

MARCELO SIMÕES VÁLIO

**RECONCILIAÇÃO ILUSÓRIA: A IMPORTÂNCIA DA  
AMOSTRAGEM NA CONFIABILIDADE DAS ESTIMATIVAS**

São Paulo  
2011

MARCELO SIMÕES VÁLIO

**RECONCILIAÇÃO ILUSÓRIA: A IMPORTÂNCIA DA  
AMOSTRAGEM NA CONFIABILIDADE DAS ESTIMATIVAS**

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

Orientador: Profa. Dra. Ana Carolina Chieregati

São Paulo  
2011

TF-2011  
V238r  
2270489

M2011f

**DEDALUS - Acervo - EPMI**



31700009042

**FICHA CATALOGRÁFICA**

**Válio, Marcelo Simões**

**Reconciliação Ilusória: A importância da amostragem na confiabilidade das estimativas / M.S. Válio. -- São Paulo, 2011.**  
**42 p.**

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

**1. Reconciliação 2. Amostragem 3. Representatividade-  
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II. t.**

Dedico este trabalho, a minha orientadora, Profa. Dra. Ana Carolina Chieregati, e a minha família, que sempre me apoiaram e incentivaram para que eu pudesse chegar ao fim de mais uma etapa.

## AGRADECIMENTOS

À Mineração Maracá e a toda equipe de profissionais envolvidos no desenvolvimento deste projeto, em especial ao Engenheiro Luiz Eduardo Pignatari.

À todos os professores, pelos ensinamentos passados durante todos esse anos e pela contribuição na formação da pessoa que sou hoje.

À minha professora orientadora, Dra. Ana Carolina Chieregati pela confiança que depositou em mim, além de todo comprometimento, dedicação e carinho.

E finalmente, a minha família, pelo amor, e apoio incondicional que sempre me proporcionaram , sendo parte fundamental de tudo que conquistei em minha vida.

---

*“Pouco importa o julgamento dos outros. Os seres  
são tão contraditórios que é impossível atender às  
suas demandas, satisfazê-los. Tenha em mente  
simplesmente ser autêntico e verdadeiro.”*

Dalai Lama

## RESUMO

Na indústria mineral, reconciliação pode ser definida como a prática de comparar a massa e o teor médio de minério previstos pelo modelo geológico com a massa e teor gerados na usina de beneficiamento ou planta metalúrgica. Esta prática tem se mostrado cada vez mais importante, pois, quando corretamente executada, aumenta a confiabilidade do modelo de curto prazo e reduz substancialmente perdas na operação. No entanto, a utilidade da reconciliação depende da qualidade e confiabilidade dos dados de entrada. Uma boa reconciliação pode ser ilusória. Em muitos casos, erros cometidos em determinado ponto do processo são compensados por erros cometidos em outros pontos da operação, resultando em uma reconciliação excelente. Entretanto, esse fato mascara os erros do sistema que, mais cedo ou mais tarde, podem vir à tona. Frequentemente os erros de amostragem podem levar a uma análise errônea do sistema de reconciliação, gerando consequências graves à operação, principalmente quando a lavra alcança regiões mais pobres ou mais heterogêneas do depósito. Como uma boa estimativa só é possível com práticas corretas de amostragem, a confiabilidade dos resultados de reconciliação depende da representatividade das amostras que os geraram. Este trabalho analisa as práticas de amostragem na Mineração Maracá para fins de reconciliação. Os resultados mostram que a reconciliação aparentemente ótima entre mina e usina na realidade é ilusória, consequência da compensação de diversos erros de amostragem no planejamento de curto-prazo.

**Palavras-chave:** Reconciliação; Amostragem; Representatividade.

## ABSTRACT

In the mining industry, reconciliation can be defined as the practice of comparing the tonnage and average grade of ore predicted by the geological model with the tonnage and grade generated by the processing or metallurgical plant. This practice has shown an increasingly importance, since, when correctly executed, increases short-term planning reliability and substantially reduces losses in the operation. However, the usefulness of reconciliation relies on the quality and reliability of the input data. Successful reconciliation can be illusory. In many cases, errors at one point of the process are offset by errors at other points, resulting in an excellent reconciliation. However, this fact can hide compensating errors in the system that may surface someday. Very often sampling errors can be masked and may lead to erroneous analysis of the reconciliation system, generating serious consequences to the operation, especially when mining reaches poorer or more heterogeneous areas of the deposit. Since good estimation is only possible with correct sampling practices, the reliability in the reconciliation results depends on the representativeness of the samples that generated them. This work analyzes the sampling practices carried out at Maracá Mine for reconciliation purposes. Results show that the apparently good reconciliation between the mine and the plant is in fact illusory, consequence of the compensation of many sampling errors during short-term planning.

**Keywords:** Reconciliation; Sampling; Representativeness.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVO.....</b>	<b>9</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Erros Aleatórios e Sistemáticos .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Precisão e Acurácia.....</b>	<b>10</b>
3.2.1. Conceito de Precisão .....	10
3.2.2. Conceito de Acurácia.....	11
<b>3.3. Representatividade.....</b>	<b>11</b>
<b>3.4. Representatividade de uma Amostra .....</b>	<b>11</b>
<b>3.5. Conceito de Heterogeneidade.....</b>	<b>12</b>
<b>3.6. Características dos Amostradores .....</b>	<b>12</b>
3.6.1. Amostragem de Furos de Desmonte .....	12
3.6.2. Amostragem Manual .....	14
3.6.3. Amostragem de Ouro.....	14
<b>3.7. Conceito de Reconciliação .....</b>	<b>14</b>
3.7.1. Os Modelos.....	16
3.7.2. Os Fatores.....	16
3.7.3. Reconciliação Reativa .....	17
3.7.4. Reconciliação Pró-Ativa.....	18
3.7.5. O Conceito QA – QC.....	18
3.7.6. O Conceito <i>Mine-to-Mill</i> .....	18
3.7.7. As Fontes de Erros.....	19
<b>4. MINERAÇÃO MARACÁ .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1. História.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2. Geologia .....</b>	<b>21</b>
<b>5. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1. A Amostragem na Mineração Maracá.....</b>	<b>23</b>
<b>5.2. Metodologia da Campanha de Amostragem .....</b>	<b>24</b>
<b>5.3. Procedimentos Laboratoriais.....</b>	<b>26</b>
<b>6. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
<b>6.1. O Domínio ANX .....</b>	<b>28</b>
<b>7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>32</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em um empreendimento mineiro, as estimativas utilizadas para se realizar a avaliação econômica da jazida, o planejamento de lavra e a previsão de desempenho da operação são baseadas em amostras, que posteriormente geram os resultados de reconciliação.

Em se tratando de metais preciosos, os métodos de amostragem e reconciliação são questionados, dada a dificuldade de se estimar a representatividade da amostra, e consequentemente, a confiabilidade dos resultados de reconciliação.

No contexto da indústria mineral, a reconciliação pode ser definida como uma comparação entre as estimativas dos modelos e a produção da usina. Ela é uma ferramenta poderosa para detectar problemas na produção ou na operação e, geralmente, fornece o diagnóstico para a resolução desses problemas, ou seja, permite que engenheiro de minas avalie a consistência entre a produção real e a produção estimada pelos modelos. Nesse sentido, a reconciliação pode ser vista como um teste de qualidade das estimativas de massa e teor.

A reconciliação continua sendo um dos mais convincentes métodos de se demonstrar precisão do modelo de recursos, boas práticas de operação e consequentemente, saúde financeira da operação para os investidores (Crawford, 2004). Entretanto, o impacto econômico de más práticas de amostragem e reconciliação tem sido subestimado pelas empresas mineradoras. A estimativa incorreta de teores, baseada em amostras incorretas, gera sérios problemas de reconciliação, que implicam em enormes perdas anualmente (Pitard, 2008). Assim, a previsibilidade de qualquer operação mineira, desde a estimativa de recursos até a produção do metal, depende de boas práticas de reconciliação, que por sua vez, dependem de práticas adequadas de amostragem, capazes de gerar amostras representativas.

## 2. OBJETIVO

Uma reconciliação bem-sucedida pode ser ilusória. Em muitos casos, erros cometidos em algum ponto do processo são compensados por erros cometidos em outro ponto, resultando em reconciliações excelentes (Crawford, 2004). Porém, isto mascara os enviesamentos do sistema, que, mais cedo ou mais tarde, podem vir à tona. Frequentemente, os erros de estimativa são devidos a práticas inadequadas de amostragem, incapazes de gerar amostras representativas. O objetivo deste trabalho é demonstrar a importância da amostragem nos resultados da reconciliação da Mineração Maracá, uma mina de cobre e ouro da Yamana Gold, localizada em Alto Horizonte, Goiás.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

No texto que se segue, os conceitos sobre amostragem foram baseados em Pitard (1993), Chieregati (2007) e Chaves (2011), e os conceitos sobre reconciliação foram baseados em Chieregati (2007).

#### **3.1. Erros Aleatórios e Sistemáticos**

Com a exceção dos erros acidentais ou grosseiros, tais como os erros de preparação, que afetam a integridade da amostra, todos os outros erros de amostragem são variáveis aleatórias, caracterizadas por uma dada média (diferente ou não de zero) e uma dada variância (diferente de zero). Os erros aleatórios são aqueles que possuem média igual a zero e variância diferente de zero, enquanto os erros sistemáticos aqueles que possuem variância igual a zero e média diferente de zero.

Entretanto, na realidade todos os erros, tais como o erro fundamental de amostragem (FSE), o erro de delimitação do incremento (IDE), o erro de extração de incremento (IEE), entre outros, tem dois componentes: um componente aleatório caracterizado unicamente pela variância e um componente não aleatório caracterizado unicamente pela média.

De fato, a variância e a média de um erro são fisicamente complementares, mesmo sendo propriedades diferentes. Desta maneira, quando diversas variáveis aleatórias são independentes em probabilidade, elas também são cumulativas, ou seja, o efeito dos erros sobre o resultado da amostragem é cumulativo.

O erro sistemático de amostragem pode ser evitado se as seguintes condições forem satisfeitas:

1. Todo o lote deve ser perfeitamente acessível ao amostrador, de modo que exista, para cada constituinte do lote, uma chance idêntica de fazer parte da amostra.
2. O plano de amostragem deve ser imparcial, de modo que exista, para cada constituinte do lote, uma chance idêntica de fazer parte da amostra.
3. A distribuição de teores da amostra deve obedecer a uma distribuição normal, o que é uma hipótese otimista no caso de elementos-traço.

Uma consequência direta das leis de probabilidades é que o teor da amostra somente tem como valor central o teor do lote inicial se não existirem erros sistemáticos de amostragem e se a distribuição de teores da amostra obedecer a uma distribuição normal.

#### **3.2. Precisão e Acurácia**

##### **3.2.1. Conceito de Precisão**

Precisão e acurácia são conceitos totalmente independentes, e é incorreto incluir o conceito de acurácia no conceito de precisão.

Considerando SE como erro de amostragem num sentido amplo, um processo de amostragem é dito preciso quando SE é pouco disperso ao redor de sua média,

independentemente do fato de a diferença entre esta média e a média real do erro de amostragem ( $m_{SE}$ ) ser zero ou diferente de zero.

Precisão se refere a medir a variabilidade dos teores das amostras ao redor da média do lote do qual elas foram retiradas. Esta medida é geralmente expressa como a variância do erro de amostragem. Uma amostra é dita precisa quando o erro de amostragem é pouco disperso ao redor de sua média.

