

Sensoriamento remoto aerotransportado como ferramenta de produtividade na mineração

Paulo Henrique Guerra Martins Torres (FUNCESI) paulohenrique.guerra@hotmail.com
Marcelo Ângelo Andrade (FUNCESI) marcelo.andrade@funcesi.br
Cristina José de Assis Souza (FUNCESI) cristina.assis@funcesi.br
Bruna de Carvalho Fonseca Lage (FUNCESI) bruna.lage@funcesi.br
Mara de Oliveira Lage Guerra (FUNCESI) mara_lage@hotmail.com

Resumo:

As frentes de lavra (a céu aberto ou subterrâneo), onde ocorre a extração de minério e estéril, são constantemente alteradas devido à lavra pelos equipamentos de carregamento e transporte. A técnica de levantamento topográfico, o GPS de alta precisão, é comumente utilizada pelos topógrafos para analisarem o local, tendo que andar a pé para executarem a atividade de campo. Dessa forma, equipamentos tecnológicos inovadores são essenciais para a melhoria contínua desse processo. O sensoriamento remoto aerotransportado é uma ferramenta de levantamento topográfico que faz uso de um veículo aéreo não tripulado (VANT) capaz de registrar fotografias aéreas georeferenciadas, tornando possível a extração de coordenadas geográficas da área levantada. Portanto, o objetivo deste estudo foi analisar as contribuições do sensoriamento remoto aerotransportado em levantamentos topográficos para a produtividade na mineração em relação ao método convencional GPS de alta precisão. A metodologia utilizada teve uma abordagem quantitativa, de forma descritiva, por meio da pesquisa de campo. O universo foi constituído por uma mineradora localizada na cidade de Itabira-MG e a amostra foi composta pela Mina de Dois Córregos, situada na mineradora. Os dados foram coletados através de análise documental. O critério de amostragem foi não probabilístico por tipicidade e os dados foram analisados através da estatística descritiva. Os dados evidenciaram que a técnica de levantamento topográfico através do sensoriamento remoto aerotransportado utilizando um VANT contribuiu para melhorias em termos de qualidade geométrica e maior nível de confiabilidade do “mapa topográfico digital”.

Palavras chave: GPS de alta precisão, Levantamento Topográfico, Sensoriamento Remoto Aerotransportado, VANT.

Airborne remote sensing as a productivity tool in mining

Abstract:

The mining fronts (the open or underground sky), where is the extraction of ore and stripping, are constantly changing due to mining by loading and transport equipment. The survey technique, the high-precision GPS, is commonly used by surveyors to examine the site, having to walk on foot to perform the field of activity. For this reason, innovative technological equipments are essential for the continuous improvement of this process. The airborne remote sensing is a survey tool that makes use of an unmanned aerial vehicle (UAV) capable of recording georeferenced aerial photographs, enabling the extraction of geographical coordinates of the raised area. Therefore, the aim of this study was to analyze the contributions of airborne remote sensing in surveying for productivity in mining over the conventional method of high precision GPS. The methodology used was a quantitative approach, descriptively, through field research. The universe consisted of a mining company located in Itabira-MG and the sample was composed by Mine Two Streams, located in mining. Data were collected through document analysis. The sampling criterion was not probabilistic typicality and the data were analyzed using descriptive statistics. The data showed that the survey technique through airborne remote

sensing using a UAV contributed to improvements in geometric quality and highest level of reliability "digital topographic map".

Key-words: High-precision GPS, Survey, Airborne remote sensing, UAV.

1. Introdução

Com a alta competitividade no mercado atual, as indústrias de extração mineral buscam cada vez mais o uso de tecnologias, objetivando retorno em produtividade e segurança para seus funcionários.

