquecido para a remoção completa (ou parcial) do mercúrio, resultando no concentrado final de ouro. Esse processo pode ser feito com o uso de retortas ou sem retortas à céu aberto.

Embora a maioria das operações tenha sido classificada pelos grupos de lavra, foram observados garimpos manuais a céu aberto. A lavra manual consiste na abertura de cavas em barrancos ou extração em cavas já existentes, com o auxílio de pá, enxada e picareta. O material extraído é transportado para os locais de tratamento em sacos de até 50 kg ou com o uso de carrinhos de mão. No local de tratamento, o material é cominuído em moinhos de martelo para redução da granulometria. O material resultante, misturado a água ao sair do moinho, passa por placas amalgamadoras recoberta com o mercúrio. As placas são aquecidas com maçarico para recuperação do ouro, e o amálgama é aquecido com o uso de retortas ou sem retortas à céu aberto.



Figura 25. Operações de baixão visitadas pela equipe de campo

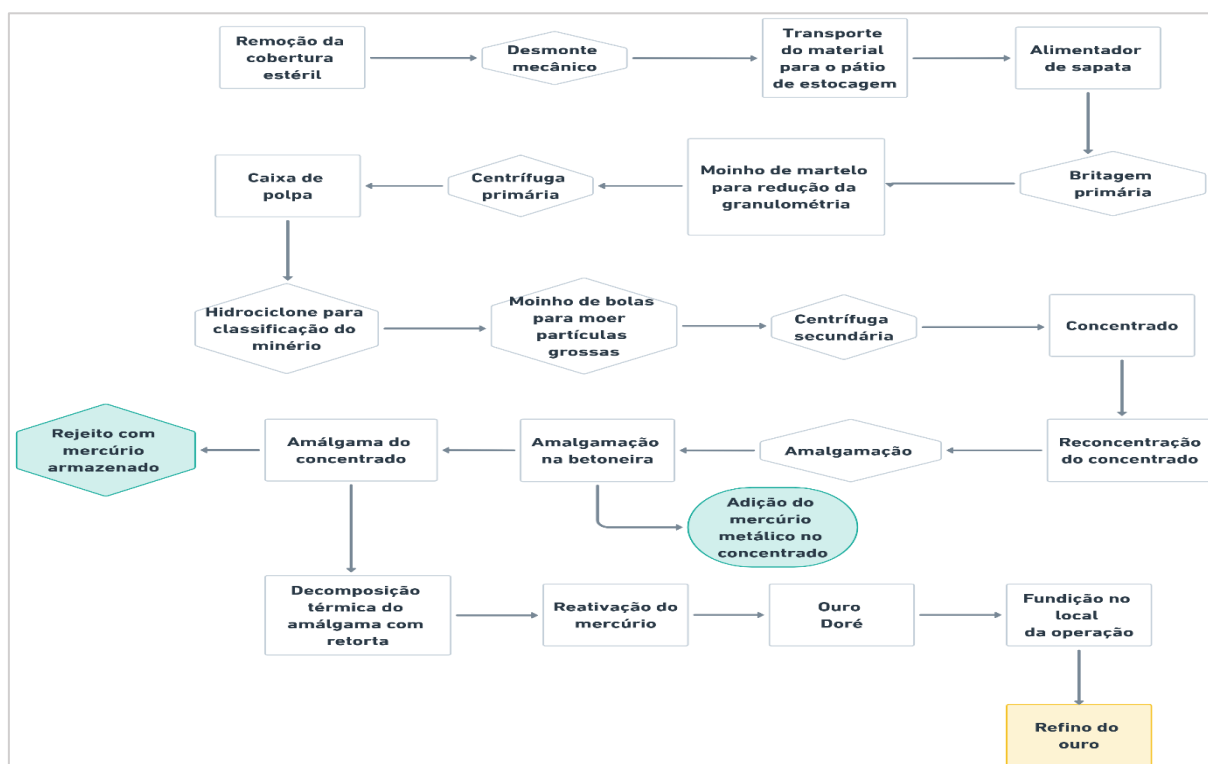


Fotos: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

11.2. LAVRA EM BANCADAS COM DESMONTE MECÂNICO

A lavra em bancadas é um método de mineração a céu aberto para extração de ouro em *placers* auríferos na Baixada Cuiabana. Durante o levantamento de campo, foram visitadas 4 operações desse tipo. Os depósitos são formados a partir da erosão e do transporte de material aurífero de rochas hospedeiras mais antigas para áreas de deposição mais recentes. A extração ocorre em rochas metamorfizadas, com litologias variadas, incluindo formações xistosas, quartzíticas e carbonáticas. A Figura 26 apresenta o fluxograma típico do método de lavra em bancadas com desmonte mecânico.

Figura 26. Método de lavra em bancadas com desmonte mecânico



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Nessas operações, a concentração mineral ocorre por etapas de britagem primária e secundária e a cominuição do material com uso de concentradores centrífugos. O desmonte da rocha é realizado de forma mecânica com o uso de escavadeiras. O material extraído é carregado em caminhões e transportado até o pátio de britagem primária (Figura 27).

Nessa etapa, a fragmentação do material ocorre em um britador de impacto. O minério processado na britagem primária é, então, transportado até o pátio de estocagem, formando uma pilha pulmão, que serve como reservatório intermediário que alimenta a planta de processamento. Na planta de processamento, o minério depositado alimenta um moinho de martelos para nova redução granulométrica. Diferentemente das operações de baixão em Peixoto de Azevedo, Mato Grosso e nas operações do sudoeste do Pará, que utilizam calhas concentradoras para recuperação do ouro, nessa região a concentração ocorre com o uso de concentradores centrífugos.

Esses equipamentos são compostos por um cone que combina força centrífuga e gravidade, aumentando a eficiência na recuperação de ouro. Durante essa etapa, as partículas mais finas são descartadas na parte superior do concentrador e o material mais denso é removido na parte inferior, conhecido como “despesca”. Após a concentração primária, as frações mais finas e menos densas que não foram completamente separadas da ganga são descartadas pelo concentrador centrífugo em uma caixa de polpa. Essa polpa é bombeada para os hidrociclones que funcionam como classificadores de minério por densidade. O processo de classificação resulta em dois produtos:

Underflow: contém o material menos denso e mais leve

Overflow: transporta o material denso e pesado, que alimenta o moinho de bolas.

O moinho de bolas é responsável por reduzir a granulometria da polpa, fazendo com que mais partículas de ouro estejam liberadas dos minerais ganga e, assim, aumentar a eficiência da recuperação do ouro. Posteriormente, são utilizadas centrífugas secundárias, que funcionam da mesma maneira que as centrífugas primárias. O concentrado é gerado pelas centrífugas e armazenado em caixas metálicas até ser descarregado em tachos. O concentrado ainda passará pelo processo de reconcentração. Após essa etapa, é feita a amalgamação.

A reconcentração do concentrado é uma prática adotada nas operações da Baixada Cuiabana, com o objetivo de reduzir a massa do concentrado sem diminuir o volume de ouro contido nele. Com isso, esse processo resulta em um aumento de teor de ouro (g/t).



Figura 27. Operações em lavra em bancadas

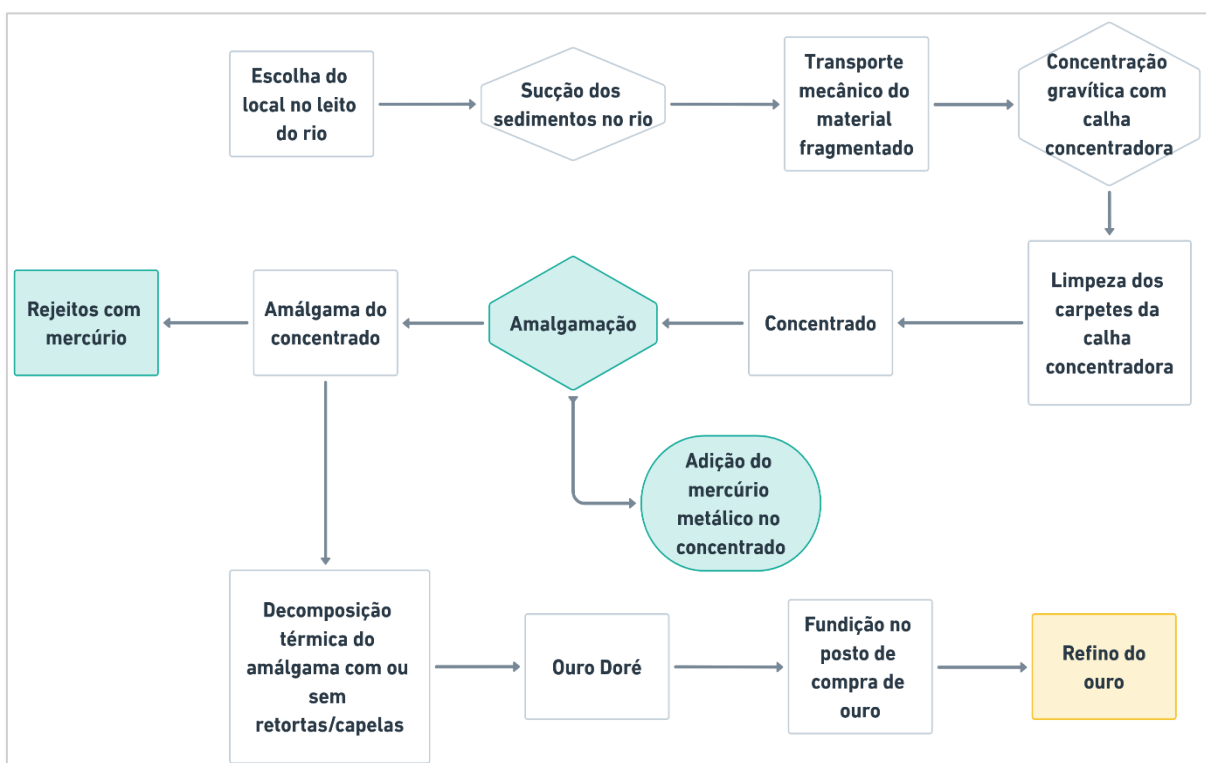


Fotos: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

11.3. LAVRA EM LEITO DE RIO POR BALSAS

A lavra subaquática em leito de rios por meio de balsas consiste em pequenas embarcações com estrutura de madeira, equipadas com sistema de bombeamento de sucção e recalque. Durante as visitas de campo, foram observadas 10 operações ao longo do Rio Madeira, no Amazonas. A Figura 28 ilustra o fluxograma desse método.

Figura 28. Fluxograma do método de lavra em leito de rio por balsa



Fonte: Elaborado pelos Autores.

As unidades visitadas eram balsas de pequeno porte, operadas por equipes de 2 a 3 operadores, geralmente, da mesma família. A extração é realizada por meio de bombas de sucção, popularmente conhecidas como chupão, que são submersas e fazem a sucção do sedimento do leito do rio. Ao contrário das dragas maiores, que utilizam o “abacaxi”, equipamento para desagregar o sedimento no fundo do rio, as balsas utilizam versões mais simples desse sistema, adaptadas para operar em menor escala e com menos custos financeiros. A Tabela 5 apresenta as principais características técnicas das balsas observadas

Tabela 5. Características técnicas das balsas

Balsas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tamanho (m):	8	8	8	8	8	32	7	7	66	12
Lança (m):	6	6	24	5	5	5	15	5	27	28
Lança (pol.)	5	5	5	5	5	5	4	3	8	8
Potência do motor (HP)	40	40	16	24	24	22	11	22	190	6
Material do flutuante	Madeira									
Material da estrutura	Madeira									
Lança	Oposto a caixa	Oposto a caixa	Oposto a caixa	Lado da caixa	Oposto a caixa	Oposto a caixa	Oposto a caixa	Oposto a caixa	Oposto a caixa	Oposto a caixa
Direção do lançamento de rejeito	A favor da corrente									
Caixa	1 lance	1 lance	1 lance	1 lance	1 lance	2 lances	1 lance	1 lance	2 lances	1 lance

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Os motores utilizados nas bombas são de pequeno porte, com potências variando entre 6 e 40 HP. Somente em uma das operações visitadas, a balsa que tinha uma estrutura maior, possuía motor de 190 HP. As balsas da região de Manicoré são diferentes das dragas de Creporizão (Pará), e Porto Velho (Rondônia), pois operam com menos recursos tecnológicos. Algumas operações visitadas utilizam sistemas manuais, como manivelas para puxar a água do rio, em vez de bombas motorizadas (Figura 29).

O investimento inicial para aquisição dessas balsas parte de R\$18.000, e algumas delas tendo cobertura de palha e equipamento de segunda mão. A principal vantagem desse típico de lavra é a mobilidade, que possibilita operações em diferentes áreas, especialmente em casos de que o depósito explorado apresenta distribuição extensa ao longo do rio. O ponto de sucção no fundo da água é atingido por tubulação, através da qual a polpa é transportada. O material coletado é lançado em uma pequena caixa concentradora retangular, com comprimento entre 4 e 7 metros, inclinada e forrada com carpete para reter o ouro. O concentrado dos carpetes é coletado em um tambor ao qual se adiciona o mercúrio.



Figura 29. Operações de balsas no Rio Madeira

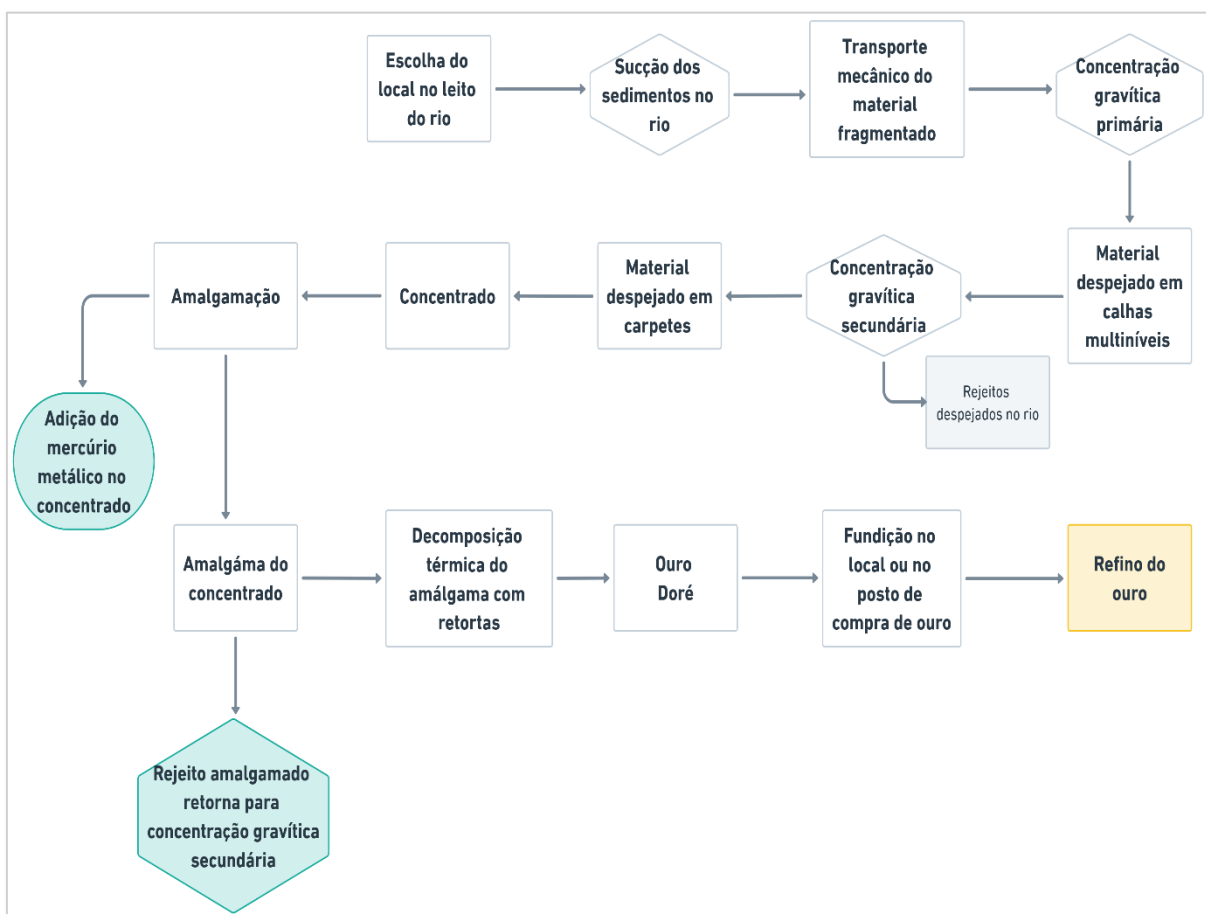


Fotos: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023)

11.4. LAVRA EM LEITO DE RIO POR DRAGAS

As dragas são embarcações com estrutura de metal mecanizadas, utilizadas para escavar o fundo do rio em profundidades de 15 a 20 metros. Nas visitas de campo foram visitadas 3 operações no Creporizão (Pará) e 5 operações em Porto Velho (Rondônia). A Figura 30 ilustra o fluxograma típico do método de lavra em leito de rio por balsas.

Figura 30. Fluxograma do método de lavra em leito de rio por draga



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Nas operações visitadas em Porto Velho (Rondônia), todas as unidades visitadas eram dragas de grande porte, com equipes de 5 a 7 operadores. A operação dessas dragas tem certa diferença das observadas no Creporizão (Pará) quanto a movimentação da lança. Enquanto as dragas no Pará varrem o leito do rio de um lado para o outro com a ponta escariante, as lanças das dragas de Rondônia têm menos mobilidade lateral, e seu uso característico se dá com a realização de furos verticais de até 5 metros ou mais no sedimento do rio.



A Tabela 6 sintetiza características técnicas das dragas.

Tabela 6. Características técnicas das dragas

Dragas	1	2	3	4	5	6	7	8
Tamanho (m):	26	19	26	35	27	29	18	30
Lança (m):	22	16	22	33	30	31	32	30
Lança (pol.)	18	18	20	16	16	14	14	13
Potência do motor (HP)	440	440	480	540	600	447	420	420
Material do flutuante	Aço carbono	Aço carbono	Aço carbono	Madeira	Aço carbono	Aço carbono	Aço carbono	Aço carbono
Material da estrutura	Aço carbono	Aço carbono	Aço carbono	Aço carbono	Aço carbono	Madeira	Madeira	Aço carbono
Posição da lança	Oposto a caixa							
Direção do lançamento de rejeito	A favor da corrente	A favor da corrente	Contra a corrente	A favor da corrente	A favor da corrente	A favor da corrente	A favor da corrente	A favor da corrente
Tipo de caixa	2 lances							

Fonte: Elaborado pelos Autores.

As dragas operam com bombas de sucção e tubulações de 6 a 12 polegadas (ou mais) de diâmetro dispostas na estrutura das dragas. A escavação do fundo do rio é feita pelo “abacaxi”, acoplado a um braço mecânico com comprimento variável entre 16 e 36 metros, conforme observado nas operações analisadas (Tabela 6; Figura 31). Esse dispositivo fragmenta rochas e sedimentos consolidados, permitindo que o material detrítico composto por água, cascalho, sedimentos e partículas finas de ouro seja sugado pelo braço mecânico.

O braço mecânico das dragas é controlado a bordo por um operador a bordo com o auxílio de cabos e guinchos, sem a necessidade de mergulhadores. O material bombeado passa por grades metálicas que funcionam como peneiras, retendo partículas grosseiras e outras impurezas. O material restante passa pelas tubulações e é lançado sobre múltiplas calhas, dispostas em níveis, revestidas com carpetes.

O excesso é rejeitado e despejado no rio sentido proa/popa. O material é bombeado por um cano de 14 a 16 polegadas e lançado sobre uma calha de vários níveis, revestidas com dezenas de carpetes. As calhas são ligeiramente inclinadas, e a ação da gravidade combinada à sedimentação faz com o que o ouro fino fique retido nas fibras dos carpetes. O material selecionado escoar sobre as caixas concentradoras cobertas com tapetes, quando se deverá obter um pré-concentrado do ouro fino retido, posteriormente processado com o uso de mercúrio a bordo.

No momento da despesca, o concentrado é retomado em uma calha secundária menor com água corrente, ficando completamente retido em seu interior. Na sequência, é passado por uma peneira e há a adição do mercúrio. Uma inovação observada em todas as dragas visitadas foi o uso de dispositivos mecânicos para amalgamação, em que uma haste conectada a um motor elétrico, com uma pequena pá na extremidade, promove a mistura. O processo de queima do amálgama foi realizado tanto em áreas descobertas das embarcações quanto em pequenas capelas improvisadas, nem sempre equipadas com exaustão adequada. Apesar da utilização de retortas em alguns casos, a ausência de sistemas de exaustão eficientes aumenta o risco de exposição ocupacional e ambiental.



Figura 31. Operações de balsas e dragas

Dragas



Dragas



Dragas

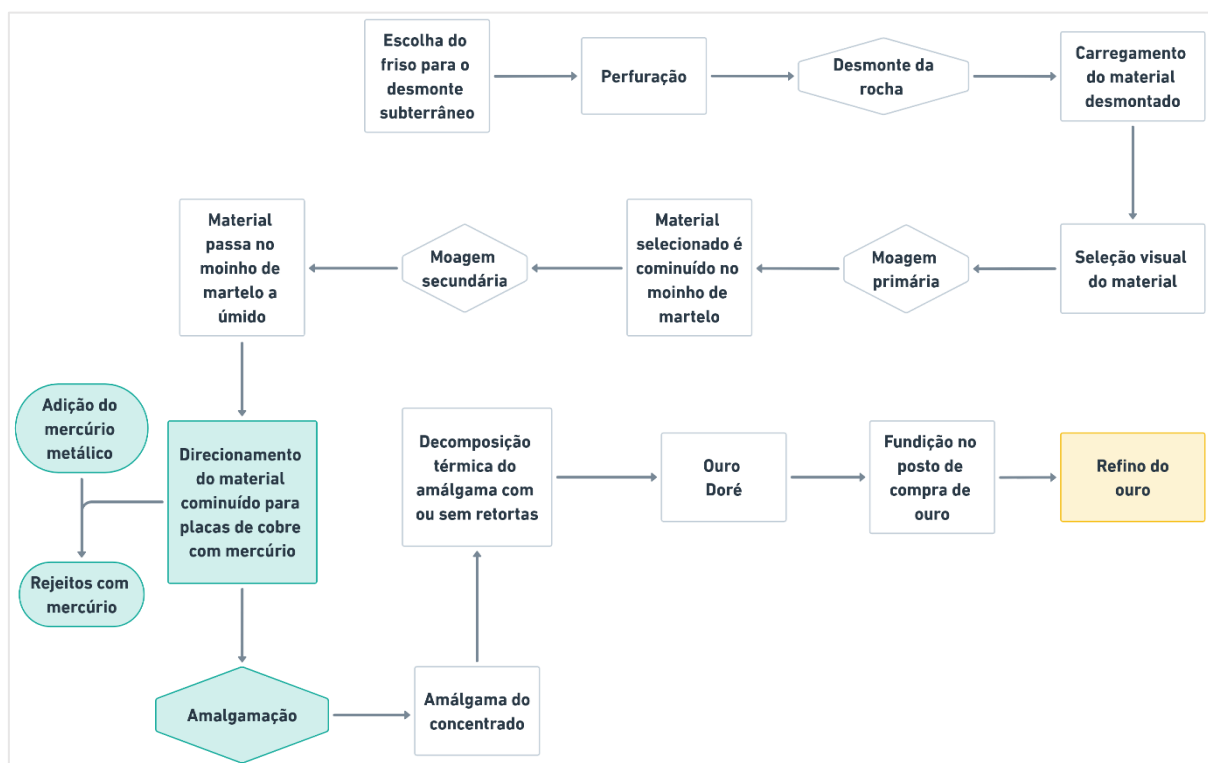


Fotos: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

11.5. LAVRA SUBTERRÂNEA COM EXPLOSIVOS

A lavra subterrânea ocorre em garimpos denominados “filão”, onde são abertas galerias com profundidades que variam entre 25 metros e 400 metros. Essas operações são desenvolvidas em depósitos auríferos primários com veios de quartzo encaixados em granitos gnáissicos e em tonalitos. A Figura 32 ilustra o fluxograma do método de lavra subterrâneo com explosivos

Figura 32. Método de lavra subternea com explosivos



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Durante o levantamento de campo, foram visitadas duas frentes de lavra no Amapá. Devido às características desses depósitos são utilizados explosivos para liberar o material mineralizado. A perfuração dos furos para inserção dos explosivos é feita com marteletes, e a escolha da frente a ser desmontada baseia-se na presença do “friso”, isto é, termo utilizado pelos operadores para descrever veios de quartzo mineralizados com ouro. Em alguns casos, são executados furos de sondagem, chamados de furos-teste. O material dessa perfuração é bateado para avaliar se tem presença de ouro e, assim, justificar ou não o avanço da frente.

Em outras situações, os furos são denotados, e o material é moído e bateado para confirmar a viabilidade. De todo modo, a escolha de cada uma dessas técnicas, depende da experiência e conhecimento do responsável da operação. Após definição da frente a ser desmontada, a equipe responsável pela perfuração inicia seus trabalhos. Não há um número padrão de furos a serem feitos; isto varia de acordo com o tamanho da frente e a fragmentação do desmonte. Após a detonação, o material fragmentado é transportado por guinchos a cabo. Os operadores acessam a lavra subterrânea descendo pelo poço em cadeiras ou gaiolas suspensas por cabos.

A seleção inicial do material a ser processado ocorre de forma visual, onde os operadores identificam com o olhar fragmentos rochosos com presença de ouro e descartam o restante como estéril. A concentração do minério inicia-se com sua redução granulométrica, que pode ocorrer em duas etapas: primeiro, o material passa por uma cominuição primária, e depois segue para a uma nova moagem em moinhos de martelo. Durante a alimentação dos moinhos, é injetado um fluxo de água para que a moagem seja realizada a úmido. Na saída de cada moinho, há outro 'bico' de água, aumentando o fluxo e direcionando o minério agora em polpa, através da calha riflada, similar as características de uma pequena calha concentradora.

No fundo da calha, são colocados vários rifles de madeira dispostos para criar pequenas turbulências no fluxo, aumentando a probabilidade de deposição das partículas pesadas, enquanto as mais leves passam para o rejeito. O material retido nos rifles, no carpete e nas placas de cobre que revestem as caixas de saída dos moinhos é recolhido e é preparado para amalgamação. Nessa fase, o ouro, devido a sua densidade maior, se liga ao mercúrio, formando o amálgama. Assim, as placas capturam o ouro durante o processo, caracterizando a técnica como amalgamação de todo o minério. O amálgama formado nas placas é retirado e levado para a amalgamação. O material resultante é concentrado na bateia, sendo possível recuperar nesta etapa parte do mercúrio adicionado. Após essa etapa, o amálgama é aquecido com ou sem retortas, utilizando-se um maçarico alimentado com gás liquefeito de petróleo (GLP).

12. ASPECTOS OPERACIONAIS DAS OPERAÇÕES VISITADAS

Neste capítulo, são apresentadas as observações sobre as condições operacionais dos 43 garimpos visitados. Os subitens são divididos nos aspectos de organização geral, alojamentos para os trabalhadores, instalações sanitárias, esgotamento sanitário, gestão de resíduos sólidos, disponibilidade de rádio, cobertura de telefonia celular. Síntese das análises realizadas:

- As operações visitadas são acessadas por diferentes tipos de vias, sendo 42% (18) por meio de curso d'água, 42% (18) estrada rural não asfaltada, 9% (4) rodovia asfaltada e estrada rural não asfaltada, 5% (2) estrada rural não asfaltada e Trilha/Picada, e 2% (1) Rodovia asfaltada.
- O óleo diesel é a principal fonte de energia para produção mineral, presente em 74% (32) das 43 operações visitadas.
- Diferentes fontes de captação de água são utilizadas para a produção mineral nas 43 operações visitadas: 44% (19) utilizam curso d'água superficial, 30% (13) Açude/represamento artificial, 21% (9) poço, 5% (2) combinação de curso d'água superficial e poço.
- Os tipos de equipamentos são classificados em quatro grupos: simples, mecanizados, pesados e industriais. Observa-se que as operações de baixão utilizam todos as categorias de equipamentos. Em dragas, os equipamentos variam de simples, mecanizados e industriais. Nas balsas é comum equipamentos simples e mecanizados. As operações em bancas apresentam o maior número de equipamentos pesados e na operação subterrânea, equipamentos simples e mecanizados.
- Em relação aos métodos para controle geológico, os 51 entrevistados apontaram diferentes métodos, sendo 29% (15) amostragem da polpa de alimentação, 25% (13) amostragem com escavadeira, 20% (10) sondagem, 20% (10) tentativa e erro e 6% (3) visual nos afloramentos.
- No que se refere à realização de análises químicas para verificar o grau de recuperação de ouro na produção, apenas 2% (9) dos 51 entrevistados responderam que sim e 88% (45) responderam que não.

12.1. VIAS DE ACESSO E MEIOS DE TRANSPORTE

As operações visitadas são acessadas por diferentes tipos de vias. Das 43 operações visitadas, 42% (18) são acessadas por meio de cursos d'água, 42% (18) estrada rural não asfaltada, 9% (4) rodovia asfaltada e estrada rural não asfaltada, 5% (2) estrada rural não asfaltada e Trilha/Picada, e 2% (1) Rodovia asfaltada. O deslocamento até essas operações envolve um ou mais tipos de vias (Figura 33). A Tabela 7 apresenta os tipos de transporte utilizados em cada localidade visitada.

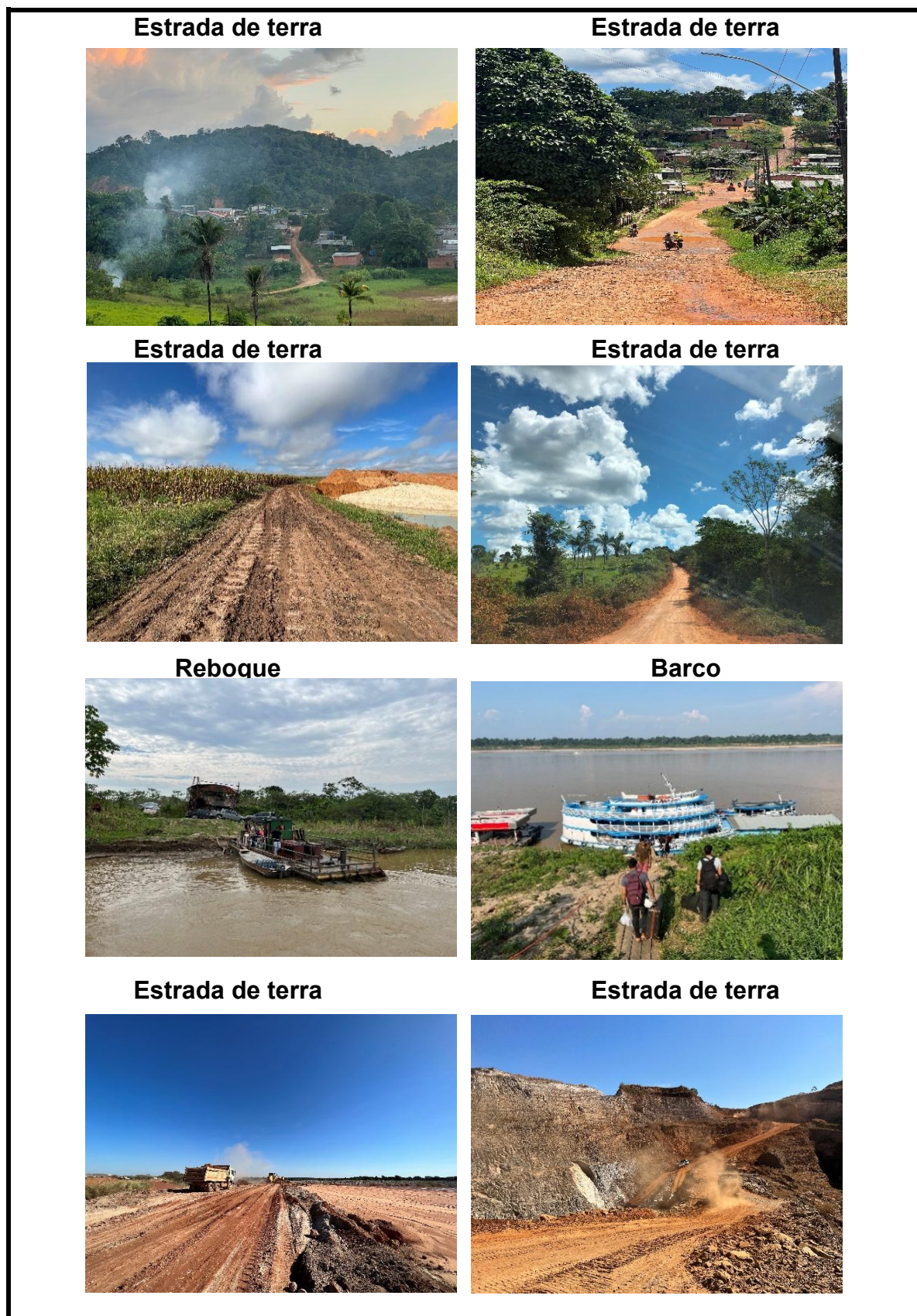
Tabela 7. Tipos de acesso e meios de transporte nas operações visitadas

Estado	Localidade	Tipo de acesso	Tipo de garimpo	Total de operações	Meios de transporte identificados
Amapá	Distrito de Lourenço	Estrada rural não asfaltada	Baixão	9	Caminhonete, motocicleta, avião monomotor/bimotor
Amazonas	Manicoré	Curso d'água	Balsas	10	Balsas, lancha, canoas, bajaranas, voadeiras,
	Crepurizão	Curso d'água	Dragas	3	Barcos, voadeiras, avião monomotor
	Crepurinho	Estrada rural não asfaltada	Baixão	1	Caminhonete, caminhão, motocicleta, avião monomotor/bimotor
Pará	Morais de Almeida	Estrada rural não asfaltada	Baixão	1	Carro, caminhonete, caminhão, motocicleta, avião monomotor/bimotor
		Estrada rural não asfaltada	Baixão	2	Carro, caminhonete, caminhão, motocicleta, avião monomotor/bimotor
	Novo Progresso	Rodovia asfaltada	Baixão	1	Carro, caminhonete, caminhão, motocicleta, avião monomotor/bimotor
	Tucumã	Estrada rural não asfaltada	Baixão	3	Carro, caminhonete, caminhão, motocicleta, avião monomotor/bimotor
Mato Grosso	Poconé	Rodovia asfaltada e Estrada rural não asfaltada	Bancadas	4	Carro, caminhonete, motocicleta, avião monomotor/bimotor
	Peixoto de Azevedo	Estrada rural não asfaltada	Baixão	4	Carro, caminhonete, motocicleta
Rondônia	Porto Velho	Curso d'água	Dragas	5	Dragas, lanchas, barco reboque
Total				43	

Fonte: Elaborado pelos Autores.



Figura 33. Exemplos de vias de acesso

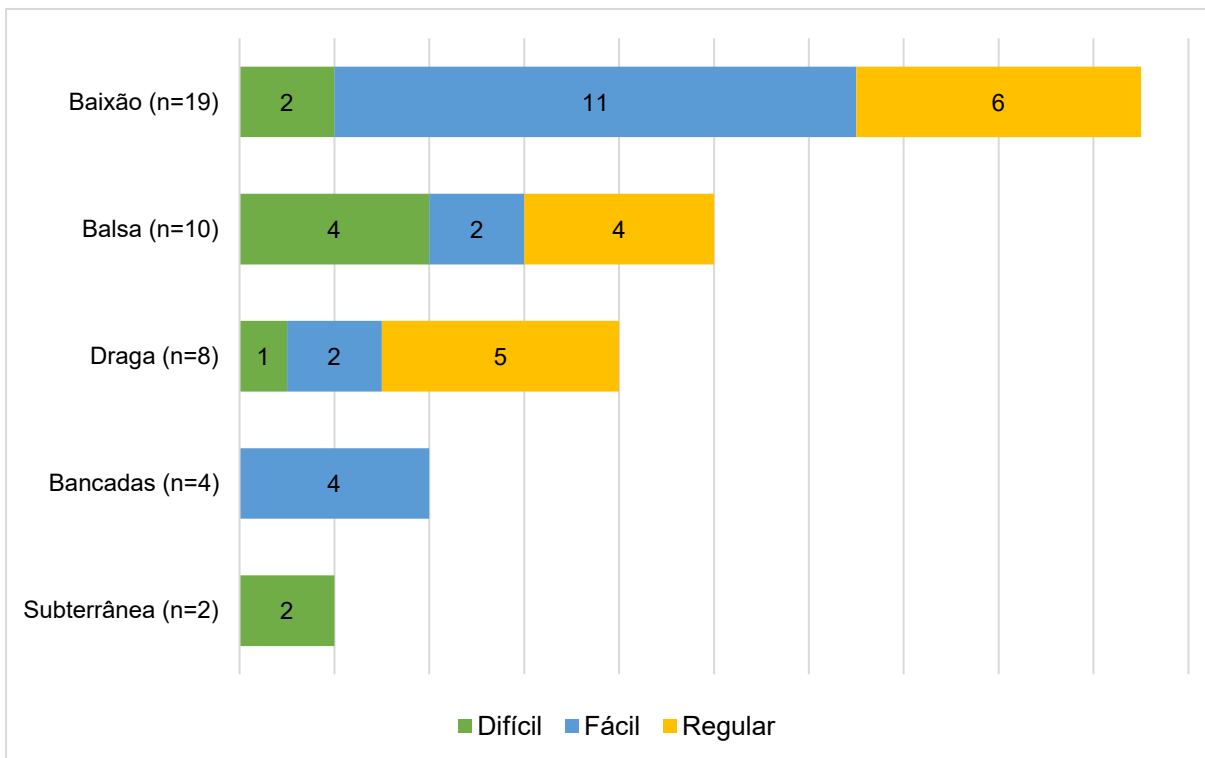


Fotos: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).



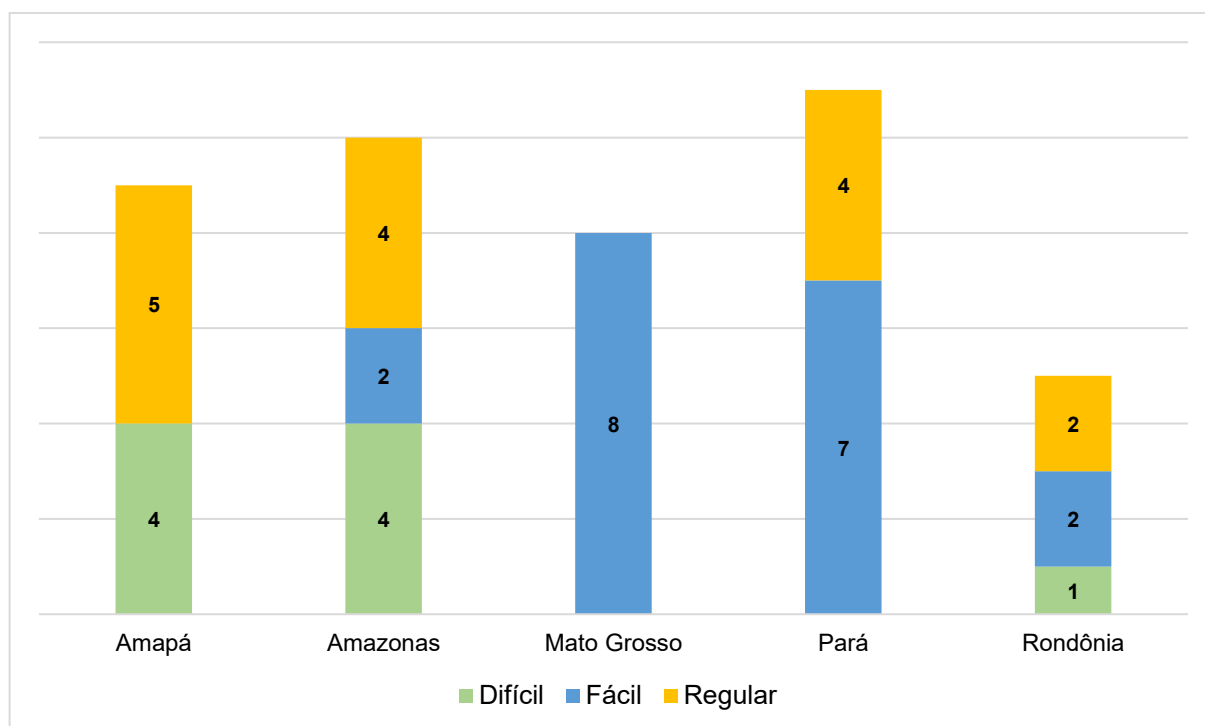
As Figura 34 e 35 ilustram as facilidades de acesso, que foram classificadas como, 44% (19) fáceis, 35% (15) regular e 21% (9) difíceis.

Figura 34. Acesso por grupo de operação visitada (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 35. Acesso por estado e total de operações visitadas (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

No Distrito de Lourenço, no Amapá, as vias de acesso à comunidade e aos garimpos dão-se predominantemente por estradas rurais não asfaltadas. A localidade possui uma única rua principal (Figura 36; Figura 37). O abastecimento dos comércios locais é feito por carros ou caminhões com mercadorias vindas de Macapá. A falta de manutenção das vias de acesso aumenta os custos de transporte e a manutenção dos veículos, além de impactar o preço dos alimentos, combustíveis e insumos para a comunidade local e para as atividades de extração.

As atividades de lavra e beneficiamento observadas no Distrito de Lourenço ocorrem em uma área regularizada de 1.952 hectares (equivalente a 19.520.000 m²) e concentram diversas frentes de lavra. Devido à extensão da área, os meios de transporte utilizados são diversificados. Em áreas de fácil e difícil acesso, é comum o uso de caminhonetes e motocicletas para o transporte de mantimentos e pessoas e de caminhões para o transporte de materiais para os garimpos. O Distrito conta com uma pista de pouso para aviões monomotores.

Quando os garimpeiros não possuem transporte próprio ou não se deslocam com outros garimpeiros, recorrem aos mototaxistas locais, que moram no Distrito e fazem o trajeto até os acessos às operações. O valor cobrado pelo serviço varia entre R\$ 15 e R\$ 50. Em algumas situações observadas, os alojamentos dos garimpeiros encontravam-se distantes das frentes de lavra. Nessas circunstâncias, o deslocamento entre as duas áreas é feito a pé ou por motocicleta.

No município de Manicoré, no Amazonas, as operações ocorrem por meio de balsas fluviais que operam no leito do Rio Madeira e em igarapés (Figura 38; Figura 39). O acesso ao município pode ser feito via transporte aéreo de Manaus ou fluvial. Nas operações realizadas nas balsas, os cursos d'água são o principal meio de acesso. As balsas estão localizadas a uma distância considerável do porto de Manicoré, e o acesso a elas pode levar entre 1 e 3 horas, dependendo das condições do rio. O percurso é feito em lanchas ou voadeiras com motores, que transportam garimpeiros (as) e suprimentos até as balsas. A equipe técnica observou que, dependendo do porte da balsa, a extração ocorre em um ponto específico do Rio Madeira e, ao final do trabalho, os operadores deslocam as balsas de volta ao porto de Manicoré.



Figura 36. Vila do Distrito de Lourenço na década de 80, Amapá

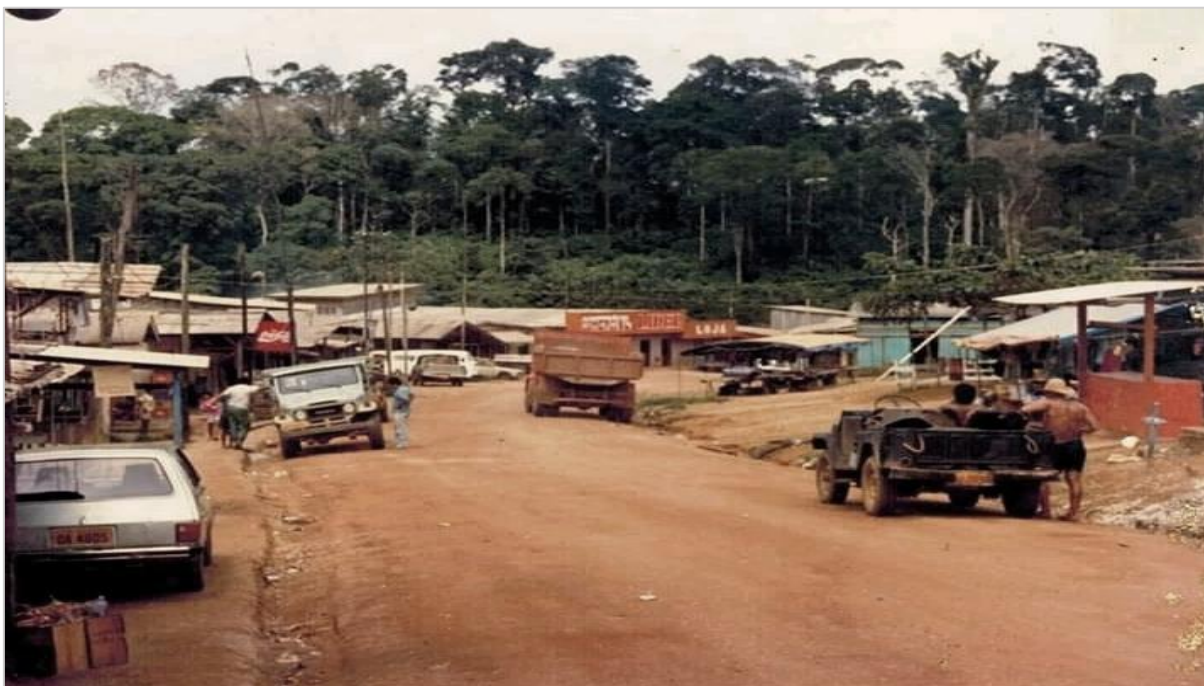


Foto: Morador da Vila do Distrito de Lourenço.

Figura 37. Vila do Distrito de Lourenço em 2023, Amapá



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).



Figura 38. Porto de entrada da cidade de Manicoré, Amazonas



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 39. Balsas aglomeradas ao longo do rio Madeira, Amazonas



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Em Manicoré, o transporte fluvial retrata a importância dos cursos d'água como principais vias de acesso na microrregião do Madeira, que reúne cinco municípios: Borba, Apuí, Humaitá, Manicoré e Novo Aripuanã. Além de transportar passageiros(as), o sistema fluvial é essencial para o abastecimento das comunidades ribeirinhas com suprimentos (alimentos, frutas, eletrônicos, eletrodomésticos, móveis, colchões). Durante a navegação, os barcos fazem paradas em pontos com alta concentração de balsas agrupadas ao longo do Rio Madeira. Nessas paradas, uma lancha auxiliar, que acompanha o barco como apoio externo, é utilizada para transportar os suprimentos e levar ou buscar pessoas nas balsas de garimpo.

No Mato Grosso, as vias de acesso às áreas de mineração são feitas por rodovias asfaltadas e estradas ruais não pavimentadas. Em Poconé, o trajeto da cidade até a entrada das operações é feito via rodovia estadual MT-060, e o percurso restante é por estradas de terra em bom estado de conservação. O acesso às áreas é considerado fácil e tem circulação de caminhonetes, caminhões e veículos comuns. Foi observado o uso frequente de motocicletas pelos operadores locais, que as utilizam para deslocamento diário entre casa e trabalho, devido à proximidade da cidade. Em Peixoto de Azevedo, os acessos às frentes de lavra foram considerados fáceis e por estradas rurais não pavimentadas.

Em Porto Velho, Rondônia, o acesso às frentes de lavra (dragas) ocorre por meio de cursos d'água, no leito do Rio Madeira. Nessa região, foram observadas duas dinâmicas de trabalho nas dragas: equipes que permanecem embarcadas quem fazem deslocamentos diários entre a cidade e a embarcação. Geralmente, as pessoas que não permanecem embarcadas por um determinado período residem em Porto Velho ou cidades vizinhas. O deslocamento envolve dois trechos: o primeiro é feito por carros ou caminhonetes até pontos de embarque localizados em estradas rurais não pavimentadas. A partir daí, o trajeto até a draga é feito por lanchas, voadeiras com motor ou barcos rebocadores.

Nas localidades de Morais de Almeida, Creporinho e Creporizão, no Pará, a principal via de acesso aos garimpos é a Rodovia Transgarimpeira, estrada rural não pavimentada. Em locais com intensa atividade garimpeira, é comum a existência de pistas de pouso para aviões pequenos. Nas operações visitadas em Morais de Almeida, a equipe de campo percorreu entre 100 km e 130 km em veículos a partir do centro da cidade até os locais de extração.

Durante o trajeto, foram observadas carros, caminhonetes, motocicletas utilizadas por moradores, garimpeiros (as), donos (as) de garimpo e comerciantes da região. A Transgarimpeira apresenta trechos de fácil acesso na época de seca. Para poder visitar as operações de baixão no Creporizinho e as dragas em Creporizão, foi preciso percorrer toda a extensão da rodovia, do início ao fim (Figura 40). No passado, a estrada era mais precária, e o trajeto poderia levar dias para ser concluído. Atualmente, em períodos de seca, o percurso pode ser realizado em até cinco horas. Há uma opção de deslocamento entre Morais de Almeida a Creporizão por microônibus, operado pela empresa *Buburé*.

