

# BIBLIOTECA PETROFÍSICA DE AMOSTRAS DIDÁTICAS DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNICAMP

**Palavras-Chave: GAMAESPECTROMETRIA, SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA, BANCO DE DADOS GEOFÍSICOS**

**Autores:**

**Henrique Moreira Santana (IG/UNICAMP)**

**Prof. Dr. Emilson Pereira Leite (orientador) (IG/UNICAMP)**

## **INTRODUÇÃO:**

A geofísica dispõe de diversas técnicas que permitem a caracterização de materiais geológicos de acordo com suas propriedades físicas, possibilitando definir esses materiais de forma quantificada. A gamaespectrometria e a medição da suscetibilidade magnética (SM) constituem exemplos muito importantes dessas técnicas por serem não destrutivas e aplicadas por meio de equipamentos portáteis de fácil manuseio, permitindo análises rápidas tanto em laboratório quanto in-situ.

Neste sentido, este trabalho constituiu na compilação de medidas gamaespectrométricas e de SM de amostras de coleções didáticas do Instituto de Geociências da Unicamp. Com isso, foi elaborado um banco de dados geofísicos integrado, de grande utilidade para pesquisas futuras por permitir o estabelecimento de valores de referência para diversos litotipos. Além disso, através de um banco de dados bem estruturado é possível aplicar variados

algoritmos de predição de atributos, identificar anomalias e agrupar unidades litológicas.

Trabalhos focados na divulgação de valores de referências de gamaespectrometria e SM são limitados na literatura, sendo que os mais conhecidos (Telford et al., 1976; Kobranova, 1989; Hunt et al., 1995) contemplam pouca informação específica sobre rochas brasileiras. Com isso, este projeto buscou a estruturação de um banco de dados geofísicos que sirva de referência para consulta desses valores em relação a rochas de diversas regiões do Brasil, sendo completado à medida em que novas coleções forem disponibilizadas e novos dados sejam compartilhados.

## **METODOLOGIA:**

A construção do banco de dados foi feita em três etapas: (1) Aquisição de dados de gamaespectrometria e de suscetibilidade magnética; (2) Tratamento estatístico dos dados; e (3) Estruturação e divulgação do banco de dados, conforme a Figura 1. Adicionalmente, foram reunidos dados de

Suscetibilidade Magnética publicados em bases de dados petrofísicos.

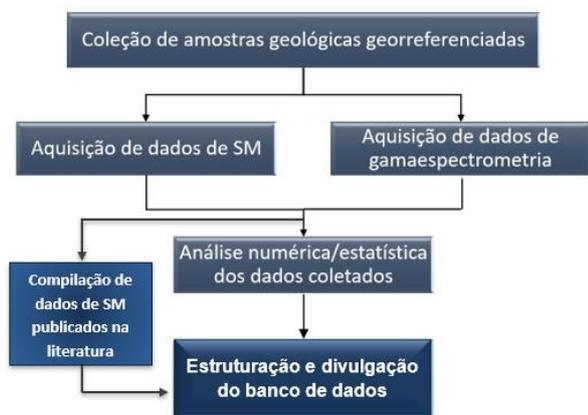


Figura 1: Fluxograma do processo de elaboração do banco de dados geofísicos do IG-Unicamp

Os dados foram coletados em duas coleções de rochas do IG/Unicamp: (i) Coleção “As Rochas do Município de Campinas” organizada pelo prof. Wagner Amaral, que conta com amostras de rochas do Complexo Pouso Alegre, Suíte Morungaba, subgrupo Itararé, Suíte Jaguariuna e da Formação Serra Geral, totalizando 21 amostras, e (ii) Coleção “Bom Jardim de Minas – Campo II 2018” que consiste em amostras de rochas coletadas em atividade de campo pela turma da disciplina de graduação Geologia de Campo II realizada em 2018 na cidade de Bom Jardim de Minas-MG, contando com 84 amostras abrangendo o complexo gnáissico do embasamento e amostras de unidades da Megassequência Andrelândia.

### ***Suscetibilidade Magnética:***

O valor de SM para cada amostra foi medido utilizando-se um suscetibilímetro magnético portátil, modelo KT-10 da Terraplus, com sensibilidade de 6 casas

decimais com unidade no S.I. (Figura 2). O fundamento do suscetibilímetro consiste na Lei de Ampere, que afirma que o movimento de cargas elétricas gera um campo magnético variável no tempo e, na Lei de Faraday, que estabelece que um campo magnético variável no tempo gera um fluxo de corrente elétrica.



Figura 2: Suscetibilímetro portátil modelo KT-10 da Terraplus.

