

## Taxa de produção de calor radiogênico e propriedades térmicas, nas diferentes litologias do Embasamento Adjacente à Bacia de Sergipe. Domínio Canudos-Vaza-Barris e Domos de Itabaiana-Simão Dias.

Liège Almeida Boeker<sup>1</sup>, Alexandre Barreto Costa<sup>1</sup>, Roberto Max de Argollo<sup>1</sup>, Moacyr Moura Marinho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia

Copyright 2012, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

*Este texto foi preparado para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 27 a 29 de novembro de 2012. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do V SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.*

### Abstract

We collected 213 samples of crystalline rocks in the visited outcrops and determined the levels of potassium, uranium and thorium, which values ranged from 0.00 to 4.44%; 0.06 to 5.01ppm and 0.84 to 44.49 ppm, respectively. Thermal properties: thermal conductivity, thermal diffusivity, specific heat had values ranging from 0.83 to 7.25 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, 519 to 903 J.Kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> and 0.77 to 2.69 × 10<sup>6</sup>m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, respectively.

Based on the measured density values and on the radioactive elements, we calculated the rate of production of radiogenic heat, which ranged from 0.09 to 4.29 μW.m<sup>-3</sup>. The results of the correlations show a strong contribution from thorium and uranium values for the radiogenic heat, conductivity and diffusivity. The values are unpublished data obtained in the study area, and contribute to knowledge about the rate of radiogenic heat and thermal properties of basement rocks adjacent to the Sergipe basin, being important in this basin modeling study.

### Introdução

O conhecimento das propriedades térmicas das rochas é importante em estudos geotérmicos da crosta e dos processos de convecção térmica no manto, como também em trabalhos de modelagem termo-mecânica de bacias. São essas propriedades que definem a distribuição de calor na Terra.

Do calor existente na crosta continental, parte vem do interior da Terra transmitida através do manto e outra parte é produzido na própria crosta. Nesta parte, incluem-se o calor radiogênico, o calor produzido nas reações químicas, a presença de câmaras magmáticas e a circulação de águas termais. O calor radiogênico, que é o resultado final das transformações das energias cinéticas das partículas emitidas e dos núcleos de recuo nos processos de decaimento radioativo dos radioisótopos do urânio (<sup>238</sup>U e <sup>235</sup>U), do tório (<sup>232</sup>Th) e do potássio (<sup>40</sup>K), é responsável por 98% do calor gerado no interior da Terra.

Alguns trabalhos nesta área de propriedades térmicas e calor radiogênico já foram realizados. Clauser & Huenges (1995), mostraram a influência da porosidade,

temperatura e saturação na condutividade térmica, para alguns tipos de rochas e minerais. Temos também o artigo de Vosteen (2003) sobre a influência da temperatura em três propriedades térmicas: condutividade térmica, difusividade e capacidade térmica. Outro artigo interessante é o de Gallagher et. al. (1996), no qual se pode ler sobre a influência da condutividade térmica na modelagem da história térmica de bacias sedimentares. Além de algumas teses de doutorado, dissertações de mestrado e trabalhos de graduação como o de Reyes (2008), em que foi construído um modelo de distribuição vertical de produção de calor radiogênico numa região do Cráton porosidade do São Francisco. Pereira (2008) e Alves (2009), estudaram as propriedades térmicas de rochas do embasamento adjacente às bacias do Recôncavo e de Sergipe (Domínio Estância), respectivamente.

Neste trabalho obtivemos os valores médios dos parâmetros estudados para cada litologia da área estudada e buscamos correlacionar estes parâmetros para verificar a dependência existente entre eles. Os resultados deste trabalho podem contribuir em estudos de fluxo térmico e de modelagem de bacias.

### Metodologia/ Problema Investigado

A área estudada é a porção central do embasamento adjacente à bacia de Sergipe. Localiza-se na região Nordeste do Brasil e compreende uma faixa de aproximadamente cinquenta quilômetros de largura do embasamento emerso limitando-se a sul com o Domínio Estância e a norte com o Domínio Macururé (Anexo 1). Nesta região foram medidas as propriedades radioativas e térmicas de 213 amostras de rochas de diferentes tipos litológicos.