A técnica de sensoriamento remoto aerotransportado permite realizar levantamentos topográficos de forma a reduzir o tempo gasto nos levantamentos topográficos das frentes de lavra da mina. Diminui a exposição dos funcionários aos riscos de acidentes de trabalho, quando comparado à utilização da ferramenta GPS de alta precisão. Dessa forma, a ferramenta sensoriamento remoto aerotransportado tende a aumentar a segurança nos processos produtivos por evitar que os trabalhadores executem trabalhos repetitivos, monótonos ou considerados de risco.

O sensoriamento remoto é a arte da ciência pela qual se obtém informações sobre objetos ou fenômenos a partir de dados coletados sem estar em contato físico direto com tais objetos, pode ser usado para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas (JENSEN, 2011).

Assim, este estudo tem como objetivo analisar as contribuições do sensoriamento remoto aerotransportado em levantamentos topográficos para a produtividade na mineração em relação ao método convencional GPS de alta precisão.

2. Referencial Teórico

2.1 GPS

O GPS (*Global Positioning System*), que significa Sistema de Posicionamento Global, tem como função localizar um receptor na superfície terrestre que capture sinais emitidos por satélites em órbita na Terra e transforma-os em coordenadas, que podem ser registradas em qualquer local do Planeta Terra (LOCH e CORDINI, 2007).

Monico (2000) ressalta que para que seja alcançado o posicionamento em tempo real, é necessário que o receptor GPS reconheça pelo menos quatro satélites que estejam em órbita na Terra.

Segundo Jensen (2011), o sistema GPS é considerado a ferramenta mais utilizada pelos cientistas que buscam medidas precisas da localização de coordenadas cartesianas geocêntricas (x, y, z), as quais são transformadas em coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude), com custo-benefício relativamente baixo.

O nível de precisão dos resultados gerados pelo sistema GPS depende de alguns fatores, como quantidade de satélites a serem capturados pela ferramenta, posição dos satélites no momento da rastreabilidade do aparelho, tempo de captura e tipo de receptor a ser utilizado (LOCH e CORDINI, 2007).

Portanto, o levantamento topográfico com o uso do GPS consiste em obter coordenadas x, y e z do local desejado, para representação geométrica de parte de uma superfície terrestre. A coleta de dados (coordenadas) é realizada em campo e o tratamento dos dados normalmente é feita em escritório com a utilização de *softwares* específicos. Após o tratamento dos dados, é possível

visualizar a geometria da área estudada, de modo que quanto mais pontos forem coletados, maior será a precisão nos resultados, ou mais próxima da realidade (SOUZA, 2001)

Quanto ao uso do GPS, Jensen (2011) destaca como desvantagem o levantamento em áreas muito extensas e de pouca acessibilidade, uma vez que o operador com esse sistema deve percorrer toda a topografia do local onde deseja mapear e registrar as coordenadas para obter informações próximas da realidade.

2.2 Sensoriamento Remoto

Para Novo (1998), o sensoriamento remoto utiliza sensores capazes de obter energia proveniente de um objeto ou fenômeno e transformá-la em dados que podem ser registrados para a coleta de informações.

Florenzano (2013) relata que a energia capturada pelos sensores, a energia refletida (originada pelo sol ou alguma outra fonte de luz) ou emitida pela superfície terrestre, é transformada em sinais elétricos que são registrados e transferidos para as estações terrestres que recebem os dados, em forma de gráficos, imagens ou tabelas, para que se obtenha informações importantes sobre o fenômeno capturado.

Jensen (2011) destaca que os aparelhos de sensoriamento remoto registram em sua maioria, a radiação eletromagnética que se desloca a uma velocidade de $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ a partir da fonte, por meio do vácuo, tendo a eficiência consideravelmente elevada, devido à altíssima velocidade de coleta dos dados entre o sensor e o fenômeno capturado.

O alcance do sensor em relação à superfície terrestre varia, assim, são considerados três níveis de altitude, segundo Longhitano (2010): orbital (sensores acoplados em satélites), aéreo (sensores acoplados a aeronaves, sejam elas tripuladas ou não) e de campo/laboratório (onde os sensores são instalados em plataformas terrestres).

