

SISTEMA LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO APLICADO NA DETERMINAÇÃO DE VOLUMES DE PILHAS DE MINÉRIO: ESTUDO COMPARATIVO

Sebastião Ribeiro JÚNIOR¹ & Carlos Antônio Oliveira VIEIRA²

(1) - Instituto Federal Minas Gerais, Campus Ouro Preto, Departamento de Mineração, Rua Pandiá Calógeras 898, Bauxita, Ouro Preto, MG, CEP 35400-000, Telefone 31-35592248

Email: srjunior2000@yahoo.com.br

(2) - Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, Departamento de Geociências, Trindade, Florianópolis, SC, CEP 88040-900, Cx. Postal 476, Telefone 48-3721-8593

Email: carlos.vieira@ufsc.br

Introdução
O Sistema Laser Scanner Aerotransportado
Área de Estudos / Parceria
Metodologias
 Dados GPS
 Dados LSA
Resultados
Análises
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO: A tecnologia *Laser Scanner* revolucionou a forma de coletar e registrar informações topográficas bem como de detalhes construtivos. Sua aplicação, em função de suas características, tem se expandido às mais diversificadas áreas.

Este artigo apresenta uma aplicação do sistema *Laser Scanner* Aerotransportado (LSA) na coleta de dados para a geração de Modelos Digitais de Terrenos (MDT), destinados à determinação de volumes de pilhas de minério estocado.

A maioria das pilhas apresenta conformações físicas bastante irregulares, com pontos de difícil acesso, comprometendo assim, a segurança dos operadores responsáveis pela coleta de dados em campo, quando se utiliza técnicas diretas de levantamentos como, por exemplo, a tecnologia GPS (*Global Positioning System*).

Foram realizadas coletas de dados em campo, utilizando as tecnologias GPS e LSA, e observados alguns parâmetros variáveis que podem influenciar nos resultados e/ou nos processos operacionais.

Os resultados obtidos pelo emprego das duas tecnologias são analisados e comparados, e também relacionados aos valores advindos do processo produtivo da mina, mostrando que os levantamentos pelo LSA apresentam algumas vantagens, como um alto rendimento, um maior detalhamento nos MDT e uma maior segurança ocupacional.

Palavras-chave: *Laser Scanner*, Volumes de minério, GPS, Mineração.

ABSTRACT: Laser Scanning technology has revolutionized the way of collecting and recording topographical information and construction details. Its application, due to its characteristics, has expanded toward the most diverse areas.

This paper presents an application of the Airborne Laser Scanning System (LSA) in the data collection for Digital Terrain Models (DTM) to determining the volumes of ore stockpiles.

Most piles present very irregular shapes, with difficult access points, which compromise the safety of operators responsible for data collection in the field, when using direct survey techniques such as GPS technology (*Global Positioning System*).

Data were collected in the field using LSA and GPS technology, and some variable parameters were observed, which can influence the results and/or the operational processes.

The results obtained from the two technologies are both analyzed and compared as well as related to values coming from the mining production process, which show that the surveys through the LSA have some advantages such as a high yield, a more detailed DTM, and higher occupational safety.

Keywords: Laser Scanning, Ore volume, GPS, Mining.

INTRODUÇÃO

Na maioria das minerações, os volumes de grandes massas são determinados baseados em levantamentos topográficos que utilizam a tecnologia GPS. Porém, existem vários fatores que influenciam nos processos de coleta de dados e nas respostas obtidas, interferindo assim, na confiabilidade dos resultados.

No caso específico deste artigo, que trata da determinação dos volumes de minérios estocados, são apresentadas como exemplo desses fatores, as variadas conformações físicas das pilhas de minério e a segurança dos operadores nas atividades de campo.

As pilhas de minério dispostas no pátio de estocagem, a todo o momento, assumem

formas bastante irregulares em função da constante dinâmica ali presente, com entradas e saídas de materiais.

A maioria dessas pilhas apresenta pontos de difícil e inseguro acesso, que devem ser levantados topograficamente para a definição correta do Modelo Digital do Terreno (MDT). Muitos desses pontos não são levantados quando se aplica a tecnologia GPS e suas ausências nos levantamentos alteram os MDT e conseqüentemente, os seus volumes.

