

RECUPERAÇÃO DO OURO POR AMALGAMAÇÃO E CIANETAÇÃO

**PROBLEMAS AMBIENTAIS E
POSSÍVEIS ALTERNATIVAS**

44

**VICENTE PAULO DE SOUZA
FERNANDO A. FREITAS LINS**

CETEM



Diretoria de
Planejamento e Gestão

RECUPERAÇÃO DO OURO POR AMALGAMAÇÃO E CIANETAÇÃO

**PROBLEMAS AMBIENTAIS E
POSSÍVEIS ALTERNATIVAS**

44

VICENTE PAULO DE SOUZA

FERNANDO A. FREITAS LINS

CETEM



Pedidos ao:

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
DEPARTAMENTO DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO – DES
Rua 4 – Quadra D – Cidade Universitária
Ilha do Fundão
21910 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil
Fone: 260-7222 – Ramal: 127 (BIBLIOTECA)

Solicita-se permuta.
We ask for change.

Souza, Vicente Paulo de.

Recuperação do ouro por amalgamação e cianetação:
problemas ambientais e possíveis alternativas. / V. P. de
Souza e Fernando A. Freitas Lins. Rio de Janeiro, CE-
TEM/CNPq, 1989.

26p.: il. (Série Tecnologia Mineral, 44. Seção Metalurgia
Extrativa, 15)

1. Tecnologia Mineral – Brasil. 2. Metalurgia Extrativa. I.
Lins, Fernando A. Freitas. II. Centro de Tecnologia Mineral,
Rio de Janeiro. III. Série. IV. Título.

CDD 622.7
CDU 622.8(81)

Presidente da República
JOSÉ SARNEY

Secretário Especial de Ciência e Tecnologia
DÉCIO LEAL DE ZAGOTTIS

Presidente do CNPq
CRODOWALDO PAVAN

Vice-Presidente
JOSÉ DUARTE DE ARAÚJO

Diretor de Planejamento e Gestão
ADRIAN RICARDO LEVINSON

Diretor de Ciências da Vida
FELIZARDO PENALVA DA SILVA

Diretor de Ciências Exatas, da Terra e das Engenharias
BERNHARD JOACHIM MOKROSS

Diretor de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas
JOSÉ JOBSON DE ANDRADE ARRUDA

SUMÁRIO

RESUMO	01
ABSTRACT	01
1. INTRODUÇÃO	03
2. CONSIDERAÇÕES GERAIS	04
3. PROCESSOS QUÍMICOS PARA RECUPERAÇÃO DE OURO	06
3.1. – Amalgamação	06
3.1.1. – Descrição do Processo	06
3.1.2. – Malefícios causados pelo Mercúrio	09
3.2. – Cianetação	12
3.2.1. – Descrição do Processo	12
3.2.2. – Malefícios causados pelo Cianeto	13
4. POSSÍVEIS ALTERNATIVAS	17
4.1. – À Amalgamação	17
4.2. – À Cianetação	18
5. CONCLUSÕES	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

Diretor

ROBERTO C. VILLAS BÔAS

Vice-Diretor

FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES

Chefe do Departamento de Tratamento de Minérios – DTM

ADÃO BENVINDO DA LUZ

Chefe do Departamento de Metalurgia Extrativa – DME

JULIANO PERES BARBOSA

Chefe do Departamento de Estudos e Desenvolvimento – DES

ANA MARIA B. M. DA CUNHA

Chefe do Departamento de Administração – DAD

ITALO CESAR KIRCOVE

FICHA TÉCNICA

Supervisão

DAYSE LÚCIA M. LIMA

ALESSANDRA S. WISNEROWICZ

Revisão de Texto

MILTON TORRES BARCELLOS E SILVA

Programação Visual

NATHALIA CAVALCANTE

O trabalho ora apresentado foi tema desenvolvido junto ao recente Simpósio da Pequena e Média Mineração, realizado em Belo Horizonte.

A crescente preocupação com o correto relacionamento entre a expansão da atividade industrial e o tratamento dispensado ao meio ambiente suscitou a criação, por parte do CETEM, da Divisão de Biometalurgia e Meio Ambiente, a qual desenvolve projetos e estudos voltados à análise e solução dos problemas minero-metalúrgicos e suas influências junto ao meio sistema.

A edição do texto que se segue, de autoria do Engenheiro Químico Vicente Paulo de Souza e do Engenheiro Metalúrgico, M. Sc., Fernando Antonio Freitas Lins, vem contribuir para solução das questões de ordem técnica impostas à preservação ambiental.

Rio de Janeiro, 21 de agosto de 1989

ROBERTO C. VILLAS BÔAS
Diretor

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma breve revisão dos processos de amalgamação e cianetação e seu emprego no Brasil, procurando-se destacar os aspectos ambientais envolvidos na aplicação desses processos e os malefícios decorrentes dos mesmos. As possíveis alternativas são abordadas com base em revisão da literatura. Estudos a serem desenvolvidos no CETEM também são mencionados.

ABSTRACT

This paper presents a brief revision of amalgamation and cyanidation processes, and its use in Brazil. Environmental aspects are high-lighted by considering the possible harmful consequences of the application of these processes. The various alternative routes are approached, based on previous papers. The research work to be followed by CETEM are also mentioned.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o meio ambiente exige, cada vez mais, a reavaliação do conceito de que o progresso deve ser definido quase que *exclusivamente* em termos de retorno financeiro e contínuo crescimento econômico. O culto cego ao *progresso* e *crescimento* é um dos obstáculos cruciais à conservação do meio ambiente, pois o que se tem observado é a exploração desordenada dos recursos naturais, bem como a poluição indiscriminada, pelas indústrias, no ar, na terra e na água. Nossa postura de descaso com relação a essa situação tem que ser revista, uma vez que somos influenciados pelas alterações no equilíbrio do ecossistema.

A expressão *meio ambiente* pode ser compreendida como sendo o conjunto formado pelas condições naturais e pelas influências que envolvem e afetam a vida e o desenvolvimento dos organismos vivos. O termo *ecossistema*, por sua vez, designa o relacionamento mútuo entre determinado meio ambiente e todos os seres vivos que nele habitam.

A conscientização de que são necessárias medidas preventivas e corretivas com relação ao meio ambiente, que começa a criar corpo em várias partes do mundo, e também no Brasil, deve ser encarada como de fundamental importância. Essa preocupação aplica-se a todos os segmentos da sociedade, e não somente ao setor minero-metalúrgico, que, por sua natureza, tem servido como ilustração negativa dentro dos padrões mundiais (1).

Especificamente para o caso do ouro, devido ao seu alto valor comercial, durante a fase exploratória nem sempre são tomados os devidos cuidados no que se refere à utilização do mercúrio e do cianeto, o que, sem sombra de dúvida, vem causando malefícios de toda a ordem, particularmente no Brasil.