O sensoriamento remoto é capaz de adquirir diversas informações de objetos ou de áreas de interesse sem que o homem necessite de contato com o ambiente a ser sensoriado. Portanto, é possível aplicar a ferramenta em diversas áreas de risco ou áreas impossíveis de serem alcançadas por seres humanos.

A determinação de qual tipo de sensor a ser usado depende de fatores como: tamanho da área a ser sensoriada, precisão desejada nos resultados, custo e a disponibilidade de equipamentos sensores (SLOMPO, 2013).

A técnica de sensoriamento remoto pode ser utilizada em diferentes plataformas, uma delas é o veículo aéreo não tripulado (VANT). Em sensoriamento remoto, os VANT's, também conhecidos como *Drones*, normalmente são controlados por um operador dispondo de controle remoto a partir de uma base principal. A localização da aeronave durante todo o processo é reconhecida por meio de um GPS acoplado na aeronave. Para complementar o processo, é necessário que a aeronave disponha de uma câmera fotográfica, de preferência em alta resolução, para capturar imagens que podem ou não serem georeferenciadas, de acordo com cada objetivo (JENSEN, 2011).

Andrade (2013) ressalta que o levantamento topográfico realizado com VANT's pode ter menor custo que o método habitual e diminuir os riscos de acidentes de trabalho com as pessoas.

Segundo Ferreira (2013), os VANT's são inovações tecnológicas que podem “abrir as portas” para estudos da Terra de forma a obter informações com alto nível de qualidade e resolução de imagens.

3. Metodologia

A abordagem adotada neste trabalho foi quantitativa de forma descritiva, por meio de uma pesquisa de campo. A pesquisa documental foi feita em documentos de uso interno da mineradora em estudo, denominados “mapa topográfico digital” e fotografias aéreas registradas pelo VANT (veículo aéreo não tripulado). Com acesso ao *software VULCAN* do setor de planejamento de mina foi possível analisar e comprovar a precisão dos resultados no levantamento topográfico realizado nas frentes de lavra da Mina de Dois Córregos através do GPS de alta precisão e do sensoriamento remoto aerotransportado.

4. Análise dos dados

Neste estudo, foram abordadas as diferenças na estimativa de volume das frentes de lavra, levantadas através do uso de ferramenta GPS de alta precisão e o sensoriamento remoto aerotransportado.

Primeiramente, foi analisado o levantamento topográfico com o sistema GPS de alta precisão, posteriormente realizou-se a análise do levantamento com a técnica de sensoriamento remoto aerotransportado, e em seguida, foi realizada uma análise comparativa das ferramentas.

A Figura 1 representa, através do *software VULCAN*, o levantamento topográfico realizado com a ferramenta GPS de alta precisão em 09/06/2014, na Mina de Dois Córregos.

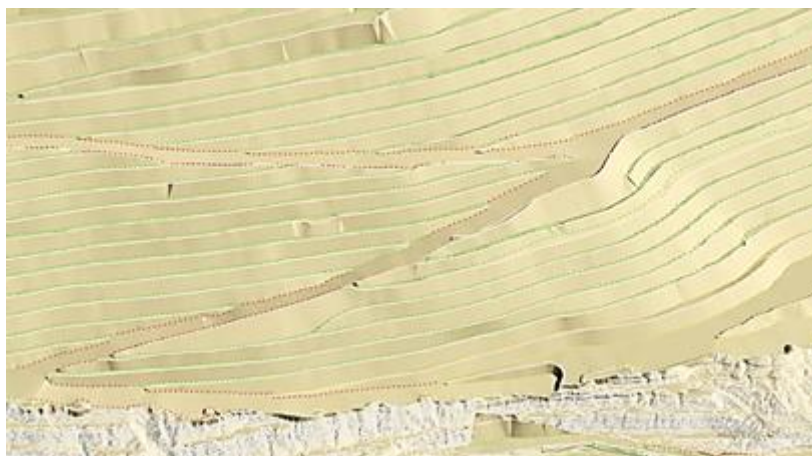


Figura 1 - Levantamento topográfico realizado com a ferramenta GPS de alta precisão.