### 3.2.2. Conceito de Acurácia

Um processo de amostragem é dito acurado quando o erro de amostragem possui sua média ( $m_{SE}$ ) próxima de zero. Em outras palavras, o valor da média do erro de amostragem é o valor do enviesamento do processo de amostragem.

Dentro do contexto de amostragem, precisão se refere à dispersão dos resultados de amostragem ao redor de sua média, independentemente de a diferença entre a média das amostras e a média real do lote ser zero ou diferente de zero. Acurácia se refere a quanto próximo o valor médio das amostras está do valor médio real do lote, independentemente da dispersão dos resultados em torno do seu valor médio. A figura abaixo ilustra a diferença entre os conceitos de precisão e acurácia.

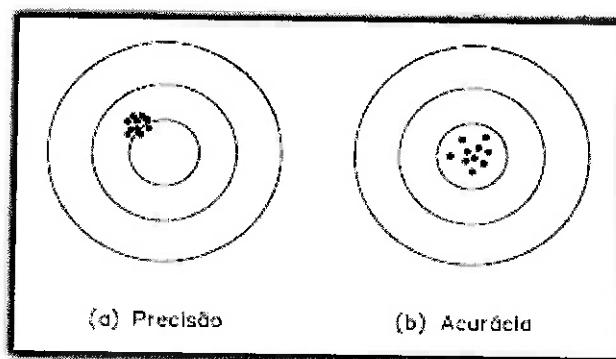


Figura 1 – Conceitos de precisão e acurácia (Chieregati, 2007).

### 3.3. Representatividade

Um processo de amostragem é dito representativo quando o quadrado médio do erro de amostragem ( $r^2_{SE}$ ), a soma do quadrado da média do erro de amostragem ( $m^2_{SE}$ ) com sua variância ( $s^2_{SE}$ ), é menor que um dado valor padrão considerado aceitável, ou seja:

### 3.4. Representatividade de uma Amostra

Para compreender o conceito de representatividade deve-se atentar ao seu não-enviesamento. É importante definir uma condição que possa garantir antecipadamente a ausência estrutural de enviesamento: a condição de seleção de uma amostra correta. Uma amostra é correta quando qualquer fragmento do lote a ser selecionado possui a mesma probabilidade de qualquer outro de ser selecionado para a amostra. Esta condição garante o não-enviesamento.

Assim, uma amostra é representativa se as duas seguintes condições forem satisfeitas:

1. A amostra é acurada (correta ou não enviesada)
2. A amostra é precisa (suficientemente reproduzível)

Nestas condições, se uma amostra é correta e suficientemente reproduzível isto automaticamente a qualifica como representativa.

### **3.5. Conceito de Heterogeneidade**

Homogeneidade é um conceito relativo, ou um conceito matemático abstrato que não existe na vida real. Ao se observar uma pilha de areia a certa distância, pode-se dizer que ela é homogênea; porém, ao se aproximar dela e a observar com uma lupa, percebe-se que a homogeneidade não mais existe. A realidade é que há uma grande heterogeneidade quando se examina cada grão individualmente: diferentes tamanhos, cores, composições, formas, densidades, durezas, porosidades, etc.

A diferença entre homogeneidade e heterogeneidade é quantitativa: homogeneidade é a condição inatingível de heterogeneidade zero, ou seja, é um caso limite da heterogeneidade. Portanto, no caso da amostragem, deve-se esquecer a palavra homogeneidade e aceitar a hipótese de que esta se lidando somente com heterogeneidade.

### **3.6. Características dos Amostradores**

#### **3.6.1. Amostragem de Furos de Desmonte**

A amostragem correta do material proveniente de furos de desmonte, ou pó de perfuratriz, é um problema constante para o engenheiro de minas. Isso se deve ao fato de que esse tipo de amostragem gera uma série de erros estruturais, alguns deles, sem solução. Os erros mais visíveis ocorrem na delimitação, extração, preparação e determinação da massa mínima da amostra. Além disso, alguns erros estão relacionados ao tipo de perfuratriz utilizada para a amostragem, bem como os instrumentos utilizados para realizá-la.

Segundo Pitard (2008), os maiores problemas relacionados à amostragem de furos de desmonte são:

- 1) Contaminação Ascendente: na perfuração de um furo de desmonte, pequenos fragmentos de rocha estão constantemente se atritando contra a parede do furo, criando uma contaminação ascendente. Quanto mais profundo for o furo, maior a contaminação.
- 2) Contaminação Descendente: na perfuração, a broca da perfuratriz aplica uma grande tensão no material que restou da subfuracão do desmonte anterior. Isso pulveriza o material, gerando mais um fator de contaminação da amostra.

- 3) Perda de Material: fragmentos de rocha que sobem pelo furo durante a perfuração podem se alojar em fraturas ou fissuras dentro do furo, gerando perda de material.
- 4) Necessidade de Subfuração: A subfuração é necessária para que o desmonte em bancada seja bem executado, evitando a formação de repés, de modo a preparar um melhor acesso aos equipamentos da mina. No entanto, o maior problema da subfuração é que ela aparece no pior lugar possível, ou seja, no topo da pilha resultante do furo, onde é simples para o operador coletar material para a amostra. Muitas vezes o material da subfuração é incluído na amostra, quando não deveria ser. A figura a seguir ilustra melhor o problema.

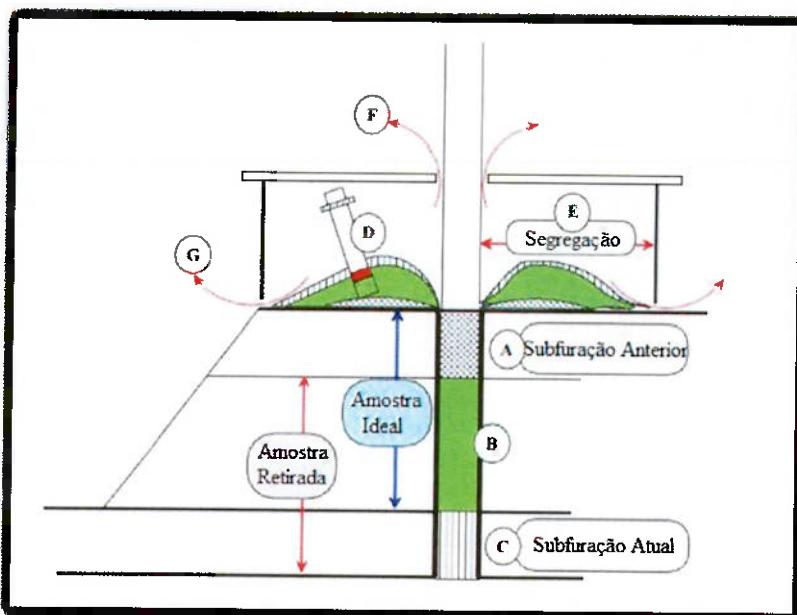


Figura 2 – Problemas na amostragem devido à subfuração (Pitard, 2008).

- 5) Segregação da Pilha: Devido a diversos fatores, como tamanho, densidade e forma dos fragmentos, vento, velocidade de rotação da broca e do ar comprimido, uma grande segregação pode ser observada na pilha resultante de um furo de desmonte. Essa segregação pode ser lateral (quando o topo da pilha está deslocado lateralmente do centro), ou vertical (quando a segregação ocorre nas camadas da pilha).
- 6) Interferência na Produção da Mina: Ao longo dos anos, criou-se o conceito de que a amostragem atrapalha a produtividade da mina, já que interfere na produtividade da perfuratriz. O impacto econômico que uma amostragem inadequada pode ter é geralmente subestimado na maioria das minas.

Até hoje não se encontrou uma solução que satisfaça tanto a produção quanto a amostragem. No entanto, existem técnicas e novos sistemas de amostragem automática em perfuratrizes que procuram minimizar o erro de delimitação da amostragem, sem tentar resolver todos os problemas da amostragem.

### **3.6.2. Amostragem Manual**

A amostragem manual em pilha é efetuada através do uso de uma pá, sendo coletadas as partículas que se encontram posicionadas nas porções superficiais da pilha. A inconformidade dessa prática de amostragem com a teoria da amostragem reside no fato de que a mesma não é probabilística, pois pressupõe que as partículas dispostas nas porções inferiores da pilha e, portanto, inalcançáveis pela pá, apresentem exatamente as mesmas características de qualidade das partículas posicionadas na superfície.

Assim, nesse tipo de amostragem, além da variabilidade existente entre as partículas, os erros de amostragem são influenciados pela disposição das partículas no interior do lote. Como essa disposição é circunstancial, os resultados são consequência das circunstâncias que envolvem a deposição do material na pilha. Sendo assim, a precisão da amostragem manual não pode ser estimada, tornando-a pouco confiável (Grigorieff, 2002).

### **3.6.3. Amostragem de Ouro**

Por muito tempo os especialistas têm dado uma enorme atenção aos problemas teóricos e, principalmente, práticos da amostragem de materiais contendo metais preciosos. Quantidades relativamente pequenas de material podem envolver grandes quantidades de dinheiro, assim, os problemas de precisão e acurácia logo se tornam a preocupação principal. Provavelmente não existe outro material para o qual a precisão e a acurácia da amostragem sejam tão críticas quanto para os metais preciosos.

Uma das principais diferenças entre os metais preciosos e os outros metais é o fato de que os metais preciosos são econômicos a teores muito baixos. Os metais básicos, por exemplo, são sempre estimados em porcentagem, enquanto os metais preciosos, tais como o ouro e a platina, são estimados em partes por milhão.

A amostragem do ouro gera diversas dificuldades: (1) o conteúdo de ouro de uma sub-amostra analítica pode ser completamente diferente do conteúdo de ouro da amostra inicial; (2) a densidade do ouro é elevadíssima ( $15,5\text{-}19,3 \text{ g/cm}^3$ ), promovendo uma forte segregação assim que as partículas de ouro são liberadas; (3) as partículas de ouro não cominuem bem, podendo criar um fino filme metálico que cobre a superfície dos amostradores. Todos esses problemas são ampliados quanto menor o teor de ouro, quanto mais marginal o depósito, e quanto mais irregular a distribuição do ouro na rocha.

Os metais preciosos, e especialmente o ouro, que ocorre na natureza de diferentes maneiras, apresentam dificuldades de amostragem que devem ser resolvidas de um modo particular para cada caso.

Um depósito com distribuição errática de ouro pode requerer amostragens adicionais, durante a lavra, para a definição dos limites entre minério e estéril (Elliott et al., 2001). Estas amostragens em geral são realizadas a partir do material proveniente de furos de desmonte, e seus resultados são aplicados no desenvolvimento dos modelos de controle de teor, como veremos no item sobre reconciliação.

## **3.7. Conceito de Reconciliação**

No contexto da indústria mineral, reconciliação pode ser definida como a comparação entre uma estimativa (modelo de recursos, modelo de reservas, modelo de

controle de teor) e uma medição (produção oficial da usina de beneficiamento ou da metalurgia). Segundo Morley (2003), os principais objetivos da reconciliação são:

1. Medir o desempenho da operação com base nas metas iniciais.
2. Garantir uma avaliação acurada dos ativos minerais.
3. Confirmar a eficiência das estimativas de massa e teor.
4. Fornecer indicadores de desempenho (em especial para o controle de teor).

A figura 3 ilustra um típico processo de reconciliação, desde a estimativa de recursos até a produção de metal, incluindo as perguntas que deveriam ser feitas durante o processo.