O KT-10 usa um oscilador LC de 10 kHz com uma bobina indutiva para medir a SM. O medidor foi previamente calibrado por meio de blocos de calibração disponíveis no Laboratório de Geofísica do Instituto de Geociências da Unicamp. Para cada amostra, o procedimento de medição foi o seguinte: primeiramente, a frequência do oscilador foi medida ao ar livre. Em seguida, a frequência foi medida com o medidor colocado na superfície da amostra. Por fim, a frequência foi medida novamente ao ar livre. A SM é calculada a partir da diferença entre as frequências medidas ao ar livre e sobre a amostra (Terraplus, 2016). Neste projeto, foram realizadas seis medidas para cada amostra visando a verificação da consistência entre os valores e análise estatística.

### *Gamaespectrometria:*

A coleta de dados gamaespectrométricos foi feita utilizando-se um espectrômetro portátil de raios gama, modelo RS230 da Radial Solutions (Figura 3). O aparelho funciona por meio de emissões de centelhas de luz, através de um cintilômetro, à medida que os raios gama atingem um detector de germanato de bismuto (RSI, 2015).



Figura 3: Gamaespectrômetro portátil modelo RS-230 da Radial Solutions.

A estabilização automática foi realizada deixando o aparelho ligado por cerca de cinco minutos até que as leituras dos conteúdos de eU (Urânio “equivalente”), eTh (Tório “equivalente”) e K (Potássio-40) se apresentassem estáveis. Os valores médios são relatados graficamente e as saídas do sensor são indicadas quando o dispositivo é estabilizado (RSI, 2015).

As medições foram feitas no “modo de ensaio”, de maior precisão para quantificação. O sensor converte as contagens de raios gama em concentrações de eU e eTh em partes por milhão (ppm) e em concentração de K em porcentagem (%). Os elementos Tório (Th232) e urânio (U238) são quantificados indiretamente a partir da

detecção de raios gama dentro janelas de energia de seus radionuclídeos filhos, tálio (Tl208) (pico de ~ 2,62 MeV) e bismuto (Bi214) (pico de ~ 1,76 MeV), respectivamente, por isso a denominação de “equivalentes”. O Potássio-40 inclui medida do K na estrutura da rocha e mineral, bem como o K adsorvido nos minerais do material. As contagens de raios gama resultantes do decaimento de K40 para Ar40 dentro da janela de energia de K40 (pico de ~ 1,46 MeV) são convertidas em concentração de K.

O sensor de raios gama foi mantido em contato com a superfície da amostra por dois minutos, em cada amostra, a fim de se obter uma contagem de emissões estatisticamente válida.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

Este projeto teve como principal produto uma base de dados petrofísicos do IG-Unicamp, disponível para acesso através do link: <https://drive.google.com/file/d/18R2c11E45rOKJ174w2KEjCp99UMxGmNR/view?usp=sharing>

Os resultados obtidos com as medidas de SM magnética das duas coleções de rochas mostraram um grande contraste entre os valores médios de SM para cada tipo de rocha de cada coleção. As rochas ígneas de Campinas-SP mostraram SM média de  $4,359 \times 10^{-3}$  SI em contraste com a SM média de  $0,037 \times 10^{-3}$  SI para as ígneas de Bom Jardim de Minas-MG. Em relação às metamórficas, a média de SM foi de  $2,777 \times 10^{-3}$  SI para as amostras de Campinas e  $0,308 \times 10^{-3}$  SI para as amostras de Bom Jardim de Minas.

Um fator que pode ser relevante para a baixa SM da coleção de Bom Jardim de Minas é o estado de alteração das amostras. Em geral, foi notado que as amostras da coleção de Bom Jardim de Minas - MG estão mais alteradas pelo intemperismo, enquanto as amostras da coleção de Campinas – SP estão mais preservadas.

Segundo Tarling e Hrouda (1993) o intemperismo químico pode implicar na oxidação de minerais como magnetita, maghemita, hematita e goethita, provocando alteração, ou mascarando, a SM das rochas. Sendo assim, é possível que o intemperismo tenha contribuído para a baixa SM encontrada nas amostras do município de Bom Jardim de Minas – MG. Entretanto, o intemperismo também pode contribuir para a concentração de minerais magnéticos e consequente aumento da SM da rocha. Estudos comparativos entre SM de rochas frescas e intemperizadas mostram que de acordo com a composição da rocha podem ocorrer os dois casos, tanto a rocha fresca apresentar a maior SM, quanto a rocha intemperizada (eg. Pujiastuti et al., 2020).