As linhas verdes e amarelas pontilhadas representam o pé dos taludes, as linhas brancas concebem as cristas e as vermelhas simulam as bordas das estradas, onde trafegam os veículos fora de estrada na mina.

Para que seja possível realizar a comparação a respeito das diferenças na estimativa de volume das frentes de lavra, levantadas através da ferramenta GPS de alta precisão e o sensoriamento remoto aerotransportado, optou-se pela simulação de um plano de lavra, não aproveitado pela empresa, porém construído com parâmetros geotécnicos usuais (bermas = 10 m, altura de talude = 10 m e ângulo de face do talude = 45°). As bermas são plataformas horizontais entre um talude e outro, garantindo estabilidade e drenagem superficial aos taludes.

A Figura 2 destaca com a cor verde, o plano de lavra construído para calcular o volume do levantamento topográfico através do GPS de alta precisão. Após esse cálculo também foi

realizado uma análise com a ferramenta de sensoriamento remoto aerotransportado utilizando como base o mesmo projeto.

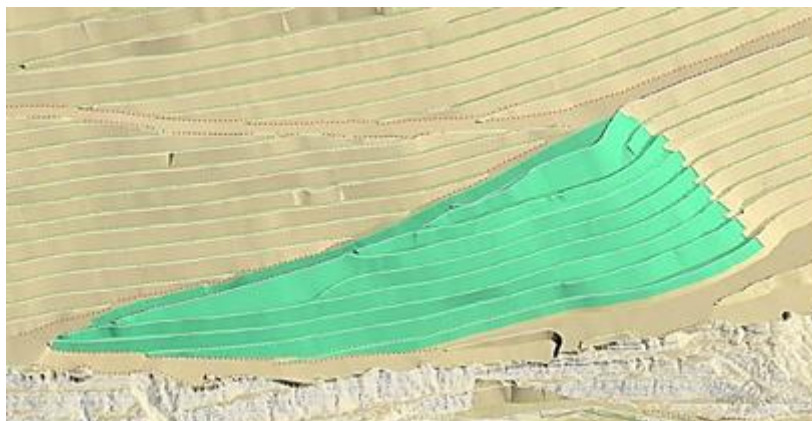


Figura 2 - Plano de lavra em topografia levantada com GPS de alta precisão

A ferramenta *Triangulation Volumes* do software *VULCAN* realizou o cálculo de volume dos sólidos (planos de lavra), proporcionando informações a respeito do número de pontos, número de triangulações, área e volume. O volume calculado do plano de lavra, de acordo com o software foi de 1.206.010 m³.

A Figura 3 aborda o mesmo local (Mina de Dois Córregos) da análise anterior e o mesmo plano de lavra (projeto), porém o levantamento topográfico foi realizado com a ferramenta sensoriamento aerotransportado através de um veículo aéreo não tripulado (VANT).