O SISTEMA LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO

O sistema *laser Scanner* é projetado para a obtenção das coordenadas tridimensionais de pontos de uma superfície, além do registro das dimensões, da cor natural e textura dos objetos alvos e das intensidades dos pulsos *laser* refletidos de milhares de pontos por segundo (CENTENO & MITISHITA, 2007).

Fisicamente, o sistema *Laser Scanner* Aerotransportado é constituído por um Sensor *Laser*, 01 Câmera fotográfica métrica digital, 01 Receptor GPS Geodésico L1/L2 (a bordo da aeronave), 02 Receptores GPS Geodésicos L1/L2 (em solo), 01 *Notebook* para controle do sistema aerotransportado e *Desktops* para processamento dos dados. Fazem parte também do sistema *softwares* específicos de controle dos trabalhos de campo e para tratamento de dados.

O sistema é instalado em uma plataforma móvel, geralmente uma aeronave, que sobrevoa a superfície do terreno, obtendo assim, dados necessários para a modelagem tridimensional da superfície. No solo e em tempo real, o componente principal é o receptor GPS de base que é usado para georeferenciamento e pós-processamento dos dados do GPS da aeronave (DALMOLIN & SANTOS, 2004).

De acordo com Botelho *et al.* (2005), o sistema funciona baseado na utilização de

Torna-se assim, extremamente importante avaliar e comparar outras técnicas de coleta de dados, utilizando-se ferramentas de levantamento por sensoriamento remoto.

Diante deste contexto, este trabalho tem por objetivo analisar os resultados da aplicação da tecnologia *Laser Scanner* Aerotransportado (LSA) na coleta de dados para a determinação de volumes de pilhas de minério e compará-los com os resultados obtidos pela aplicação da tecnologia GPS para os mesmos fins.

pulsos de *laser*, disparados na direção da superfície terrestre e de objetos, e na captação dos pulsos refletidos dos mesmos sem a necessidade de utilização de refletores. Dados como, intensidades dos pulsos e intervalo de tempo (*Time of Flight*) entre a emissão e recepção dos pulsos, são registrados, permitindo com isso que se tenha o posicionamento tridimensional dos pontos alvos. O conjunto desses dados tridimensionais é geralmente denominado nuvem de pontos, pois pode ser representado por uma densa concentração de observações no espaço tridimensional.

Segundo Rivas & Brito (2003), a partir dos dados obtidos pelo *Laser Scanner*, além de outros produtos, é possível construir o modelo digital de elevação (MDE), obtendo-se as alturas dos objetos presentes na região escaneada, e o modelo digital do terreno (MDT), produto importante e fundamental para a determinação de volumes físicos.

Simultaneamente à varredura a *laser*, fotos aéreas da região mapeada são obtidas, de acordo com as definições de parâmetros configurados no planejamento de voo.

Todos os dados obtidos pelo sistema, ou seja, os pontos escaneados, as leituras GPS do trajeto de voo, as leituras GPS da base de amarração em solo e as fotos aéreas são pós-processados.

ÁREA DE ESTUDOS / PARCERIAS

Os levantamentos de campo foram realizados no pátio do embarcadouro da mina

de Alegria da companhia Vale, situada no Município de Mariana, Estado de Minas Gerais.

Os dados de GPS foram coletados pela equipe de topografia da mina de Alegria (Vale) e a técnica LSA foi aplicada pela empresa Geoid Aerolevantamentos, parceiras neste trabalho.

A mina de Alegria, geologicamente, é representada pelo domínio de itabiritos da Formação Cauê, do Grupo Itabira, que neste local atinge a sua maior potencia aparente de 2.000 metros. As massas de minério são classificadas como corpos de hematita (com teor de ferro maior ou igual a 64%) e corpos de itabiritos ricos (com teor de ferro entre 60% e 64%). Esses são preservados da erosão por uma cobertura de canga formada sobre eles (BARCELOS & BÜCHI, 1986).

A lavra é executada pelo método a céu aberto, com desenvolvimento vertical, em

bancadas de 10 metros de altura e bermas com largura de 6 metros em *pit* final.