Buscando encontrar alternativas a médio prazo ao uso dessas duas substâncias, o CETEM vem desenvolvendo pesquisas a fim de atingir resultados técnicos e econômicos compatíveis com os atuais, e com baixíssimos índices permissíveis de poluição para o homem e para o meio ambiente.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

As reservas brasileiras de ouro são estimadas em 33000t, das quais 1000t são definidas, 12000t geológicas e 20000t potenciais. A África do Sul responde por 37% da produção mundial, vindo em seguida a União Soviética com 18%. Brasil, Canadá, China, Estados Unidos e Austrália respondem por 31% da produção mundial de ouro, ficando os 14% restantes para outros países. O Brasil vem diminuindo sua participação, passando de 4% em 1983 para 2% em 1987. As principais razões dessa diminuição são, basicamente (1):

- . aumento da produção informal dos garimpos;
- . incremento do volume de compras sem nota fiscal;
- . contrabando para os países vizinhos.

As figuras 1 e 2 ilustram a evolução da produção de ouro no Brasil, a partir de 1967 (2,3). Na tabela 1 são apresentados os projetos industriais em andamento, ou previstos.

Como pode ser observado na figura 2, o garimpo é responsável por uma grande parcela do ouro produzido no Brasil, o que significa um largo emprego de mercúrio. Por outro lado, do que foi produzido por empresas legalmente constituídas, mais de 70% tiveram o emprego do cianeto.

Tabela 1 – Projetos em andamento e/ou previstos

EMPRESAS	U.F.	1987	1988	1989	1990
Mineração Morro Velho S.A.	MG/BA	7.302	8.719	10.700	12.000
Cia. Vale do Rio Doce S.A.	BA/MG	706	1.800	3.000	4.200
São Bento Mineração S.A.	MG	1.454	2.000	2.000	2.500
Caralba Metais S.A. (1)	BA	465	750	750	750
Mineração Marex Ltda.	GO	57	500	1.000	1.000
Mineração Serra Grande – MMV/INCO	GO	-	-	-	3.000
Rio Paracatu Mineração S.A.	MG	121	3.000	3.500	3.500
Mineração Manati Ltda.	MT	260	2.160	2.700	2.700
Cia. Mineração e Part. S.A. – CMA	AP/RN	1.486	2.381	2.500	2.500
Outras		1.269	2.183	2.650	2.650
Total		13.120	23.493	28.800	34.800

(1) Subproduto

Nota: Unidade expressa em quilograma
 Fonte: **Sumário Mineral**, 1988, vol. 8.

3. PROCESSOS QUÍMICOS PARA RECUPERAÇÃO DE OURO

Os processos químicos mais conhecidos para solubilizar o ouro são:

- (i) lixiviação com gás cloro em meio aquoso, que foi completamente substituído, a partir da década de 40, pelos processos de flotação e cianetação, apesar da elevada recuperação ($\approx 95\%$) (4);
- (ii) amalgamação, que envolve a reação do ouro com o mercúrio e vem sendo largamente empregada, principalmente nos garimpos;
- (iii) cianetação, que se baseia na solubilização do ouro em soluções alcalinas de cianeto de sódio ou potássio, e tem seu emprego nas minerações;
- (iv) utilização de tiouréia, que desde a década de 40 vem sendo pesquisada, e que na década de 70 tomou impulso com tentativas de aplicação em escala industrial; vem esbarrando na economicidade, pois o custo do reagente por tonelada de minério é maior do que o do cianeto, embora tenha a seu favor a menor toxicidade e menor sensibilidade a substâncias nocivas contidas no minério.

A seguir, os processos de amalgamação e cianetação serão revisitos, com destaque para os malefícios que a sua utilização ocasiona. Após, as possíveis alternativas serão discutidas.

3.1. – Amalgamação

3.1.1. – Descrição do Processo

A amalgamação é um processo de concentração baseado na aderência preferencial do ouro ao mercúrio, quando as outras fases presentes são a água e o ar. Esse método é especialmente indicado para separar o ouro nativo de outros minerais. A amalgamação vista como um processo de adesão é, como tal, similar aos processos de adesão óleo-mineral e ar-mineral (flotação). Experiências indicaram que o ângulo de contato entre o mercúrio e o ouro, dentro d'água, é próximo a 160° , bem maior que aquele entre o ar e a parafina (105°), que é o sólido de maior interface com o ar (5,6).

A amalgamação é principalmente aplicada aos minérios de “placers” e aos minérios de ouro livre. Os primeiros são explotados de depó-

sitos aluvionares e, algumas vezes, de elúvios. Apresentam como característica marcante a liberação dos minerais constituintes, inclusive o ouro, e teor de ouro relativamente baixo ($< 1\text{g/t}$). Para o beneficiamento dos minérios de “placers”, faz-se separação em peneira ou “trömmel” com o objetivo de desagregação, eliminação de estéréis grosseiros e lavagem; a lama em suspensão é eliminada em tanques deslamadores ou ciclones. A seguir, o minério geralmente é submetido a etapas seqüenciais de concentração por gravidade. O concentrado final normalmente é amalgamado, obtendo-se então o ouro, ainda impuro, ao qual denomina-se “esponja” de ouro(7).

A expressão *minério de ouro livre* (“free gold ore”) significa que o ouro não está incluso nos sulfetos, mas pode se apresentar em grãos mistos com quartzo e silicatos, ou nas fraturas das rochas, requerendo-se a cominuição do minério, previamente ao seu processamento, para a liberação ou exposição das partículas de ouro. Os sulfetos ocorrem em pequena proporção ($< 2\%$); são comumente limitados à pirita e não contêm quantidade excessiva de elementos nocivos a processos posteriores (amalgamação e cianetação). Seus teores de ouro estão normalmente entre 10 e 20g/t (7).

O processamento adotado para esses minérios consta, simplificada-mente, de três alternativas, conforme a granulometria do ouro. Quando a maior parte do ouro se distribui granulometricamente acima de 0,15mm, o minério é normalmente concentrado apenas por gravidade. No caso de minério com ouro de granulometria fina, é prática usual a moagem e cianetação do minério. Quando houver ouro nas faixas grosseira e fina, a concentração por gravidade e a cianetação podem ser aplicadas, inserindo-se o equipamento de concentração no circuito de cominuição para recuperar as partículas já liberadas que saem do moinho. O concentrado, após etapas de limpeza, é amalgamado ou submetido à fusão direta (no caso de fusão, o concentrado apresenta comumente teor de ouro acima de 20%). A parte do ouro solubilizada pela cianetação é recuperada por precipitação com zinco ou por adsorção com carvão ativado.

Os métodos utilizados para se amalgamar um concentrado podem ser classificados em contínuos (placa amalgamadora e pote (“jack-pot”)) e descontínuos (barril e batéia). Essa classificação, embora não usual, procura diferenciar os equipamentos que podem ser empregados na linha de produção, portanto em operação contínua, daqueles que se prestam às operações em batelada (8).

