

GUILHERME PINHEIRO CHENG

**ANÁLISE DE IMAGENS POR FEIXE DE ELÉTRONS NA
CARACTERIZACAO DE MINÉRIO DE OURO**

São Paulo

2010

GUILHERME PINHO NERY

**ANÁLISE DO ERRO GERADO POR AMOSTRADORES AUTOMÁTICOS EM
USINAS DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS**

SÃO PAULO
2010

GUILHERME PINHO NERY

**ANÁLISE DO ERRO GERADO POR AMOSTRADORES AUTOMÁTICOS EM
USINAS DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS**

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.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Chieregati

SÃO PAULO
2010

TF-2010
N359a
lyano 2169803

M2010H

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700008364

FICHA CATALOGRÁFICA

Nery, Guilherme Pinho

Análise do erro gerado por amostradores automáticos em usina de beneficiamento de minérios / G.P. Nery. -- São Paulo, 2010.

30 p.

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

1. Minérios (Beneficiamento; Análise) 2. Ouro I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II. t.

Dedicatória.

**Aos meus pais e irmã,
por dedicação e carinho
ao longo desses meus
anos.**

Agradecimentos

À minha orientadora e amiga Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Chieregati que muito me ajudou sempre que precisei.

Ao meu colega Thiago Luis Alves Jatobá, grande amigo e companheiro nesta difícil missão que é formar-se engenheiro, que tanto me ajudou para que este projeto tomasse forma.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, pela contribuição ao aprendizado meu e de meus colegas, tanto na minha formação técnica quanto humana.

A todos meus colegas de curso, tanto da Engenharia de Minas como das demais engenharias, que, ao longo de todo o curso, estiveram presentes e partilharam comigo momentos bons e não tão bons e ajudaram a tornar cada dia mais alegre.

E principalmente aos meus pais, por todos esses anos ao meu lado, por acreditarem em minha educação e pelos valores ensinados a mim, que guardarei por toda a minha vida.

RESUMO

A amostragem de metais preciosos é um dos maiores desafios da indústria mineral, visto que provavelmente não existe outro tipo de material para o qual a precisão e a acurácia da amostragem sejam tão críticas. O ouro, em especial, tem suas peculiaridades, principalmente no que diz respeito ao efeito de segregação. A densidade do ouro é muito elevada, promovendo uma forte segregação assim que a liberação do metal é atingida. Além disso, o teor de ouro em uma sub-amostra analítica pode ser completamente diferente do teor de ouro na amostra original. Esses problemas são maiores quanto menor o teor do metal, quando mais marginal o depósito e quanto mais errática a distribuição do metal no depósito. Portanto, em se tratando de minérios de ouro, a representatividade das amostras é um fator relevante em qualquer etapa do empreendimento. O presente trabalho visa caracterizar os erros de amostragem gerados pelo amostrador tipo *cross belt* em uma mina de ouro no Brasil e analisar a representatividade das amostras.

PALAVRAS-CHAVE: amostragem, amostradores *cross belt*, erro de amostragem, representatividade.

ABSTRACT

Sampling precious metals is one of the greatest challenges in mining industry, for there are probably no other material for which the achievement of sampling precision and accuracy is so critical. Gold has its peculiarities itself, especially regarding the segregation effect. The density of gold is enormous, promoting strong segregation phenomena as soon as gold is liberated. Furthermore, the gold content of an analytical subsample and the gold content of the sample from which it was selected can be very different. All these problems are amplified as the gold grade becomes lower, as gold deposits become marginal, and as the distribution of gold in rocks becomes erratic. Therefore, in the case of gold ores, the sample representativeness is a relevant factor in any stage of the operation. The present work aims to characterize the sampling errors generated by the cross belt sampler in a gold mine in Brazil and analyze the representativeness of the samples.

KEY-WORDS: sampling, cross belt samplers, sampling error, representativeness.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 Conceitos de Estatística	10
3.1.1 Variável Aleatória.....	10
3.2 Conceitos de Amostragem.....	10
3.2.1 Erros de Amostragem	11
3.2.2 Precisão e Acurácia	12
3.2.3 Representatividade da Amostra	12
3.3 Amostragem de Ouro	13
3.3.1 O Efeito Pepita	13
3.4 Amostradores de Fluxos Contínuos.....	14
3.4.1 Amostradores Corta-Fluxo de Trajetória Retilínea	15
3.4.2 Amostrador Tipo <i>Cross-Belt</i>	17
3.4.3 Amostragem em Transportadores Parados	18
4. DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS EXPERIMENTAIS.....	19
4.1 Amostrador Cross-Belt	19
5. TRATAMENTO DOS DADOS	22
6. DISCUSSÃO	25
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUÇÃO

A Ciência Estatística, ou apenas Estatística, é uma ciência que engloba técnicas e metodologia de pesquisa cuja finalidade é lidarmos de forma racional com situações sujeitas a incertezas.

O correto estudo estatístico permite a obtenção e análise de informações para que se possa controlar e estudar fenômenos diversos, fatos ocorridos, eventos e ocorrências em diversas áreas do conhecimento.

A amostragem é uma operação dentro da Estatística que consiste em escolher, com critério, parte de uma população para se observar e estudar, resultando numa estimativa de toda a população. Toda e qualquer avaliação técnica e econômica (investimentos, planejamento de lavra, desempenho de processos de beneficiamento, etc.), antes e durante a instalação de qualquer empreendimento mineiro, é feita através de estimativas de teor e quantidade de minério.

Devido à grande quantidade de material a ser estudado, essas estimativas são baseadas em amostras, coletadas segundo determinado procedimento de amostragem. Portanto, uma amostragem correta, capaz de gerar estimativas confiáveis, é muito vantajosa para todo empreendimento mineiro.

A imprecisão das estimativas e a pouca atenção dada à amostragem podem gerar vários prejuízos ao empreendimento, como avaliação errônea do teor e da quantidade de minério presente, queda no desempenho produtivo, perda e diluição do minério etc.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é caracterizar o erro de amostragem gerado por um amostrador tipo *cross belt* instalado sobre o transportador de correia que alimenta a moagem de uma usina de beneficiamento de minério de ouro no Brasil, bem como verificar a existência de enviesamento e analisar a representatividade das amostras geradas por esse amostrador.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Conceitos de Estatística

A Estatística é uma ciência que, a partir da teoria probabilística, explica da melhor maneira possível a freqüência da ocorrência de eventos passíveis de observação, tanto em estudos quanto em experimentos, além de modelar a aleatoriedade junto da incerteza, de forma a estimar ou possibilitar a previsão de eventos futuros a cada caso (BUSSAB, 2006).