Os produtos das instalações da mina de Alegria são armazenados no pátio do embarcadouro, em pilhas definidas por tipo de minério e granulometria. O pátio tem capacidade de estocagem de 1,5 milhões de toneladas, situado junto à pêra ferroviária da Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM), também de propriedade da Vale.

As movimentações no pátio de estocagem são constantes, havendo disposição e carregamento/embarque de materiais 24 horas por dia. As disposições de minérios são feitas por meio de correias transportadoras e por caminhões e os carregamentos / transporte por meio de carregadeiras e vagões ferroviários.

METODOLOGIAS

Para se determinar o volume das pilhas de minério estocado é necessário que se desenvolva uma Modelagem Digital do Terreno (MDT) na situação atual e a compare com modelos definidos em épocas anteriores, antes da disposição dos materiais. Para tanto, é necessário que se proceda no campo, o levantamento topográfico de todos os pontos que definem a conformação física das pilhas de minérios.

Foram desenvolvidos levantamentos de campo, utilizando-se as tecnologias GPS e LSA, com o objetivo de se determinar os MDT atuais das pilhas de minério e, a partir desses, determinar seus volumes.

Os resultados volumétricos são analisados e comparados, assim como alguns parâmetros operacionais variáveis que influenciam nos resultados como: número de operários envolvidos na coleta de dados, tempo de coleta, número de pontos geradores do MDT, produtividade ou rendimento, custos de produção, segurança ocupacional e fechamento contábil.

Dentre os parâmetros analisados, o Fechamento Contábil de Estoque é definido, de acordo com o Procedimento de Consolidação e Conciliação de Fechamento Contábil da mina de Alegria e Timbopeba, como sendo o índice de variação entre o material medido em estoque e os dados contabilizados de produção e saídas de minério.

DADOS GPS

O desenvolvimento desse tipo de levantamento topográfico requer que o operador de campo GPS, tenha conhecimento e prática suficientes para saber escolher os pontos a serem levantados, identificando os detalhes existentes e constituindo as linhas que definem o “pé” (pontos mais baixos) e a “crista” (pontos mais altos) das pilhas e das bancadas de minérios, necessárias para a modelagem geométrica dos sólidos.

A coleta de dados se deu pelo sistema RTK (*Real Time Kinematic*) utilizando-se os receptores GPS *TRIMBLE* 4800, GPS *TRIMBLE* 5800 e GPS *TRIMBLE* R8. A Figura 01 ilustra a coleta de dados pelo sistema GPS.



Figura 01 - Levantamento GPS para cálculo de volume de minério.

Após a coleta de todos os dados em campo, esses são tratados por aplicativos específicos, como o Excel e *Datamine*, gerando um arquivo de mapa que é a base para a geração do Modelo Digital do Terreno (MDT) atualizado, das pilhas de minério.

A Figura 02 mostra a representação em mapa, das pilhas de minério denominadas “D” e “E” onde, as linhas em cor azul representam os limites de cada pilha, as em cor vermelha representam as linhas de “crista” e na cor verde as linhas intermediárias e linhas do plano da base do pátio.

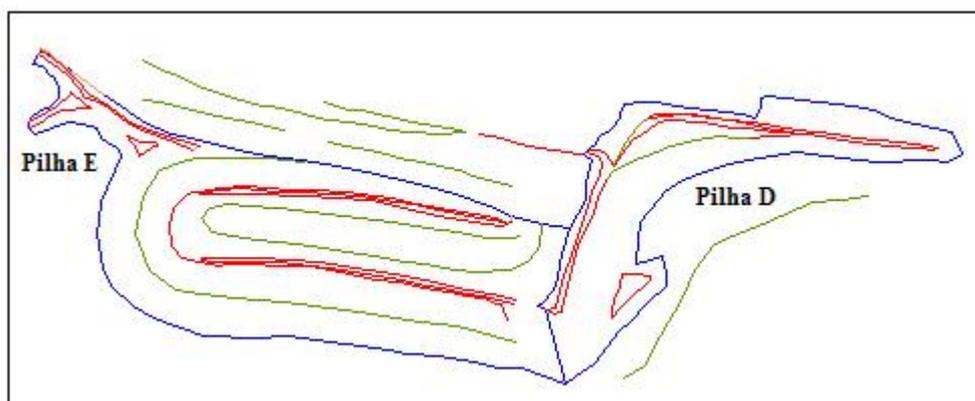


Figura 02 - Representação das pilhas “D” e “E” levantadas por GPS -

Pelo aplicativo *Topograph-98SE*, foram promovidas as gerações dos modelos digitais das pilhas de minério de maneira individual, respeitando os limites de cada pilha, através de redes irregulares de triangulação (TIN) por aplicação da técnica de triangulação Delaunay.