A placa amalgamadora consta de uma placa de cobre coberta com uma camada de mercúrio, onde o amálgama de cobre formado tem pro-

priedades superficiais análogas às do mercúrio, retendo o ouro na superfície. O processo consiste em fazer a polpa de minério fluir sobre a placa inclinada. As partículas de ouro, ao entrarem em contato com o mercúrio, amalgamam-se e são capturadas na superfície da placa. Periodicamente, a alimentação é interrompida para que o amálgama seja raspado da placa sem, no entanto, descobrir a superfície do cobre. A placa recebe outra camada de mercúrio e a operação é reiniciada (9).

Esse método teve grande utilização na primeira metade do século. Atualmente, no entanto, é considerado obsoleto, ao menos na África do Sul (9), o maior produtor mundial de ouro. As objeções ao método são a perda de mercúrio – arrastado pelos minerais grosseiros da polpa, a necessidade de amaciar o amálgama por vaporização – o que impõe ao operador respirar periodicamente gases contendo mercúrio, a baixa eficiência na recuperação de partículas finas e a perda de partículas de ouro não liberadas. No Brasil, ainda se encontram pequenos empreendimentos que utilizam placas amalgamadoras (8).

No pote (ou "jack-pot"), de forma cilíndrica, 1,0 a 1,5 litro de mercúrio é mantido em seu interior. A polpa que alimenta o pote continuamente é geralmente um concentrado gravítico secundário, de um minério de "placer". O processo depende essencialmente do íntimo contato que a polpa mantém com o mercúrio contido no fundo do pote, enquanto a polpa sai por "overflow" pelos orifícios situados na parte superior da parede do pote, o qual é periodicamente substituído por outro. O pote com amálgama, mercúrio e impurezas minerais é tratado separadamente para a recuperação de ouro e mercúrio (8).

No Brasil, algumas minerações usam o "jack-pot" para amalgamar, continuamente, o concentrado gravítico. Semelhantemente à placa amalgamadora, o "jack-pot" não recupera com eficiência partículas muito finas de ouro, e também propicia a perda de gotículas de mercúrio carregadas pelo "overflow" do pote amalgamador, configurando-se, portanto, uma contaminação do sistema ecológico circundante (8).

O uso da amalgamação em barril é particularmente favorecido quando as partículas de ouro do concentrado ocorrem recobertas por óxidos de ferro, ou são muito finas, ou não liberadas dos minerais de ganga, ou mesmo com um concentrado que requer altas concentrações de reagentes e agitação da polpa, para tornar efetiva a amalgamação e/ou prevenir a deterioração do mercúrio. A amalgamação em barril é feita em batelada. Cargas de bolas ou barras são geralmente utilizadas. O tempo de contato com o mercúrio varia normalmente de 1 1/2 a 2 1/2 horas. Às vezes é necessária a adição de reagentes à polpa para impedir o esfari-

nhamento do mercúrio. Uma vez terminada a operação, a polpa é descarregada e submetida à separação do mercúrio e amálgama da polpa.

A amalgamação em batéia é largamente disseminada nos garimpos. O mercúrio é adicionado ao tambor contendo o pré-concentrado gravítico. Faz-se a mistura do mercúrio e do pré-concentrado com a mão, e depois recupera-se o amálgama na batéia. A presença de ganga tende a arrastar o mercúrio para a periferia da batéia, provocando perdas de mercúrio durante sua operação.

Fazendo-se uma comparação dos quatro métodos de amalgamação descritos, o melhor – do ponto de vista de eficiência – e o menos nocivo – pelo lado ecológico – é a amalgamação em batelada feita em barril. Este método minimiza as perdas de mercúrio que ocorrem com métodos contínuos (2,0 a 10%); com o emprego de barril, as perdas são inferiores a 1,0% (1), além de haver maior eficiência para recuperação do ouro mais fino, ouro recoberto e ouro ainda não liberado.

Após o processo de amalgamação propriamente dito, seguem-se necessariamente as etapas de separação do sistema Au-Hg das demais partículas minerais, a filtragem do mercúrio em excesso do amálgama e, finalmente, a destilação do amálgama, com recuperação adicional do mercúrio, obtendo-se a esponja, com teor de 60 – 80% de ouro.

O amálgama retido na filtragem contém 50 a 70% de mercúrio e é submetido à destilação em retorta, quando então o mercúrio se vaporiza, para posterior liquefação pela passagem dos gases por condensador. Os produtos da destilação são a esponja de ouro – que apresenta ainda algum mercúrio (menos que 1%) – e o mercúrio contendo traços de ouro e pronto para ser reutilizado na amalgamação.

Nos garimpos brasileiros é comum, infelizmente, a destilação do amálgama ser realizada através de seu aquecimento em uma lata, ocorrendo a vaporização do mercúrio ao ar livre, caracterizando uma agressão ao meio ambiente e à saúde do garimpeiro. A título de ilustração, uma região garimpeira onde se destila o mercúrio ao ar livre estará espalhando uma tonelada de mercúrio para cada tonelada de ouro produzida – admitindo-se um teor de 50% de mercúrio no amálgama. Nessa fase do processo – vaporização do mercúrio ao ar livre – reside certamente a maior fonte de contaminação do meio ambiente, que poderia ser evitada facilmente com o emprego de retortas, recuperando-se o mercúrio.

3.1.2. – Malefícios causados pelo Mercúrio

O mercúrio chega aos cursos de água, geralmente, na forma inor-

gânica, quer como mercúrio metálico, quer como sais inorgânicos. Além da contaminação do meio ambiente, outra de maior gravidade é a que ocorre pelo contato direto, através do manuseio e aspiração de vapores de mercúrio pelos seres humanos. Embora já fosse conhecido há muito tempo o fenômeno de "salivação", causado por intoxicação do mercúrio entre trabalhadores da indústria mineral e química, somente em 1928 o químico STOCK (10), pela primeira vez, divulgou a relação existente entre a taxa de vapor de mercúrio ingerida e seus efeitos na saúde humana. STOCK desenvolveu testes para análise de mercúrio na urina, e determinou que apenas um micrograma de vapor de mercúrio por metro cúbico de ar é uma quantidade perigosa, se a exposição for por longo tempo.

Em relação aos sintomas, não existem dúvidas dos efeitos no caso do mercurialismo agudo. Esses efeitos incluem: fluxo de saliva excessivo, vômito, separação dos dentes das gengivas, diarreia, tremores violentos, perda de memória, desinteresse pelo trabalho, fadiga, irritabilidade, excitabilidade, dores de cabeça, distúrbios digestivos, depressão e perda de apetite.

A ação do mercúrio ingerido pelo homem pode dividir-se em dois tipos: rápida e acumulativa. Ao primeiro tipo correspondem sintomas como vômitos e diarreias, e morte num prazo de 7 até 10 dias.