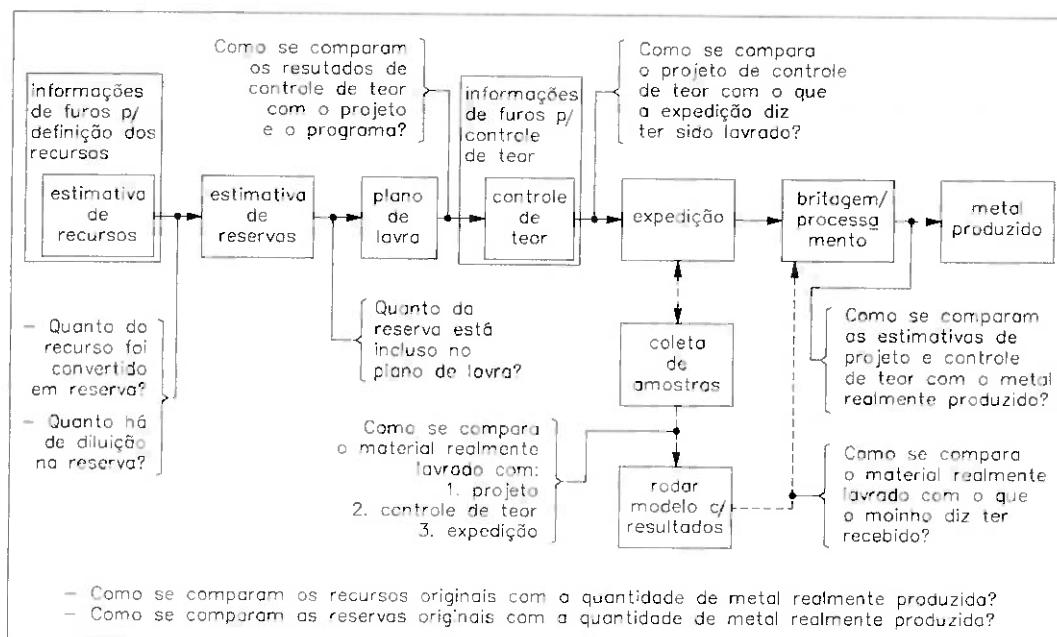


Figura 3 – Esquema do processo de reconciliação (Morley, 2003).

Respostas não favoráveis a qualquer uma das perguntas acima indicam a necessidade de se realizarem análises adicionais, visando a identificação das causas das variâncias observadas e permitindo a tomada de ações para corrigi-las. Por exemplo, diferenças consistentes entre as estimativas do modelo de recursos e a quantidade de metal realmente produzida podem indicar que o método de definição do teor de corte precisa ser reavaliado ou que o método de estimativa de teor está inadequado. Tendo sido identificada a causa do problema, o procedimento poderá ser modificado, de modo a minimizar as variâncias.

Portanto, a reconciliação pode ser vista como um método de validação das estimativas dos modelos de reservas e de controle de teor, permitindo o replanejamento das práticas inadequadas de amostragem, modelagem, planejamento e lavra, e o desenvolvimento de estratégias que visem aumentar a eficiência das operações. Assim, o conceito de reconciliação poderia ser resumido nestas três palavras: “medir, controlar e melhorar” (Noppé, 2004).

### 3.7.1. Os Modelos

As estimativas de reservas visam prever massa e teor de minério, gerando um produto vendável e rentável. Espera-se que o modelo de recursos no qual a estimativa de reservas se baseia forneça, para um período de médio a longo prazo, estimativas razoáveis de massa e teor de minério que será processado na usina.

A definição dos limites entre minério e estéril na lavra geralmente se baseia em outro modelo de distribuição de teores, um modelo de curto prazo, denominado modelo de controle de teor. Em geral, esse modelo é gerado a partir de amostragens adicionais de pó de perfuratriz, resultante dos furos de desmonte ou de furos especialmente executados para o controle de teor, cujo espaçamento é bem menor que o utilizado para a geração do modelo de recursos. Portanto, os modelos de controle de teor permitem uma identificação mais precisa dos limites entre minério e estéril e, desde que tenha sido realizada uma amostragem correta, fornecem uma base confiável para o planejamento de curto prazo, geralmente para períodos de menos de um mês.

As práticas de reconciliação comparam as estimativas dos modelos descritos acima com a produção (massa e teor médio de minério) registrada na usina, por determinados períodos de tempo. Raramente os valores estimados coincidem com os valores registrados, e isto pode ser solucionado multiplicando-se a produção estimada por um número constante. Este número, expresso em porcentagem, é chamado de *mine call factor*, ou MCF, e expressa a diferença entre a produção prevista pelos modelos e a produção registrada na usina.

Apesar de ambos os valores – o previsto e o registrado – serem calculados a partir de amostragens, os valores registrados na usina em geral são considerados mais acurados (Bankes et al., 2003 e Crawford, 2004), e é por isto que o MCF é aplicado às estimativas dos modelos e não aos valores registrados na usina.

### 3.7.2. Os Fatores

A reconciliação é uma atividade comum desenvolvida na maior parte das empresas de mineração do mundo e, como visto anteriormente, pode ser definida como uma comparação entre estimativas e medições. O resultado dessas comparações é geralmente um grupo de fatores que são aplicados a estimativas futuras, na tentativa de melhorar a previsão do desempenho de uma operação. Esses fatores fornecem, portanto, uma indicação de quão acurada foi uma determinada estimativa.

Alguns exemplos de fatores são: o fator de recursos e reservas, o fator de volume e o *mine call factor*, citado no item anterior. Juras (2002) define outros dois fatores, o fator *model to mine* e o fator *mine to mill*, que, multiplicados, resultam no mesmo MCF.

Esses fatores são aplicados às estimativas de reservas e de controle de teor, com o objetivo de fornecer uma aproximação da quantidade de metal que deverá ser produzida na usina. Por exemplo, se historicamente a usina produziu 10% a mais de ouro do que o previsto pelo modelo de recursos, a prática comum é aplicar um MCF de 110% à quantidade de ouro prevista pelo modelo, de modo a estimar qual deverá ser a quantidade de ouro total produzida.

Portanto, o cálculo desses fatores pode indicar o desempenho de uma operação, porém, admitindo-se um cenário ideal, não deveria haver fatores: a estimativa da quantidade de metal de um modelo de recursos deveria ser igual à quantidade de metal produzida mais a quantidade de metal nos rejeitos. É claro que os dois números raramente se igualam, devido às diversas variáveis envolvidas no processo, que podem ter diferentes causas, como mostra a tabela 1.

Se dividirmos o complexo problema da reconciliação nos componentes básicos da tabela a seguir, e resolvemos cada componente de cada vez, o problema pode ser resolvido ou, pelo menos, minimizado.

**Tabela 1 – Variáveis que influenciam a reconciliação (Pitard, 2001).**

CAUSAS	VARIÁVEIS
<b>MODELO GEOLÓGICO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• efeito pepita <i>in situ</i> real</li> <li>• erros de amostragem e sub-amostragem</li> <li>• erros analíticos</li> <li>• erros de estimativa</li> <li>• rejeição excessiva de <i>outliers</i></li> <li>• resultados da metodologia de estimativa</li> <li>• suposições da densidade do minério</li> <li>• definição dos limites do minério</li> </ul>
<b>MODELO DE CONTROLE DE TEOR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• efeito pepita <i>in situ</i></li> <li>• erros de amostragem e sub-amostragem</li> <li>• erros analíticos</li> <li>• furos de desmonte paralelos à mineralização</li> <li>• resultados da metodologia de krigagem e cálculo da média</li> <li>• contorno do teor do minério</li> <li>• métodos de amostragem não acurados</li> </ul>
<b>LAVRA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• modelo de lavra paralelo para cruzar a mineralização</li> <li>• deslocamento dos limites da mineralização sobre desmonte</li> <li>• métodos de amostragem não acurados</li> <li>• métodos de transporte por caminhão não acurados</li> <li>• perda de finos</li> <li>• estimativa de massa</li> <li>• diluição</li> </ul>
<b>USINA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• retenção de metal dentro do moinho</li> <li>• métodos de análise não acurados</li> <li>• ciclos do processo desconhecidos ou mal interpretados</li> <li>• calibração dos medidores de massa e de fluxo</li> <li>• sub-amostragem de laboratório inadequada</li> <li>• reconciliação calculada para períodos muito curtos de tempo</li> </ul>

### 3.7.3. Reconciliação Reativa

Segundo Morley (2003), o problema de se aplicarem fatores às estimativas é que esses fatores podem mascarar as causas dos erros responsáveis pelas discrepâncias observadas. O autor chamou este tipo de reconciliação como ‘reativa’, afirmando que o uso desses fatores não é a melhor prática industrial de reconciliação. As causas reais de

qualquer variância só podem ser identificadas analisando-se as informações referentes a cada variância e, em seguida, modificando metodologias e processos. Só assim poderão ser tomadas ações que reduzam a variância a um nível aceitável.

### **3.7.4. Reconciliação Pró-Ativa**

A reconciliação ‘pró-ativa’ é uma alternativa a reconciliação reativa e consiste em se coletarem e se analisarem dados críticos, que são usados para calibrar estimativas em um processo iterativo (Morley, 2003). Os erros são analisados com a finalidade de se tornarem ações corretivas para assegurar que a diferença entre os valores estimados e os valores reais seja mínima, ou seja, tornar o valor dos fatores o mais próximo possível de 1.

Este é um processo iterativo de recalibração constante das entradas de dados e dos cálculos, levando ao conceito de ‘prognosticação’, quando as estimativas tornam-se prognósticos e podem formar uma base para a tomada de decisões da empresa, assegurando que o que acontecerá no futuro corresponde ao que foi planejado no presente.

### **3.7.5. O Conceito QA – QC**

Uma vez que os pontos de medição para o cálculo de reconciliação estejam definidos, deve-se garantir que seja realizado um número suficiente de medições para permitir o controle e o monitoramento da confiabilidade dos dados (precisão e acurácia), principalmente no caso da amostragem. Isto requer o estabelecimento de um sistema de garantia de qualidade (*quality assurance*, ou QA) e de procedimentos de controle de qualidade (*quality control*, ou QC). Este é o chamado sistema QA-QC.

A garantia de qualidade é conseguida pelo estabelecimento e documentação de sistemas e padrões para garantir a qualidade a um nível mais abrangente. O controle de qualidade utiliza ferramentas estatísticas para assegurar que os sistemas estão estatisticamente controlados a um nível mais específico.

Um sistema QA-QC bem projetado e implementado – por exemplo, um bom sistema de reconciliação – não deve adicionar uma carga de trabalho extra à equipe técnica. Os processos devem ser automatizados e os mais transparentes e acessíveis possível, de modo que se possa despender mais tempo na interpretação dos resultados do que na comparação entre os dados. Como veremos mais adiante, os dados não são informações até que eles sejam apresentados de uma maneira útil (Noppé, 2004).

### **3.7.6. O Conceito *Mine-to-Mill***

Na última década, tem-se envidado esforços contínuos para se reduzirem os custos de um empreendimento mineiro, ao mesmo tempo em que os custos dos suprimentos e serviços continuam a crescer e os preços do produto final tendem a cair. Neste contexto, alguns profissionais decidiram integrar os processos de mineração, desde a geologia até a usina, utilizando a tecnologia da informação para fornecer aos operadores da usina informações acuradas sobre a qualidade do minério. Com esta abordagem, esses profissionais conseguiram reduzir a variabilidade do teor do material alimentado na usina, aumentando sua previsibilidade. E, assim, eles puderam visualizar o processo como um todo, e não cada parte isoladamente. O resultado dessas operações foi um aumento de 2 a 5% na recuperação e de até 2% no teor do concentrado (Imrie, 2001).