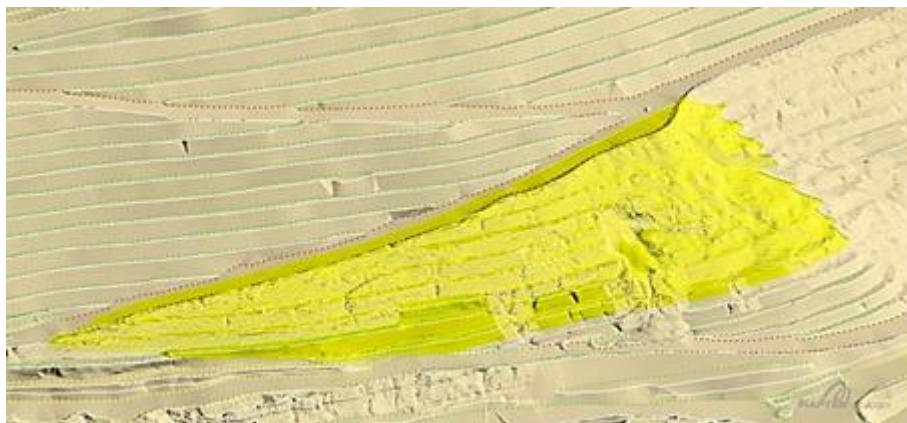


Figura 3 – Plano de lavra em topografia levantada com sensoriamento remoto aerotransportado

A data do levantamento topográfico foi em 08/06/2015, aproximadamente um ano depois do levantamento topográfico realizado com o GPS. A cor do projeto foi alterada intencionalmente para diferenciá-los.

É possível perceber diferenças na geometria dos taludes na parte onde foi realizado o plano de lavra quando comparado com o levantamento topográfico realizado com uso do GPS de alta precisão. A Figura 3 demonstra um nível mais detalhado no levantamento topográfico, quando utiliza o sensoriamento remoto aerotransportado como ferramenta de manuseio.

O volume calculado do projeto, de acordo com o *software VULCAN*, foi de 1.201.060 m³. A diferença do volume calculada através das duas ferramentas de levantamento topográfico foi de 4.950 m³, representando 0,41%.

Tal diferença aparenta ser pequena e insignificante em relação a comparação visual feita entre as duas imagens da frente de lavra da Mina de Dois Córregos, uma vez que as imagens demonstram estarem geometricamente diferentes devido a escorregamentos de face ocorridos durante o período de um ano.

Para a obtenção de melhores conclusões a respeito das diferenças de volume, foi realizado um novo comparativo entre os levantamentos topográficos realizado com o GPS de alta precisão e o sensoriamento remoto aerotransportado, porém focado diretamente no local onde visualmente houve o maior escorregamento de face dos taludes da Mina de Dois Córregos. A Figura 4 representa o comparativo visual focado somente na área do escorregamento dos taludes.

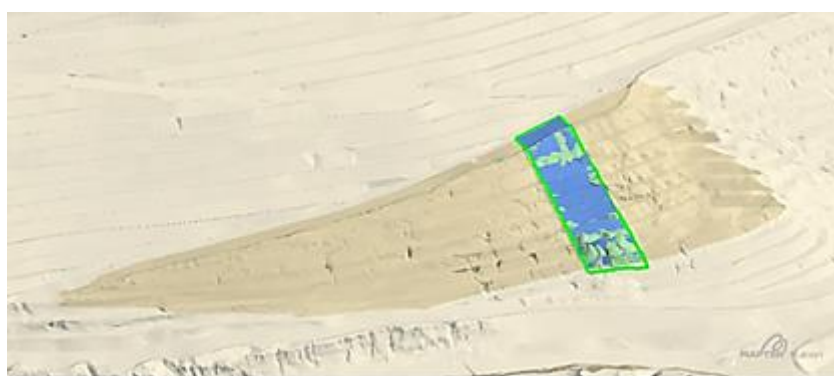


Figura 4 – Comparativo visual entre levantamentos topográficos realizado com GPS e VANT no escorregamento da Mina de Dois Córregos

O polígono verde, na Figura 4, circula a área em que foi calculada a diferença de volume entre o levantamento topográfico através das duas ferramentas de trabalho. O sólido representado em azul foi levantado com o sistema GPS de alta precisão e o sólido verde claro (sobreposto ao azul) foi levantado pelo sensoriamento remoto aerotransportado.

O objetivo dessa análise comparativa é averiguar se as diferenças de volume entre os levantamentos topográficos são significativas. De acordo com informações coletadas no *software VULCAN*, ao usar a ferramenta GPS de alta precisão, calculou-se um volume de 144.177m³, sendo que o local foi levantado na data de 09/06/2014.