O envenenamento acumulativo ou crônico provoca inflamação de mucosas, tremores e espasmos do ponto de vista físico, acontecendo simultaneamente uma série de transtornos psiconeurológicos, tais como depressão e nervosismo. Tudo isto em forma gradativa, e o tempo para chegar a um colapso é função da quantidade do mercúrio ingerido e das características físicas, próprias da pessoa afetada.

A passagem do despejo inorgânico para a forma orgânica resulta de uma atividade microbiológica desenvolvida nas águas. Isto faz com que os despejos inorgânicos devam ser reduzidos ao mínimo, embora as possibilidades de absorção pelo organismo sejam da ordem de 50 vezes menor que as correspondentes à forma orgânica.

Considerando que o veículo de transferência para o ser humano é o produto da pesca, em função de sua capacidade de acumulação, foram analisadas as variáveis envolvidas que determinam a concentração final nos organismos aquáticos. Embora o mecanismo seja muito complexo, e o número dessas variáveis grande, existe uma relação direta, porém não-linear, com a concentração de mercúrio nas águas (11).

Infelizmente, até o presente momento essas considerações não têm sido encaradas com a seriedade que mereciam. Por outro lado, é consenso geral que o mercúrio, quando vaporizado, é muito mais perigoso. Com

a finalidade de comprovar esse fato, FRASER (12) (McGill University) realizou um meticuloso conjunto de experimentos com cachorros expostos a várias concentrações de vapores de mercúrio por períodos longos. A experiência consistiu em deixar os animais 8 horas por dia em cubículos fechados de 1,80m² de área por 1,40m de altura. Para garantir a troca total do ar no interior dos cubículos, circulou-se ar controladamente por um período de 12 horas. Quanto aos tipos de concentrações de mercúrio, adotou-se, como nível mais baixo, a colocação de mercúrio em 6 vasilhames de 30cm de diâmetro e 15cm de altura, e, como nível mais alto, o aquecimento do mercúrio a temperaturas acima de 90°C. Os resultados obtidos foram os seguintes:

- . 20.000 microgramas Hg/m³: os cachorros morreram no período de 1 a 3 dias;
- . 3.000 microgramas Hg/m³: os efeitos do envenenamento foram observados, porém os animais recuperaram-se;
- . 1.000 microgramas Hg/m³: os efeitos não se fizeram sentir por um período de 40 dias de exposição.

No que diz respeito aos pulmões, verificou-se que os mesmos absorveram 25% do vapor de mercúrio presente no ambiente. Os exames de urina detectaram 500 microgramas Hg/litro, o que já caracteriza o envenenamento. A destilação do mercúrio deve ser feita com grandes precauções, uma vez que a pressão do vapor aumenta rapidamente com o aumento da temperatura.

O manuseio do mercúrio deve ser feito em condições de extremo cuidado, pois a presença de um metal básico dissolvido no mesmo forma uma película que adere nas mãos, roupas e aparelhagem. Para que se evite a contaminação por mercúrio, existe na literatura uma série de recomendações que, embora não sendo seguidas, devem ser citadas (13,14).

- . nunca destilar o mercúrio em aparelhagem rudimentar, pois mesmo em aparelhagem própria (vidraria), observou-se ponto de fuga nas juntas; para tanto deve-se utilizar equipamento hermético, em sala bem ventilada, com exaustão para o exterior;
- . guardar o mercúrio em recipientes herméticos, ou sob camada de água;
- . quando ocorrer derramamento de mercúrio, inundar a área

- com água, calçar bota e succionar o mesmo com bomba;
- guardar a roupa de trabalho em local separado da roupa de uso normal;
- usar máscaras de gás, luvas de borracha e capuz;
- ao trabalhar com aparelhagem contendo mercúrio, lavar bem as mãos antes de comer, não fumar e não se alimentar em locais onde exista mercúrio;
- periodicamente submeter-se a exames médicos e dentários.

Embora a exposição a grandes doses de vapor de mercúrio possa causar o envenenamento imediato, o perigo maior está no contato frequente com baixas concentrações por um longo período.

Resumindo, a única possibilidade imediata de atenuar o problema é a adoção de medidas preventivas, e não corretivas, pois não resta dúvida que o ecossistema vem sendo continuamente castigado. Dessa forma, urge a necessidade do emprego de alternativas ao uso abusivo do mercúrio.

3.2. – Cianetação

3.2.1. – Descrição do Processo

A solubilidade do ouro e da prata em soluções alcalinas de cianeto, como mostra a literatura, já era de conhecimento dos químicos no século XVIII. A partir de 1887, McARTHUR e FORREST aplicaram a cianetação em minérios e, desde essa época, o processo espalhou-se pelo mundo inteiro e ainda hoje não encontrou substituto à altura.

O processo baseia-se na seguinte reação:



Embora sendo relativamente simples, é preciso que se leve em consideração que nem todos os minérios de ouro são suscetíveis à aplicação desse método. Para que isto ocorra, o minério deve possuir as seguintes características:

- o tamanho da partícula de ouro deve ser pequeno (< 0,10mm);
- o ouro e a prata devem estar expostos ao cianeto;

- o minério deve estar relativamente livre dos cianicidas – sulfetos de Zn, Sb, Cu, Fe, As e de outros interferentes que inibam a solubilidade do ouro;
- o minério deve estar livre de carbonáceos que podem adsorver o ouro e a prata;
- o minério não deve conter agentes formadores de ácido, porque causam alto consumo de cal.

Aos minérios suscetíveis à cianetação direta são aplicados os seguintes métodos:

- lixiviação clássica (agitação e recuperação por zinco);
- lixiviação em pilha;
- “carbon in pulp” (CIP);
- “carbon in leach” (CIL).

Os minérios refratários à cianetação direta, como sulfetos e carbonáceos, exigem um pré-tratamento que envolve um dos seguintes passos:

- oxidação sob pressão;
- oxidação bacteriana;
- oxidação por lixiviação ácida;
- ustulação.

A São Bento Mineração utiliza o primeiro, e a Mineração Morro Velho o último pré-tratamento, após o que o material daí resultante sofre a cianetação e adsorção em carvão e eletrólise. Está prevista a utilização do processo de oxidação bacteriana pelas duas empresas.

3.2.2. – Malefícios causados pelo Cianeto

Os cianetos são tóxicos para todos os tipos de vida animal, porque eles inibem o metabolismo do oxigênio, bloqueando a capacidade de utilização do oxigênio livre. Os cianetos não se acumulam nos seres vivos, e a desintoxicação primária para o cianeto livre acredita-se que seja a conversão para tiocianato (SCN), pela ação da enzima Rhodanase. A partir daí, o tiocianato é lentamente eliminado através da urina.