Além disso, ela associa informações a dados analisados para se obter compreensão dos fatos que tais dados representam.

A estatística possui processos próprios para coletar, apresentar e interpretar adequadamente um conjunto de dados, numéricos ou não.

3.1.1 Variável Aleatória

Uma variável é um atributo mensurável que varia entre indivíduos de uma população. Uma variável aleatória pode ser vista, então, como uma medição de algum parâmetro através de um experimento que pode gerar um valor diferente a cada medida. Matematicamente, uma variável aleatória é definida como uma função mensurável de um espaço probabilidade para um espaço mensurável. Esse espaço mensurável é o espaço de possíveis valores da variável. (BUSSAB, 2006).

Uma variável aleatória pode ser definida associando-se cada um de seus possíveis valores a certo valor de probabilidade.

3.2 Conceitos de Amostragem

A amostragem é o processo de seleção de amostras consideradas representativas do todo que se deseja estudar, tendo em vista a limitação econômica do programa de amostragem. Conforme Gy (1967), o único objetivo da amostragem é reduzir a massa de um determinado lote sem inserir mudanças significativas em suas outras propriedades.

As amostras geralmente se constituem por uma série de incrementos retirados do universo ou de determinado lote a instantes diferentes. O universo, nesse sentido, é o conjunto de todos os resultados possíveis de uma dada variável aleatória, e a amostra é um conjunto reduzido de observações tomadas desse universo.

Um plano de amostragem adequado é aquele que concilia os custos de amostragem com a precisão requerida para os resultados, visto serem elementos

diretamente proporcionais (Ferreira, 1989). Porém, de nada vale ter um resultado analítico com várias casas decimais se a amostra analisada é enviesada ou insuficientemente representativa.

3.2.1 Erros de Amostragem

“Qualquer amostragem – até mesmo a mais simples – comporta uma série de erros possíveis, alguns dos quais relacionados com a estrutura do minério, com sua distribuição e textura, outros decorrentes das técnicas usadas na amostragem, ou do modo como as técnicas são aplicadas, ou dos equipamentos de amostragem.” (Gy, 1967).

Dessa maneira, uma amostra nunca terá características totalmente idênticas àquelas do material de onde foi retirada, a menos que esse material seja um composto homogêneo, o que foge à realidade da indústria mineral. Além disso, há também erros de amostragem ao longo das operações realizadas e que resultam no aumento ou na inserção da heterogeneidade em um dado lote de material amostrado.

Assim, a heterogeneidade é a única condição na qual um conjunto de unidades pode ser observado na prática. E, segundo Gy (1967), “a heterogeneidade é vista como a única fonte de todos os erros de amostragem”.

O objetivo da teoria de amostragem é “controlar” esses erros, analisando suas propriedades em função do processo de retirada de amostras e do material amostrado, e indicando os equipamentos e procedimentos que possibilitem eliminá-los ou, ao menos, minimizá-los.

Com a exceção dos erros acidentais, tais como os erros de preparação (*PE*), 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). Quando falamos sobre erros aleatórios (média igual a zero e variância diferente de zero) e sobre erros sistemáticos (variância igual a zero e média diferente de zero), é apenas por conveniência. Na realidade, todos os erros, tais como o erro fundamental (*FE*), o erro de delimitação (*DE*), o erro de extração (*EE*) etc. têm dois componentes: (1) um componente aleatório caracterizado unicamente pela variância e (2) um componente não aleatório caracterizado unicamente pela média (Chieregati, 2007).

De fato, a variância e a média de um erro são fisicamente complementares, mesmo sendo propriedades diferentes. Dessa maneira, quando diversas variáveis aleatórias, tais como *FE*, *DE*, *EE* etc., são independentes em probabilidade, elas também são cumulativas, o que justifica escrever as seguintes relações:

1. Se esses erros ocorrem independentemente:

$$TE = FE + DE + EE + \dots$$

onde *TE* é o erro total de amostragem.
2. Para a média desses erros:

$$m(TE) = m(FE) + m(DE) + m(EE) + \dots$$
3. Para a variância desses erros:

$$s^2(TE) = s^2(FE) + s^2(DE) + s^2(EE) + \dots$$

Portanto, pode-se dizer que uma amostra é correta quando os fragmentos que constituem um determinado lote têm a mesma probabilidade de seleção. Ao se garantir essa condição, pode-se dizer que a amostra não está enviesada, ou seja, ela é acurada. Quando podemos coletar amostras por algum método de seleção que seja tanto acurado quanto preciso, tais amostras podem ser consideradas representativas. O conceito de representatividade pode ser expresso, então, pela união dos conceitos de precisão e de acurácia.

3.2.2 Precisão e Acurácia

Ainda dentro do conceito de amostragem, há a necessidade de se tornar claro os conceitos de precisão e acurácia. O primeiro se refere à dispersão dos resultados de uma amostragem ao redor de sua média, independentemente de a diferença entre a média das amostras e a média real do lote de material do qual elas foram retiradas ser zero ou diferente de zero. Já a acurácia é independente da precisão e se refere a quão 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 1 a seguir ajuda a visualizar estes conceitos. Considere-se o centro do alvo como valor real do lote amostrado.

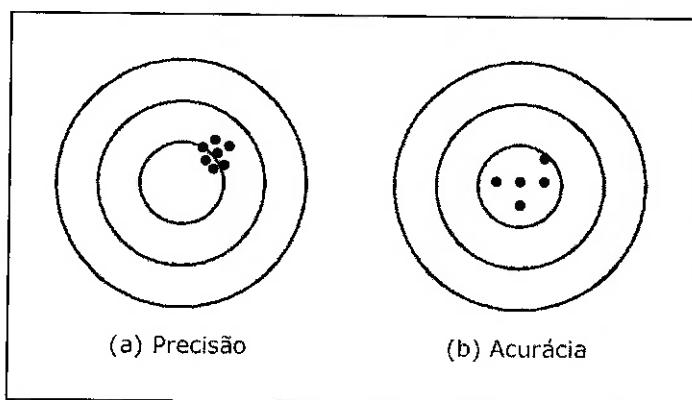


Figura 1: Conceitos de precisão e acurácia.

