



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS DE MARABÁ  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS E MEIO AMBIENTE

FERNANDO SOARES SANTOS

**EFEITO DA PRÉ – OXIGENAÇÃO NO PROCESSO DE CIANETAÇÃO EM  
TANQUES AGITADOS**

MARABÁ

2013

FERNANDO SOARES SANTOS

**EFEITO DA PRÉ – OXIGENAÇÃO NO PROCESSO DE CIANETAÇÃO EM  
TANQUES AGITADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas e Meio Ambiente. Orientador: Prof. Dr. Denilson da Silva Costa

Marabá

2013

“A vitória cabe a quem mais persevera”  
Napoleão Bonaparte

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, pois sem ele nada é possível, a minha família em especial a minha esposa e a filha que sempre estão ao meu lado, os meus pais por tamanha dedicação a minha pessoa, as minhas irmãs por todo o apoio prestado e aos meus sobrinhos.

Agradeço também a Universidade Federal do Pará por me proporcionar uma maneira de mudar minha vida através dessa que para mim é a maior das virtudes do homem, o conhecimento.

Agradeço em especial a todos os professores que contribuíram para minha formação em especial ao professor Dr. Raimundo Nonato pessoa que estimo e admiro muito, ao professor Dr. Denilson da Silva Costa amigo que sempre esteve ali quando precisamos, exímio profissional e a todos os demais que sempre serão lembrados.

Agradeço a todos os amigos e colegas que ajudaram nesta caminhada árdua e extremamente cansativa com destaque para os companheiros de turma Adriano da Costa Paiva, Antonio Maria R. da Costa Filho, Diego Henrique Trigueiro Alves, Jackson Rainerio Cordeiro Cardoso, Luis Fabrício da Mota ferreira, Márcia Goreth da Cruz Lopes, Péricles Monteiro Quadros, Rodrigo Soares Lobato, Takehiro de Araújo Moraes e Wilson Cardoso Palheta. Agradeço também a Artur Silva Alves, Ivo Moacir Rodrigues Simões, Igor Giovani Santos Silva e Itaguai Costa Faria amigos que sempre serão lembrados.

## RESUMO

Este trabalho aborda a influencia da pré – oxigenação em tanques agitados de cianetação na recuperação final do ouro. O estudo foi desenvolvido na empresa Reinarda Mineração LTDA e consistiu em trocar o ponto de dosagem de cianeto do primeiro para o segundo tanque, transformando o primeiro em um tanque de pré – oxigenação. Após análise dos resultados, verificou-se que a recuperação final de ouro, tanto para a solução quanto para a fração sólida, aumentou significativamente, confirmando a importância de uma pré-oxigenação.

Palavras – chaves: Cianetação, pré – oxigenação e ouro.

## **ABSTRACT**

This paper discusses the importance of pre - oxygenation in the cyanidation tanks. The aim of the experiment is to prove that with a pre - oxygenation of the final recovery in pulp cyanidation process of gold will increase. The study was conducted in Reinarda Mining Company LTDA which consisted of changing the dosing of cyanide tank one to tank two where at the end it was proved that the ultimate recovery increased demonstrating impressive results.

Keywords: Cyanidation, prior – oxygenation and Gold

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>09</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>12</b>
2.1. O PROCESSO DE CIANETAÇÃO CONVENCIONAL .....	12
2.2. OURO: MINERAIS ASSOCIADOS E TAMANHOS.....	14
2.3. PROJETO DO PROCESSO DE MINAS DE OURO EM GRANDE ESCALA.....	15
<b>2.3.1. Processamento de ouro: práticas de minério aluvial.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.2. Processamento de ouro: práticas de minério de moagem livre .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.3. Terminologia típica de minérios de ouro .....</b>	<b>17</b>
2.4. OURO ASSOCIADO A SULFETOS .....	17
2.5. O ESTUDO DA LIBERAÇÃO DO OURO.....	17
<b>2.5.1. O estudo de liberação de minérios de ouro.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.2. O estudo de liberação por flotação ou concentração por gravidade .....</b>	<b>18</b>
2.6. TEORIAS DO PROCESSO DE CIANETAÇÃO.....	19
2.7. FATORES QUE AFETAM CIANETAÇÃO .....	20
<b>2.7.1. pH na cianetação.....</b>	<b>20</b>
<b>2.7.2. Oxigênio na cianetação.....</b>	<b>22</b>
<b>2.7.3. Cianetação normal .....</b>	<b>22</b>
2.8. ALGUNS MINERAIS QUE CONSOMEM O CIANETO .....	23
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>20</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>31</b>

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 01 – Fluxograma convencional da cianetação de minérios de ouro .....	13
FIGURA 02 – Ouro associado a ganga .....	14
FIGURA 03 – Fluxograma processamento de ouro aluvial .....	15
FIGURA 04 – Concentração de ouro de aluvião por flotação .....	16
FIGURA 05 – Fluxograma processamento de ouro de moagem livre .....	16
FIGURA 06 – Tempo de moagem .....	18
FIGURA 07 – Gráfico da recuperação de ouro .....	18
FIGURA 08 – Gráfico efeito do pH na estabilidade do Cianeto .....	21
FIGURA 09 - Gráfico efeito do pH no processo de cianetação do ouro .....	21
FIGURA 10 - Fluxograma no processo de cianetação do ouro antes e depois da pré – oxigenação .....	24
FIGURA 11(A) – Tanques de lixiviação .....	25
FIGURA 11(B) – Tanques de lixiviação .....	26
FIGURA 12 – Gráfico Recuperação da solução do mês de Dezembro 2012 .....	28
FIGURA 13 – Gráfico Recuperação do sólido do mês de Dezembro 2012 .....	28

## 1 INTRODUÇÃO

O ouro é um dos metais de maior valor econômico haja vista sua raridade. Apesar da sua aplicabilidade se dar mais para uso em adornos o mesmo adquiriu grande valor na antiguidade e até nos dias de hoje tem seu valor cotado entre os mais valiosos dentre os metais. Até o século XVIII os principais processos de concentração de ouro trabalhavam com o ouro grosso devido ao fato de que o ouro fino acabava por ser mais leve, ou seja, menos denso e com os equipamentos da época recuperava-se apenas o ouro de maior densidade (ouro grosso). Foi neste cenário que se desenvolveu a necessidade de um processo que trabalhasse com a concentração de finos entra aí o processo de cianetação.