Calculado pelo mesmo *software*, mesmo projeto de lavra e mesmo polígono de referência, porém, usando outra metodologia de levantamento topográfico, a do sensoriamento remoto aerotransportado e na data de 08/06/2015 (aproximadamente um ano depois), calculou-se um volume de 134.324 m³. O volume na frente de lavra levantada com o GPS contém 9.853 m³ a mais do que a simulação feita pelo levantamento com o sensoriamento remoto aerotransportado, uma diferença de 6,83%.

Contudo, não se pode afirmar que as diferenças de volume entre os levantamentos topográficos com as duas ferramentas têm uma proporção com a área levantada, ou seja, independente da área levantada pelas duas ferramentas, as diferenças volumétricas das frentes de lavra podem ou não serem discrepantes. Visualmente não se pode afirmar qual dos dois volumes é mais condizente com a realidade da mina e sim que há discordância entre o volume calculado na realização dos levantamentos topográficos com cada ferramenta. Entretanto, foi realizada uma análise a respeito da ferramenta de levantamento topográfico mais confiável para a

representação geométrica das frentes de lavra da mina e, o produto do levantamento topográfico mais confiável foi aquele que melhor representa a realidade das frentes de lavra.

A representação geométrica se deve ao número de pontos (coordenadas) levantados em campo. De acordo com Souza (2001), quanto maior o número de pontos coletados, melhor será a representação geométrica das frentes de lavra, ou maior o nível de detalhes no levantamento topográfico.

Portanto, foram analisadas as diferenças no número de pontos (coordenadas) levantados pelas duas ferramentas e utilizados no documento denominado “mapa topográfico digital”, conforme Figura 5.

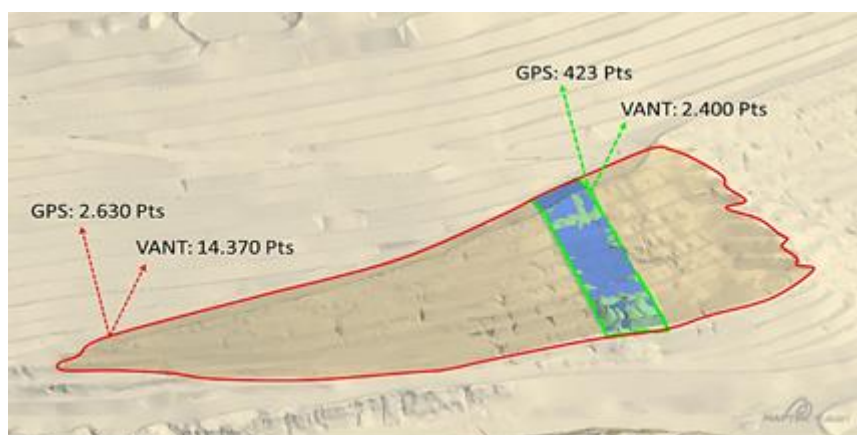


Figura 5 - Comparativo do número de coordenadas levantados nos levantamentos topográficos realizado com GPS e VANT na Mina de Dois Córregos

Na Figura 5 foi circulado pelo polígono em verde o número de coordenadas coletas utilizando a ferramenta GPS de alta precisão, realizado no escorregamento dos taludes da Mina de Dois Córregos. O número de coordenadas levantadas foi de 423 Pts, na data de 09/06/2014. A mesma área foi levantada, em 08/06/2015, através da técnica de sensoriamento remoto aerotransportado, e o número de coordenadas coletadas foi de 2400 Pts.

Com base nas informações disponibilizadas pelo *software VULCAN*, verificou-se que, para a confecção do “mapa de alta precisão”, a ferramenta sensoriamento remoto aerotransportado coletou 5,67 vezes a quantidade de coordenadas obtidas pelo sistema de GPS de alta precisão.