Uma alternativa de acesso é por transporte aéreo. Na Vila do Creporizinho, há uma pista “Mundico Coelho” com extensão de 1.200 m, construída em 1974, e no Creporizão existe uma pista nova de 1.000m em chão batido. A viagem da Vila Creporizão até Itaituba tem duração de aproximadamente 1h15. Os aviões são do tipo monomotor ou bimotor que transportam passageiros (moradores locais, garimpeiros(as), donos(as) de garimpos, comerciantes locais) e/ou suprimentos (óleo diesel, equipamentos de manutenção, alimentos, bebidas, roupas, ouro, mercúrio) para regiões vizinhas ou garimpos com acesso restrito.

O acesso às dragas localizadas ao longo do Rio Crepori, em Creporizão, é feito por transporte fluvial (Figura 41). Esse meio de transporte configura-se como parte da logística garimpeira, das comunidades ribeirinhas e de circulação do ouro. No leito do rio Crepori, há afloramentos rochosos que formam corredeiras em alguns trechos e, devido ao assoreamento ao longo das décadas por causa da atividade de garimpo predatória em suas margens, a navegabilidade no rio requer cuidados. Nesses casos, as embarcações utilizadas são barcos, canoas, bajaranas e voadeiras com motor.

Na localidade de **Novo Progresso**, o acesso à frente de lavra visitada foi via rodovia asfaltada. Essa foi a única situação registrada durante as campanhas de campo do projeto em que o garimpo visitado ficava as margens da rodovia BR-163. Em **Tucumã**, o acesso às frentes de lavra visitadas foi por estradas rurais não asfaltadas. O tempo de deslocamento variou entre 40 minutos e 1h30, dependendo da localização e das condições da estrada.



Figura 40. Rodovia Transgarimpeira, Pará



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 41. Rio Crepori, Pará



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

12.2. IDENTIFICAÇÃO VISUAL DAS OPERAÇÕES

Entre as 43 operações visitadas, 79% (34) operam sob o regime de PLG e 21% (9) estão sob o regime de concessão de lavra garimpeira, conforme dados coletados em campo. Durante as visitas, a equipe técnica avaliou a sinalização indicativa dos direitos minerários e das licenças ambientais nas operações em atividade. Verificou-se que 77% (33) não apresentavam placas de identificação referentes aos direitos minerários e 23% (10) possuíam sinalização visível das placas (Figura 42).

Em relação às licenças ambientais, a situação foi semelhante. Cerca de 79% (34) não tinham placas visíveis e 21% (9) possuíam placa de identificação (Figura 43). A ausência de sinalização foi mais evidente em determinadas localidades, como nas balsas no Amazonas, nos garimpos de baixão no Amapá e nas dragas do Creporizão no Pará. Nas áreas visitadas em Morais de Almeida (Pará), Peixoto de Azevedo e Poconé (Mato Grosso) e em Porto Velho (Rondônia), a situação foi variável, com algumas operações apresentando as sinalizações e outras não.

Figura 42. Identificação do título minerário (n = 43)

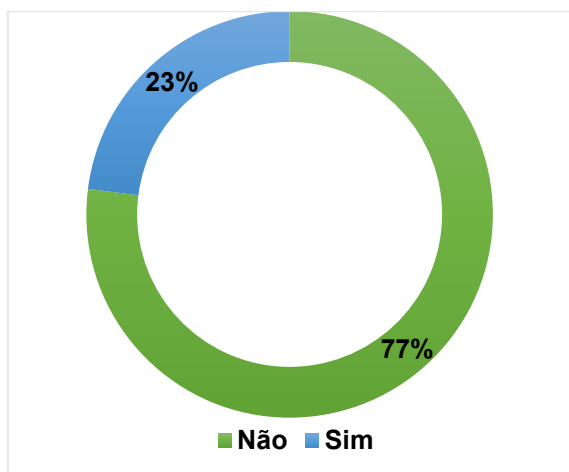
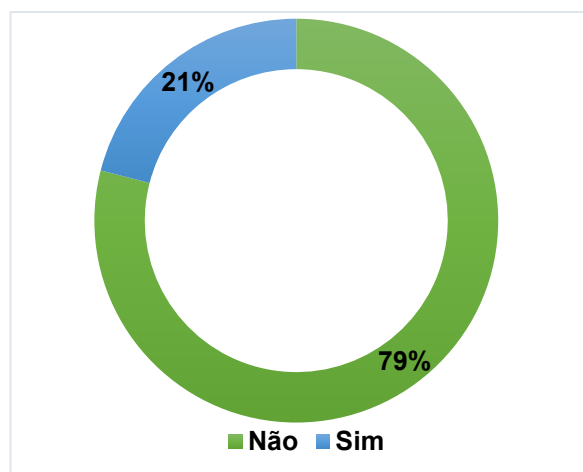


Figura 43. Identificação da Licença Ambiental (n = 43)



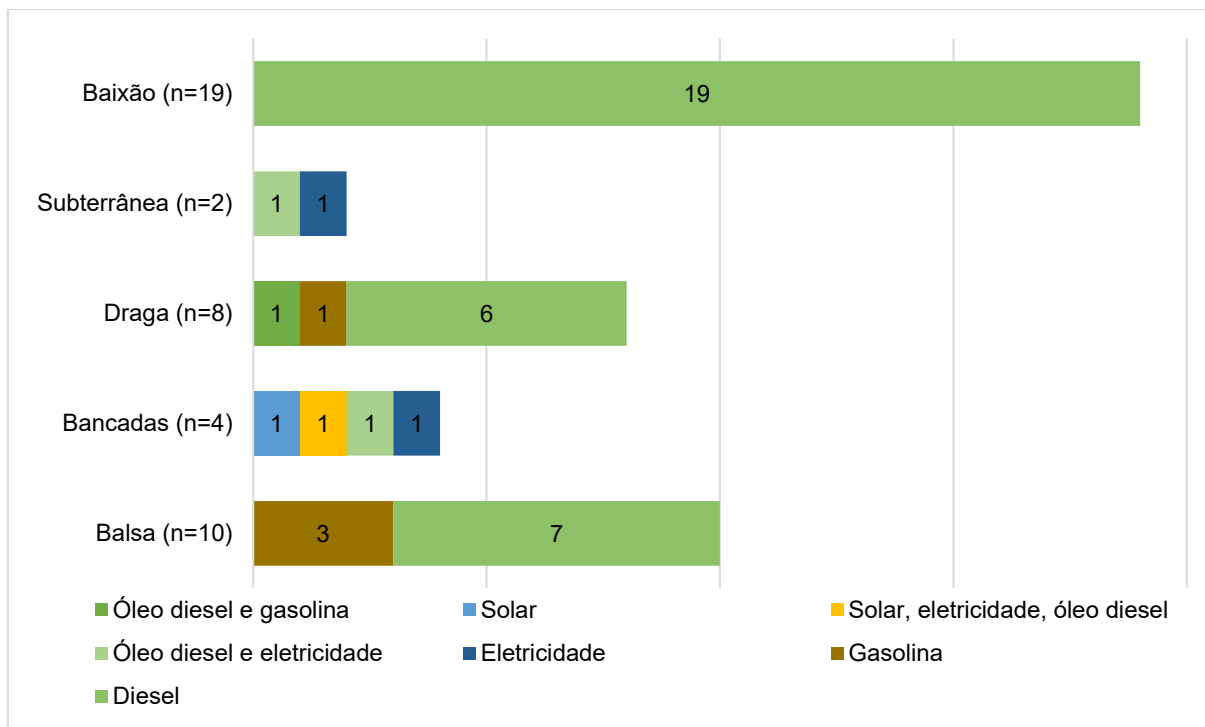
Fonte: Elaborado pelos Autores.

12.3. FONTE DE ENERGIA E ÁGUA PARA PRODUÇÃO MINERAL

Entre as 43 frentes de lavra, 74% (32) utilizam óleo diesel para as atividades de extração e processamento mineral. Além disso, foram identificadas outras fontes de energia, sendo 9% (4) gasolina, 5% (2) diesel e eletricidade, 5% (2) eletricidade, 4% (2) energia solar, eletricidade e diesel e 2% (1) diesel e gasolina.

A distribuição dessas fontes de energia por tipo de operação é apresentada na Figura 44. A Tabela 8 apresenta a estimativa do consumo mensal de óleo diesel ou gasolina por estado.

Figura 44. Fontes de energia por grupo de operação (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados de campo.

Tabela 8. Consumo de óleo diesel ou gasolina (litros/mês)

Estado	Menor consumo	Maior consumo	Média de consumo
Amapá	550	10.000	4.977
Amazonas	70	4.000	1.132
Mato Grosso	17.000	100.000	48.700
Pará	4.000	70.000	21.785
Rondônia	20.000	40.000	31.166

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Nas operações de baixão, o desmonte hidráulico é feito por “par de máquinas”, compostos por motores a diesel. Um dos motores movimenta uma bomba de alta pressão que lança jatos de água nos barrancos para desagregação do sedimento. Além disso, as escavadeiras, retroescavadeiras e pás carregadeiras utilizadas na remoção e no carregamento do material são movidas a óleo diesel.

No Distrito do Lourenço (Amapá), as operações subterrâneas utilizam geradores a óleo diesel e rede de energia. Nesse tipo de operação, são utilizados como ventiladores, bombas e perfuratrizes, entre outros equipamentos (Figura 45). A introdução de soluções híbridas ou renováveis, embora observada pontualmente, ainda é incipiente e concentrada em operações de maior organização e recursos financeiros. Em Poconé (Mato Grosso) foi a única região onde uma operação utiliza energia solar para a produção mineral. Nessa região, as cavas em bancadas operam em escala industrial, com hidrociclones, moinho de bolas em circuito fechado com concentrador centrífugo, resultando em alto consumo de energia. Na operação visitada, o processo funciona 100% com o uso de 3.600 placas solares o que gerou uma economia na energia elétrica/diesel de 1 milhão de reais por mês para 80 mil (Figura 46).

Em outra operação na região, foi observada a adoção de um sistema híbrido, que combina geradores solares, rede de energia e motores a diesel. Durante as visitas a alojamentos em Peixoto de Azevedo (Mato Grosso), foram observadas placas solares para o abastecimento de energia restrita aos alojamentos e cozinha. A energia para produção mineral nessas operações é suprida por óleo diesel e gasolina. Esse padrão foi identificado nas dragas de Porto Velho (Rondônia) e Creporizão (Pará), onde os motores funcionam a óleo diesel e a gasolina para eletricidade que tem um motor separado.

Foram feitas observações em campo sobre as fontes de água utilizadas para produção mineral. Observou-se que 44% (19) das operações utilizam curso d'água superficial, 30% (13) captam água de açudes ou represamento artificial, 21% (9) utilizam poços, 5% (2) combinação de curso d'água superficial e poço.



Figura 45. Guincho com motor elétrico ligado a gerador a óleo diesel



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 46. Painéis solares para produção de energia



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

12.4. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

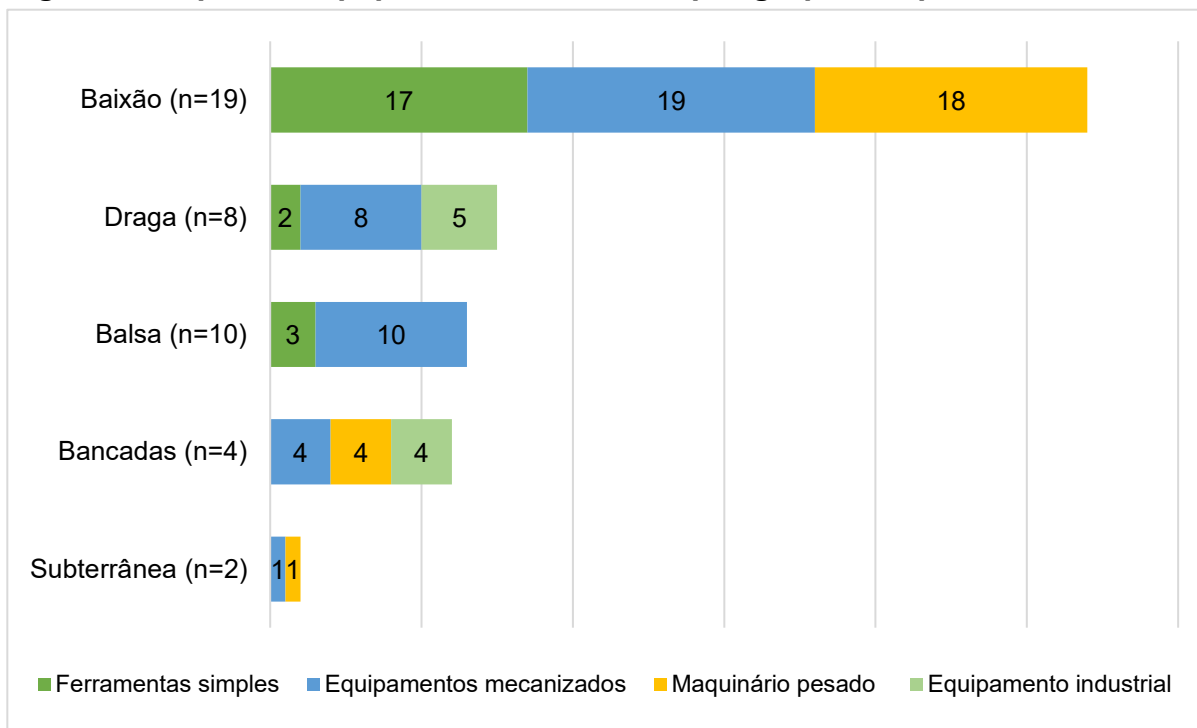
Os tipos de equipamentos observados foram classificados em quatro grupos (Tabela 9). A Figura 47 apresenta a distribuição desses equipamentos.

Tabela 9. Descrição dos equipamentos para produção mineral

Tipo de equipamento	Descrição
Simple	Ferramentas manuais para extração e separação de minerais.
Mecanizados	Equipamentos que operam com motores a diesel, eletricidade ou gasolina para extração ou concentração de bens minerais.
Pesado	Equipamentos de escavação, abertura de valetas, aterramento e movimentação de materiais.
Industrial	Equipamentos para processamento mineração que alteram a granulometria e aumentam a eficiência na recuperação de ouro.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 47. Tipos de equipamentos utilizados por grupo de operação



Fonte: Elaborado pelos Autores.



A Figura 48 ilustra exemplos de equipamentos identificados nas visitas de campo, e posteriormente, a descrição dos equipamentos.

Figura 48. Tipos de equipamentos observados nas visitas de campo



Equipamentos manuais:

- Bateias e cuias
- Enxadas
- Pás
- Martelos
- Guinchos manuais
- Lavadores de carpetes

Equipamentos mecanizado:

- Compressor de ar
- Bomba de sucção e recalque
- Monitor hidráulico
- Betoneiras para amalgamação



Equipamentos pesados:

- Escavadeira Hidráulica
- Tratores
- Pá carregadeira
- Caminhão Basculante
- Rompedor hidráulico

Equipamentos industriais:

- Britador de mandíbula
- Britador de martelos
- Moinho de bolas
- Centrifuga
- Mesa vibratória
- Hidrociclone
- Jigues



Fonte: Elaborado pelos Autores.

12.4.1. EQUIPAMENTOS MANUAIS

Bateia

A bateia é um dos equipamentos mais tradicionais utilizados na MAPE de ouro. Possui uma versatilidade para uso de reconhecimento geológico, controle de produção e concentração final do concentrado. É um instrumento simples construído em formatos arredondados, côncavos, ovais, oblongos ou retangulares. Ela pode ser fabricada em aço oxidado, folha de flandres, PVC, borracha ou madeira (WOTRUBA et al., 1988).

Durante o uso, a bateia é parcialmente submersa na água e movimentada em movimentos círculos (rotativo). Esse movimento permite separar o metal pesado de materiais mais leves. O metal pesado devido à sua densidade acumula-se no fundo e nas bordas da bateia. A eficiência da bateia depende da habilidade do operador. O processo com uso de bateia é limitado, pois apenas o ouro grosso é recuperado, enquanto as partículas muito finas são normalmente lavadas com o cascalho. A bateia manual tem recuperação de 80% se for ouro mais grosso que 100mesh.

Enxadas, pás, martelos e cuias

São ferramentas manuais para remoção de vegetação, escavação, fragmentação e movimentação de material mineralizado. As cuias são feitas de metal ou alumínio, utilizadas no processamento de amalgamação para separação do ouro.

Lavadores de carpetes

São equipamentos manuais utilizados para o auxílio no processamento do material retiro nos carpetes após a concentração gravítica. Os lavadores de carpetes consistem em estruturas inclinadas, sobre as quais os carpetes são despejados manualmente para que o material concentrado seja reprocessado e a fração mais densa, contendo ouro, seja separada dos sedimentos. Foram identificados dois modelos de lavadores conforme o tipo de lavra (Figura 49; Figura 50). Em dragas, utilizam-se calhas metálicas em aço, com superfície lisa e canaletas para retenção do material pesado. Nos garimpos de baixão, são comuns estruturas semelhantes, porém, construídas de madeira, fixadas no chão para dar estabilidade. Em ambos os casos observados, o trabalho é feito por duas pessoas, cada uma segurando uma extremidade do carpete que é agitado individualmente.



Figura 49. Lavador de carpetes em dragas



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 50. Lavador de carpetes em garimpo de baixão

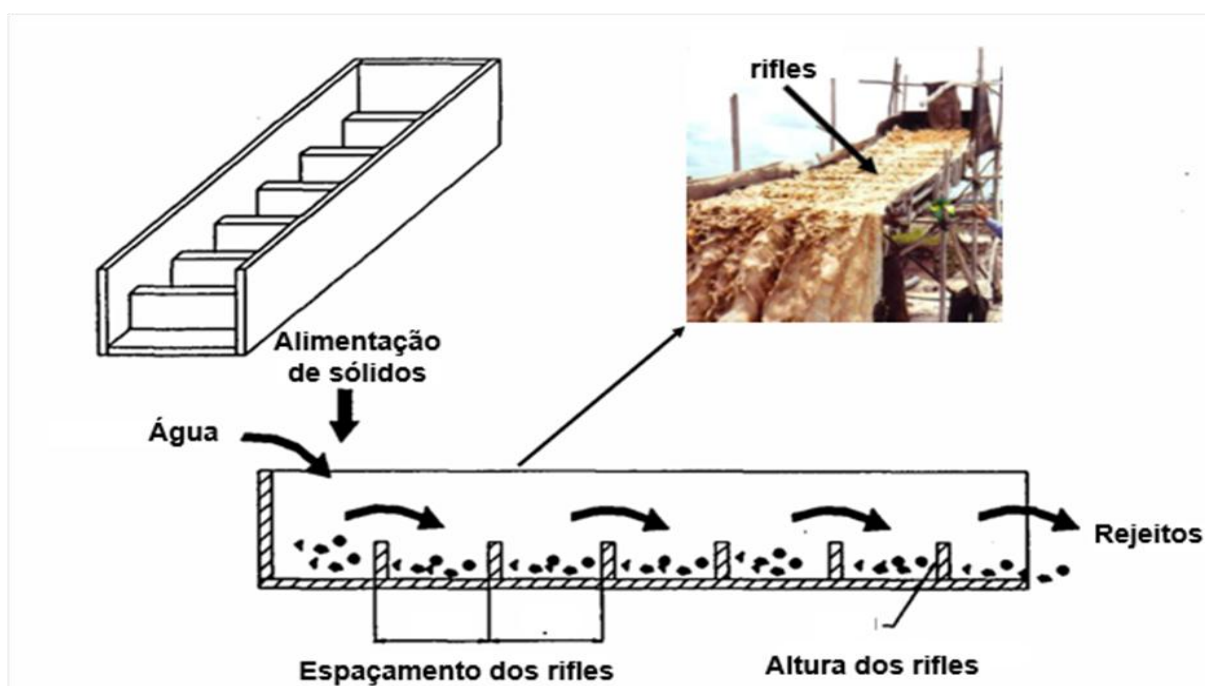


Foto: Carlos Eduardo Porto Andrade (2023).

Calha concentradora

A concentração gravítica em calhas concentradoras consiste em uma canaleta inclinada, feita de madeira ou, em alguns casos de aço transversal retangular por onde a polpa do minério escoa, promovendo a separação gravítica do ouro com base em sua maior densidade. O fundo das calhas pode ser recoberto por carpetes, mantas ou ripas transversais (rifles), que criam zonas de turbulência capazes de reter as partículas de ouro (Figura 51).

Figura 51. Vista em seção de um exemplo de calha concentradora



Fonte: Adaptado de Subasinghe (1993).

Durante as atividades de campo, foram identificados diferentes tipos de calhas concentradoras no tamanho, número de níveis e comprimento, conforme apresentado na Tabela 10 e Figura 52. As operações de baixão apresentaram calha retas ou em zigue-zague com até três níveis de comprimento variando entre 5 e 12 metros. As dragas de Rondônia e no Pará, utilizam calhas metálicas multiníveis. Em algumas situações, observaram-se calhas secundárias posicionadas próxima à calha concentradora principal. Nesses casos, após o bateamento dos carpetes, geralmente em tambores ou caixas d'água, os garimpeiros repassam pela calha secundária, o material que ficou retido nesses recipientes, na tentativa de recuperar partículas de ouro.



Outro arranjo identificado foi o prolongamento das calhas concentradoras em garimpos de baixão. Essas estruturas consistem em rampas inclinadas de madeiras, revestidas com carpetes, mantas e rifles transversais, acopladas à extremidade inferior da calha concentradora principal. A finalidade desse prolongamento é a tentativa de capturar partículas finas de ouro.

Tabela 10. Tipos de calhas concentradoras identificadas nas visitas de campo

Estado	Tipo de garimpo	Material	Formato	Níveis	Comprimento (m)
Amapá	Baixão	Madeira	Zig-Zag	1 ou 2	10
Amazonas	Balsa	Madeira	Reta	1 ou 2	5
Mato Grosso	Baixão	Madeira	Reta	1	10
Pará	Baixão	Madeira	Zig-Zag	3	12
	Dragas	Metal	Multinível	-	-
Rondônia	Dragas	Metal	Multinível	-	-

Fonte: Elaborado pelos Autores.

A eficiência das calhas está relacionada ao projeto e à inclinação. Calhas com inclinação superior a 15° aumentam a velocidade do fluxo de polpa, reduzindo a eficiência na recuperação do ouro fino, que tende a ser arrastado. Inclinações inferiores a 15° favorecem a deposição de material na calha, aumentando a recuperação de ouro, mas pode reduzir o teor de ouro do concentrado final devido ao acúmulo de ganga. Outro aspecto é o comprimento da calha. Estudos indicam que a maior parte do ouro fino se deposita nos primeiros metros, onde a velocidade da polpa é baixa. Assim, calhas excessivamente prolongadas tendem a ser ineficientes. Modelos com dois ou três níveis em zigue-zague são mais eficazes, pois reduzem a velocidade da polpa entre os níveis e aumentam a recuperação de ouro fino (VEIGA, GUNSON, 2020). A largura da calha influencia o desempenho. Uma calha mais larga aumenta a produção de ouro pois aumenta a taxa de alimentação de minério. eficiência é alta na recuperação de partículas livres de ouro com granulometria superior a 200 malhas (0,074mm), condição comum em minérios aluvionares. (SUBASINGHE, 1993; MARTÍNEZ; RESTREPO-BAENA; VEIGA, 2021).



Figura 52. Tipos de calhas concentradoras

Calha reta



Calha zig-zag



Calha secundária



Calha prolongada



Calha multinível em draga



Calha concentradora em balsa



Fotos: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

12.4.2. EQUIPAMENTOS MECANIZADOS

Monitor hidráulico

Chamado de “par de máquinas”, este equipamento consiste em uma bomba conectada a uma mangueira de alta pressão. Trata-se de um sistema composto por dois motores montados sobre uma estrutura retangular flutuante, construída com dois tambores metálicos cilíndricos (com cerca de 2 metros de comprimento e 0,8 metro de diâmetro cada), que servem como flutuadores. Acima deles, há uma plataforma de madeira com aproximadamente 2,5 a 3 metros de largura, onde são fixados o motor principal e a bomba (Figura 53; Figura 54).

Bomba de sucção e recalque

As bombas de sucção e recalque são utilizadas em lagos, cavas inundadas ou áreas submersas. São acionadas por motores a diesel, normalmente aplicadas para bombear o minério em forma de polpa, previamente desagregado pelos monitores hidráulicos, direcionando-o às calhas concentradoras.

Perfuratrizes manuais

As perfuratrizes manuais são utilizadas em lavra subterrânea para realizar furos na rocha, onde serão carregados os explosivos para o desmonte do minério. Este equipamento é de ação roto-percussiva acionado por um compressor de ar.

Betoneiras ou “resumidoras” de mercúrio

As betoneiras chamadas localmente de resumidoras, são utilizadas para a recuperação de ouro. Essa técnica, embora utilize o mercúrio, é eficaz na recuperação de partículas de ouro fino perdidas por outros métodos de concentração. A estrutura de uma amalgamadora é feita por tambor rotativo horizontal, geralmente revestido para proteção contra abrasão. O minério cominuído é introduzido no tambor junto com uma quantidade controlada de mercúrio líquido. A rotação do tambor promove a agitação e a mistura do minério e do mercúrio, resultando na formação do amálgama de ouro e mercúrio. Após o período de amalgamação, a mistura é retirada do tambor e submetida a um processo de filtração para a separação do amálgama. Na sequência, o amálgama é aquecido para obtenção do doré de ouro.



Figura 53. Monitor hidráulico usado em operações de baixão



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 54. Monitor hidráulico usado em operações de baixão



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

12.4.3. EQUIPAMENTOS PESADOS

Escavadeira Hidráulica

As escavadeiras hidráulicas são equipamentos sobre esteiras projetados para operar em superfície, utilizadas para desagregar sedimentos ou rochas. Na MAPE de ouro, essas máquinas são utilizadas devido à sua versatilidade, pois permitem realizar, em uma mesma operação, o desmonte do minério e o carregamento do material em caminhões basculantes. São utilizadas para decapeamento, estocagem e recomposição do terreno na recuperação ambiental.

Tratores

Os tratores são equipamentos empregados em terrenos instáveis e locais de difícil acesso. Na mineração, são utilizados para criar estradas de apoio, abrir áreas de exploração, organização de materiais e até reboque de outras máquinas pesadas.

Pá carregadeira

A pá carregadeira é um equipamento sobre pneus utilizado para carregar caminhões, transporte de insumos e até mesmo para alimentar britadores no início do processamento mineral.

Caminhão Basculante

Os caminhões basculantes são utilizados para transportar o material retirado da frente de lavra para a usina de processamento mineral. Possuem caçamba articulada, que se inclina para depositar o material transportado.

Rompedor hidráulico

O rompedor hidráulico é utilizado para a redução granulométrica nas operações de lavra. Foi observado seu uso nas cavas em bancadas do Mato Grosso. Seu funcionamento baseia-se no acionamento de um pistão interno impulsionado por pressão hidráulica. O funcionamento do equipamento se dá a partir do fluxo de óleo pressurizado proveniente de um sistema hidráulico, geralmente acoplado a escavadeiras e retroescavadeira.

12.4.4. EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Britador de martelos

O britador de martelos é utilizado para britagem secundária e terciária na mineração convencional. No entanto, na MAPE de ouro é utilizado no início do processo como britagem primária. Este equipamento apresenta uma grande capacidade de redução do material em um único estágio de britagem. Ele é composto por um rotor, montado horizontalmente que gira em alta velocidade. No rotor são fixados os martelos, substituídos regularmente conforme o desgaste. O equipamento possui uma câmara de britagem que envolve o rotor e os martelos (Figura 55; Figura 56).

As paredes da câmara são revestidas com placas de desgaste para proteger a estrutura do equipamento. Na parte inferior do britador, há grades ou telas de descarga, que determinam o tamanho das partículas que são liberadas, permitindo o controle da granulometria do material britado. O material a ser cominuído é introduzido no britador através do sistema de alimentação. À medida que o rotor gira, os martelos atingem o material, fragmentando-o em partículas menores (LUZ; ALMEIDA; BRAGA, 2018). O impacto repetido dos martelos e a colisão do material com as paredes da câmara resultam em uma fragmentação eficiente. O fragmento de rocha na granulometria adequada passa então através das grades ou telas de descarga, o fragmento que não alcançou esta, continua sendo impactado até atingir o tamanho esperado.

Moinho de bolas

O moinho de bolas é usado para a moagem mais fina do minério, buscando a liberação do ouro em frações menores. O equipamento consiste em um cilindro horizontal, geralmente de aço, revestido com placas substituíveis de alta resistência ao desgaste mecânico. Dentro do cilindro, há esferas de aço que servem para moer a rocha quando o cilindro está em rotação. À medida que o cilindro gira, as bolas de moagem se movem com ele, colidindo com o material e quebrando-o em partículas menores por meio de impacto e fricção. O material moído é então direcionado ao sistema de descarga, seguindo para a etapa seguinte de beneficiamento (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).



Figura 55. Britador de martelo em área de garimpo



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2025).

Figura 56. Britador de martelo em área de garimpo



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Concentrador centrífugo

É um equipamento utilizado para concentração gravítica de minérios auríferos aluvionares, que permite boa eficiência na recuperação do ouro (Figura 57). O princípio da concentração de ouro em equipamentos centrífugos baseia-se na separação do ouro das partículas minerais de ganga com base na diferença das velocidades de sedimentação. Consiste em um cone perfurado, com nervuras horizontais soldadas ao longo da parede interna (CARRISSO; CHAVES, 2002). Na MAPE de ouro, o concentrador centrífugo é frequentemente utilizado como uma etapa intermediária no processo de concentração, sendo empregado em combinação com outros métodos, para maximizar a recuperação do ouro. Em resumo, esse equipamento utiliza a força centrífuga e a diferença de densidade dos materiais para concentrar o ouro (VEIGA; GUNSON, 2020). Com uma estrutura composta por um tambor ou rotor revestido com material resistente ao desgaste, as centrífugas empurram as partículas mais densas e de maior massa, como o ouro, para as paredes externas do tambor, onde são coletadas em bolsas ou ranhuras especiais, enquanto os materiais mais leves são expulsos através do sistema de descarte e direcionados para a próxima etapa do processo (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

Mesa vibratória

As mesas vibratórias utilizam a combinação de gravidade, movimento vibratório e fluxo de água para separar partículas de ouro com base em suas propriedades de densidade e tamanho, proporcionando um método eficiente e acessível para a concentração de ouro de depósitos aluvionares. A estrutura da mesa consiste em uma plataforma plana inclinada, montada sobre um mecanismo de vibração que gera movimentos oscilatórios rápidos. No funcionamento da mesa vibratória, o material a ser processado é alimentado na plataforma em forma de mesa, geralmente uma mistura de minério triturado e água. O mecanismo de vibração faz com que a mesa vibre, criando uma camada fluidizada do material sobre sua superfície. Devido à diferença de densidade, o ouro se move para a parte mais baixa da mesa, enquanto os materiais mais leves são deslocados para a parte superior. Durante o processo, o ouro se concentra em sulcos ou ranhuras ao longo da parte inferior da mesa.

Hidrociclone

Os hidrociclones são largamente utilizados na mineração de ouro industrial, empregados para classificar e separar partículas com base em suas diferentes densidades e tamanhos. Esse tipo de equipamento foi observado somente na região de Poconé, Mato Grosso. Sua estrutura inclui um cilindro cônico com uma entrada tangencial na parte superior e uma saída central na parte inferior. Esse cilindro é revestido internamente com material resistente ao desgaste para suportar a abrasão causada pela suspensão de minério e água em movimento. O princípio de funcionamento dos hidrociclones baseia-se na força gerada pelo movimento rotacional da suspensão de minério e água dentro do cilindro. Quando a mistura é alimentada tangencialmente na entrada do hidrociclone, cria-se um movimento espiral dentro do cilindro. As partículas mais pesadas são empurradas para a parede externa do cilindro, enquanto as mais leves permanecem próximas ao centro (CHAVES, 2022). Esse processo resulta na separação das partículas com base em sua densidade e tamanho, com as mais pesadas direcionadas para a saída inferior, enquanto as mais leves são expelidas pela abertura central.

Jigues

Jigues não são comumente usados por operadores da MAPE de ouro, mas alguns operadores na Colômbia e no Brasil os utilizam para concentração contínua por gravidade. Trata-se de um equipamento utilizado para pré-concentração ou concentração por gravidade de minerais pesados (estanho, hematita, magnetita, volfrâmio, etc.). Em uma operação visitada, o jigue estava sendo utilizado para separar tantalita do concentrado que saía da calha concentradora (Figura 58). O movimento de bombeamento e sucção da água fluidifica as partículas, permitindo que as partículas pesadas afundem e passem por um leito de esferas de aço. Porém, esse equipamento que não é eficiente para partículas finas de ouro e requer grandes quantidades de água (MARTÍNEZ; RESTREPO-BAENA; VEIGA, 2021).



Figura 57. Concentrador centrífugo utilizado em lavra de bancadas



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 58. Jigue acoplado na calha concentradora para separação de tantalita

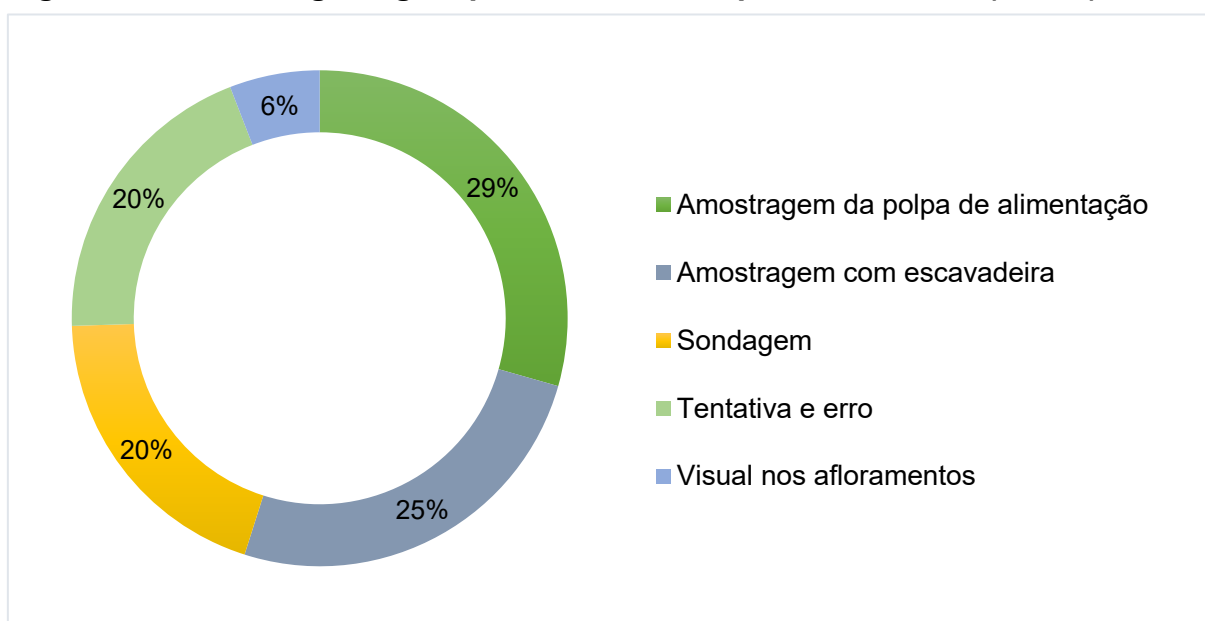


Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

12.5. CONTROLE GEOLÓGICO

Os dados apresentados foram obtidos a partir das observações de campo e das entrevistas realizadas com os 51 donos ou supervisores de operações. O controle geológico mais comum, adotado por 29% (15) dos entrevistados, consiste na amostragem da polpa de alimentação, realizada diretamente na planta de processamento para avaliar a presença de ouro, 25% (13) amostragem com escavadeira, 20% (10) sondagem, 20% (10) tentativa e erro, caracterizada pela prospecção sem suporte técnico e 6% (3) visual nos afloramentos, ver Figura 59.

Figura 59. Controle geológico para descobrir depósitos de ouro (n = 51)

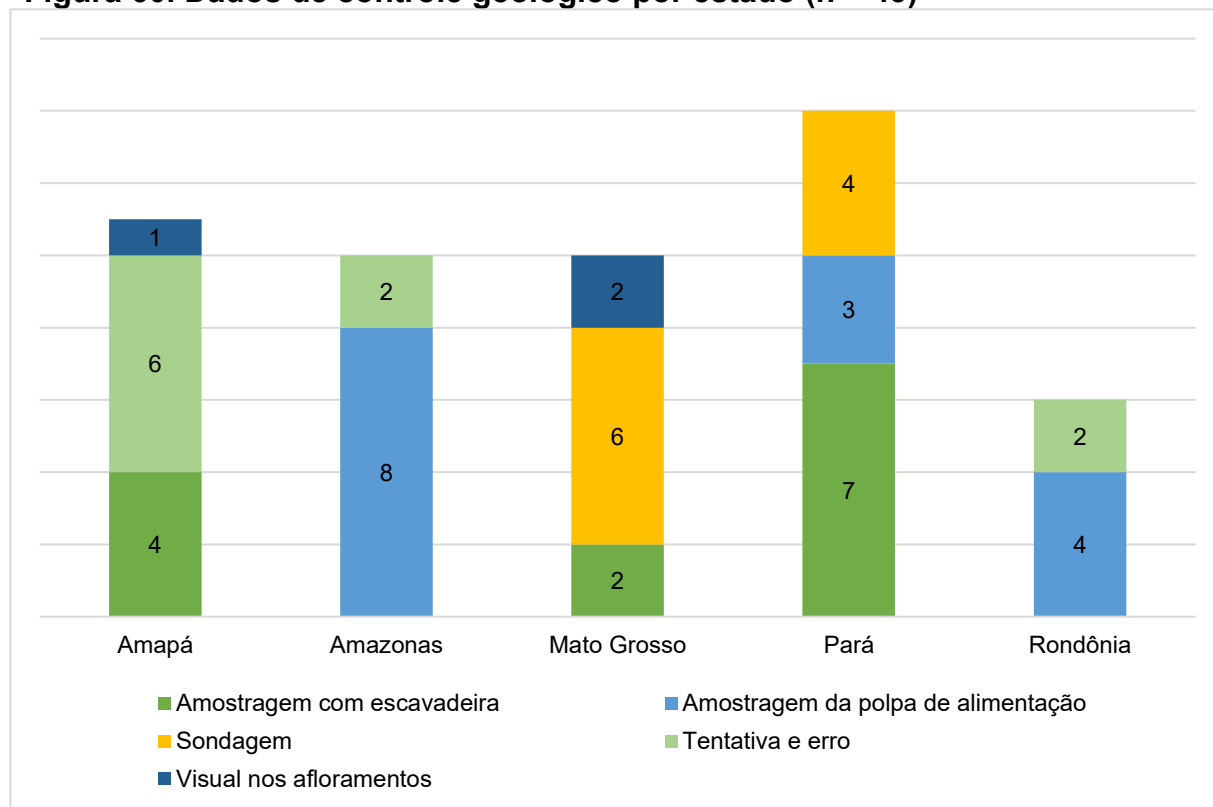


Fonte: Elaborado pelos Autores.

A ocorrência do ouro depende das condições geológicas locais. Em relação a MAPE de ouro, é comum o uso do conhecimento empírico dos garimpeiros para encontrar ouro. Essa prática é adquirida através de experiências acumuladas ao longo do tempo, que podem indicar a presença de ouro em determinada região. No entanto, devido à falta de conhecimento técnico das reservas geológicas, muitas vezes os garimpeiros recorrem à prospecção por "tentativa e erro". Este tipo de prospecção afeta a eficiência da mineração, que deixa de aproveitar o potencial de minério existente em uma área trabalhada e pode levar os garimpeiros a realizarem extrações desnecessárias em áreas menos promissoras (HILSON; MAPONGA, 2004).

Como consequência, esse processo contribui para impactos cumulativos e o abandono de cavas desativas sem planos de recuperação ambiental. A Figura 60 ilustra os tipos de controle geológico por estado.

Figura 60. Dados de controle geológico por estado (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Nas operações do Amapá, é comum amostragem com escavadeira, tentativa e erro e visual nos afloramentos. Tentativa e erro é feita com base no conhecimento empírico do responsável da operação. Nesses casos é como se fosse 100% de sorte e, muitas vezes, de fatores subjetivos. Como consequência, há um impacto direto nos custos operacionais, baixa produção e maior impacto ambiental com a abertura de novas frentes aleatórias.

Nas operações subaquáticas do Amazonas e de Rondônia, as operações no leito de rio, seja por balsas ou balsas, o método comum do controle geológico é a amostragem da polpa de alimentação. Na região de Manicoré (Amazonas), ainda se observa a prática conhecida como “fofoca de ouro”, em que balsas se agrupam para operar em uma mesma área com base em percepções empíricas. Esse comportamento, comum na década de 1970, permanece até os dias atuais.

Os operadores demonstram conhecimento empírico sobre a melhor localização das balsas no rio para otimizar a captura do ouro. Essas áreas, conhecidas localmente como “armadilhas de ouro”, são regiões do rio onde a velocidade do fluxo d’água diminui naturalmente, favorecendo a sedimentação de partículas de ouro. Como resultado, há uma tendência de aglomeração das balsas nessas regiões.

Em Porto Velho, Rondônia e no Creporizão, Pará, foi identificado um uso diversificado de técnicas de amostragem da polpa da alimentação. Nesses casos, os operadores abaixam as lanças das dragas e iniciam o bombeamento da água, cascalho e sedimento do leito do rio e uma amostra é retirada na calha onde o sedimento cai e a partir dele verificam a concentração das partículas de ouro. Caso, positivo, eles iniciam a operação naquele determinando local. Ao lado da posição do operador da draga, fica uma pequena calha que retém sedimento, caso seja observado essas partículas a operação continua. Isso mostra que a experiência do operador conta no processo de escolha do ponto do rio para operar.

Nos casos dos garimpos de baixão, as entrevistas e as observações de campo, identificaram uma mistura de técnicas simples, empíricas e na sorte. A prática de cuiagem com escavadeira foi relatada, sendo utilizada para verificar a presença de ouro antes do avanço da operação. Por exemplo, nas visitas de campo à região de Novo Progresso, no Pará, os operadores de máquinas são responsáveis por abrir as pistas e tem o olhar mais analítico baseado no conhecimento empírico para selecionar o local específico de início do garimpo.

Além disso, houve registros de furos de produção de antigas operações que evidenciam ocorrências auríferas. Quando a área não apresenta viabilidade econômica, os operadores decidem que mudam de local, prática conhecida como “deu jacaré”. Em Poconé, no Mato Grosso, O controle geológico é feito de modo visual nos afloramentos ou amostragem com escavadeira seguindo o veio de minério e pelo conhecimento empírico dos garimpeiros locais e do dono da operação.



12.6. PRODUÇÃO MENSAL DE OURO E VALOR DO GRAMA DE OURO

A Tabela 11 apresenta os dados de produção mensal de ouro relatados pelos donos ou supervisores de operações, incluindo os valores mínimos, máximos e a média de produção por tipo de lavra em cada estado e o preço médio de venda do grama de ouro. As operações de cava em bancadas e baixão no Mato Grosso apresentam as maiores médias de produção de ouro por mês, sugerindo maior escala produtiva nessas regiões, sendo que a média das operações em bancadas atingiu 4.166,67 g/mês. As balsas em Manicoré (Amazonas) apresentaram as menores médias de produção, com 65,5 g/mês. As dragas do Pará, tiveram média de 2.475 g/mês e as dragas em Porto Velho (Rondônia) foi de 1.383,33 g/mês.

Tabela 11. Produção mensal de ouro e média do valor do grama de ouro *

Estado	Tipo de operação	Nº de entrevistados (n = 51)	Menor produção (g/mês)	Maior produção (g/mês)	Média de produção (g/mês)	Média de preço venda do grama de ouro
Amapá	Baixão	9	200	800	363,33	R\$ 244,55
	Subterrâneo	2	50	400	N/A	R\$ 245,00
Amazonas	Balsas	10	40	150	65,5 g	R\$ 253,50
Mato Grosso	Baixão	7	800	6.500	3.885,71	R\$ 257,14
	Bancadas	3	1.500	6.000	4.166,67	R\$ 278,00
Pará	Baixão	9	200	3.200	1.017,80	R\$ 256,50
	Dragas	4	1.900	3.000	2.475,00	R\$ 262,75
Rondônia	Porto Velho	6	800	2.000	1.383,33	R\$ 275,17

*Os valores são referentes às entrevistas realizadas com os 51 donos ou supervisores de operações.
Período de coleta dos dados: Amapá (agosto/23); Amazonas (setembro/23); Mato Grosso (maio/23); Pará (junho/23 e novembro/23); Rondônia (setembro/23).

Fonte: Elaborado pelos Autores.

A comercialização do ouro nas regiões visitadas é feita nos Postos de Compra de Ouro (PCOs), unidades credenciadas como Distribuidora de Títulos e Valores Mobiliários (DTVM), responsáveis por intermediar a compra de ouro diretamente dos garimpeiros. O preço do ouro no Brasil é atrelado às cotações internacionais das bolsas de Nova York e Londres, sofrendo variações de acordo com a cotação do dólar e as condições do mercado financeiro global.

Durante a pesquisa de campo, observou-se que o preço médio de venda do grama de ouro variou entre R\$ 244,55 e R\$ 278,00. Para efeito de comparação, no mês de maio de 2025, o valor está do grama do ouro no Brasil foi de R\$ 574,02¹⁴. Isso representa um aumento de aproximadamente 135% em relação aos valores médios coletados em campo em 2023. No entanto, mesmo com esse crescimento no mercado, os valores praticados em áreas de garimpo continuam abaixo da cotação oficial.

É comum que áreas garimpeiras mais isoladas dos centros urbanos apresentam valores de venda inferiores. Nesses contextos, os garimpeiros tendem a aceitar preços mais baixos devido à forte dependência de compradores locais e limitações logísticas. Quando considerados os custos com transporte até os centros urbanos distantes, muitas vezes a venda local é mais viável economicamente, mesmo com um preço por grama reduzido.

Com relação aos responsáveis pela venda do ouro produzido pela operação, constatou-se que, na maioria das operações visitadas, essa função é dos donos dos garimpos. Em outros casos, a venda é realizada pelos supervisores dos garimpos. Em duas frentes de lavra observadas, por exemplo, a equipe de campo registrou a prática na qual, ao final do dia, após a apuração do ouro, o supervisor pegou o doré e se deslocou até a cidade para realizar a venda no PCO.

É importante destacar que a lógica da comercialização do ouro muda quando se trata dos garimpeiros que atuam como trabalhadores nas operações. Diferentemente dos donos ou gestores, esses garimpeiros não participam da venda do ouro da produção total, mas sim recebem uma fração proporcional com base em acordo verbais, entre 15% e 20% da produção, dividido entre os operadores. Esse pagamento pode ser em ouro ou em dinheiro, cabendo ao próprio garimpeiro trocar sua parte de forma autônoma por dinheiro nos postos de compra de ouro, com base no valor do grama de ouro do dia.

¹⁴ Cotação em 14 de maio de 2025.



12.7. PUREZA DO OURO E EFICIÊNCIA DA RECUPERAÇÃO

Dos 51 entrevistados, 84% (43) afirmaram conhecer o grau de pureza do ouro e 16% (8) disseram não saber. É importante destacar que todos os entrevistados que não souberam responder operam balsas em Manicoré, no Amazonas. Entre os que afirmaram conhecer a pureza do ouro, os valores relatados variaram entre 77% e 97%, indicando alto teor.

Os entrevistados foram questionados sobre a eficiência da recuperação, seja ouro primário ou secundário, obtida por meio de calhas concentradoras ou centrífugas. A Tabela 12 apresenta os valores mencionados sobre a eficiência da recuperação do ouro.

Tabela 12. Eficiência do processo para recuperação do ouro

Recuperação do ouro	%	Nº de respostas
entre 80 e 100%	37%	19
não sabe	35%	18
entre 40 e 60%	10%	5
entre 60 e 80%	8%	4
menos de 20%	6%	3
entre 20 e 40%	4%	2
Total	100%	51

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Conforme apresentado na Tabela 12, 37% (19) dos entrevistados responderam obter uma recuperação entre 80 e 100% e 35% (18) responderam que não sabem estimar a eficiência de seus processos. Outros 10% (5) indicaram uma recuperação entre 40 e 60%, 8% (4) entre 60 e 80%, 6% (3) menos de 20% e, 4% (2) entre 20 e 40%.

Além disso, os entrevistados foram questionados se haviam realizado análises químicas para confirmar as porcentagens de recuperação de ouro mencionadas. Apenas 12% (6) responderam que sim e 88% (45) responderam que não.

Entre os que relataram já ter feito algum tipo de análise, as respostas foram análises do teor de ouro no rejeito, análises de solo, espectrometria de absorção atômica (AAS), testes de trincheiras e envio de amostras para laboratórios externos.

Esses resultados indicam que a percepção da eficiência de recuperação do ouro é um desafio no contexto da MAPE de ouro, uma vez que as estimativas declaradas pelos entrevistados não são baseadas em métodos analíticos, mas em observações empíricas ou suposições. Nesse sentido, é importante esclarecer que a eficiência de recuperação de ouro é definida como a porcentagem de ouro recuperado em relação a quantidade original presente no minério. O grau ou teor de ouro corresponde à concentração de ouro em uma determinada amostra, sendo obtido por meio de ensaios metalúrgicos e análises químicas laboratoriais.

Nas operações visitadas, o processo produtivo de ouro segue uma dinâmica que envolve a extração, concentração gravítica, amalgamação, queima do amálgama, até a produção do Doré. No entanto, conforme aponta a literatura, um alto teor de ouro no concentrado não significa necessariamente alta recuperação de ouro. Em processos de concentração gravítica, como nas calhas concentradoras, o teor de ouro em um concentrado tende a ser inversamente proporcional à recuperação de ouro (TESCHNER et al., 2017; MARTÍNEZ; RESTREPO-BAENA; VEIGA, 2021).