Sobre cada MDT obtido, também utilizando o *software Topograph-98S*, foi

gerada uma malha regular (0,20 x 0,20 m) e então, promovida a comparação entre os dois modelos digitais atual e primitivo, gerando assim, seus volumes. A Figura 03 ilustra o MDT de uma pilha de minério do pátio do embarcadouro da mina de Alegria, gerada a partir de pontos levantados pela tecnologia GPS.

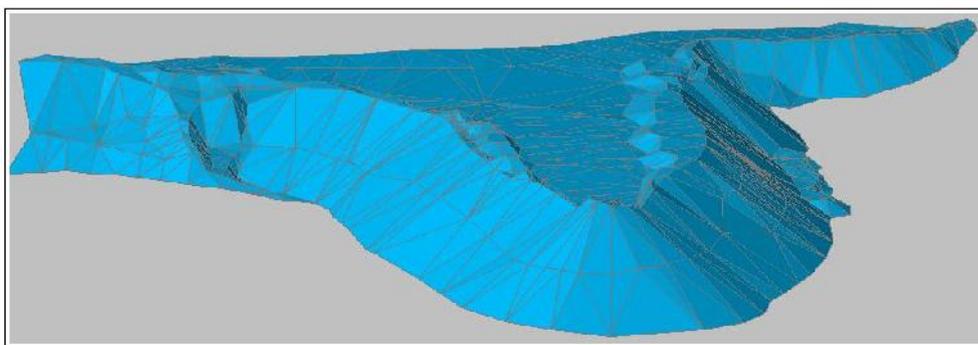


Figura 03 - MDT da pilha “U” de minério da mina de Alegria.

DADOS LSA

Os trabalhos de um aerolevanteamento *laser* compreendem três etapas: os serviços de campo, o sobrevôo à área e a etapa de processamento dos dados.

Em campo, sobre um marco georeferenciado, é instalado um aparelho GPS para a coleta de dados, pelo método estático, necessários para o pós-processamento dos dados GPS da aeronave e para o georeferenciamento dos pontos coletados pelo sistema *Laser Scanner*. Caso na região, não existam marcos georeferenciados, é necessário que se proceda o transporte de coordenadas, definindo assim, uma base de referencia. São também coletados em solo, alguns pontos GPS

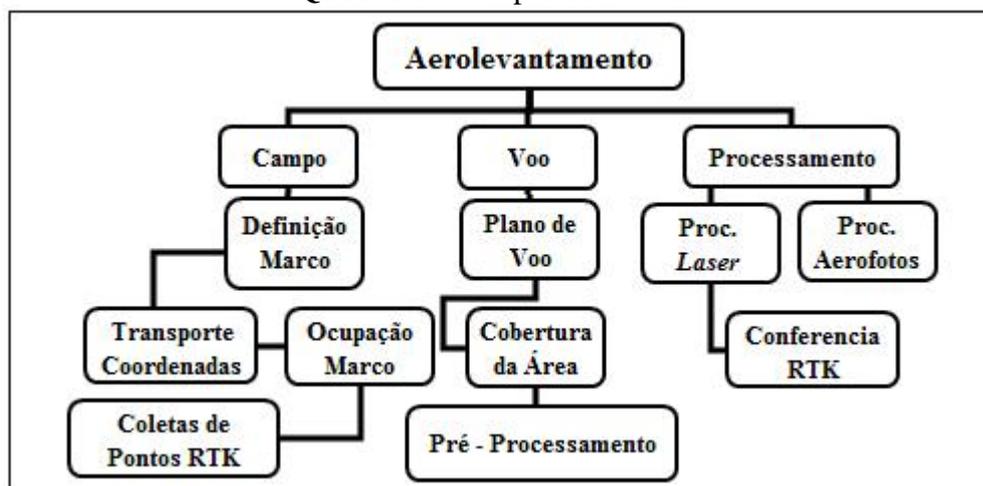
destinados a conferencia e validação dos pontos *laser*.