3.2.3 Representatividade da Amostra

Uma amostra é dita representativa quando o quadrado da média do erro de amostragem $r^2(SE)$, i.e., a soma de $m^2(SE)$ com $s^2(SE)$, é menor que um dado valor padrão de representatividade $r_0^2(SE)$, considerado aceitável (Chieregati, 2007).

$$r^2(SE) = m^2(SE) + s^2(SE) \leq r_0^2(SE) \quad (1)$$

Quando falamos sobre um dado erro e , devemos nos referir à soma de sua variância $s^2(e)$ com o quadrado de sua média $m^2(e)$.

$$r^2(e) = m^2(e) + s^2(e) \quad (2)$$

Portanto, 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).

3.3 Amostragem de Ouro

Os metais mais tradicionais e de uso mais recorrente, como o ferro e metais ferrosos, alumínio, zinco, etc., são frequentemente estimados em porcentagem, enquanto que os metais nobres, como ouro, platina etc., são estimados em ppm.

Outra particularidade que torna o ouro um caso especial é sua elevada densidade (19,3), fato que acarreta uma grande segregação quando suas partículas estão liberadas. Além disso, essas partículas não cominuem bem e acabam por criar filmes finos nos equipamentos de amostragem e de preparação das amostras (Chieregati, 2007).

O principal motivo dessa menção e da necessidade de atenção no tratamento do ouro se deve ao fato de que pequenos teores desse metal podem envolver grandes volumes de dinheiro e, então, os erros gerados na sua amostragem são de extrema importância para a tomada de decisões neste ramo da mineração.

O correto processo de amostragem de ouro é muito importante para o sucesso do empreendimento envolvendo esse metal, assim os erros que porventura surgirem no processo pode resultar em jazidas subestimadas ou superestimadas.

3.3.1 O Efeito Pepita

O chamado 'efeito pepita' pode ser definido como a comparação entre uma unidade (ou amostra) e ela mesma. Na prática, conforme observou Gy (1998), não estamos lidando com massas e teores reais (sempre desconhecidos), mas com estimativas de massa e teor provenientes de processos de coleta, preparação e análise de amostras. Portanto, todos os erros gerados durante esses processos estão contidos no valor do efeito pepita.

Em se tratando de metais preciosos, os problemas de representatividade da amostra são ampliados de uma maneira considerável. Nesse caso, o efeito pepita elevado indica a baixa reproduutibilidade (precisão) das amostras. Portanto, esses tipos de mineralização são muito sensíveis ao método de amostragem, o qual deve ser o mais acurado possível.

Protocolos de amostragem inadequados geralmente resultam em riscos elevados para o projeto, pois aumentam artificialmente a variabilidade de teor, consequência do aumento do efeito pepita. Esses riscos podem ser reduzidos com o desenvolvimento de

protocolos de coleta, preparação e análise das amostras apropriadas ao tipo de minério estudado (Dominy, 2007).

3.4 Amostradores de Fluxos Contínuos

No presente trabalho lidamos com lotes de materiais unidimensionais, que são comuns no ambiente de trabalho em usinas de beneficiamento de minérios, tais como fluxo de polpa ou material britado sobre transportadores de correia.

Assim, existem três maneiras para se amostrar o material (Figura 2):

- Coletando-se parte do fluxo, parte do tempo (ex.: amostragem pontual e manual em transportadores de correia);
- Coletando-se parte do fluxo, todo o tempo (ex.: amostradores tubulares inseridos na tubulação de polpa); e
- Coletando-se todo o fluxo, parte do tempo (ex.: amostradores corta-fluxo). Somente a última maneira de se amostrar está correta.

De um modo geral, podem-se projetar amostradores corta-fluxo de maneira que forneçam uma delimitação correta da amostra, e assim tornam-se capazes de executar amostragens equiprobabilísticas, com uma probabilidade de amostragem igual para todos os setores do fluxo.

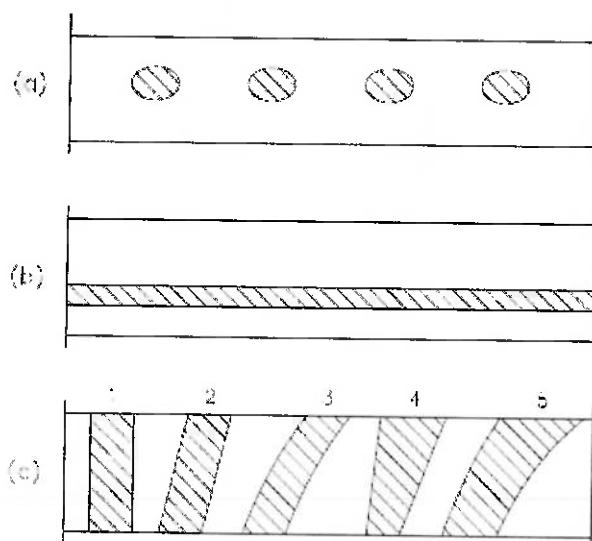


Figura 2 – (a) Amostragem de parte do fluxo, parte do tempo: sempre incorreta; (b) amostragem de parte do fluxo, todo o tempo: sempre incorreta; (c) amostragem de todo o fluxo, parte do tempo: 1,2,3 corretas e 4,5 incorretas. (Chieregati, 2007)

3.4.1 Amostradores Corta-Fluxo de Trajetória Retilínea

Os amostradores corta-fluxo de trajetória retilínea, também chamados amostradores de faca, são em geral corretos no que diz respeito ao projeto, desde que certas condições de uso sejam atendidas. Essas condições, estabelecidas por Gy, ajudam a controlar os efeitos que o complexo mecanismo dos fragmentos coletados pelo amostrador pode ter sobre a representatividade da amostra:

1. a abertura da faca deve ser três vezes maior que o diâmetro d do maior fragmento, com um valor mínimo de 10 mm quando d é menor que 3 mm;
2. deve-se calcular a velocidade máxima permitida para o amostrador, de acordo com sua abertura.