Resultados semelhantes foram observados por Araujo, Veiga e De Tomi (2020), em pesquisa realizada com garimpeiros de Peixoto de Azevedo (Mato Grosso). Os entrevistados responderam altas porcentagens de recuperação, apesar de não realizarem nenhum tipo de balanço metalúrgico ou análise química comprovasse tais estimativas. A recuperação do ouro, depende de muitos fatores, incluindo as implicações econômicas e o conhecimento sobre a mineralogia do minério.

O capítulo 18 apresenta os resultados dos testes metalúrgicos para identificar o grau de recuperação de operações amostradas no Projeto Ouro sem Mercúrio.



13. CADEIA DE SUPRIMENTO DE MERCÚRIO DAS OPERAÇÕES VISITADAS

Neste capítulo são apresentados os resultados das entrevistas e observações sobre a cadeia de suprimento de mercúrio nas operações visitadas. Os dados utilizados referem-se as entrevistas com os 51 donos ou responsáveis de garimpo e das 43 observações nas operações visitadas. Síntese das análises realizadas:

- Os dados indicam que a compra mensal de mercúrio varia entre os estados visitados, de 20 g a 5 kg/mês, com preços que oscilam entre R\$ 1.200 e \$ 8.000,00 kg. O Mato Grosso registrou os valores mais elevados e Rondônia os preços mais baixos.
- A percepção de perda de mercúrio no processo produtivo é imprecisa e sem controle real. O preço do mercúrio apresentou uma alta nos últimos três anos, conforme relatado por 78% dos entrevistados.
- A comercialização de mercúrio ocorre por meio de revendedores informais e intermediários.
- As observações de campo indicam que, em todas as 43 operações visitadas, fazem uso do mercúrio.
- Com relação as formas de amalgamação do minério de ouro, foram identificadas duas práticas: a amalgamação de concentrados e a amalgamação de todo o minério.
- Com relação a queima do amálgama, das 43 operações visitadas, 60% (27) queimam o amálgama com o uso de retortas e 40% (17) queimam o amálgama a céu aberto.
- Em algumas localidades a queima a céu aberto é uma prática comum. Nesses locais, percebeu-se que essa prática é mantida por hábito e resistência a mudanças.

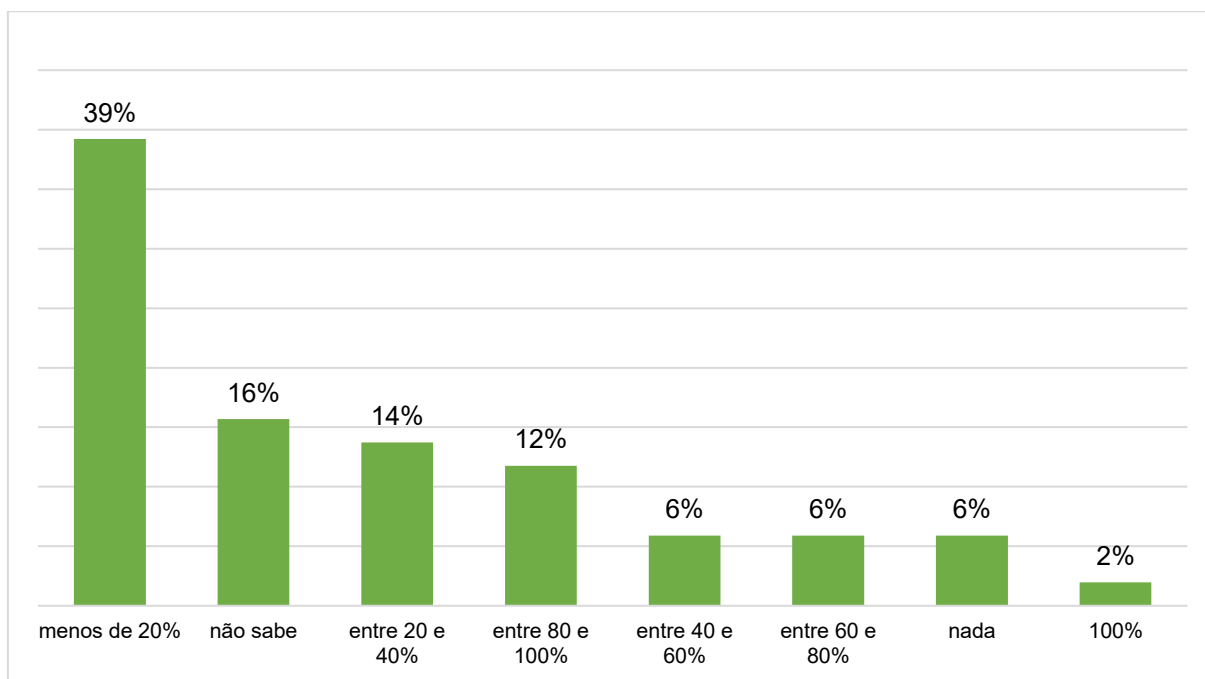


13.1. COMPRA, CONSUMO E CONTROLE DE PERDAS DE MERCÚRIO

Os 51 donos ou supervisores de operações foram questionados sobre a compra, o preço e a perda de mercúrio no processo de amalgamação. No Amapá, os entrevistados relataram que as compras de mercúrio variam entre 100 g e 2.000 kg/mês, com preços oscilando de R\$ 2.000,00 a R\$ 3.000,00/kg. No Amazonas, os volumes de mercúrio foram menores, entre 20 g e 500 g/mês, e o preço foi de R\$ 1.300,00 a R\$ 2.500,00. No Mato Grosso, a compra mensal variou, chegando até 5.000 kg /mês, com preço entre R\$ 1.800,00 a R\$ 2.600,00. No Pará, as compras foram de 80 g a 4.000 kg /mês, com preços entre R\$ 1.200,00 a R\$ 3.000,00. Já em Rondônia, as compras variaram entre 80 g e 1.600 kg/mês, e o preço do mercúrio foi um dos menores registrados, entre R\$ 1.500,00 e R\$ 1.800,00/kg.

A Figura 61 ilustra as respostas relacionadas às perdas de mercúrio no processo de amalgamação. Os dados coletados indicam que a percepção sobre a perda de mercúrio por parte dos entrevistados é imprecisa. Em diversas situações observadas em campo, verificou-se que os operadores não utilizam retortas ou outros dispositivos para capturar os gases das emissões do mercúrio. Foi possível observar em alguns casos, a dispersão de gotículas de mercúrio nos equipamentos de amalgamação.

Figura 61. Perda de mercúrio no processo (n = 51)

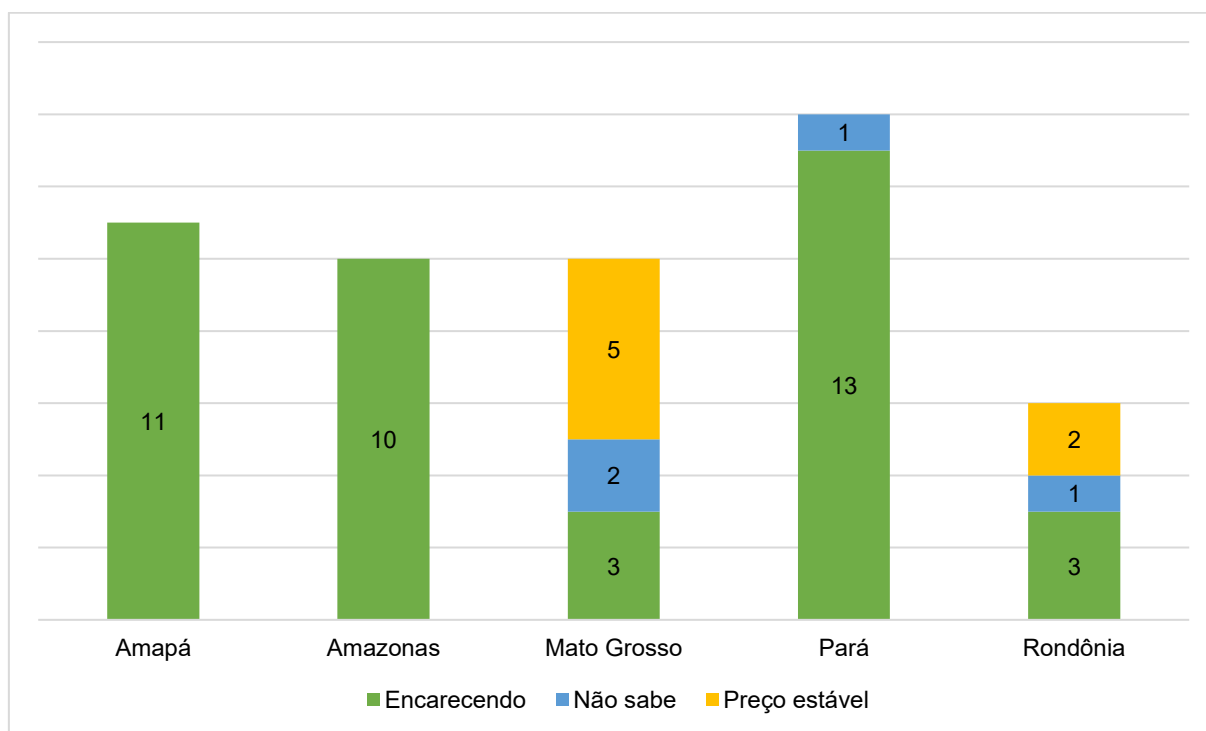


Fonte: Elaborado pelos Autores.

Os 51 entrevistados responsáveis pelas operações comentaram sobre o aumento do preço do kg de mercúrio nos últimos três anos. A maioria, cerca de 78% (40) responderam que está encarecendo, 14% (7) disseram que o preço permaneceu estável e 8% (4) não souberam responder (Figura 62). Entre os motivos apontados para o encarecimento, destacam-se: 41% (21) disponibilidade limitada e alta demanda, 14% (7) fiscalização, 20% (10) impactos no preço devido à origem e mercado e 25% (13) não souberam responder.

A disponibilidade limitada está relacionada com a escassez do mercúrio no mercado e a alta procura. O fator de logística está correlacionado porque dependendo da região, principalmente em regiões mais remotas, tem uma maior dificuldade de acesso. Associado a isso está a fiscalização em fronteiras, citada pelos entrevistados. A origem do mercúrio e as condições de mercado foram apontados como motivos que influenciam seu valor. Isso está relacionado a forma como o mercúrio é adquirido informalmente, contrabando ou obtido de fornecedores locais.

Figura 62. Aumento do preço do kg de mercúrio nos últimos três anos (n = 51)



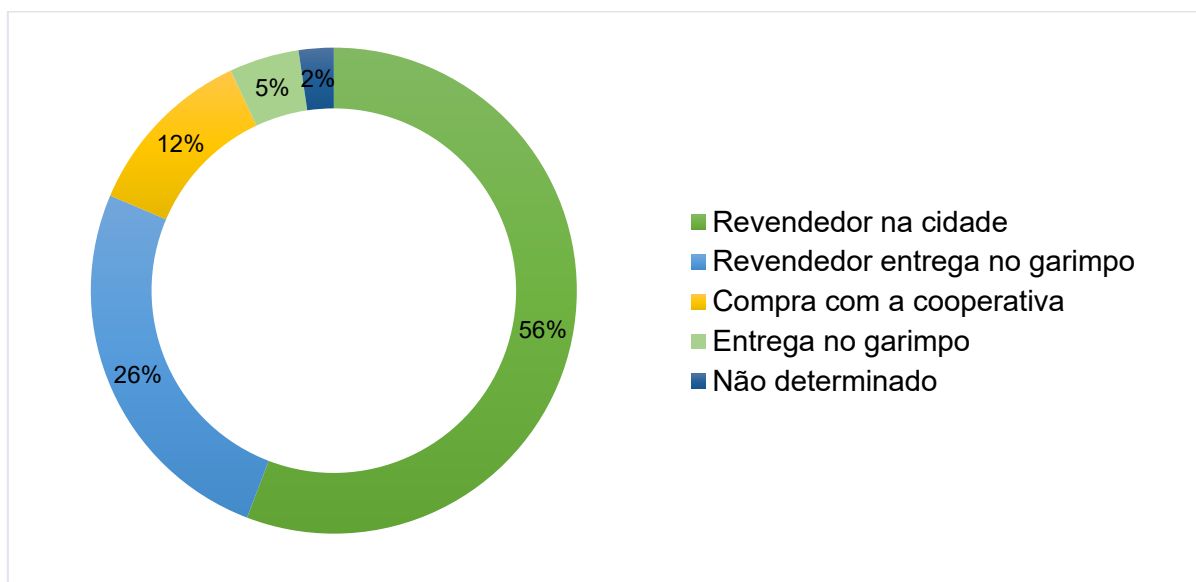
Fonte: Elaborado pelos Autores.

13.2. FONTES DE OFERTA DO MERCÚRIO

Em relação às fontes de oferta do mercúrio, 76% (39) dos 51 afirmaram que a compra do mercúrio se tornou mais difícil nos últimos 3 anos e 24% (12) não perceberam mudança nesse aspecto. A forma que os operadores recebem o mercúrio refletem os desafios na cadeia de comercialização de mercúrio na MAPE de ouro.

Quando questionados sobre os meios de aquisição, os entrevistados apontaram que 56% (24) adquirem por revendedores na cidade, 26% (11) relataram compras com revendedores no garimpo, 12% (5) compram nas cooperativas locais, 5% (2) recebem diretamente no garimpo e apenas 2% (1) não respondeu à pergunta (Figura 63).

Figura 63. Fontes de oferta do mercúrio (n = 51)



Fonte: Elaborado pelos Autores a partir dos dados de campo.

Além dos canais de distribuição do mercúrio mencionados pelos entrevistados, foram observadas trocas e negociações informais de mercúrio entre os próprios operadores. Em diversas localidades, observou-se que os garimpeiros emprestam ou compram pequenas quantidades em gramas de mercúrio. Adicionalmente, os dados indicam que parte do mercúrio provém de países vizinhos do Brasil, tais como França (Guiana Francesa), Guiana, Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia e Paraguai. O Volume II – Diagnóstico da matriz normativa e das políticas públicas do Projeto Ouro sem Mercúrio apresenta a análise completa.

13.2.1. PRÁTICAS BANIDAS PELA CONVENÇÃO DE MINAMATA

A Convenção de Minamata sobre o Mercúrio estabelece a eliminação progressiva de quatro práticas consideradas altamente poluentes no contexto da MAPE de ouro. As práticas proibidas são:

- (i) Amalgamação do minério bruto;
- (ii) Queima a céu aberto de amálgama ou amálgama processado;
- (iii) Queima de amálgama em áreas residenciais; e
- (iv) Lixiviação de cianeto em sedimento, minério bruto ou rejeitos onde o mercúrio tenha sido adicionado sem primeiro remover o mercúrio.

De acordo com Keane et al. (2023), com base na análise de 18 Planos de Ação Nacional (NAP) submetidos por países signatários, a prática mais comumente reportada entre as proibidas é a queima a céu aberto de amálgama, mencionada por 14 dos 18 países. A maioria dos países relatou a queima de amálgama em áreas residenciais, o que coloca os operadores, suas famílias e as comunidades em exposição direta ao vapor de mercúrio. A lixiviação de cianeto de rejeitos ou sedimentos contendo mercúrio foi relatada em 12 dos 18 países. Entre os 6 países restantes, Madagascar e Nigéria relataram explicitamente a ausência dessa prática, enquanto os outros quatro países não forneceram informações. A pior prática menos comum é a amalgamação de todo o minério, relatada por 6 dos 18 países.

Durante as atividades de campo¹⁵ do Projeto Ouro sem Mercúrio, a equipe técnica avaliou a ocorrência dessas práticas nas 43 operações inicialmente visitadas. Além dessas, foram realizadas três¹⁶ visitas adicionais fora das regiões mapeadas. Nessas visitas complementares, foram observadas duas situações de amalgamação de todo o minério e uma ocorrência de lixiviação de cianeto de sedimentos/rejeitos sem a remoção prévia do mercúrio. Ressalta-se que, nessas três visitas adicionais, não foram aplicados questionários técnicos. As informações foram obtidas por meio de observações da equipe técnica e de conversas informais com os garimpeiros.

¹⁵ No período de maio a novembro de 2023.

¹⁶ No período de fevereiro de 2023 e fevereiro de 2025.



A Tabela 13 e Figura 64 apresentam o consolidado das práticas observadas em campo. Das 46 operações, 54% (25) não apresentaram práticas proibidas e 46% (21) apresentavam uma ou duas práticas proibidas pela Convenção de Minamata.

Tabela 13. Práticas proibidas pela Convenção de Minamata (n = 46)

Práticas proibidas pela Convenção de Minamata	Total
Nenhuma das 4 práticas	25
Queima de amálgama a céu aberto	15
Queima de amálgama a céu aberto + queima em áreas residenciais	1
Amalgamação de todo o minério	2
Amalgamação de todo o minério + queima de amálgama a céu aberto	2
Lixiviação de cianeto de rejeitos	1
Total	46

Fonte: Elaborado pelos Autores.

As conversas informais realizadas com os operadores sugerem que essas práticas proibidas não ocorrem de forma isolada, mas tendem a ser recorrentes, o que pode indicar um padrão mais amplo de adoção entre os operadores locais. Um aspecto preocupante observado foi a queima do amálgama a céu aberto sem o uso de retortas (Figura 65; Figura 66) e dentro de residências, em latas de conserva utilizadas como recipientes. Durante as conversas, os operadores justificaram essa prática afirmando não ter acesso a retortas, enquanto outros, mesmo possuindo o equipamento, optam por realizar a queima em suas casas. Nessas situações, foi relatado o uso de fogões a gás domésticos para queima do amálgama.

Em uma das regiões visitadas, foi identificada uma pilha de cianetação para extração de ouro por lixiviação com cianeto, sem a remoção prévia do mercúrio. Segundo os relatos, os donos das operações vendem os rejeitos para terceiros, que lixiviam com cianeto. O uso indevido de cianeto é extremamente perigoso para a saúde humana e o meio ambiente, com riscos de ferimentos graves e até de morte.



Figura 64. Práticas proibidas pela Convenção por operação visitada (n = 46)

	Queima a céu aberto	Cianeto + mercúrio	Queima em áreas residenciais	Amalgamação de todo o minério
Frente de Lavra 1				
Frente de Lavra 2				
Frente de Lavra 3				
Frente de Lavra 4				
Frente de Lavra 5				
Frente de Lavra 6				
Frente de Lavra 7				
Frente de Lavra 8				
Frente de Lavra 9				
Frente de Lavra 10				
Frente de Lavra 11				
Frente de Lavra 12				
Frente de Lavra 13				
Frente de Lavra 14				
Frente de Lavra 15				
Frente de Lavra 16				
Frente de Lavra 17				
Frente de Lavra 18				
Frente de Lavra 19				
Frente de Lavra 20				
Frente de Lavra 21				
Frente de Lavra 22				
Frente de Lavra 23				
Frente de Lavra 24				
Frente de Lavra 25				
Frente de Lavra 26				
Frente de Lavra 27				
Frente de Lavra 28				
Frente de Lavra 29				
Frente de Lavra 30				
Frente de Lavra 31				
Frente de Lavra 32				
Frente de Lavra 33				
Frente de Lavra 34				
Frente de Lavra 35				
Frente de Lavra 36				
Frente de Lavra 37				
Frente de Lavra 38				
Frente de Lavra 39				
Frente de Lavra 40				
Frente de Lavra 41				
Frente de Lavra 42				
Frente de Lavra 43				
Frente de Lavra 44				
Frente de Lavra 45				
Frente de Lavra 46				
	Pior prática reportada		Pior prática não reportada	

Fonte: Elaborado pelos Autores.



Figura 65. Remoção do excesso de mercúrio na filtração antes da queima



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 66. Queima do amálgama sem retorta próximo ao alojamento



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

13.3. PRÁTICAS DE USO DE MERCÚRIO NAS OPERAÇÕES VISITADAS

De acordo com as práticas observadas nas operações visitadas, o amálgama de mercúrio para recuperação de ouro é o método preferido, e sua utilização é generalizada na MAPE de ouro em todas as regiões visitadas pela equipe de campo. Conforme descrito ao longo do relatório, a amalgamação consiste em adicionar mercúrio metálico ao concentrado de ouro, obtendo-se o amálgama que retém o ouro fino e que, posteriormente, após a pirólise, resulta no doré. As observações de campo indicam que, em todas as 43 operações visitadas, houve o uso de mercúrio.

13.3.1. FORMAS DE AMALGAMAÇÃO DO MINÉRIO DE OURO

Durante as campanhas de campo, foram identificadas duas principais formas de aplicação da técnica de amalgamação: (i) amalgamação de concentrados e (ii) amalgamação de todo o minério em placas de cobre. Ambas as práticas, envolvem o uso de mercúrio metálico, porém diferem quanto à quantidade de mercúrio empregada, à eficiência dos processos, e ao potencial de liberação de mercúrio para o meio ambiente.

Amalgamação dos concentrados

Essa técnica consiste na adição de mercúrio somente ao concentrado obtido após a concentração gravítica, com o uso de calhas concentradoras forradas com carpetes. Trata-se da forma mais comum observada em campo, especialmente em regiões que exploram depósitos secundários (eluviais, coluviais e aluviais).

Essa prática é relativamente mais eficiente do ponto de vista do consumo de mercúrio, em média, entre 1 e 3 gramas¹⁷ de mercúrio por grama de ouro produzido. A queima do amálgama para recuperação do ouro pode ser realizada com ou sem o uso de retortas. Após a pré-concentração, o mercúrio é misturado com os concentrados em caixas d'água e a separação do amálgama dos minerais pesados é realizada manualmente com o uso de bateias. Esse processo apresenta uma possível redução do uso de mercúrio, mas ainda passível de contaminação por causa da queima do amálgama a céu aberto e da disposição dos rejeitos amalgamados.

¹⁷ Valores baseados na literatura, conforme apontado por Veiga e Baker (2004).

A Figura 67 ilustra o momento em que os operadores realizam a bateia do material retido na calha concentradora. É comum que o produto (concentrado) das calhas seja misturado por bateia, onde adiciona-se o mercúrio, obtendo-se o amálgama, e posteriormente, a queima deste.

Figura 67. Concentração do material da calha concentradora



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Amalgamação de todo o minério com placas de cobre

A amalgamação de todo o minério consiste na adição direta de mercúrio ao minério bruto em diferentes etapas do processo produtivo. Trata-se de uma prática comum em regiões que exploram depósitos primários de ouro. Esse método requer proporções maiores de mercúrio quando comparada à amalgamação de concentrados. Em alguns casos, dependendo das condições locais ou culturais, a proporção pode variar, entre 10 e 25 gramas de mercúrio para a produção de 1 grama, e até uma proporção de 50:1 quando o minério é rico em prata (UNEP, 2012; YOSHIMURA; SUEMASU; VEIGA, 2021).

Conforme observado em duas regiões, o minério extraído passa pela britagem e moagem em moinhos de martelos. Em seguida, o material moído é direcionado para uma caixa de madeira composta por caneleiras (ou rifles) acopladas sobre placas amalgamadoras de cobre revestidas com mercúrio (Figura 68).

Figura 68. Moinho com placas de cobre cobertas com mercúrio



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

O arranjo das placas captura o ouro fino liberado durante a moagem. As partículas pesadas de ouro tendem a se depositar ao longo das caneleiras e aderir às superfícies amalgamadas das placas (Figura 68). Esse método apresenta baixa eficiência, com recuperação inferior a 30% do ouro presente. Além disso, não é possível recuperar todo o mercúrio adicionado na forma de amálgama. Isso ocorre por conta da oxidação e desintegração do mercúrio no moinho, formando gotículas que se perdem com os rejeitos (“esfarinhamento”). Essas gotas não são capturadas novamente durante a amalgamação, resultando em contaminação do rejeito e elevando as perdas nas frações mais finas.

O amálgama formado nas placas é raspado e levado para nova etapa de amalgamação. As placas são aquecidas com o maçarico para recuperar o ouro, uma vez que nem mesmo a raspagem é capaz de removê-lo totalmente. O material resultante é concentrado na bateia, sendo possível recuperar nesta etapa parte do mercúrio adicionado. Após essa etapa, o amálgama é aquecido com ou sem retortas, utilizando-se um maçarico alimentado com gás GLP, resultando no doré.

As placas de cobre revestidas com mercúrio oxidam ao longo do tempo, formando áreas amareladas. Para remover essa oxidação, os operadores utilizam cianeto de sódio em solução ou em estado sólido, conforme observado na Nicarágua e no Zimbábue (VEIGA et al., 2014). Essa prática é considerada crítica e inadequada por não haver controle da dispersão dos vapores tóxicos, expondo os trabalhadores a elevados níveis de contaminação. Além disso, observou-se que essa atividade ocorria em uma instalação localizada ao lado do alojamento e da cozinha. Em uma das situações registradas, uma pessoa estava sentada em uma cadeira de plástico a aproximadamente um metro de distância, sem o uso de EPIs adequados para prevenir a inalação dos vapores de mercúrio. A gravidade dessa prática é corroborada por evidências científicas que demonstram os impactos da exposição ao mercúrio em ambientes de queima sem controle (GIBB; O'LEARY, 2014).

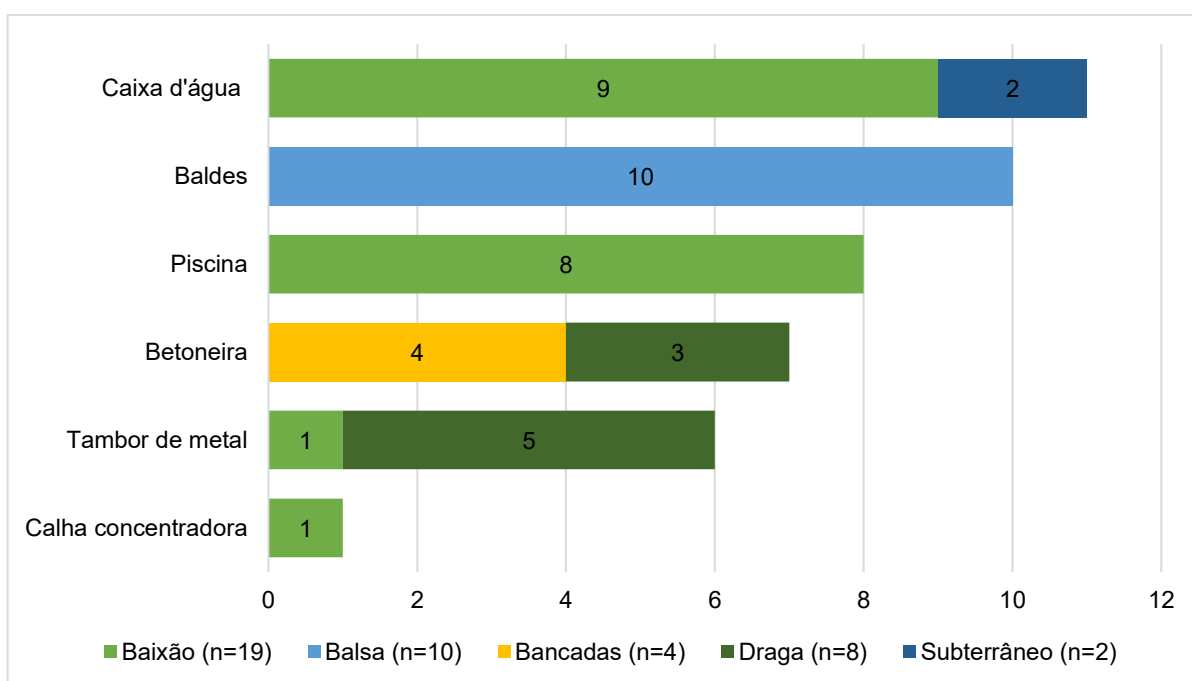
Na mesma região, foi identificada uma pilha de cianetação para extração de ouro via lixiviação com cianetação de minério primário. A estrutura apresentava instabilidade e ausência de contenção adequada, configurando um potencial foco de erosão e percolação de substâncias tóxicas no solo e em águas superficiais. Nessa prática, os garimpeiros utilizam rejeitos das atividades subterrâneas, contaminados ou não com mercúrio para lixiviar o ouro residual com cianeto. Isso, como mencionado acima, pode causar problemas ambientais significativos devido à formação de complexos de mercúrio-cianeto e ao gerenciamento inadequado dos rejeitos da cianetação.

O mercúrio forma complexos de cianeto, que ficam retidos nos rejeitos e são mais poluentes para a biota aquática do que o mercúrio metálico. A falta de controle e monitoramento pode resultar no “abandono de bacias de cianetação” sem medidas de contenção ou reabilitação, permitindo que águas contaminadas se dispersem com as chuvas. Quando esses complexos atingem corpos d'água, podem se bioacumular em peixes, e o consumo desses peixes contaminados por humanos pode causar intoxicação por mercúrio.

13.3.2. TIPOS DE EQUIPAMENTOS PARA CONCENTRAÇÃO DO AMÁLGAMA

Em relação aos tipos de equipamentos utilizados nas operações visitadas para fazer a concentração do amálgama, foram observados seis tipos de práticas: caixas d'água, piscinas de fibra, betoneiras, tambores metálicos, e em um caso, a própria calha concentradora (Figura 69; Figura 70). Independente do equipamento utilizado, os operadores utilizam à bateia para homogeneização do amálgama e para separação das partículas mais densas.

Figura 69. Equipamentos para concentração do amálgama (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

No processo de amalgamação, os operadores utilizam a bateia para a obtenção do amálgama. O bateamento é uma técnica rudimentar que consiste na mistura do mercúrio com o ouro de forma manual. Nas operações realizadas em balsas no leito dos rios, a amalgamação geralmente ocorre dentro de baldes plásticos. Os garimpeiros limpam os carpetes das calhas dentro dos baldes e no fundo ficam os sedimentos pesado, posteriormente, com o auxílio de bateias fazem o processo de homogeneização com o mercúrio metálico para formação do amálgama.

As betoneiras foram identificadas nas operações de lavra em bancadas e nas dragas de leito de rio, com diferenças na forma de uso entre os contextos.

Nas operações de lavra em bancadas, o concentrado é colocado em betoneiras, onde fica em agitação contínua por 40 minutos com adição de mercúrio. Esse processo promove o contato entre o mercúrio e o ouro presente no concentrado. Ao final do processo, o material passa por uma lavagem, e é despejado em um concentrador de canaletas, popularmente conhecido como “bica”, a fim de se reduzir ainda mais o volume do concentrado. O rejeito gerado nessa etapa fica armazenado em um poço impermeabilizado de contenção. O material pré-concentrado é transferido para o tanque de resumo, onde com o auxílio de bateias e a filtração com pano para separação do mercúrio excedente.

Nas operações de dragas no leito dos rios, foi observado o uso de betoneiras e tambores de metal no processo de amalgamação. No caso dos tambores de metal, o concentrado é despejado no tambor com água, onde ocorre o processo de separação por densidade. Nesses casos, a agitação pode ser manual ou mecânica. Uma inovação observada em todas as dragas visitadas foi a forma de realizar a amalgamação, que dura em média 40 minutos. Nesta etapa, a mistura é feita com uma haste conectada a um motor elétrico que possui uma pequena pá em sua ponta. Após a mistura no tambor, o material é bateado com bateia e filtrado em pano.

A equipe de campo identificou um método alternativo de amalgamação em que o bateamento do concentrado ocorre dentro da calha concentradora, com a adição de mercúrio. Essa prática difere das abordagens observadas em outras visitas de campo, pois o mercúrio não é aplicado em todo o minério, mas diretamente no material concentrado retido na calha. Nesse caso, o processo inicia-se com a remoção dos carpetes da calha concentradora. Em seguida, os garimpeiros colocam uma barreira improvisada dentro da calha para evitar que o concentrado seja levado pelo fluxo d'água. Com essa barreira, os operadores batem os carpetes com água sobre a calha e adicionam o mercúrio. A principal preocupação com esses métodos é a falta de um ambiente controlado. A adição de mercúrio diretamente na calha pode resultar na dispersão de pequenas quantidades do metal no solo e na água, especialmente se não houver medidas de contenção, como observado. Além disso, resquícios de mercúrio podem permanecer na calha, sendo arrastados para os rejeitos.



Figura 70. Equipamentos para concentração do amálgama



Fotos: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).



13.3.3. LOCAL ONDE É FEITA A AMALGAMAÇÃO

A Tabela 14 apresenta os diferentes ambientes observados para amalgamação. A escolha do ambiente ocorre de acordo com o tipo de lavra, da experiência local e da infraestrutura disponível. Nas operações em balsas e dragas, é comum que a amalgamação ocorra a bordo. É frequente, no caso das balsas, que a prática seja realizada às margens do rio. Em operações de baixão, foram identificados tanques de cimento, que, apesar de improvisado, ajudam a conter a infiltração de contaminantes no solo e na água. Há situações mais críticas, identificadas pela equipe de campo, como o uso de poços escavados diretamente na terra, sem qualquer controle sobre a dispersão do mercúrio.

Tabela 14. Locais onde é feita a amalgamação (n = 43)

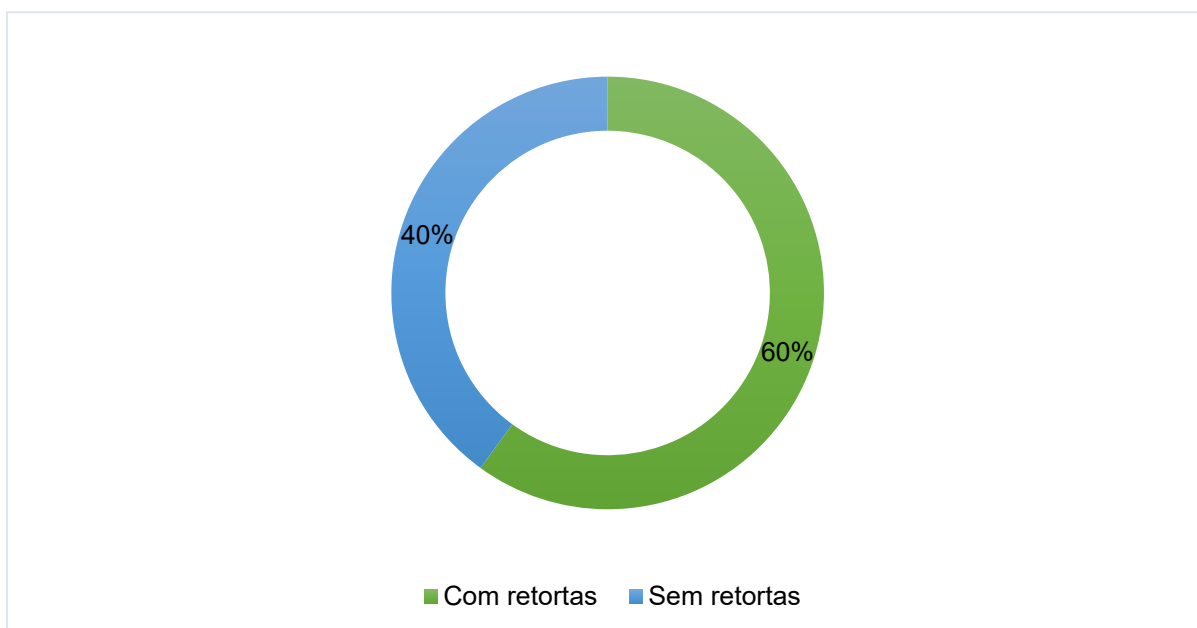
Local onde é feita a amalgamação	Total de operações
A bordo da draga	8
Áreas próximas da extração	8
Central de amalgamação	8
A bordo da balsa	5
Na beira do rio	4
Tanque de cimento	3
Área dos moinhos	2
Na própria residência	2
Área alagada	2
Poço improvisado escavado na terra	1
Total	43

Fonte: Elaborado pelos Autores.

13.3.4. MÉTODO PARA QUEIMA DO AMÁLGAMA

Com relação a queima do amálgama, das 43 operações visitadas, 60% (26) queimam o amálgama com o uso de retortas e 40% (17) queimam o amálgama a céu aberto (Figura 71).

Figura 71. Método para queima do amálgama (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

A Figura 72 apresenta os diferentes tipos de retortas observadas durante as visitas de campo. Em uma das visitas de campo, foi identificado o uso de um dispositivo improvisado para queima do amálgama, com função semelhante à de uma retorta. O equipamento é feito com componentes metálicos adaptados, incluindo um tubo condensador rudimentar. Chamou a atenção o fato de que pequenas gotículas de mercúrio metálico eram visíveis a olho sobre a superfície do equipamento e no chão. Outro aspecto observado foi a presença de uma abertura no piso, localizada abaixo da estrutura de queima do amálgama, possivelmente um poço raso ou reservatório contendo água para atuar como condensador. Essa prática é um potencial risco ambiental, sobretudo considerando a possibilidade de escoamento do mercúrio metálico para o solo e a falta de práticas de manejo seguro do mercúrio.



Figura 72. Retortas identificadas nas visitas de campo

Poconé, Mato Grosso



Distrito de Lourenço, Amapá



Poconé, Mato Grosso



Tucumã, Pará



Porto Velho, Rondônia



Creporizão, Pará



Fotos: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

No contexto do Projeto Ouro sem Mercúrio, a adoção e o manuseio das retortas representam desafios na MAPE de ouro no Brasil (Figura 73). As interações entre a equipe de campo, donos de operações e os garimpeiros, surgiram pontos para reflexão sobre os desafios da adoção das retortas.

Figura 73. Desafios observados em campo para adoção de retortas

Desafio 1	Desafio 2	Desafio 3
Percepção de alto custo	Baixa percepção dos riscos à saúde	Ausência de treinamento e suporte técnico

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Percepção de alto custo para adquirir retortas

Existe uma percepção entre os operadores de alto custo para adquirir retortas. No entanto, uma retorta custa entre R\$ 400,00 e R\$ 1.700,00 e o quilo do mercúrio no Pará varia entre R\$ 1.200,00 e R\$ 3.000,00. O uso de retortas permite recuperar até 95% do mercúrio, reduzindo a necessidade de compra do metal. Se o operador compra 1 kg de mercúrio por mês a um custo médio de R\$ 2.000,00, uma retorta de R\$ 1.000,00 se pagaria em poucas semanas, e possui vida útil prolongada, desde que receba manutenção adequada. Nas lojas de garimpeiros em Creporizão e em Itaituba, no Pará, as retortas estão facilmente disponíveis para compra.

Baixa percepção dos riscos à saúde

Durante as visitas de campo, era comum escutar **“eu sempre fiz assim e estou vivo”** Esse comportamento foi exemplificado em três situações. Em todas elas, os operadores responsáveis pela queima do amálgama utilizaram a retorta corretamente e o processo de decomposição térmica, durou entre 30 e 40 minutos.

Após a retirada do ouro doré, o operador (dono da operação) realizou uma nova queima rápida com o maçarico a céu aberto dentro de um pequeno galpão fechado, sem máscara para “limpar” o metal, expondo-se aos vapores tóxicos. Em outra situação observada, um operador seguiu o mesmo procedimento, sem máscara. Enquanto o outro, apesar de utilizar máscara (Respirador 3m 6300) para proteção química, executou o processo pós decomposição com maçarico a céu aberto.

Em algumas localidades a queima a céu aberto é uma prática comum. Nesses locais, percebeu-se que essa prática é mantida por hábito e resistência a mudanças. A literatura corrobora essa percepção, indicando que os operadores da MAPE de ouro desconhecem ou não acreditam nos riscos à saúde causados pela inalação dos vapores de mercúrio, o que reduz sua motivação para adotar a prática de retortagem.

Ausência de treinamento e suporte técnico

Em diversas operações visitadas, especialmente no Tapajós (Pará), observou-se a falta de orientação técnica e manutenção tem levado ao abandono do uso de retortas. Quando algum componente apresenta defeito ou há dúvida quanto ao uso, os operadores retornam à queima à céu aberto, por considerarem o método mais rápido e eficiente. Esse procedimento inadequado expõe os operadores e vizinhos a vapores tóxicos e ainda libera mercúrio para outras partes do ambiente.

13.3.5. PRÁTICAS DE FUNDIÇÃO DE OURO NOS GARIMPOS

Após a queima do amálgama, a fundição do ouro pode ser realizada na própria operação ou em outros locais. Os dados indicam que, 79% (34) das operações não realizam a fundição no local. Nesses casos, levam o ouro doré para fundição em postos de compra de ouro próximos das operações. E o restante, 21% (9) realiza a fundição na operação. Entre os que realizam a fundição no local, foram identificadas diferentes práticas ao controle de gases liberados pela evaporação do mercúrio: 5 operações utilizam capelas com proteção para captura dos vapores, 2 operações fazem a fundição sem proteção e 2 operações não utilizam capelas de exaustão.

13.3.6. PRÁTICAS DE FUNDIÇÃO DE OURO NOS POSTOS DE COMPRA

Durante as atividades de campo, foram visitados postos de compra de ouro em 11 localidades: 6 no Pará, 3 no Amapá, 2 no Mato Grosso e 1. A análise dos dados é apresentada no Volume VI – Diagnóstico dos aspectos econômicos do Projeto Ouro sem Mercúrio. Com relação aos procedimentos técnicos e nas condições de segurança observadas são descritas algumas características (Figura 74).

Figura 74. Estrutura de uma capela um posto de compra de ouro



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

O equipamento mais utilizado para fundição de ouro é o cadinho de joalheiro, devido à sua resistência mecânica, diversidade de tamanhos, portabilidade e baixo custo. Além do cadinho, foram observados conjuntos de maçaricos alimentados por gás GLP, mangueiras de borracha e produtos usados para escorificação, tais como bórax, carbonato de sódio, nitrato de sódio e cloreto de sódio. A fundição de ouro envolve procedimentos que demandam atenção às condições de segurança ocupacional e ambiental. Nas operações visitadas, os operadores utilizavam óculos de proteção para soldagem e máscaras com filtros para evitar a inalação de gases e vapores. Em instalações com melhores estruturas, o mercúrio é condensado em tanques de armazenamento próprios ou sistemas improvisados para contenção.

13.3.7. CENTRAIS PARA AMALGAMAÇÃO E REJEITOS DE AMALGAMAÇÃO

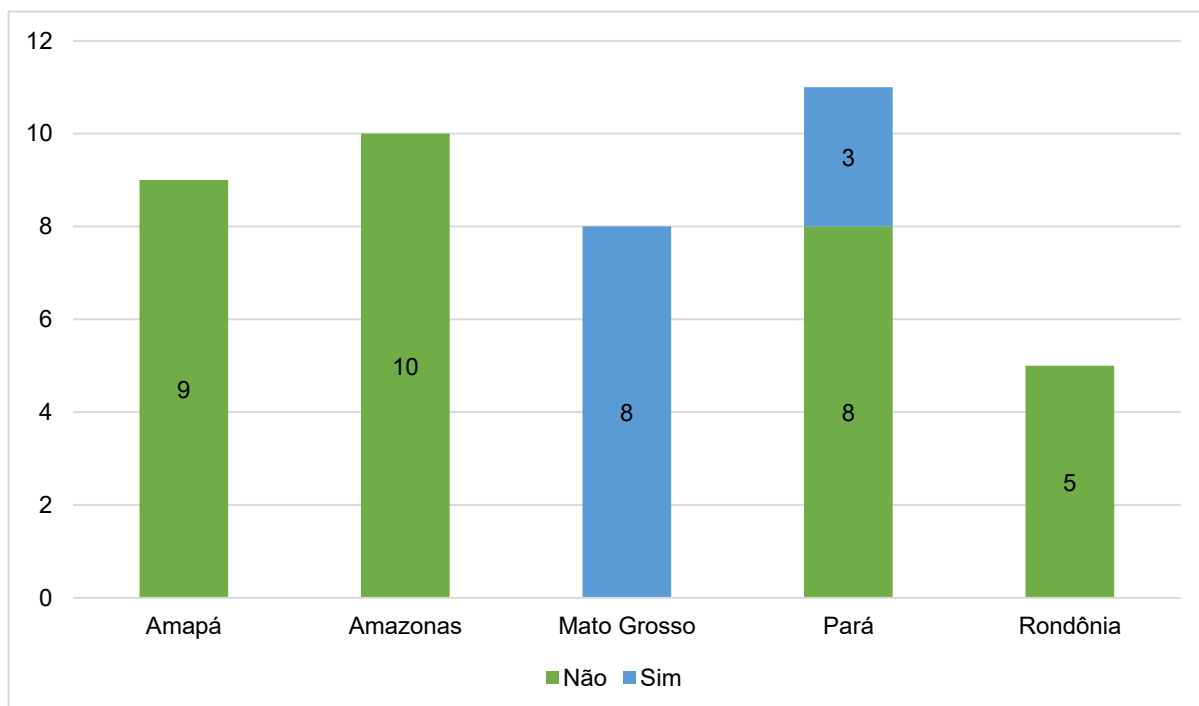
As centrais de amalgamação são instalações coletivas destinadas ao processo de amalgamação para a recuperação do ouro. Essa prática surgiu na década de 1990 como uma alternativa para operadores que não possuíam acesso a equipamentos próprios de britagem, moagem, concentração e amalgamação. Nessas instalações, os operadores levam os minérios para serem processados e pagam uma taxa proporcional ao minério processado. Esse modelo é popular no Equador, Indonésia, Colômbia, Peru e Nicarágua. Porém, estudos apontam que apesar de ser uma solução prática, as centrais utilizam métodos ineficientes com baixa recuperação de ouro e descarte inadequado de rejeitos contendo mercúrio (VEIGA et al., 2014; GONÇALVES et al., 2017).

No Brasil, o estado de Mato Grosso condiciona a licença de operação dos garimpos à construção de espaços específicos para as etapas de manipulação do mercúrio, incluindo a decomposição térmica do amálgama. Esses locais são denominados “centrais de amalgamação”. Entre as exigências, as estruturas devem ser construídas em locais apropriados, no mínimo a 100 metros de distância de corpos d’água, represas e áreas alagadas, com tambores amalgamadores e tanques para concentração de rejeitos amalgamados. É importante enfatizar que as cooperativas exercem papel relevante na consolidação desse tipo de prática. Apesar dos benefícios, essa prática ainda é incipiente em outras regiões dentro do bioma Amazônia.

Durante as visitas realizadas no âmbito do Projeto Ouro sem Mercúrio, essa prática foi observada (Figura 75). Cerca de 77% (32) das 43 operações não utilizam dessa prática e 23% (11) fazem uso. Entre as localidades que possuem essa estrutura, 4 estão localizadas em Poconé, 4 em Peixoto de Azevedo, 1 em Novo Progresso, 1 em Morais de Almeida e 1 em Tucumã. Nesses casos, a equipe de campo identificou diferenças quanto à infraestrutura, disposição dos tanques e sistemas de contenção (Figura 76 a Figura 81).



Figura 75. Estado com centrais para amalgamação (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Nas instalações de Poconé (Mato Grosso), a equipe de campo observou ambientes amplos e bem ventilados, com infraestrutura adequada para o controle de vapores e tanques para amalgamação. Nessas operações, o concentrado é colocado em betoneiras, onde fica em agitação por 40 minutos em contato com o mercúrio, permitindo a separação do ouro do restante dos minerais de ganga. O rejeito amalgamado gerado nessa etapa fica armazenado em uma piscina de concreto sob o solo ou em um poço escavado no solo, que são posteriormente recolhidos e enviados para a central de tratamento.

Em outra operação observada em Poconé, o rejeito amalgamado é empilhado e reprocessado em um circuito de moinho de bolas e centrífuga. O material mais denso é coletado e reinserido no processo de amalgamação, enquanto a fração leve é descartada em uma piscina impermeabilizada com lona em um galpão, cuja superfície da água fica exposta. Em uma das operações, observou-se que ao final do processo, o material passa por uma lavagem, e, em seguida, é despejado em um tambor amalgamador com uma pequena calha com canaletas, a fim de reduzir ainda mais o volume do concentrado.

Em Peixoto de Azevedo (Mato Grosso), foram observadas boas práticas de infraestrutura para centrais de amalgamação. As instalações estão localizadas afastadas das frentes de extração e são cercadas para controle de acesso. Nas operações visitadas, as centrais dispõem de tanques de concreto sob o solo em área fechada, nos quais os rejeitos amalgamados ficam dentro dos tanques. O rejeito é coletado e reprocessado anualmente.

No Pará, foram observadas práticas similares. Em Morais de Almeida, a central de amalgamação funciona em um espaço fechado, com um tanque construído a partir do corte e cimentação de uma bombona plástica. A abertura do tanque está nivelada com a superfície do chão, sem elevação, o que facilita o manuseio do material. Em Tucumã, foi identificada uma estrutura rudimentar, semelhante a uma piscina de cimento construída no solo, onde o bateamento para recuperação do ouro ocorre em seu interior e o rejeito amalgamado fica dentro.

A disposição dos rejeitos amalgamados nas balsas e dragas segue uma lógica diferente das operações a céu aberto. Nas balsas, o material remanescente da amalgamação é jogado novamente ao início da calha concentradora para nova tentativa de recuperação. Por outro lado, em alguns casos, foi observada a realização da amalgamação nas margens do rio, fora das estruturadas das balsas. Nesses contextos, não foi possível verificar se os operadores descartam os rejeitos no curso d'água ou se os devolvem as calhas concentradoras para reaproveitamento.

Nas dragas, os rejeitos amalgamados são processados no segundo andar, e a parte carregada pela água retorna para a calha concentradora para nova tentativa de processamento. Em garimpos de baixão, foram observadas diferentes soluções para conter contaminantes dos rejeitos amalgamados, incluindo tanques de cimento e piscinas de fibra. No Amapá, é comum que os operadores que realizam a amalgamação de todo o minério utilizem uma instalação denominada “casa dos moinhos” compartilhada e equipada com 3 ou 4 moinhos. Os resíduos gerados pelos moinhos são descartados em uma área de rejeitos. Os garimpeiros fazem a amalgamação dentro de caixas d'água, onde os rejeitos amalgamados ficam dentro e, posteriormente, são reprocessados.