Os finos são um problema para certos setores da mineração de ouro é por este motivo que se utiliza o processo de cianetação onde o mesmo acaba por dissolver estas partículas finas do metal de interesse em meio aquoso que será recuperado através de adsorção ou cimentação. No processo como um todo existem variáveis que afeta a recuperação final tais como: pH, estabilidade de soluções de cianeto, concentração de cianeto, tamanho e a forma das partículas de ouro, acessibilidade do cianeto de ouro (exposição), conteúdo de prata (prata dissolve mais lento do que o ouro), temperatura, presença de minerais consumindo oxigênio e dissolução de oxigênio nos tanque.

O Brasil tem tradicionalmente ocupado uma posição de destaque na produção mundial de ouro. Durante o ciclo do ouro, entre 1700 e 1850, o Brasil foi o maior produtor mundial chegando a produzir 16 toneladas anuais provenientes principalmente de aluviões e outros depósitos superficiais explorados pelos Bandeirantes na região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. Foi também nesta região que se instalou a primeira mina subterrânea do Brasil - Mina de Morro Velho - operada pela St John D'El Rey Mining Co. Desde o início de sua operação em 1834, até hoje produziu 470 toneladas. de ouro representando aproximadamente 25% da produção brasileira acumulada no mesmo período (Vieira e Oliveira, 1988, Lobato *et al.*, 2001).

Durante todo o período anterior ao desenvolvimento do processo de cianetação, a extração do ouro envolveu, quase que exclusivamente, o uso da

separação gravítica bem como de operações e de processos complementares a esta, tais como a cominuição, a classificação e, posteriormente, a amalgamação. A utilização destes baseava-se em três importantes características do metal:

(i) na sua elevada densidade ( $19,3 \text{ g/cm}^3$  no estado puro), muito superior àquelas de minerais de ganga, como os silicatos, o que indica o uso de operações de concentração gravítica.

(ii) na sua hidrofobicidade natural. A utilização de *sluices* cobertos com lã de carneiro já era utilizada no Mar Negro, em 1300 a.C. A presença de oleosidade na lã contribuía para a separação do ouro. Conjugava-se o elevado peso específico com a hidrofobicidade do metal.

(iii) na capacidade de ser incorporado ao mercúrio. A descoberta de que o ouro podia ser "molhado" pelo mercúrio data de 1000 a.C. Porém, a utilização mais ampla do processo de amalgamação somente ocorreu a partir do século XIV, na Europa Central (Shoemaker, 1984; Marsden e House, 1992).

No século XVI, quando as técnicas de extração de ouro foram trazidas até às Américas pelos espanhóis e portugueses, estas ainda se baseavam na separação gravítica seguida da amalgamação. E foi utilizando essas técnicas que o Brasil chegou a ser responsável por cerca de 60% da produção mundial, por volta de 1750 (Guimarães, 1986; Santos, 1986). O decréscimo da produção brasileira, na segunda metade do século XVIII, coincide com a descoberta de depósitos mais promissores em outras partes do mundo: Rússia, Estados Unidos (Califórnia), Nova Zelândia e Austrália. Em 1886, foram descobertas as primeiras reservas importantes na região de Witwatersrand, na África do Sul. Em apenas dois anos, esse país tornou-se responsável por 4% da produção mundial de ouro.

Porém, uma vez esgotados os minérios de mais fácil lavra e extração, os mineradores depararam-se com as dificuldades de extração de ouro fino e ouro associado a sulfetos, para os quais as técnicas de separação gravítica e amalgamação não se mostravam tão eficientes. Os processos envolvendo a utilização do cloro, empregados de forma complementar à separação gravítica ou no tratamento de concentrados de sulfetos, eram onerosos e inadequados para a extração direta a partir dos minérios. Ao final da última década do século XIX, alguns previam um fim próximo para a recente e exuberante mineração de

ouro na África do Sul (Shoemaker, 1984; Marsden e House, 1992). Foi nesse cenário que surgiu o processo hidrometalúrgico de cianetação.

O objetivo do trabalho desenvolvido é verificar a recuperação final de ouro com a instalação de um tanque de pré – oxigenação no processo de cianetação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O PROCESSO DE CIANETAÇÃO CONVENCIONAL

Em 1887, três escoceses, um químico-metalúrgico, John S. MacArthur, e dois irmãos médicos, Robert e William Forrest, obtiveram a patente inglesa número 14 174 relativa ao uso de KCN para a dissolução do ouro. E outra, em 1888, relativa à utilização do zinco para a recuperação do ouro.

As primeiras utilizações comerciais do processo de cianetação ocorreram na mina de Crown, na Nova Zelândia, em 1889 e em Robinson Deep, em Witwatersrand, África do Sul, em 1890. A primeira unidade industrial nas Américas, a ConsolidatedMercur, entrou em operação em 1891, em Utah, Estados Unidos (Shoemaker, 1984; Fleming, 1992). O impacto do novo processo na produção mundial de ouro fica demonstrado pela elevação da produção de ouro de uma média de 4,2 t/ano no período 1851-1900, para 14,6 t/ano no período 1901-1950 (Mullen, 1998).

A Figura 1 apresenta um fluxograma geral do processo de cianetação de minérios auríferos. O processo é iniciado com a cominuição do minério até uma granulometria adequada às etapas seguintes. A concentração em mesas estáticas e vibratórias, jiques, concentradores tipo Knelson, dentre outros, é utilizada para a remoção de grãos de ouro livre. A etapa de pré-oxidação inclui desde a agitação da polpa em pH alcalino (pré-aeração), visando a passivação de sulfetos solúveis na cianetação, até a oxidação completa de sulfetos auríferos contendo ouro finamente disseminado, através da bio-oxidação, ustulação ou oxidação sob pressão. Exemplos desses tipos de minérios, denominados refratários à cianetação convencional, são encontrados na mina de São Bento, em Santa Bárbara, MG, que utiliza a bio-oxidação seguida da oxidação ácida sob pressão, e na mina de Cuiabá, da Mineração Morro Velho (MG), que utiliza a ustulação para a oxidação dos sulfetos.