O objetivo de se introduzir o conceito *mine-to-mill* é mostrar os benefícios de se transformar dados desordenados e desconexos em dados ordenados e consistentes, que permitam criar um sistema integrado que se estenda da geologia à metalurgia.

A reconciliação entre a mina e a usina (*mine-to-mill*) consiste na prática de se compararem as estimativas de produção baseadas em dados da mina com as estimativas de produção baseadas em dados da usina e, a partir dos resultados, sugerir medidas que minimizem a discrepância entre as estimativas.

Em geral existe uma discrepância relevante entre as estimativas da mina e as estimativas da usina. Normalmente a mina conta com amostras de furos de desmonte para o desenvolvimento de modelos de controle de teor. Estes modelos, do mesmo modo que os modelos de recursos, são estimativas e, portanto, estão sujeitos aos problemas comuns da estimação.

Como visto anteriormente, as estimativas da usina são consideradas mais acuradas que as da mina e, portanto, na maioria dos casos elas são a base para os cálculos de reconciliação. Estas estimativas são consideradas mais acuradas por diversas razões (Crawford, 2004):

1. Uma das dificuldades mais comuns da amostragem é a coleta de amostras com distribuições de tamanho semelhantes. Na usina, as amostras são coletadas após a cominuição, o que minimiza este problema.
2. Os fluxos dos produtos da usina podem ser mais facilmente amostrados a intervalos regulares.
3. Os sistemas de controle de processos das usinas modernas, com analisadores de fluxo e amostradores automáticos, permitem o controle total do fluxo de material.
4. Há diversas verificações possíveis na usina, permitindo um balanço de massas mais efetivo, o que nada mais é do que uma reconciliação interna.

Porém, a usina não está imune aos problemas da amostragem. Os resultados dos diversos pontos de amostragem utilizados no processo de balanço de massas da usina podem conter erros, e as causas típicas desses erros incluem: calibração inadequada das balanças, protocolos inadequados de análises, retenção de metal nas bombas (particularmente para o ouro), dentre outros.

### **3.7.7. As Fontes de Erros**

Uma reconciliação bem-sucedida pode ser ilusória. Em muitos casos, erros cometidos em algum ponto do processo são compensados por erros cometidos em outro ponto, resultando em reconciliações excelentes (Crawford, 2004). Porém, isto mascara os enviesamentos do sistema, que, mais cedo ou mais tarde, podem vir à tona.

A qualidade dos resultados de reconciliação depende da qualidade e da confiabilidade dos dados de entrada, ou seja, das estimativas e das medidas. As estimativas dos modelos de recursos são, por si só, dependentes da qualidade das amostras coletadas e do processo utilizado para gerar as estimativas. As medidas realizadas na mina e na usina, por sua vez, são dependentes da acurácia dos equipamentos de medição, tais como balanças e medidores de fluxo, e também da qualidade das amostras coletadas.

Todas essas medições contêm um erro associado, que deve ser identificado e, quando possível, minimizado (Noppé, 2004).

Segundo Schofield (2001), para muitos profissionais, a reconciliação é o teste final de qualidade das estimativas de massa e teor resultantes dos modelos de reservas e dos modelos de controle de teor. Entretanto, sem antes termos realizado um diagnóstico de todos os processos geradores de dados para os cálculos de reconciliação, não devemos considerá-la um teste final de qualidade, pois diversos fatores podem influenciar seus resultados, como as práticas inadequadas de amostragem e de seleção de minério na lavra.

#### **4. MINERAÇÃO MARACÁ**

A Mineração Maracá Indústria e Comércio S.A. (MMIC) foi constituída em 11 de março de 1994 e tem como atividade comercial a extração e beneficiamento de minério de cobre e ouro. Sua sede e operação estão localizadas na Fazenda Genipapo, no município de Alto Horizonte, estado de Goiás.

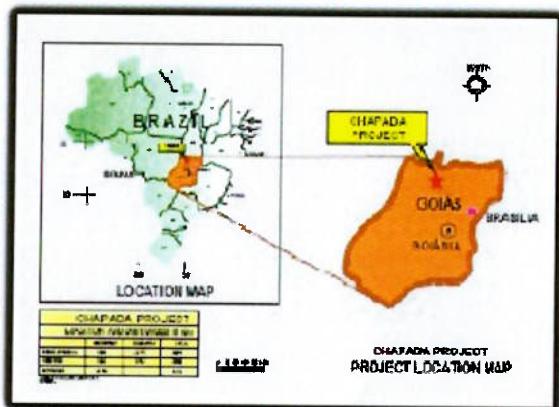


Figura 4 – Mapa geral da área.

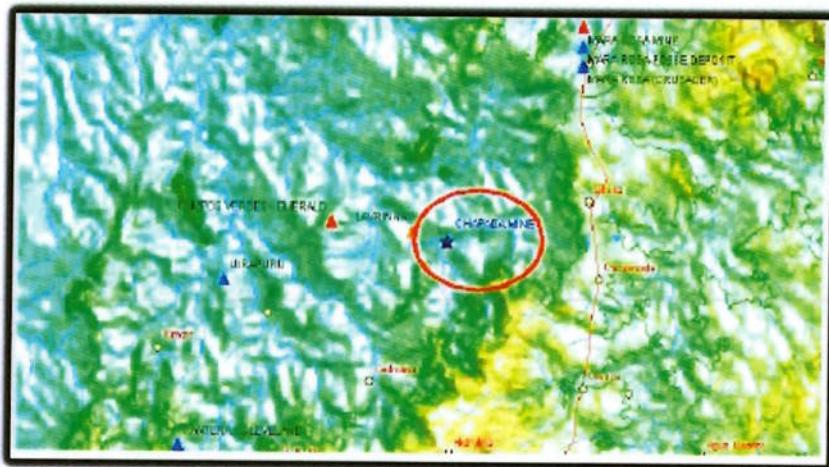


Figura 5 – Localização do Projeto MMIC.

#### **4.1. História**

Em 2003, a MMIC foi adquirida pela Yamana Gold Inc., uma empresa júnior canadense que possui diversos projetos de mineração na América do Sul, principalmente no Brasil. Atualmente a Yamana possui 100% do capital acionário da MMIC.

As operações na mina de Chapada tiveram início em 2005, e a produção em escala comercial em 2007, com a produção de concentrado de cobre e ouro, visando principalmente à comercialização no mercado externo. Os principais países consumidores são: Índia, Espanha, Alemanha e, em menor proporção, o Brasil.

Tendo em vista o planejamento estratégico da empresa, a MMIC está em fase de expansão, aumentando sua capacidade de produção de 19 Mt/ano para 22 Mt/ano. A reserva que deu base a este estudo possui 368 Mt, com teores médios de 0,280% de cobre e 0,190 g/t de ouro, para um período de operação de 17 anos.

O depósito de Chapada foi descoberto em 1973 durante uma campanha de exploração da INCO. Essa empresa descobriu o depósito através de estudos geoquímicos, geofísicos, trincheiras e sondagens exploratórias. No programa de sondagem a empresa utilizou uma malha de 2.000 m × 500 m na área e, então, a Parsons-Eluma Projectos de Consultoria S/C adquiriu 50 % das ações do projeto.

Em 1979, o DNPM publicou a Portaria de Lavra nº 2.394/79, para uma área de 3.000,00ha, em nome da Mineração Alonte S.A., incorporada pela MMIC. Dois anos depois, a Parsons-Eluma completou o estudo de viabilidade econômica.

Em 1994/95, a partir da campanha de sondagem rotativa de 4.500 m foi avaliado o depósito em sub superfície, após o que a Mineração Santa Elina Indústria e Comércio S.A. adquiriu o Projeto Chapada através de sua subsidiária, a MMIC. No final de 1995 foi aprovado a *joint venture* entre a MMIC e a EchoBay.

Após alguns estudos de viabilidade, realizados pela Independent Mining Consultants, SNC LavalinGroup e Hatch, o projeto foi adquirido, em 2003, pela Yamana Gold Inc.

#### **4.2. Geologia**

O depósito de Chapada está inserido na Província Tocantins, que teve desenvolvimento entre dois blocos continentais, os crátuns Amazônico (oeste) e São Francisco (leste). A porção leste desta província é ocupada pela Faixa Brasília, sendo esta correspondente a espessos pacotes metassedimentares e, em alguns locais, ocorrendo como exposições de rochas juvenis de idade neoproterozóica (Arco Magmático de Goiás).

O Arco Magmático de Goiás se estende por mais de 1.000 km a oeste e a norte de Goiás até o Tocantins, onde é sobreposto pela cobertura fanerozóica da Bacia do Parnaíba. O arco é dominado por ortognaisses tonalíticos/dioríticos entre cinturões vulcano-sedimentares.

Na região, os arcos identificados mais importantes são os de Arenópolis e o de Mara Rosa, que ocorrem a sul e a norte do Arco Magmático de Goiás, respectivamente.

O Arco Magmático de Mara Rosa é representado por rochas vulcânicas básicas-ultrabásicas associadas a metacherts ferríferos, calcários, pelitos carbonosos, pelitos, grauvacas e sedimentos quartzosos metamorfizados na fácie xisto verde e, localmente, anfibolito.

Recobrindo o Arco de Mara Rosa são observados os metassedimentos do Grupo Serra da Mesa, representados por quartzitos, mica-xistos, mármore e anfibolitos, relacionados a cinturões orogenéticos desenvolvidos no Uruaçuan.

A mineralização com maior teor encontra-se na zona de charneira dos metassedimentos e é representada por pirita, calcopirita e magnetita, disseminados em biotita xistos feldspáticos (80%), sericita xistos (10%) e gedrita-antofilita xistos (10%).

O depósito, após a realização de vários trabalhos de pesquisa e assessorias técnicas especializadas, é reconhecido como de origem epigenética, relacionado ao modelo genético típico de Cu-Au Pórfiro (associação Cu-Au-Mo), que sofreu intenso cisalhamento durante o final do Neoproterozoico. Entretanto percebe-se que a mineralogia pretérita não sofreu fortes alterações, como se pode observar nos minerais de quartzo, anidrita, pirita, calcopirita, magnetita e biotita, que são relativamente estáveis em condições de metamorfismo na fácie anfibolito.