A etapa de sobrevôo compreende o plano de vôo, previamente definido em função das características e objetivos do trabalho e um pré-processamento durante o vôo, destinado à verificação da existência ou não de falhas operacionais do sistema *laser*. Se detectado algum tipo de falha no sistema, antes do pouso, é feita nova varredura à região.

A última etapa envolve o processamento dos dados GPS (solo e aéreo), dos pontos *laser* e das aerofotos, assim como, a obtenção do produto final (nuvem de pontos georeferenciada tridimensionalmente).

Essas etapas podem ser apresentadas pelo fluxograma constante do Quadro 01.

Quadro 01 - Etapas de um LSA



Fonte: Geoid Aerolevanteamentos

Os dados de LSA foram adquiridos utilizando um sensor *Laser* Optech modelo 3100EA, que foi operado a partir de uma aeronave Sêneca II - EMBRAER 810 C.

O vôo foi realizado a uma velocidade média de 203,72 km/h, com altitude de 3000

pés (914,4 metros), frequência de repetição do pulso de 70 kHz, ângulo de varredura de 8,8°, varredura do tipo “zig-zag” e frequência de perfilamento de 59,2 Hz.

Durante a realização do sobrevôo, o receptor GPS Geodésicos *Trimble* Modelo 5700

L1/L2 permaneceu instalado sobre o marco VT28 de coordenadas UTM E = 657.309,853 N = 7.768.698,051 e H = 933,637, situado na mina de Alegria.

Todos os dados coletados são gravados em arquivos específicos para posterior processamento pelo *software PosPac*, gerando um arquivo GPS do sistema *laser*, que define a trajetória de vôo de varredura *laser*.

A nuvem de pontos levantada pelo *Laser Scanner* é gerada utilizando-se o *software*

DASHMap, a partir dos dados brutos do escaneamento, do arquivo de calibração do equipamento e do arquivo GPS de varredura *laser*.

Após a identificação dos pontos coletados e a eliminação daqueles sobrepostos e também dos correspondentes a elementos acima do solo (vegetação, equipamentos etc.), se obteve a nuvem de pontos que representa exclusivamente o relevo da região, como apresentado pela Figura 04.

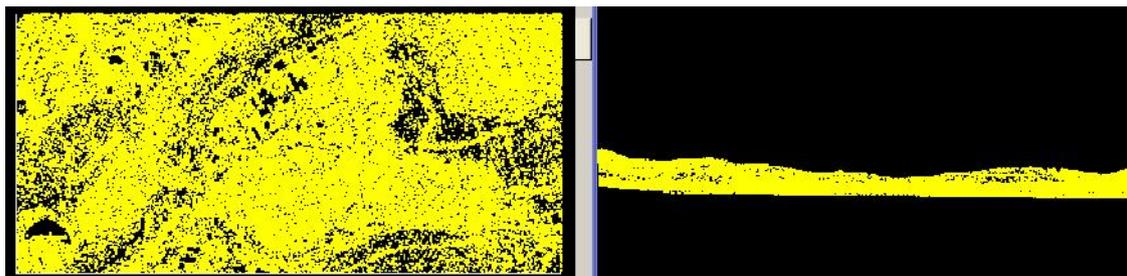


Fig. 04 – Nuvem de pontos *Laser* que representam o relevo

Assim como se procedeu na geração do MDT com os dados GPS, neste caso também, as pilhas de minério foram individualizadas através de seus limites e, pelo *software AutoCad Civil 3D 2010*, foram

gerados os MDT das pilhas de minério, como exemplificado pela Figura 05.

Os volumes das pilhas de minérios foram obtidos por comparação entre os MDT atuais e os seus respectivos MDT primitivos.