Figura 76. Central de amalgamação



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 77. Estrutura interna de uma central de amalgamação



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).



Figura 78. Central de amalgamação



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 79. Estrutura interna de uma central de amalgamação



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).



Figura 80. Central de amalgamação com piscina de fibra



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 81. Exemplo de poço com cimento para amalgamação



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

14. ASPECTOS DE SAÚDE E SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES VISITADAS

Este capítulo apresenta as observações sobre os aspectos de saúde e segurança ocupacional nas 43 operações visitadas. A literatura define saúde e segurança ocupacional como a ciência da antecipação para reconhecer, avaliar e controlar perigos decorrentes do local de trabalho que interferir na saúde e no bem-estar das pessoas (JILCHA; KITAW, 2017).

A indústria extrativa é uma atividade de alto potencial para a ocorrência de acidentes, exigindo medidas de controle e mitigação. Esse cenário é mais desafiador no contexto da MAPE de ouro. Este tipo de configuração de mineração é frequentemente conduzido em condições precárias, com baixa tecnologia e falta de infraestrutura básica. A ausência de requisitos de segurança, como o uso de equipamentos adequados, identificação de riscos, educação e treinamento, além da adesão aos padrões de saúde e segurança, resulta em altas taxas de ferimentos e expõe os trabalhadores a perigos constantes. A ILO estima que operadores do setor têm de 6 a 7 vezes mais probabilidades de sofrer acidentes do que os funcionários da mineração convencional (ILO, 1999; ILO, 2015).

Os autores Montenegro e Santana (2010) comentam que o trabalhador será mais receptível ao EPI quando este for prático, oferecer proteção adequada, for de fácil manutenção, resistente e durável. Segundo os autores, a eficácia desses equipamentos não depende apenas de sua disponibilização, mas do estabelecimento de uma cultura de segurança, visando à redução de riscos e à promoção de um ambiente laboral mais seguro (ABRAHÃO; PINHO, 2001). Essa realidade reforça a dupla face da MAPE de ouro. Por um lado, é uma atividade que gera oportunidades socioeconômicas. Por outro lado, envolve potenciais riscos à saúde dos operadores e afasta-se do que é previsto pelas normas.

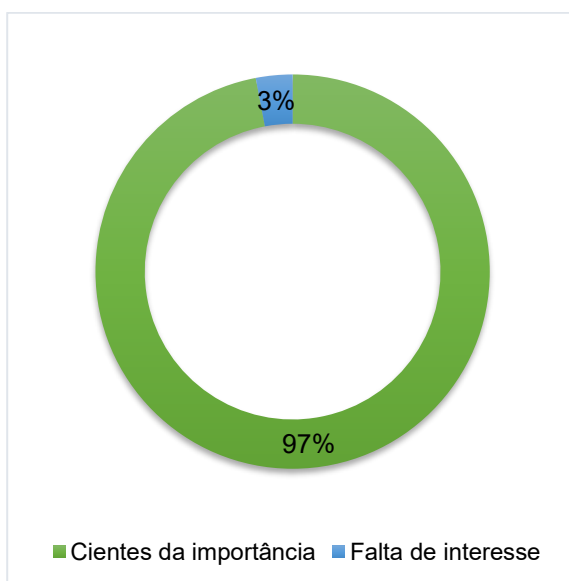
Dessa forma, é fundamental que, junto com a adoção de novas tecnologias para extração e processamento de ouro livre de mercúrio e a reorganização dos processos produtivos, seja implementada uma cultura organizacional renovada que priorize as condições de saúde e segurança nas áreas de garimpo.

14.1. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPIS)

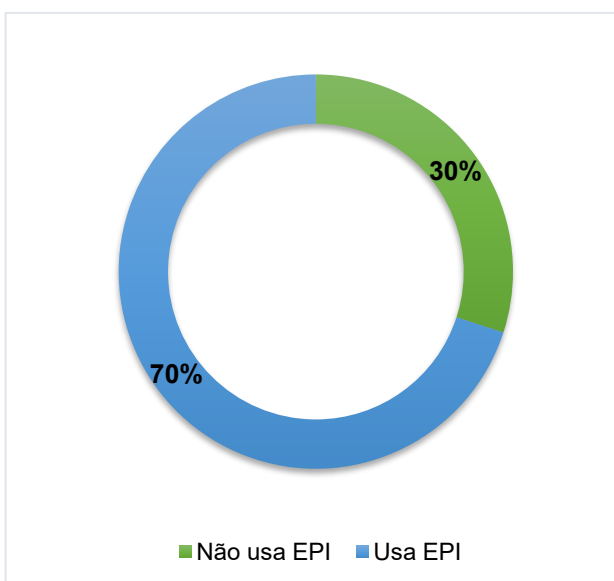
Foram entrevistadas 1.051 pessoas que trabalham diretamente em diversos garimpos, com foco em aspectos relacionados à segurança no trabalho e o uso de EPIs. Sobre a ocorrência de acidentes de trabalho, 83% (873) dos entrevistados afirmaram não ter sofrido acidentes e 17% (178) relataram já ter passado por algum tipo de acidente de trabalho.

Quanto à consciência sobre o uso de EPIs, 97% (1.022) das pessoas entrevistadas declararam estar cientes da importância desses equipamentos e 3% (29) demonstraram falta de interesse pelo tema (Figura 82). Os resultados das observações realizadas pela equipe técnica indicam que, nas 43 operações visitadas garimpos, em 72% (31) dos casos os garimpeiros que trabalham nas operações utilizam algum tipo de EPI e 28% (28) não foi observado o uso de EPIs (Figura 83).

**Figura 82. Importância dos EPIs
(n = 1051 entrevistados)**



**Figura 83. Frequência de uso de EPI
(n = 43)**



Fonte: Elaborado pelos Autores.

A Tabela 15 apresenta a classificação do uso de EPIs nas operações visitadas. Os dados foram organizados em quatro classificações: Sem Uso, Baixo,



parcial e Alto. Conforme observado, a categoria “Sem Uso” representa 28% (12) onde não foi observado o uso de nenhum tipo de EPI. O maior número de operações visitadas, foi classificada na categoria “Baixo” com 42% (18) sendo o uso de apenas um tipo de equipamento. Enquanto, o uso “Parcial” foi observado em 28% (12) com dois ou três equipamentos de proteção. Apenas uma operação foi classificada como “Alto”, em que os operadores utilizavam quatro ou mais EPIs.

Tabela 15. Classificação do uso de EPI

Classificação	Descrição	Combinação do uso	% de uso	Nº de operações
Sem uso	Nenhum EPI	-	28%	12
Baixo	Apenas 1 EPI	• Botas/calçado adequado • Proteção auricular	42%	18
Parcial	2 ou 3 EPI	• Botas/calçado adequado • Capacete • Luvas	28%	12
Alto	4 ou mais EPI	• Botas/calçado adequado • Capacete • Luvas • Proteção auricular • Cinta reflexiva, • Óculos de proteção	2%	1
Total			100%	43

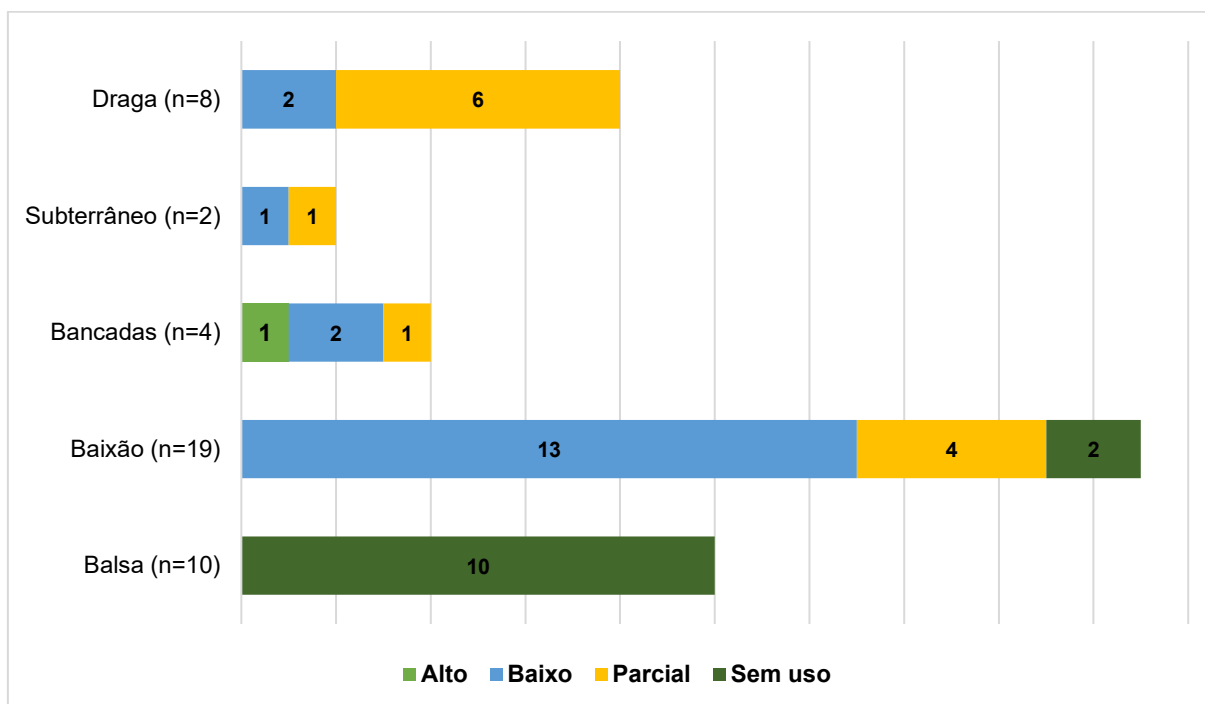
Nota: -: Sem registro

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Os dados refletem, o risco intrínseco da MAPE de ouro, que envolve a exposição a mercúrio e precariedade das condições de trabalho e os múltiplos riscos ocupacionais associados nessa atividade. A Figura 84 ilustra a distribuição da frequência de uso de EPI por grupo de operações e a Figura 85 por estado.

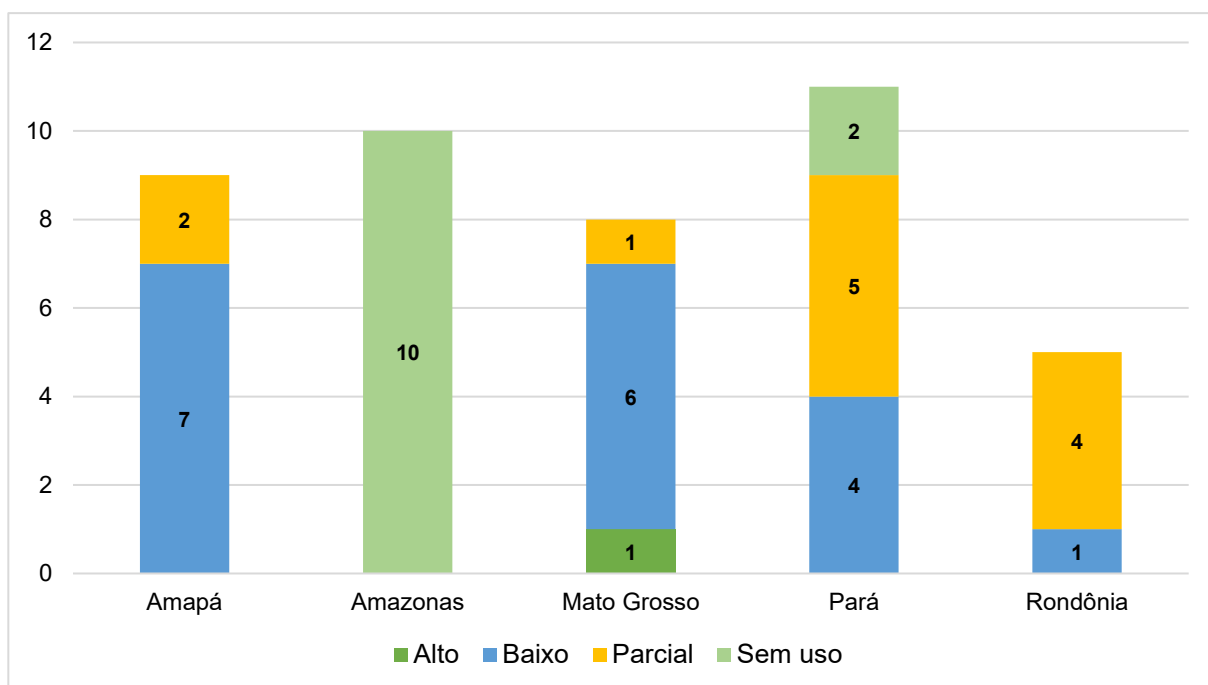


Figura 84. Frequência de uso de EPIs por grupo de operações (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 85. Frequência de uso de EPIs por estado (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

A Norma Regulamentadora 06 (NR-06) estabelece diretrizes para o uso de EPIs em todos os setores laborais. A Norma define EPI como todo equipamento utilizado pelo trabalhador, composto por vários dispositivos que o fabricante tenha integrado para protegê-lo contra um ou mais riscos ocupacionais existentes no ambiente de trabalho. Na mineração, a Norma Regulamentadora (NR-22) define parâmetros para o planejamento e o desenvolvimento do setor mineral, com foco na segurança e saúde dos trabalhadores. Dentre os aspectos mais relevantes da NR-22, destacam-se a definição de deveres para empregadores e trabalhadores (Tabela 16).

Tabela 16. Deveres para empregadores e trabalhadores

Obrigações dos empregadores	Responsabilidades do trabalhador
▪ zelar pelo cumprimento da Norma; ▪ designar os responsáveis técnicos; e ▪ interromper todo e qualquer tipo de atividade que exponha os trabalhadores a condições de risco para sua saúde e segurança.	▪ interromper suas tarefas sempre que constatar evidências de riscos graves e iminentes ou de terceiros; ▪ comunicarem ao superior hierárquico as situações que considerar representar risco para sua segurança e saúde ou de terceiros.

Fonte: NR-22.

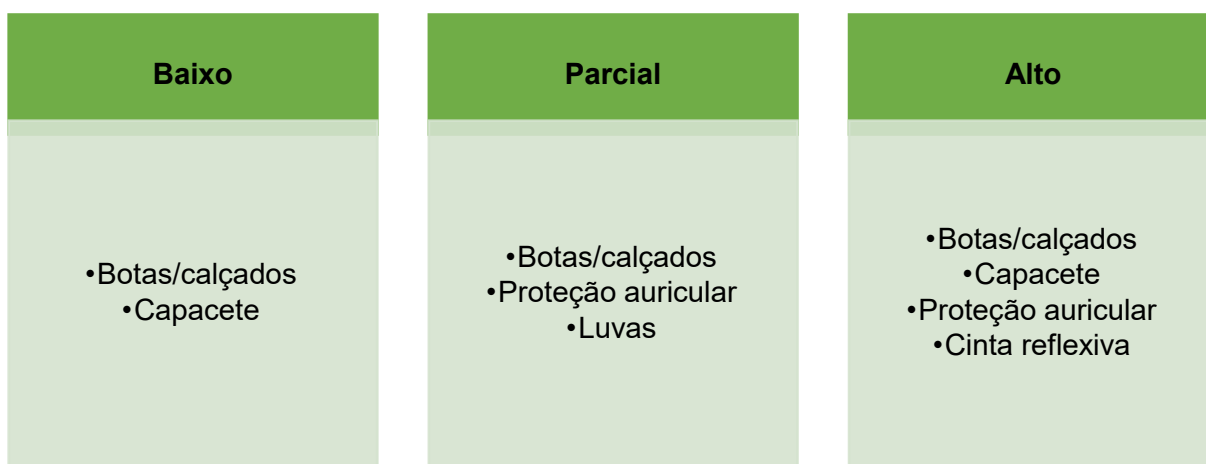
A obrigatoriedade da elaboração do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) e a criação da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes do Trabalho na Mineração (CIPAMIN) são exigências da NR-22, na qual devem constar ações para eliminar ou controlar tais riscos. Essa norma se aplica a garimpos que operam sob PLG's. Embora a NR-22 inclua a MAPE de ouro, os resultados apresentados nesse capítulo mostram um descompasso entre as condições exigidas pelas normas regulatórias e a realidade operacional no dia a dia dessa atividade. Durante as visitas de campo, as conversas entre a equipe técnica e os garimpeiros revelaram que uma parcela dos acidentes de trabalho ocorre devido à não utilização de EPIs.

Os dados primários levantados em campo mostram que a maior concentração de operações de MAPE de ouro onde os trabalhadores não utilizam qualquer EPI foi registrada em Manicoré (Amazonas). A extração de ouro no Rio Madeira é feita por balsas de pequeno porte para facilitar a mobilidade e a transição entre áreas de extração no leito do rio.

Foi identificado que muitas dessas balsas servem como moradia para os operadores e suas famílias. Essa dinâmica pode contribuir para a diminuição da percepção de risco, levando a baixa adesão ao uso de EPIs adequados, como capacete e protetor auricular. No contexto de dragagem na MAPE de ouro, a partir da Década de 70, essas operações passaram a adotar a técnica “*chupeta com mascareta*”. Esse mecanismo permite que o mergulhador respire pela boca por meio de uma mangueira ou cilindro oxigênio, e usa uma máscara para evitar a entrada de água no nariz e ouvidos. Durante as visitas de campo em Manicoré, dois mergulhadores realizavam esse trabalho de forma precária, sem o uso de equipamento adequado. Nesse caso específico, as balsas não estavam distantes da praia próxima ao rio e a profundidade não era alta. No entanto, essa prática é, de fato, arriscada e expõe os operadores a potenciais riscos de afogamento e outros perigos.

Dos 72% (31) garimpos visitados que usam EPI, a frequência de uso de equipamentos variou em três grupos (Tabela 15; Figura 86 a Figura 90).

Figura 86. Frequência de uso de EPIs



Fonte: Elaborado pelos Autores.

No Amapá, as visitas realizadas nos garimpos do Distrito de Lourenço, mostraram que o uso de EPIs é predominantemente “Baixo” ou “Parcial”. O único EPI utilizado de forma unânime pelos garimpeiros são as botas e em alguns casos o uso conjunto com o capacete. As botas utilizadas são do tipo “galochas de borracha de cano médio ou alto”.

Os capacetes, importantes para proteger a cabeça do usuário contra riscos de quedas de objetos ou impactos, apresentam uso limitado, sobretudo, nos garimpos de baixão. Muitos operadores justificam que os capacetes causam desconforto em dias de calor intenso e optam por substituí-los por bonés ou chapéus sombreiro, mas não protegem adequadamente contra riscos ocupacionais. A equipe de campo registrou “baixo uso” em garimpos de Peixoto de Azevedo no Mato Grosso e em Creporizinho e Moraes de Almeida, no sudoeste do Pará.

No Mato Grosso, um dos principais motivos para o baixo uso de EPIs é o desconforto causado pelas botas (galochas). Esse problema está diretamente relacionado às condições de trabalho nas cavas de baixão, onde os garimpeiros entram em contato direto com a água. Dentro da dinâmica de trabalho no garimpo, há um operador que segura a mangueira de alta pressão de água dentro da cava. Esse buraco pode ter uma profundidade de água que chega até a cintura do trabalhador, e assim, água e pedras entram nas botas, o que torna o equipamento incomodo.

Houve relatos por parte da equipe técnica da COOGAVEPE sobre garimpeiros que romperam parcerias com os donos dos garimpos por se recusarem a usar as botas. Além disso, as observações de campo indicaram que os equipamentos de proteção menos utilizados são luvas, óculos e protetor auricular. Os garimpeiros usam mangas compridas como forma de se proteger do sol, contudo, medidas de proteção para minimizar os riscos de exposição ao mercúrio durante o manuseio são frequentes.

Em Porto Velho (Rondônia), das 5 operações visitadas, 4 tiveram uso “parcial” e um uso “baixo” de EPIs. Diferente do que ocorre em Manicoré (Amazonas), onde as operações são realizadas com pequenas balsas de madeira, os operadores em Porto Velho, as operações de extração são com dragas de grande porte no leito no rio. Um risco identificado é a exposição constante dos motores, que funcionam 24 horas por dia e só param para fazer a despesca do ouro, manutenção ou reuniões para tratar de assuntos específicos entre o time embarcado.

Essa exposição contínua ao ruído fez com que os protetores auriculares se tornassem comuns. Apesar desse detalhe, ressalta-se que, por permanecerem embarcados por dias, muitos operadores acabam se acostumado ao ruído e diminuem o uso dos equipamentos de proteção. Essa prática foi observada e relatada pelos operadores de dragas em Creporizão (Pará).



Em geral, o uso de EPIs ainda não é uma prática consolidada quanto deveria ser, especialmente entre os operadores expostos aos riscos inerentes às atividades desenvolvidas nas frentes de lavra. Os dados de campo indicam que as condições de segurança no local de trabalho estão diretamente ligadas ao tipo de garimpo. Quanto melhores forem as condições ocupacionais e mais rigorosas as medidas obrigatórias, maiores serão as probabilidades de uso de EPIs. Apesar dos desafios observados em campo, há iniciativas para melhorar as condições de trabalho dos garimpeiros.

A Tabela 17 sintetiza as principais iniciativas de cooperativas de garimpos que buscam melhorar as práticas de saúde e segurança nos garimpos em suas regiões de atuação.

Tabela 17. Boas práticas praticadas por organizações nas regiões visitadas

Estado	Localidade	Nome da organização	Boas práticas
Amapá	Distrito de Lourenço	COOGAL	• Engenheiro de minas • Intensificação do uso de EPIs
Amazonas	Manicoré	UEA	• Estudo piloto do projeto Ochroma
Mato Grosso	Poconé	COOPER POCONÉ	• Incentivo as práticas de saúde e segurança
	Peixoto de Azevedo	COOGAVEPE	• Empresa de saúde e segurança • Programa Saúde do Garimpeiro • Campanhas de doação de sangue
Pará	Morais de Almeida	COOPERTRANS FECOGAP	• Distribuição de EPIs para uso obrigatório • Kit saúde bucal • Visitas periódicas nas dragas • Cartilha de meio ambiente e segurança
Rondônia	Porto Velho	COOGARIMA	• Diagnóstico de doenças • Estudo piloto do projeto Ochroma

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Distrito de Lourenço, Amapá

A COOGAL tem uma equipe de campo que fiscaliza as frentes de trabalho. Com esse apoio, tem sido feito uma intensificação e obrigatoriedade do uso de EPI.

Peixoto de Azevedo, Mato Grosso

Em 2024, COOGAVEPE contratou uma empresa de segurança no trabalho para orientar os técnicos de campo quanto ao uso de EPIs. Em 2019, foi lançado o Projeto “Saúde do Trabalhador Garimpeiro” em parceria com a Secretaria de Estado de Saúde. Durante os atendimentos, são realizadas ações preventivas como aferição de pressão arterial, teste de diabetes, vacinação, saúde bucal, com entrega de panfletos explicativos para conscientizar os homens sobre a importância do autocuidado e da prevenção.

Porto Velho, Rondônia

Em Rondônia, a equipe técnica da COOGARIMA realizou vistorias nas dragas para verificar as condições de trabalho dos operadores, distribuir EPIs e esclarecer dúvidas. A cooperativa acompanhou e forneceu suporte logístico em parceria com a equipe da Secretaria Municipal de Saúde de Porto Velho (SEMUSA), para a coleta de sangue com a finalidade de diagnosticar e iniciar o tratamento de diversas doenças. Alguns resultados de exames foram entregues no mesmo dia aos parceiros produtores que aceitaram realizar os exames (HIV, sífilis, hepatite B e C, malária, entre outros). A COOGARIMA apoia o projeto “**Ochroma pyramidale**”, que tem como objetivo estudar as propriedades da folha do pau de balsa em substituição ao uso do mercúrio. Durante o trabalho de campo em Porto Velho, a equipe do projeto acompanhou uma apresentação do projeto na cooperativa.

Morais de Almeida, Pará

A equipe de campo acompanhou duas campanhas de distribuição de EPIs em Novo Progresso e Moraes de Almeida, uma iniciativa foi realizada em parceria entre a COOPERTRANS e a FECOGAP. A liderança da COOPERTRANS iniciou uma campanha de conscientização sobre o uso obrigatório dos EPIs. A ideia de uso obrigatório reforça para os garimpeiros a necessidade de utilizar os equipamentos de proteção. No entanto, ainda há casos em que, na ausência de supervisão, os garimpeiros não utilizam os EPIs ou os removem após o início das atividades por diversos motivos.



Figura 87. Garimpeiro com equipamentos de proteção no Amapá



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 88. Garimpeiro com equipamentos de proteção no Amapá



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).



Figura 89. Garimpeiros com equipamentos de proteção no Pará



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

Figura 90. Organização de botas para uso nas dragas em Rondônia



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

14.2. RISCOS OCUPACIONAIS

Neste subitem são apresentadas as observações sobre riscos operacionais nas 43 operações visitadas. Foram identificados 25 tipos de riscos classificados em riscos físicos, químicos, ergonômicos e de acidentes (Tabela 18). Os dados analisados estão organizados por tipo de operação visitada (baixão, bancadas, subterrâneo, dragas e balsas) e por estado. Assim, os gráficos apresentam a distribuição dos riscos, indicado a quantidade total de ocorrência em cada categoria.

Tabela 18. Riscos operacionais identificados

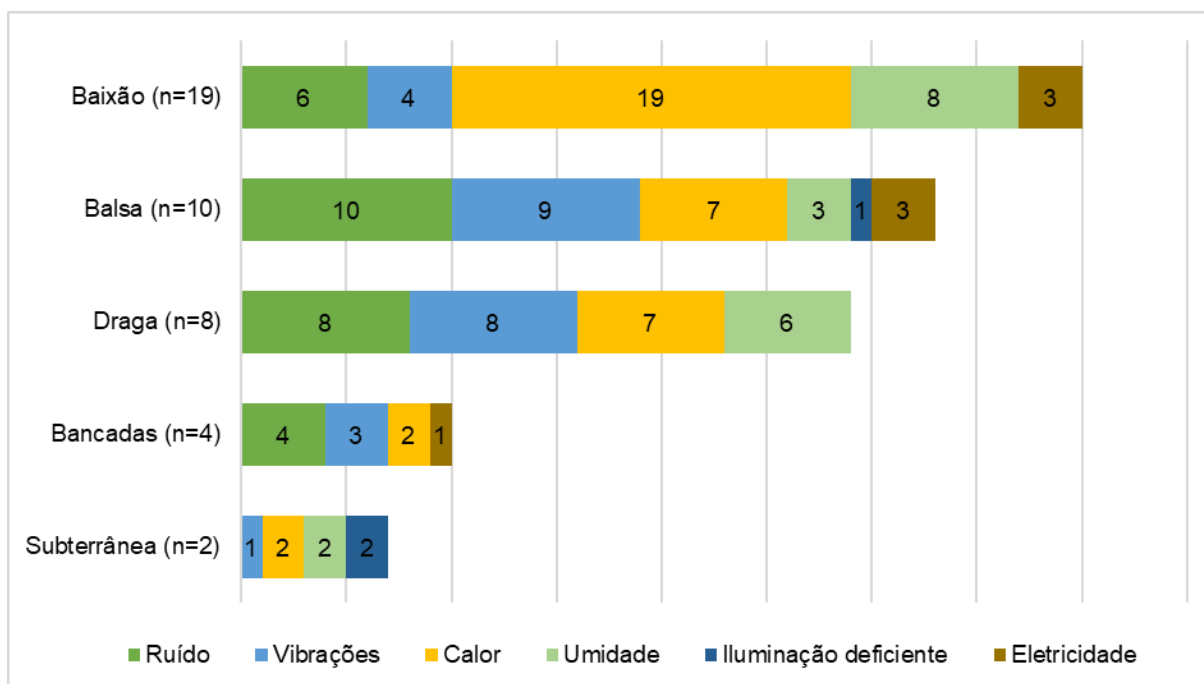
Risco	Descrição	Riscos identificados nas operações visitadas
Físicos	Condições no trabalho que podem causar danos à saúde por meio de exposição contínua ou intensa.	▪ Ruído ▪ Vibrações ▪ Calor ▪ Umidade ▪ Iluminação deficiente ▪ Eletricidade
Químicos	Agentes encontrados no trabalho que podem gerar algum tipo de dano ou desconforto ao trabalhador.	▪ Poeira ▪ Fumos metálicos ▪ Fumaça ▪ Vapores ▪ Produtos Químicos
Ergonômicos	Condições de trabalho que afetam diretamente a saúde e, por consequência, a produtividade do trabalhador.	▪ Esforço físico intenso ▪ Carga excessiva ▪ Ritmo excessivo ▪ Repetitividade ▪ Postura inadequada ▪ Jornada prolongada
Acidentes	Condições de trabalho que pode, eventualmente, levar a um dano ou a uma perda.	▪ Arranjo físico inadequado ▪ Animais pelo local ▪ Isolamento inadequado ▪ Máquinas desprotegidas ▪ Iluminação inadequada ▪ Fontes de energia desprotegidas ▪ Possibilidade de incêndio ▪ Possibilidade de explosão
25 riscos identificados		

Fonte: Elaborado pelos Autores.

14.3. RISCOS FÍSICOS

Em todas as 43 operações visitadas, foram identificados um ou mais tipos de risco físico. Entre os fatores, o calor foi comum, seguido por ruído, vibrações, umidade, eletricidade e iluminação deficiente (Figura 91).

Figura 91. Distribuição dos riscos físicos agrupados por operação (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

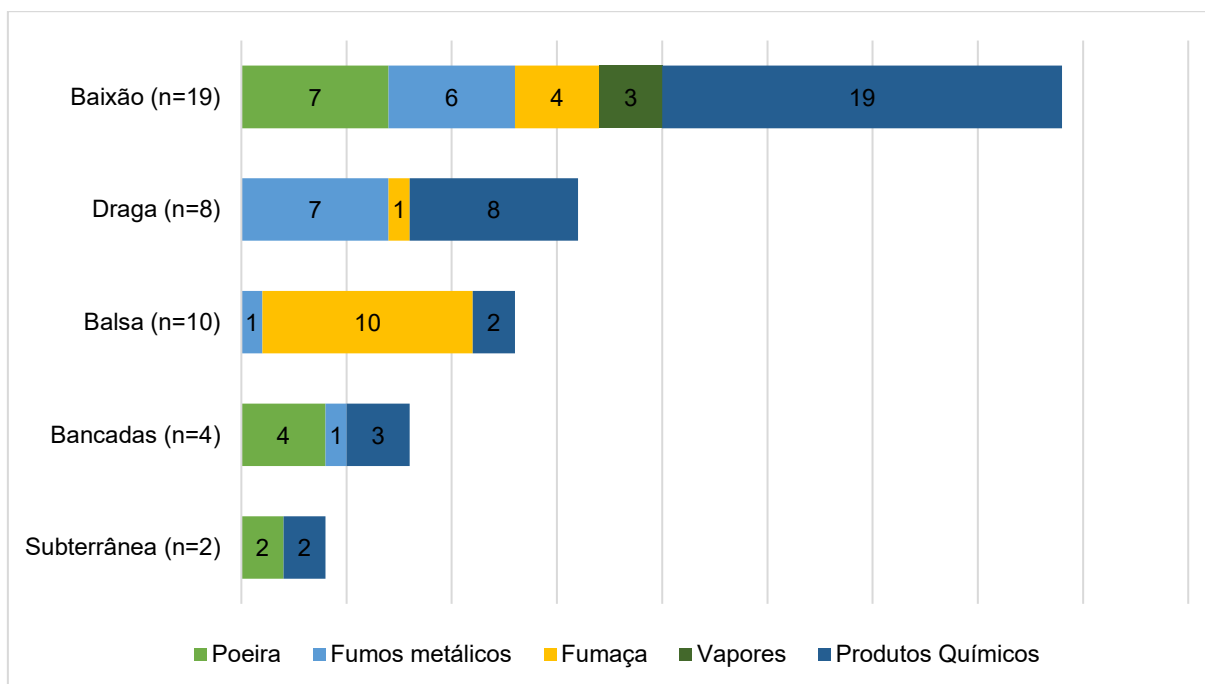
As altas temperaturas representam um dos principais riscos físicos em todas as operações visitadas. No Distrito de Lourenço (Amapá), além das operações de baixão visitadas, a equipe de campo visitou duas minas subterrâneas com ventilação inadequada e excesso de umidade. Em Manicoré (Amazonas) e Creporizão (Pará), foram as regiões com maior concentração de ruídos. As dragas operam 24 horas por dia e as balsas entre 8 e 10 horas por dia, e o barulho constante dos motores das embarcações intensifica a exposição sonora. Estudos específicos são necessários para avaliar os impactos na audição dos trabalhadores.

Riscos elétricos foram observados nos garimpos de baixão no Mato Grosso, Pará, Amazonas e no Amapá. Em algumas operações, verificaram-se equipamentos desprotegidos e instalações elétricas improvisadas, que pode resultar em choques elétricos, queimaduras térmicas e outros acidentes.

14.4. RISCOS QUÍMICOS

A distribuição dos riscos químicos nas operações visitadas, mostra que a poeira, fumos metálicos, fumaça, vapores e produtos químicos são as maiores causas de exposição dos trabalhadores (Figura 92).

Figura 92. Riscos químicos (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

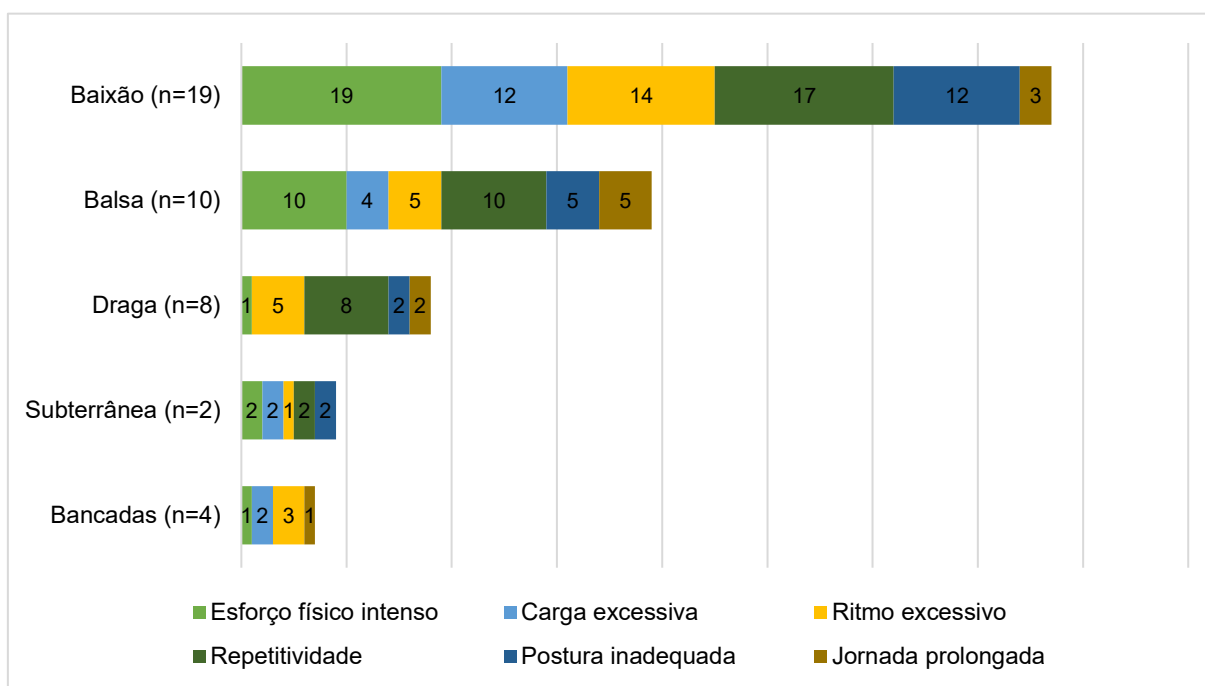
A poeira está associada ao movimento constante de terra e às escavações. Em Poconé (Mato Grosso), por exemplo, as frentes de lavra são em bancadas, e ocorre uma movimentação intensa de carregamento e transporte das rochas provenientes do desmonte realizado. Os fumos metálicos tiveram maior incidência no Creporizão (Pará), Porto Velho (Rondônia) e Manicoré (Amazonas). Nesses locais, a extração é feita por dragas ou balsas. Os fumos de solda são compostos nocivos derivados do processo de soldagem, utilizado durante manutenções em terra ou a bordo das embarcações.

Os fumos de solda representam um risco para a saúde ocupacional, pois podem provocar problemas respiratórios e patológicos. Vapores e produtos químicos foram observados em todas as áreas, devido ao uso do mercúrio para a amalgamação do minério de ouro.

14.5. RISCOS ERGONÔMICOS

Os riscos ergonômicos nos garimpos visitados estão associados à repetitividade de tarefas, esforço físico intenso, posturas inadequadas, carga excessiva e jornadas prolongadas de trabalho (Figura 93). Os dados indicam que a natureza dessa atividade requer força constante e movimentação de materiais pesados.

Figura 93. Riscos ergonômicos (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

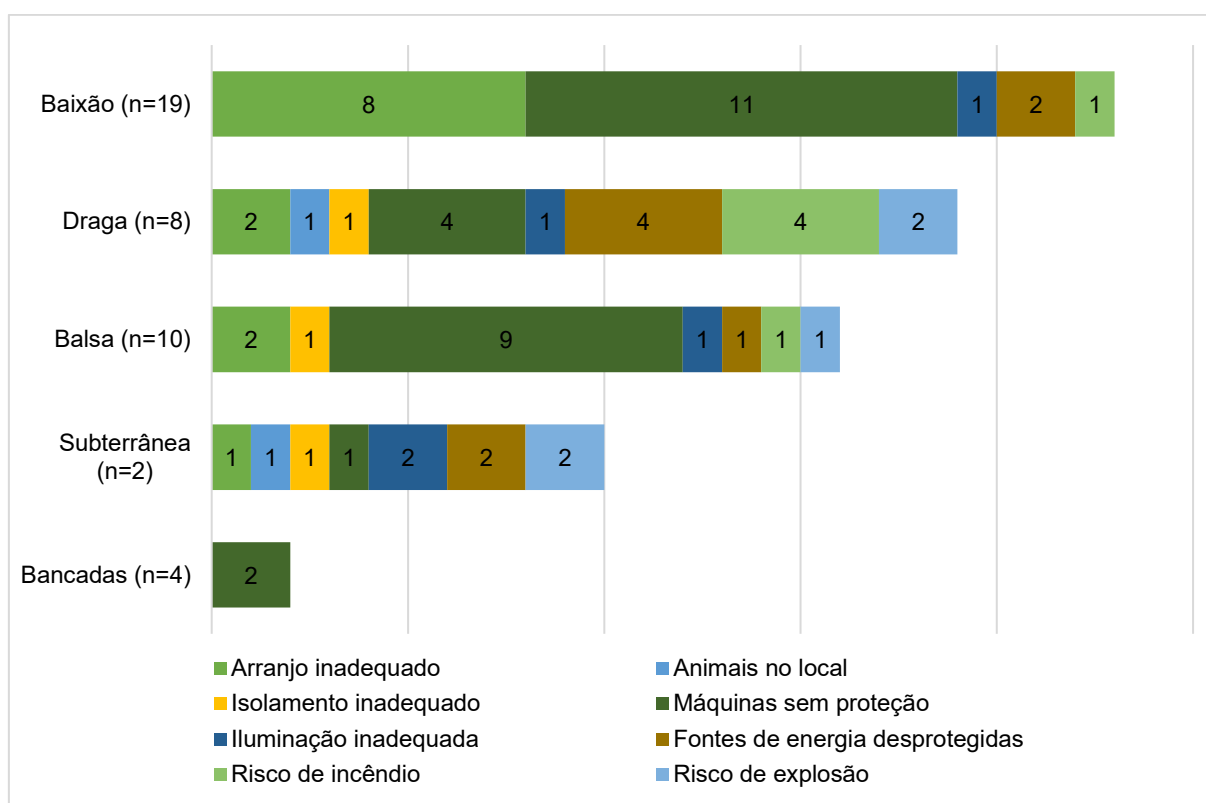
Com relação à carga horária, a jornada de trabalho diária dos atores do Grupo Garimpeiros, 1.051 entrevistados, 33% (345) trabalham 12 horas, 32% (341) trabalham 8 horas/dia, 12% (129) tendo carga horária de 11 horas/dia, 7% trabalham 10 horas/dia, 4% (41) com carga de 6 horas/dia. Os demais 12% (125) tem jornadas de trabalho variadas entre 3 horas e 24 horas. A jornada média de trabalho por dia dos garimpeiros entrevistados, por vezes ultrapassa 8 horas por dia, o que pode causar estresse físico e mental.



14.6. RISCOS DE ACIDENTES

Os riscos de acidente identificados em campo são elevados. Os principais fatores de risco incluem máquinas sem proteção, arranjo físico inadequado, fontes de energia expostas, possibilidade de incêndio e iluminação inadequada (Figura 94). Foi observado que, em algumas dragas, em Porto Velho (Rondônia) e Creporizão (Pará), há melhor organização das máquinas e ferramentas de trabalho, o que contribui com a redução de risco de acidentes ocupacionais.

Figura 94. Riscos de acidentes (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

15. CONDIÇÕES DE ESTRUTURA DAS OPERAÇÕES VISITADAS

Neste capítulo, são apresentadas as observações sobre as estruturas e condições dos 43 garimpos visitados. Os subitens são divididos nos aspectos de organização geral, alojamentos, instalações sanitárias, esgotamento sanitário, gestão de resíduos sólidos, disponibilidade de rádio, cobertura de telefonia celular. Síntese das análises realizadas:

- 77% (33) das frentes de lavras possuem organização simples, 14% (6) organização avançada e 9% (4) organização exemplar;
- 56% dos garimpos possuem algum tipo de alojamento e 44% não possuem alojamentos, pois os trabalhadores não pernoitam no local;
- 79% garimpos possuem instalações sanitárias e 21% (9) não contam com banheiros. Quando analisadas as instalações sanitárias para mulheres, verificou-se que 58% (25) dos garimpos não as possuem e 42% (18) conta com banheiros ou sanitários para mulheres;
- A maioria dos efluentes sanitários é descartada de forma inadequada: 33% são lançados in natura no corpo d'água, 26% em fossas simples e 23% em fossas sépticas. A ausência de instalações sanitárias foi registrada em 14% e 5% descartam os efluentes em valas;
- 60% queimam os resíduos a céu aberto, seguida por segregação e remoção dos resíduos com 21% (9), seguido de 12% descartam direto no corpo d'água, 5% combinação de queima a céu aberto e descarte no corpo d'água e 2% lançados sobre o solo e empilhados.
- 60% das operações possuem rádio e 40% não tem acesso.
- A cobertura de telefonia celular é limitada, com 84% dos garimpos sem sinal. Além disso, 94% dos garimpeiros possuem celulares, e a internet via WiFi é comum.

15.1. NÍVEL DE ORGANIZAÇÃO

O nível de organização das operações visitadas está relacionado ao grau de tecnologia, condições de saúde e segurança dos trabalhadores, adequação ao ordenamento legal e ao conhecimento geológico. Esses fatores impactam diretamente na eficiência da lavra, sustentabilidade e a mitigação dos impactos socioambientais. Com base nas observações feitas nas 43 frentes de lavra visitadas, verificou-se que a organização geral pode ser categorizada em quatro níveis:

- 70% (30) das frentes de lavras possuem organização simples
- 14% (6) organização avançada
- 9% (4) organização precária
- 7% (3) organização exemplar

Essa configuração reflete operações simples até as mais estruturadas. As operações de baixão e balsas apresentam os níveis mais baixos de organização. A classificação “organização simples”, ocorrem na maioria das operações visitadas nos estados do Pará, Amazonas, Mato Grosso e Amapá, que refletem suas características de garimpos de baixão ou balsas no leito de rio. As observações de campo, mostram que são atividades caracterizadas pelo baixo planejamento de mina, limitado conhecimento geológico, uso restrito de tecnologias e precariedade das condições de trabalho.

As operações classificadas como avançadas e exemplares apresentam maior controle operacional e melhores condições de infraestrutura. As frentes de lavra que se destacaram nesse aspecto incluem as de Poconé (Mato Grosso), onde as operações são de grande porte, com características de mineração em escala industrial, diferenciando-se das práticas observadas em outras regiões visitadas pela equipe de campo. Em Porto Velho, as dragas são de grande porte, com um nível de organização mais estruturado. Apesar da melhoria na organização e infraestrutura nessas frentes, ainda é comum o uso do mercúrio, indicado a necessidade de estratégias mais eficazes para reduzir os impactos.

15.2. ALOJAMENTOS

Foram analisadas 43 estruturas dos garimpos visitados, identificando-se diferentes tipos de alojamentos. Do total, 56% (24) dos garimpos possuem algum tipo de alojamento, que varia entre estruturado, simples ou precário e 44% (19) dos garimpos não possuem alojamentos, pois os garimpeiros não pernoitam no local de trabalho (Tabela 19).

Tabela 19. Tipos de alojamentos identificados nas visitas de campo

Classificação do alojamento	%	Número de Operações	Descrição do tipo de alojamento
Sem alojamento	44%	19	Não pernoitam no local
Estruturado em madeira	30%	13	Estruturas construídas em madeira
Estruturado em alvenaria	12%	5	Estruturas construídas em tijolos e concreto
Simplex	7%	3	Barracas de campanha ou cobertura com telheiros
Precário	7%	3	Barracões coletivos em madeira ou taipa
Total	100%	43	

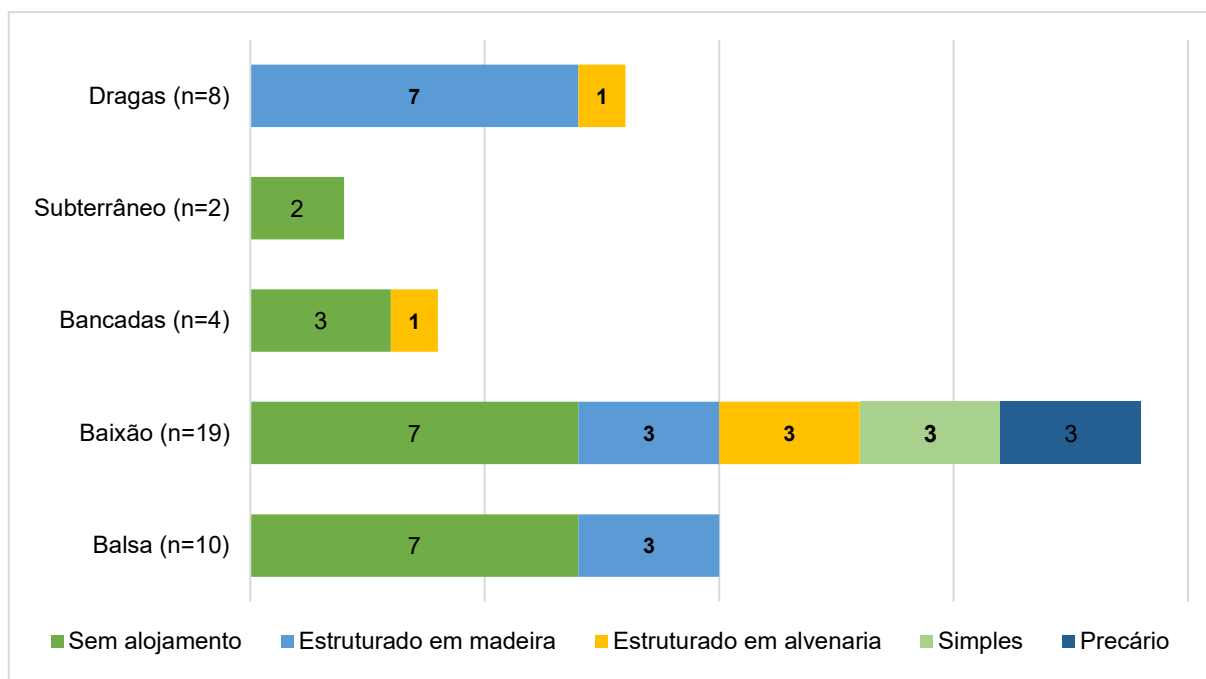
Fonte: Elaborado pelos Autores.

As Figuras 95 e 96 ilustram a classificação dos alojamentos por grupo de operações visitadas e por estado, respectivamente. No Amapá, observou-se a predominância de operações sem alojamentos para pernoite. Isso ocorre porque os garimpos estão localizados dentro da área de concessão de lavra da cooperativa local e próximos à comunidade. Essa proximidade permite que os trabalhadores retornem para suas casas ao final do trabalho, por volta das 17h ou 18h.

No entanto, nos garimpos, há estruturas simples de madeira ou lona que funcionam como alojamentos de apoio para quem necessita permanecer no local. Nessas estruturas, geralmente há cozinhas equipadas com armários, fogão com bujão de gás, geladeira, onde as cozinheiras preparam as refeições para os garimpeiros.