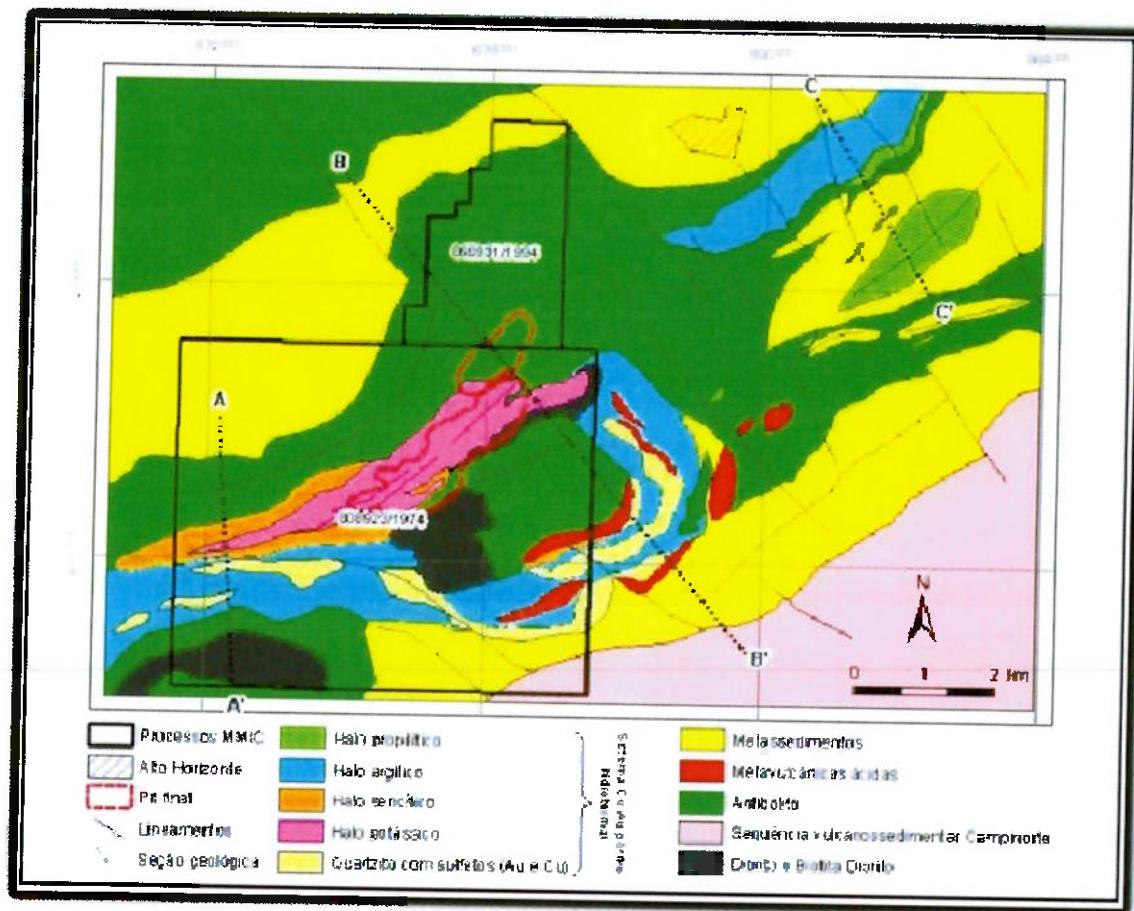


Figura 6 – Mapa Geológico da jazida da Mineração Maracá

## 5. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

Os dados necessários para a realização do presente trabalho foram obtidos durante exaustiva campanha de amostragem realizada no mês de fevereiro na Mineração Maracá. Abaixo estão descritas as atividades realizadas durante o período.

- Período de Integração na empresa, onde são explicados os procedimentos de segurança e regras da empresa para que se possa realizar qualquer trabalho na mina;
- Visita à mina a céu aberto e reconhecimento dos diferentes domínios geológicos encontrados;
- Execução de campanhas de amostragem para quatro polígonos, com dimensões de  $30 \times 30 \times 5$  m (largura × comprimento × profundidade) previamente selecionados segundo quatro diferentes domínios geológicos: Gnaissinho (GNS), Biotita-Xisto (BTO), Quartzo-Sericita-Xisto (QSRT) e Anfibólio Xisto (ANX).
- Atividades de laboratório, como quarteamento e preparação das amostras para análise química.

### 5.1. A Amostragem na Mineração Maracá

A amostragem de curto prazo realizada em Maracá é manual e utiliza o material fragmentado proveniente de perfuratriz Furukawa modelo HCR1500, que gera dois produtos, um de material fino e outro de médios e grossos. Da pilha frontal, de médios e grossos, são retirados 12 incrementos radialmente ao cone formado e da pilha de finos é retirado um único incremento, o que gera uma amostra composta por 13 incrementos. A Figura 7 apresenta a pá utilizada para a amostragem das pilhas e a Figura 8 mostra o modelo da perfuratriz utilizada para amostragem.



Figura 7 – Pá utilizada para amostragem de pilhas



Figura 8 – Perfuratriz Furukawa Modelo HCR 1500

### **5.2. Metodologia da Campanha de Amostragem**

A malha de amostragem principal foi de  $10 \times 10$  m e todos os furos da malha de amostragem foram realizados com 5 m de profundidade, e o furo central com 10 m de profundidade. Sugeriu-se realizar um furo de sonda o mais próximo possível do furo central, com amostras a cada 2,5 m, visando à comparação entre perfuratrizes e ao cálculo da variação do erro de amostragem com a profundidade do furo. No entanto, devido à dificuldade de se movimentar a perfuratriz de sonda rotativa para a mina, pois esta estava sendo utilizada pelo grupo de exploração, apenas no domínio ANX realizou-se o furo de sonda sugerido. A decisão de realizar a sondagem no bloco ANX se deve ao fato de que este domínio é o mais complexo e heterogêneo da jazida, ou seja, o domínio geológico crítico.

Nos domínios restantes, diante da impossibilidade de se realizar a sondagem, sugeriu-se usar uma perfuratriz com uma única descarga de material ou que gerasse um volume maior de amostra que o volume gerado pela perfuratriz da malha principal. Neste trabalho, optou-se pelo uso da perfuratriz Atlas Copco ROC L8.

A figura 9 mostra o esquema da malha de amostragem, para a campanha realizada.

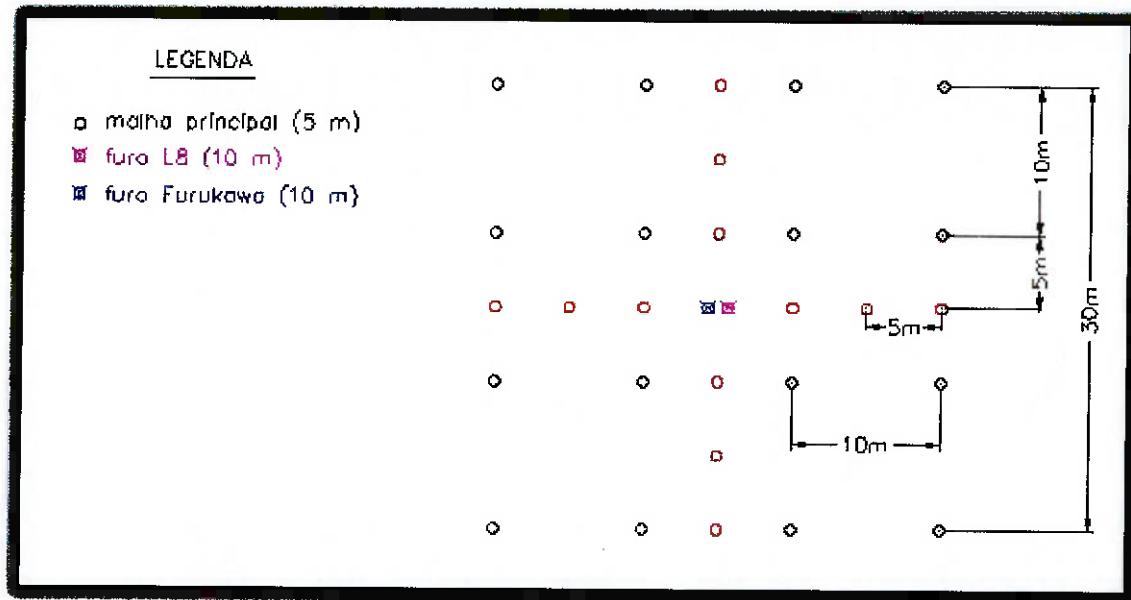


Figura 9 – Malha de amostragem.



Figura 10 – Perfuratriz Atlas Copco ROC L8.

Depois de selecionar a área a ser amostrada, a geologia passava as informações do local ao setor de topografia, que realizava a marcação dos locais de cada furo. Os locais dos furos eram indicados por estacas, para que o operador pudesse realizar a perfuração.

Cada furo apresentado na Figura 9 (malha de amostragem) gerou duas amostras (A e B). A primeira amostra (Amostra A) foi coletada usando o procedimento padrão de amostragem manual com pá (apresentado no item 5.1). Após coletada a Amostra A (de aproximadamente 10 kg), todo o restante do material (aproximadamente 190 kg) – grossos e finos – foi recolhido. Para se evitar contaminação e otimizar a recuperação do material, antes do início da perfuração realizava-se a limpeza da área de cada furo, retirando-se material grosseiro com enxada. Como nesse tipo de amostragem, a perda mais significativa de material se deve aos finos, cobriu-se a área ao redor de cada furo com uma lona grande o suficiente para a coleta da maior parte do material proveniente dos furos.



Figura 11 – Pilha gerada pela perfuratriz

O restante do material recolhido era homogeneizado e quarteado, de modo a gerar uma nova Amostra B de 20 a 25 kg. Todas as amostras foram devidamente ensacadas e identificadas e ambas passaram pelo mesmo processo no laboratório físico, com posterior análise química para ouro, cobre, enxofre e ferro.



Figura 12 – Quarteador Jones e amostras prontas para análise.

### 5.3. Procedimentos Laboratoriais

A figura abaixo mostra o fluxograma de processamento das amostras no laboratório físico:

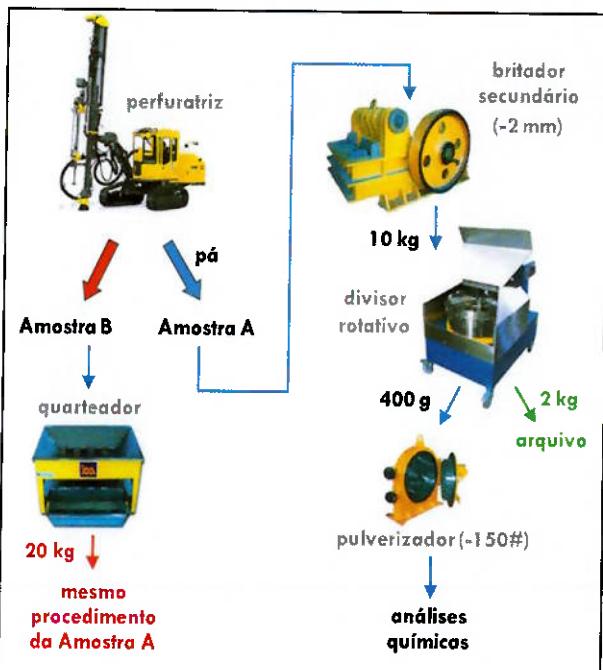


Figura 13 – Fluxograma de processamento das amostras no laboratório físico.

As análises químicas para ouro foram realizadas pelo método de *fire assay*, e os procedimentos de laboratório utilizados foram os mesmos em relação aos métodos padrões comumente utilizados em laboratórios para este tipo de experimento.

## 6. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os anexos A, B, C e D mostram os resultados para o ouro das Amostras A (coleta manual por pá) e B (coleta total da amostra remanescente) para as campanhas de amostragem nos blocos GNS, BTO, QSRT/GNS e ANX respectivamente. A tabela abaixo contém um resumo desses dados, apresentando os resultados médios. Os erros relativos referem-se ao erro gerado ao se coletar a Amostra A de 13 incrementos em relação à amostra representada por todo o material do furo (Amostra B).

Tabela 2 – Teores de ouro, em g/t, e erros relativos para cada domínio geológico.