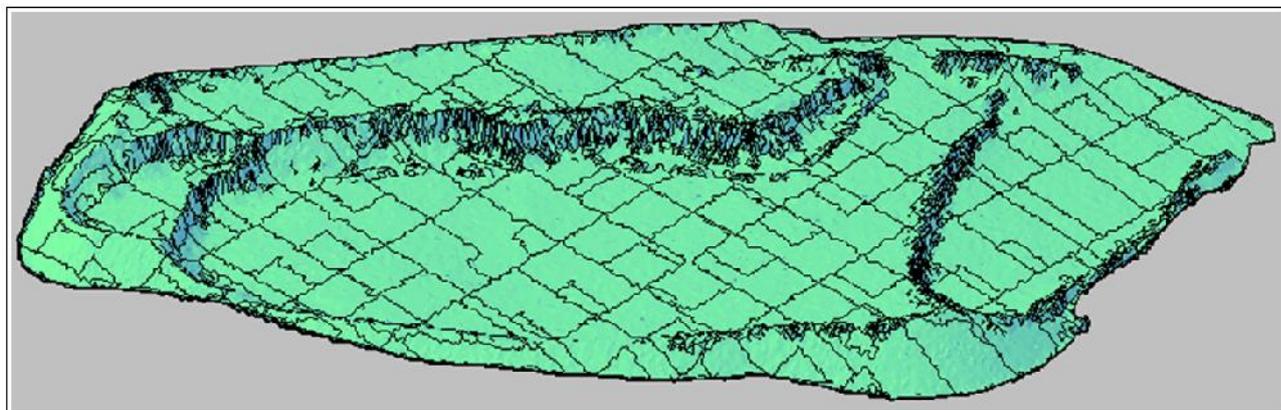


Fig. 05 - MDT da pilha “Mineirinho” de minério, gerado a partir dos dados LSA.

RESULTADOS

São apresentados como resultados, os valores dos volumes totais obtidos, considerando-se todas as pilhas de minério do pátio do embarcadouro e aqueles de maior e menor variação (Quadro 02), assim como, uma

comparação entre variáveis operacionais dimensionadas na aplicação das tecnologias GPS e *Laser Scanner* Aerotransportado. (Quadro 03).

Quadro 02 - Volumes obtidos GPS / LSA

Medição Topográfica em m ³					
Unidade Produtiva - Alegria					
Pilha	GPS	LSA	Variação		
			m ³	%	
CD	37.097,95	29.768,41	7.329,54	19,76%	Maior
I	17.690,87	17.736,67	45,80	0,26%	Menor
Medição Total	386.550,33	371.331,18	15.219,15	3,94%	

Quadro 03 - Características Operacionais GPS / LSA

Ordem	Parâmetro Variável	Tecnologia	
		GPS	LSA
1	Nº de pessoal (op)	11	3
2	Tempo coleta de dados (h)	3,625	1,417
3	Nº pontos - MDT (pt)	5.387	26.063
4	Produtividade [pt/(op * h)]	135,08	6.132,47
5	Custo de Produção (US\$)	128.571,43	950.228,57
6	Segurança Ocupacional (%)	2,51	23,53
7	Fechamento Contábil (%)	1,85	-1,99

✓ A Produtividade é medida pela relação entre o número de pontos geradores do MDT e o produto do número de operadores pelo tempo de coleta dos dados. ($P = n^{\circ} \text{ pontos} / (n^{\circ} \text{ de operadores} \times \text{tempo de coleta})$);

✓ O Custo de Produção corresponde àquele, relativo a uma prestação de serviços contratado junto a uma empresa especializada - (Contrato por um ano, equivalente a 24 levantamentos. Valores em dólar americano);

✓ A Segurança Ocupacional (SO) é avaliada como a relação inversamente

proporcional ao produto tempo de coleta e número de operários expostos ao risco no ambiente da mineração.

$SO = 1 / (n^{\circ} \text{ de operadores} \times \text{tempo de coleta})$

✓ Fechamento Contábil - Diferença entre os estoques de minério medidos e aqueles apurados considerando as produções e vendas.

Fechamento Contábil = $[\text{Estoque medido} - (\text{produção} + \text{estoque anterior} - \text{saídas})] \%$.