A alta toxicidade dos cianetos para o homem exige um cuidado especial na utilização dos mesmos para extração do ouro e prata. Entretanto,

to, o problema mais sério resultante do uso de cianeto na indústria mineral são os efluentes que contêm essa substância e infligem efeitos altamente danosos à vida aquática, especialmente aos peixes. A literatura registra inúmeros dados sobre toxidez aguda, crônica e efeitos subletais dos cianetos nos peixes (15).

Como resultado das reações do processo de cianetação do ouro, os efluentes descarregados no meio ambiente contêm uma variedade de compostos de cianeto e derivados. No Canadá, terceiro produtor mundial de ouro, esse processo é responsável por 100% do cianeto poluente (16).

Os compostos de cianeto e derivados podem genericamente ser classificados nas seguintes categorias (16,17):

1. Cianeto livre CN^- e HCN
2. Compostos simples a) facilmente solúveis (NaCN , KCN , $\text{Ca}(\text{CN})_2$, $\text{Hg}(\text{CN}_2)$)
 b) relativamente insolúveis ($\text{Zn}(\text{CN})_2$, $\text{Cd}(\text{CN})_2$, CuCN , $\text{Ni}(\text{CN})_2$, AgCN)
3. Complexos de fórmulas: $\text{AyM}(\text{CN})_x$, onde A é um metal alcalino presente Y vezes, M um metal de transição e x, a valência de A tomada y vezes mais que o metal de transição. Esses complexos podem dissociar e fornecer ânions do tipo $\text{M}(\text{CN})_x^{y-}$ que podem, também, dissociar e liberar CN^- .

Num efluente, a razão entre essas formas dependerá do pH, da concentração da espécie e da concentração de metais.

Os complexos são espécies de estabilidade limitada, e alguns como os de ferrocianeto podem decompor-se sob ação da radiação U.V. ou luz solar. Esses complexos estão presentes nos efluentes devido à reação do cianeto com uma variedade de minerais. Além de ouro metálico, há óxidos, carbonatos, silicatos, sulfetos e sulfarsenietos de zinco, cobre, níquel e ferro.

Tradicionalmente, a toxidez do cianeto é medida por métodos biológicos através do efeito provocado em peixes. Esses testes medem a concentração de cianeto em que 50% dos organismos são capazes de sobreviver após um certo número de horas em exposição (18).

Os biólogos são contrários a essa metodologia, pois as diversas espécies de cianeto têm toxidez diversa (19).

DOUDOROFF et al. (19,20) mostraram que o cianeto na fórmula molecular, HCN, é mais responsável pela ação letal do que o íon cianeto livre (CN^-) e os complexos cianeto-metálicos.

A toxidez do cianeto não pode ser determinada tomando-se cianeto livre como único responsável (CONN, (17)), pois outras formas de cianeto podem gerar cianeto livre após sofrerem mudanças físico-químicas; apesar disso, o interesse toxicológico está focado sobre o HCN liberado.

As reações bioquímicas mais conhecidas e importantes com cianeto são as que ocorrem com várias metalo-porfirinas e com moléculas de ligação dissulfídica. Essas reações são muito sensíveis à inibição do cianeto, devido à complexação nucleofílica na reação do CN^- e Fe^{+3} . O oxigênio dessa forma não pode ser utilizado, e a anoxia citotóxica ocorre. A morte resulta da depressão do sistema nervoso central, o mais sensível à anoxia.

Os índices permissíveis de cianeto, segundo a legislação federal, são de $20\mu\text{g/l}$ em águas fluviais e $200\mu\text{g/l}$ em efluentes. Além dos problemas de especificação do cianeto, as medições a níveis tão baixos requerem um cuidado especial e um analista com experiência em análises a níveis de ppb.

Feito o levantamento bibliográfico, observou-se que o único método rápido e economicamente viável que atinge os limites permissíveis de cianeto é o que utiliza o eletrodo íon-seletivo de cianeto. Para a obtenção de valores mais precisos deve-se utilizar a técnica desenvolvida com algumas modificações, tendo como objetivo final a medição de todas as espécies possíveis de estarem presentes num efluente. O outro método, que atinge níveis inferiores a $20\mu\text{g/l}$, é, porém, economicamente menos viável: consiste na medição de compostos fluorescentes de cianeto. Na amostragem, cuidados especiais devem ser tomados para obtenção de dados coerentes com a realidade. A amostra deve ser preservada límpida; se necessário, deve ser previamente filtrada, em pH 12 e a 4°C . Se a amostra contiver sulfeto, este deve ser precipitado com carbonato de chumbo antes da determinação do pH (21).

Dentre os processos em uso, ou que estão sendo estudados para remoção do cianeto e metais pesados dos efluentes de mineração, podemos citar os seguintes:

- . degradação natural (22);
- . cloração alcalina (23);
- . tratamento eletroquímico (24);
- . adsorção em pirrotita (25);

- . ozonização (26);
- . oxidação com peróxido de hidrogênio (27);
- . tratamento de polissulfeto (28);
- . oxidação com ar/H₂O (29);
- . remoção de cianeto por troca iônica (30).

4. POSSÍVEIS ALTERNATIVAS

4.1. – À Amalgamação

A recuperação do ouro de concentrados gravíticos por amalgamação é ainda muito utilizada, apesar das desvantagens desse processo no que respeita à saúde e à contaminação do meio ambiente. Nesse sentido, dois processos (31) foram considerados promissores como uma alternativa à amalgamação: flotação de ouro e cianetação.

DE KOK (32) reportou a flotação de ouro nativo de concentrado gravítico, obtendo-se alta recuperação e teor de 30% de ouro. Algumas instalações industriais na África do Sul teriam substituído a amalgamação por flotação, com os concentrados submetidos à fusão. Estudos no CETEM (33) mostraram a possibilidade de se obter concentrados de flotação (a partir de concentrados gravíticos de aluvião) com teor de 2.000g/t. A recuperação de ouro foi de 88%, similar à obtida por amalgamação do mesmo concentrado.

A cianetação intensiva de concentrados gravíticos, usando elevadas temperaturas e alta concentração de cianeto (50kg/t NaCN) provou ser um substituto para a amalgamação, e é utilizada pelo menos em uma usina na África do Sul (31). No Brasil, foi citado (34) o bom desempenho obtido com a cianetação em tanque agitado de um concentrado gravítico, alcançando-se recuperação de 98%, substituindo a amalgamação, adotada anteriormente, que não estava permitindo boa recuperação. Embora, do ponto de vista técnico, possa ser interessante em alguns casos, a cianetação também causa problemas ambientais, como já foi visto.

Um processo recentemente publicado propõe a recuperação de partículas de ouro por aglomerados de óleo/carvão (35) que são misturados à polpa mineral. As partículas de ouro são "molhadas" pelo óleo e incorporadas aos aglomerados, os quais são separados da polpa por peneiramento ou flotação. Os resultados reportados são muito interessantes, com recuperações comparáveis à cianetação intensiva e cianetação em polpa, mas sem os problemas ambientais que o uso do cianeto impõe. Os aglomerados são depois queimados, obtendo-se uma cinza rica em ouro, a qual é submetida posteriormente à fusão para obtenção do "bullion".