Litologia		Sample A Grade	Sample B Grade	absolute error	relative error (%)
<b>GNS</b>	m = mean	0,482	0,473	0,009	-0,29%
<b>Au</b>	s = std deviation	0,286	0,190	0,205	43,36%
<b>BTO</b>	m = mean	0,295	0,306	-0,010	-4,71%
<b>Au</b>	s = std deviation	0,197	0,182	0,098	20,33%
<b>QSRT/GNS</b>	m = mean	0,222	0,231	-0,009	-3,59%
<b>Au</b>	s = std deviation	0,087	0,071	0,045	18,76%
<b>ANX</b>	m = mean	0,419	0,463	-0,044	-7,69%
<b>Au</b>	s = std deviation	0,256	0,307	0,074	10,07%

Com base nos resultados apresentados, podem ser feitas as seguintes observações:

- 1) Com exceção do domínio ANX, não há erro sistemático significativo entre Amostra A e Amostra B, visto que a média do erro varia de -0,29% a -4,71%, o que significa que as amostras são acuradas comparativamente a Amostra B.
- 2) No caso do domínio ANX, há um erro sistemático significativo (-7,7%), entre Amostra A e Amostra B. Este valor significa que, para o domínio em questão, as amostras manuais de 13 incrementos apresentam valores 7,7% menores que os valores da amostra total. Portanto as amostras manuais não são acuradas para o teor de ouro.
- 3) Entretanto, nota-se que, para todos os domínios litológicos, a média do erro de amostragem é negativa, o que significa que a amostra coletada por pá manual tende a subestimar o teor de ouro do bloco.

## 6.1. O Domínio ANX

O domínio ANX (Anfibólio-Xisto) é constituído de rocha de granulação média, com xistosidade pouco desenvolvida, composta por cristais de anfibólio (60%) de cor verde, orientados em matriz formada por quartzo e feldspato. Conforme citado anteriormente, o domínio é considerado o mais complexo e heterogêneo da jazida e por esta razão foi o escolhido para se realizar a sondagem rotativa.

As Tabelas 3 e 4 mostram os resultados das amostras coletadas pela Furukawa, pela ROC L8 e pela sonda rotativa a cada 2,5 m de profundidade no centro do bloco ANX. Não foi realizada amostragem padrão de 13 incrementos nos furos centrais para o domínio ANX, tendo sido coletada toda a amostra. As Amostras B e B' para este domínio referem-se ao quarteamento da amostra total (grossos, médios e finos) coletada pela Furukawa e pela L8. No caso da sonda rotativa, as Amostras B e B' referem-se aos resultados das duas metades dos testemunhos de sondagem, as quais foram analisadas separadamente.

As três últimas colunas das Tabelas 3 e 4 mostram os erros de estimativa das amostras coletadas pela Furukawa e pela ROC L8 em relação aos testemunhos de sondagem para cada intervalo de 2,5 m de profundidade, bem como para a profundidade total (10 m).

Tabela 3 – Teores de ouro e erros de estimativa das amostras coletadas no centro do bloco ANX.

central hole	Sample B Au grade (g/t)	Sample B' Au grade (g/t)	Au mean (g/t)	absolute error (B - B')	relative error (%)	driller	estimate error (%)	grade g/t all hole (mean)	estimate error (mean)
20-F1	0,33	0,33	0,33	0,00	-0,30%	Furukawa	52,3%	0,486	75,5%
20-F2	0,68	0,60	0,64	0,08	13,25%		72,4%		
20-F3	0,59	0,60	0,60	0,01	1,49%		109,6%		
20-I4	0,37	0,36	0,37	0,00	1,10%		60,2%		
20-L1	0,16	0,17	0,17	-0,01	-4,65%	ROC L8	-23,3%	0,366	32,4%
20-L2	0,34	0,59	0,46	-0,26	-43,15%		24,1%		
20-L3	0,48	0,47	0,47	0,02	4,09%		66,7%		
20-L4	0,35	0,37	0,36	-0,02	-5,16%		56,9%		
20-S1	0,26	0,18	0,22	0,07	40,66%	sonda rotativa	0,277		
20-S2	0,34	0,41	0,37	0,07	17,36%				
20-S3	0,31	0,26	0,29	0,05	18,77%				
20-S4	0,22	0,23	0,23	-0,01	-3,86%				

Tabela 4 – Teores de cobre e erros de estimativa das amostras coletadas no centro do bloco ANX.

central hole	Sample B Cu grade (%)	Sample B' Cu grade (%)	% Cu mean (%)	absolute error (B - B')	relative error (%)	driller	estimate error (%)	grade % all hole (mean)	estimate error (mean)
20-F1	0,31	0,30	0,30	0,01	3,02%	Furukawa	-9,2%	0,513	34,8%
20-F2	0,64	0,65	0,64	-0,01	-1,54%		38,7%		
20-F3	0,66	0,67	0,67	-0,01	-2,08%		82,5%		
20-F4	0,47	0,41	0,44	0,06	13,32%		22,2%		
20-L1	0,19	0,19	0,19	0,00	0,53%	ROC L8	-42,8%	0,435	14,2%
20-L2	0,43	0,43	0,43	0,00	-0,93%		-7,9%		
20-L3	0,66	0,69	0,67	-0,03	-3,94%		84,0%		
20-L4	0,42	0,48	0,45	-0,05	-11,13%		24,7%		
20-S1	0,39	0,27	0,33	0,12	44,85%	sonda rotativa		0,381	
20-S2	0,43	0,50	0,46	-0,08	-14,97%				
20-S3	0,37	0,36	0,37	0,02	4,48%				
20-S4	0,36	0,36	0,36	0,01	1,96%				

Os resultados das tabelas permitem observar que o trabalho executado no domínio ANX mostra que, em realidade, tanto as amostras geradas pela Furukawa quanto as geradas pela L8 superestimam o teor real de ouro e de cobre. Os erros de estimativa da Furukawa foram de 75,5% para o ouro e 32,4% para o cobre. Os erros de estimativa da ROC L8 foram de 34,8% para o ouro e 14,2% para o cobre.

Os resultados apresentados nas tabelas anteriores devem ser validados por meio de análises granuloquímicas, que permitem avaliar a influência da composição da amostra com massas não proporcionais de fragmentos médios, grossos e finos no teor resultante.

A campanha de amostragem incluiu a realização de três furos de 5 m de profundidade no bloco ANX. Os furos foram realizados com a Furukawa na região central do bloco. As tabelas 5 e 6 apresentam os resultados obtidos, onde:

- A Amostra 20-1 representa o todo o material do furo (grossos, médios e finos) coletado por meio de sacos plásticos dispostos nas descargas da perfuratriz. As Amostras 20-1-A e 20-1-B foram obtidas por quarteamento da amostra total e apresentaram massas de 2.982 g e 2.583 g respectivamente.
- A Amostra 20-2 representa o todo o material do furo (grossos, médios e finos) coletado por meio de lonas dispostas sob as descargas da perfuratriz. As Amostras 20-2-A e 20-2-B foram obtidas por quarteamento da amostra total e apresentaram massas de 2.959 g e 2.972 g respectivamente.
- A Amostra 20-3 representa a amostra padrão da empresa com 13 incrementos, apresentando uma massa de 5.642 g.

Tabela 5 – Teores de ouro e cobre resultantes das análises granuloquímicas para o domínio ANX.

malha		20-1-A		20-1-B		20-2-A		20-2-B		20-3	
#	mm	Au g/t	Cu %								
10 #	2,000	1,002	0,897	1,056	0,889	0,954	0,918	0,881	0,884	0,119	0,147
18 #	1,000	1,017	0,825	1,080	0,806	0,795	0,755	0,760	0,767	0,148	0,169
35 #	0,500	0,596	0,542	0,645	0,488	0,686	0,554	0,724	0,561	0,142	0,148
50 #	0,297	0,600	0,448	0,518	0,392	0,586	0,490	0,917	0,977	0,135	0,128
100 #	0,149	0,494	0,593	0,953	0,592	0,447	0,608	0,896	1,087	0,142	0,185
150 #	0,100	0,684	1,086	0,641	0,963	0,526	0,857	0,599	0,731	0,144	0,251
< 150 #	0,000	2,214	1,652	1,905	1,727	1,403	1,572	1,550	1,544	0,355	0,429
teor médio		1,219	1,021	1,158	0,998	0,978	1,077	1,041	1,077	0,203	0,245

Tabela 6 – Distribuições granulométricas resultantes das análises granuloquímicas no domínio ANX.

malha		% retida simples				
#	mm	20-1-A	20-1-B	20-2-A	20-2-B	20-3-
10 #	2,000	6,7	7,5	4,3	3,8	13,1
18 #	1,000	18,0	16,5	9,7	8,2	15,7
35 #	0,500	11,5	13,5	10,1	9,4	11,8
50 #	0,297	11,1	10,0	8,2	34,8	8,3
100 #	0,149	11,1	12,4	14,2	14,6	15,0
150 #	0,100	9,3	9,5	8,2	2,7	6,1
< 150 #	0,000	32,3	30,6	45,3	26,6	29,9
total		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

A figura 14 mostra a porcentagem retida simples para cada amostra individualmente e para a média das Amostras 20-1-A e 20-1-B. As figuras 15 e 16 mostram a variação de teor de ouro e cobre por faixa de tamanho para cada amostra individualmente e para a média das Amostras 20-1-A e 20-1-B.

Vale lembrar que, entre as três amostragens realizadas, o método de coleta da amostra 20-1 foi o mais adequado e portanto, a amostra 20-1 foi considerada como referência para este estudo comparativo.

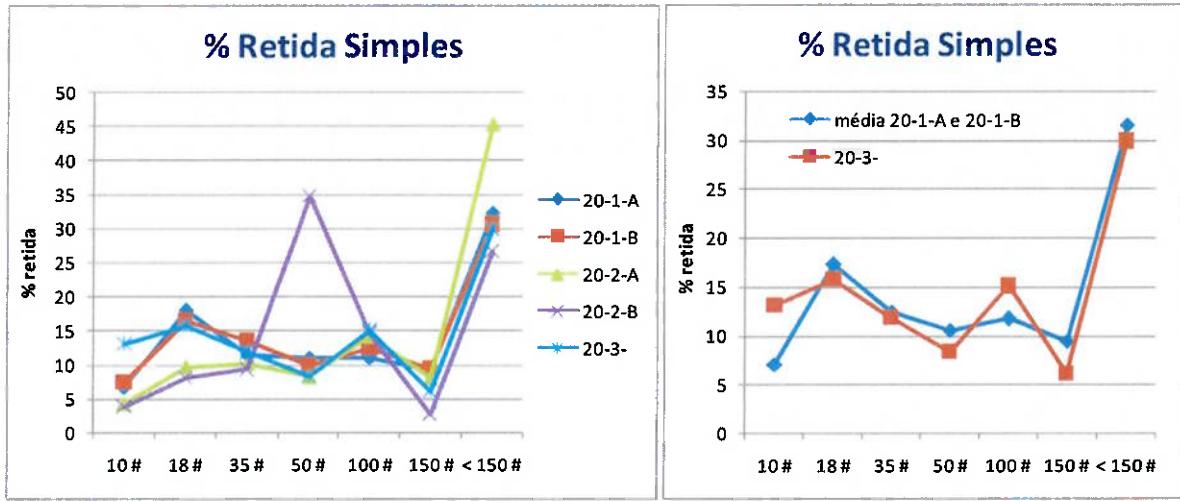


Figura 14 – Porcentagem retida simples por fração granulométrica.