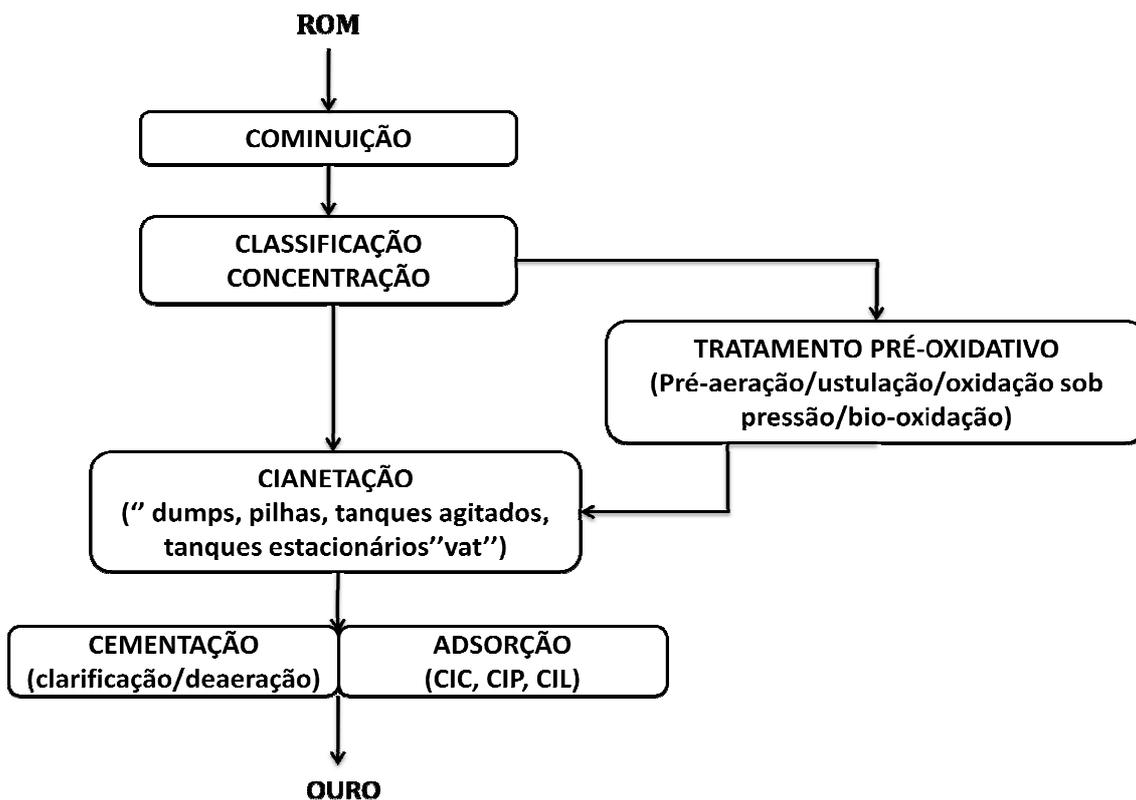


FIGURA 01 – Fluxograma convencional da cianetação de minérios de ouro

Fonte: TRINDADE, Roberto. B. Emery. ; BARBOSA, Olavo. Filho, 2002.

A lixiviação por cianeto em meio alcalino pode ser realizada em pilhas de estéril ou de rejeitos ("*dumpleaching*"), em pilhas de minério ("*heapleaching*"), em tanques estacionários ("*vatleaching*") ou em tanques com agitação.

A lixiviação em pilhas, devido aos baixos investimento e custos operacionais, pode ser utilizada para o aproveitamento de minérios marginais ou rejeitos (Cristovici, 1986). A recuperação, nesses casos, é relativamente baixa, os ciclos são longos e o consumo de reagentes é elevado. A lixiviação em pilhas de minério é o principal método de beneficiamento de minérios oxidados de ouro de baixo teor. Recuperações da ordem de 50 a 85% podem ser alcançadas (Menne, 1984, Potter, 1981; Shaw e Crowell, 1996). Para o tratamento de minérios argilosos, faz-se necessário proceder à aglomeração prévia do minério, a fim dese obter uma percolação eficiente do agente lixivante na pilha (Gorsky, 1992; Worstell, 1987). Exemplos de utilização da técnica no Brasil incluem Fazenda Brasileiro (BA) e Igarapé Bahia (PA), da Companhia Vale do Rio Doce, e um projeto mais recente, Amapari (AM) da AngloGold.

A lixiviação em tanques estacionários ("*vatleaching*") apresenta

resultados intermediários entre a lixiviação em pilhas e a lixiviação em tanques agitados em termos de recuperação metalúrgica alcançada, investimentos e custos operacionais envolvidos, sendo preterida em relação à técnica de lixiviação em pilhas.

A lixiviação em tanques agitados é muito utilizada para tratar minérios que requerem moagem, com teores geralmente superiores a 2 gAu/t, que justifiquem o investimento e os custos operacionais mais altos. Recuperações superiores a 90% são, em geral, alcançadas (Ciminelli, 1995; Gomes, 1997; Gomes *et al*, 1998; Granato, 1986; Dufresne *et al*, 1994)

## 2.2. OURO: MINERAIS ASSOCIADOS E TAMANHOS

O ouro ocorre de várias formas podendo ser livre e liberado, anexado ao longo da ganga limite de grãos (figura 02), completamente obstruído dentro de um grão de partícula e finalmente disseminado dentro de uma estrutura mineral.

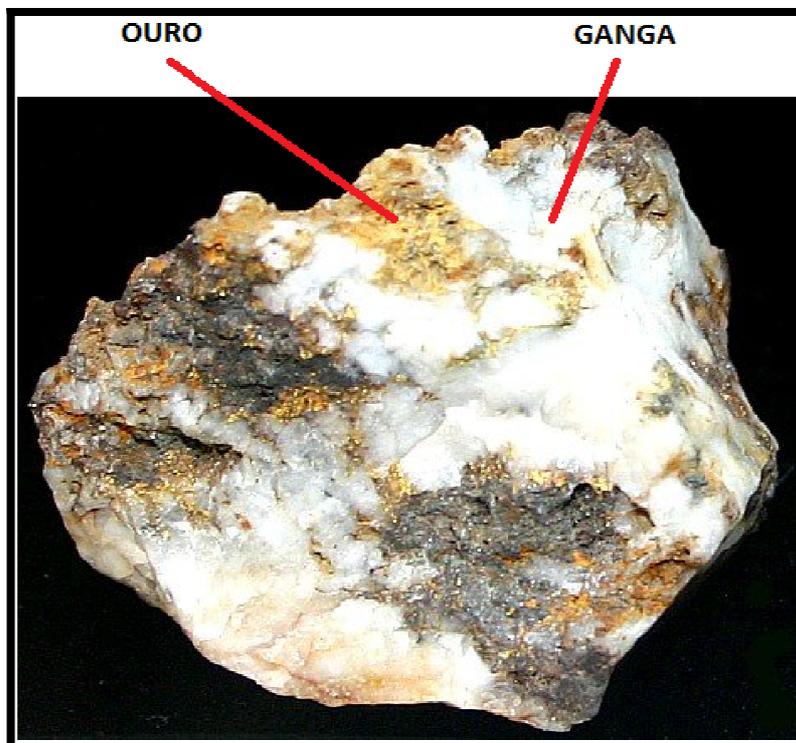


FIGURA 02 – Ouro associado a ganga

Fonte: Portuguese.alibaba.com

## 2.3. PROJETO DO PROCESSO DE MINAS DE OURO EM GRANDE ESCALA

Os projetos de processo são baseados em específicos estudos mineralógicos sendo os mesmos mantidos o mais simples possível e com um número mínimo de etapas nestes processos normalmente o ouro grosso é removido da primeira parte do circuito de lixiviação.