Além das condições acima, deve-se assegurar que o fluxo seja cortado por um comprimento Δt constante, de modo que o incremento coletado forme um paralelogramo inclinado, como mostra a Figura 3. Na amostragem de fluxos cadentes, a faca deve estar distante do fluxo, de modo a permitir que o motor acelere antes de alcançar o fluxo. O amostrador deve cortar todo o fluxo, e este deve cair exatamente no centro da faca. A distância u entre o ponto de descarga do fluxo e o plano descrito pela faca deve ser mínima, porém, de pelo menos de três vezes o diâmetro d do maior fragmento. No caso de partículas finas, essa distância deve seguir a seguinte regra:

$$u = 3d + 1 \text{ cm} \quad (3)$$

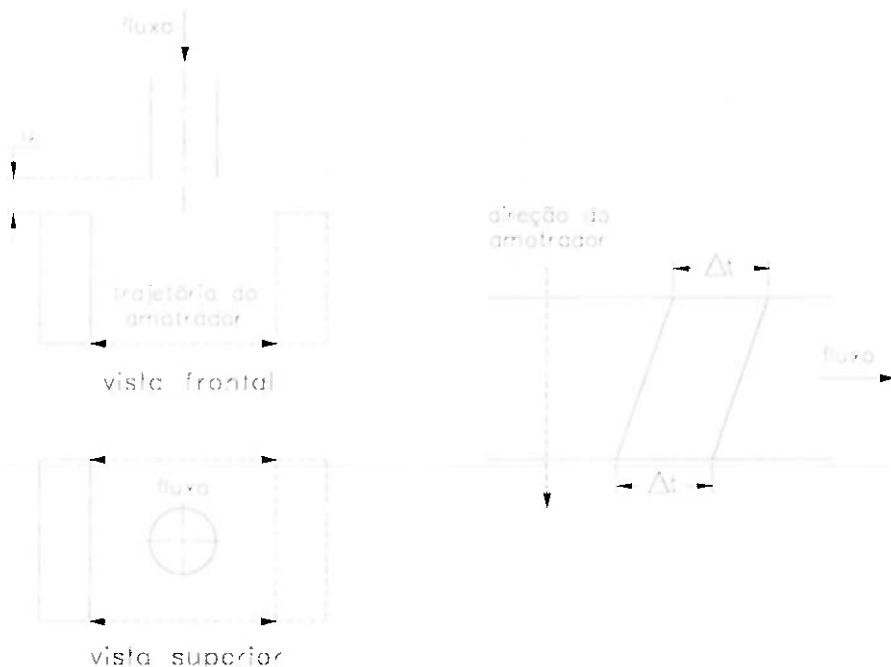


Figura 3 – Geometria correta de um amostrador corta-fluxo de trajetória retilínea e bordas paralelas (Chieregati, 2007).

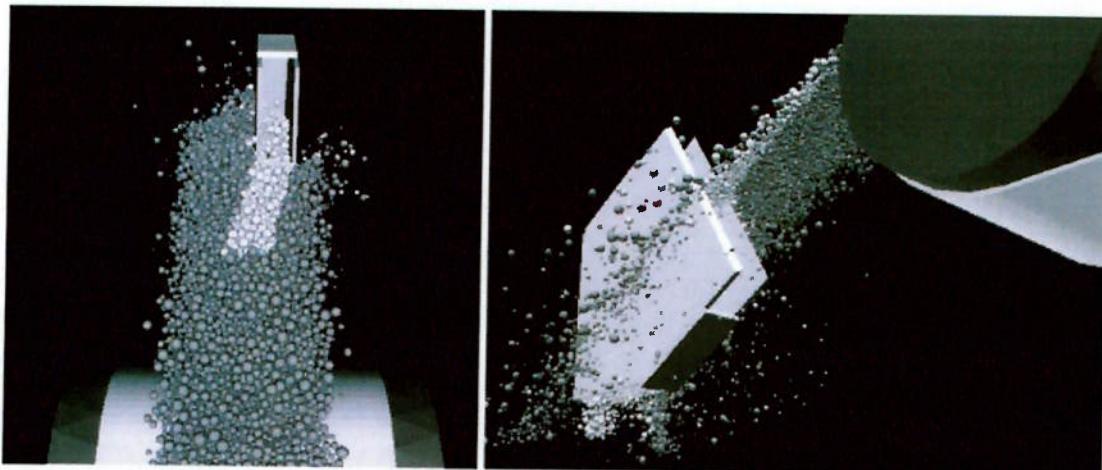


Figura 4 – Amostrador corta-fluxo correto na descarga de um transportador (Chieregati, 2007).

Nessas condições e, assumindo que todas as outras condições de correção sejam satisfeitas (fluxo movendo-se a uma velocidade constante, amostrador movendo-se a uma velocidade constante, todo o fluxo passando sem dificuldades pela abertura da faca), todos os fragmentos do fluxo serão submetidos à seleção durante o mesmo período de tempo. Portanto, a probabilidade P de amostragem será uniforme para todos os fragmentos, independentemente de sua posição no fluxo.

Esse tipo de amostragem é extremamente recomendado por François-Bongarçon & Gy (2002), sendo a melhor escolha para a amostragem de fluxos em usinas de beneficiamento de minérios.

Entretanto, esse tipo de amostrador pode se tornar um amostrador incorreto se: (1) sua faca for feita por material frágil, podendo ser danificada pelo impacto dos fragmentos; e (2) o amostrador for obstruído por material fino ou lama, que se acumula nas extremidades, fechando parte da abertura da faca. Uma manutenção preventiva, incluindo limpeza periódica da faca, é uma solução simples para esse problema.

3.4.2 Amostrador Tipo *Cross-Belt*

Uma maneira de se amostrar quando não há espaços suficientes na usina para a instalação de amostrador corta-fluxo, é o amostrador tipo *cross belt*, representado na Figura 5.