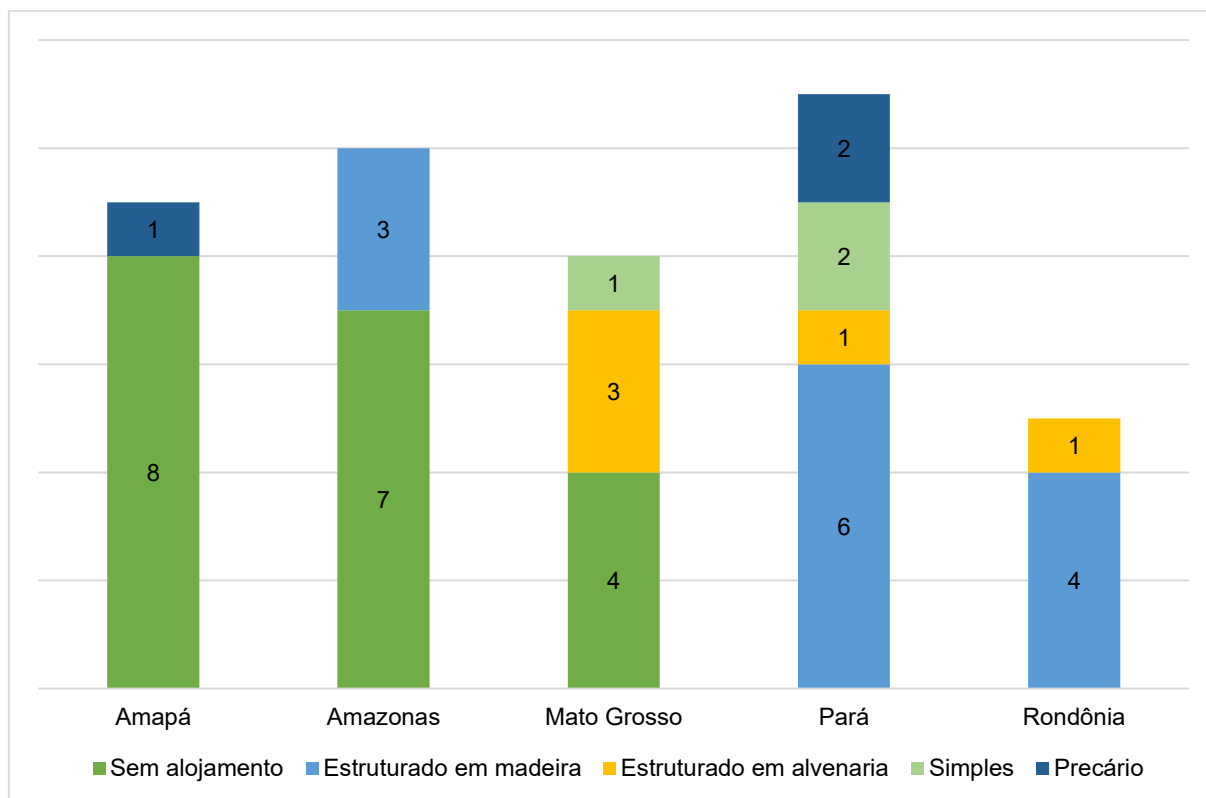


Figura 95. Classificação dos alojamentos por operações (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 96. Classificação dos alojamentos por estado (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

As refeições são fornecidas pelos responsáveis das operações. A principal fonte de água utilizada no preparo dos alimentos, bem como a água disponível para os garimpeiros é a água engarrafada. Há ainda garimpos que fazem uso de água de poços artesanais ou poços comuns.

No Amazonas, as estruturas das balsas refletem diferentes realidades de trabalho e moradia. A maioria das balsas é de pequeno porte. Por esse motivo, muitos trabalhadores não residem nas balsas, mas sim em comunidades vizinhas ou nas proximidades da cidade. Durante o deslocamento da equipe de campo pelo Rio Madeira, foram observadas balsas de médio e grande porte, com alojamentos compartilhados, cozinhas e banheiros. As cozinhas são compactas e funcionais, com pia, fogão com bujão de gás e espaço para armazenar alimentos. Quanto ao consumo de água, a situação é mais complexa. A água utilizada é capturada do Rio Madeira, o que indica a possibilidade de contaminação dos alimentos. Em outros casos, os operadores transportam água captada de poços comuns de suas residências e armazenam em garrafas térmicas para o consumo durante o trabalho.

Em relação as visitas no Mato Grosso, em Poconé, as operações visitadas não possuem alojamentos. Em uma das unidades visitadas, foi identificado um alojamento com estrutura de alvenaria, banheiros e área de convivência. Essas estruturas são construídas com tijolos e cimento, oferecem melhores condições em comparação com às instalações temporárias, como barracões de madeira/lona, comuns nos garimpos do sudoeste do Pará. As refeições são preparadas e servidas no local. O consumo de água é por água engarrafada, poços artesanais ou poços comuns.

Em Peixoto de Azevedo, é comum alojamentos tipo “barracões coletivos”, construídos em madeira ou alvenaria. Há casos de garimpeiros que residem no próprio garimpo por causa da distância de suas residências familiares ou por não terem família. Nesse último grupo, predominam homens mais velhos. Os alojamentos visitados pela equipe de campo contam com camas individuais, redes, beliches e, em alguns casos, as camas são de barracas de acampamento para cada garimpeiro espalhadas pelo alojamento. As cozinheiras têm um espaço reservado, com dormitório próprio ou próximo do alojamento. A cozinha é bem equipada com geladeira, utensílios domésticos, freezers, televisão e internet com Wi-Fi via rádio. A água utilizada nas cozinhas é proveniente de poços artesanais.

No Creporizão (Pará) e Porto Velho (Rondônia), as dragas são de grande porte e possuem alojamentos estruturados construídos de madeira, equipados com camas e ar-condicionado e ventiladores para os operadores que permanecem embarcados. Esse espaço é construído na parte superior das dragas. Os quartos são divididos e com camas ou beliches. A cozinheira possui um quarto separado. Essas dragas contam com cozinhas bem equipadas e limpas, que possuem fogões a gás, geladeiras, freezers, utensílios doméstico e dispensa. Em ambos as localidades, dentro das dragas há banheiros ou sanitários químicos. Um espaço utilizado como cozinha e, geralmente, uma mesa coletiva usada como área de copa. O consumo de água é feito por água engarrafada.

15.3. INSTALAÇÕES SANITÁRIAS

Em relação às instalações sanitárias, 79% (34) das operações visitadas possuem algum tipo de estrutura e 21% (9) não possuem banheiros. Quando analisadas as instalações sanitárias para mulheres, verificou-se que 58% (25) dos garimpos não dispõem delas, e 42% (18) contam com banheiros ou sanitários para mulheres.

A distribuição das instalações sanitárias nos garimpos visitados aponta para uma predominância de estruturas simples e improvisadas. Conforme apresentado na Tabela 20, os sanitários de alvenaria representam 28 % (12) das instalações, 26% (11) estruturas simples de madeira ou taipa, 21% (9) não possuem instalações sanitárias, 14% (6) banheiros internos com estrutura metálica, 7% (3) sanitários químicos e 5% (2) plataformas sobre vala. As condições sanitárias variam conforme o tipo de operação (Figura 97).

As condições sanitárias variam de acordo com o tipo de operação. Nos garimpos com dragas, como Porto Velho (Rondônia) e Creporizão (Pará), observa-se uma estrutura sanitária mais adequada, com banheiros internos ou sanitários químicos a bordo. Já nas operações de baixão, a situação é diversa: alguns garimpos contam com sanitários de alvenaria, enquanto outros utilizam plataformas sobre vala como alternativa. Há ainda casos em que os sanitários são totalmente inexistentes.

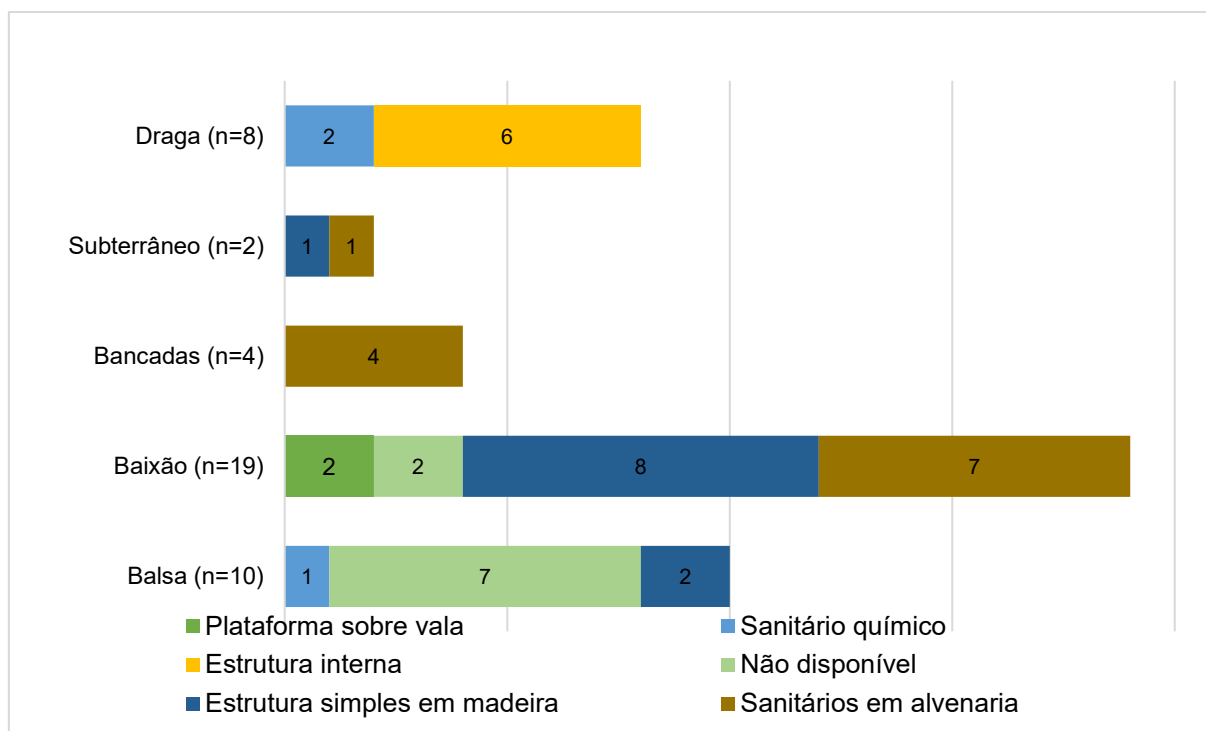


Tabela 20. Tipos de instalações sanitárias

Classificação das instalações sanitárias	%	Número de Operações	Descrição do tipo de instalação sanitária
Sanitários em alvenaria	28%	12	Sanitários construídos em alvenaria com vaso e descarga.
Estrutura simples em madeira	26%	11	Sanitários simples construídos em madeira e coberta com lona ou telheiros.
Não disponível	21%	9	Ausência de instalações sanitárias no local.
Estrutura metálica	14%	6	Estruturas metálicas construídas na parte interna de embarcações.
Sanitário químico	7%	3	Sanitários móveis.
Plataforma sobre vala	5%	2	Plataforma de madeira sobre valas.
Total	100%	43	

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 97. Classificação das instalações sanitárias por operações (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.



15.4. ESGOTAMENTO SANITÁRIO

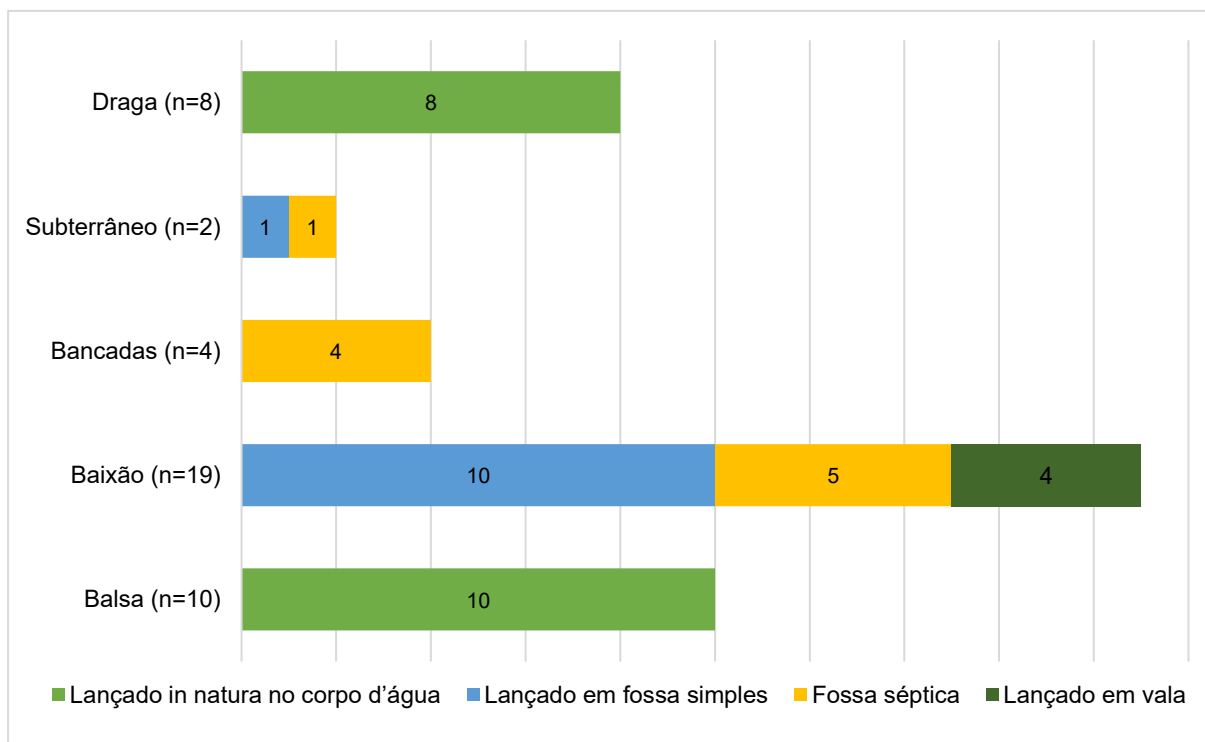
Sobre os tipos de disposição do esgotamento sanitário nas operações visitadas, observou-se que a maioria dos efluentes sanitários é descartada de forma inadequada e insalubres. Os dados mostram que 42% (18) são lançados in natura no corpo d'água, 26% (11), são descartados em fossa simples, 23% (10) em fossas sépticas e 9% (4) descartam os efluentes em valas (Tabela 21; Figura 98).

Tabela 21. Tipos de esgoto sanitários identificados nas visitas de campo

Disposição do esgotamento sanitário	%	Número de garimpos
Lançado in natura no corpo d'água	42%	18
Lançado em fossa simples	26%	11
Fossa séptica	23%	10
Lançado em vala	9%	4
Total	100%	43

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 98. Tipos de esgotamento sanitários por operações (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Os dados indicam que a falta de infraestrutura sanitária é um problema crítico em várias regiões. No Amapá, 5 dos 9 garimpos de baixão visitados utilizam fossas simples, que são menos eficazes para o tratamento de efluentes, e 1 operação possui fossa séptica. Observou-se que 3 operações lançam efluentes em valas, o que pode impactar diretamente na contaminação do solo e dos recursos hídricos próximos. A equipe de campo observou que esses garimpos sem infraestrutura estão localizados em áreas distantes e isoladas, cercadas por vegetação, onde a infraestrutura é limitada ou inexistente. Essa proximidade com a vegetação aumenta o risco de presença de animais peçonhentos. Nessas áreas, há apenas os equipamentos de extração do minério de ouro, sem instalações básicas, como banheiros.

No Amazonas, as 10 balsas visitadas eram de pequeno porte, com capacidade de comportar 2 ou 3 pessoas e descartam os efluentes diretamente no corpo d'água. Essa prática pode ser explicada, pela limitação de espaço e infraestrutura nessas embarcações. Situação semelhante ocorre em Porto Velho (Rondônia) e Creporizão (Pará): as dragas são de grande porte, com maior capacidade e estrutura, mesmo assim, realizam o descarte direto nos rios. Dada a escala e o porte dessas embarcações, seria viável analisar soluções adequadas para o tratamento ou armazenamento temporário dos efluentes, alinhando-se as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e às demandas por práticas mais responsáveis na MAPE de ouro.

O Mato Grosso apresenta os melhores indicadores de infraestrutura sanitária entre os estados analisados. Em Peixoto de Azevedo, foram registradas 3 operações que utilizam fossas sépticas e 1 fossa simples. Em Poconé, todas as 4 operações visitadas contam com fossas sépticas. As fossas sépticas são unidades de tratamento primário de esgotos nas quais ocorre a separação e transformação de matéria sólida contida no esgoto (BRASÍLIA AMBIENTAL, 2017).

As localidades de garimpos de baixão no Pará apresentam condições diversas de esgotamento sanitários. Em Novo Progresso, o garimpo visitado possui fossa séptica. Em Tucumã, nas 3 operações visitadas, os efluentes são dispostos em fossas simples. No Creporizinho, uma operação utiliza fossa simples e em Moraes de Almeida, das 3 operações visitadas, uma utiliza fossa séptica, outra fossa simples e a terceira lança os resíduos em valas.



15.5. RESÍDUOS SÓLIDOS

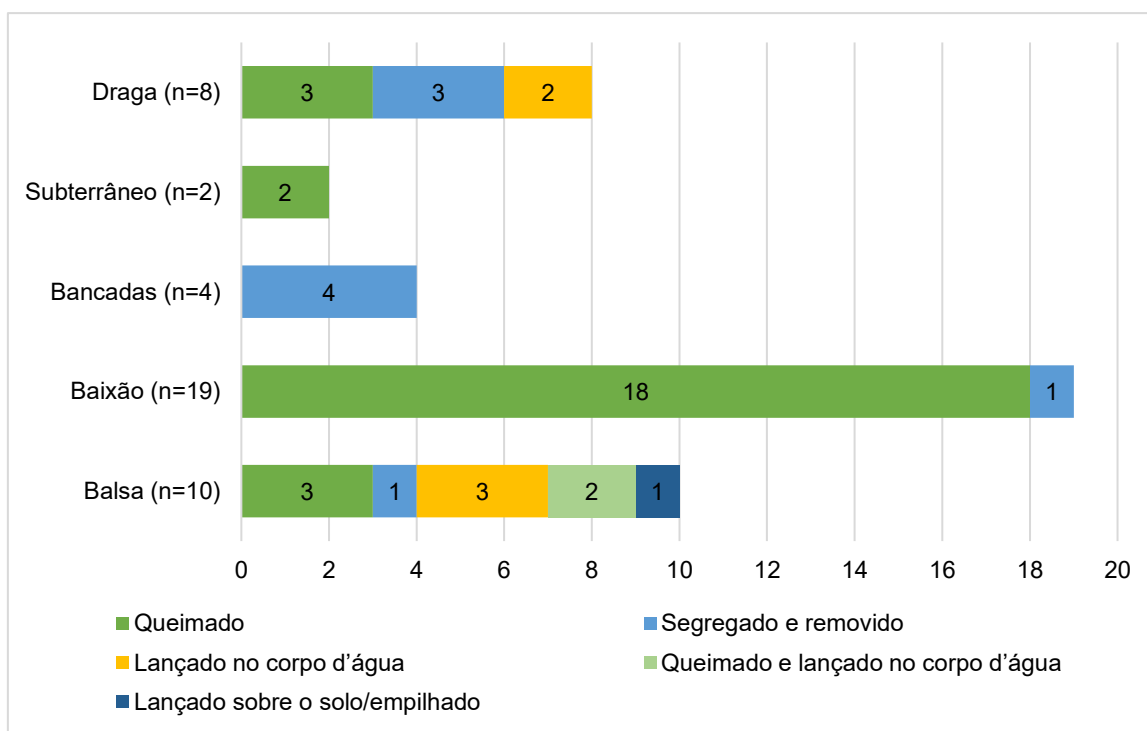
Em relação ao destino dos resíduos sólidos gerados nas frentes de lavra, foram observados cinco tipos de utilização (Tabela 22; Figura 99).

Tabela 22. Destino dos resíduos sólidos

Disposição dos resíduos sólidos	%	Número de garimpos
Queimado	60%	26
Segregado e removido	21%	9
Lançado no corpo d'água	12%	5
Queimado e lançado no corpo d'água	5%	2
Lançado sobre o solo/empilhado	2%	1
Total	100%	43

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 99. Destino dos resíduos sólidos por operações (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

O levantamento demonstra que a queima a céu aberto de resíduos é a prática mais recorrente, presente em 60% (26) das operações nos estados visitados. A segunda solução mais adotada é a segregação e remoção dos resíduos, observada em 21% (9), seguida de 12% (5) de descarte direto em corpos d'água, 5% (2) combinação de queima a céu aberto e descarte no corpo d'água e 2% (1) lançam os resíduos sobre o solo e os empilham. A análise dos métodos de disposição dos resíduos sólidos nos garimpos tem diferenças entre as balsas e dragas e cavas. Nas dragas em leito de rio, os destinos dos resíduos variam conforme a região.

O gerenciamento de resíduos é um aspecto fundamental para a sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, surge a necessidade de planejar de forma eficaz a geração, o manuseio e a disposição desse tipo de material. Os dados analisados reforçam a necessidade de estratégias para a gestão dos resíduos sólidos nas operações garimpeiras. A eliminação indiscriminada de resíduos pode introduzir substâncias perigosas e produtos químicos no solo, nos corpos d'água e no ar, causando danos potencialmente irreversíveis à flora e à fauna (UNEP, 2024).

Conforme observado em campo, a queima a céu aberto é comum nas regiões garimpeiras, e isso pode ser atribuído a vários fatores, incluindo a ausência de aterros sanitários adequados em regiões remotas, falta de infraestrutura para coleta e destinação final dos resíduos. Ademais, a prática de descartar resíduos em corpos d'água parece estar associado mais a fatores culturais do que à falta de informação. Essa realidade evidencia a necessidade não apenas de investimentos em infraestrutura e de mudanças culturais (UNEP, 2024).

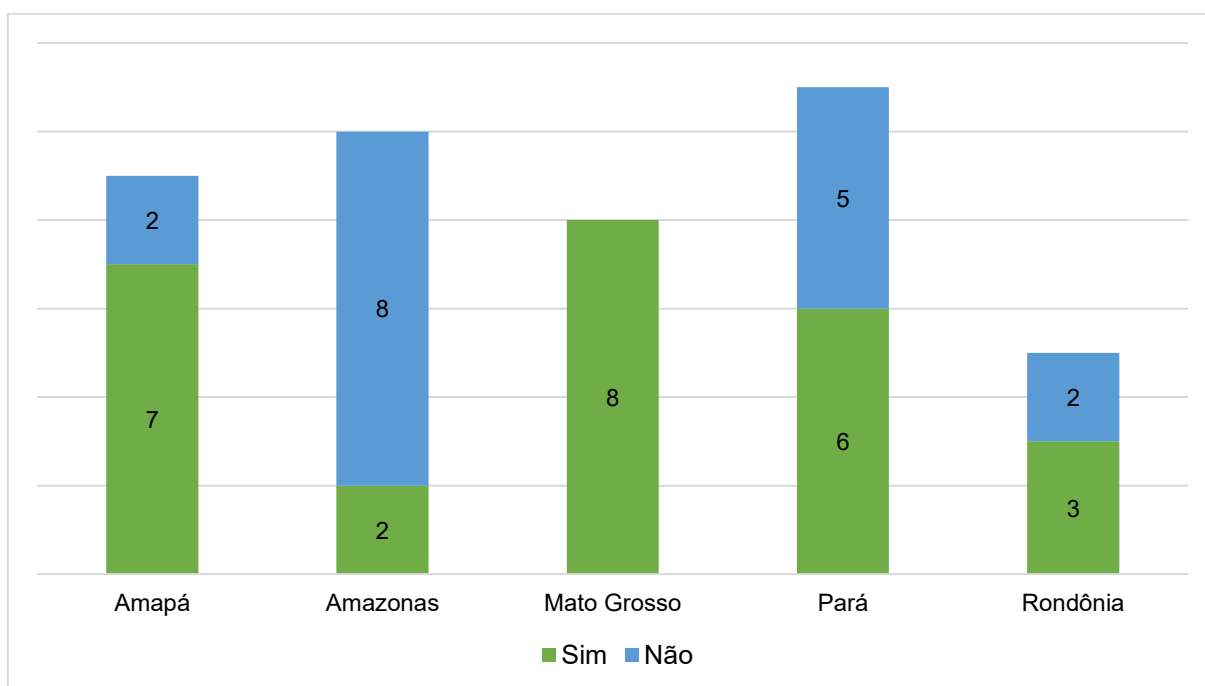
A falta de infraestrutura local é uma reclamação dos moradores nas regiões visitadas e dos garimpeiros, principalmente em vilas e distritos remotos e distantes do poder público. Por exemplo, no Distrito de Lourenço, não existe saneamento básico, e o serviço de coleta de lixo é precário. Os próprios moradores relatam que organizam coletas com apoio da cooperativa local. Algumas iniciativas demonstram que soluções podem ser implementadas para o controle desse tipo de resíduo em áreas da MAPE de ouro. Por exemplo, no Creporizão (Pará), há um trabalho de monitoramento e retirada de resíduos do Rio Crepori. Essa ação contou com o apoio dos donos das canoas, que se comprometem a não descartar resíduos no rio. A cooperativa local criou pontos de coleta ao longo do curso d'água, reforçando que estratégias colaborativas podem mitigar os impactos ambientais.

15.6. DISPONIBILIDADE DE RÁDIO

A análise das 43 frentes de lavra apontou que 60% (26) das operações possuem disponibilidade de rádio e 40% (17) não possuem disponibilidade de rádio (Figura 100).

As regiões onde não há disponibilidade integral de rádio incluem o Distrito de Lourenço (Amapá), com 7 operações sem acesso, Peixoto de Azevedo e Poconé no Mato Grosso, ambas com 4 operações sem rádio. No Pará, Creporizão são 3 operações sem acesso, Morais de Almeida e Tucumã apresentam 2 e 3 operações sem rádio, respectivamente. Em Porto Velho (Rondônia), 2 operações não possuem. A ausência de rádios em algumas operações não parecer estar ligada à falta de recursos financeiro, mas a falta de interesse ou prioridade.

Figura 100. Disponibilidade de rádio nas operações visitadas (n = 43)

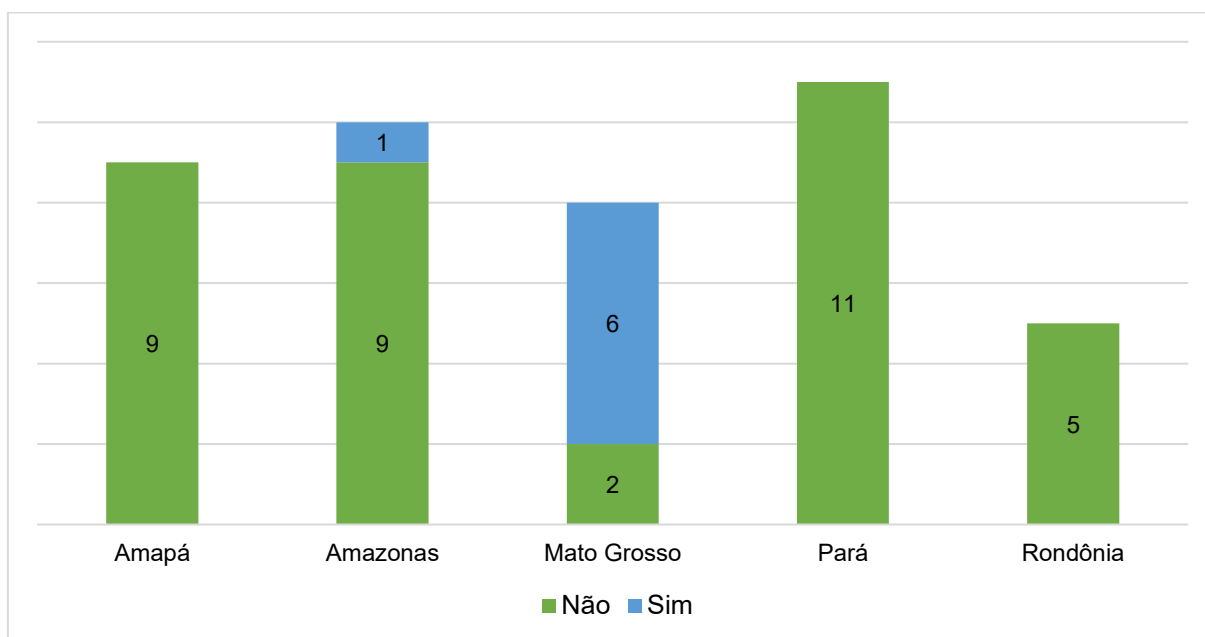


Fonte: Elaborado pelos Autores.

15.7. COBERTURA PELA TELEFONIA CELULAR

Dentre as operações visitadas, 84% (36) não têm cobertura por telefonia celular e 16 (7) têm cobertura por telefonia celular (Figura 101). A falta de cobertura por telefonia celular pode ser dar por diversos fatores, principalmente, pelo isolamento geográfico da Amazônia Legal, considerada a região mais remota do Brasil.

Figura 101. Cobertura celular nas operações visitadas (n = 43)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

As operações que possuem sinal de telefonia celular estão localizadas em Peixoto de Azevedo e Poconé (Mato Grosso) e em Manicoré (Amazonas). Essa cobertura deve-se à proximidade desses locais com cidades ou comunidades que já dispõem de infraestrutura para telefonia móvel. Apesar dessa limitação, a maioria dos trabalhadores entrevistados possui celular, sendo 94% (987) com celular e 6% (64) sem celular. Na maior parte dos garimpos visitados, havia rede de Wi-Fi via satélite, inclusive em dragas e balsas. Essa transformação digital tem facilitado a comunicação no garimpo brasileiro.

No Distrito de Lourenço (Amapá), até meados de 2022, o único acesso à internet era oferecido por uma sorveteria que cobrava por hora de conexão via satélite. Atualmente, o sinal de Wi-Fi está disponível na região e em outras regiões visitadas pela equipe de campo.

A evolução da conectividade digital na MAPE de ouro tem sido discutida na literatura e confirmada nos trabalhos de campo deste projeto. Por exemplo, o Projeto META MPE (MME, 2018) observou que, na região garimpeira do Tapajós, especificamente no Creporizão, os garimpeiros passaram a considerar a conectividade uma necessidade básica para trabalhar na operação. Antes do início dos trabalhos, três itens eram prioritários: geladeira, televisão com sinal via satélite e internet Wi-Fi.

Já no Projeto Ouro sem Mercúrio, as entrevistas com garimpeiros indicaram que a conectividade ampliou a interação social e acesso à informação. Por meio da internet, eles mantêm contato com familiares em diferentes localidades, participam de grupos no WhatsApp e no Facebook, e compartilham sua rotina no TikTok. Além disso, a conectividade permite acompanhar em tempo real a cotação do ouro na bolsa de valores, comparando com os preços praticados nos postos de compra locais.

Outro exemplo é o relatório do *Climate Policy Initiative*, que destaca a telefonia móvel como mecanismo importante para melhorar o acesso à informação. Em países da África, como Quênia e Ruanda, há evidências de que a disseminação de telefones celulares beneficiou pequenos agricultores no acesso serviços de extensão rural e na adoção de práticas modernas (FABREGAS; KREMER; SCHILBACH, 2019; ARAÚJO; BRAGANÇA; ASSUNÇÃO, 2022). Situações similares ocorreram no Malawi, Tanzânia e Zâmbia, onde os mineradores da MAPE de gemas utilizam plataformas digitais¹⁸ para comercializar pedras preciosas.

Essa prática pode ser útil para a MAPE de ouro no Brasil, como uma alternativa para facilitar a transferência de conhecimentos e capacitação para os mineradores, contribuindo para a redução do uso de mercúrio. A adoção e implementação de tecnologias digitais na MAPE tem potencial de gerar oportunidade de aumentar a produtividade e rendimentos dos operadores.

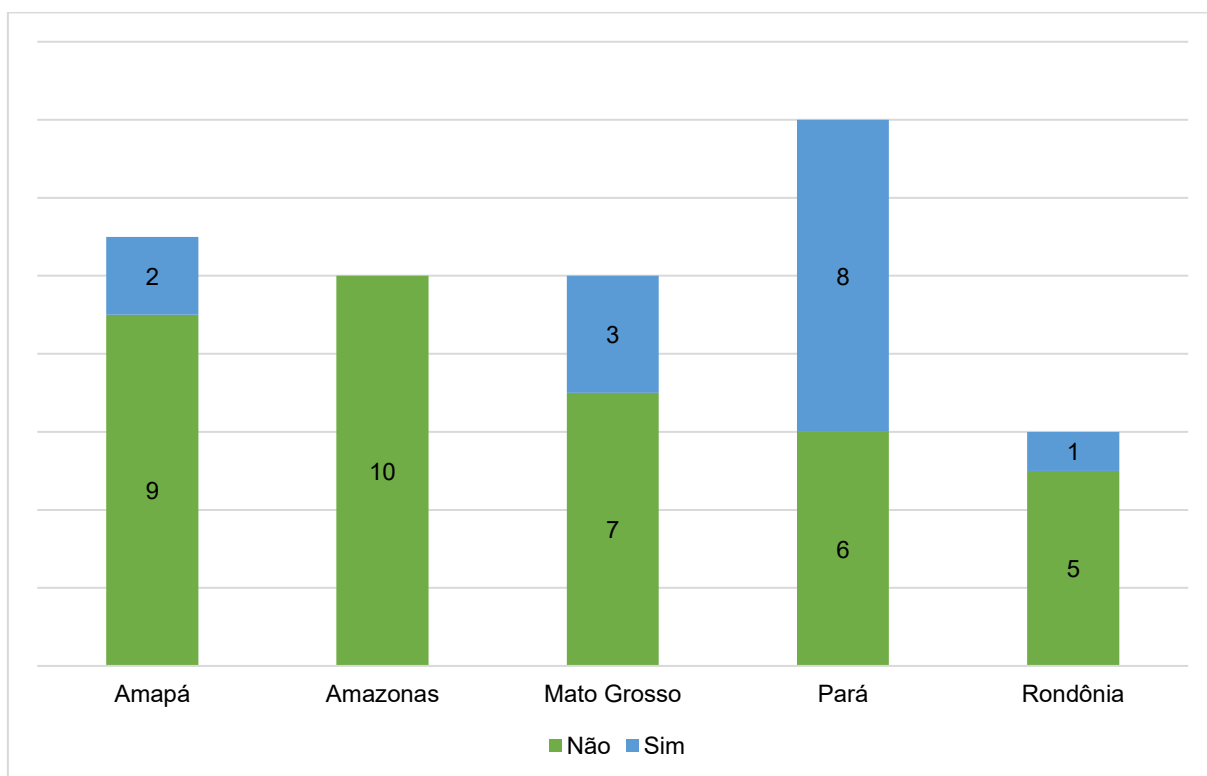
¹⁸ VirtuGem: <https://virtugem.com>; Moyo Gems: <https://moyogems.com>.



15.8. FECHAMENTO DE MINA

Nas entrevistas com 51 donos de garimpos, foi perguntado se eles faziam alguma reserva financeira para aplicar no fechamento de mina do garimpo. Desses, 73% (37) não fazem e 27% (14) fazem (Figura 102).

Figura 102. Reserva financeira para fechamento de mina (n = 51)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Dos 37 que responderam não, os principais motivos apontados foram a percepção de que não há necessidade e a falta de recursos devido aos altos custos operacionais. É comum ouvir que o gasto deve ser priorizado com o óleo diesel, restando poucos recursos para recuperação. No Mato Grosso, a recuperação da área é realizada com apoio da cooperativa local, o que reduz a preocupação dos donos com reservas para essa finalidade. Em outros casos, os donos nunca refletiram sobre o tema. Entre os entrevistados que responderam sim, as reservas correspondem a um percentual fixo da produção, como 10% ou entre 5% e 6% da produção.

15.9. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS IMPACTADAS

Diferentes medidas para recuperação de áreas impactadas foram observadas em campo. No Amapá, a cooperativa local mantém um viveiro para a produção disponibilização de mudas nativas para o reflorestamento e fechamento de cavas exauridas.

Em Peixoto de Azevedo, Mato Grosso, a COOGAVEPE desenvolve um trabalho de educação e acompanhamento dos garimpeiros e gestores de área para incentivar a proteção ambiental e elaborar e executar planejamentos para reflorestamento e recuperação de áreas garimpadas. Já existem áreas recuperadas sendo usadas para plantio de milho e com possibilidades de aproveitamento de áreas degradadas, como reflorestamento, pastagem, fruticultura e piscicultura. Mais de 1 milhão de mudas já foram distribuídas para os cooperados. Essa iniciativa atende às exigências legais sobre o processo de recuperação das áreas degradadas, pois caso não seja feita por parte do garimpeiro pode ocasionar o fechamento do empreendimento e aplicação de multas por parte do órgão ambiental.

Em 2023, a cooperativa inaugurou o Centro Tecnológico de Desenvolvimento Mineral. O espaço conta com viveiro para produção de mudas e laboratórios para realização de testes de recuperação de ouro e análises químicas. A cooperativa orienta os cooperados para que respeitem o perímetro do licenciamento estabelecidos e adotem cuidados em relação às áreas de preservação permanentes (APP). A Companhia Matogrossense de Mineração (METAMAT) apoiou a introdução da piscicultura como forma de aproveitamento das cavas em áreas de garimpos abandonados. O apoio consistiu no nivelamento do solo, na abertura dos tanques e na assistência técnica para os criadores. Foram observadas ravinas formadas pela erosão do solo ocasionada pela precipitação pluvial.

Em Morais Almeida, Pará, há cavas que foram iniciadas recentemente, e as áreas antigas ainda estão sendo mineradas por garimpeiros que repassam o material. Essa prática está sendo substituída gradualmente, e foi estabelecido o planejamento de plantio de mudas para o reflorestamento de áreas degradadas.

16. DESCRIÇÃO DA CAPACITAÇÃO TÉCNICA NAS OPERAÇÕES VISITADAS

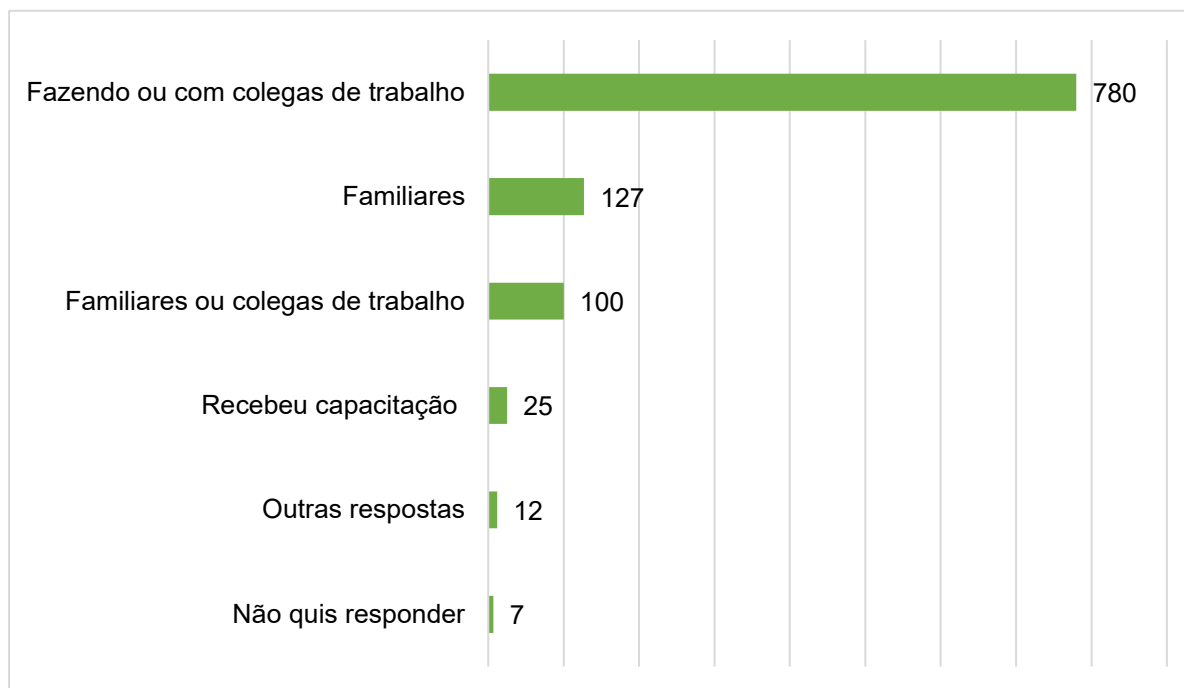
Neste capítulo, são apresentadas as observações sobre a capacitação do grupo de trabalhadores e dos donos e supervisores.

16.1. CAPACITAÇÃO DOS TRABALHADORES

Os dados coletados nas entrevistas de campo mostram que 98% (1.026) dos 1.051 entrevistados não receberam treinamentos formais e 2% (25) tiveram acesso a algum tipo de capacitação externa. Entre os 2% que receberam treinamentos formais, as capacitações foram oferecidas por cooperativas de garimpeiros, empresas e cursos à distância (EaD). Os treinamentos incluíram: cooperativismo, Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CEFEM), crédito, segurança no trabalho, meio ambiente e primeiros socorros. Os entrevistados também citaram treinamentos sobre o uso de mercúrio e retorta, purificação e refino do ouro, além de capacitações oferecidas pela Organização das Cooperativas Brasileiras (OCB).

A principal forma de aprendizado dos entrevistados ocorreu informalmente, seja aprendendo na prática do dia a dia, com colegas de trabalho ou familiares (Figura 103).

Figura 103. Como aprenderam a trabalhar no garimpo (n = 1.051)



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Em uma perspectiva futura, os entrevistados foram questionados sobre seu interesse em participar de programas de capacitação e treinamento. Cerca de 60% (629) demonstraram interesse e 40% (422) declararam não ter interesse. Entre os entrevistados que apontaram interesse em participar de programas de capacitação e treinamento, foi solicitado que indicassem os temas que consideravam mais relevantes para seu aprimoramento técnico e pessoal. Inicialmente, muitos entrevistados tiveram dificuldade em identificar suas prioridades e necessidades.

No entanto, ao serem apresentadas opções pré-definidas pela equipe de campo, puderam selecionar múltiplas alternativas conforme seus interesses. A Tabela 23 apresenta a quantidade de menções.

Tabela 23. Temas pré-definidos para capacitação e treinamento

Categorias	Temas para capacitação e treinamento	Nº de menções	% do total de menções
Técnicas de extração	Melhorar a extração do ouro	428	35%
Financiamento	Acesso a capital	148	14%
Saúde e Segurança	Suporte para operações seguras	128	12%
Outros	Cursos diversos	117	11%
Meio Ambiente	Recuperação de áreas degradadas e fechamento de mina	108	10%
Diversidade econômica	Alternativas Econômicas	108	10%
Geologia	Prospecção geológica	37	3%
Gênero	Mulheres no garimpo	22	2%
Total de menções		1.096	100%

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Ainda foi pedido que as pessoas entrevistadas sugerissem “outros cursos”, caso as categorias pré-concebidas não contemplassem suas necessidades. Como resultados, foram mencionados 43 temas adicionais de interesse (Tabela 24).



Tabela 24. Temas de capacitação e treinamento sugeridos por grupos

Categoria do entrevistado	Temas sugeridos pelos entrevistados
Garimpeiros	• Licenças para uso de explosivos • Mecânica (motor, solda, elétrica) • Mercúrio (riscos, melhor uso, alternativas) • Operação de máquinas (retroescavadeiras, carregadeira) • Técnicas de extração • Eletrônicos (informática, rádio) • Legislação (direitos trabalhistas, licenças ambientais) • Saúde mental
Operador(a) de máquinas pesadas	• Manutenção e operação de máquinas pesadas • Treinamento para iniciantes • Aperfeiçoamento das habilidades como operador
Cozinheiras e ajudantes	• Culinária, salgados, confeitaria e panificação • Higiene no trabalho e contaminação da água • Cuidados com a saúde em relação ao mercúrio • Autoestima e apoio emocional • Gestão para abrir seu negócio próprio • Legislação, direitos humanos
Requeiros	• Técnicas de extração de ouro sem mercúrio • Eletrônica (TV e rádio) • Organização financeira • Direitos dos garimpeiros • Cooperativismo • Administração financeira
Dono(a) do garimpo	• Cooperativismo • Acesso à crédito • Técnicas de eliminação do mercúrio • Regularização do garimpo • Administração
Supervisor do garimpo	• Técnicas de controle mineral e moagem • Técnicas de lixiviação para minério de ouro • Computação e informática • Regularização do garimpo • Tipos de lixiviação • Normas ABNT para análise de ouro
Fiscal de campo	• Licenças para uso de explosivos • Escolta armada • Operação de máquinas (retroescavadeiras, carregadeira) • Injeção eletrônica e soldagem • Operação de máquinas (retroescavadeiras, carregadeira)
Operador de draga	• Mecânica de draga, rebocagem • Técnicas de extração de ouro sem mercúrio • Religião • Regularização do garimpo
Soldador mecânico	• Soldagem • Manutenção de equipamentos • Mecânica

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados de campo.

As necessidades e as percepções dos diferentes grupos variam muito, dependendo da região e do método de extração e processamento do minério aurífero. Embora seja possível ter um currículo de treinamento com temas amplos, o conteúdo deve ser construído com base em uma compreensão abrangente do setor. Como apresentado na Tabela 24, os temas e interesses mudar de acordo com o grupo de entrevistados.

O tema “manutenção e operação de máquinas pesadas” é uma forte demanda por parte dos entrevistados. Durante as atividades de campo, foi observado que as retroescavadeiras proporcionaram uma nova revolução tecnológica no garimpo. Além do fato de que saber operar essas máquinas oferece oportunidades de trabalhar em diversas localidades. A culinária é essencial nos garimpos. Conforme mencionado pelas cozinheiras nas visitas de garimpos em todos os estados visitados, quando a comida não atende às expectativas, a rotatividade de cozinheiras tende a ser alta. Isso destaca o protagonismo dessas mulheres no ambiente garimpeiro, e aponta a necessidade de cursos de culinária, panificação e segurança alimentar. Entretanto, muitas vezes, essas profissionais não têm acesso a ou não disponham de tempo para formações estruturadas fora do garimpo.

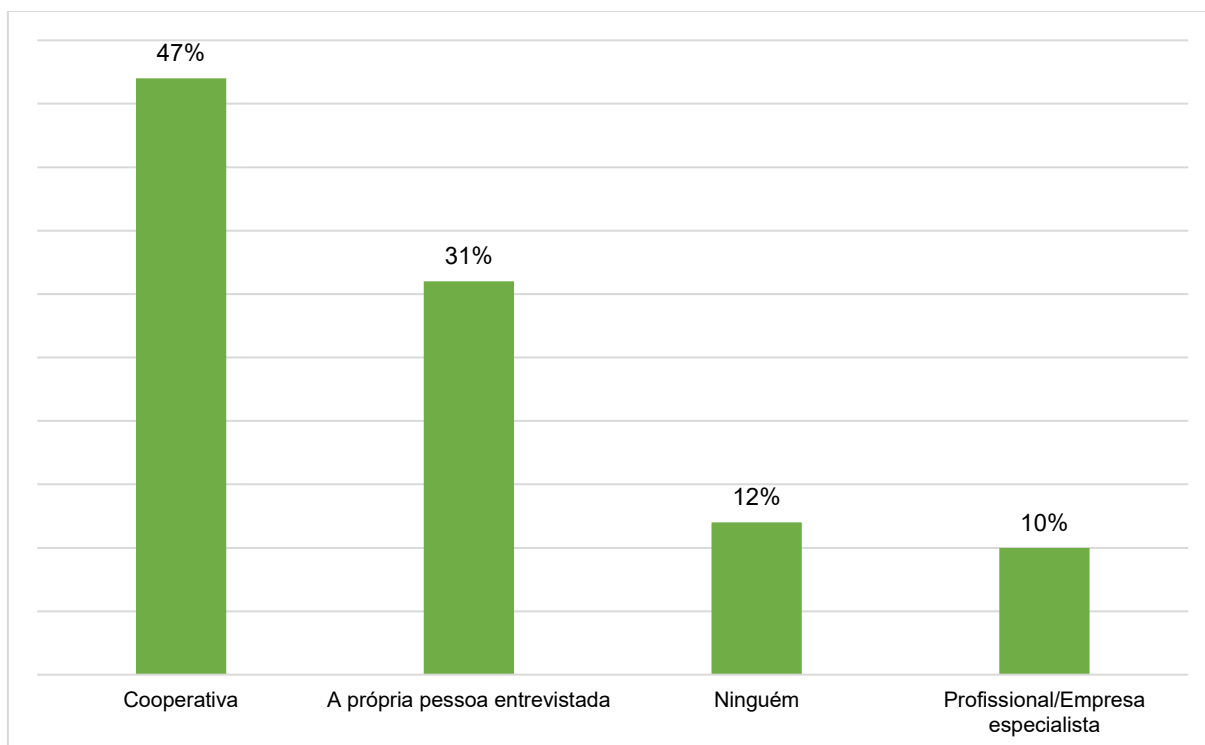
Donos de Garimpo e Supervisores apresentam demandas diferentes dos garimpeiros em geral. Os garimpeiros enfatizaram a necessidade de aprendizagem em operação de máquinas e os donos apontam temas de cooperativismo, administração financeira e legalização do garimpo. Além das principais tendências identificadas, surgiram temas transversais entre os grupos de entrevistados, entre eles, o mercúrio. Em praticamente todos os perfis foram mencionadas preocupações relacionadas ao uso, aos riscos de contaminação e às alternativas viáveis para substituição. O tema de computação e informática foi citado e tem uma forte relação com o garimpo. Um entrevistado garimpeiro no Amapá afirmou que, se utilizassem planilhas de Excel para calcular a produção diária, e realizar projeções, os resultados poderiam ser diferentes. Ainda, foram feitas sugestões pontuais, que incluem saúde mental, técnicas de controle mineral e moagem, lixiviação e organização financeira.