Os teores de K (C<sub>K</sub>, em %), U (C<sub>U</sub>, em ppm) e Th (C<sub>Th</sub>, em ppm) nas rochas foram determinados por espectrometria gama de laboratório (Figura 1). Esta é uma técnica bem estabelecida e que já foi descrita de forma bem clara por vários autores como: Adams (1970), Alves Jr (2004) e Sapucaia (2004). As densidades (ρ) das amostras de rochas foram determinadas utilizando um picnômetro de água desenvolvido por Oliveira (2006). Com base nestes parâmetros, obtivemos o calor radiogênico por unidade de volume de acordo com a equação:

$$A(\mu W m^{-3}) = 10^{-5} \rho(3,48C_K + 9,52C_U + 2,56C_{Th}) \quad (1)$$

As propriedades térmicas foram determinadas por um medidor de propriedades térmicas (condutividade térmica, difusividade térmica e capacidade térmica volumétrica) da marca Anter Corporation, modelo Quickline™-30 (Figura 2), cuja operação é baseada no método transiente utilizando uma fonte planar, de acordo com Gomes & Hamza (2005) e Figueiredo et. al. (2008).

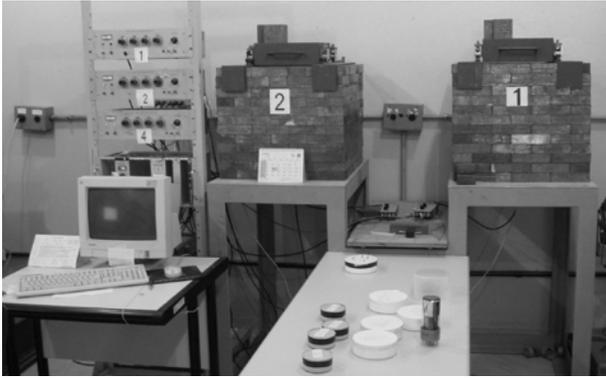


Figura 1: Sistema de espectrometria gama de laboratório.

Com os valores de densidade ( $\rho$ ) e de capacidade térmica volumétrica ( $Q$ ), calculamos o calor específico ( $c$ ) das rochas analisadas.



Figura 2: Medidor de propriedades térmicas utilizado no estudo.

**Resultados**

Os dados analisados foram divididos considerando as principais litológicas existentes na área de estudo, ou seja: filito (n=65), metarenito (n=12), metacalcário (n=27), quartzito (n=18), xisto (n=16), metagrauvaca (n=24), metassiltito (n=53) e ortognaisse (n=35). Onde n é igual ao número de amostras analisadas.

Os valores médios das densidades são mostrados na Figura 3. Os resultados mostram que o xisto é a litologia que tem a maior densidade média e o quartzito o que tem a menor densidade média, apesar dos valores serem próximos. Os Valores médios do calor radiogênico (Figura 4) são maiores no metassiltito e menores no quartzito. O contrário acontece nos valores de