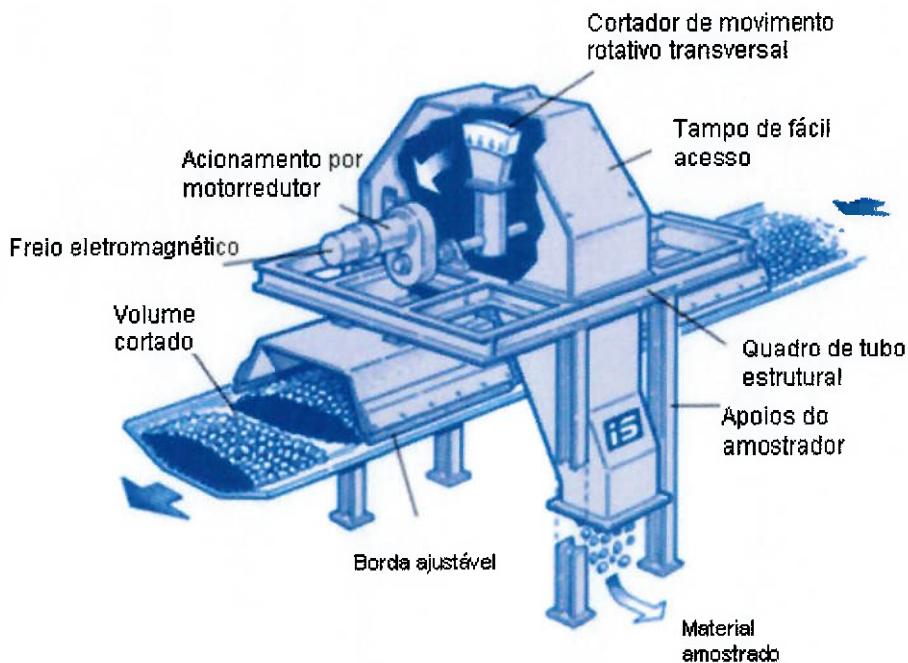


Figura 5 – Amostrador tipo *cross belt*. (InterSystems, 2010).

Os amostradores automáticos do tipo *cross-belt* são apropriados para a coleta de sólidos granulados por sobre o transportador de correia. Destinam-se aos casos em que não há espaço disponível na descarga do transportador. Consiste basicamente em um cortador com movimento rotativo transversal que dividirá o material passante no transportador e utilizará sua própria inércia, induzida durante o corte, para retirá-lo de uma calha de descarga lateral. Possui velocidade, abertura entre facas do cortador e raio de giro especialmente determinados para cada aplicação. O acionamento é feito por um moto-redutor com freio eletromagnético que permite que o cortador tenha paradas instantâneas. O cortador, fabricado em aço inox, possui uma configuração própria para perturbar o mínimo possível o fluxo de material no transportador. Produz um corte de secção com inclinação da parede lateral que permite acompanhar o movimento do transportador de correia e, assim, minimizar a indução de ondas no fluxo. É fabricado com facas substituíveis e resistentes à abrasão (Engendar, 2010).

Apesar da praticidade desse tipo de amostrador e do menor espaço ocupado, é bastante improvável que o cortador do amostrador seja capaz de coletar todo o material referente ao corte apresentado na Figura 5 como “volume cortado”. O corte seria correto e de forma igual à da Figura 2 (c2) apenas se o cortador fosse capaz de remover todo o material do transportador. Entretanto, nota-se que parte do material permanece sobre o transportador após o corte. Tal deficiência é especialmente grave na amostragem de minérios contendo minerais e metais de elevada densidade ou materiais que apresentam

minerais com grande diferença de densidades. Quanto maior o efeito da segregação entre as partículas, maior o enviesamento da amostra coletada por esse tipo de amostrador.

Portanto, visto que a probabilidade de amostragem não é uniforme para todos os fragmentos e depende de sua posição no fluxo, esse amostrador pode gerar amostras enviesadas e seu uso deve ser evitado sempre que possível.

3.4.3 Amostragem em Transportadores Parados

Um método comum e de fácil operação e reprodução é a amostragem de materiais sobre transportadores de correia parados. É um modo recomendado por padrões internacionais como método para testar se determinado amostrador automático está causando enviesamento da amostra. É considerado excelente se algumas condições forem satisfeitas: (1) o gabarito deve ter facas paralelas, feitas de material resistente e projetadas para ajuste perfeito à curvatura do transportador, e (2) todo o material contido entre as facas do gabarito deve ser coletado, com auxílio, se necessário, para recuperação do material fino remanescente no transportador. Assim, se essas condições forem satisfeitas, a forma do corte desse amostrador será correta e igual à da Figura 2 (c2). A Figura 6 ilustra esse tipo de amostrador.

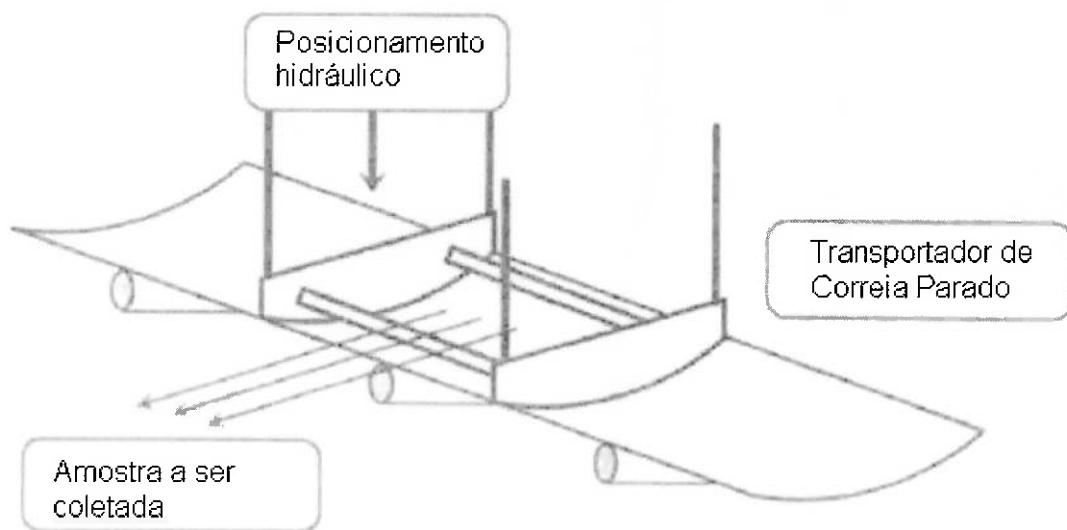


Figura 6 – Gabarito para amostragem de transportador parado (Pitard, 2008).

4. DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS EXPERIMENTAIS

4.1 Amostrador *Cross-Belt*

De modo a verificar um possível enviesamento da amostra coletada pelo amostrador tipo *cross belt* instalado na alimentação do moinho da operação mineira selecionada para este trabalho, decidiu-se utilizar o método recomendado mundialmente de amostragem em transportadores parados.