16.2. CAPACITAÇÃO DOS DONOS E SUPERVISORES

Com relação à capacitação, os donos e supervisores entrevistados nas operações visitadas foram questionados sobre dois aspectos: se recebem suporte técnico ou orientação no dia a dia e se já participaram de algum treinamento ou capacitação oferecida por uma instituição/organização externa.

Sobre o suporte técnico no dia a dia, os resultados indicam que 47% (24) dos 51 entrevistados recebem suporte da cooperativa na localidade em que atuam, 31% (16) buscam solucionar questões por conta própria, 12% (6) não contam com qualquer tipo de apoio e 10% (5) recebem suporte de profissionais ou empresas especializadas (Figura 104). Em relação a se já receberam algum treinamento ou capacitação oferecida por uma instituição ou organização externa, 73% (37) responderam não e 27% (14) responderam sim. As organizações mencionadas foram o Governo Estadual e o Governo Federal, o sistema OCB, outras cooperativas de garimpeiros.

Figura 104. Suporte técnico para os donos e supervisores no dia a dia (n = 51)



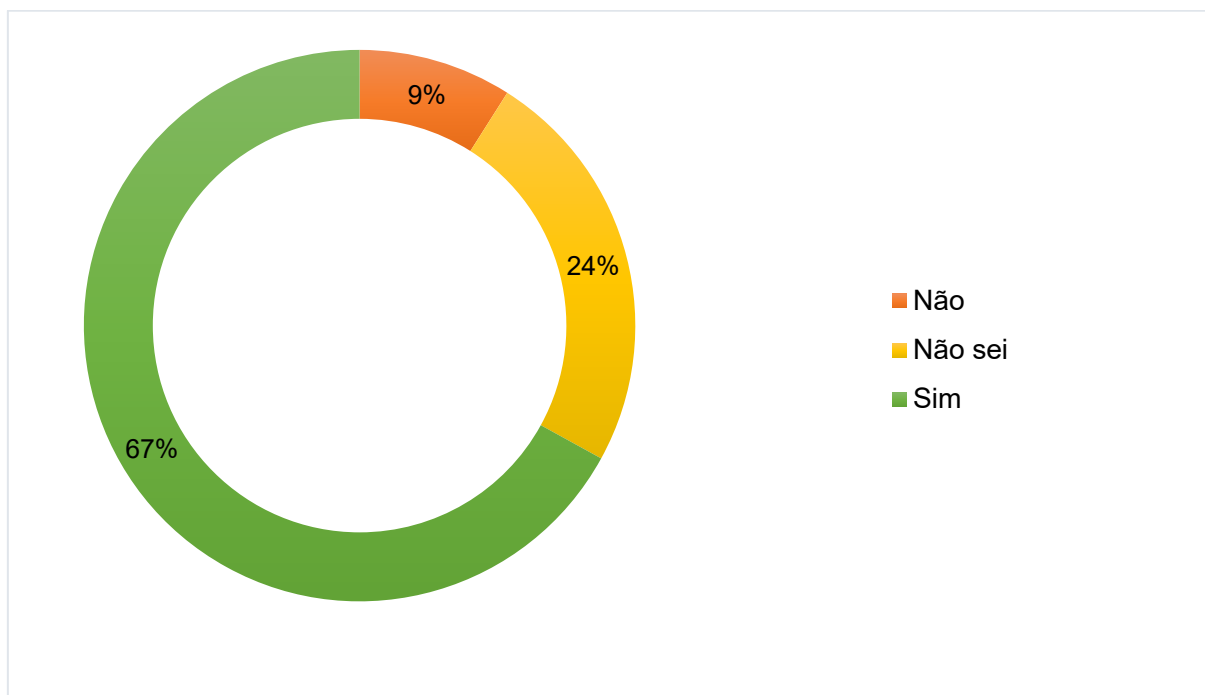
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados de campo

16.3. TÉCNICAS PARA ELIMINAÇÃO OU REDUÇÃO DE MERCÚRIO

Os entrevistados foram questionados sobre o interesse em novas técnicas para eliminação ou redução de mercúrio no garimpo. A Figura 105 ilustra a distribuição das respostas obtidas. Essa pergunta provocava reações expressivas entre as pessoas entrevistadas, como espanto, curiosidade, dúvida e convicção. Entre os 1.051 entrevistados, 67% (700) responderam “sim” em conhecer ou adotar novos métodos alternativos ao mercúrio, 24% (255) declararam não saber ou não ter opinião formada, e 9% (96) declararam que “não” tinham interesse.

Apesar da existência de uma parcela que demonstra hesitação ou resistência, os resultados indicam que a maioria apresenta disposição positiva para compreender e discutir novas abordagens técnicas.

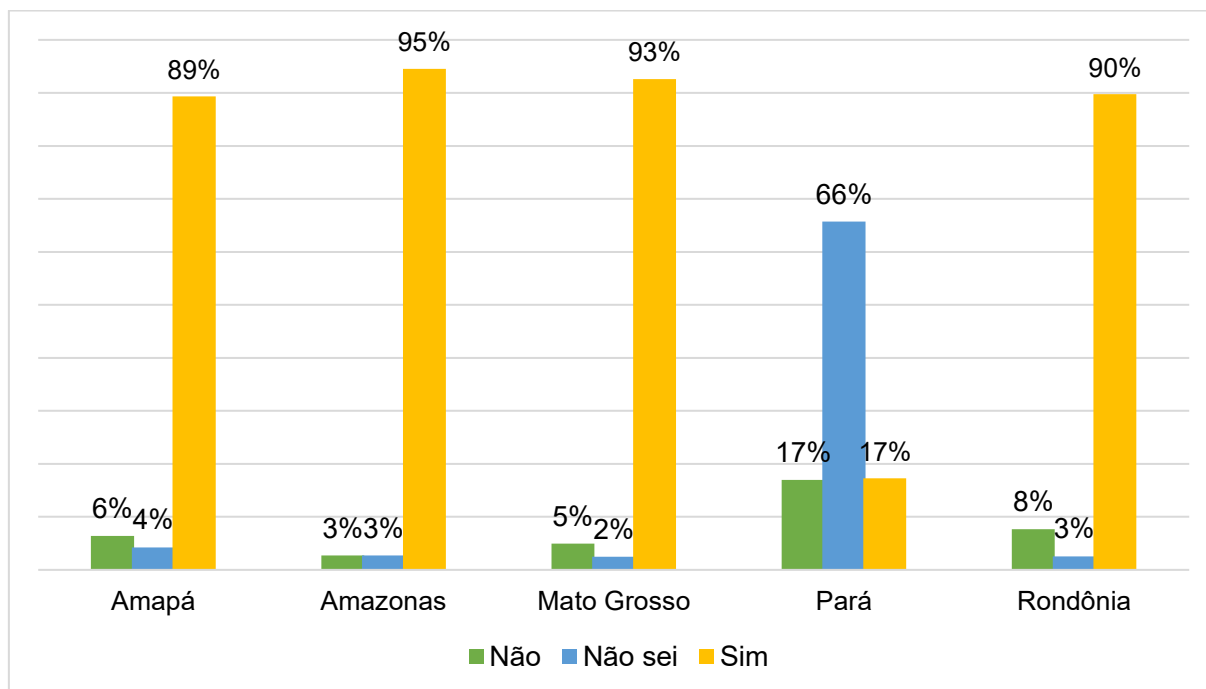
Figura 105. Interesse sobre técnicas para eliminação de mercúrio (n = 1.051)



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados de campo

A Figura 106 detalha as respostas obtidas por estado visitado nas campanhas de campo.

Figura 106. Interesse sobre técnicas para eliminação do mercúrio por estado (n = 1.051)



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados de campo

A análise por estado, apresentada na Figura 106, mostra que nos estados do Amazonas, Mato Grosso, Rondônia e Amapá, os percentuais estão acima de 89%. O Pará apresentou um resultado distinto: 17% dos entrevistados responderam sim e 66% dos entrevistados declararam não saber ou não ter opinião formada.

Os resultados observados dialogam com o estudo de Araujo, De Tomi e Veiga (2022), que analisou a implementação de programas de capacitação e treinamento para garimpeiros associados a cooperativas de garimpos. A pesquisa foi realizada em Peixoto de Azevedo (Mato Grosso), e no Distrito de Lourenço (Amapá). Os resultados evidenciaram dois aspectos. Primeiro, observou-se uma preferência dos entrevistados por cursos ministrados pela cooperativa local. Segundo, houve o desejo de que os cursos contassem com o apoio do proprietário do garimpo ou gestor. Outro aspecto relevante identificado no estudo foi a preferência por modalidades híbridas de capacitação, que combinassem aulas teóricas em sala com atividades práticas em campo.

Esses dados corroboram os levantamentos neste estudo, reforçando a necessidade de estratégias de formação adaptadas às realidades locais, focando na praticidade e aplicabilidade no ambiente de trabalho.

17. TESTES METALÚRGICOS PARA RECUPERAÇÃO DE OURO

Neste capítulo, são apresentados os métodos e as estimativas das análises realizadas para identificar a atual recuperação de ouro em operações selecionadas dentro do contexto do Projeto Ouro sem Mercúrio. O trabalho foi conduzido nos cinco estados visitados pela equipe de campo (Tabela 25). As estimativas são baseadas no método de balanço metalúrgico, que quantifica a % recuperação de ouro no concentrado gravítico e, com isso, obtém-se as perdas de ouro nos rejeitos.

O balanço metalúrgico ajuda a avaliar a eficiência do processo de concentração utilizado pelos garimpeiros e identificar as perdas de ouro, permitindo ajustes no processo. Normalmente, a % recuperação de ouro é calculada com base na relação entre a massa de alimentação e a massa do concentrado, multiplicadas pelos teores de ouro analisados. No entanto, a coleta de amostras dos concentrados mais ricos em ouro é inviabilizada pelos operadores em disponibilizá-los para análise devido ao alto valor do material. Além disso, as análises de teores de ouro em concentrados não são recomendadas, uma vez que o efeito pepita gera grande variação nos teores de ouro nas análises químicas.

Como a massa de alimentação é praticamente igual à massa de rejeitos, as avaliações da % Au recuperado foram realizadas de forma indireta, avaliando os teores de ouro da alimentação e os rejeitos. A recuperação de ouro é calculada pela fórmula:

$$\% \text{ RecAu} = (100 - (Y_p/Y_i) \times 100)$$

Y_p é o teor de ouro nos rejeitos e Y_i é o teor de ouro na alimentação

No contexto da MAPE de ouro, a percepção dos trabalhadores é de que a amalgamação recupera entre 90% e 100% do ouro contido no material alimentado no processo. Como os operadores não têm análises dos teores do material entrando na planta de concentração (Tabela 15), o único parâmetro de produção disponível é a quantidade de ouro produzida por tempo de trabalho. Os testes de recuperação de ouro demonstram as taxas reais de eficiência da operação e evidenciam caminhos para convencer os garimpeiros a adotarem métodos ou ajustes mais eficientes que reduzam e, se possível, eliminem o uso de mercúrio.

Foram coletadas 57 amostras, distribuídas em 24 amostras de alimentação, 24 amostras de rejeitos primários e 9 amostras de rejeitos amalgamados. As coletas foram realizadas pela equipe técnica composta por dois engenheiros de minas e um engenheiro civil. As amostras são provenientes de operações de lavra em cava de baixão (coluvionares/eluvionares) e em operações subaquáticas de dragas e balsas em leito de rio (minérios aluvionares), conforme apresentado na Tabela 25.

Tabela 25. Dados das amostras coletadas

Estado	Localidade	Alimentação (kg)	Rejeito (kg)	Rejeito Amalgamado (kg)
Amapá	Distrito de Lourenço	2,047	2,042	-
		2,030	2,070	-
		2,032	2,049	-
		2,088	2,049	-
		2,039	2,036	-
		2,040	2,039	-
		2,041	2,047	-
Amazonas	Manicoré	2,038	2,049	-
		2,038	2,039	-
		2,030	2,045	-
		2,030	2,037	-
		2,043	2,045	-
		2,047	2,046	-
	Poconé	0,743	0,692	0,506
Mato Grosso	Peixoto de Azevedo	2,025	2,058	2,035
		2,042	2,024	2,040
		2,014	2,020	2,040
	Novo Progresso	2,049	2,041	-
Pará	Crepurizão	2,040	2,048	2,071
		2,051	2,027	2,038
		2,034	2,048	2,043
	Moraes Almeida	2,034	2,041	2,038
Rondônia	Tucumã	1,733	2,079	-
	Porto Velho	2,045	2,045	1,264
Total massa coletada (kg)		47,400	47,700	16,100

Fonte: Elaborado pelos autores.

17.1. PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE AMOSTRAS EM CAMPO

Este item descreve os procedimentos adotados para a coleta de amostras em campo, conforme ilustrado na Figura 107.

Figura 107. Exemplo de amostragem de garimpo de baixão (eluviação/coluvião)

Coleta da alimentação



Coleta do rejeito primário



Homogeneização e quarteamento da amostra da alimentação e do rejeito



Empacotamento e identificação das amostras



Foto: Carlos Henrique Xavier Araujo (2023).

A seguir, são apresentados os procedimentos realizados em campo:

Apresentação da equipe

Apresentação da equipe de campo ao dono ou supervisor da operação para explicar o objetivo da visita e os procedimentos que seriam realizados.

Identificação do tipo de minério

Classificação do minério em primário, aluvião, eluvião, coluvião, conforme observado *in loco*, para contextualizar os métodos de extração e processamento mineral.

Obtenção da taxa de alimentação de toneladas por hora (t/h)

Quantidade de material sólido sendo processado por hora na planta, calculando a quantidade de material processado/dia e dividindo pelo número de horas trabalhadas.

Coleta de amostras da polpa da Alimentação e do Rejeito

A equipe coletou simultaneamente aproximadamente 300 mL da polpa da alimentação e do rejeito a cada 10 minutos. Esse procedimento foi repetido no período de 2 horas para garantir representatividade da amostragem. A polpa coletada foi paulatinamente acumulada em dois baldes separados. Foi registrado se o rejeito retornava ao circuito de processamento ou se seria descartado.

Secagem das amostras

Após a coleta, as amostras foram deixadas em repouso para que os sólidos decantassem nos baldes para remover o máximo de água possível. As amostras da alimentação e rejeito foram secas separadamente ao sol.

Homogeneização das amostras

As amostras secas foram organizadas em duas pilhas (alimentação e rejeito) e homogeneizadas, quebrando os torrões e misturando o material de forma uniforme. Cada pilha foi dividida em quatro partes, duas frações opostas foram homogeneizadas novamente, e o processo foi repetido até que a massa restante fosse de aproximadamente 400 gramas.



Durante a etapa de campo, foram utilizados os seguintes instrumentos para a coleta, homogeneização e acondicionamento das amostras:

- **Lonas plásticas:** utilizadas como superfície para a homogeneização, quarteamento e secagem parcial das amostras;
- **Sacos plásticos grandes (tipo amostra):** acondicionamento das amostras;
- **Abraçadeiras plásticas:** utilizadas para o lacre dos sacos de amostras;
- **Planilhas impressas de campo:** registro das informações das amostras.
- **Balança portátil de precisão:** utilizada para a pesagem das amostras.
- **Baldes plásticos grandes (20 litros):** utilizados para o acúmulo da polpa da alimentação, rejeitos e rejeitos amalgamados durante o período de coleta.

Outros utensílios, como etiquetas adesivas e canetas permanentes, auxiliaram na organização e identificação das amostras. Todas foram identificadas com etiquetas contendo o nome do local de coleta, data, responsável pela coleta e código de identificação, definidos da seguinte forma:

- **“A”:** amostras de alimentação
- **“R”:** amostras de rejeitos
- **“RJ”:** amostras de rejeitos amalgamados

Após a conclusão de cada campanha de campo, as amostras foram acondicionadas em caixas e enviadas por transportadora terrestre ao Núcleo de Pesquisa para Pequena Mineração Responsável (NAP.Mineração/USP), em São Paulo. Posteriormente, foram encaminhadas ao SGS Geosol – Laboratórios Ltda, na unidade de Vespasiano, em Minas Gerais, responsável pelas análises. A Tabela 26 apresenta o resumo dos ensaios laboratoriais realizados, que incluíram determinação do teor de ouro, lixiviação por cianetação intensiva e ensaios granulométricos.



Tabela 26. Ensaios realizados no laboratório

Material	Tipo de Ensaio	Método de preparação	Método de quantificação
Alimentação; Rejeito; Rejeito Amalgamado	Teor de Ouro	Fire Assay	Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS)
Alimentação; Rejeito	Lixiviação com NaCN (Leachwell)	Fire Assay	Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS)
Rejeito; Rejeito Amalgamado	Ensaio Granulométrico a úmido em malha (s)	Secagem das amostras e peneiramento	-

Fonte: Elaborado pelos Autores.

As amostras para determinação do teor de ouro foram submetidas ao método de ensaio de fogo (Fire Assay), com quantificação por Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS). Esse método foi aplicado às amostras de alimentação, rejeito e rejeito amalgamado. Foi realizada a lixiviação com cianeto de sódio (NaCN) por meio do processo Leachwell, que consistiu na dissolução de ouro em 500 g de amostra moída a uma granulometria inferior a 0,074 mm, utilizando um tablete de 15 g de reagente Leachwell-60x ©, em 1 L de água. Este reagente é composto por 75% NaCN, 25% de ácido m-nitrobenzeno sulfônico de sódio e 0,5% de nitrato de chumbo, para acelerar o processo de cianetação. A lixiviação foi realizada em frascos rolantes por 2 horas. Após filtração da polpa, o ouro foi extraído da solução cianetada por um composto orgânico, Metil Isobutil Carbinol (MIBC), e a quantificação por AAS.

Os ensaios granulométricos a úmido em série de malhas foram aplicados aos rejeitos e rejeitos amalgamados, para identificar em qual fração granulométrica o ouro se perde durante o processo. As amostras foram secas a 105°C, de acordo com o protocolo do SGS Geosol Laboratórios, e posteriormente submetidas ao peneiramento úmido em série de malhas.

O SGS possui a acreditação CRL 0386 junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) para a realização de ensaios segundo os requisitos da norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira Registrada (NBR) ISO/IEC 17025. Essa norma estabelece critérios técnicos e de gestão para garantir a competência de laboratórios de ensaio e calibração, assegurando a confiabilidade dos resultados analíticos.



17.2. ANÁLISE GERAL DAS AMOSTRAGENS REALIZADAS

A Tabela 27 apresenta o total de amostragens realizadas em 24 operações de garimpos distribuídas nos estados do Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia. As informações coletadas em campo incluem: localidade, tipo de minério, tipo de garimpo, teor de ouro na alimentação e no rejeito, taxa de alimentação em toneladas por hora (t/h) e horas de processo.

Tabela 27. Total de amostragens realizadas

Estado	Localidade	Garimpo	Teor Au Alimentação*	Teor Au rejeito**	Alimentação (t/h)	Horas de processo
Amapá	Distrito de Lourenço	Baixão	0,0120	0,0100	25	10
			0,0120	0,0100	25	10
			0,0120	0,0100	15	10
			0,0120	0,0100	15	10
			0,0100	0,0100	25	10
			0,0200	0,0100	10	10
			0,0200	0,0050	12	10
			0,0200	0,0100	12	10
Amazonas	Manicoré	Balsa	0,0100	0,0050	10	10
			0,0200	0,0100	12	10
			0,0300	0,0100	15	10
			0,0120	0,0100	10	10
			0,0120	0,0100	12	10
			0,2100	0,3000	26	11
Mato Grosso	Peixoto de Azevedo	Baixão	0,0400	0,0200	20	11
			0,0200	0,0400	20	11
			0,0200	0,0100	15	11
			0,0400	0,0100	25	10
			0,0200	0,0100	80	24
Pará	Crepurizão	Draga	0,0800	0,0100	60	24
			0,0200	0,0170	60	24
			0,0610	0,0300	25	10
Rondônia	Tucumã	Baixão	0,0226	0,0200	25	10
			0,1000	0,0400	45	24

*Teor de alimentação analisado em ppm (partes por milhão)

**Teor de rejeito analisado em ppm (partes por milhão)

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Os resultados indicam variabilidade entre as operações amostradas, considerando os tipos de minérios, métodos de extração e taxas de alimentação nos processos de concentração.

- Minérios coluvionares/eluvionares são predominantes nos estados do Amapá e Mato Grosso, com operações concentradas em cavas de baixão, que detêm de taxas de alimentação menores, variando entre 5 e 30 t/h, como observado no Distrito de Lourenço (Amapá) e em Peixoto de Azevedo (Mato Grosso).
- Minérios aluvionares são comuns nos estados do Amazonas, Pará (Crepurizão) e Rondônia e estão associados a operações de dragagem (dragas e balsas) em leito de rio. Nesses casos, as taxas de alimentação tendem a ser mais elevadas, chegando até 80 t/h, como registrado em Crepurizão (Pará).

A média geral de alimentação das operações foi de $25,6 \pm 37,28$ t/h, considerando 2 x desvio padrão para representar 95% das ocorrências. A elevada dispersão é explicada pelas taxas observadas nas operações em leito de rio (dragas e balsas). O tempo médio de operação contínua no processo de concentração gravítica foi de $12,8 \pm 10,2$ horas. Nesse caso, as operações de dragagem em leito de rio podem operar por até 24 horas consecutivas, especialmente em áreas de menor teor, como os minérios aluvionares do Pará e Rondônia. No caso dos garimpos de baixão, a maioria das operações interrompe o processo de alimentação da calha concentradora após 10 ou 11 horas de trabalho.

A massa total média de minério processado por operação foi de 388 toneladas. Os resultados apontaram uma diferença percentual média de aproximadamente 25% entre os dois processos analíticos (ensaio a fogo e cianetação intensiva). Esta diferença decorre do ouro não exposto ao cianeto, mas que é capturado no processo de fusão com os reagentes (bórax, chumbo, etc.) utilizados nos ensaios a fogo. Os teores médios de ouro observados foram:

- **Alimentação:** $0,0348 \pm 0,0875$ ppm
- **Rejeitos:** $0,0261 \pm 0,0875$



Esses valores refletem baixas concentrações de ouro nos minérios analisados. O total de massa de minério de ouro produzido e perdido foi multiplicado pela massa total de minério processado pelos teores de ouro na alimentação e nos rejeitos, obtendo-se um valor ponderado de gramas de ouro produzidos. Para simplificar a análise, considerou-se que a massa dos rejeitos era equivalente à da alimentação, visto que a massa dos concentrados produzidos no momento da amostragem foi desconsiderada. Em minérios aluvionares, a massa de concentrados varia aproximadamente entre 0,01 a 0,05% da massa alimentada, mas depende do tipo de calha concentradora, massa de material sendo processado, tipo de carpete, tipo de grelha, densidade de polpa e inclinação da calha. Para minérios coluvionares, essa proporção em relação à alimentação tende a ser maior, da ordem de 0,1% a 0,5%, influenciada pelos mesmos fatores.

17.3. ESTIMATIVAS DE RECUPERAÇÃO DE OURO

Do total de 24 amostragens realizadas, 21 foram selecionadas para o balanço metalúrgico por atenderem aos critérios de representatividade da análise. Esses critérios consideraram os dados de alimentação, rejeitos e das condições observadas nos garimpos. As estimativas foram ponderadas pelas massas de ouro alimentadas no processo e pelas perdas nos rejeitos (Tabela 28). A recuperação média de ouro nas 21 operações amostradas foi de 42,5%. Esse resultado indica que, em média, menos da metade do ouro contido no minério processado é efetivamente recuperado no concentrado e o restante é perdido nos rejeitos.

Tabela 28. Resultados dos balanços metalúrgicos

Tipo de amostra	N ° de operações	% Au Recuperado
Minério coluvionar	8	45,5%
Minério eluvionar	13	48,8 %
Média de recuperação de ouro	21	42,5 %

Fonte: Elaborado pelos Autores.

As Tabelas 29 e 30 mostram a recuperação de ouro em minérios coluvionares e aluvionares. Os resultados dos balanços metalúrgicos indicaram que os teores médios desses minérios, lavrados em garimpos de baixão, são baixos, variando entre 0,01 e 0,21 ppm de ouro. Observou-se uma grande dispersão nos resultados de produção de ouro de cada operação, contudo, os valores são coerentes, mantendo-se na ordem de grandeza daqueles relatados pelos garimpeiros. Isso significa que cada garimpo, em regiões distintas, apresenta realidades específicas em termos de teor e recuperação.

As operações de minérios coluvionares recuperam $36,6 \pm 45,5\%$ do ouro enquanto as operações com minérios aluvionares recuperam em média $46,1 \pm 48,8\%$ do ouro. A maior % Au recuperado nas 8 operações de minérios coluvionares efetivamente consideradas no cálculo foi de 75% em Novo Progresso, Pará e a menor de 16,7% no Distrito de Lourenço (Amapá). Nas operações aluvionares a maior recuperação foi de 87,5 % em Creporizão (Pará) e a menor recuperação foi de 11,5% em Tucumã (Pará). Geralmente as recuperações de ouro em aluviões são pelo menos duas vezes maiores que as de minérios coluvionares, onde o ouro não está tão liberado para ser concentrado. As baixas recuperações de ouro nos processos de concentração podem ocorrer por dois fatores principais:

- (i) o ouro não está completamente liberado das partículas mais grosseiras de ganga.
- (ii) a perda de partículas finas de ouro durante o processo de concentração, especialmente em operações que utilizam calhas concentradoras.

Esses baixos índices de recuperação não ocorrem apenas no contexto brasileiro. Em outros países amazônicos, onde os garimpeiros trabalham com minérios coluvionares, as taxas de recuperação variam entre 30% e 40%. Em um estudo recente de balanço de ouro em minerações artesanais no Suriname, onde garimpeiros utilizam calhas com carpetes em zig-zag para concentração de ouro, foram coletadas amostras de alimentação e rejeito das calhas concentradoras durante 4 horas. Após análises químicas do material concentrado e dos rejeitos, observou-se, uma recuperação média de ouro de 93% em operações com minérios aluvionares. Entretanto, em operações de ouro coluvionar e eluvionar, as recuperações médias foram da ordem de 26%, pois muito ouro não estava liberado das frações mais grosseiras, e as partículas mistas de ouro e silicato não apresentavam peso suficiente para se concentrarem nos carpetes.



Tabela 29. Balanço metalúrgico de minério coluvionar

Item	Estado	Localidade	Operação	Teor Au Alimentação*	Teor Au rejeito**	% Recuperação do ouro
1	Amapá	Distrito de Lourenço	Baixão	0,0120	0,0100	16,7
2				0,0120	0,0100	16,7
3				0,0120	0,0100	16,7
4				0,0120	0,0100	16,7
5				0,0100	0,0100	-
6	Mato Grosso	Poconé	Baixão	0,2100	0,3000	-
7		Peixoto de Azevedo		0,0400	0,0200	50,0
8				0,0200	0,0400	-
9				0,0200	0,0100	50,0
10	Pará	Novo Progresso	Baixão	0,0400	0,0100	75,0
11		Morais de Almeida		0,0610	0,0300	50,8
Média				0,0408	0,0418	36,6
Desvio Padrão				0,0585	0,0862	22,8
2 x Desvio Padrão				0,1170	0,1720	45,5

*Teor de alimentação analisado em ppm (partes por milhão)

**Teor de rejeito analisado em ppm (partes por milhão)

- Dado não utilizado

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Tabela 30. Balanço metalúrgico das operações visitadas de minério eluvionar

Item	Estado	Localidade	Operação	Teor Au Alimentação*	Teor Au rejeito**	% Recuperação do ouro
1	Amazonas	Manicoré	Balsa	0,0200	0,0100	50,00
2				0,0200	0,0050	75,00
3				0,0200	0,0100	50,00
4				0,0100	0,0050	50,00
5				0,0200	0,0100	50,00
6				0,0300	0,0100	66,67
7				0,0120	0,0100	16,67
8				0,0120	0,0100	16,67
9	Pará	Crepurizão	Draga	0,0200	0,0100	50,00
10			Draga	0,0800	0,0100	87,50
11			Draga	0,0200	0,0170	15,00
12	Rondônia	Tucumã	Baixão	0,0226	0,0200	11,50
13		Porto Velho	Draga	0,1000	0,0400	60,00
Média				0,0297	0,0128	46,10
Desvio Padrão				0,0275	0,0091	24,40
2 x Desvio Padrão				0,0551	0,0182	48,80

*Teor de alimentação analisado em ppm (partes por milhão)

**Teor de rejeito analisado em ppm (partes por milhão)

Fonte: Elaborado pelos Autores.



17.4. ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE REJEITOS DE AMALGAMAÇÃO

Nos trabalhos de campo realizados, foram coletadas 8 amostras de rejeitos de amalgamação, submetidos a ensaios granulométricos e análises químicas do teor de ouro por ensaio a fogo de ouro (*fire assay*) em diferentes frações. Os teores de ouro dos rejeitos amalgamados variaram entre 6.55 e 180.20 ppm Au, com média de 43.3 ± 117.6 ppm Au, conforme apresentado na Tabela 31.

Tabela 31. Teores de Ouro dos rejeitos amalgamados

Estado	Localidade	Minério	Nº amostra	Au (ppm)
Mato Grosso	Peixoto de Azevedo	Colúvio	2	9.52
Mato Grosso	Peixoto de Azevedo	Colúvio	3	15.50
Mato Grosso	Peixoto de Azevedo	Colúvio	4	10.10
Pará	Crepurizão	Aluvião	6	15.50
Pará	Crepurizão	Aluvião	7	50.50
Pará	Crepurizão	Aluvião	8	180.20
Rondônia	Porto Velho	Aluvião	14	6.55
Pará	Morais de Almeida	Aluvião	23	58.78
Média				43.30
Desvio Padrão				58.80

Fonte: Elaborado pelos autores

A seguir, são apresentadas as análises das amostras de rejeitos de amalgamação para identificação da distribuição do ouro nas frações granulométricas e dos padrões de perda de ouro em função das características do minério e das práticas operacionais.

- Análise da amostra #2
- Análise da amostra #3
- Análise da amostra #4
- Análise da amostra #6
- Análise da amostra #7
- Análise da amostra #8
- Análise da amostra #14
- Análise da amostra #23

Análise da amostra #2: minério coluvionar de Peixoto de Azevedo, Mato Grosso

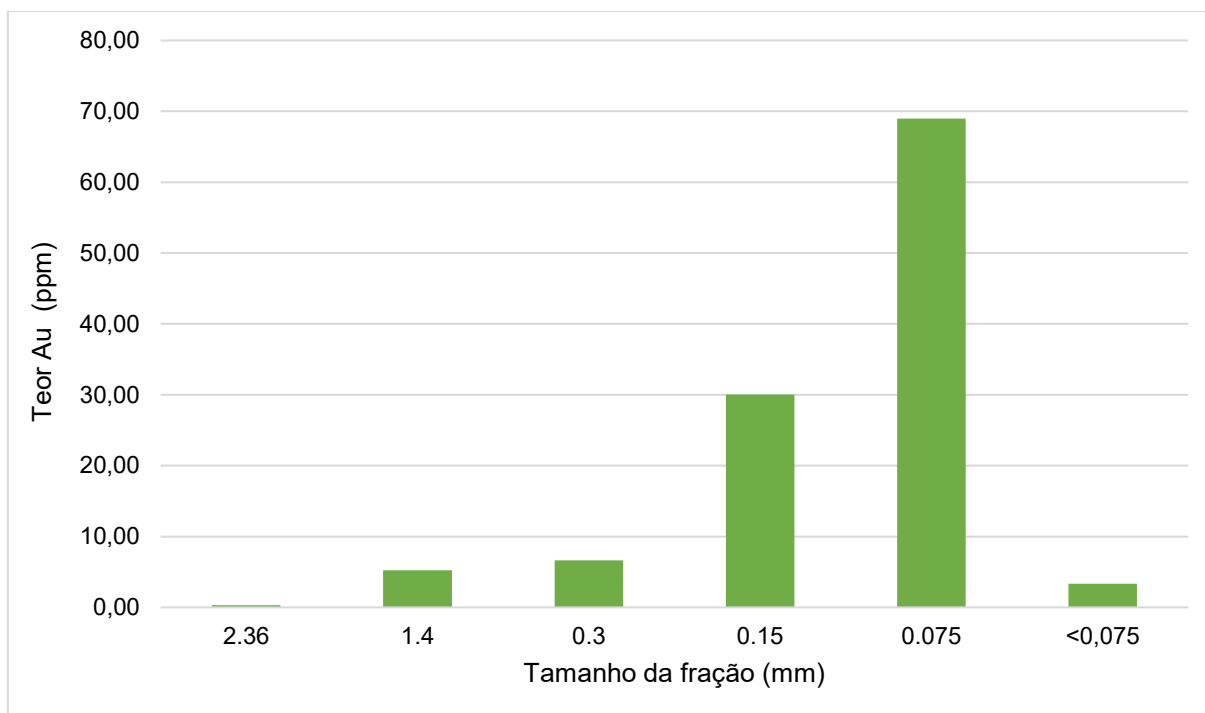
A Figura 108 mostra que o teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #2 de minério coluvionar de Peixoto de Azevedo. Os resultados indicaram que o teor aumenta nas frações finas. A fração menor que 0,075 mm (200 malhas) não tinha ouro, indicando que o metal foi perdido durante a etapa de concentração gravítica na calha concentradora. A fração 0,075 mm apresentou maior teor, com 69 ppm Au. Nas frações mais grosseiras, de -2,36 a +0,30 mm, o ouro foi extraído, permanecendo apenas pequenas quantidades, associadas a partículas que não estavam liberadas dos minerais de ganga. O gráfico de distribuição de ouro (em%) x granulometria (Figura 109) segue a mesma tendência do gráfico de teor de ouro nas frações granulométricas. As maiores perdas de ouro, representadas pela distribuição percentual, ocorrem nas frações menores ou iguais a 0,15 mm, que concentram cerca de 76% do total de ouro perdido. Essa alta perda é atribuída pela incapacidade do mercúrio de capturar partículas finas de ouro.

Análise da amostra #3, minério coluvionar de Peixoto de Azevedo, Mato Grosso

A Figura 110 mostra que o teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #3 de minério coluvionar de Peixoto de Azevedo. O ouro foi extraído das frações mais grossas (2,36 mm e 1,1 mm), resultando na recuperação de 230 g de doré a partir de 220 toneladas de minério processado. A recuperação de ouro das frações mais finas foi ineficiente por dois fatores. O primeiro fator é a oxidação do mercúrio que afeta a coalescência do metal e não captura o ouro fino. O segundo fator é a falta de liberação das partículas de ouro em granulometrias menores. O comportamento observado nos gráficos de teor de ouro x granulometria das amostras #2 e #3 sugere que a oxidação do mercúrio é a razão predominante pela não captura do ouro fino, nas frações entre 0,3 mm e 0,075 mm. A distribuição (%) do ouro perdido nas frações demonstra a eficiência da captura do ouro mais grosseiro do concentrado gravítico e perda de 99% do ouro abaixo ou igual a 0,3 mm (Figura 111). Isso pode caracterizar um processo mal feito de amalgamação, devido que partículas de ouro na fração 0,3 mm deveriam ser capturadas se estivessem liberadas. Essa fração contém 34% do ouro com um teor de 14,3 ppm Au. As frações 0,15 mm e 0,075 mm representam as maiores concentrações de teor e distribuição de ouro perdido.

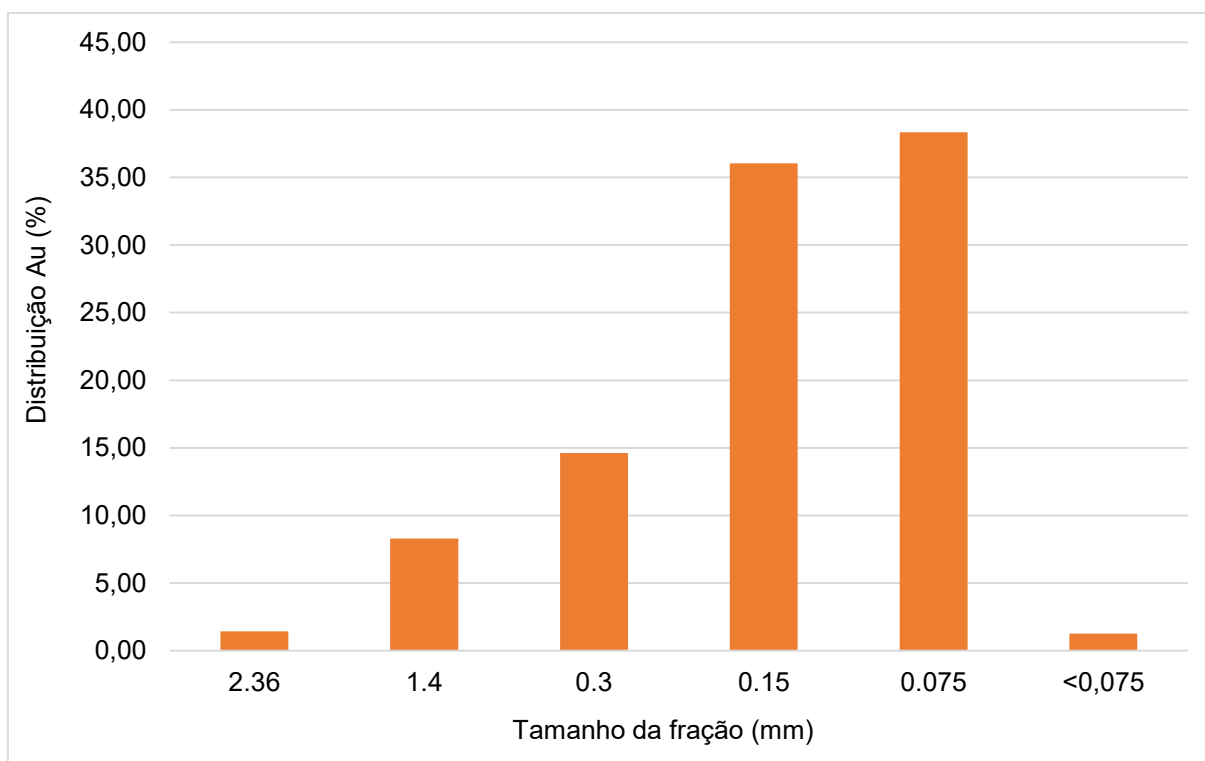


Figura 108. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #2



Fonte: Elaborado pelos Autores.

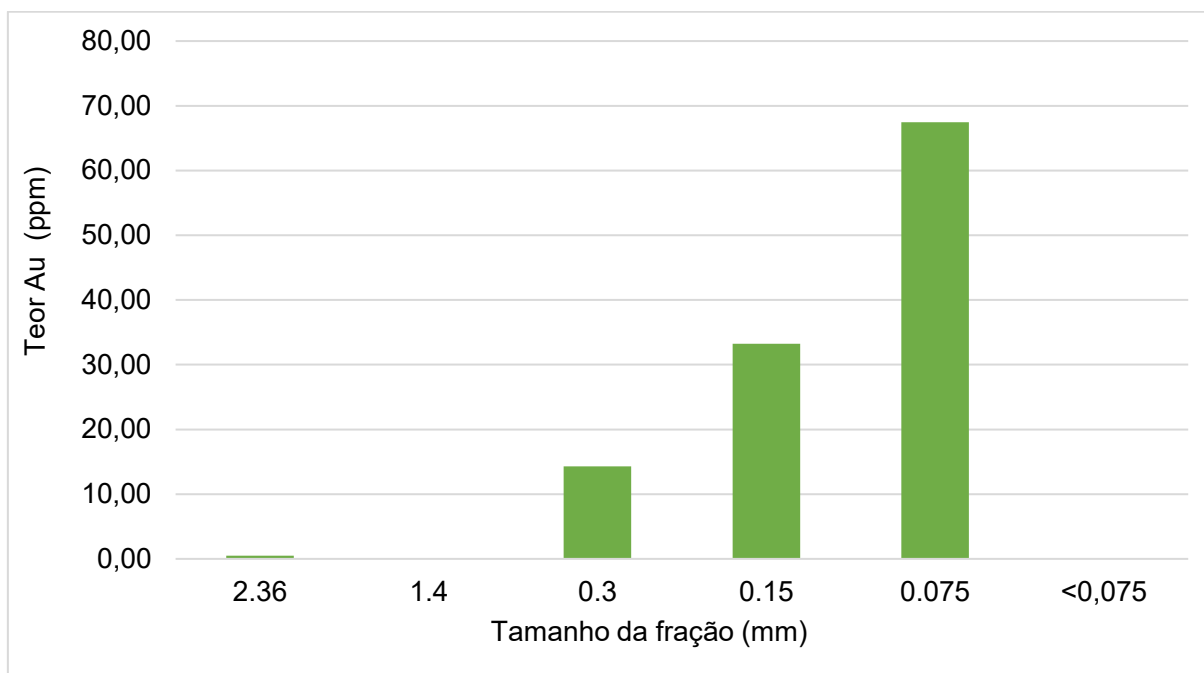
Figura 109. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #2



Fonte: Elaborado pelos Autores.

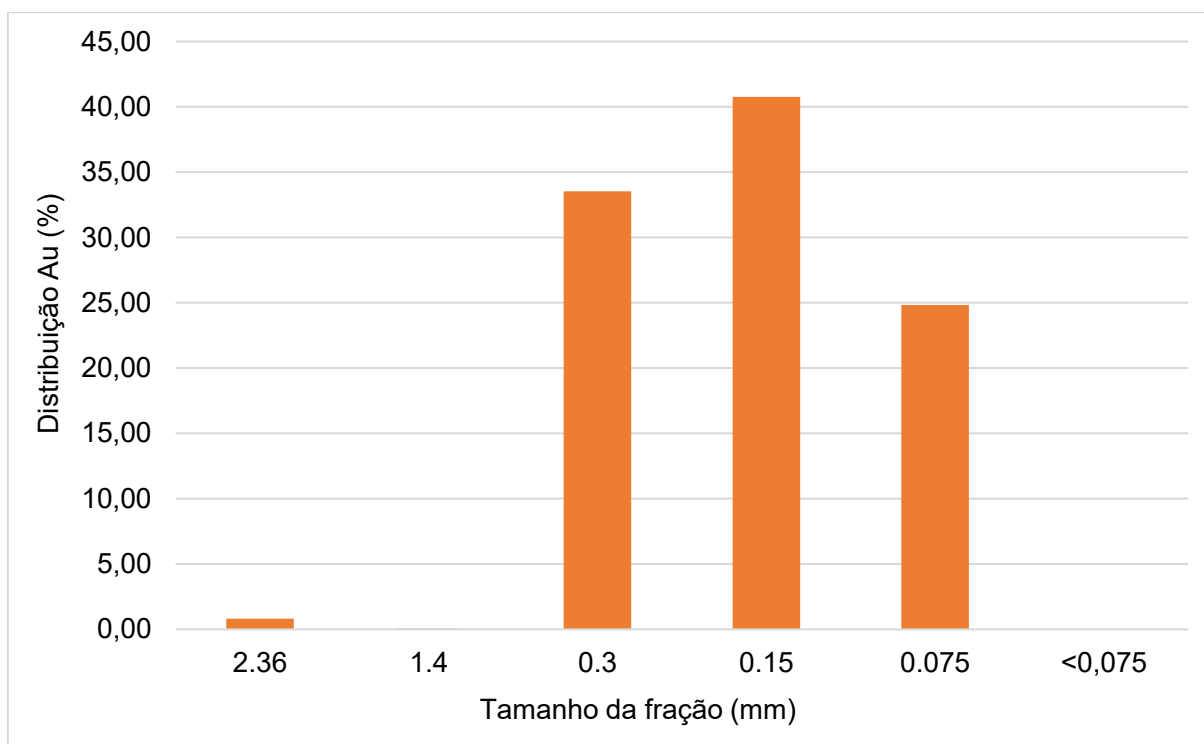


Figura 110. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #3



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 111. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #3



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Análise da amostra #4, minério coluvionar de Peixoto de Azevedo, Mato Grosso

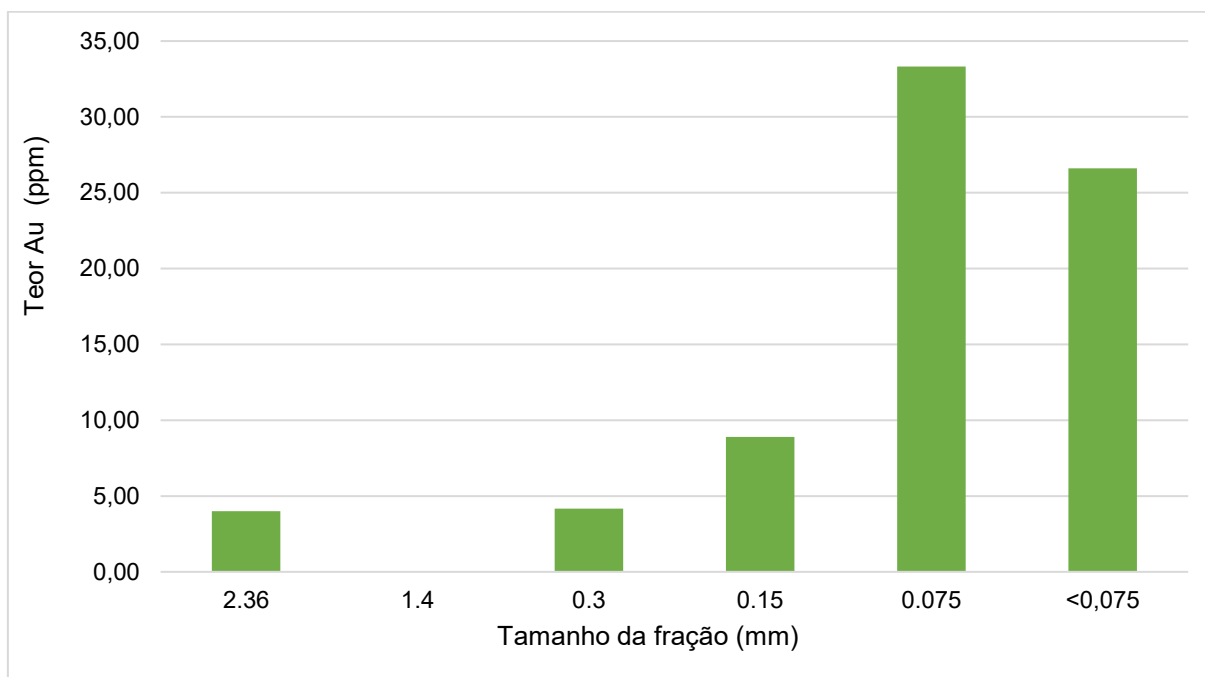
O teor de ouro no rejeito de amalgamação da amostra #4 apresenta um padrão de concentração crescente conforme a granulometria diminui (Figura 112). Nesse caso foram extraídos cerca de 90 g de doré de 105 tonelada de minério coluvionar processados. O processo gravítico em calhas concentradoras foi eficiente em concentrar 5,57% da massa na fração abaixo de 200 malhas (0,075 mm). Porém, a amalgamação foi ineficaz na recuperação de ouro presente nessas frações finas. Esse comportamento é indicado pela distribuição de apenas 13,5% do ouro nessa granulometria (Figura 113). A avaliação das perdas de ouro nessa amostra é semelhante à observado nas amostras anteriores, indicando que o processo de amalgamação é ineficiente na recuperação de partículas finas de ouro.

Análise da amostra #6, minério aluvionar de Creporizão, Pará

A amostra de rejeito de amalgamação foi originada de um concentrado aluvionar de draga no leito do rio Crepori, localizado na região do Creporizão, município de Itaituba, Pará. Foram processadas 80 toneladas de minério por hora, totalizando aproximadamente 1920 toneladas de minério ao final de 24 horas de operação. A recuperação resultou em 127.3 g de doré. O processo de concentração a bordo em calhas parece ter sido eficiente. A Figura 114 mostra que o rejeito amalgamado tinha uma massa de cerca de 29% de material na fração -0.15 +0.075 mm e 6% de material abaixo de 0.075 mm. Isso indica que o processo de concentração gravítica foi eficiente na separação do material fino no concentrado. Contudo, as perdas de ouro observadas seguem o mesmo padrão das amostras coluvionares analisadas anteriormente. Conforme demonstrado no gráfico de distribuição do ouro perdido (Figura 115), cerca de 94% do ouro perdido durante a amalgamação ocorre nas frações menores ou iguais a 0.15 mm.