O CETEM pretende estudar essa tecnologia, procurando adaptá-la a processo de batelada, como possível substituto da amalgamação, visando seu emprego em pequenas minerações e garimpos.

4.2 – À Cianetação

A lixiviação com tiouréia foi desenvolvida pelos soviéticos em 1960, com a finalidade de tornar-se um substituto em potencial para a cianetação (36,37).

Devido à baixa toxicidade e à alta taxa de dissolução de ouro e prata comparada com o cianeto, a tiouréia apresenta uma vantagem muito grande para sua aplicação industrial, preferencialmente a outros lixiviantes não-convencionais (38). Devido à pequena atividade para os metais básicos (As, Pb, Zn, Cu, Sb) ou outras impurezas, torna-se possível o uso da tiouréia para muitos minérios refratários de ouro, além de poder ser utilizada com vantagens para lixiviação de minério de ouro livre.

A lixiviação com tiouréia foi aplicada com sucesso para diferentes materiais e minérios. Materiais pré-ustulados (pirita e arsenopirita) foram lixiviados, obtendo-se extrações de ouro acima de 99% (39,42), com um tempo de lixiviação menor que 30 minutos. A recuperação de ouro de concentrados de pirita (38) ou calcopirita (38,43) foi da ordem de 96%. Da mesma forma, existem dados na literatura indicando extrações de 90% para materiais carbonáceos (44).

A aplicação comercial da tiouréia na extração de ouro e prata de concentrado de antimônio, de material carbonáceo e de ustulado de zinco, está sendo implantada na Austrália, China e França, respectivamente (45,46,47). Muito embora a maioria dos trabalhos publicados sobre a recuperação de ouro com tiouréia reportem mais sobre a etapa de lixiviação, existem alguns artigos, principalmente soviéticos, que registram a fase de extração de ouro e prata da solução matriz de tiouréia. Além da União Soviética, África do Sul, Estados Unidos, China e Austrália também apresentam bibliografia nesse sentido.

Como o objetivo do presente trabalho foi o de procurar mostrar que existe a possibilidade de aplicação da tiouréia em substituição ao cianeto, não é de interesse aprofundar a discussão técnica – o que será feito em ocasião próxima, pois o CETEM vem estudando o assunto.

Por outro lado, sabemos que, para o que já está implantado, o que resta são medidas corretivas; porém, para projetos futuros, indubitavelmente teremos que nos adaptar aos novos conceitos com relação ao meio ambiente, buscando hoje as alternativas.

5. CONCLUSÕES

- . A utilização de mercúrio na amalgamação impõe a necessidade de esclarecimentos sobre os malefícios decorrentes de seu uso sobre o organismo humano e o meio ambiente.
- . Para minimizar os problemas de utilização do mercúrio, a amalgamação deve ser feita em batelada, em barril, e sempre empregando-se retorta que permita a recuperação do mercúrio quando de sua vaporização.
- . Processos alternativos à amalgamação devem ser buscados com premissa, visando sua total erradicação. A título de exemplo, os índices de contaminação na região garimpeira do Pantanal Matogrossense são valores alarmantes (48):

- . 10 μ g Hg/100g no sangue (limite admissível = 2,0 μ g Hg)
- . 330 μ g Hg na urina (limite admissível = 50 μ g Hg)
- . 21,9 μ g Hg nos sedimentos (limite = 0,5 μ g Hg)
- . 8,5 μ g Hg/l na água (limite = 0,02 μ g Hg/l)

- . Para as instalações industriais de cianetação de minérios auríferos já existentes, há a necessidade de monitoramento de seus efluentes e das condições de trabalho. Medidas corretivas como, por exemplo, recuperação de cianeto por troca iônica devem ser perseguidas.
- . Para futuros projetos industriais, processos alternativos à cianetação, como o uso de tiouréia, por exemplo, já devem ser considerados.
- . A ecologia e o desenvolvimento industrial devem ser compatíveis. Incompatível com a sobrevivência em nosso país é a inércia, o descaso, ou a irresponsabilidade com que, freqüentemente, são tratados os problemas ambientais.