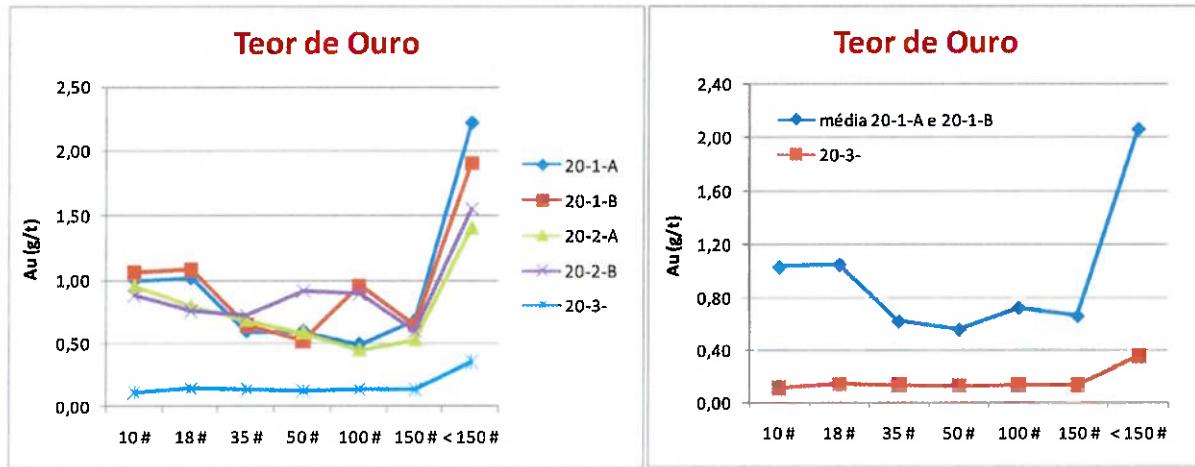


Figura 15 – Teor de ouro por fração granulométrica.

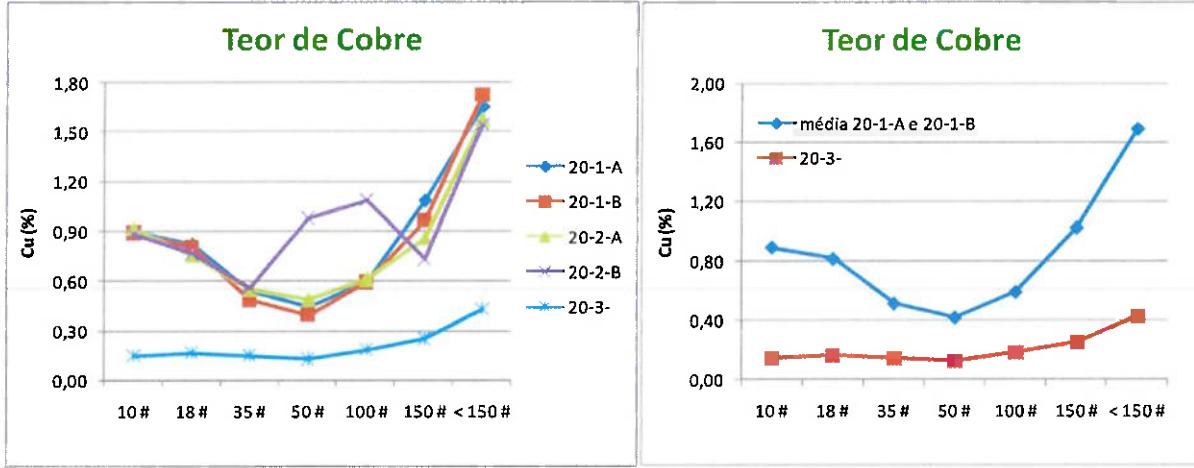


Figura 16 – Teor de cobre por fração granulométrica.

Os resultados obtidos permitem fazer as seguintes observações:

- 1) Não é possível comparar os teores das Amostras 20-1 e 20-2 com os da Amostra 20-3, visto que esta última apresentou valores muito mais baixos. De acordo com a equipe de amostragem, este fato foi devido a uma grande oscilação de teores em diferentes regiões do bloco estudado.
- 2) Todas as amostras apresentaram variação similar de teores nas diversas frações granulométricas, com maiores teores de cobre e ouro na fração mais fina.
- 3) A amostra composta por 13 incrementos apresentou uma porcentagem maior de fragmentos grossos (13,1% contra 7,1% da amostra total) e uma porcentagem similar de fragmentos finos (29,9% contra 31,5% da amostra total). Isto significa que a amostra composta tende a apresentar um teor relativamente menor de cobre e de ouro, em se comprando com a amostra total coletada pela Furukawa. Portanto, a amostra composta tende a subestimar a amostra total.
- 4) Levando-se em consideração que a Furukawa tende a superestimar o teor do bloco em 75,5% para ouro e 34,8% para cobre (Tabelas VI e VII), os resultados das análises granuloquímicas indicam uma compensação das estimativas, levando a resultados satisfatórios, mas ilusórios, de reconciliação.

## 7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A análise dos resultados deste trabalho permite afirmar que uma reconciliação bem-sucedida pode ser ilusória. No caso estudado, erros cometidos no processo de amostragem de pilhas de pó de perfuratriz foram compensados por erros provenientes do tipo de perfuratriz utilizada para amostragem, resultando em reconciliações satisfatórias.

A amostra A, composta por 13 incrementos, tende a subestimar o teor do furo, especialmente no caso do ouro. Os resultados do estudo realizado com a sonda rotativa no furo central mostram a tendência tanto da Furukawa quanto da ROC L8 de superestimar o teor do furo comparativamente a sonda.

O processo de amostragem que vem sendo realizado na Mineração Maracá se mostra, portanto, inadequado para fins de reconciliação. A tendência de superestimativa da Furukawa é compensada pela tendência de subestimativa da amostra composta por 13 incrementos, o que leva a resultados satisfatórios de reconciliação. O impacto econômico dessa deficiência não pode ser subestimado, pois os erros intrínsecos ao processo de amostragem são, neste caso, mascarados, e podem futuramente resultar em análises errôneas da matriz de reconciliação da operação mineira, especialmente quando a lavra atingir regiões mais pobres ou mais heterogêneas do depósito. Demonstra-se, assim, a importância da amostragem nos resultados da reconciliação da Mineração Maracá.

Observa-se que os erros de estimativa devidos à composição da amostra de 13 incrementos não são tão significativos quanto os erros devidos ao tipo de perfuratriz, portanto, maior atenção deve ser dada à perfuratriz utilizada para a amostragem de curto prazo. Neste caso, pode-se usar um sistema de amostragem automática e perfuratriz com circulação reversa como a Sandvik DI620, que conta com sistema automático de amostragem e quarteamento (Figura 17).

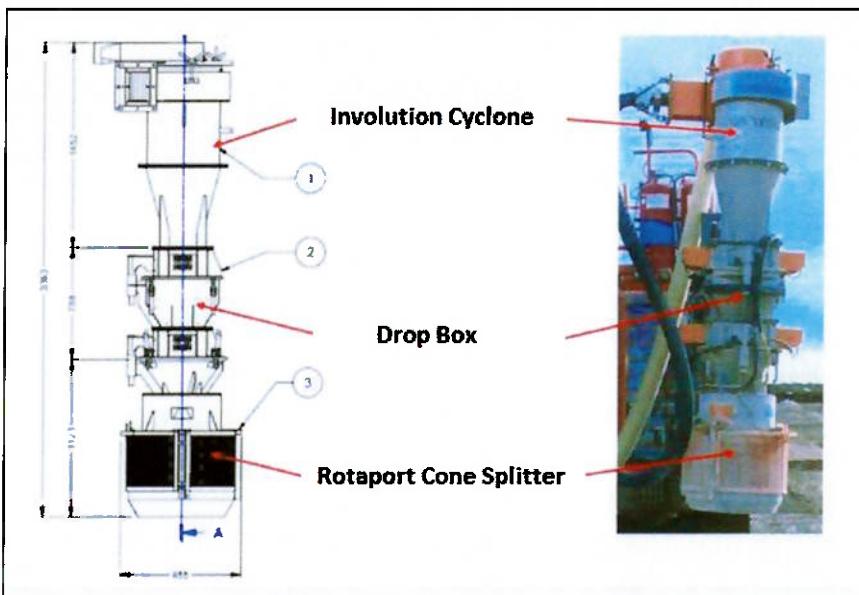


Figura 17 – Sistema automático de amostragem e quarteamento da Sandvik.

A opção de se trabalhar com o sistema de amostragem automática e circulação reversa apresenta diversas vantagens que podem superar em muito o custo de adquiri-la. Segundo Pitard (2008), algumas dessas vantagens são:

- 1) Ausência de subfuração: a ausência de subfuração permite a delimitação correta da amostra. A eliminação desse erro de amostragem é uma vantagem econômica que pode representar de 5 a 15% do total da receita do empreendimento.
- 2) Possibilidade de se perfurar diversas bancadas ao mesmo tempo: o controle de teor em múltiplas bancadas pode ser feito ao mesmo tempo, o que resulta em um melhor planejamento de curto e médio prazo.
- 3) Possibilidade de se perfurar em determinado ângulo escolhido: a possibilidade de se perfurar em determinado ângulo permite melhor amostragem de veios de minério sub-verticais. O sistema de circulação reversa tem essa flexibilidade, o que leva a uma melhor avaliação do bloco.
- 4) Contaminação e perdas são menores: os fragmentos de rocha ficam protegidos dentro da broca até o ciclone, minimizando a contaminação ascendente, refluxo e perdas de material nas fraturas.
- 5) Possibilidade de se perfurar em bancadas longe do desmonte: com o sistema de circulação reversa, pode-se amostrar blocos que não estão sendo preparados para o desmonte. Com um bom planejamento de amostragem, essa medida é uma maneira de se economizar tempo.
- 6) Amostragem não interfere na produção: o aumento no tráfego de equipamentos pela mina pode ser minimizado com bom planejamento. A amostragem por circulação reversa não deve interferir com a produção da mina.
- 7) Controle de teor mais preciso e acurado.

## ANEXO A

Nas tabelas a seguir, os furos de 1 a 16 foram perfurados pela Furukawa, enquanto os furos 17 a 29 foram perfurados pela ROC L8.

### Teores de ouro, erro absoluto e erro relativo das Amostras A e B para o bloco GNS.

blasthole	Sample A Au grade (g/t)	Sample B Au grade (g/t)	pair index	absolute error	relative error (%)
1	0,38	0,37	1	0,01	2,96%
2	0,41	0,43	2	-0,02	-5,08%
3	0,93	0,37	3	0,57	155,19%
4	0,40	0,51	4	-0,11	-21,88%
5	0,59	0,69	5	-0,10	-13,91%
6	0,97	0,84	6	0,14	16,17%
7	0,51	0,61	7	-0,11	-17,43%
8	0,74	0,69	8	0,05	7,59%
9	0,20	0,29	9	-0,09	-31,71%
10	0,32	0,36	10	-0,04	-10,67%
11	0,17	0,41	11	-0,24	-58,19%
12	0,28	0,30	12	-0,02	-7,28%
13	0,20	0,24	13	-0,05	-19,26%
14	0,17	0,25	14	-0,08	-32,93%
15	0,24	0,26	15	-0,01	-4,71%
16	0,15	0,22	16	-0,07	-33,04%
17	0,60	0,63	17	-0,03	-4,90%
18	0,57	0,52	18	0,05	10,66%
19	0,54	0,76	19	-0,21	-28,08%
20-1	0,50	0,54	20	-0,04	-7,76%
20-2	0,21	0,29	21	-0,07	-24,91%
21	0,53	0,67	22	-0,14	-20,84%
22	0,44	0,45	23	-0,01	-2,00%
23	0,62	0,47	24	0,15	32,33%
24	0,68	0,49	25	0,19	37,73%
25	0,79	0,79	26	0,00	0,13%
26	0,56	0,71	27	-0,15	-21,36%
27	1,38	0,60	28	0,77	127,98%
28	0,19	0,21	29	-0,02	-10,90%
29	0,19	0,24	30	-0,06	-22,54%
<b>m = mean</b>	<b>0,482</b>	<b>0,473</b>		<b>0,009</b>	<b>-0,29%</b>
<b>s = std deviation</b>	<b>0,286</b>	<b>0,190</b>		<b>0,205</b>	<b>43,36%</b>
<b>m/3s</b>					<b>-0,22%</b>

## ANEXO B

As Amostras 20-F1 a 20-F5 representam o furo central realizado pela Furukawa com amostragem a cada 2 m (total de 10 m).

