

TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM A SECO EM MINAS A CÉU ABERTO E COMPARAÇÃO COM A AMOSTRAGEM USADA NA VOTORANTIM CIMENTOS (UNIDADE XAMBIOÁ)

Gustavo Leal Barbosa Silva¹, M.Sc. Rodrigo Meireles Matos Rodrigues²

¹Aluno do Curso de Engenharia de Minas

²Professor do Curso de Engenharia de Minas.

{gustavoleal.b.s@gmail.com, rom1978@gmail.com}

CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS DO CEULP/ULBRA
WORKSHOP DE ESTUDOS ACADÊMICOS DE ENGENHARIA DE MINAS (WEAENGINAS – 2014/1)

RESUMO: A amostragem na mineração tem papel fundamental, tendo em vista que por meio dela pode-se controlar melhor os índices de relevância e alcançar melhores resultados em qualquer uma de suas fases. Portanto será verificado os melhores métodos de amostragem usados em furos de desmonte de rocha e em fluxos contínuos, será avaliado se há alguma discrepância na percentagem de contaminantes, comparando as análises da amostragem do furo e correia e caso necessário propor uma nova sistemática de amostragem na VC. O presente trabalho discute sobre os principais métodos de amostragem a seco em minas a céu aberto e compara a bibliografia pesquisada com a técnica usada na Votorantim Cimentos (Unidade Xambioá) e de acordo com os dados obtidos na VC será feito um tratamento de dados para testar se estatisticamente o método usado é representativo. As técnicas usadas neste empreendimento podem ser classificadas como uma derivação de uma nova técnica, pois devido ao tipo de minério (calcário), qualidade que a jazida possui, os dados que já se obteve na fase de pesquisa e a pré-análise visual usada, o planejamento de mina já estima um pré-resultado fictício que tem boa precisão, sendo que a representatividade foi comprovada pelos cálculos estatísticos realizados.

PALAVRAS CHAVE: Amostragem. Métodos. Preparação.

INTRODUÇÃO: A amostragem tem um papel respeitável na mineração, ela é importante desde a fase de prospecção, passando pela lavra chegando até o produto final. Na pesquisa mineral ela é usada para avaliação de reservas, no controle de qualidade das várias etapas do processo, nos balanços de massas e metalúrgicos e nos contratos de compra, entre outros aspectos. Muitas empresas fracassaram, ou mesmo não atingiram o sucesso previsto, em virtude de falhas na amostragem. O procedimento de amostragem deve obedecer vários critérios para que seja representativo do todo, para isso é seguido um cronograma e evita-se cometer alguns erros citados por vários autores nos diversos livros de mineração, a maneira de coletar, homogeneizar e quartear são alguns desses critérios que devem ser observados. Dependendo do minério pode ser feito amostragem em furos de desmonte de rocha, correia transportadora, pilhas, vagões ou caminhões e outros, sendo que estas também obedecem a parâmetros para que a amostra seja representativa do todo. Na Votorantim Cimentos (Unidade Xambioá) são feitas 2 amostragens no processo de lavra, são elas: a do pó de mina provindo da perfuração para posterior desmonte de rocha e a de correias transportadoras, sendo que cada uma delas deve obedecer parâmetros que estão escritos nos padrões operacionais que ficam armazenados no banco de dados da empresa.

REFERENCIAL TEÓRICO: De acordo com Possa e Luz (1984) uma das primeiras dúvidas que se tem em amostragem é a quantidade que deve ser amostrada, a partir da amostra com determinada massa e, através de sucessivas homogeneizações e quarteamentos, obter uma amostra reduzida. Levando isso em consideração pode-se classificar o tamanho da amostra em 3 tipos: Amostra com disponibilidade de informações; Amostra carente de informações e Amostra específica. De acordo com Possa e Luz (1984) esse tipo de amostra se aplica quando é possível dispor das informações: teor do mineral-minério, densidade do mineral-minério, densidade da ganga, malha de liberação do mineral-minério, estágios de amostragem necessários para o trabalho. Neste caso, emprega-se a fórmula de Pierre Gy. $M = \frac{m \cdot d^3 \cdot f \cdot I \cdot C}{A_{Tt}}$

Quando a amostra é carente de informações, caso mais frequente, principalmente em trabalhos de campo e até mesmo em laboratório, onde ainda não se dispõe ou até mesmo não se justifica a busca de informações, para aplicação de Pierre Gy. Nestas circunstâncias, sugere-se a utilização da tabela de Richards, onde os valores são em Kg. Amostra específica é usada quando se possui normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, como exemplos podemos citar o carvão e o ferro.