O mesmo comparativo foi realizado considerando toda a extensão da Mina de Dois Córregos. Foi calculada a diferença de coordenadas, levantadas com as mesmas ferramentas, representada no polígono vermelho, como pode ser observado na Figura 5 acima.

Constatou-se que a ferramenta sensoriamento remoto aerotransportado continua mantendo maior número de coordenadas levantadas para elaboração do “mapa topográfico digital”, representando 5,46 vezes a quantidade levantada pelo GPS de alta precisão na extensão da mina.

Portanto, conclui-se que a ferramenta sensoriamento remoto aerotransportado mostrou ser mais eficiente que o GPS de alta precisão em termos de número de coordenadas levantadas na área total e parcial da mina. Pode-se afirmar, com base na quantificação do número de coordenadas levantadas por área, que a geometria que mais condiz com a representação das frentes de lavra da mina é aquela levantada através da ferramenta sensoriamento remoto aerotransportado, que obteve maior nível de confiabilidade.

Pode-se inferir com base nas análises apresentadas que os levantamentos topográficos entre as ferramentas apresentam resultados geométricos divergentes, presume-se que também existem

diferenças em termos de metragem operacional onde os equipamentos de carregamento da mina farão futuras extrações de minério e estéril.

Desse modo, para analisar as possíveis divergências de metragem operacional de lavra na Mina de Dois Córregos, foi gerado, através do *software VULCAN*, uma seção vertical exatamente onde ocorreu o escorregamento da Mina. É representado na Figura 6, uma visão em perfil, ou também conhecida como seção vertical, do escorregamento de face nos taludes da Mina de Dois Córregos, onde foi realizado o comparativo em questão.