CNPq
CETEM

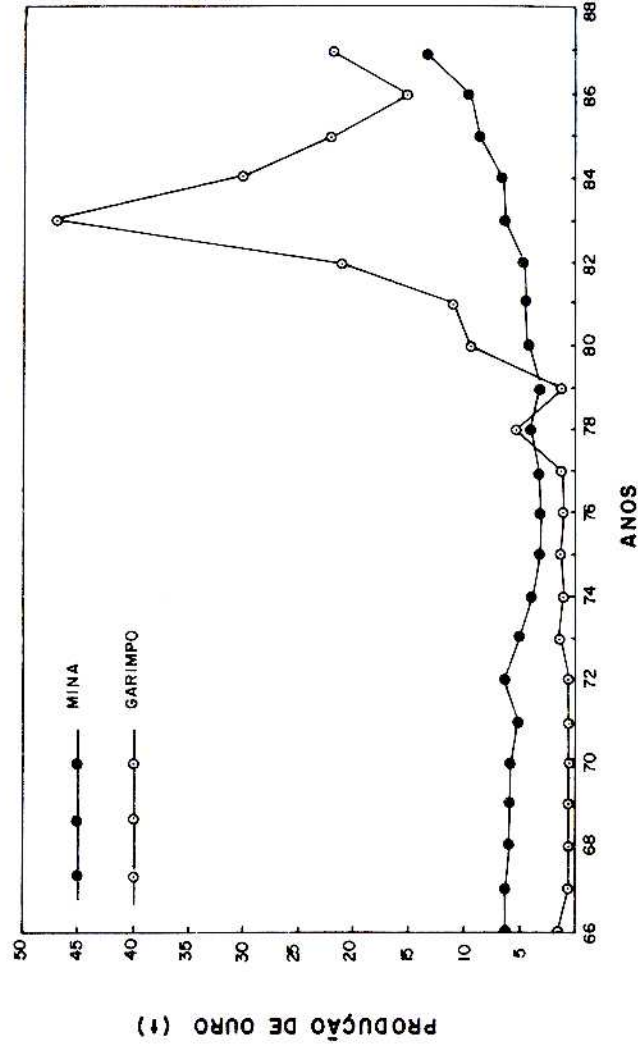


Fig. 1 - Produção de Ouro no Brasil - Fonte: DNPM

CNPq
CETEM

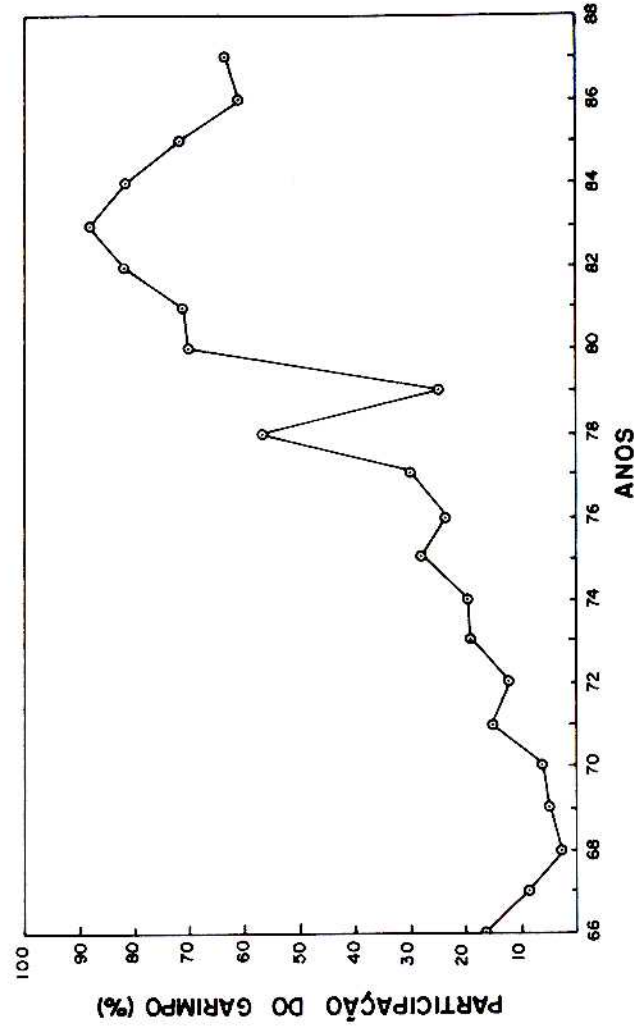


Fig. 2 - Participação do garimpo na produção de Ouro - Fonte: DNPM

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) RABIE, A. Pretoria University of South Africa. IFCOL Publications [s.d.] p. 178.
- (2) ANON, Os descaminhos do ouro brasileiro. *Mineração e Metalurgia*, 53 (492): 41-3, mar. 1988.
- (3) MARON, M. A. C. Ouro. *Sumário Mineral*, Brasília, 8: 82-3, 1988.
- (4) OLIVEIRA, D.W. & FEITOSA, A. J. Hidrometalurgia aplicada a minérios de ouro. *Mineração e Metalurgia*, 47 (446): 25, jul/ago. 1983.
- (5) TAGGART, A.F. *Handbook of mineral dressing*. New York, John Wiley & Sons, 1945.
- (6) GAUDIN, A.M. *Principles of mineral dressing*. New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1971.
- (7) LINS, F.A.F. *Aspectos químicos, físicos e científicos da flotação de partículas de ouro*. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1987. 120p. Tese de Mestrado.
- (8) LINS, F.A.F. Concentração de minérios de ouro. In: CURSO DE GEOLOGIA E TECNOLOGIA MINERAL DO OURO, Rio de Janeiro, 1986. 114p.
- (9) ADAMSON, R.J. *Gold metallurgy in South Africa*. [s.1.] Chamber of Mines of South Africa, 1972.
- (10) STOCK, A. *Zeit. Angew. Chemie.*, 41: 663, [s.d.].
- (11) CATTANEO, A. J. & FACIOLLA, L.J. Redução de teor de mercúrio em efluentes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, Rio de Janeiro, jul. 1978.
- (12) FRASER et alii. *J. Ind. Hy.*, 16: 77, 1934.
- (13) McCARROLL; C.F. Washington, Bureau of Mines, 1939. (Report of investigations, 375).
- (14) PRECAUTIONS in handling mercury. In: General Electric Co. Handbook, 1935.
- (15) GANMOM, D.J. Toxicity of cyanide solutions. In: E.C.T.S., Cyanide and the Gold Mining Industry, Ottawa, Jan. 1981.
- (16) INGLES, J.C. & SCOTT, J.S. *Removal of cyanide from gold mine effluents*. Ottawa, Mining and Metallurgical Division Water Pollution Control Directorate Environment Canada, 1981.
- (17) CONN, K. *Cyanide analysis in mine effluents*. Ottawa, WTS, 1981.
- (18) STANDARD methods for the examination of water and waste water APHA, AWWA. WPCF.

- (19) DOUDOROFF, P. Closing remarks – an old frog croaks an appeal for logic. In: TUBB, R.A. ed. *Recent advances in fish toxicology*. U.S. EPA, Ecol. Res. EPA Report Environmental Res. Lab. 1977. p. 88 – 117.
- (20) DOUDOROFF, P. et alii. Acute toxicity to fish of solutions containing complex metal cyanides, in relation to concentrations of molecular hydrocyanic acid. *Trans. American Fish Society*, 95: 6-22, 1966.
- (21) MADDOK, J.E.L. & MARIUS, R. V. *Poluição ambiental pela produção de ouro – efeitos e medição*. Niterói, Departamento de Geoquímica da UFF [s.d.].
- (22) ZAIDI, S.A. & WHITTLE, L.R. Laboratory procedures for the operation control of alkaline chlorination process. In: TECHNICAL SEMINAR ALKALINE CHLORINATION FOR GOLD MILL OPERATORS, Vancouver, British Columbia, 1982.
- (23) ZAIDI, S.A. Cyanide removal from gold mill effluents by the alkaline chlorination process. In: TECHNICAL SEMINAR ON ALKALINE CHLORINATION FOR GOLD MILL OPERATORS, Vancouver, British Columbia, 1982.
- (24) DODGE, B.F. & ZABBAN, W. Disposal of plating waste. *Plating*, 38: 561-86 jun. 1951.
- (25) INGLES, J.C. & SCOTT, J.S. Overview of cyanide treatment methods. In: TECHNICAL SEMINAR ON CYANIDE AND THE GOLD MINING INDUSTRY, Ottawa, Jan. 1981.
- (26) WHITE, G.C. *Handbook of chlorination*. Toronto; Ontario, Van Nostrand Reinhold Co., 1972. p. 399-416.
- (27) McNAMARA, V.M. *Acidification/volatilization/reneutralization treatment process for descontamination of canadian gold mill effluents*. Ottawa; Ontario, CANMET/Energy (Report MRP/MSL (IR) 78-223).
- (28) NUTT, S.G. & ZAIDI, S.A. The treatment of cyanide containing waste – waters by the copper catalyzed SO₂/Air process, In: ANNUAL PURDUE INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, 38, West Lafayette. Indiana, May, 1983.
- (29) BRODIE, J.B. Alkaline chlorination of gold mill effluents. In: ANNUAL PNPCHA MEETING COMBINED WITH THE ANNUAL BCWWA CONFERENCE, 49, Vancouver, Nov. 1982.
- (30) GILMORE, A.J. The ion-exchange removal of cyanide from gold-mill wastes for environmental benefit. Ottawa. CANMET/Mineral Research Program [s.d.] (Report MRP/N.52 (CF) 72-26 (IR)).
- (31) HENLEY, K.J. The role of mineralogy in gold ore metallurgy. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO OURO, 2, Rio de Janeiro, jun. 1986.