Erro total da amostra (E_a) segundo Goes *et al* (1991, 2010) é o somatório do erro de amostragem propriamente dito (E_{ap}) e do erro de preparação da amostra primária (E_p), para obtenção da amostra final.

Primeiramente para se obter uma boa amostragem segundo Goes *et al* (1991, 2010) é necessário evitar os erros de amostragem, que é o somatório de sete erros independentes envolvidos no processo de seleção da amostra primária, e provenientes, principalmente, da variabilidade do material amostrado. De acordo com segundo Goes *et al* (1991, 2010) o erro de preparação é o somatório de cinco erros independentes, provenientes das operações de redução de granulometria, homogeneização e quarteamento a que a amostra primária é submetida.

De acordo com Chieregati e Pitard (2011) a amostragem correta do material proveniente de furos de desmonte, ou pó de perfuratriz, é uma dificuldade constante para Geólogo e para o Engenheiro de Minas. Um dos problemas comuns é que uma pequena porção do material tende a voltar para o furo. Entretanto, o pior erro é utilizar um procedimento não-probabilístico de amostragem, tal como a seleção manual de amostras (por meio de uma pá, por exemplo). Este procedimento é incorreto e deve ser evitado.

De acordo com Chaves e Lima (2011) a amostragem incremental se refere ao recolhimento periódico de incrementos de um fluxo de material, incrementos estes que serão compostos para formar a amostra. O local deste recolhimento pode ser um transportador de correia, a transferência de um transportador para outro, calhas, tubos etc. A massa do incremento m_1 , em quilogramas, a ser coletada por um amostrador primário do tipo cortador do fluxo é expressa por: $m_1 = v_{\text{vazão}} \cdot a_{\text{abertura}} \cdot \text{cortador} \cdot \text{fluxo} / 3,6 \cdot v_{\text{velocidade}}$ do cortador.

A amostragem constitui a primeira e uma das mais importantes tarefas no controle de uma usina ou de uma mina. Os materiais a serem amostrados chegam, às vezes, a centenas de toneladas. As amostras, por sua vez, não poderão passar de alguns quilos, no caso de análises granulométricas, ou de alguns gramas, no caso de análise química (BARBOSA, 2010).

Segundo o próprio Pierre Gy *apud* Chaves e Lima (2012), apenas três métodos a seco de redução de amostras são confiáveis: o da pilha prismática alongada, o do divisor Jones e o do padejamento alternado. Todos os demais, inclusive o célebre método do “cone and quartering”, normatizado pela ASMT, introduzem erros em maior ou menor extensão, devendo por isso ser evitados.

A representatividade de uma amostra ocorre quando existe a combinação da acuracidade e da reprodutibilidade. A acuracidade pode ser entendida como sendo a minimização do erro sistemático da amostragem. A reprodutibilidade ou precisão é a medida da dispersão dos resultados de qualidade obtidos para um mesmo lote (Mwasinga, 2000 *apud* Revista escola de minas v.55, n. 3, p. 229-233).

Além disso, uma das regras básicas da teoria da amostragem continua sendo desconsiderada por muitas Normas Técnicas (ISO 1998a e 1998b; ASTM 1996). Essa regra prega que qualquer partícula componente do lote deve possuir a mesma probabilidade de ser coletada e pertencer à amostra que servirá para a realização do controle de qualidade. A amostragem que segue essa regra é considerada estatisticamente correta. Dessa forma, é possível estimar, para qualquer resultado de controle de qualidade, uma faixa de erro devida a fatores relacionados à variabilidade do material particulado. (Revista Escola de Minas v.55, n. 3, p. 229-233).

AMOSTRAGEM NA VOTORANTIM CIMENTOS: De acordo com os padrões operacionais para o controle de qualidade da mina utilizada na Votorantim Cimentos (Unidade Xambioá), são feitos 2 amostragens no decorrer do processo de lavra e beneficiamento: amostragem do pó de mina (perfuratriz) e amostragem da correia transportadora (utilizada para representar as pilhas), depois de identificadas essas amostras vão para o laboratório onde será feito a sua preparação para então fazer análise de Raios-X.

Segundo o padrão operacional (P093863), o procedimento de coleta do pó de mina pode ser realizado pelo operador de perfuratriz ou técnico de mineração devidamente treinado. No momento da perfuração é realizada conjuntamente a coleta do pó de mina, de acordo com o avanço da haste no calcário a mesma vai gerando um pó que é coletado por um amostrador, sendo que deve-se observar continuamente se o material está sendo depositado dentro do amostrador e o operador deve ter o cuidado de não passar com o equipamento sobre as amostras de outros furos já realizados.