condutividade térmica,  $\lambda$ , (Figura 5), em que os

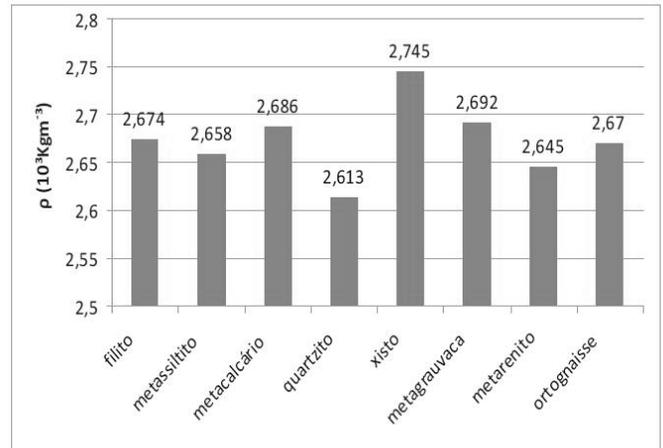


Figura 3: Valores médios da densidade por litologia

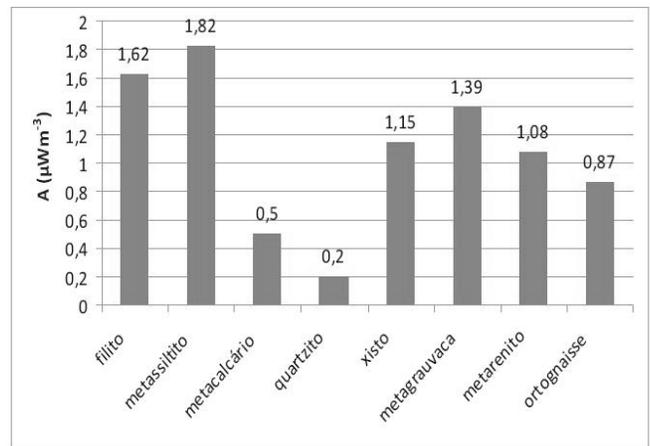


Figura 4: Valores médios do calor radiogênico por litologia

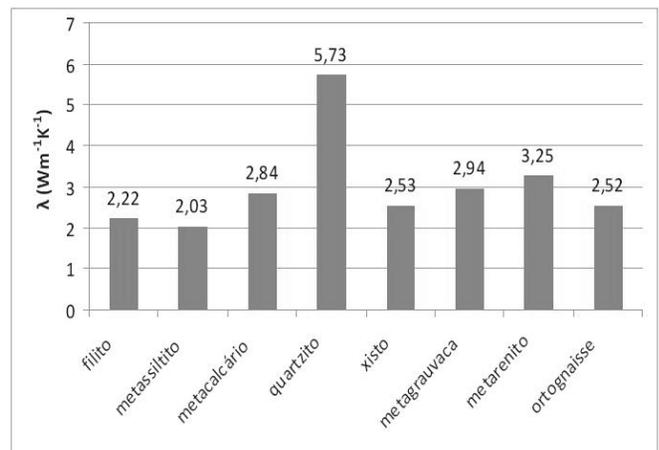


Figura 5: Valores médios da condutividade térmica por litologia

quartzitos tiveram o maior valor médio e os metassiltitos o menor.

Na outras duas propriedades térmicas estudadas, calor específico (Figura 6) e difusividade térmica,  $\kappa$ , (Figura 7), os maiores valores médios foram do quartzito e os menores foram filito e metassiltito, respectivamente.

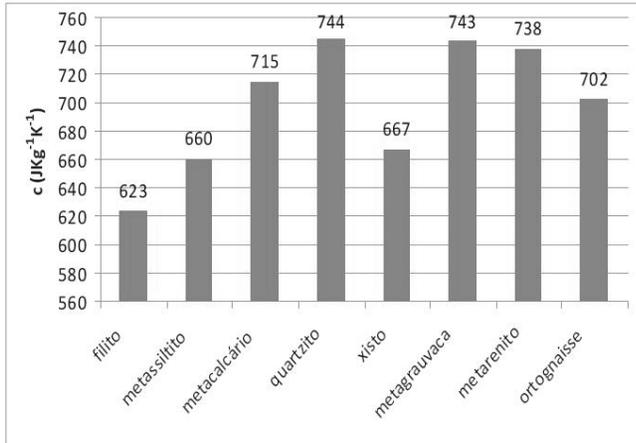


Figura 6: Valores médios do calor específico por litologia

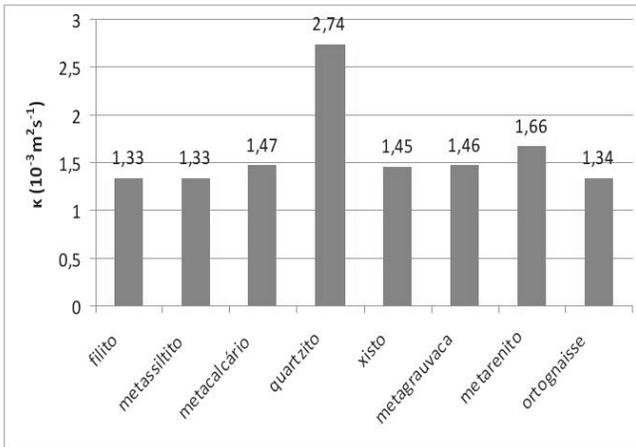


Figura 7: Valores médios da difusividade térmica por litologia

A Figura 8 mostra a correlação entre os valores médios de calor radiogênico e os teores dos elementos U, Th e K, por litologia. Os valores dos coeficientes de correlação mostram uma maior dependência entre os valores médios de tório (Th) e urânio (U) com relação ao calor radiogênico do que os de potássio.