**Teores de ouro, erro absoluto e erro relativo das Amostras A e B para o bloco BTO.**

blasthole	Sample A Au grade (g/t)	Sample B Au grade (g/t)	pair index	absolute error	relative error (%)
1	0,27	0,27	1	0,00	0,00%
2	0,25	0,28	2	-0,03	-11,83%
3	0,19	0,24	3	-0,05	-20,85%
4	0,24	0,29	4	-0,05	-16,67%
5	0,39	0,37	5	0,01	3,75%
6	0,75	0,56	6	0,19	33,75%
7	0,72	0,69	7	0,03	3,90%
8	0,52	0,41	8	0,10	24,70%
9	0,36	0,33	9	0,02	6,59%
10	0,20	0,19	10	0,01	4,17%
11	0,24	0,29	11	-0,05	-17,77%
12	0,08	0,08	12	0,00	-1,32%
13	0,28	0,29	13	-0,01	-2,11%
14	0,07	0,10	14	-0,03	-27,08%
15	0,07	0,10	15	-0,03	-28,43%
16	0,05	0,07	16	-0,02	-23,88%
17	0,08	0,10	17	-0,02	-18,37%
18	0,14	0,13	18	0,01	3,79%
19	0,18	0,26	19	-0,09	-33,21%
21	0,54	0,52	20	0,01	2,10%
22	0,23	0,68	21	-0,45	-66,42%
23	0,23	0,24	22	-0,01	-3,70%
24	0,21	0,17	23	0,04	26,19%
25	0,38	0,42	24	-0,04	-9,38%
26	0,56	0,59	25	-0,03	-5,72%
27	0,22	0,20	26	0,02	11,28%
28	0,10	0,11	27	0,00	-1,89%
29	0,08	0,09	28	-0,01	-15,38%
20-F1	0,58	0,55	29	0,03	4,72%
20-F2	0,34	0,45	30	-0,11	-24,22%
20-F3	0,41	0,35	31	0,06	17,39%
20-F4	0,66	0,51	32	0,15	29,45%
20-F5	0,19	0,18	33	0,00	1,09%
<b>m = mean</b>	<b>0,295</b>	<b>0,306</b>		<b>-0,010</b>	<b>-4,71%</b>
<b>s = std deviation</b>	<b>0,197</b>	<b>0,182</b>		<b>0,098</b>	<b>20,33%</b>
<b>m/3s</b>					<b>-7,72%</b>

## ANEXO C

As amostras 20-F1 e 20-F2 representam o furo central realizado pela Furukawa, com amostragem a cada 2 m (total de 4 m). Neste domínio, duas amostras foram perdidas e a Furukawa não pode realizar o furo completo de 10m devido a presença de água.

Teores de ouro, erro absoluto e erro relativo das Amostras A e B para o bloco QSRT/GNS.

blasthole	Sample A Au grade (g/t)	Sample B Au grade (g/t)	pair index	absolute error	relative error (%)
1	0,23	0,24	1	-0,01	-5,44%
2	0,22	0,25	2	-0,02	-9,31%
3	0,20	0,21	3	0,00	-2,43%
4	0,13	0,10	4	0,03	27,72%
5	0,25	0,27	5	-0,01	-5,22%
6	0,24	0,21	6	0,03	12,62%
7	0,28	0,26	7	0,01	4,17%
9	0,28	0,28	8	0,00	-1,07%
10	0,23	0,25	9	-0,02	-8,37%
11	0,20	0,18	10	0,02	11,17%
12	0,08	0,11	11	-0,03	-28,83%
13	0,14	0,16	12	-0,02	-14,63%
14	0,22	0,24	13	-0,02	-6,78%
15	0,09	0,12	14	-0,02	-20,00%
16	0,22	0,31	15	-0,08	-27,21%
17	0,26	0,25	16	0,01	3,56%
18	0,35	0,32	17	0,03	9,63%
19	0,53	0,39	18	0,15	38,34%
21	0,16	0,20	19	-0,03	-16,84%
22	0,20	0,30	20	-0,09	-31,08%
23	0,24	0,26	21	-0,01	-4,71%
24	0,21	0,23	22	-0,03	-12,02%
25	0,23	0,20	23	0,03	16,16%
27	0,13	0,19	24	-0,06	-31,55%
28	0,26	0,30	25	-0,04	-12,00%
29	0,23	0,27	26	-0,04	-14,44%
20-F1	0,27	0,30	27	-0,04	-11,92%
20-F2	0,13	0,10	28	0,04	40,00%
<b>m = mean</b>	<b>0,222</b>	<b>0,231</b>		<b>-0,009</b>	<b>-3,59%</b>
<b>s = std deviation</b>	<b>0,087</b>	<b>0,071</b>		<b>0,045</b>	<b>18,76%</b>
<b>m/3s</b>					<b>-6,38%</b>

## ANEXO D

**Teores de ouro, erro absoluto e erro relativo das Amostras A e B para o bloco ANX.**

blasthole	Sample A Au grade (g/t)	Sample B Au grade (g/t)	pair index	absolute error	relative error (%)
1	0,40	0,36	1	0,04	10,64%
2	0,19	0,20	2	-0,01	-6,06%
3	0,26	0,24	3	0,02	8,86%
4	0,15	0,17	4	-0,02	-11,24%
5	0,46	0,44	5	0,03	6,44%
6	0,17	0,18	6	-0,01	-4,57%
7	0,40	0,50	7	-0,11	-21,63%
8	1,27	1,58	8	-0,31	-19,77%
9	0,52	0,60	9	-0,08	-13,29%
10	0,40	0,43	10	-0,03	-7,37%
11	0,22	0,27	11	-0,05	-18,28%
12	0,21	0,23	12	-0,02	-10,30%
13	0,48	0,55	13	-0,07	-13,00%
14	0,44	0,50	14	-0,06	-12,72%
15	0,58	0,69	15	-0,11	-15,92%
16	0,43	0,41	16	0,03	6,17%
17	0,83	0,87	17	-0,04	-4,70%
18	0,75	0,94	18	-0,18	-19,57%
19	0,61	0,65	19	-0,04	-6,63%
21	0,75	0,70	20	0,05	7,56%
22	0,08	0,09	21	-0,01	-11,11%
23	0,17	0,16	22	0,01	3,07%
24	0,39	0,40	23	0,00	-1,01%
25	0,23	0,23	24	0,00	0,86%
26	0,21	0,27	25	-0,06	-21,89%
27	0,30	0,40	26	-0,10	-23,99%
28	0,34	0,37	27	-0,03	-8,38%
29	0,50	0,54	28	-0,04	-7,41%
<b>m = mean</b>	<b>0,419</b>	<b>0,463</b>		<b>-0,044</b>	<b>-7,69%</b>
<b>s = std deviation</b>	<b>0,256</b>	<b>0,307</b>		<b>0,074</b>	<b>10,07%</b>
<b>m/3s</b>					<b>-25,46%</b>

Dentre as desvantagens de se implantar o sistema mencionado, pode-se citar o custo adicional, além do aumento de tráfego na mina, o que, dependendo de como estão desenvolvidos os acessos as bancadas, pode ser um grande inconveniente. No entanto, “é altamente recomendado que as empresas de mineração analisem de perto a viabilidade de se implantar um sistema de amostragem automático de circulação reversa para o controle de teor, ao invés de prender-se as velhas práticas que podem levar a grandes problemas de reconciliação no futuro” (Pitard, 2008).

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANKES, P. et al. 2003. **Estimation of mineral resources and mineral reserves: best practice guideline.** Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, CIM, Canada. Disponível em: <<http://www.cim.org/committees/estimation2003.pdf>>.
- CHAVES, A.P. 2011. **Fundamentos teóricos da amostragem.** In: Teoria e prática do tratamento de minérios: manuseio de sólidos granulados, vol. 5, pág. 299-338, Signus Editora, São Paulo.
- CHIEREGATI, A.C. 2007. **Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros.** Tese de doutorado. São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP.
- CRAWFORD, G.D. 2004. **Reconciliation of reserves: part 2.** Pincock Perspectives, nº50, jan/04, pág. 1-4, Pincock, Allen & Holt, Colorado. Disponível em: <<http://www.pincock.com/perspectives/Issue50-Reconciliation-2.pdf>>.
- ELLIOTT, S.M. et al. 2001. **Reconciliation of the McKinnons gold deposit, Cobar, New South Wales.** In: Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The AusIMM Guide to Good Practice, pág. 257-268, Ed. A.C. Edwards, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Austrália.
- FERREIRA, F.M. 1989. **Amostragem.** Apostila de curso. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da USP, São Paulo.
- GRIGORIEFF, A. 2002. **O problema da amostragem manual na indústria mineral.** REM: R. Esc Minas, Ouro Preto.
- GY, P. 1998. **Sampling for analytical purposes.** 1<sup>st</sup> ed., translated by A.G. Royle, John Wiley & Sons, West Sussex, England.
- IMRIE, G.O.C. 2001. **Ore flow optimization: mine to mill integration - the next step improvement.** Hatch Beddows Strategy Consulting, Australia. Disponível em: <[http://www.hatch.ca/Operations\\_Support/articles.htm](http://www.hatch.ca/Operations_Support/articles.htm)>.
- JURAS, S.J. 2002. **Idaho-Maryland mine: technical report.** Emgold Mining Corporation, caps. 12, 13 e 17, AMEC E&C Services, Vancouver, Canada. Disponível em: <<http://www.emgold.com/s/TechnicalReport.asp?ReportID=49039>>.
- MORLEY, C. 2003. **Beyond reconciliation: a proactive approach to using mining data.** In: Large Open Pit Mining Conference, 5<sup>th</sup>, pág. 185-192, Kalgoorlie, Australia.
- NOPPÉ, M. 2004. **Reconciliation: importance of good sampling and data QA-QC.** In: Mining and Resource Geology Symposium, Queensland, Australia. Disponível em: <<http://www.snowdengroup.com/Files/GradeControl-1.pdf>>.

- PITARD, F.F. 1993. **Pierre Gy's sampling theory and sampling practice: heterogeneity, sampling correctness, and statistical process control.** 2<sup>nd</sup> ed., CRC Press, Boca Raton, Florida.
- PITARD, F.F. 2001. **A strategy to minimize ore grade reconciliation problems between the mine and the mill.** In: Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: the AusIMM Guide to Good Practice, págs. 557-566, Ed. A.C. Edwards, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia.
- PITARD, F.F. 2008. **Blasthole Sampling for Grade Control – The Many Problems and Solutions.** In: Sampling. Conference, Perth, Australia, 2008.
- SCHOFIELD, N.A. 2001. **The myth of mine reconciliation.** In: Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: the AusIMM Guide to Good Practice, págs. 601-610, Ed. A.C. Edwards, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia.
- THOMAS, N. & SNOWDEN, V. 1990. **Improving reconciliation and grade control by statistical and geostatistical analysis.** In: Strategies for Grade Control, págs. 49-59, AIG Bulletin 10, Australia. Disponível em: <<http://www.snowdengroup.com/Files/>>.