

MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA DOS COLAPSOS DE TERRENO NAS MINAS DO CAMAQUÃ/RS ATRAVÉS DE AEROLEVANTAMENTOS COM VANT

RAONI BRAGA AZEREDO¹; GUILHERME SCHIFFERDECKER ROCHA²;
MARCOS PHILLIPE GUIMARÃES FARIAS²; PEDRO ANDRADE COELHO²;
ANGÉLICA CIROLINI²; ALEXANDRE FELIPE BRUCH³

¹Universidade Federal de Pelotas – rao.br.az@gmail.com;

²Universidade Federal de Pelotas – guilhermer27@gmail.com; marcoosguimaraes@gmail.com;
Pedro_andrade_coelho@hotmail.com; acirolini@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – afbruch@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os colapsos em minas subterrâneas podem ocorrer por diversos fatores, segundo Mark (1999), os principais estão relacionados ao erro de dimensionamento dos pilares de sustentação, ausência de manutenção das galerias e pilares, influência do lençol freático sobre os escoramentos e falhas na avaliação estrutural da geologia local. Estes fatores também podem estar consorciados e influenciar mutuamente uns aos outros dificultando estabelecer a origem dos colapsos (ZINGANO, 2002).

Os colapsos são classificados em violentos e não violentos, de acordo com a velocidade de ruptura da superfície de sustentação (ZINGANO, 2002). Os colapsos do tipo violento, em geral acontecem pela ruptura abrupta dos pilares ou escoramentos, atulhando as câmaras e túneis. Os colapsos lentos, geralmente apresentam indícios de possível ruptura, como rachaduras e inclinações nos pilares e tetos de galerias. Também podem ocorrer subsidências centimétricas, demonstrando, assim, a movimentação ou rebaixamento dos terrenos (ZIPF, 1992).

Nas Minas do Camaquã, interior do município de Caçapava do Sul/RS, iniciou o processo de mineração de minerais metálicos, principalmente do cobre e ouro, no final do século XIX, por ingleses, belgas e alemães. Nesse período a mineração era realizada em galerias subterrâneas com processos manuais. Outros processos minerários foram instalados com ciclos entre os anos de 1940 e 1970. No início de 1980 foi instalada uma nova usina de concentração de minério e operada uma mina a céu aberto (Uruguai) e duas minas subterrâneas, a Uruguai e a continuidade da operação da mina São Luiz, agora em novo flanco de galerias (RONCHI *et al.*, 2000). Como a mina São Luiz foi minerada por vários grupos e sendo considerada antiga, é esperado que problemas de engenharia de minas aconteçam nessa área.

As Minas do Camaquã estão inseridas dentro da Bacia do Camaquã, parte integrante do Escudo Sul-riograndense (ESRG). A Bacia do Camaquã é formada por unidades estratigráficas sedimentares e vulcânicas, e geneticamente caracterizada por eventos de erosão, soerguimento, sedimentação e subsidência (TEIXEIRA e GONZALES, 1988). As direções das principais falhas na região da mina são de N50°-70°W, as quais também hospedam as principais estruturas filoneanas mineralizadas (TROIAN, 2009).

Sendo assim, o objetivo deste artigo é mapear e avaliar a morfometria dos colapsos na mina São Luiz, na localidade de Minas do Camaquã, através de aerolevantamentos com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), assim como sugerir a gênese e fatores contribuintes para os eventos.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, primeiramente foi realizado um aerolevanteamento através de um VANT. O VANT utilizado foi o multirrotor fabricado pela DJI, modelo *Phantom 4 Advanced*. Para o aerolevanteamento foi definida uma área de interesse através da criação de um plano de voo no programa *Drone Deploy*. Esse voo resultou em 272 fotos aéreas, as quais foram mosaicadas no programa *PhotoScan* através da técnica de semelhança radiométrica entre as imagens.

Para a correção geométrica e da transposição da superfície altimétrica arbitrária para uma superfície de referência geodésica, utilizou-se 10 pontos de controle rastreados em campo através do uso de um par de receptores GNSS de dupla frequência L1/L2. O rastreamento dos pontos de controle foi realizado pelo período de 30 minutos e os pontos pós processados através da interface do IBGE de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). O processamento do PPP foi realizado 15 dias após o aerolevanteamento, buscando-se utilizar as órbitas finais dos satélites para a correção dos rastreamentos.

Após a geração do ortomosaico, corrigido com pontos de controle, foi gerado o modelo numérico do terreno, também no *PhotoScan*, e a grade regular exportada no formato XYZ para ser importada no Sistema de Processamento de Informações Gereferenciadas – SPRING 5.5.3. No Spring foram geradas novas grades regulares com o limite dos colapsos, grades e mapas de declividade e mapas hipsométricos, possibilitando assim realizar medições e a descrição morfométrica dos colapsos. Por fim, as grades de cada colapso foram exportadas no formato XYZ e modeladas no programa *Surfer 10 Demo* para uma análise e representação tridimensional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, deve-se destacar que esta pesquisa apenas foi possível porque os dados topográficos foram coletados de maneira indireta, isto porque é uma área instável e sujeita a outros eventos de colapso. Com a seleção da área de interesse através dos cinco segmentos de colapso comprovados por Rocha *et al.* (2018), estes foram detalhados através da avaliação dos parâmetros morfométricos e modelagem em 3 dimensões.