A Figura 9 mostra a correlação entre os valores médios de difusividade térmica e os das condutividade térmica e capacidade calorífica volumétrica, por litologia. Para estes parâmetros, os coeficientes de correlação mostram uma maior dependência entre os valores médios da

condutividade térmica com relação a difusividade do que do os valores da capacidade térmica volumétrica.

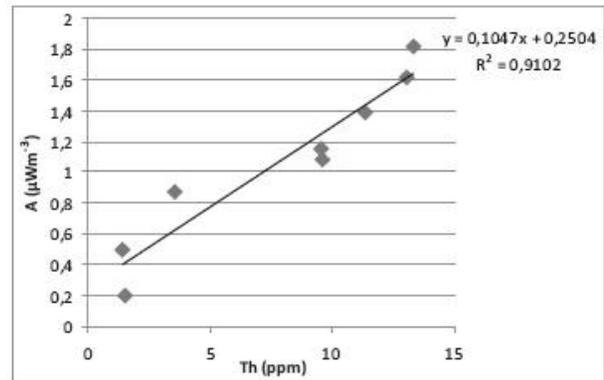
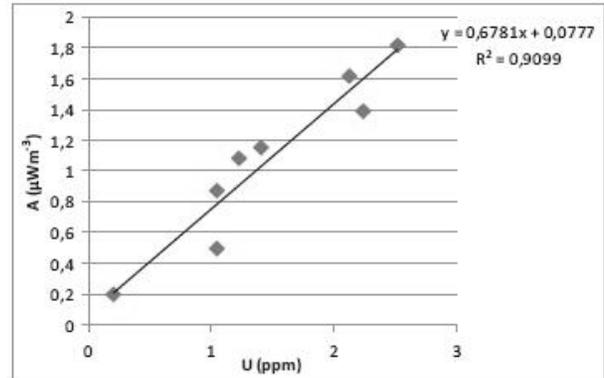
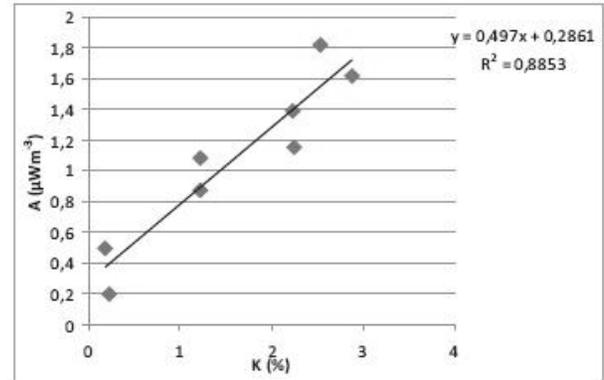


Figura 8: Correlação entre os valores médios de calor radiogênico e os teores dos elementos U, Th e K, por litologia.

### Discussão e Conclusões

Os resultados de densidade mostram uma pequena variação no valor, sendo que o valor médio dos valores médios da Figura 3 foi de  $2,673 \pm 0,038 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  que se mostra dentro dos valores esperados para estes tipos de rochas.

O calor radiogênico é uma propriedade que depende dos teores de elementos radioativos da rocha, sendo um parâmetro importante em estudos de fluxo térmico. Analisando os resultados obtidos na Figura 4, podemos

afirmar que a litologia que dá a maior contribuição para o calor radiogênico, na região estudada, são os metassiltitos. Os gráficos de correlação entre o calor radiogênico e os elementos radioativos analisados mostram uma maior dependência com o Tório e o Urânio. Este resultado indica que estes as concentrações elementos controlam a medida do calor radiogênico.