- (32) DE KOK, S.K. Gold concentration by flotation. *J.S. Africa Inst. Mining Metallurgy*, 1975. p. 9-17 (ed. especial).
- (33) SILVA, L.A. & LINS; F.A.F. *Processamento de minérios de ouro (2ª Fase)*. Rio de Janeiro, CETEM, 1986 (RP-02/86).
- (34) LAKSCHEVITZ, A. & RADINO, P. Aplicação de técnicas de lixiviação para a extração de ouro em empreendimentos no Brasil, projetos de pequeno e médio porte. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO OURO, 2, Rio de Janeiro, jun. 1986.
- (35) HOUSE, C.I. et alii. Coal gold agglomeration. *International Mining*. Sept. 1988. p. 17-19.
- (36) PLASKIN, I.N. & KOZHUKHOVA, M. The solubility of gold and silver in thiourea. *Dok. Ak. Nauk. SSR*, 31: 671-74, 1941.
- (37) PLASKIN, I.N. & KOZHUKHOVA, M. *Sb Nauch. Tr. Ins. Tsvt. Met.*, 33: 107, 1960.
- (38) GABRA, G. Leaching of gold from pyrite and chalcopyrite concentrates using acidified thiourea. In: A.C.M. CIM, 23, Quebec, Aug. 1984.
- (39) VAN LIERDE, A.; OLLIVIER, P.; LEOSILLE, M. Développement du nouveau procédé de traitement pour le minerais de saignée. *Ind. Min.* Les tech. la: 399-410, 1982.
- (40) BODSON, F.J.J. Traitement de matières sulfureuses en vue de récupérer les métaux y contenus. *Brev. Fran.* 2476137, fev. 1981.
- (41) MOUSSOULOS, L. et alii. Recovery of gold and silver from arseniferous pyrite cinders by acidic thiourea leaching; P.M.M.R. and P. *Transactions AIME*, 1984.
- (42) WEN, C.D. Studies and prospects of gold extraction from carbon bearing clay gold ore by the thiourea process. In: INTERNATIONAL MPCC, 14, Oct. 17/23, 1982.
- (43) DESCHÊNES, G.D. & GHALI, E. Gold leaching by thiourea in chalcopyrite concentrate and chalcopyrite residuous. 1985. Unpublished report.
- (44) PYPER, R.A. & HENDRIX, J.L. Extraction of gold from a calintype ore using thiourea. *AIME Col. W.S.* Feb. 1981. p. 83-108.
- (45) HISSHION, R.J. & WALLER, C.G. Recovering gold with thiourea. *Mining Magazine*. Sept. 1984. p. 237-242.
- (46) CHEN, C.K. et alii. A study of the leaching of gold and silver by acid thioreation. *Hydrometallurgy*: 5: 207-12, 1980
- (47) SOC. Min. Foud. Zinc Vieille Montagne S.A., Bel Patent 847441, 1977.
- (48) JORNAL DO BRASIL, 5 de abril de 1986.

NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

- 01 – Flotação de carvão; estudos em escala de bancada; (esgotado)
- 02 – Beneficiamento de talco; estudos em escala de bancada; (esgotado)
- 03 – Beneficiamento de talco; estudos em usina-piloto; (esgotado)
- 04 – Flotação de cianita da localidade de Boa Esperança (MG);
- 05 – Beneficiamento de diatomita do Ceará; (esgotado)
- 06 – Eletrorefino de zinco; uma revisão das variáveis influentes; (esgotado)
- 07 – Redução de gipsita com carvão vegetal; (esgotado)
- 08 – Beneficiamento de diatomita de Canavieira, Estado do Ceará; (esgotado)
- 09 – Moagem autógena de itabirito em escala piloto; (esgotado)
- 10 – Flotação de minério oxidado de zinco de baixo teor; (esgotado)
- 11 – Estudos de corrente de pulso sobre o eletrorefino de prata; (esgotado)
- 12 – Lixiviação bacteriana do sulfeto de cobre de baixo teor Caraíba; (esgotado)
- 13 – Flotação de minérios oxidados de zinco; uma revisão da literatura; (esgotado)
- 14 – Efeitos de alguns parâmetros operacionais no eletrorefino do ouro; (esgotado)
- 15 – Flotação de carvão de Santa Catarina em escala de bancada e piloto; (esgotado)
- 16 – Aglomeração seletiva de carvão de Santa Catarina, estudos preliminares;
- 17 – Briquetagem e sua importância para a indústria (em revisão); (esgotado)
- 18 – Aplicação de petrografia no beneficiamento de carvão por flotação;
- 19 – Recuperação do cobre do minério oxidado de Caraíba por extração por solventes em escala de bancada; (esgotado)
- 20 – Dynawhirpool (DWP) e sua aplicação na indústria mineral; (esgotado)
- 21 – Flotação dos rejeitos finos de scheelita em planta piloto; (esgotado)
- 22 – Coque de turfa e suas aplicações;
- 23 – Processo eletrolítico de ouro, processo Wohlwill; (esgotado)
- 24 – Flotação de oxidados de zinco; estudos em escala piloto;
- 25 – Dosagem de ouro;
- 26 – Beneficiamento e extração de ouro e prata de minério sulfetado;
- 27 – Extração por solvente de cobre do minério oxidado de Caraíba;
- 28 – Preparo eletrolítico de solução de ouro;
- 29 – Recuperação de prata de fixadores fotográficos; (esgotado)
- 30 – Amostragem para processamento mineral; (esgotado)
- 31 – Indicador de bibliotecas e centros de documentação em tecnologia mineral e geociências do Rio de Janeiro;
- 32 – Alternativa para o beneficiamento de minério de manganês de Urucum, Corumbá-MS;
- 33 – Biolixiviação de minério de cobre de baixo teor;
- 34 – Beneficiamento do calcário da região de Cantagalo;
- 35 – Aplicação da simulação de hidrociclones em circuitos de moagem;
- 36 – Estudo de um método simplificado para determinação do “Índice de Trabalho”

- e sua aplicação à remoagem;
- 37 – Metalurgia extrativa do ouro;
- 38 – Estudos de flotação do minério oxidado de zinco de Minas Gerais;
- 39 – Lista de termos para indexação em tecnologia mineral;
- 40 – Distribuição de germânio em frações densimétricas de carvões;
- 41 – Aspectos do beneficiamento de ouro aluvionar;
- 42 – Estudos tecnológicos para aproveitamento da atapulgita de Guadalupe-PI;
- 43 – Tratamento de efluentes de carvão através de espessador de lamelas;