As altitudes mínimas, máximas e a amplitude altimétrica das crateras dos 5 colapsos são variáveis, como pode ser observado na Tabela 1 e Figura 1 (A). A altitude mínima encontrada foi de 191,48m referente a base do colapso 1. Já a menor altitude máxima, ou seja, o colapso que apresenta o seu topo está localizado na menor altitude também foi o de número 1. O colapso de número 3 apresentou amplitude altimétrica e altitudes próximas ao de número 1. Atrelado às amplitudes altimétrica destes dois pontos tem-se a sua continuidade espacial, a qual acompanha os lineamentos estruturais com direção N60°W, podendo estes estarem relacionados aos sistemas de fraturas preferenciais da região (TEIXEIRA e GONZALES, 1988).

Geometricamente, os colapsos 1 e 3 também apresentam similaridade onde as escarpas de frente NW e SE são mais suavizadas, com declividades predominando entre 20 e 30%, com exceção da escarpa NW do colapso 3 (Figura 1B). As escarpas de frente NE e SW nos colapsos 1 e 3 apresentaram declividades chegando próximo aos 200%, ou seja, perfis tendendo à vertical, indicando a ruptura em planos de falhas. Nos modelos em 3 dimensões (Figura 2.1 e 2.3) pode ser visualizada a geometria dos colapsos.

Os colapsos 2, 4 e 5 apresentam-se em altitudes mais próximas à superfície topográfica e com menor amplitude altimétrica comparada com os colapsos 1 e 3. Nos colapsos 2, 4 e 5 a altitude mínima encontrada na base dos mesmos foi de 209,10m e a máxima de 242,33m, com amplitudes variando entre 22,07 e 22,59m. As declividades nas escarpas são próximas a 200% e no centro dos colapsos é de aproximadamente 25%. O colapso identificado como de número 2, apesar de apresentar uma morfometria semelhante aos colapsos 4 e 5, é caracterizado por uma sequência de 4 colapsos menores interconectados e neste trabalho analisado como um só.

Tabela 1: Amplitude altimétrica dos 5 colapsos

| Colapso | Altitude Mínima | Altitude Máxima | Amplitude Altimétrica |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | 191,48 | 228,70 | 37,22 |
| 2 | 219,74 | 242,33 | 22,59 |
| 3 | 197,94 | 230,05 | 32,11 |
| 4 | 209,10 | 231,17 | 22,07 |
| 5 | 215,35 | 237,88 | 22,53 |