A cianetação geralmente é aplicada para o ouro com partículas mais finas do que 0,15 mm (100 mesh).

### 2.3.1. Processamento de ouro: práticas de minério aluvial

Normalmente, o ouro está liberado em minério de aluvião, mas às vezes isto não ocorre sendo que o mesmo pode estar agregado à argila.

Em minérios Coluvial e eluvial, o ouro está parcialmente liberado e é esta a razão pela qual a recuperação de Au se torna baixa, assim como muitos mineiros não moem o minério antes da concentração e seu processo de concentração leva em consideração a gravidade (figura 03) ou a flotação (figura 04) grande parte acaba por ficar no rejeito do processo.



FIGURA 03– Fluxograma processamento de ouro aluvial

Fonte: CHAVES, Arthur Pinto; VEIGA, Marcelo, 2004



FIGURA 04 – Concentração de ouro de aluvião por flotação

Fonte: H. Wotruba, 2002

### 2.3.2. Processamento de ouro: práticas de minério de moagem livre

Em processo de moagem livre pode-se ter duas rotas de concentração uma com a utilização da lixiviação direta e outra com uma pré – concentração por gravidade e/ou flotação (figura 05). O que vai determinar qual será o método concentração direta ou pré – concentração é exatamente a quantidade de metal (teor) envolvida.

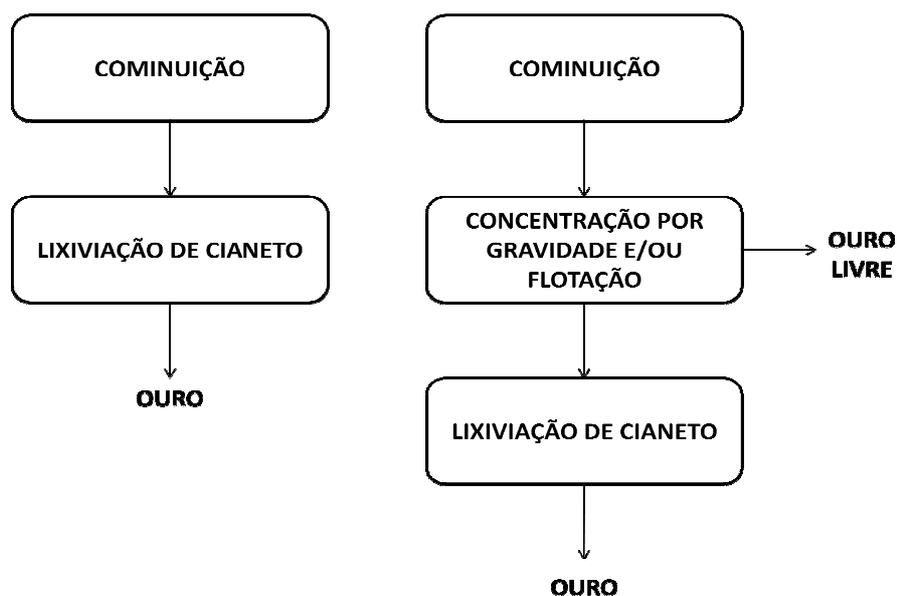


FIGURA 05–Fluxograma processamento de ouro de moagem livre

Fonte: CHAVES, Arthur Pinto; VEIGA, Marcelo, 2004

### **2.3.3. Terminologia típica de minérios de ouro**

- (i) Ouro de aluvião (geralmente encontra-se livre na natureza): areias e cascalhos, rios, praias;
- (ii)Ouro de moagem Livre: Rocha de superfície dura em minas subterrâneas de ouro associado com silicatos;
- (iii)Ouro refratário: não passíveis de cianetação convencional e geralmente associado a sulfetos.

## **2.4. OURO ASSOCIADO A SULFETOS**

Ouro raramente forma solução sólida com sulfetos mais é possível. Ele pode ser obstruído em sulfetos com grãos < 0,02 µm.

Ouro invisível é preferencialmente concentrado em arsenopirita que aparentemente está relacionado com cristalografia química já quando um minério tem fino e grosseiro ouro concentrado esta mais detalhado.

## **2.5. O ESTUDO DA LIBERAÇÃO DO OURO**

### **2.5.1. O estudo de liberação de minérios de ouro**

É difícil de estabelecer que o ouro esteja liberado. Este é, geralmente, um elemento traço em minérios, dificilmente visível em microscópio. A liberação do ouro pode ser obtida por métodos indiretos, tais como: concentração por gravidade, flotação, lixiviação, etc.

Uma técnica (muito comum) para estabelecer a liberação de ouro é a moagem em diferentes tempos seguida por concentração.

## 2.5.2. O estudo de liberação por flotação ou concentração por gravidade

Aumentando o tempo de moagem → aumenta-se a liberação (figura 08).

Concentração do solo de diferentes sub-amostras indica que a liberação deve ser em torno de 10 minutos de moagem. Tomando esta informação para o gráfico da distribuição de tamanho de grão (figura 09), pode-se obter a liberação de tamanho das partículas de ouro.