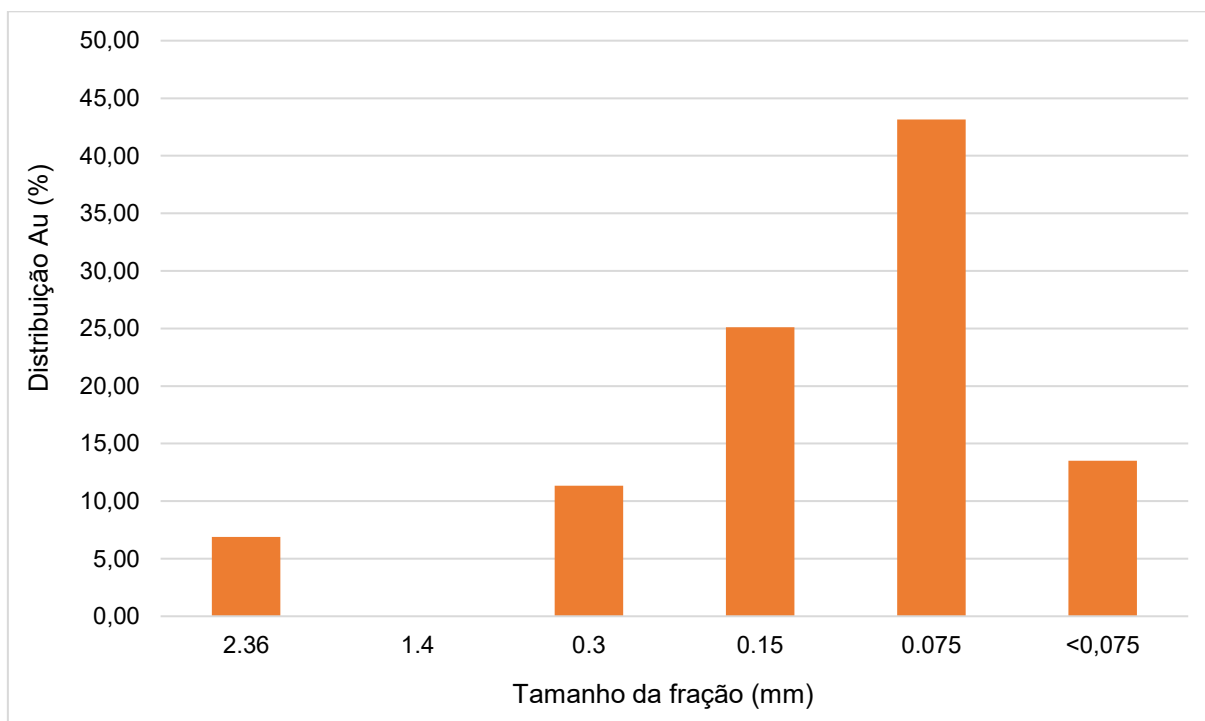


Figura 112. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #4



Fonte: Elaborado pelos Autores.

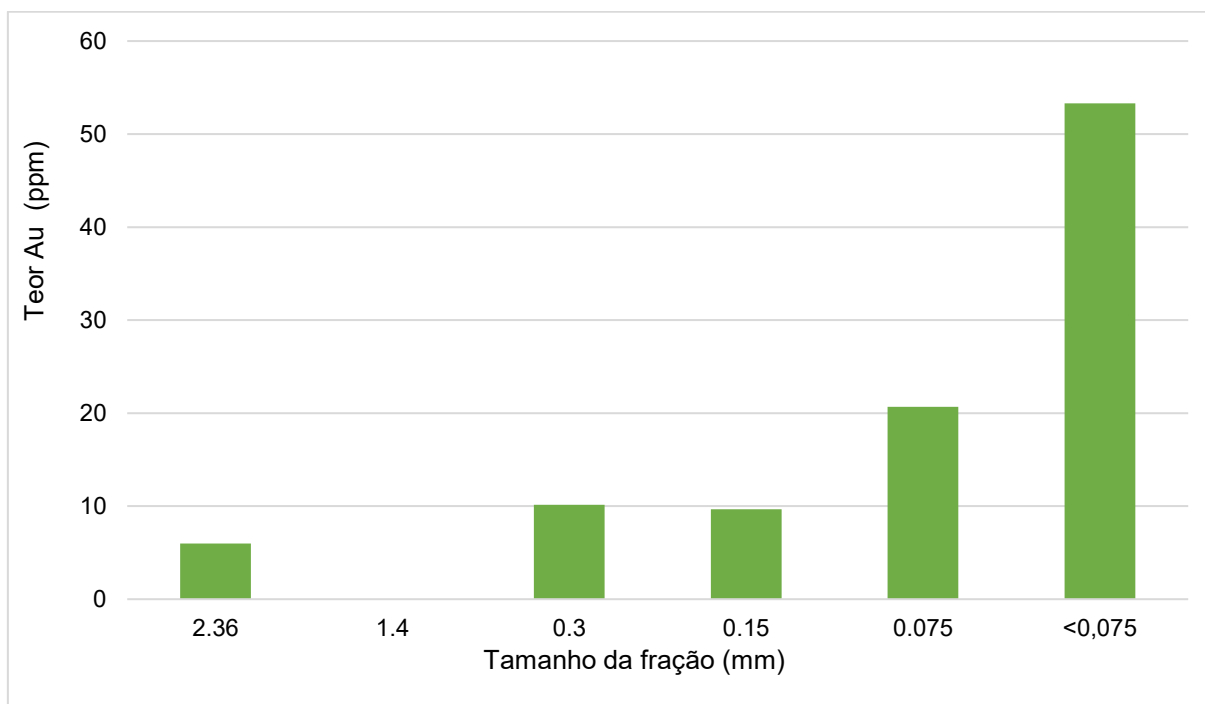
Figura 113. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #4



Fonte: Elaborado pelos Autores.

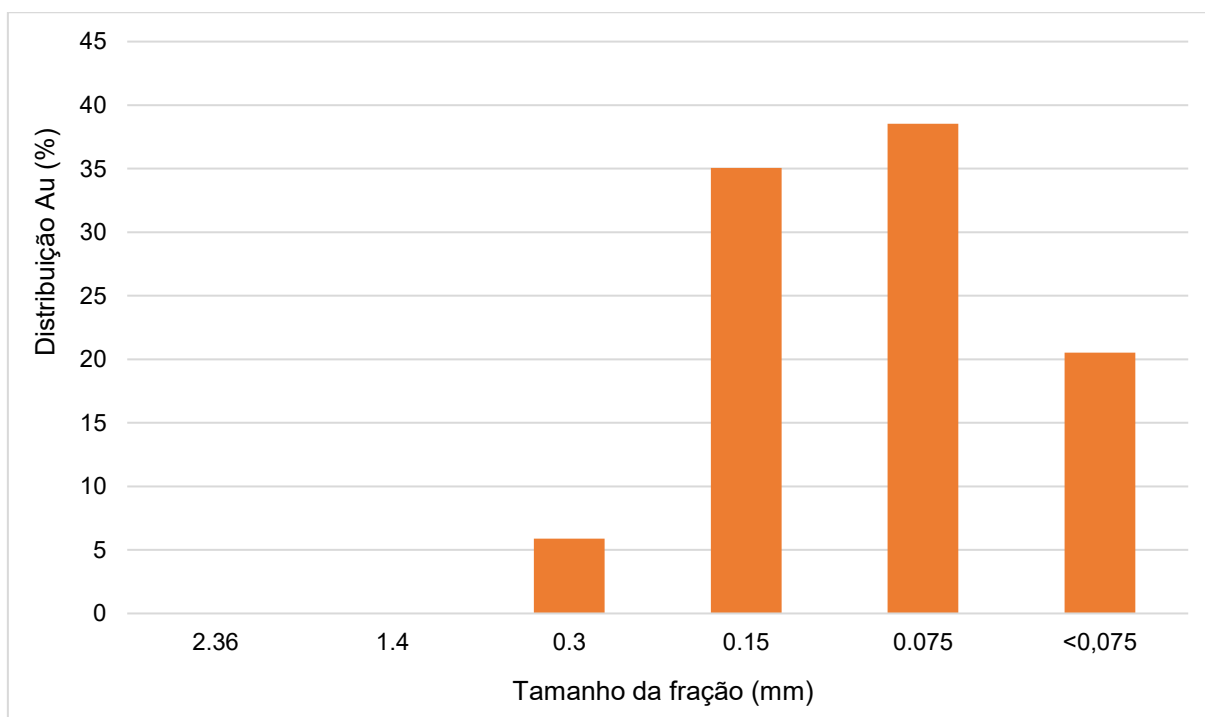


Figura 114. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #6



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 115. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #6



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Análise da amostra #7, minério aluvionar de Creporizão, Pará

Esta amostra é proveniente de minério aluvionar de draga no leito do rio Crepori, localizado na região do Creporizão, município de Itaituba, Pará. As frações de + 2.36 mm, -2.36 + 1.4 mm e menor 0,075 mm não foram analisadas (Figura 116; Figura 117). O comportamento observado nas frações restantes confirma o padrão anteriormente identificado em outras amostras aluvionares e coluvionares. O principal aspecto dessa amostra é a ineficiência do processo de amalgamação na recuperação de partículas de ouro fino.

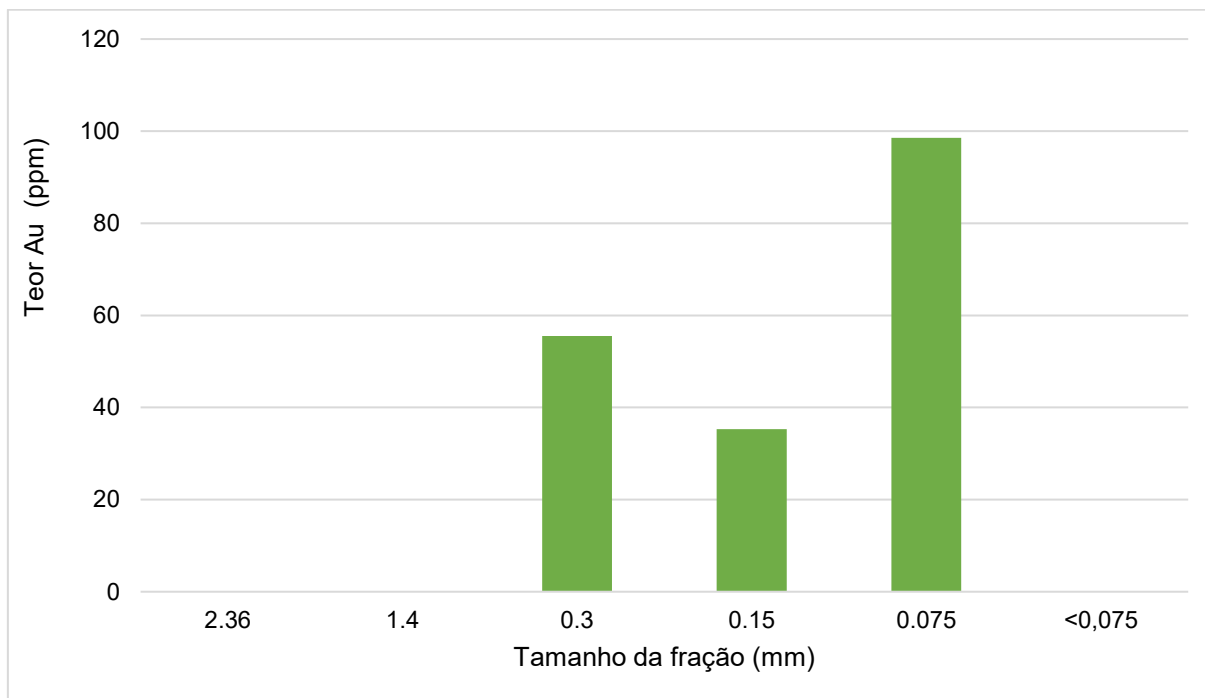
Análise da amostra #8, minério aluvionar de Creporizão, Pará

Esta é uma terceira amostra de concentrado de minério aluvionar proveniente de uma operação de dragagem no leito do rio na localidade de Creporizão (Pará). O rejeito de amalgamação apresentou um teor de ouro de 180.2 ppm, indicando que a amalgamação foi ineficiente. Os gráficos de teor de ouro nas frações granulométricas e distribuição do ouro perdido no rejeito de amalgamação indicam altos teores de ouro, em torno de 100 ppm, concentrados nas frações mais grosseiras (Figura 118; Figura 119). Esse comportamento sugere que, embora os garimpeiros frequentemente assumam que o ouro aluvionar de leito de rio, esteja completamente liberado da ganga, essa hipótese nem sempre é verdadeira.

Em aluviões próximos ao depósito primário, os grãos de minério podem não ter sido suficientemente rolados ou desgastados para liberar o ouro da ganga. Isto ocorre frequentemente quando o aluvião está próximo ao depósito primário. Esse fator pode ter sido uma das causas da perda de ouro nas frações mais grosseiras, mas sempre fica uma dúvida se a amalgamação foi bem executada e se o mercúrio não estava oxidado. Normalmente os operadores utilizam a bordo das dragas agitadores mecânicos de alta velocidade para misturar o mercúrio com o concentrado. Nesse processo, o mercúrio se esfarinha, perdendo sua coalescência, e sua habilidade de amalgamar partículas de ouro de qualquer tamanho. Essa situação é exemplificada pela produção de apenas 42 g de doré de 1440 toneladas processadas, um rendimento baixo que reforça as deficiências do processo de recuperação de ouro.

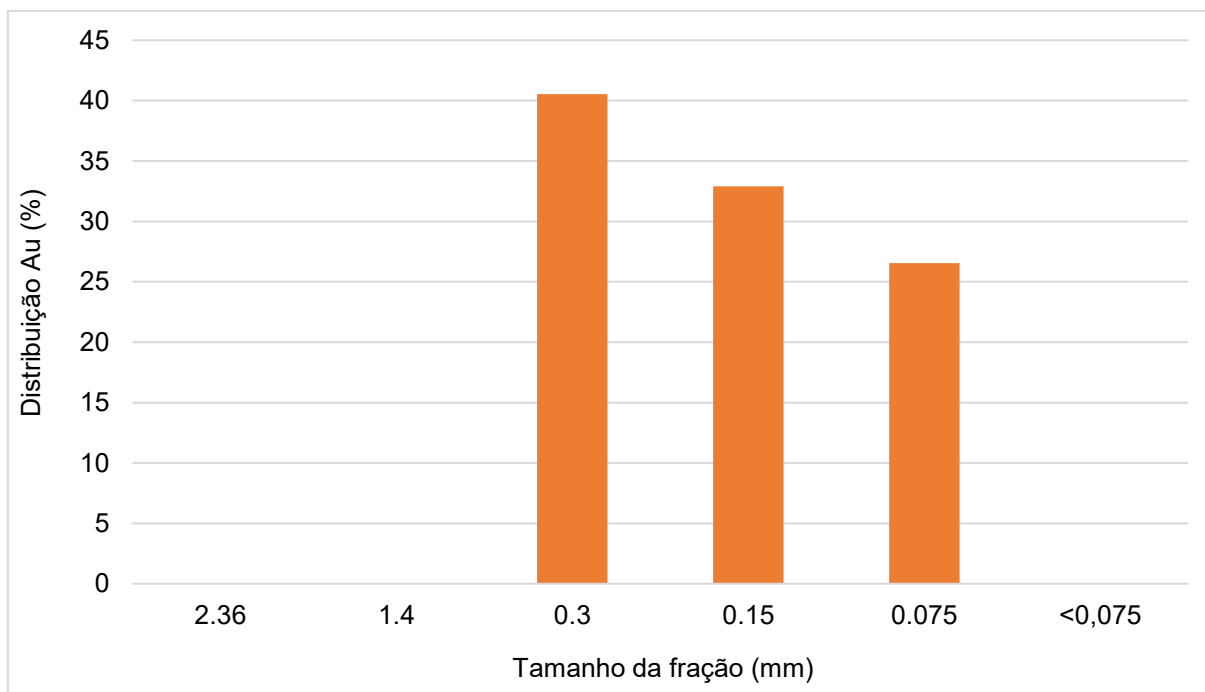


Figura 116. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #7



Fonte: Elaborado pelos Autores.

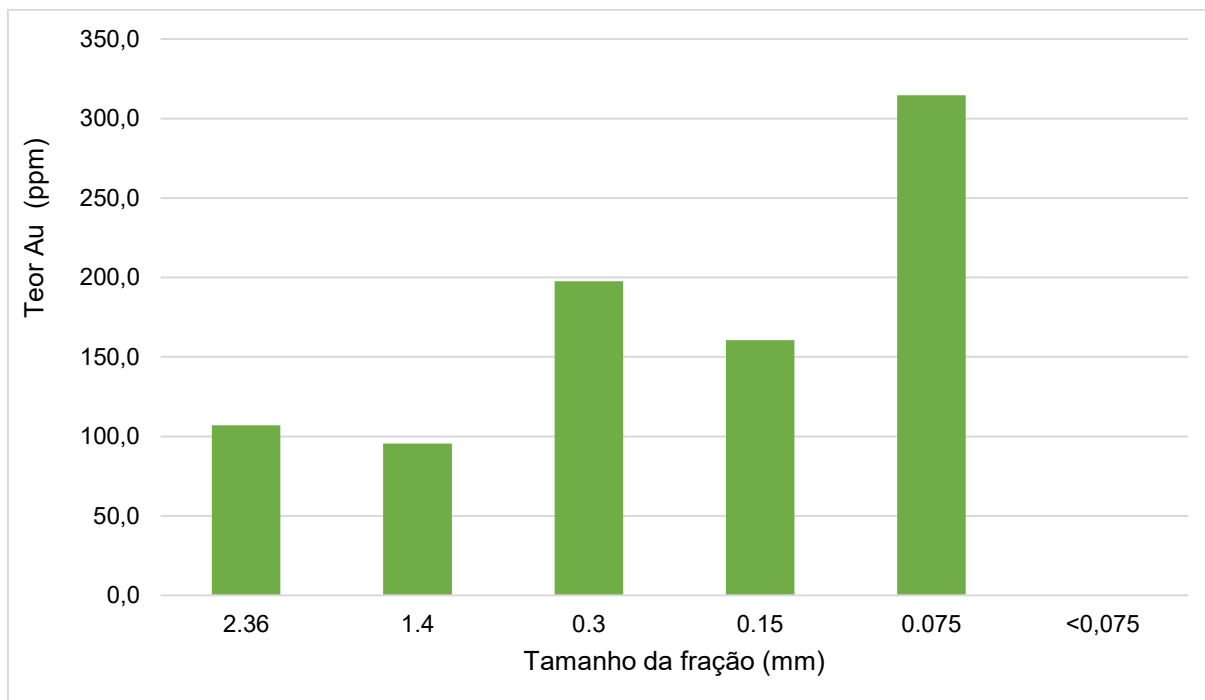
Figura 117. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #7



Fonte: Elaborado pelos Autores.

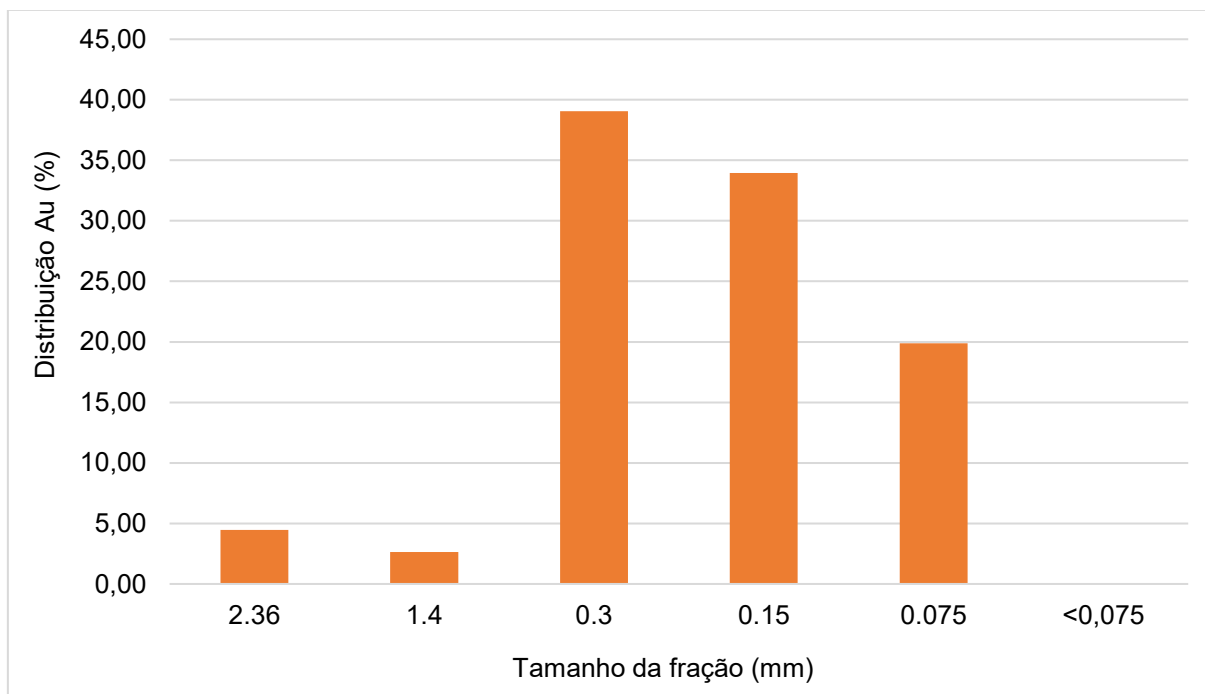


Figura 118. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #8



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 119. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #8



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Análise da amostra #14, minério aluvionar de Porto Velho, Rondônia

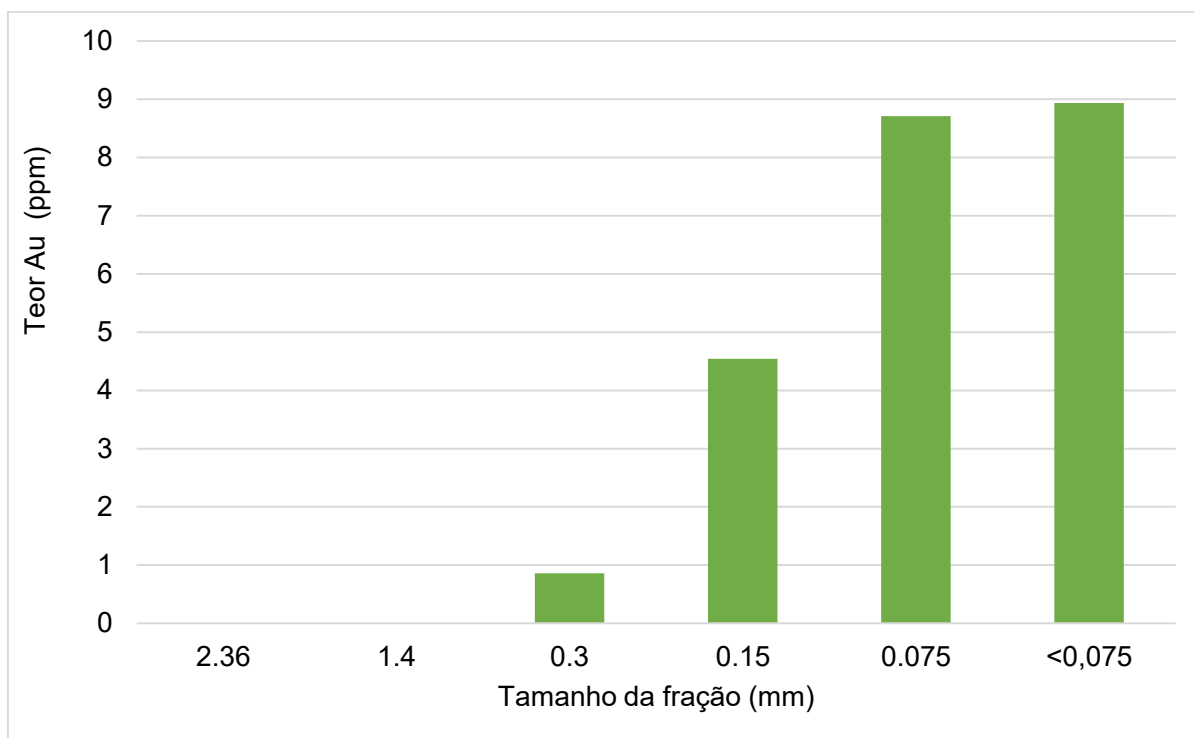
O concentrado gravítico desta amostra de rejeito de amalgamação de minério aluvionar de Rondônia foi obtido processando-se 45 toneladas de minério por hora durante 24 horas, sendo produzidos 175.6 g de doré de 1080 toneladas processadas. O processo de concentração gravítica foi eficiente pois cerca de 60% da massa do concentrado está nas frações 0.075 e abaixo de 0.075 mm. Contudo o mesmo padrão de ineficiência de amalgamação de partículas finas de ouro se repete, conferindo as frações finas altos teores de ouro (> 8.5 ppm Au). A distribuição do ouro nas frações granulométricas (Figura 120; Figura 121) mostra um padrão similar às amostras anteriores onde a maior parte do ouro perdido está na ineficiência do mercúrio (oxidado) em capturar partículas de ouro fino.

Análise da amostra #23, minério coluvionar de Morais de Almeida, Pará

Esta amostra de rejeito de amalgamação é originária de um concentrado de lavra de minério coluvionar e concentração em calha (25 toneladas por hora) na localidade de Morais de Almeida, município de Itaituba, Pará. Foram processadas 250 toneladas e obtiveram-se 494.5 g de doré, cerca de 2 g de ouro produzido por tonelada de minério processada. A análise granulométrica realizada não obteve quantidade suficiente de amostra para análise química de ouro por ensaio a fogo nas frações - 0.15 + 0.075 mm e -0.075 mm. Ainda assim, este rejeito amalgamado apresentou um comportamento diferente do das amostras anteriores. Embora o processo de amalgamação tenha sido eficiente na fração mais grosseira (+2.36 mm), houve significativa perda de ouro nas frações inferiores a 2.36 mm (Figura 122). A explicação mais provável para a perda de ouro nas frações -2.36 +1.40 mm e -1.4 +0.3 mm é a não liberação do ouro da ganga. Quando as partículas de ouro permanecem associadas a minerais de ganga, o mercúrio torna-se incapaz de amalgamá-las de forma eficiente e, portanto, não foi amalgamado. Confirmando isso, o gráfico de distribuição do ouro (Figura 123) indica que as maiores perdas ocorrem nas frações granulométricas -2.36 +1.4 mm e -1.4 +0.3 mm. Para melhorar a recuperação de ouro nesta amostra, recomenda-se uma classificação preliminar por peneiramento para a remoção da fração mais grosseira (>0.15 mm) e moagem das frações abaixo desse tamanho, seguida de um novo processo de concentração gravítica, que aumentaria significativamente a liberação do ouro da ganga e a recuperação de ouro.

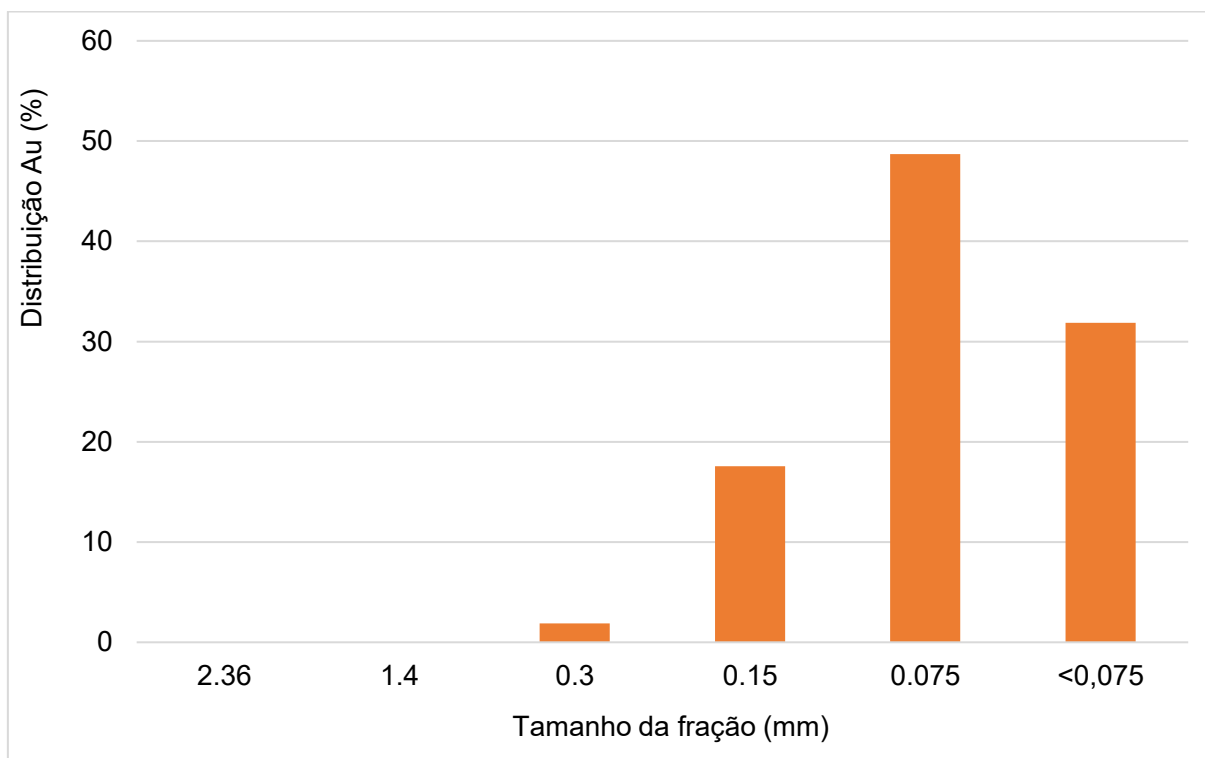


Figura 120. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #14



Fonte: Elaborado pelos Autores.

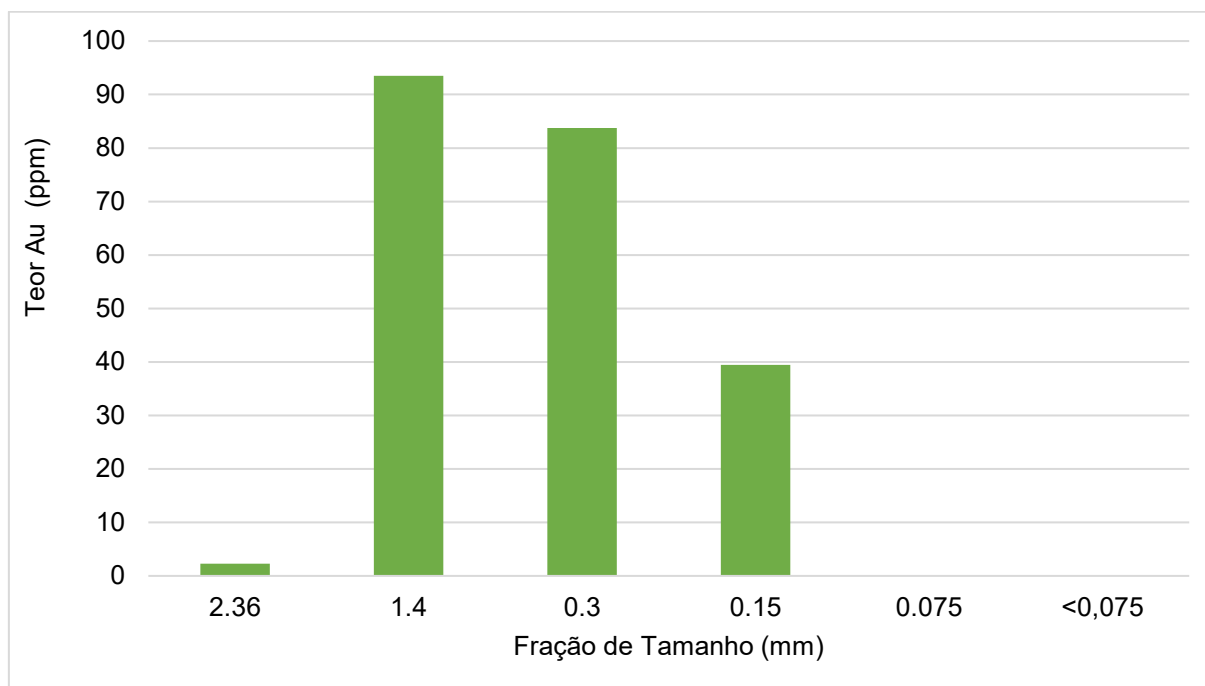
Figura 121. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #14



Fonte: Elaborado pelos Autores.

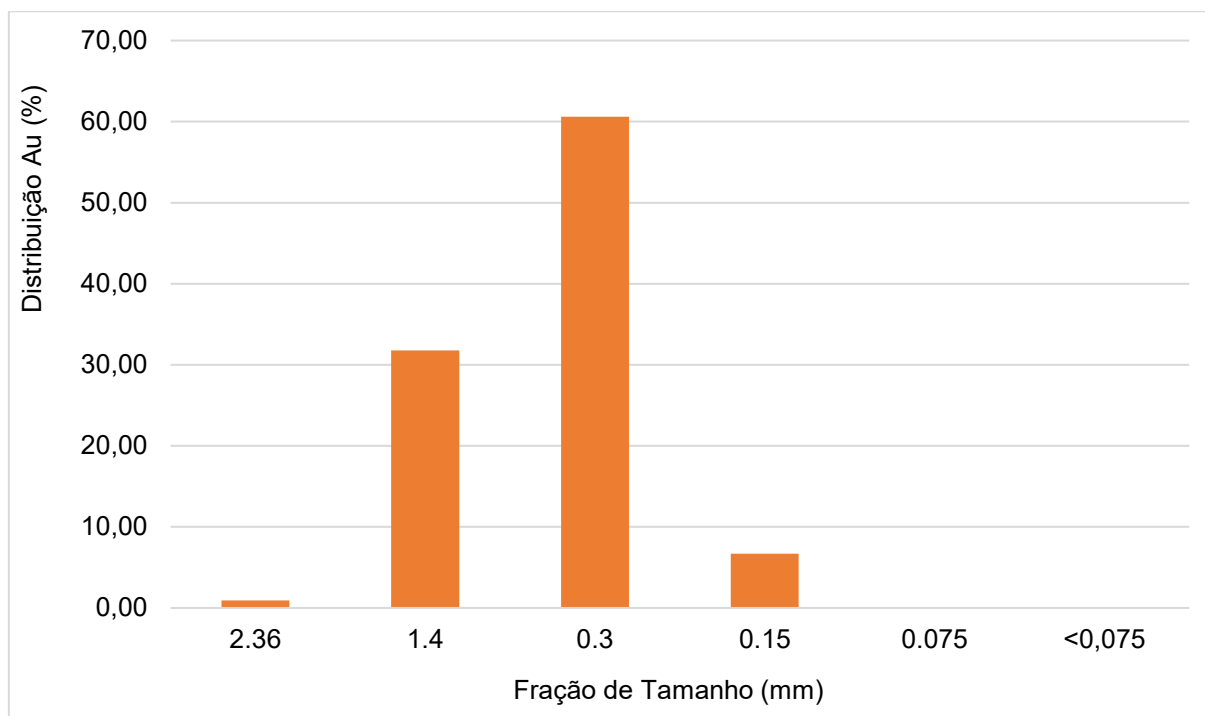


Figura 122. Teor de ouro nas frações granulométricas da amostra #23



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 123. Ouro perdido no rejeito de amalgamação da amostra #23



Fonte: Elaborado pelos Autores.

17.5. AVALIAÇÃO DAS ANÁLISES DOS REJEITOS DE AMALGAMAÇÃO

As análises granulométricas realizadas nas amostras de rejeitos de amalgamação indicam que o processo de captura de partículas de ouro livre pelo mercúrio é ineficiente. Entre as 8 amostras analisadas, sete apresentaram um padrão similar. A amalgamação captura pouco ouro das frações mais finas (≤ 0.075 mm), e em alguns casos em frações ≤ 0.15 mm. Constatou-se que a perda de ouro já capturado durante o processo de concentração é significativa.

A amostra #3 de minério coluvionar com teor elevado (>2 ppm Au), apresentou uma distribuição atípica, com maior parte do ouro retido em frações grosseiras. A análise sugere que a principal limitação, nesse caso, é a ausência de liberação do ouro de partículas de ganga. Esse fator impede a formação eficiente do amálgama. Nesse tipo de caso, recomenda-se a implementação de uma etapa de classificação granulométrica e moagem controlada antes da concentração gravítica, para ajudar na liberação do ouro e, conseqüentemente, na recuperação.

De modo geral, os resultados obtidos reforçam a necessidade de uma reavaliação dos atuais métodos de processamento na MAPE de ouro, com foco em buscar estratégias para melhorar a recuperação de ouro. A ineficiência da amalgamação pode ser atribuída à dois fatores: (i) falta de liberação do ouro, e (ii) oxidação e ao esfarinhamento do mercúrio. Nesse último caso, o mercúrio fragmenta-se em gotículas dispersas, que não aderem às partículas de ouro. Além disso, a tensão superficial do metal líquido não permite a incorporação do ouro (“molhamento”) no amálgama. Como alternativa técnica para capturar mais ouro fino na amalgamação e evitar a perda de mercúrio por esfarinhamento, sugere-se a ativação prévia do mercúrio. Nesse contexto, tecnologias alternativas e boas práticas devem ser priorizadas em futuras iniciativas de capacitação dos garimpeiros.

18. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transição para a redução e, idealmente, a eliminação do uso do mercúrio na mineração artesanal e de pequena escala é um desafio complexo que exige não apenas soluções técnicas viáveis, mas uma compreensão aprofundada das dinâmicas sociais, culturais, econômicas e operacionais que moldam o setor. A extração de ouro varia significativamente entre diferentes regiões, sendo influenciada por fatores como a origem e organização do trabalho, os saberes tradicionais acumulados, a realidade econômica local e a disposição dos mineradores em assumir riscos.

Os métodos de extração e beneficiamento mineral não são determinados apenas por condições geológicas e tecnológicas, mas dos contextos culturais e sociais de cada comunidade mineradora. Dessa forma, qualquer proposta de mudança deve considerar essas particularidades para garantir sua viabilidade e aceitação. A adoção de práticas mais sustentáveis dependerá da oferta de alternativas acessíveis, do fortalecimento da capacitação técnica e da criação de incentivos econômicos que tornem as novas tecnologias atrativas para os garimpeiros.

Para garantir o cumprimento dos objetivos da Convenção de Minamata, é fundamental a construção de soluções coletivas e integradas, envolvendo desde a formulação até a implementação do Plano de Ação Nacional (PAN). Esse processo deve contar com a participação ativa da equipe do projeto, órgãos governamentais, cooperativas e associações de garimpeiros, setor acadêmico, comunidades locais e suas lideranças, além de outros atores estratégicos. A colaboração entre esses grupos permitirá o desenvolvimento de medidas mais eficazes e alinhadas à realidade da MAPE de ouro no Brasil.

19. RECOMENDAÇÕES

Apresentam-se a seguir recomendações técnicas para subsidiar a elaboração do PAN. As ações visam promover a substituição progressiva do mercúrio por tecnologias mais eficientes e seguras, garantindo que a transição ocorra de forma viável e sustentável. Além disso, as recomendações buscam fortalecer a capacitação dos garimpeiros, ampliar o acesso ao financiamento para a adoção de novas práticas e fomentar políticas públicas que incentivem a mineração responsável, respeitando as especificidades sociais, econômicas e ambientais de cada região. As recomendações estão organizadas em temas-chave, descritos a seguir:

- Eliminar as práticas banidas pela Convenção de Minamata
- Disseminar o uso de retortas
- Avaliar a eficiência do processamento mineral
- Gerir os rejeitos contaminados de forma ambientalmente adequada
- Capacitar tecnicamente os(as) garimpeiros(as)
- Promover saúde e segurança ocupacional
- Disponibilizar dados e monitoramento sistemático
- Fomentar diálogos colaborativos

Eliminar as práticas banidas pela Convenção de Minamata

A amalgamação tem sido utilizada há séculos, resultando em grandes volumes de rejeitos abandonados frequentemente contaminados com mercúrio. Quando se busca recuperar ouro desses rejeitos ou de operações em curso que ainda utilizam mercúrio, é essencial remover o mercúrio antes da lixiviação com cianeto. No entanto, a estratégia mais eficaz para a gestão de rejeitos contaminados é prevenir sua geração desde o início. Por isso, a eliminação da amalgamação em todo o processo de beneficiamento do minério é uma medida fundamental para reduzir os impactos ambientais e os riscos à saúde. A efetividade das ações para eliminar essas práticas depende da comunicação transparente com as comunidades garimpeiras e da construção de apoio social por meio de processos participativos.

Disseminar o uso de retortas e capelas

As retortas e capelas são ferramentas para a prevenção da inalação de vapores de mercúrio e para minimizar os impactos ambientais e os riscos à saúde. Recomenda-se que o uso desses equipamentos seja obrigatório e condicionado à obtenção da PLG ou de sua renovação. Conforme observado em campo, ainda existem localidades que não usam esses dispositivos e a queima do amálgama é feita a céu aberto. Propõe-se implementação de programas educativos focados no uso de retortas, com apoio de federações de garimpeiros, cooperativas, órgãos ambientais, unidades de ensino e centros de pesquisa. Além disso, recomenda-se a capacitação do corpo técnico das cooperativas para atuarem como multiplicadores da informação e dos treinamentos práticos. A integração dessas medidas com postos de compra de ouro pode ampliar o impacto da iniciativa e reduzir a liberação de mercúrio.

Avaliar a eficiência do processamento mineral em garimpos

Um dos principais desafios para reduzir e, se possível, eliminar o uso do mercúrio nos garimpos é demonstrar aos garimpeiros a baixa eficiência na recuperação de ouro em suas operações. Muitos operadores acreditam que a taxa de recuperação de ouro está diretamente relacionada à quantidade final de ouro produzido. No entanto, mesmo que a produção pareça satisfatória para os garimpeiros, a eficiência técnica do processo pode ser muito baixa, resultando em perdas de ouro. Por isso, os(as) donos(as) de garimpos optam por investir em equipamentos de maior capacidade como escavadeiras e caminhões, para aumentar a extração de material bruto, em vez de direcionar recursos para equipamentos de processamento mais eficientes. O maior desafio para evidenciar essa ineficiência é conquistar a confiança dos mineradores para avaliar o teor de ouro em minérios, rejeitos e concentrados. Para convencê-los a adotar novas tecnologias livres de mercúrio, é essencial demonstrar, de forma clara e fundamentada, a baixa eficiência dos métodos tradicionais de concentração e amalgamação que eles utilizam.

Os balanços de ouro realizados no Projeto Ouro sem Mercúrio indicam uma recuperação total média de apenas 42,45%. Esses números mostram que os garimpeiros estão perdendo ouro e, conseqüentemente, dinheiro.

Uma estratégia eficaz para conscientizar os mineradores sobre essa ineficiência é divulgar amplamente os resultados dos balanços metalúrgicos já realizados e expandir a aplicação de testes metalúrgicos em diferentes regiões. Além disso, é fundamental compreender as percepções dos garimpeiros sobre suas taxas atuais de recuperação de ouro, pois muitos acreditam recuperar mais de 80% do material, apesar dos dados técnicos demonstrarem o contrário. Entender a origem dessas percepções e abordá-las com dados concretos pode ser um passo decisivo para incentivar a adoção de métodos mais eficientes e sustentáveis.

Gerir os rejeitos contaminados de forma ambientalmente adequada

Para a gestão de rejeitos contaminados com mercúrio, é fundamental estabelecer políticas e requisitos legais que incentivem o uso de tecnologias e alternativas de manejo, considerando as particularidades locais. O objetivo deve ser minimizar a geração de rejeitos, separar materiais reativos e não reativos e promover métodos de armazenamento seguros e ambientalmente responsáveis. A remoção do mercúrio dos rejeitos deve ocorrer antes das tentativas de recuperar ouro por meio do processamento mineral. Técnicas como o uso de placas de cobre para adsorção são viáveis, desde que realizadas por operadores treinados e com acompanhamento técnico adequado. É essencial envolver todos os atores relevantes e as comunidades afetadas no planejamento e na gestão desses rejeitos. Além disso, é necessário ampliar a disseminação de informações sobre poluição por mercúrio e estratégias de mitigação, garantindo que as comunidades impactadas tenham acesso a esses conhecimentos. Programas educacionais devem ser desenvolvidos para capacitar garimpeiros e organizações locais, incentivando a apresentação de ideias e modelos que viabilizem a adoção de práticas seguras e eficazes para a gestão dos rejeitos.

Capacitar tecnicamente os(as) garimpeiros(as)

É importante esclarecer que não existe um modelo único para a capacitação dos operadores da MAPE de ouro no mundo. A dinâmica, as necessidades e as percepções dos diferentes setores variam muito, dependendo da geografia, das características dos depósitos e dos métodos de extração e processamento do minério. Para que qualquer programa de treinamento seja implementado com sucesso, é fundamental que esteja alinhado às necessidades do público-alvo.

Mesmo que novos cursos sejam sugeridos, eles devem estar conectados aos temas de interesse das pessoas para garantir sua motivação e engajamento. No Projeto Ouro sem Mercúrio, os entrevistados apresentaram um alto grau de diversidade em termos de escolaridade e condições socioeconômicas, tornando inviável a aplicação de soluções genéricas. Um programa de treinamento eficaz deve enfatizar a importância dos ganhos econômicos e a redução dos impactos ambientais, ao mesmo tempo em que busca aumentar a lucratividade das operações. Além disso, é essencial compreender profundamente os aspectos culturais antes de desenvolver o currículo de formação. A participação ativa dos líderes das cooperativas e donos das operações, em conjunto com formadores e especialistas, é fundamental para garantir a relevância e a eficácia do curso.

Promover saúde e segurança ocupacional

A pesquisa de campo revelou duas faces do setor. Por um lado, trata-se de uma atividade que gera oportunidades socioeconômicas. Por outro, envolve riscos significativos à saúde dos trabalhadores e frequentemente se distancia das normas estabelecidas. Para mitigar esses desafios, é essencial que a adoção de novas tecnologias para a extração e o processamento de ouro livre de mercúrio, aliada à reorganização dos processos produtivos, esteja acompanhada de uma transformação na cultura organizacional. Essa mudança deve priorizar aspectos de saúde e segurança. O princípio da segurança não pode ser subestimado: é imprescindível disseminar padrões técnicos e procedimentos atualizados, fundamentados em pesquisas e estudos apropriados, assim como na disposição dos próprios garimpeiros em transformar suas práticas e incorporar uma nova cultura no setor.

Disponibilizar dados e monitoramento sistemático

Investimentos em inovação tecnológica e pesquisa científica devem ser prioritários na busca por alternativas mais limpas para a MAPE de ouro. Esses esforços são fundamentais para uma compreensão mais precisa dos custos e dos riscos ambientais e de saúde associados a essa atividade. A disponibilização de literatura e dados atualizados permitirá o desenvolvimento de políticas e intervenções mais eficazes e abrangentes. A pesquisa deve focar em áreas críticas, incluindo o desenvolvimento de rotas tecnológicas para a substituição do mercúrio, a análise de aspectos

socioeconômicos para a transição energética de baixo carbono, e a avaliação das exposições ocupacionais e não ocupacionais. Além disso, estudos toxicológicos aprofundados, com ênfase em exposições múltiplas, são essenciais para embasar medidas de mitigação e proteção da saúde dos trabalhadores e das comunidades afetadas.

Diálogos colaborativos

As experiências recentes mostram que o diálogo para a implementação de mudanças na MAPE de ouro sem um esforço prévio de engajamento com os(as) garimpeiros(as), pode gerar desconfiança. No entanto, as atividades de campo do Projeto contaram com o apoio das comunidades, dos garimpeiros e de suas lideranças, demonstrando que há espaço para uma conversa construtiva entre todas as pessoas envolvidas. Isso reforça a importância de abordagens que priorizem a comunicação aberta e a participação ativa no processo de transição. Recomenda-se que os líderes das associações ou cooperativas de mineração assumam um papel central na transformação para uma MAPE de ouro sem mercúrio. A apresentação de resultados de pesquisas realizadas em garimpos, com foco na redução e, quando possível, na eliminação do uso do mercúrio, pode ser um ponto de partida para engajar as lideranças e demais interessados. Além disso, os operadores podem ser incentivados a adotar medidas de proteção ambiental, como a vinculação do acesso ao crédito à implementação de práticas sustentáveis. Por fim, é essencial que os aspectos econômicos estejam no centro do diálogo, pois representam o principal interesse dos operadores e podem facilitar a aceitação de novas práticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCY OF TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Medical Management Guidelines for Mercury. US Gov, 2021. Disponível em: <<https://wwwn.cdc.gov/TSP/MMG/MMGDetails.aspx?mmgid=106&toxid=24>>.

ALEKU, D. L.; LAZAREVA, O.; PICHLER, T. Mercury in groundwater – Source, transport and remediation. *Applied Geochemistry*, v.170, 106060, 2024. Doi: doi.org/10.1016/j.apgeochem.2024.106060.

ALMEIDA F.F.M.; HASUI Y.; BRITO NEVES B.B.; FUCK R.A. Províncias estruturais brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande/PB, Atas, pp. 363-391, 1977.

AMANKWAH, R. K.; OFORI-SARPONG. G. A Lantern Retort for Small-Scale Gold Extraction. *International Journal of Environmental Protection and Policy*, v. 2, n. 5, p. 161-167, 2014. Doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijepp.20140205.13>.

ANDRADE, C. E. P.; SÔNIA, D. F. R.; ARAUJO, C. H. X. Desafios técnicos e ambientais para eliminação do mercúrio na mineração artesanal de ouro no Brasil: Casos de Poconé (Mato Grosso) e Distrito de Lourenço (Amapá). *Revista Brasil Mineral*, n.436, p.66-71, 2024. Disponível em:<<https://www.brasilmineral.com.br/revista/436/Revista%20Brasil%20Mineral%20-%20436.pdf>>.

APPEL, P.W.U.; NA-OY, L.D. Mercury-Free Gold Extraction Using Borax for Small-Scale Gold Miners. *Journal of Environmental Protection*, 5, 493-499, 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2014.56052>.

ARAUJO, C. H. X. Análise dos desafios sociais e técnicos para transformações voltadas à sustentabilidade no garimpo de ouro na Amazônia Brasileira. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Doi: 10.11606/T.3.2023.tde-18102023-095323.

ARAUJO, C. H. X.; DE TOMI, G. Reframing small-scale gold mining cooperatives: Evidence from Brazilian Amazon. *The Extractive Industries and Society*, v.24, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2025.101728>.

ARAUJO, C. H. X.; ULLAH, I.; DE TOMI, G. Challenges in artisanal small-scale gold mining: perspectives and transformations to sustainability along BR-163 in Brazil. *Journal of Sustainable Mining*, v. 24, 2025. Doi: <https://doi.org/10.46873/2300-3960.1458>.