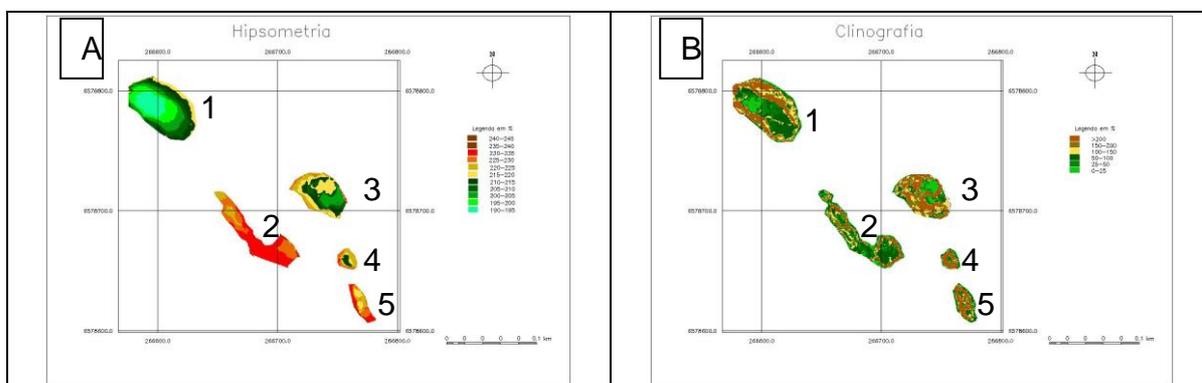


Figura 2: (A) Mapa Hipsométrico; (B) Mapa Clinográfico

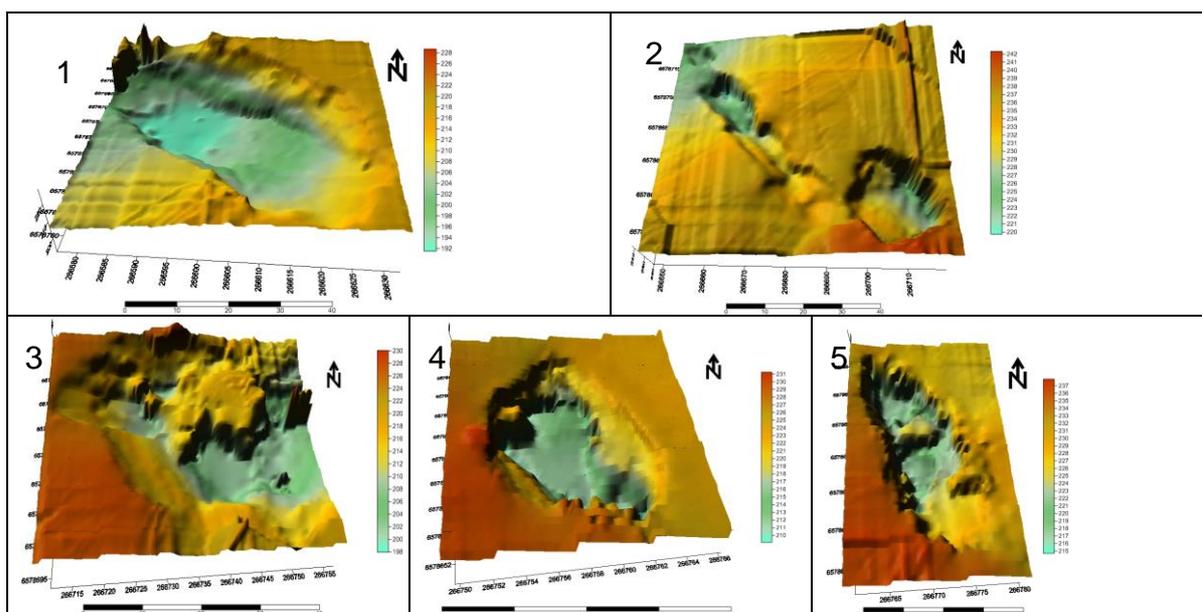


Figura 3: Modelo em 3 dimensões dos colapsos da área de estudo

A direção preferencial dos colapsos 2, 4 e 5 é de N50°-40°W acompanhando as direções das mineralizações descritas para a Mina São Luiz e Uruguai (TROIAN, 2009). As escarpas tendem a ser circulares, com declividade quase

constante nas diversas frentes dos mesmos, demonstrando possivelmente um colapso homogêneo em termos de planos de falha ou estrutura inferior (KHAIR e PENG, 1985).

4. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou caracterizar a sequência de colapsos existentes nas Minas do Camaquã através da avaliação de parâmetros morfométricos. Os resultados demonstram que existem dois agrupamentos de colapsos semelhantes em termos de altitude e amplitude altimétrica, assim como a declividade dos planos de ruptura. O primeiro grupo é formado pelos colapsos 1 e 3, que apresentam maiores amplitudes morfométricas, assim como dimensão geométrica. Já o segundo grupo é representado por colapsos menores e menos profundos, mas também com planos de ruptura verticalizados. Ficou constatado também que a direção e continuidade espacial na maioria dos colapsos acompanha a direção das falhas regionais e locais da mina, com representação visível nos modelos em 3 dimensões.

Salienta-se que esta pesquisa, apesar de estar em um estágio inicial, apenas foi possível de ser realizada pela possibilidade de obtenção de dados topográficos por meios indiretos, através de aerolevantamentos com VANT, pois é uma área com terrenos instáveis e sujeito a outros colapsos ou a reativação dos existentes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KHAIR, A.W. e PENG, S.S. 1985. Causes Mechanisms of Massive Pillar Failure in a Southern West Virginia Coal Mine. **Mining Engineering**, v.37, pp. 323-328, Littleton, CO, USA.

RONCHI, L.H.; LINDENMAYER, Z.G.; BASTOS NETO, A. & MURTA, C. R. 2000. O stockwork e a zona do minério sulfetado no arenito inferior da Mina Uruguai. In: Ronchi, L.H. & Lobato A.O.C. (Coords), **Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar**. São Leopoldo. p. 165-190.

TEIXEIRA, G. e GONZALEZ, A. P. 1988. **Minas do Camaquã, município de Caçapava do Sul, RS**. In: Schobbenhaus e Coelho (ed.), Principais Depósitos Minerais do Brasil, DNPM, v. III, p.33-41.

TROIAN, G.C. 2009. **A cloritização na Mina Uruguai, Minas do Camaquã/RS-Brasil**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 87 p.

ZINGANO, A.C. 2002. Modelamento Geomecânico Para o Dimensionamento de Pilares de Carvão, **Tese de Doutorado**, 203 pág, Prog. De Pós-Graduação em Eng. De Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

ZIPF, R.K. 1992. Analysis of Stable and Unstable Pillar Failure Using a Local Mine Stiffness Method, **Proceedings of the Workshop on Coal Pillar Mechanics and Design**, IC-9315, pp.128-143, US-Bureau of Mines, USA.