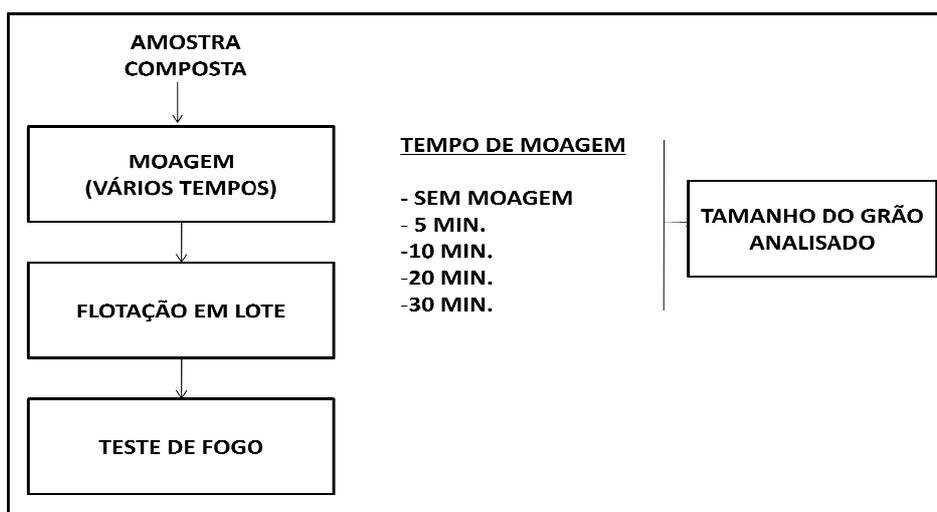


FIGURA 06 – Tempo de moagem

Fonte: CHAVES, Arthur Pinto; VEIGA, Marcelo, 2004

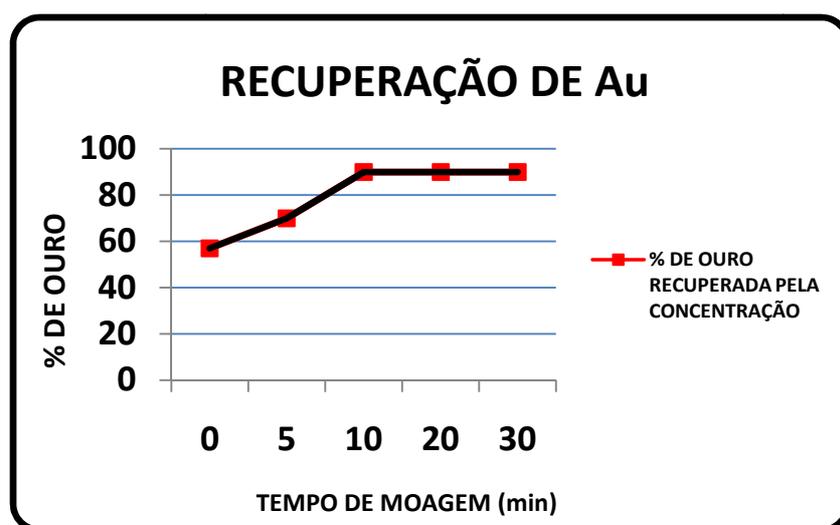


FIGURA 07 – Gráfico da recuperação de ouro

Fonte: CHAVES, Arthur Pinto; VEIGA, Marcelo, 2004

Muitas vezes o conceito de ouro liberado é normalmente substituído pela acessibilidade do ouro para reagentes, como o mercúrio, cianeto, etc. Em outras palavras: amostra (ou concentrados) de cianidação e amálgama. Para amálgama uma partícula de ouro deve estar pelo menos > 90% liberada já para o ouro de cianetação não precisa ser liberada podendo ser exposta (CHAVES, Arthur Pinto; VEIGA, Marcelo, 2004).

De acordo com Clifton *et al.* (1969) uma precisão de  $\pm 50\%$  é alcançada a certeza de 95% quando a amostra para análise contém um mínimo de 20 partículas de ouro sendo que normalmente, 100 kg de uma amostra representativa esmagada abaixo 1/4" (6,35 mm) é um bom material de partida.

## 2.6. TEORIAS DO PROCESSO DE CIANETAÇÃO

Após a descoberta da cianetação, o desafio dos cientistas era saber como ocorria as reações neste processo. Diversos foram os cientistas que desenvolveram teorias para tal processo, mas foi L. Elser (1846) que desenvolveu a primeira teoria (teoria do oxigênio) sobre o assunto. Por último, B. Boonstra (1943) descreveu sua teoria sobre a corrosão do ouro.

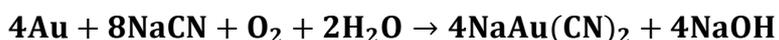
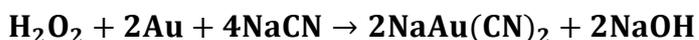
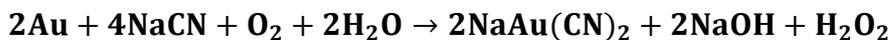
1 - Teoria de oxigênio, L. Elser (1846);



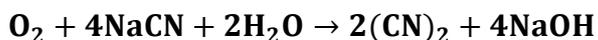
2 - Teoria de hidrogênio, L. Janin (1888);



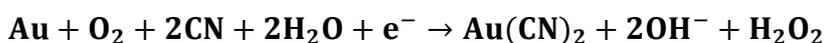
3 - Teoria Peróxido de Hidrogênio, G. Bodlander (1896);



4 - Formação de cianogénio, S.B. Christy (1896);



5 –Teoria da Corrosão, B. Boonstra (1943).



## 2.7. FATORES QUE AFETAM A CIANETAÇÃO

Hedley e Tabachnick (1968) listaram os principais fatores que afetam a cianetação:

- 1 - Oxigênio dissolvido;
- 2 – pH;
- 3 - Estabilidade de soluções de cianeto;
- 4 - Concentração de cianeto;
- 5 - Tamanho e a forma das partículas de ouro;
- 6 - Acessibilidade do cianeto de ouro (exposição);
- 7 - Conteúdo de prata (prata dissolve mais lento do que o ouro);
- 8 – Temperatura;
- 9 - Presença de minerais consumindo oxigênio.

### 2.7.1. pH na cianetação

O pH é uma variável muito importante no processo de cianetação, sendo que o mesmo é responsável pelo controle do gás cianídrico. Em pH abaixo de 9,2 (figura 08) o cianeto passa para o estado gasoso formando HCN.

Acianetação do ouro fica mais eficiente com um pH = 10,5 (figura 09), sendo este o pH utilizado na indústria.

O  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  tem a função de precipitar na superfície do ouro com o intuito de inibir o cianeto e evitar valores de pH's elevados.