A partir da análise gamaespectrométrica foi possível plotar os teores de K, U e Th das amostras analisadas em um mesmo diagrama ternário (Figura 4). Os resultados indicam uma composição radiométrica próxima para as rochas das duas coleções. Entretanto, é possível verificar um maior agrupamento das amostras provenientes de Bom Jardim de Minas, assim como um maior teor Th em relação às amostras de Campinas-SP. De acordo com a classificação de Wollenberg (1977) expressa

em Kearey et al. (2009) é possível verificar que os teores médios de K, U e Th das amostras das duas coleções indicam composições de rochas ricas em Monazita, de rochas ígneas ácidas a intermediárias, e de siliciclásticos.

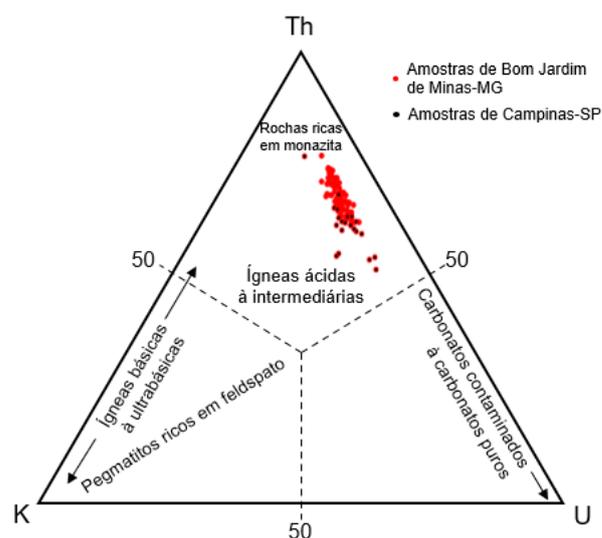


Figura 4: Composição radiométrica das rochas de Campinas (pontos pretos) e de Bom Jardim de Minas (pontos vermelhos) plotados no diagrama ternário de concentração de K, Th e U para diferentes tipos de rochas ígneas (Kearey et al., 2009).

## CONCLUSÕES:

A gamaespectrometria e o estudo da suscetibilidade magnética (SM) constituem importantes ferramentas para caracterizar rochas de forma quantificada. Este estudo contou com a medida de dados de SM e de gamaespectrometria de amostras de rochas dos municípios de Campinas-SP e de Bom Jardim de Minas-MG. Foi verificado um alto contraste no teor de Th em rochas graníticas da Suíte Jaguariuna (19,4ppm) em relação às demais rochas de Campinas (8 a 10,6 ppm de Th).

O contraste entre os valores de SM e de teores de K, U e Th entre os litotipos das duas coleções de amostras atesta o potencial para o uso de suscetibilímetro magnético e

gamaespectrômetro portáteis junto ao mapeamento geológico, visto que esses contrastes são verificáveis de forma rápida e in situ, auxiliando na definição de unidades e contatos geológicos.

Além disso, foi possível aferir o potencial das bases de dados petrofísicos para diversos estudos nas ciências da Terra. Por meio de uma base de dados robusta, pode-se aplicar diversas ferramentas para o agrupamento de dados e definição de litotipos. Outrossim, a definição de valores de referência para litotipos do Brasil é muito útil nas rotinas de inversão geofísica e modelagens numéricas.

Como forma de divulgação dos dados e resultados, este relatório será disponibilizado no site do Laboratório de Geofísica do Instituto de Geociências da Unicamp <[www.ige.unicamp.br/geophysics](http://www.ige.unicamp.br/geophysics)>.

## BIBLIOGRAFIA

- Hunt, C.P., Moskowitz, B.M., Banerjee, S.K., 1995. **Magnetic properties of rocks and minerals, rock physics and phase relations—a handbook of physical constants**, AGU Reference Shelf 3.
- Kearey, P., Brooks, M. & Hill, I. 2009. **Geofísica de Exploração**. Ed. Oficina de Textos. Sob licença da Blackwell Publishing Company (UK).
- Kobranova, V.N., 1989. **Petrophysics**. MIR Publ., Springer-Verlag, Moscow.
- Pujiastuti, R., Zulaikah, S., Latifah, E., Agustin, E. Y., Juliansyah, A., Afrillah, G., & Rahman, M. B. S. 2020. **Magnetic susceptibility as parameters of rock weathering**. International Conference on Electromagnetism, Rock Magnetism And Magnetic Material (ICE-R3M) 2019.
- RSI, 2015. RS125/230: Manual do Usuário.
- Tarling D.H., Hrouda F. 1993. **The Magnetic Anisotropy of Rocks**. Chapman & Hall, London, 217 pp.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., Keys, D.S., 1976. **Applied Geophysics**. Cambridge. University Press.
- Terraplus, 2016. TK-20: Manual do Usuário.