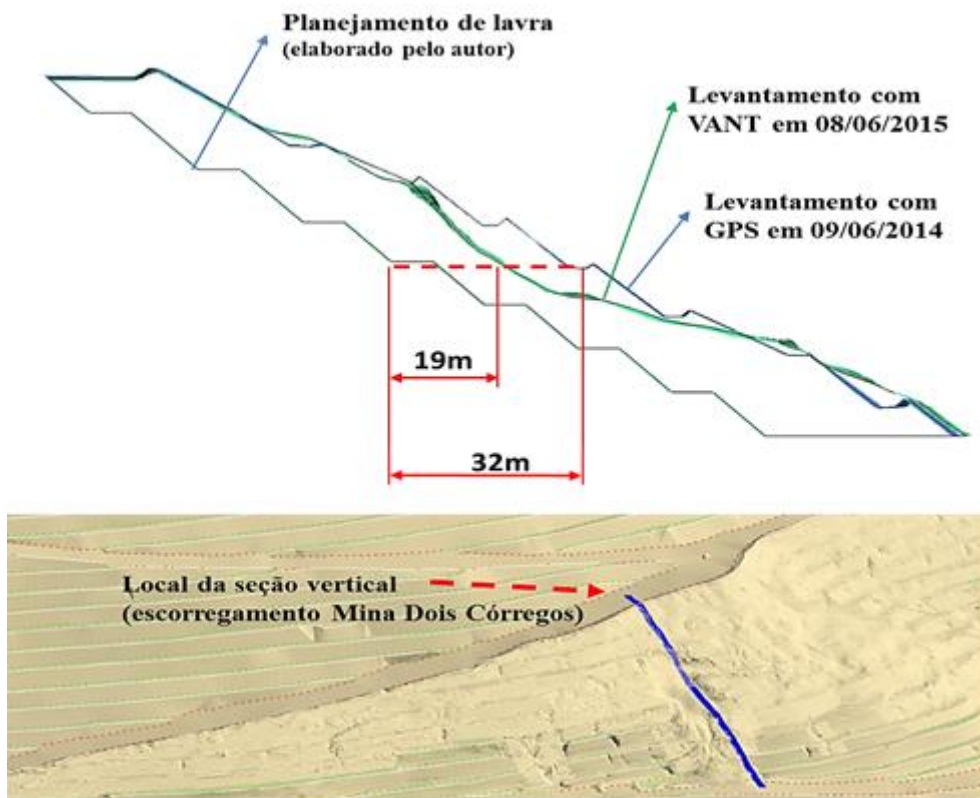


Figura 6 – Seção vertical no escorregamento da Mina de Dois Córregos

É possível perceber na Figura 6 que, em 09/06/2014, quando o local foi levantado com a ferramenta GPS de alta precisão, a metragem operacional da praça de carregamento dos equipamentos de mina era de 32 metros, porém quando a mesma área foi levantada com a ferramenta sensoramento remoto aerotransportado tinha apenas 19 metros.

Com o passar do tempo a mina pode sofrer modificações geométricas, que podem ser originadas por falta de drenagens superficiais nas bermas. As bermas necessitam de caimento de 1%, ou seja, a cada 100 m de distância é necessário que se tenha 1 m de desnível para escoamento da água, caso contrário poderá ser provocado acúmulo de água nas bermas, o que pode causar erosões e escorregamentos nos taludes, o que pode incidir em alterações na metragem operacional nas áreas de lavra.

A praça mínima para operações com equipamentos de grande porte empregado pela mineradora é de 30 m. Assim, observou-se que o levantamento topográfico realizado com sensoramento remoto aerotransportado permitiu constatar que não existe praça operacional mínima para as atividades de lavra nesse local da Mina de Dois Córregos com equipamentos de grande porte.

5. Considerações finais

Este estudo teve como objetivo analisar as contribuições da ferramenta sensoriamento remoto aerotransportado em levantamentos topográficos para a produtividade na mineração em relação ao método convencional GPS de alta precisão. Para isso, buscou-se analisar a precisão dos resultados, com a utilização dessas ferramentas.

Constatou-se que a ferramenta sensoriamento remoto aerotransportado fornece informações com alto nível de precisão, o que é considerado indispensável para a tomada de decisões na gestão de operações da mina. Enquanto a ferramenta convencional, GPS de alta precisão, não tem a capacidade de obter o mesmo nível de informações, pois para coletar coordenadas com o sistema GPS, o topógrafo depende de acessar os locais indicados e em determinados casos é impossível a acessibilidade. Nesse caso, o sensoriamento remoto aerotransportado mostrou uma ferramenta eficiente para a produtividade da empresa mineradora. No entanto, essa ferramenta depende do sistema GPS de alta precisão para referenciar os “alvos” marcados nos locais onde se deseja realizar o levantamento aéreo.

Referências

- ANDRADE, Rodrigo de Oliveira.** *O sucesso de aeronaves não tripuladas VANTS / Drones no Brasil*. Revista FAPESP. Setembro de 2013.
- FLORENZANO, Teresa Gallotti.** *Iniciação em sensoriamento remoto*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 128 p.
- JENSEN, John R.** *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2011. 598 p.
- LOCH, Carlos; CORDINI, Jucilei.** *Topografia contemporânea: planimetria*. 3. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.
- LONGHITANO, George Alfredo.** *Vant's para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas*. 2010, 148 p. Dissertação (Mestrado em engenharia de transportes) - Escola Politécnica, São Paulo, 2010.
- MONICO, João Francisco Galera.** *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações*. São Paulo: UNESP, 2000.
- NOVO, Evelyn M. L. de Moraes.** *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 308 p.
- SLOMPO, Paulo Jorge Harmuch.** *Utilização de um veículo aéreo não tripulado para obtenção de dados dendrométricos de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage*. 2013, 38 p. Dissertação (Mestrado em agronomia). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2013.
- SOUZA, Genival Corrêa de.** *Análise de metodologias no levantamento de dados espaciais para cadastro urbano*. 2001, 111 p. Dissertação (Mestrado em engenharia de transportes) - Escola de engenharia de São Carlos, São Carlos, 2001.