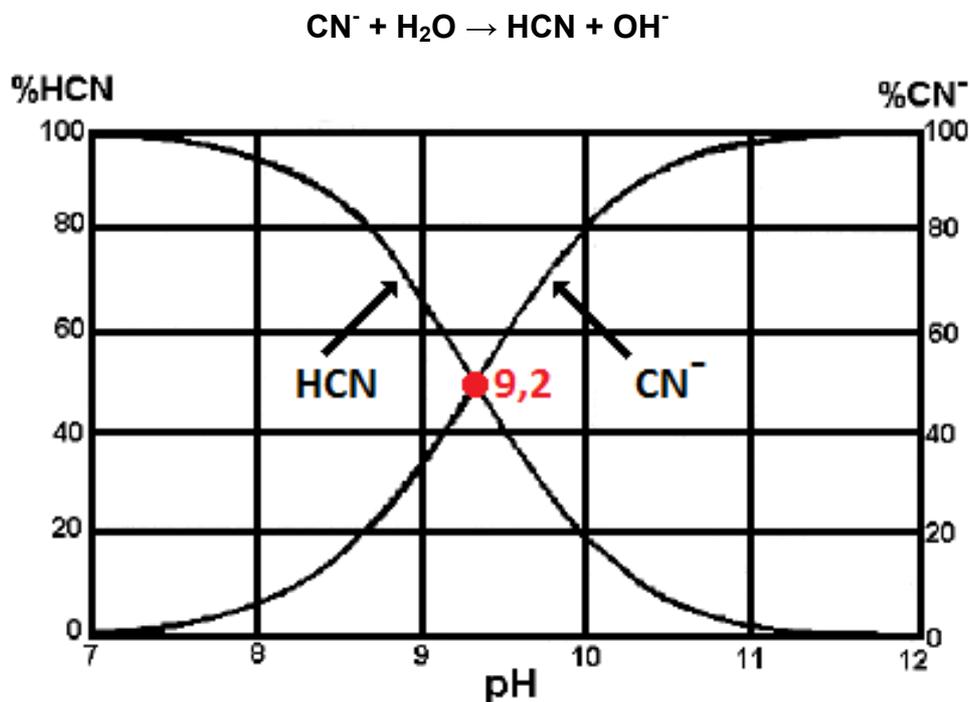


FIGURA 08 – Gráfico efeito do pH na estabilidade do Cianeto

Fonte: CHAVES, Arthur Pinto; VEIGA, Marcelo, 2004

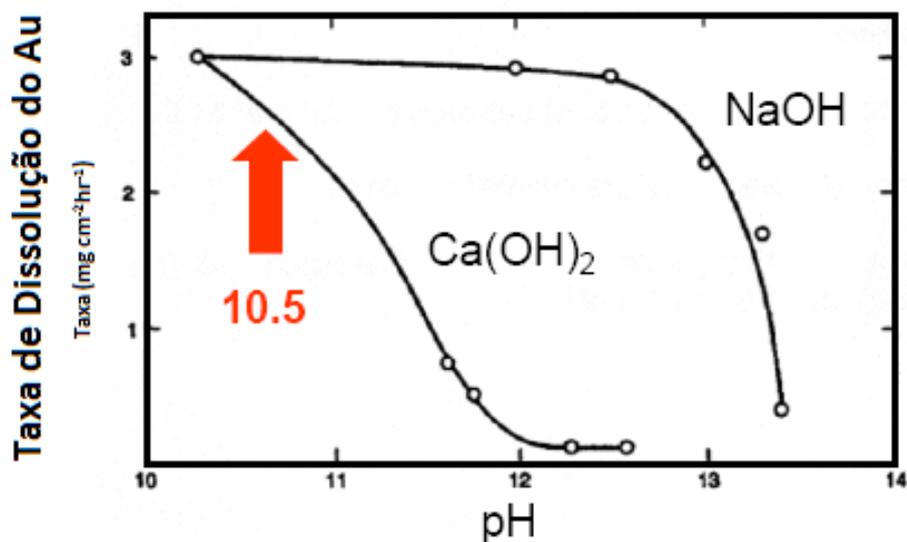
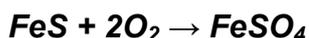
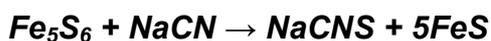


FIGURA 09 - Gráfico efeito do pH no processo de cianetação do ouro

Fonte: CHAVES, Arthur Pinto; VEIGA, Marcelo, 2004

### 2.7.2. Oxigênio na cianetação

O nível de oxigênio dissolvido controla a cinética da cianetação de ouro. O oxigênio dissolvido atua na polpa oxidando os elementos consumidores de cianeto. Os principais consumidores de cianeto são o S e o Fe.



O nível de oxigênio dissolvido necessário para o processo de cianetação depende da cianidação, reações e o consumo de cianeto por outras substâncias (cianícidas).

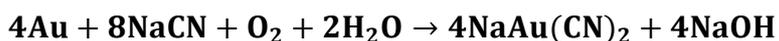
A concentração de oxigênio dissolvido também depende de:

- 1 – Pressão (altitude);
- 2 – Temperatura;
- 3 – Agitação;
- 4 – A força iônica da solução.

### 2.7.3. Cianetação normal

Em condições normais de cianetação, o NaCN mínimo em concentração necessário para extrair o ouro é de 75 mg / L (CHAVES, Arthur Pinto; VEIGA, Marcelo).

Como atesta a teoria de oxigênio, L. Elsner (1846):



A cianetação do ouro emprega cianeto de sódio ou potássio diluído em soluções de cianeto contendo 100 a 1000 mg / L. Em média, 100 toneladas de NaCN são necessários para extrair uma tonelada de ouro.

A maioria das plantas opera com pH entre 9,5 e 11,5 onde o consumo de cianeto está geralmente entre 0,05 e 5 kg NaCN / tonelada de minério. Já

para a cianetação de concentrados, o consumo de cianeto pode ser mais elevado (> 5 kg / t).

## 2.8. ALGUNS MINERAIS QUE CONSOMEM O CIANETO

Alguns dos cátions que formam complexos estáveis com cianeto, no processo de cianetação, são:  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  todos compostos metálicos. Uma maneira de eliminar o problema do consumo de cianeto é remover os cianicidas, por separação magnética ou flotação antes da cianetação.

Outros métodos incluem a adição de nitrato de chumbo, ou oxidação dos sulfuretos por pré-arejamento, oxigênio ou de peróxido.

Dentre os minerais cianicidas destaca-se o ferro devido o mesmo ser altamente consumidor de cianeto e formar diversos compostos com elementos que geralmente aparecem no minério de ouro (tabela 01) tornando-se assim um dos principais problemas na cianetação.

TABELA 01 – Solubilidade relativa de minerais de ferro em soluções normais de cianeto

Mineral	Fórmula	Comportamento em Solução NaCN (24h)
Pirrotita	$\text{Fe}_{(x-1)}\text{S}$	Facilmentesolúvel
Pirita	$\text{FeS}_2$	Moderadamentesolúvel
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Moderadamentesolúvel
Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Praticamentesolúvel
Siderita	$\text{FeCO}_3$	Praticamentesolúvel

Pirrotita variando de  $\text{Fe}_5\text{S}_6$  para  $\text{Fe}_{16}\text{S}_{17}$ .

Fonte: CHAVES, Arthur Pinto; VEIGA, Marcelo, 2004

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A figura 10 mostra o fluxograma antes e após a modificação do processo de cianetação. Antes não existia o tanque de pré – oxigenação e após a modificação o cianeto passou a ser dosado no segundo tanque transformando o primeiro em um tanque de pré – oxigenação.