Para a realização do teste, construiu-se um gabarito inclinado de facas paralelas com uma abertura ligeiramente menor que a do cortador do amostrador tipo *cross belt* (Figura 8), o que permitiu coletar o material remanescente no transportador após o corte do amostrador com o mínimo de contaminação do material adjacente.

Esse teste foi realizado de acordo com o procedimento descrito a seguir:

1. Definiu-se o tempo entre coleta de amostras em 30 minutos, com ressalvas para os horários de almoço.
2. A calha de descarga do material retirado pelo amostrador tipo *cross belt* foi limpa com vassoura antes de cada coleta.
3. O material descartado pelo chute foi coletado diretamente em sacos plásticos novos, de forma a não permitir que nenhuma partícula que alcançasse o final da calha caísse fora do saco; partículas remanescentes na calha foram varridas para interior do saco.
4. Um profissional posicionava-se de modo a ter acesso à correia, munido do gabarito inclinado de facas paralelas, uma pá, uma brocha e sacos novos e inspecionados.
5. Logo após o corte do amostrador automático tipo *cross belt*, acionava-se o travamento manual do transportador de correia após aproximadamente 1 m de deslocamento, de modo que se pudesse ter acesso ao corte já realizado.
6. Com o transportador parado, posicionava-se o gabarito e retirava-se o material remanescente no transportador (Figuras 7 e 8) com auxílio da pá e da brocha.
7. Acionava-se novamente a chave que possibilitava o restabelecimento da movimentação do transportador de correia.
8. Todo o procedimento de amostragem com o transportador parado levava cerca de 3 minutos.
9. Todo material retirado era rotulado indicando-se número da amostra e sua procedência, ou seja, se provinha do amostrador ou se provinha do retirado do amostrador de correia manualmente (material remanescente no transportador após o corte do amostrador).
10. As amostras ensacadas foram colocadas em tambores para serem enviadas ao laboratório ao final do turno.



Figura 7 – Material remanescente no transportador de correia após o corte do amostrador.



Figura 8 – Gabarito construído para retirada do material remanescente.

Foram encontradas algumas dificuldades ao longo da execução desse procedimento. Além disso, o amostrador existente na operação apresentava incorreções no que diz respeito a sua capacidade de coleta de amostras corretas. As seguintes observações puderam ser feitas:

1. A massa de material remanescente no transportador de correia representou aproximadamente 30% da amostra total, mas observou-se que, mesmo tendo sido construído um gabarito com abertura menor que a do amostrador, em algumas situações o material remanescente no transportador foi contaminado por partículas adjacentes ao corte do amostrador.
2. O gabarito foi construído com 15 cm de largura, para evitar coleta de material não pertencente ao corte do amostrador. Apesar de que nem todo o material dentro da faixa demarcada foi coletado.
3. As facas do amostrador *cross belt* não estavam paralelas: na extremidade elas se separavam por uma distância maior que na base.
4. O número de parafusos que fecha a carcaça era muito grande (33), o que dificulta a manutenção das borrachas de contato.
5. O procedimento de quarteamento feito no material amostrado era inadequado, pois o operador alimentava o quarteador Jones com uma pá, de forma não sistemática. Por sua vez, o material úmido (cerca de 3% de umidade) agregava-se, não permitindo a condição de equiprobabilidade de seleção das partículas finas.
6. As borrachas do amostrador estavam em más condições e uma delas estava rasgada.
7. O raspador do amostrador era de borracha e, por ser flexível demais, não era capaz de recuperar as partículas remanescentes no transportador durante o corte.

5. TRATAMENTO DOS DADOS

A tabela a seguir mostra os teores das amostras coletadas pelo amostrador tipo *cross belt* (Amostra A) e do respectivo material remanescente no transportador após o corte (Amostra B).

Tabela 1: Teores das amostras coletadas pelo amostrador *cross belt* e do material remanescente.

Amostra #	teores coletados		teor médio (g/t)	erro absoluto	erro relativo
	A1 (g/t)	A2 (g/t)			
1	2,04	1,43	1,735	-0,610	-29,90%
2	2,14	1,21	1,675	-0,930	-43,46%
3	0,81	0,81	0,810	0,000	0,00%
4	1,58	1,25	1,415	-0,330	-20,89%
5	0,88	1,22	1,050	0,340	38,64%
6	1,60	3,26	2,430	1,660	103,75%
7	2,73	1,44	2,085	-1,290	-47,25%
8	2,29	3,48	2,885	1,190	51,97%
9	2,19	1,57	1,880	-0,620	-28,31%
10	1,46	1,30	1,380	-0,160	-10,96%
11	2,13	1,85	1,990	-0,280	-13,15%
12	1,85	1,44	1,645	-0,410	-22,16%
13	1,67	1,71	1,690	0,040	2,40%
14	2,23	2,14	2,185	-0,090	-4,04%
15	2,25	2,43	2,340	0,180	8,00%
16	2,04	2,86	2,450	0,820	40,20%
17	2,51	2,96	2,735	0,450	17,93%
18	2,54	2,88	2,710	0,340	13,39%
19	1,76	2,26	2,010	0,500	28,41%
20	1,83	2,49	2,160	0,660	36,07%
21	1,71	1,66	1,685	-0,050	-2,92%
22	1,92	1,69	1,805	-0,230	-11,98%
23	1,34	1,22	1,280	-0,120	-8,96%
24	1,59	1,52	1,555	-0,070	-4,40%
25	2,58	2,29	2,435	-0,290	-11,24%
26	1,12	0,88	1,000	-0,240	-21,43%
27	2,72	1,86	2,290	-0,860	-31,62%
28	3,52	3,28	3,400	-0,240	-6,82%
29	1,38	1,55	1,465	0,170	12,32%
30	1,93	1,97	1,950	0,040	2,07%
Média	1,945	1,930	1,938	-0,014	1,19%
Desvio Padrão	0,582	0,738	0,591	0,608	0,312
Variância	0,338	0,544	0,349	0,369	9,76%

Apesar de a média dos teores do material amostrado e do coletado manualmente serem aproximadamente iguais (1,945 e 1,930 g/t respectivamente), devemos estudar cuidadosamente os erros de amostragem.

Os gráficos apresentados a seguir, mostrando a validação cruzada entre Amostra A e Amostra B, bem como as diferenças relativas entre Amostra A e Amostra B, permitem uma análise mais completa dos resultados obtidos.