Devido alguns fatores específicos da mina a quantidade de material a ser amostrada teve que ser reduzida e então é realizada uma metodologia de coleta diferente do que a exigida no padrão operacional. Os fatores que influenciaram para que essa quantidade a ser amostrada fosse reduzida foram: tempo que o laboratório leva para entregar as análises (com uma menor massa se tem a garantia da entrega dos resultados das

análises químicas dos fogos antes de seu desmonte), dificuldade de coleta e de transporte das grandes massas de amostra quando havia uma grande quantidade de furos.

Então foi adotada desde o começo da operação da mina a seguinte sistemática: ao perfurar os furos para desmonte a perfuratriz forma uma pilha cônica constituída pela deposição natural do pó expelido pelo ciclone frontal e pelo coletor de pó. O amostrador é formado por um tubo de PVC com diâmetro de 100 mm e comprimento suficiente para ser introduzido no centro da pilha e chegar ao seu fundo (Figura 9), posteriormente faz-se um giro no tubo e condiciona-se todo o material em sacos plásticos, que possuem tamanho suficiente para conter todo o material amostrado.

A amostragem na correia transportadora é feita com o uso de uma pá, saco plástico, etiqueta, caneta e tiras para fixar o saco plástico. O Padrão operacional (P089033) diz que o processo a ser seguido é parar a correia, definir adequadamente o local de amostragem (ponto de 1 metro de comprimento independente da massa), posteriormente é coletado o calcário com uma pá metálica colocando-se o material em sacos plásticos que serão etiquetados e amarrados de acordo com o padrão. Por último esse material deve ser encaminhado ao laboratório que fará as análises necessárias.

A preparação de amostra é feita de acordo com o padrão operacional (P091410) que tem como título: “Confecção de pastilha prensada para análise no espectrômetro de raio-x” e como objetivo estabelecer uniformidade no preparo de pastilhas prensadas. A moagem da amostra é feita apenas com o material que vem da correia, pois sua granulometria não esta adequada para confecção da pastilha. A homogeneização da amostra é feita com o saco fechado ou com o pote já tampado, primeiramente faz-se movimentos circulares no saco na posição horizontal durante 1 minuto. Em seguida é realizada a pesagem da amostra: coloca-se o recipiente de pesagem na balança, tara a balança, abre-se o saco ou o pote com a amostra já homogeneizada e pesa-se no 13g de calcário e acrescenta-se 1,5g de amido, e então é feito a prensagem do material a 250KN em uma prensa hidráulica. Por último a pastilha é identificada com pincel pilot e feito a leitura da pastilha prensada, que é realizada no aparelho de Raio-X S4 Bruker ou no Axios utilizando a curva especifica para cada material. Em caso de indisponibilidade deste equipamento, ler no Twin-x (aparelho de Raio-X que leva mais tempo para analisar a amostra).

Como já foi citado anteriormente a VC possui 2 processos de amostragem no processo de lavra e beneficiamento da mina, sendo que os principais contaminantes que são controlados neste processo são MgO (deve ser menor que 2%, pois acima disso não reage no clínquer e é liberado como preclásio no cimento). E SO_3 (quanto menores os valores de concentração melhor), existe calcários com teor de SO_3 próximo ou até maior que 1%. Os danos de excesso de SO_3 são: maior índice de colagens da caixa de fumaça, maior emissão de SO_x , queda de C3S, diminuição de consumo de Gesso no cimento.

De acordo com os dados disponibilizados pela empresa foi possível realizar alguns cálculos estatísticos referentes ao MgO e o SO_3 . Definimos um intervalo de variação para a média com um nível de confiança de 95%, o IC será aplicado para as análises de MgO e SO_3 (como já foi citado, tem maior relevância para o estudo) na CT e no FD, assim poderemos comparar os intervalos para então afirmar se estatisticamente há alguma discrepância entre os mesmos. E o resultado para o intervalo do MgO na correia transportadora foi $P(1,28\% \leq \mu \leq 1,44\%) = 95\%$, já no pó de mina foi $P(1,31\% \leq \mu \leq 1,49\%) = 95\%$. Portanto estatisticamente não podemos afirmar que as duas técnicas de amostragem analisadas se diferenciam, pois os intervalos das médias se sobrepõem. No caso da sílica como se era de esperar a conclusão foi a mesma, com o o intervalo para correia transportadora de $P(0,02\% \leq \mu \leq 0,04\%) = 95\%$ e para o pó de mina de $P(0,02\% \leq \mu \leq 0,04\%) = 95\%$, sendo que os dados necessários ao cálculo foram obtidos nas tabelas abaixo.