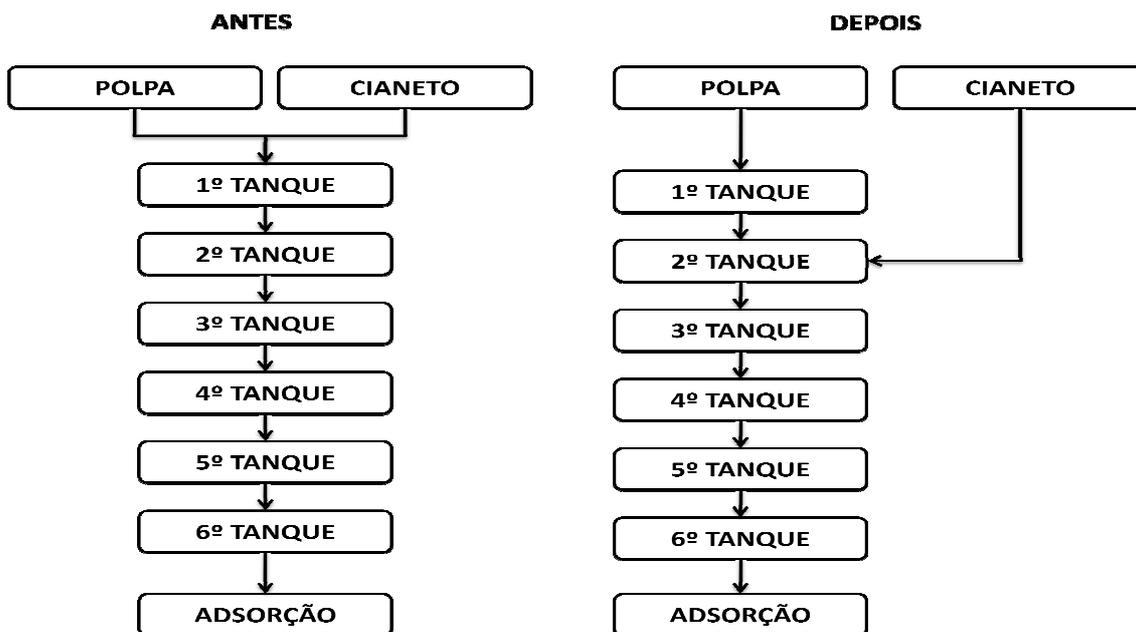


FIGURA 10 - Fluxograma no processo de cianetação do ouro antes e após o uso da pré – oxigenação.

O trabalho se baseou na busca pela otimização do processo de cianetação nos tanques da Reinarda mineração LTDA, mais especificamente nos seis tanques iniciais de cianetação.

No processo antigo, a polpa que advinha dos dois moinhos de bolas era introduzida no primeiro tanque de lixiviação e passava de um tanque para o outro através de dutos interconectados.

Em relação ao cianeto, no processo antigo este era dosado no primeiro tanque junto com a polpa. Este cianeto era diluído para que o pH fosse elevado ao patamar de 10,5 devido ao fato de que, em pH abaixo de 9,2, o cianeto passa para o estado gasoso, sendo perdido para a atmosfera.

Após a introdução da polpa e do cianeto, o controle do pH é feito através da dosagem de cal. Caso se detecte que o pH está muito baixo, é dosado cal no primeiro tanque até que se chegue ao pH desejado (10,5).

O tempo de residência da polpa dentro dos tanques é de 36 horas (em média). Cada tanque está equipado com agitadores mecânicos que tem a função de ajudar a oxigenar a polpa fazendo com que o consumo de reagente diminua.

No processo de cianetação, a presença do oxigênio é fundamental, pois atua nos elementos Fe e S, criando uma camada, impedindo que eles reajam com o cianeto. Uma polpa sem uma pré – oxigenação vai conter uma grande quantidade de Fe e S dissolvidos, o que consumirá uma grande quantidade de cianeto. Ou seja, pelo fato de grande parte do cianeto estar sendo usado para lixiviar o Fe e o S, faltará cianeto para lixiviar o ouro, diminuindo assim a recuperação .

Conforme mostrado anteriormente (Figura 10), o trabalho desenvolvido na Reinarda Mineração LTDA consistiu em trocar o tanque em que o cianeto era dosado: antes no primeiro tanque (figura 11(A)), junto com a polpa que adivinha dos dois moinhos, e depois passou a ser no segundo tanque (figura 11(B)), sendo o primeiro tanque, agora atuando como um tanque de pré – oxigenação de polpa.

Todas as outras variáveis referentes ao processo de cianetação não foram modificadas. Os testes foram feitos do dia 26 de a 31 de dezembro de 2012.

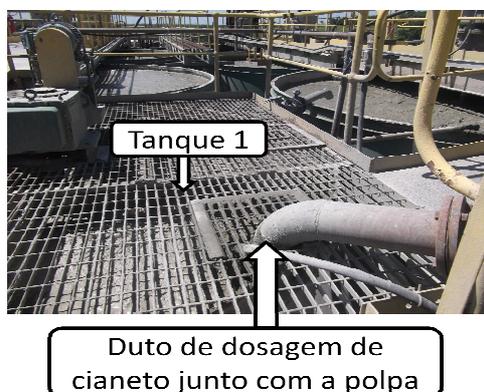


FIGURA 11(A) – Tanques de lixiviação.

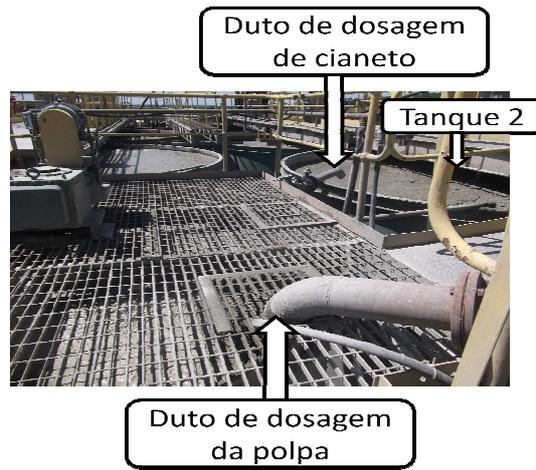


FIGURA 11(B) – Tanques de lixiviação.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para analisar mais criteriosamente os resultados obtidos (gráficos das figuras 12 e 13), deve-se levar em conta o teor de ouro. Um teor maior significa que se tem uma quantidade maior de metal dentro dos tanques. Quanto mais metal no tanque, maior é a recuperação, pois há mais metal exposto para que ocorra a lixiviação.

Analisando a figura 12 e levando em consideração que em todos os seis dias de testes (26 a 31 de dezembro) o teor médio de ouro se manteve inferior aos demais vinte e cinco dias do mês (1 a 25 de dezembro), sugere-se que houve um aumento na recuperação de ouro da solução. Comparando a recuperação de ouro obtida no dia 31 com a obtida no dia 14 de dezembro, verifica-se que a recuperação do dia 31 é superior em 5% (figura 12), ainda que o teor de ouro do dia 31 seja inferior ao teor do dia 14.