A Figura 9 mostra a correlação entre as amostras A e B. A figura 10 apresenta o gráfico das diferenças relativas entre os teores do material amostrado e do material remanescente no transportador de correia.

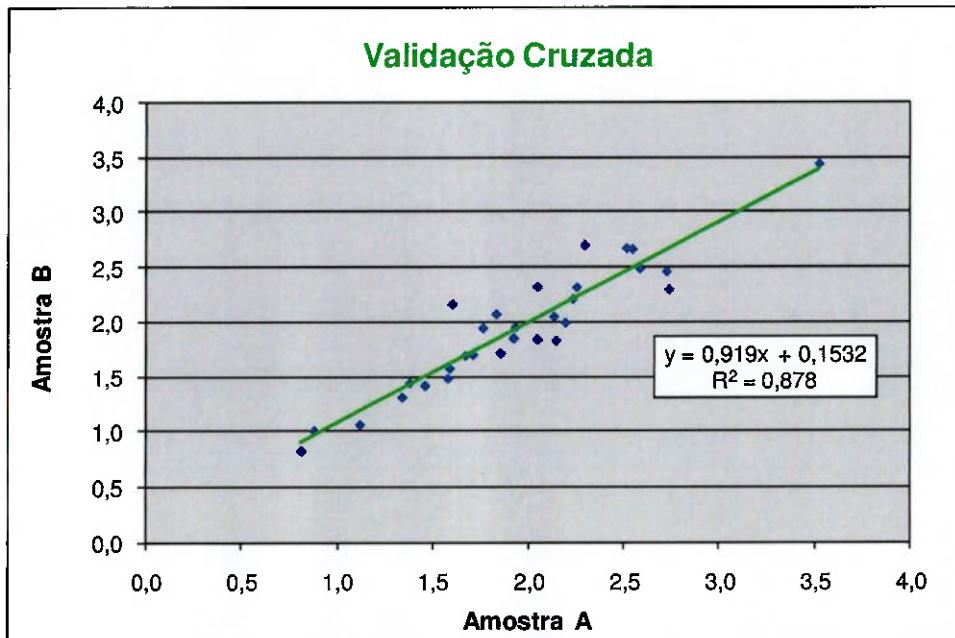


Figura 9: Gráfico da correlação entre amostra A e amostra B.

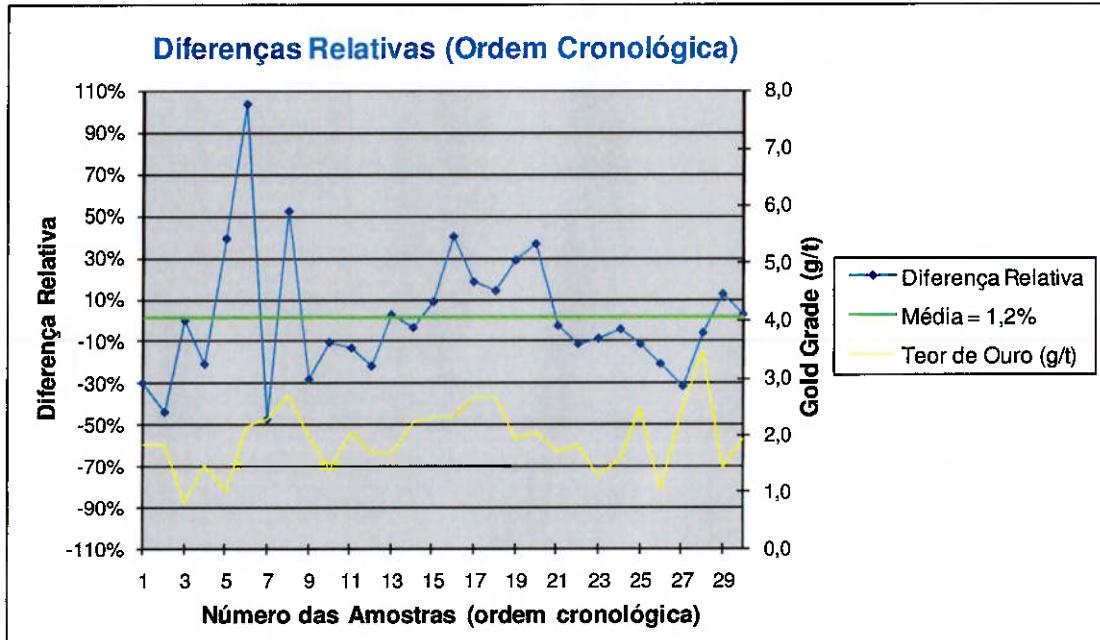


Figura 10: Gráfico das diferenças relativas entre amostra A e amostra B (ordem cronológica).

A Figura 11 mostra o mesmo gráfico das diferenças relativas entre os teores do material amostrado e do material remanescente no transportador de correia, porém, as amostras foram ordenadas por teor.