ARAUJO, C. H. X.; VEIGA, M. M.; DE TOMI, G. Project ASGM Sustainability In Peixoto. World Bank, 2020. Disponível em: <<https://www.delvedatabase.org/resources/project-asgm-sustainability-in-peixoto>>.

ARAÚJO, R.; BRAGANÇA, A.; ASSUNÇÃO, J. Acessibilidade na Amazônia Legal: Delimitação da Área de Influência e Risco Ambiental. Amazônia 2030, 2022. Disponível em: <<https://www.climatepolicyinitiative.org/pt-br/publication/acessibilidade-na-amazonia-legal-delimitacao-da-area-de-influencia-e-riscos-ambientais/>>.

ARCTIC MONITORING AND ASSESSMENT PROGRAMME/UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global Mercury Modelling: Update of Modelling Results in the Global Mercury Assessment 2013. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway/UNEP Chemicals Branch. Geneva, Switzerland, 2015.

ARSLANALP, S.; EICHENGREEN, B. SIMPSON-BELL, C. Gold as international reserves: A barbarous relic no more? Journal of International Economics, v. 145, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2023.103822>.

ARTISANAL MINING. Inventory. 2025. Disponível em: <<https://artisanalmining.org/Inventory/>>.

BACHE, J. J. Quantitative typology experiment on world gold deposits. Chronique de la Recherche Minière, v. 49, n.459, p. 43-50, 1981.

BALZINO, M.; SECCATORE, J.; MARIN, T.; DE TOMI, G. F. C.; VEIGA, M. M. Gold losses and mercury recovery in artisanal gold mining on the Madeira River, Brazil. Journal of Cleaner Production, v. 102, p. 370-377, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.012>.

BANSAH, K. J. Artisanal and small-scale mining formalization in Ghana: The government's approach and its implications for cleaner and safer production. Journal of Cleaner Production, v. 399, 136648, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136648>.

BANSAH, K. J.; ACQUAH, P. J.; BOAFO, A. Land, water, and forest degradation in artisanal and small-scale mining: Implications for environmental sustainability and community wellbeing. Resources Policy, v. 90, 104795, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104795>.

BANSAH, K. J.; ARTHUR-HOLMES, F.; ASSAN, E. Climate induced transformation of agriculture to artisanal mining economy in dry regions. Journal of Rural Studies, v. 99, p. 11–19, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.02.005>.

BARCELOS, R. Casas de fundição e da moeda no Brasil e em Portugal: purificar o ouro, apurar as técnicas. População e Sociedade CEPESE, Porto, v. 21, p. 143-163, 2013. Disponível em: <<https://www.cepese.pt/portal/pt/populacao-e-sociedade/edicoes/populacao-e-sociedade-n-o-21>>.

BARRY, M. Regularizing informal mining: a summary of the proceedings of the international roundtable on artisanal mining. IEN Occasional Paper, No. 6. Industry and Energy Department. The World Bank, Washington, DC, 1996.

BASTA, P. C.; VIANA, P. V. d. S.; VASCONCELLOS, A. C. S. d.; PÉRISSÉ, A. R. S.; HOFER, C. B.; PAIVA, N. S.; KEMPTON, J. W.; CIAMPI DE ANDRADE, D.; OLIVEIRA, R. A. A. D.; ACHATZ, R. W.; PERINI, J. A.; MENESES, H. d. N. D. M.; HALLWASS, G.; LIMA, M. D. O.; JESUS, I. M. D.; SANTOS, C. C. R. d. D.; HACON, S. D. S. Mercury Exposure in Munduruku Indigenous Communities from Brazilian Amazon: Methodological Background and an Overview of the Principal Results. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 18, n. 17, 9222, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph18179222>.

BASTOS, W. R.; DE ALMEIDA, R.; DÓREA, J. G.; BARBOSA, A. C. Annual flooding and fish-mercury bioaccumulation in the environmentally impacted Rio Madeira (Amazon). Ecotoxicology (London, England), v. 16, n. 3, p. 341–346, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10646-007-0138-0>.

BASTOS, W. R.; LACERDA, L. D. A contaminação por mercúrio na bacia do rio madeira: uma breve revisão. Geochimica Brasiliensis, v. 18, n. 2, 2012. Disponível em: <<https://geobrasiliensis.emnuvens.com.br/geobrasiliensis/article/view/215>>.

BAUR, D. G.; SMALES, L. A. Hedging geopolitical risk with precious metals. Journal of Banking & Finance, v. 117, 105823, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2020.105823>.

BECKERS, F.; RINKLEBE, J. Cycling of mercury in the environment: Sources, fate, and human health implications: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 47, n. 9, p. 693–794, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1326277>.

BOISCHIO, A. A. P.; HENSHEL, D. Fish Consumption, Fish Lore, and Mercury Pollution—Risk Communication for the Madeira River People. Environmental Research, v. 84, n. 2, p. 108–126, 2000. Doi: <https://doi.org/10.1006/enrs.2000.4035>.

BORGHETT, C.; PHILIPP, R. P.; MANDETTA, P.; Hoffmann, I. B. Geochronology of the Archean Tumucumaque Complex, Amapá Terrane, Amazonian Craton, Brazil. Journal of South American Earth Sciences, v. 88, p. 294-311. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.08.019>.

BRAGA, P. F. A.; ARAÚJO, R. V. V. Ensaios de retortagem – destilação de mercúrio. In: SAMPAIO, J.A.; FRANCA, S.C.A.; BRAGA, P.F.A. Tratamento de Minérios: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.371-379, 2007.

BRAHÃO, J. I.; PINHO, D. As transformações do trabalho e desafios teóricos e metodológicos da ergonomia. Natal: Revista Estudos de Psicologia, v.7, nº. especial, p. 45-52, 2002. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-294X2002000300006>.

BRASÍLIA AMBIENTAL. Esgotamento sanitário para o núcleo rural lago oeste, 2017. IBRAM, Distrito Federal.

BRYCESON, D. F.; GEENEN, S. Artisanal frontier mining of gold in Africa: Labour transformation in Tanzania and the Democratic Republic of Congo. African Affairs, v. 115, n. 459, p. 296–317, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1093/afraf/adv073>.

BUGMANN, A.; BRUGGER, F.; ZONGO, T.; VAN DER MERWE, A. “Doing ASGM without mercury is like trying to make omelets without eggs”. Understanding the persistence of mercury use among artisanal gold miners in Burkina Faso. Environmental Science & Policy, v. 133, p. 87–97, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.03.009>.

CALVIMONTES, J.; MASSARO, L.; ARAUJO, C. H. X.; MORAES, R. R.; MELLO, J.; FERREIRA, L. C.; DE THEIJE, M. Small-scale gold mining and the COVID-19 pandemic: conflict and cooperation in the Brazilian Amazon. The Extractive Industries and Society, v. 7, n. 4, p. 1347-1350, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.08.013>.

CARMAN, J. S. The Contribution of Small-Scale Mining to World Mineral Production. Natural Resources Forum, v. 9, n. 2, p. 119–124, 1985. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.1985.tb01048.x>

CARRISSO, R. C. C; CHAVES, A. P. Mecanismos atuantes na concentração gravítica e principais equipamentos utilizados na concentração centrífuga; Concentração gravítica. 2. Concentração centrífuga. CETEM/MCT, Série Tecnologia Mineral, ISSN 01037382, Rio de Janeiro, 2002.

CASTILHOS Z.; RODRIGUES-FILHO S.; CESAR, R.; RODRIGUES, A. P.; VILLAS-BÔAS, R.; de JESUS I.; LIMA, M.; FAIAL, K.; MIRANDA, A.; BRABO, E.; BEINHOFF, C.; SANTOS, E. Human exposure and risk assessment associated with mercury contamination in artisanal gold mining areas in the Brazilian Amazon. Environmental Science and Pollution Research, v. 22, p.11255–11264, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4340-y>.



CASTILHOS, Z. C.; BIDONE, E. D.; LACERDA, L. D. Increase of the background human exposure to mercury through fish consumption due to gold mining at the Tapajos River Region, Para State, Amazon. *Bulletin of Environmental and Toxicology*, v. 61, p. 202 – 209, 1998. Doi: <https://doi.org/10.1007/s001289900749>.

CASTILHOS, Z. C.; DOMINGOS, L. M. B. A picture of artisanal and small-scale gold mining (ASGM) in Brazil and its mercury emissions and releases. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 46, n. 3, p. 1–19, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10653-024-01881-z>.

CHAGAS, M. A. A geopolítica do garimpo do Lourenço, norte do Amapá: trajetória, contradições e insustentabilidade. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 390, p. 1-18, 2019. Doi: <https://doi.org/10.5216/bgg.v39i0.55253>.

CHATTERJEE, C.; SINDHWANI, R.; MANGLA, S. K.; HASTEER, N. Digitization of the mining industry: Pathways to sustainability through enabling technologies. *Resources Policy*, 105450, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105450>.

CHAVES, A. P. Teoria e prática do tratamento de minérios - Vol. 1: bombeamento de polpa e classificação - 5ª ed. – Impresso, 2022.

CHEN, A.; DANFAKHA, F.; HAUSERMANN, H.; GERSON, J. R. Education and equipment distribution lead to increased mercury knowledge and retort use in artisanal and small-scale gold mining communities in Senegal. *Cleaner Production Letters*, v. 5, 100050, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.clpl.2023.100050>.

CHENG, Y.; WATARI, T.; SECCATORE, J.; NAKAJIMA, K.; NANSAL, K.; TAKAOKA, M. A review of gold production, mercury consumption, and emission in artisanal and small-scale gold mining (ASGM). *Resources Policy*, 81, 103370, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103370>.

CLEARY, D. *Anatomy of the amazon gold rush*. Iowa City: University Press, 1990

CLIFFORD, M. J. Artisanal and Small-Scale Mining and the Sustainable Development Goals: Why Nobody Cares. *Environmental Science & Policy*, v. 137, p.164–173, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.08.024>.

COELHO, M. C.; WANDERLEY, L. J. M. Peru-Bolívia-Brasil: garimpeiros e ideia de região transfronteiriça. *Revista da ANPEGE*, v. 9, p. 5-16, 2013. Doi: <https://doi.org/10.5418/RA2013.0912.0001>.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Garimpos do Médio Madeira. Elaboração: BASCOPE, G. P.; D'ALVEAR, R. L. Rio de Janeiro: CPRM, jan. 1981. Disponível em:<<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/13717>>.



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Projeto Estudo de Garimpos Brasileiros: Reserva Garimpeira do Rio Madeira. Relatório Anual 1984. Elaboração: PEREIRA, L. A. da C.; SILVA, U. do N. Porto Velho: CPRM/REPO, 1984. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/6063>>.

CRESPO-LÓPEZ, M.; ARRIFANO, G.; AUGUSTO-OLIVEIRA, M.; MACCHI, B.; LIMA, R.; NASCIMENTO, J.; SOUZA, C. Mercury in the Amazon: The danger of a single story. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 256, 114895, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114895>.

D'ANGELO, L.; FISHER, E. 'Working for the stomach': sustaining peasant mining in south-western Uganda. *Africa*, v. 94, n. 4, p. 575–593, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0001972024000585>.

DA COSTA, M. A.; RIOS, F. J. The gold mining industry in Brazil: A historical overview. *Ore Geology Reviews*, v. 148, 105005, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105005>.

DELVE. Global number of people working in ASM. 2025. Disponível em: <https://delvedatabase.org/data>.

DOREA, J. G.; BARBOSA, A. C. Anthropogenic impact of mercury accumulation in fish from the Rio Madeira and Rio Negro rivers (Amazonia). *Biol. Trace Element Research*, v. 115, n. 3, p. 243–254, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF02685999>.

DORNER, U.; FRANKEN, G.; LIEDTKE, M.; SIEVERS, H. Artisanal and small-scale mining (ASM) (Polinares Working Paper 19). Polinares, 2012.

DOUMBOUYA, I. K.; DESSERTINE, A.; VINCHES, M.; CERCEA, J. Mechanization of artisanal and small-scale gold mining in Guinea: Socio-technical trajectory of a rural mining site in Upper Guinea. *Journal of Rural Studies*, v. 112, p. 103445, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103445>.

DRACE, K.; KIEFER, A. M.; VEIGA, M. M. Cyanidation of Mercury-Contaminated Tailings: Potential Health Effects and Environmental Justice. *Current environmental health reports*, v. 3, n. 4, p. 443–449, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40572-016-0113-0>.

ESDAILE, L. J.; CHALKER, J. M. The mercury problem in artisanal and small-scale gold mining. *Chemistry*, v. 24, n. 27, p. 6905-6961, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1002/chem.201704840>.

FABREGAS, R.; KREMER, M.; SCHILBACH. Realizing the potential of digital development: The case of agricultural advice. *Science*, v. 366, 6471, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.aay3038>.

FABRÍCIO, S. A.; FERREIRA, D. D. M.; BORBA, J.A. A panorama of Mariana and Brumadinho disasters: what do we know so far?. *Revista Eletrônica de Administração*, v. 27, n. 1, p. 128-152, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/1413-2311.310.102806>.

FINN, B. M.; SIMON, A.; NEWELL, J. Decarbonization and social justice: The case for artisanal and small-scale mining. *Energy Research & Social Science*, v. 117, 103733, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103733>.

FISHER, E.; DE THEIJE, M.; ARAUJO, C. H. X.; CALVIMONTES, J.; VAN DE CAMP, E.; D'ANGELO, L.; LANZANO, C.; LUNING, S.; MASSARO, L.; MELLO, J. P.; OUÉDRAOGO, A.; PIJPERS, R. J.; MORAES, R. R.; SAWADOGO, C.; TUHUMWIRE, M.; TWONGYIRWE, R. The lifeways of small-scale gold miners: Addressing sustainability transformations. *Global Environmental Change*, v. 82, 102724, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102724>.

FISHER, E.; LUNING, S.; D'ANGELO, L.; ARAUJO, C. H. X.; DE BALME, L. A.; CALVIMONTES, J.; VAN DE CAMP, E.; FERREIRA, L. C.; LANZANO, C.; MASSARO, L.; QUÉDRAOGO, A.; MELLO, J. P.; PIJPERS, R.; PROVENÇAL, N. O.; MORAIS, R. R.; SAWADOGO, C.; DE THEIJE, M.; DE TOMI, G. F. C.; TUHUMWIRE, M.; TWONGYIRWE, R. Transforming matters: sustaining gold lifeways in artisanal and small-scale mining. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 49, p. 190-200, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.06.010>.

FRANKS, D. M.; STRINGER, M.; TORRES-CRUZ, L. A.; BAKER, E.; VALENTA, R.; THYGESEN, K.; MATTEWS, A.; HOWCHIN, J.; BARRIE, S. Tailings facility disclosures reveal stability risks. *Scientific Reports* 2021 11:1, v. 11, n. 1, p. 1–7, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84897-0>.

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*, v. 90, p. 244–252, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.032>.

GASPAR, E. d. S. Os “bamburrados” do Tapajós. Dissertação (Mestrado em Economia). UFPB, Campina Grande, 142 p., 1990.

GEENEN, S.; RADLEY, B. In the face of reform: What future for ASM in the eastern DRC? *Futures*, v. 62 (A), p. 58–66, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2013.10.023>.

GIBB, H.; O'LEARY, K.G. 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. Doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.1307864>.

GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY. Evaluation of GEF interventions in the artisanal and small-scale gold mining sector, 2020.

GONÇALVES, A. O.; MARSHALL, B. G.; KAPLAN, R. J.; MORENO-CHAVEZ, J.; VEIGA, M. M. 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. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.097>.

HENTSCHEL, T.; HRUSCHKA, F.; PRIESTER, M. Global report on artisanal and small scale mining. International Institute for Sustainable Development, 67 p, 2002.

HILSON, G. 'Formalization bubbles': A blueprint for sustainable artisanal and small-scale mining (ASM) in sub-Saharan Africa. *The Extractive Industries and Society*, v. 7, n. 4, p. 1624–1638, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.11.001>.

HILSON, G. Abatement of mercury pollution in the small-scale gold mining industry: Restructuring the policy and research agendas. *Science of the Total Environment*, v. 362, n.1-3, p. 1-14, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.065>.

HILSON, G. Shootings and burning excavators: Some rapid reflections on the Government of Ghana's handling of the informal Galamsey mining 'menace'. *Resources Policy*, v. 54, p. 109–116, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.09.009>.

HILSON, G.; HILSON, C. J.; PARDIE, S. Improving awareness of mercury pollution in small-scale gold mining communities: Challenges and ways forward in rural Ghana. *Environmental Research*, v. 103, n. 2, p. 275–287, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2006.09.010>.

HILSON, G.; LAING, T.; HILSON, A.; ARNALL, A.; MONDLAN, S. How Does Small-Scale Mining Stabilize Rural Livelihoods in Sub-Saharan Africa? The Case of Mozambique. *World Development*, v. 185, p. 106761, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106761>.

HILSON, G.; MACONACHIE, R. Artisanal and small-scale mining and the Sustainable Development Goals: Opportunities and new directions for sub-Saharan Africa. *Geoforum*, v. 111, p. 125–141, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.09.006>.

HILSON, G.; MAPONGA. How has a shortage of census and geological information impeded the regularization of artisanal and small-scale mining? *Natural Resources Forum*, v. 28, p. 22–23, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.0165-0203.2004.00069.x>.



HILSON, G.; MCQUILKEN, J. Four decades of support for artisanal and small-scale mining in sub-Saharan Africa: a critical review. *The Extractive Industries and Society*, v. 1, p. 104-118, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.01.002>.

HINTON, J. H.; VEIGA, M. M.; VEIGA, A.T. Clean artisanal gold mining: a utopian approach? *Journal of Cleaner Production*, v. 11, n. 2, p. 99-115, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00031-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00031-8).

HYLANDER, L. D.; MEILI, M. 500 years of mercury production: global annual inventory by region until 2000 and associated emissions. *Science of The Total Environment*, v. 304, n. 1-3, p. 13-27, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00553-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00553-3).

HYLANDER, L.D.; PLATH, D.; MIRANDA, C.R.; LÜCKE, S.; ÖHLANDER, J.; Rivera, A.T.F. Comparison of Different Gold Recovery Methods with Regard to Pollution Control and Efficiency. *CLEAN – Soil, Air, Water*, v. 35, n. 1, p. 52-61, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1002/clen.200600024>.

INTERGOVERNMENTAL FORUM ON MINING, MINERALS, METALS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Global trends in artisanal and small-scale mining (ASM): A review of key numbers and issues. Winnipeg: IISD, 2017. 91 p.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. Mining: a hazardous work, 2015. Disponível em: < <https://www.ilo.org/resource/mining-hazardous-work> >.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. 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, 1999.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. 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, 17-21 May, 1999. Disponível em: <<https://www.ilo.org/resource/social-and-labour-issues-small-scale-mines-report-tmssm1999>>.

JENKINS, K. Women, mining and development: An emerging research agenda. *The Extractive Industries and Society*, v. 1, n. 2, p. 329-339, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.08.004>.

JILCHA, K.; KITAW, D. Industrial occupational safety and health innovation for sustainable development. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, v. 20, n. 1, p. 372-380, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2016.10.011>.



JIMÉNEZ, D. A.; NICOLE, S.; HOLLEY, E. A. Towards sustainable ASM-based livelihoods: The role of institutional arrangements in the formalization of artisanal and small-scale mining, v. 94, 105129, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105129>

JØNSSON, J. B.; APPEL, P. W. U.; CHIBUNDA, R. T. A matter of approach: the retort's potential to reduce mercury consumption within small-scale gold mining settlements in Tanzania. *Journal of Cleaner Production*, v.17, n. 1, p. 77-86, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.002>.

JUNIOR, C. de M. B.; CARVALHO, L. G. de. Transformations in artisanal and small-scale gold mining work and production structures in the tapajós region of Brazil's amazon. *Resources Policy*, v. 83, p. 103597, 2023. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103597>.

KEANE, S.; BERNADAUT, L.; DAVIS, K. J.; STYLO, M.; MUTEMERI, N.; SINGO, P.; TWALA, P.; MUTEMERI, I.; NAKAFEERO, A.; ETUI, I. D. Mercury and artisanal and small-scale gold mining: Review of global use estimates and considerations for promoting mercury-free alternatives. *Ambio*, v. 52, n. 5, p. 833-852, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01843-2>.

KEMP, D.; OWEN, J. R. Characterising the interface between large and small-scale mining. *The Extractive Industries and Society*, v. 6, n. 4, p. 1091–1100, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.07.002>.

KIEFER, A. M.; DRACE, K.; SENEY, C. S.; VEIGA, M. M. Challenges associated with using retorts to limit mercury exposure in artisanal and small-scale gold mining: Case studies from Mozambique, Ecuador, and Guyana. *ACS Symposium Series*, v. 1210, p. 51–77, 2015. Doi: 10.1021/bk-2015-1210.ch003.

KINYONDO, A.; HUGGINS, C. 'Centres of excellence' for artisanal and small-scale gold mining in Tanzania: Assumptions around artisanal entrepreneurship and formalization. *The Extractive Industries and Society*, v. 7, n. 2, p. 758–766, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.03.011>.

KOHIO, E.N.; KAROUI, H.; SOSSOU, S. K.; YACOUBA, H. Review of pollution trends and impacts in artisanal and small-scale gold mining in Sub-Saharan Africa: Advancing towards sustainable practices through equitable redistribution of gold spin-offs. *Journal of Cleaner Production*, v. 476, 143754, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143754>.

LABONNE, B. Who is afraid of artisanal and small-scale mining (ASM)? *The Extractive Industries and Society*, v. 1, n. 2, p. 121-123, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.03.002>.

LACERDA, L. D. de. Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 97, n.2, p. 247-255, 1997. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40421997000200012>.

LACERDA, L. D.; SALOMONS, W. The Use of Mercury Amalgamation in Gold and Silver Mining. In: *Mercury from Gold and Silver Mining: A Chemical Time Bomb?*. Environmental Science. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 1-13, 1998. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-58793-1_1

LAHIRI-DUTT, K. Extractive peasants: reframing informal artisanal and small-scale mining debates. *Third World Quarterly*, v. 39, n. 8, p. 1561–1582, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1080/01436597.2018.1458300>.

LAING, T.; PINTO, A. N. Artisanal and small-scale mining and the low-carbon transition: Challenges and opportunities. *Environmental Science & Policy*, v. 149, 103563, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103563>.

LAVOIE, R. A.; BOUFFARD, A.; MARANGER, R.; AMYOT, M. Mercury transport and human exposure from global marine fisheries. *Scientific Reports* 2018 8:1, v. 8, n. 1, p. 1–9, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24938-3>.

LEIVA, J. D. Appropriate technologies and the geosocial evolution of informal, small-scale gold mining in Madre de Dios, Peru. *The Extractive Industries and Society*, v. 12, 101165, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101165>.

LINDQVIST, O.; RODHE, H. Atmospheric mercury—a review*. *Tellus B*, v. 37B, n. 3, p. 136–159, 1985. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.1985.tb00062.x>.

LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M.; BRAGA, P. F. A. Cominuição: Britagem e moagem. In: *Tratamento de minérios*. 6.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. Cap.4.2, p.135-183. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2175>.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. *Tratamento de Minérios*. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 896 p.

MALM, O. Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, v. 77, n. 2, p. 73–78, 1998. Doi: <https://doi.org/10.1006/enrs.1998.3828>.

MANZOLLI, B.; RAJÃO, R.; BRAGANÇA, A. C. H.; OLIVEIRA, P. T. M.; ALCÂNTARA, G. K.; NUNES, F.; FILHO, B. S. Legalidade da produção de ouro no Brasil. Belo Horizonte: Editora IGC/UFGM, 2021. Disponível em: http://www.lagesa.org/wp-content/uploads/documents/Manzoli_Rajao_21_Illegalidade%20cadeia%20do%20Ouro.pdf.

MARSDEN, J.; HOUSE, I. The chemistry of gold extraction, Ellis Horwood Limited, England, 597 p, 1992.

MARSHALL, B.; VEIGA, M. Formalization of artisanal miners: Stop the train, we need to get off!. The Extractive Industries and Society, v. 4, n. 2, p.300-303, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2017.02.004>.

MARSHALL, B.G.; VEIGA, M.M.; DA 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, v.7, p.303-310, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00276-3>.

MARTINEZ, G.; RESTREPO-BAENA, O. J.; VEIGA, M. M. The myth of gravity concentration to eliminate mercury use in artisanal gold mining. The Extractive Industries and Society, v. 8, n. 1, p. 477–485, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.01.002>.

MARTINEZ, G.; SMITH, N. M.; MALONE, A. “I am formal, what comes next?”: A proposed framework for achieving sustainable artisanal and small-scale mining formalization in Peru. The Extractive Industries and Society, v.13, 101227, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101227>.

MARTINEZ, G.; SMITH, N. M.; MALONE, A. Formalization is just the beginning: Analyzing post-formalization successes and challenges in Peru’s small-scale gold mining sector. Resources Policy, v. 74, 102390, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102390>.

MASSARO L.; CALVIMONTES J.; FERREIRA L.C.; DE THEIJE M. Balancing economic development and environmental responsibility: Perceptions from communities of garimpeiros in the Brazilian Amazon. Resources Policy. v. 79, p. 1-11, 103063, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103063>.

MASSARO, L.; DE THEIJE, M. Understanding small-scale gold mining practices: An anthropological study on technological innovation in the Vale do Rio Peixoto (Mato Grosso, Brazil). Journal of Cleaner Production, v. 204, p. 618-635, 2018. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.153.

MATHIS, A. Garimpagem de ouro e valorização da Amazônia: a formação de relações de trabalho sob o quadrângulo mercado internacional, estado nacional, região e natureza. Papers do NAEA nº 101, UFPA, Belém. 1998.

MATHIS, A. Garimpos de ouro na Amazônia: fatores sociais, relações de trabalho e condições de vida. Papers do NAEA, Belém, n. 37, abr. 1995.

MATTAR, F. N. Pesquisa de marketing: edição compacta. São Paulo: Atlas, 1996.



McDANIELS, J.; CHOUINARD, R.; VEIGA, M. M. Appraising the global mercury project: an adaptive management approach to combating mercury pollution in small-scale gold mining. *International Journal of Environment and Pollution*, v. 41, n.3-4, p. 242-258, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1504/IJEP.2010.033234>.

MCKAY, S. Entering the critical era: A review of contemporary research on artisanal and small-scale mining. *The Extractive Industries and Society*, v. 21, 101590, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101590>

MEECH, J.A.; VEIGA, M.M.; TROMANS, D. Reactivity of Mercury from Gold Mining Activities in Darkwater Ecosystems. *Ambio*, v.27, n.2, p. 92-98, 1998. Disponível em:< <http://www.jstor.org/stable/4314693>>.

MILLER, B. A.; JUILLERET, J. The colluvium and alluvium problem: Historical review and current state of definitions. *Earth-Science Reviews*, v.209. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103316>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental da Mineração e Pequena Escala (MPE) no Brasil. Projekt-Consult, Vol. 3 e 4, 2018.

MIRANDA, J. G.; CIPRIANI, M.; MÁRTIRES, R. A.; GIACONI, W. J. Atividades Garimpeiras no Brasil: Aspectos Técnicos, Econômicos e Sociais. Série Estudos e documentos n.38. CETEM/ CNPq. Rio de Janeiro. 1997.

MITCHELL, C. J.; EVANS, E. J.; STYLES, M. T. A review of gold particle-size and recovery methods. British Geological Survey Technical Report WG/97/14, 1997.

MKODZONGI, G. The rise of 'Mashurugwi' machete gangs and violent conflicts in Zimbabwe's artisanal and small-scale gold mining sector. *The Extractive Industries and Society*, v. 7, n. 4, p. 1480-1489, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.10.001>.

MOLINA, L.; WANDERLEY, L. O cerco do ouro: garimpo ilegal, destruição e luta em terras Munduruku, 2021. Disponível em:< <https://acervo.socioambiental.org/acervo/livros/o-cerco-do-ouro-garimpo-ilegal-destruicao-e-luta-em-terras-munduruku>>.

MONTENEGRO, D. S.; SANTANA, M. J. A. Resistência do operário ao uso do equipamento de proteção individual. 2010. 18 p. Monografia (Especialização em Segurança do Trabalho), Universidade Católica de Salvador, Salvador, 2010.

MOODY, K.H.; HASAN, K.M.; ALJIC, S.; BLAKEMAN, V. M.; PERRY HICKSA, L.; LOVING, D.C.; MOORE, M.E.; SPENCER HAMMETT, B; SILVA-GONZÁLEZ, M.; SENEY, C. S.; KIEFER, A. M. Mercury emissions from Peruvian gold shops: potential ramifications for Minamata compliance in artisanal and small-scale gold mining communities. *Environmental Research*, v. 182, p. 1-11, 2020. Article nº 109042. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109042>.

MORENO-BRUSH, M.; McLAGAN, D.S.; BIESTER, H. Fate of mercury from artisanal and small-scale gold mining in tropical rivers: Hydrological and biogeochemical controls. A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 50, n. 5, p. 437-475, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1629793>.

MUTEMERI, N.; PONNAN, N. Modernizing Artisanal and Small-Scale Mining: Harnessing new technologies for sustainable development. IISD. London, 2024.

NICO, O. M. S.; ARAUJO, C. H. X.; GOLDEMBERG, D.; DE TOMI, G. A responsible mining approach to the economic modeling of small-scale gold mining. *World Development Perspectives*, v. 33, 100561, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2023.100561>.

NÖETSTALLER, R. Historical perspective and key issues of artisanal mining. Wahington, D.C.: World Bank, 1995. Keynote speech at the International Roundtable on Artisanal Mining.

O'CONNOR, D.; HOU, D.; OK, Y. S.; MULDER, J.; DUAN, L.; WU, Q.; WANG, S.; TACK, F. M.G.; RINKLEBE, J. Mercury speciation, transformation, and transportation in soils, atmospheric flux, and implications for risk management: A critical review. *Environment International*, v. 126, p. 747-761, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.019>.

OLIVEIRA, M. J. (Coord.). Diagnóstico do setor mineral do estado do Amapá. Macapá: Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, 2010. 148 p.

ONDAYO, M. A.; WATTS, M. J.; HUMPHREY, O. S.; OSANO, O. Public health assessment of Kenyan ASGM communities using multi-element biomonitoring, dietary and environmental evaluation. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 277. 116323, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116323>.

ORAMAH, I. T.; RICHARDS, J. P.; SUMMERS, R.; GARVIN, T.; McGEE, T. Artisanal and small-scale mining in Nigeria: Experiences from Niger, Nasarawa and Plateau states. *The Extractive Industries and Society*, v. 2, n. 4, p. 694-703, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2015.08.009>.

OROZCO, Z. T.; MCKIERNAN, K. To Coerce, or Not To Coerce? Assessing Policy Strategies To Regulate Small-Scale And Artisanal Mining In the Andes. *SPP Research Papers*, v. 15, n. 31, 2022. Doi: <https://doi.org/10.11575/sppp.v15i1.75622>.

PANTOJA, F.; ALVAREZ, R. Decrease of pollution by mercury in gold mining in Latin America. In: Villas Boas, R.C., Barreto, M.L. (Eds.), *Mine Closure in Iberoamerica*. CYTED/IMAAC/UNIDO, Rio de Janeiro, p.178–190, 2000.



PERKS, R.; SCHNECK, N. COVID-19 in artisanal and small-scale mining communities: preliminary results from a global rapid data collection exercise. *Environmental Science & Policy*, v. 121, p. 37-41, 2021. Doi: 10.1016/j.envsci.2021.03.007.

PERSAUD, A. W.; TELMER, K.; COSTA, M.; MOORE, M. Artisanal and small-scale gold mining in Senegal: livelihoods, customary authority, and formalization. *Society & Natural Resources*, v. 30, n. 8, p. 980-993, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/08941920.2016.1273417>.

PFEIFFER, W. C.; LACERDA, L. D.; MALM, O.; SOUZA, C.; SILVEIRA, E. G.; BASTOS, W. R. Mercury concentrations in inland waters of gold-mining areas in Rondônia, Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 87-88, p. 233-240, 1989. Doi: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90238-6](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90238-6).

PIJPERS, R.J.; LUNING, S. 'We have so many challenges': Small-scale mining, Covid-19 and constant interruptions in West Africa. *Anthropology Today*, 37: 10-14, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/1467-8322.12641>.

PLANETGOLD PROGRAMME. Making mercury history in artisanal & small-scale gold mining. echnology Transfer Experiences in the planetGOLD Programme, 2023.

PRESCOTT, G. W.; BAIRD, M.; GEENEN, S.; NKUBA, B.; PHELPS, J.; WEBB, E. L. Formalizing artisanal and small-scale gold mining: A grand challenge of the Minamata Convention. *One Earth*, v. 5, n. 3, p. 242-251, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.02.005>.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. Toolkit para a Identificação e Quantificação de Fontes de Mercúrio, Relatório e Diretrizes de Referência para o Inventário Nível 2, Versão 1.3, abril de 2015. UNEP Chemicals Branch, Genebra, Suíça.

PRYOR, E. Mineral Processing. Elsevier, New York, 488p, 1965.

QUEIROZ, J.; GASPARINETTI, P.; BAKKER, L. B.; LOBO, F.; NAGEL, G. Socioeconomic cost of dredge boat gold mining in the Tapajós basin, eastern Amazon. *Resources Policy*, v. 79, 103102, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103102>.

QUISPE AQUINO, R.; MALONE, A.; SMITH, N. M.; GARCÍA ZÚÑIGA, F. F. Perceptions and realities of mercury contamination in a Peruvian artisanal and small-scale gold mining (ASGM) community. *Environmental Research*, v. 214 (Pt 2), 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114092>.



RIZZOTO, G. J. Províncias e distritos auríferos do Brasil. In: Informe de recursos minerais programa geologia do Brasil: Série Ouro - Informes Gerais - Nº 18. Goiânia: SGB-CPRM, 2022. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22631>>.

RODRIGUEZ, A.; ORTEGA, A.; MARIN, D.; VERA, A.; VEIGA, M. M. Homemade Copper-silver plates as an alternative for cleaning mercury-contaminated tailings from artisanal and small-scale gold mining in Colombia. *International Journal of Sustainable Energy and Environmental Research*, v.13, n.1, p. 12-24, 2024. Doi: <https://doi.org/10.18488/13.v13i1.3681>.

RUSHEMUKA, M.; CÔTE, M. Artisanal and small-scale mining through a “labour regime” lens: Consolidating a research agenda on labour exploitation. *Journal of Rural Studies*, v. 105, 103189, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103189>

SAMPAIO, J.A.; FRANCA, S.C.A.; BRAGA, P.F.A. Tratamento de Minérios: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM, 2007. 570p.

SCHROEDER, W. H.; MUNTHE, J. Atmospheric mercury—An overview. *Atmospheric Environment*, v. 32, n. 5, p. 809-822, 1998. Doi: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00293-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00293-8).

SCHUBER, E. S. M. Neodesenvolvimentismo, reestruturação urbana e cidades médias na Amazônia: o exemplo de Itaituba na sub-região do Tapajós. Orientador: Saint-Clair Cordeiro da Trindade Júnior. Tese (Doutorado em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Belém, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/12201>>.

SECCATORE, J.; VEIGA, ORIGLIASSO, C.; MARIN, T.; TOMI, G. D. An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. *Science of the Total Environment*, v. 496, p. 662-667, 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.003>.

SELIN, H.; SELIN, N. E. From Stockholm to Minamata and beyond: Governing mercury pollution for a more sustainable future. *One Earth*, v. 5, n. 10, p. 1109–1125, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.09.001>.

SELIN, H.; SELIN, N. E. Mercury Stories: Understanding Sustainability through a Volatile Element. Cambridge: MIT Press, 2020.

SIDORENKO, O.; SAIRINEN, R.; MOORE, K. Rethinking the concept of small-scale mining for technologically advanced raw materials production. *Resources Policy*, v. 68, 101712, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101712>.



SIEGEL, S.; VEIGA, M. M. Artisanal and small-scale mining as an extralegal economy: De Soto and the redefinition of “formalization”. *Resources Policy*, v. 34, n. 1, p. 51–56, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2008.02.001>

SIEGEL, S.; VEIGA, M. M. The myth of alternative livelihoods: artisanal mining, gold and poverty. *International Journal of Environment and Pollution (IJEP)*, v.41, n. 3-4, p.272–288 2010. Disponível em:<
<https://www.delvedatabase.org/uploads/resources/The-myth-of-alternative-livelihoods-artisanal-mining-gold-and-poverty.pdf>>.

SIQUEIRA-GAY, J.; SÁNCHEZ, L. E. The outbreak of illegal gold mining in the Brazilian Amazon boosts deforestation. *Regional Environmental Change*, v. 21, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01761-7>.

SMITH-ROBERTS, A.; BRUCKNER, K. D.; BELLIDO, V. M.; OSSANDÓN, H. F.; NAYAK, M.; SMITH, N. M.; URREGO, L. J. ‘All that glitters is not gold’: the effects of the COVID-19 pandemic on artisanal and small-scale gold mining and supply chains in Peru. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, v. 39, n. 4, p. 489–527, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1080/02646811.2021.1895526>.

SOUZA, V. P. de; LINS, F. A. F. Recuperação do ouro por amalgamação e cianetação: problemas ambientais e possíveis alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1989.

STACEY, P. Institutional coalescence and illegal small scale gold mining in Ghana. *World Development*, v. 185, nº 106808, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106808>.

STOCKLIN-WEINBERG, R.; VEIGA, M. M.; MARSHALL, B. G. Training artisanal miners: A proposed framework with performance evaluation indicators. *Science of the Total Environment*, v. 660, p. 1533-1541, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.113>.

STYLO, M.; DE HAAN, J.; DAVIS, K. Collecting, managing and translating data into National Action Plans for artisanal and small scale gold mining. *The Extractive Industries and Society*, v. 7, n. 1, p. 237–248, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.12.002>.

SUBASINGHE, G. K. N. S. Optimal design of sluice-boxes for fine gold recovery. *Minerals Engineering*, v. 6, n. 11, p. 1155–1165, 1993. Doi: [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(93\)90093-3](https://doi.org/10.1016/0892-6875(93)90093-3).

SURIMBAYEV, B.; BOLOTOVA, L.; AKCIL, A.; YESSENGARAYEV, Y.; KHUMARBEKULY, Y.; KANALY, Y.; AKZHARKENOV, M. Gravity Concentration of Gold-Bearing Ores and Processing of Concentrates: A Review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 1–25, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1080/08827508.2024.2395824>.



TAGGART, A.F.; BEHRE, H.A. Handbook of Mineral dressing, Ores and Industrial Minerals. John Wiley & Sons. Vol. 1, 1945.

TEDESCO, L. L. No trecho dos garimpos: mobilidade, gênero e modos de viver na garimpagem de ouro amazônica. 2015. Tese (Doutorado em Antropologia Social) – Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social, Vrije Universiteit, Amsterdam, 2015. Disponível em:< <https://www.gomiam.org/wp-content/uploads/2015/03/TEDESCO-Leticia-Da-Luz-tese.pdf>>.

TELMER, K. H.; VEIGA, M. M. World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining. Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere: Emissions, Measurements and Models, p. 131–172, 2009. Doi: https://doi.org/10.1007/978-0-387-93958-2_6.

TESCHNER, B.; SMITH, N.; BORRILLO-HUTTER, T.; JOHN, Z.; WONG, T. How efficient are they really? A simple testing method of small-scale gold miners' gravity separation systems. Minerals Engineering, v. 105, p. 44-51, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.01.005>.

THOMAS, M.; VEIGA, M.; MARSHALL, B.; DUNBAR, W. Artisanal gold supply chain: Measures from the Ecuadorian Government. Resources Policy, v. 64, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101505>.

TOMASSI, O. D. Transitioning towards sustainability in artisanal and small-scale gold mining: A case study from Tanzania. The Extractive Industries and Society, v. 17, 101410, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101410>.

TORKAMAN, P.; VEIGA, M. M. Comparing cyanidation with amalgamation of a Colombian artisanal gold mining sample: Suggestion of a simplified zinc precipitation process. The Extractive Industries and Society, v. 13, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101208>.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. A Practical Guide: Reducing Mercury Use in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. United Nations Environment Programme, Global Mercury Partnership, 2012. Disponível em:<<https://www.unep.org/resources/report/reducing-mercury-use-artisanal-and-small-scale-gold-mining-practical-guide>>.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global Mercury Assessment -2002. UN Environment Programme Chemicals and Health Branch. Geneva, Switzerland, 2002.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Squeezing gold from a stone: How to Reduce Toxic Health Risks and Pollution Caused by Mercury Use in the Small-Scale & Artisanal Gold Mining Sector, 2009. Disponível em: < <https://www.unep.org/pt-br/node/17021>.>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. The Global Atmospheric Mercury Assessment: Sources, Emissions and Transport. UN Environment Programme Chemicals and Health Branch. Geneva, Switzerland, 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. UN Environment Programme Chemicals and Health Branch. Geneva, Switzerland, 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global Mercury Assessment - 2018. UN Environment Programme Chemicals and Health Branch Geneva Switzerland, 2019.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste – Turning rubbish into a resource. Nairobi, 2024. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>.

VEIGA, M. M. Introducing new technologies for abatement of global mercury pollution in Latin America. Rio de Janeiro: UNIDO/UBC/CETEM, 1997. 94 p.

VEIGA, M. M. Many options and many barriers, 2005. Disponível em: <<https://iwlearn.net/documents/4894>>.

VEIGA, M. M.; ANENE, N. C.; SILVA, E. M. Four Decades of Efforts to Reduce or Eliminate Mercury Pollution in Artisanal Gold Mining. Minerals, v.15, n.4, 2025. Doi: <https://doi.org/10.3390/min15040376>.

VEIGA, M. M.; ANGELOCI, G.; HITCH, M.; VELASQUEZ-LÓPEZ, P. C. Processing centres in artisanal gold mining. Journal of Cleaner Production, v. 64, p. 535–544, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.015>.

VEIGA, M. M.; ANGELOCI-SANTOS, G.; MEECH, J. A. Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining. The Extractive Industries and Society Journal, v. 1, n. 2, p. 351–361, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.03.004>.

VEIGA, M. M.; BAKER, R. Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small-Scale Gold Miners; Pub. GEF/UNDP/UNIDO Global Mercury Project: Vienna, Austria, 2004; p. 289. Disponível em: <<https://iwlearn.net/resolveuid/617e8a7184a7ec1e292a61c2319dc30f>>.

VEIGA, M. M.; FADINA, O. A review of the failed attempts to curb mercury use at artisanal gold mines and a proposed solution. The Extractive Industries and Society, v. 7, n. 3, p. 1135-1146, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.06.023>.

VEIGA, M. M.; FERNANDES, F. R. C.; FARID, L.H.; MACHADO, J. E. B.; SILVA, A. O. da; LACERDA, L. D. de; SILVA, A. P. da.; SILVA, E. C.; MARINS, R. V.; IMBASSAHY, J.A.; PFEIFFER, W.C.; BASTOS, W. R.; SOUZA, V.P.de. Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1991. (Série Tecnologia Mineral no 01). Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/406>>.

VEIGA, M. M.; GUNSON, A. J. Gravity concentration in artisanal gold mining. *Minerals*, v. 10, n. 11, p. 1-49, 1026, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/min10111026>.

VEIGA, M. M.; HINTON, J. J. Abandoned artisanal gold mines in the Brazilian Amazon: A legacy of mercury pollution. *Natural Resources Forum*, v. 26, n. 1, p. 15–26, 2002. Doi: <https://doi.org/10.1111/1477-8947.00003>.

VEIGA, M. M.; MARSHALL, B. G. The Colombian artisanal mining sector: Formalization is a heavy burden. *The Extractive Industries and Society*, v. 6, n. 1, p. 223–228, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.001>.

VEIGA, M. M.; MAXSON, P. A.; HYLANDER, L. D. Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. *Journal of Cleaner Production*, v. 14, n. 3–4, p. 436–447, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.08.010>.

VEIGA, M. M.; MEECH, J. A.; HYPOLITO, R. Educational Measures to Address Hg Pollution from Gold Mining Activities in the Amazon. *Ambio*, 24(4), 216-220, 1995. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/4314332>>.

VEIGA, M. M.; METCALF, S.; BAKER, R. F.; KLEIN, B.; DAVIS, G.; BAMBER, A.; SIEGEL, S.; SINGO, P. Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners; Pub. GEF/UNDP/UNIDO Global Mercury Project: Vienna, Austria, 2006; p. 144.

VEIGA, M. M.; SILVA, A. R. B.; HINTON, J. J. O garimpo de ouro na amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. In: *EXTRAÇÃO de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p. 277-305. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1233>>.

VEIGA, M. M.; TARRA, J. A.; RESTREPO-BAENA, O. J.; DE TOMI, G. Coexistence of artisanal gold mining with companies in Latin America. *The Extractive Industries and Society*, v. 12, p. 101177, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101177>.

VELASQUEZ-LÓPEZ, P. C.; VEIGA, M. M.; KLEIN, B.; SHANDRO, J. A.; HALL, K. Cyanidation of mercury-rich tailings in artisanal and small-scale gold mining: identifying strategies to manage environmental risks in Southern Ecuador. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 9–10, p. 1125–1133, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.008>.



VELÁSQUEZ-LÓPEZ, P. C.; VEIGA, M. M.; HALL, K. Mercury balance in amalgamation in artisanal and small-scale gold mining: identifying strategies for reducing environmental pollution in Portovelo-Zaruma, Ecuador. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 3, p. 226–232, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.010>.

VELEZ, M. A.; RUEDA, X.; HENAO, J. P.; MONROY, D.; TOBIN, D.; MALDONADO, J. PFAFF, A. Small-scale gold miners' preferences on formalization: First steps toward sustainable supply chains in Colombia. *World Development*, v. 188, p. 106899, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106899>.

VERBRUGGE, B.; GEENEN, S. Global Gold Production Touching Ground: Expansion, Informalization, and Technological Innovation. *Global Gold Production Touching Ground: Expansion, Informalization, and Technological Innovation*, p. 1–379, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38486-9>.

VERBRUGGE, B.; LANZANO, C.; LIBASSI, M. The cyanide revolution: Efficiency gains and exclusion in artisanal- and small-scale gold mining. *Geoforum*, v. 126, p. 267–276, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.07.030>.

WANDERLEY, L. J. M. Geografia do ouro na Amazônia brasileira: uma análise a partir da porção regional. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) –Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:< <https://www.gomiam.org/wp-content/uploads/2015/08/Geografia-do-Ouro-na-Amazônia-Tese-Luiz-Jardim-Wanderley-2.pdf>>.

WENG, L.; MARGULES, C. Challenges with formalizing artisanal and small-scale mining in Cameroon: Understanding the role of Chinese actors. *The Extractive Industries and Society*, v. 9, p. 01046, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101046>.

WENQIAN W.; POLING GW. Methods for recovering fine placer gold. *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum*, v. 76(860), p. 47–56, 1983.

WORLD BANK. 2019 State of the artisanal and small-scale mining sector. Washington, D.C.: World Bank, 2019.

WORLD BANK. 2020 State of the artisanal and small-scale mining sector. Washington, D.C.: World Bank, 2020. Disponível em:< <https://documents.worldbank.org/pt/publication/documents-reports/documentdetail/884541630559615834/delve-2020-state-of-the-artisanal-and-small-scale-mining-sector>>.



WORLD BANK. 2023 State of the artisanal and small-scale mining sector. Washington, D.C.: World Bank, 2023. Disponível em: <<https://www.delvedatabase.org/uploads/resources/Delve-2023-State-of-the-Sector-Report-042324-Compressed.pdf>>.

WORLD BANK. Achieving Sustainable and Inclusive Artisanal and Small-Scale Mining (ASM): A Renewed Framework for World Bank Engagement, 2024. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10986/42156>.

WORLD ECONOMIC FORUM. Nature Positive: Role of the Mining and Metals Sector, 2025.

WORLD GOLD COUNCIL. Gold demand trends full year 2022, 2022. Disponível em: <<https://www.gold.org/goldhub/research/gold-demand-trends>>.

WORLD GOLD COUNCIL. Gold Demand Trends Full Year 2023, 2024. Disponível em: <https://www.gold.org/goldhub/research/gold-demand-trends/gold-demand-trends-full-year-2023/supply>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Mercury: assessing the burden of disease at national and local levels. Geneva, 2008. (Environmental Burden of Disease Series, No. 16). Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241596572>>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Strategic planning for implementation of the health-related articles of the Minamata Convention on Mercury. Geneva, 2019. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241516846>>.

WOTRUBA, H.; HENTSCHEL, T.; LIVAN, K.; HRUSCHKA, F.; PRIESTER, M. Environmental Management in small-scale mining. CID - Plural publishers, the Peace, Bolivia, 1998.

YAKOVLEVA, N.; VAZQUEZ-BRUST, D. A.; ARTHUR-HOLMES, F.; BUSIA, K. A. Gender equality in artisanal and small-scale mining in Ghana: Assessing progress towards SDG 5 using salience and institutional analysis and design. Environmental Science & Policy, v. 136, p. 92-102. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.06.003>.

YOSHIMURA, A.; SUEMASU, K.; VEIGA, M.M. Estimation of Mercury Losses and Gold Production by Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM). Journal of Sustainable Metallurg, v.7, p. 1045–1059, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40831-021-00394-8>.

ZCOSALMAN, T.; CARRILLO, F.; SORUCO, C. Small-scale mining cooperatives and the state in Bolivia: Their histories, memories and negotiation strategies. The Extractive Industries and Society, v. 2, n. 2, p. 360–367, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2015.02.005>.



ZOLNIKOV, T. T.; ORTIZ, D. R. A systematic review on the management and treatment of mercury in artisanal gold mining. Science of The Total Environment, v. 633, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.241>.