Tabela 1 – Resultados referentes as análises de pó de mina

Descrição	SiO ₂	MgO
Média	3,01	1,4
Desvio Padrão	2,43	0,45
Variância	0,33	0,00
Máximo	11,72	2,82
Mínimo	0,79	0,47

Fonte: Próprio autor da pesquisa

Tabela 2 - Resultados referentes as análises de correia transportadora

Descrição	SiO ₂	MgO
Média	1,96	0,11
Desvio Padrão	0,59	0,03
Variância	5,86	0,20
Máximo	3,05	0,18
Mínimo	0,69	0,06

Fonte: Próprio autor da pesquisa

CONSIDERAÇÕES FINAIS: De acordo com os dados levantados vários fatores influenciam na técnica de amostragem e na precisão requerida por determinado empreendimento mineiro, podemos citar a influência do método de lavra, tipo de minério, valor econômico, características do corpo de minério e entre outros.

Portanto deve-se observar de acordo com o grau de informações que se tem do minério, a massa mínima a ser amostrada, os locais do processo de beneficiamento que necessitam desse procedimento e sempre evitar o erro total de amostra, lembrando que devido não haver normas regulamentadoras para a amostragem da maioria dos minérios, pode haver outros métodos que calculem as massas de amostra e incremento ou outra qualquer citada neste trabalho.

As técnicas usadas podem ser classificadas como uma derivação de uma nova técnica, pois devido ao tipo de minério (calcário), qualidade que a jazida possui (pequena variação dos teores dos compostos químicos nas amostras), os dados que já se obteve na fase de pesquisa e a pré-análise visual usada, o planejamento de mina já estima um pré-resultado fictício que tem boa precisão, e serve como um bom parâmetro no controle de qualidade usado. Sendo que se analisarmos a amostragem do pó de mina podemos observar que o material amostrado é proveniente de todo o furo.

Portanto podemos dizer que os procedimentos adotados pela empresa atendem as necessidades do controle de qualidade que a fábrica de cimentos exige. Sendo que os resultados estatísticos comprovaram que os valores das médias amostrais tem adequada representatividade da população, e que a média populacional do furo de desmonte de rocha representa melhor à média, mas a média da correia não deve ser descartada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: ANDERE, M.B *et al.* **Teoria e prática da amostragem tratamento de minérios**, Ouro Preto, 2008.

ARIOLI, Edir Edemir. **Amostragem litológica na prospecção mineral e no mapeamento geológico**, Curitiba, 2006.

BARBERI, Pedro Alberto; REIS, Marcelo Menezes; BORNIA, Antonio Cezar. **Estatística para cursos de engenharia e informática**. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2010.

BARBOSA, Juvenal José. **Avaliação do processo de amostragem do rom da mina de fábrica nova**, Ouro Preto – MG, 2010.

CATÁLOGO ABNT. Associação Brasileira de normas técnicas. Disponível em <<http://www.abntcatalogo.com.br/>>. Acesso em 24 de junho de 2014.

CHAVES, Artur Pinto; LIMA, José Renato Baptista de. Amostragem. In: CHAVES, Artur Pinto *et al.* **Manuseio de sólidos granulados**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012, v. 5, cap. 6.

CHIEREGATI, Ana Carolina; PITARD, Francis F.. Fundamentos teóricos de amostragem. In: CHAVES, Artur Pinto *et al.* **Manuseio de sólidos granulados**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012, v. 5, cap. 7.

GOES, Maria Alice C.; LUZ, Adão Benvido da; POSSA, Mario Valente. **Tratamento de minérios**, 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

GÓES, Maria Alice Cabral; POSSA, Mario Valente; LUZ, Adão Benvido da. **Amostragem de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM, 1991.

GRIGORIEFF, Alexandre; COSTA, J. F. & KIPPE, J. O problema da amostragem na indústria mineral. **Revista Escola de Minas**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, v.55, n. 3, p. 229-233, set. 2002.

LEITE, Flavio. **Amostragem analítica em laboratório**. Revista Analytica, N° 06, agosto/setembro 2003.

LIMA, Bruna Elque Rodrigues de. **Relatório de estágio**. Palmas-TO, 2013.

POSSA, Mário Valente; LUZ, Adão Benvindo. **Amostragem para processamento mineral**. Rio de Janeiro: CETEM, 1984.

SANTOS, Rubens Tavares de. **Tratamento de minério em laboratório**. Mariana – MG: Dom viçoso. 1. ed. 2008.

VALADÃO, George Eduardo Sales; ARAUJO, Armando Corrêa de. **Introdução ao tratamento de minérios**. Belo Horizonte: UFMG, 2012.

VALENTE, Jorge Manuel G.P. **Avaliação, classificação e certificação de recursos e reservas minerais**. Instituto de educação e tecnologia. Belo Horizonte, 2010.