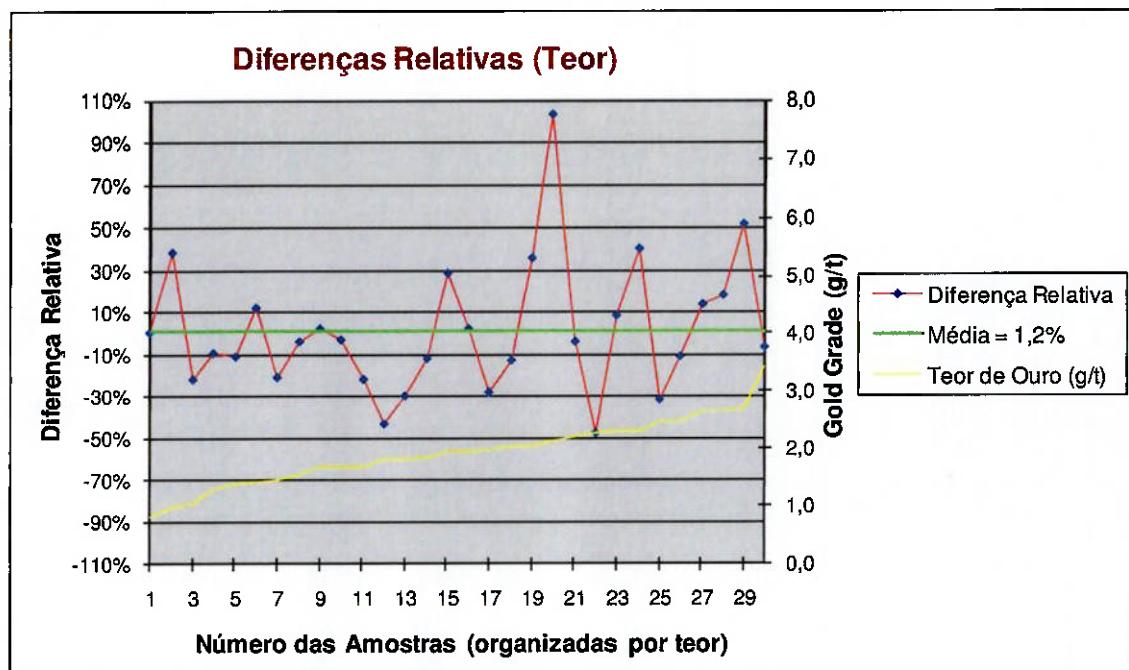


Figura 11: Gráfico das diferenças relativas entre amostras A e amostras B (ordem crescente de teor).

Assim, como apresentado na Tabela 1, apesar de as médias dos teores serem aproximadamente iguais, nota-se que existe um erro crescente com o teor da amostra. Esse resultado mostra que, quanto mais rico o minério lavrado, maior a probabilidade de o amostrador *cross-belt* causar um enviesamento da amostra.

Pode-se notar também que a reta de regressão foge ligeiramente da bissetriz, o que nos indica enviesamento.

Apesar de não haver um erro sistemático significativo (média do erro = 1,2%), ou seja, as amostras coletadas pelo amostrador *cross belt* são acuradas, a precisão da amostragem é baixa (desvio padrão = 31%). Como a representatividade é definida como a soma de acurácia com precisão, não podemos considerar representativas as amostras geradas pelo amostrador *cross belt*.

Nota-se, assim, a importância de se analisar o erro de amostragem de uma maneira mais completa, fazendo uso de gráficos de correlação e de diferenças relativas, organizados de diferentes maneiras. Esses gráficos permitem observar a ocorrência de enviesamento da amostra.

6. DISCUSSÃO

Para compreender o conceito de representatividade de uma amostra deve-se atentar ao seu não enviesamento. Infelizmente, mesmo sendo fácil demonstrar a existência de enviesamento (i.e., de um erro sistemático) quando ele ocorre, é teoricamente impossível demonstrar a sua ausência.

É, então, importante definir uma condição que possa garantir antecipadamente a ausência 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 que qualquer outro de ser selecionado para a amostra. Essa condição garante o não enviesamento, já que qualquer enviesamento irá anulá-la.

Conclui-se, portanto, que, como o risco de enviesamento nunca é aceitável, devemos utilizar somente amostradores e procedimentos de amostragem corretos. Qualquer amostrador ou procedimento julgado incorreto deve ser substituído, pois, neste caso, não se pode garantir o não enviesamento das amostras e, consequentemente, sua representatividade.

Conforme apresentado nos gráficos de diferenças relativas, os erros são maiores quanto mais rico o minério. E, portanto, em regiões mais ricas da jazida, as amostras geradas por esse tipo de amostrador tendem a ser menos representativas.

Portanto, visto que o amostrador tipo *cross belt* - da maneira como foi construído e opera atualmente - não é capaz de gerar amostras representativas, ele deve ser substituído ou adaptado de modo a selecionar amostras corretas.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho visou caracterizar o erro de amostragem gerado por um amostrador tipo *cross belt* de uma usina de beneficiamento de minério de ouro, bem como verificar a existência de enviesamento e analisar a representatividade das amostras geradas por esse amostrador.

Os resultados mostraram que o equipamento utilizado apresenta erros inaceitáveis no que diz respeito à seleção de uma amostra representativa do teor que alimenta a usina.

Portanto, recomenda-se que o amostrador seja substituído por um tipo corta-fluxo (Figura 4) ou que sejam feitas algumas adaptações no amostrador já em operação, de modo que aumente a representatividade da amostragem.

As adaptações imediatas que podem ser realizadas de modo que a confiabilidade nos resultados da amostragem seja maior são:

1. As facas do amostrador devem estar paralelas, com a mesma abertura em toda sua extensão.
2. O cortador deve passar o mais rente possível do transportador de correia, de modo a coletar a maior parte possível do material definido pelo corte do amostrador. Uma solução seria ajustar os roletes do transportador, de modo que este fosse ligeiramente elevado.
3. Devem-se trocar as borrachas do cortador periodicamente.
4. A borracha utilizada deve ser mais rígida, de modo que haja uma maior recuperação do material localizado na parte inferior do transportador.
5. O procedimento de quarteamento feito no local de amostragem deve ser modificado. Recomenda-se quartear o material no laboratório e, se possível, usar divisor rotativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUSSAB, W. **Estatística Básica.** 5^a. Edição. São Paulo: Saraiva. 2006. 540p

CHIREGATI, A. C. **Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros.** São Paulo: 2007, 201p. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

DOMINY, S.C. **Sampling - a critical component to gold mining project evaluation.** In: Project Evaluation Conference, 2007. p. 89-96. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia.

ENGENDAR – site consultado no dia 21/11/2010.

<http://www.engendar.com.br/site/produtos.asp>

FERREIRA, F.M. **Amostragem.** Apostila de curso. São Paulo: 1989. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da USP.

FRANÇOIS- BONGARÇON, D & GY, P. **Critical aspects in Mill and plants: a guide to understanding sampling audits.** In: Journal of the South African IMM, South Africa: 2002, vol. 102, n°8.

GY, P.M. 1967. L'Echantillonnage des minéraux en vrac - théorie générale. Vol. 1, Société de l'Industrie Minérale, Saint-Etienne, França, 186 p.

GY, P.M. **Sampling for analytical purposes.** 1st. ed., translated by A.G. Royle, John Wiley & Sons, West Sussex, Inglaterra, 153 p. 1998

INTERSYSTEMS – site consultado no dia 23/11/2010.

<http://www.intersystems.net/>

PITARD, F.F. **The increment delimitation error at the plant.** In: Sampling Theory, Sampling Practices, and Their Economic Impact. Colorado School of Mines, Continuing Education. Golden, Estados Unidos, 2008. Apostila de curso. p. 7.