Vale a pena ressaltar que o resultado do dia 12 de dezembro para a recuperação de ouro da fração líquida (figura 12) é anômalo, devido a um erro do analista. Ou seja, este resultado não pertence à mesma distribuição dos outros resultados, portanto, não deve ser levado em consideração.

Pela figura 13 depreende-se que a recuperação final de ouro do sólido durante os testes também aumentou. Comparando as recuperações do dia 31 com do dia 8 de dezembro, comprova-se que a recuperação do dia 31 é superior em 7,5%, mesmo com um teor médio menor.

Estes fatos/comparações comprovam que a pré-oxigenação aumenta a recuperação final de ouro, tanto da fração líquida quanto da sólida.

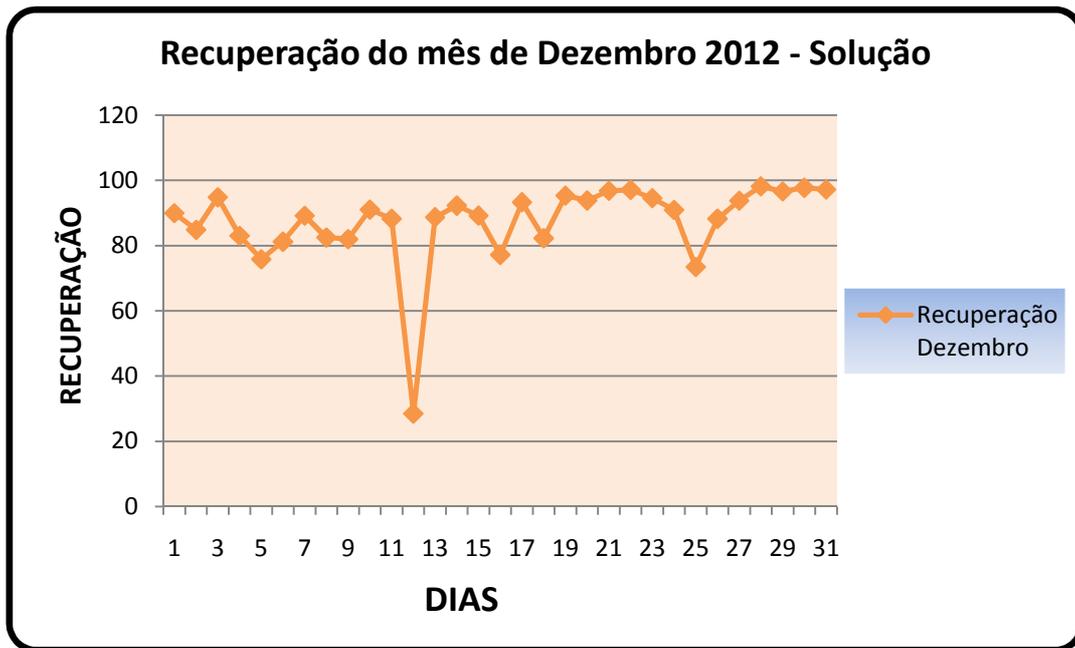


FIGURA 12 – Gráfico da recuperação de ouro da solução do mês de dezembro 2012.



FIGURA 13 – Gráfico da recuperação de ouro do sólido no mês de dezembro 2012.

## 5. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido comprovou que uma pré – oxigenação no tanque de cianetação aumenta a recuperação final, tanto na fração líquida (solução) quanto na fração sólida da polpa.

A modificação do processo de cianetação não gerou custo algum para a empresa, pois a mudança feita foi somente no ponto de dosagem do cianeto: antes era feita no primeiro tanque e agora é feita no segundo tanque. Este procedimento é executado através da abertura de um registro e fechamento de outro.

Um aumento médio da recuperação final de ouro de 7,5% para a fração sólida e 5% para a fração líquida (solução) justifica a eficiência da pré-oxigenação em processos de lixiviação por cianeto.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido comprovou que uma pré-oxigenação da polpa antes da dosagem do cianeto aumenta a recuperação final no processo. No entanto, para tentativas futuras de melhorar ainda mais o processo, sugere-se que levem em consideração os seguintes itens:

- 1 – Controle rigoroso do pH, visando minimizar a quantidade de reagente (gás) que se elimina para a atmosfera, pois quanto menor a quantidade de reagente no sistema, menor a recuperação.
- 2 – Verificação minuciosa dos tanques de cianetação que possivelmente estão com problemas, evidenciado pelos resultados das análises da recuperação do mês de dezembro;
- 3 – A instalação de um Reactor Aachen que pode reduzir o consumo de oxigênio, reduzindo assim o custo final.

## 7. REFERÊNCIAS

ABREU, S. F. *Recursos Minerais do Brasil*. v. II, 2a ed., São Paulo, Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, 1973.

BENVINDO, A. L.; FREITAS, F. L.; ALVES, J. S. *Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil*. 1ª Ed., Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, 2001.

CHAVES, A. P.; VEIGA, M. *Studying Gold Ores: Mineralogy, Cyanidation, Toxicity and Environmental Issues*. São Paulo, Universidade de São Paulo – USP, 2004.

CIMINELLI, V.S. *Tecnologia de Extração de Ouro - Desenvolvimentos e Desafios*, Brasil Mineral, n. 135, 1995. P. 32-42.

CRISTOVICI, M.A. *Recovery of gold from old tailing ponds*. CIM BULLETIN, Nov., 1986. P. 27-33.

GOMES, A. D. *Avaliação Técnica dos Processos de Cianetação e Adsorção da Mina de Fazenda Brasileiro*. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997. 160p.

GOMES, A. M. D. *Cianetação de minérios de ouro em tanques agitados: uma discussão prática*, Minérios e Minerales, n. 238, Maio 1999. P.39-44.

GOMES, A. M. D. *Tratamento de minérios auríferos: a busca por melhores resultados*. Revista Brasil Mineral, n. 182, Abril, 2000.

GRANATO, M. *Metalurgia extrativa do ouro*. Brasília, DNPM-CETEM. (Série Tecnologia Mineral, no 37, Seção Metalurgia Extrativa, n.14), 1986. 79p.

GUIMARÃES, E.P. *Comentários sobre a História da Mineração de Ouro no Brasil, curso- ABM*, v.1, ABM, São Paulo, 1986. P. 125-159,

PUDAHUEL, *LixiviaciónTC. Santiago*: [S.E.],1990. P.1-3.

TRINDADE, R. B. E. ; BARBOSA, O. F. *Extração de ouro – Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente*. v.I, 1ª Ed., Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, 2002.