ANÁLISES

Em relação aos trabalhos executados e resultados obtidos, verifica-se que:

✓ As variações nos valores dos volumes obtidos podem ser consequência das irregulares formas geométricas das pilhas e conseqüentemente, dos diferentes graus de detalhamento nos modelos gerados;

✓ A coleta de dados por GPS envolveu um maior quantitativo de pessoal (11) na área de operação do embarcadouro, propiciando com isso, uma maior exposição humana em área de grande movimentação de máquinas pesadas, ao

passo que, a coleta de dados por LSA necessitou da presença de apenas um operador em solo, para instalação do GPS na base de referencia e dois operadores a bordo da aeronave;

✓ O tempo de coleta de dados GPS superou em 2,55 vezes o tempo utilizado pelo LSA;

✓ A aplicação da técnica LSA gera um MDT a partir de uma densa nuvem de pontos coletados, aumentando com isso o detalhamento das feições, enquanto que a coleta

de dados por GPS está limitada à percepção do operador de campo na escolha dos pontos e à segurança física do mesmo, o que pode alterar significativamente os resultados da informação da geometria das pilhas e, conseqüentemente, os resultados do volume;

✓A tecnologia LSA se apresenta com uma produtividade 45,4 vezes maior que a do GPS, porém, os custos operacionais do GPS são 7,39 vezes menores que os do LSA;

✓Devido à necessidade da presença do operador GPS em cada ponto a ser levantado,

este está sujeito a variadas situações de risco, em função das conformações físicas irregulares das pilhas e da não interrupção dos trabalhos de carga e descarga de minério no local, o que não ocorre com o emprego da tecnologia LSA;

✓Em comparação com o fechamento contábil de estoque, as duas tecnologias apresentaram resultados satisfatórios, dentro da faixa de variação tolerável de (+-)2%, estabelecida pela companhia Vale.

CONCLUSÕES

A tecnologia *Laser Scanner* Aerotransportada, devido a suas características, apresenta-se como uma ótima alternativa para o cálculo de volumes de minério estocados.

O alto rendimento na coleta de dados, a alta precisão apresentada e a possibilidade de dispor de um volume considerável de dados altamente representativos da superfície de interesse, os quais podem ser facilmente

processados para obter MDT, são destacados como principais vantagens dos sistemas de varredura a *laser*. Porém, o custo de aquisição de equipamentos é bastante significativo, havendo, no entanto, empresas especializadas em prestação desses serviços, proporcionando soluções de acordo com os interesses dos clientes, dispensando assim a imobilização de capitais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Vale (Mina de Alegria) pelo acesso e cessão dos dados de levantamento GPS e a empresa Geoid Aerolevantamentos pelo levantamento LSA da área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARCELOS, J. P. & BÜCHI, J. Mina de Minério de Ferro de Alegria, Minas Gerais. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Volume II. Capítulo V. Brasília. 1986.
2. BOTELHO, M. F.; SILVA, C. R.; SCHOENINGER, E. R.; CENTENO, J. A. S. Comparação dos resultados de interpoladores "Vizinho mais próximo" e "Inverso de uma distância" no cálculo de volume a partir de dados do *Laser Scanner*. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil. 2005. INPE, p. 731-736.
3. CENTENO, J. A. S. & MITISHITA, E. A. *Laser Scanner* Aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. 2007. INPE, p. 3645-3652.
4. DALMOLIN, Q. & SANTOS, D. R. Sistema *LaserScanner*: Conceitos e Princípios de Funcionamento. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 3ª Edição. 2004.
5. GEOID Aerolevantamentos. Mapeamento a *Laser* para Projeto Executivo - Procedimentos. 2009.
6. Procedimento de Consolidação e Conciliação de Fechamento Contábil da mina de Alegria, Companhia VALE. PRO-0019-GAPGS - DIFS - Departamento de Ferrosos Sudeste. 2009.
7. RIVAS, R.A.N. & BRITO, J. L. N. S. A Tecnologia "*Laser Scanning*": Uma Alternativa Para o Mapeamento Topográfico. In: Anais XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte. Brasil. 2003.

Manuscrito recebido em: 06 de dezembro de 2011
Revisado e Aceito em: 09 de agosto de 2013