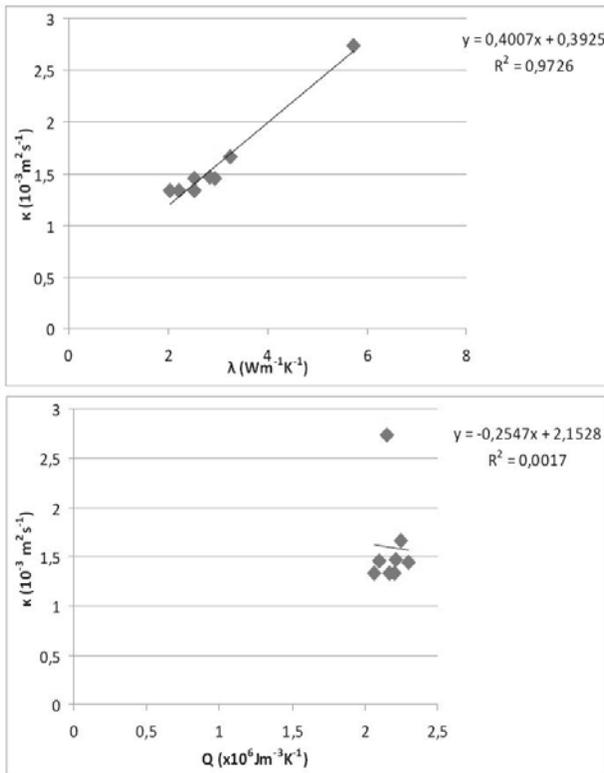


Figura 9: Correlação entre os valores médios de difusividade térmica e os das condutividade térmica e capacidade calorífica volumétrica, por litologia.

A condutividade térmica é definida como a medida da capacidade de um material conduzir uma quantidade de energia. Se um material tem boa condutividade térmica, o fluxo térmico será maior, mantendo os demais parâmetros fixos. Os resultados da Figura 5 mostram que os quartzitos são os melhores condutores térmicos das litologias estudadas, devido ao seu alto teor de quartzo.

O calor específico, definido como a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de um corpo em um grau, se mostrou maior nos quartzitos assim como a difusividade térmica, obtida pela razão entre a condutividade térmica e a capacidade calorífica volumétrica, definida como a qualidade de um material difundir energia em relação a sua capacidade de armazenar. Valores elevados de difusividade indicam que o material responderá rapidamente às mudanças das condições térmicas.

Os gráficos da Figura 9 mostra que a difusividade térmica está mais correlacionada com a condutividade térmica do

que com a capacidade térmica volumétrica. O gráfico também mostra que a difusividade está diretamente correlacionada com a condutividade, o que significa que a difusividade aumenta à medida que a condutividade aumenta, ou seja a influência da condutividade térmica sobre a difusividade térmica é maior que a capacidade térmica volumétrica para os valores médios das litologias da região de estudo.

Este trabalho mostrou que, na região estudada, os metassiltitos possuem a maior produção de calor radiogênico média, enquanto que os quartzitos apresentaram os maiores valores médios para as propriedades térmicas. Os resultados das correlações mostram uma forte contribuição dos valores de tório e urânio para o calor radiogênico e da condutividade térmica para a difusividade térmica. Os valores obtidos são dados inéditos na região estudada, e contribuem para aumentar o conhecimento sobre a taxa de calor radiogênico e propriedades térmicas das rochas do embasamento adjacente à bacia de Sergipe, sendo importantes no estudo de modelagem desta bacia.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobrás S. A. pelo o suporte financeiro.

#### Referências

- Adams, J. A. S. e Gasparini, P. (1970). Gamma-Ray Spectrometry of Rocks, Elsevier Company.
- Alves, R. V. S. (2009). Propriedades térmicas do embasamento adjacente à bacia de Sergipe, Trabalho de graduação, monografia, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Alves Jr, P. B. (2004). Determinação de perfis de taxa de produção de calor radiogênico em poços na bacia do Recôncavo, Trabalho de graduação, monografia, Universidade Federal da Bahia.
- Clauser, C. and Huegues, E. (1995). Thermal conductivity of rocks and minerals, AGU Handbook of Physycal constant, **39**:105–126.
- Figueiredo, E.R.H.; Galindo, A.C.; Moreira, J.A.M.; Lins, F.A. (2008). Condutividade térmica enochas silicáticas cristalinas, com ênfase a rochas graníticas da província borborema, NE do Brasil, e sua correlação com parâmetros petrográficos e texturais. Revista Brasileira de Geofísica (2008) 26(3): 293-307.
- Gallagher, K.; Ramsdale, M.; Lonergan, L. and Morrow, D. (1996). The role of thermal conductivity measurements in modeling thermal histories in sedimentary basins, Marine and petroleum Geology, **14(12)**:201–214.

Gomes, A.J.L. & Hamza, V.M. (2005). Geothermal gradient and heat flow in the state of Rio de Janeiro. *Rev. Bras. Geof.*, 23(4): 325-347.

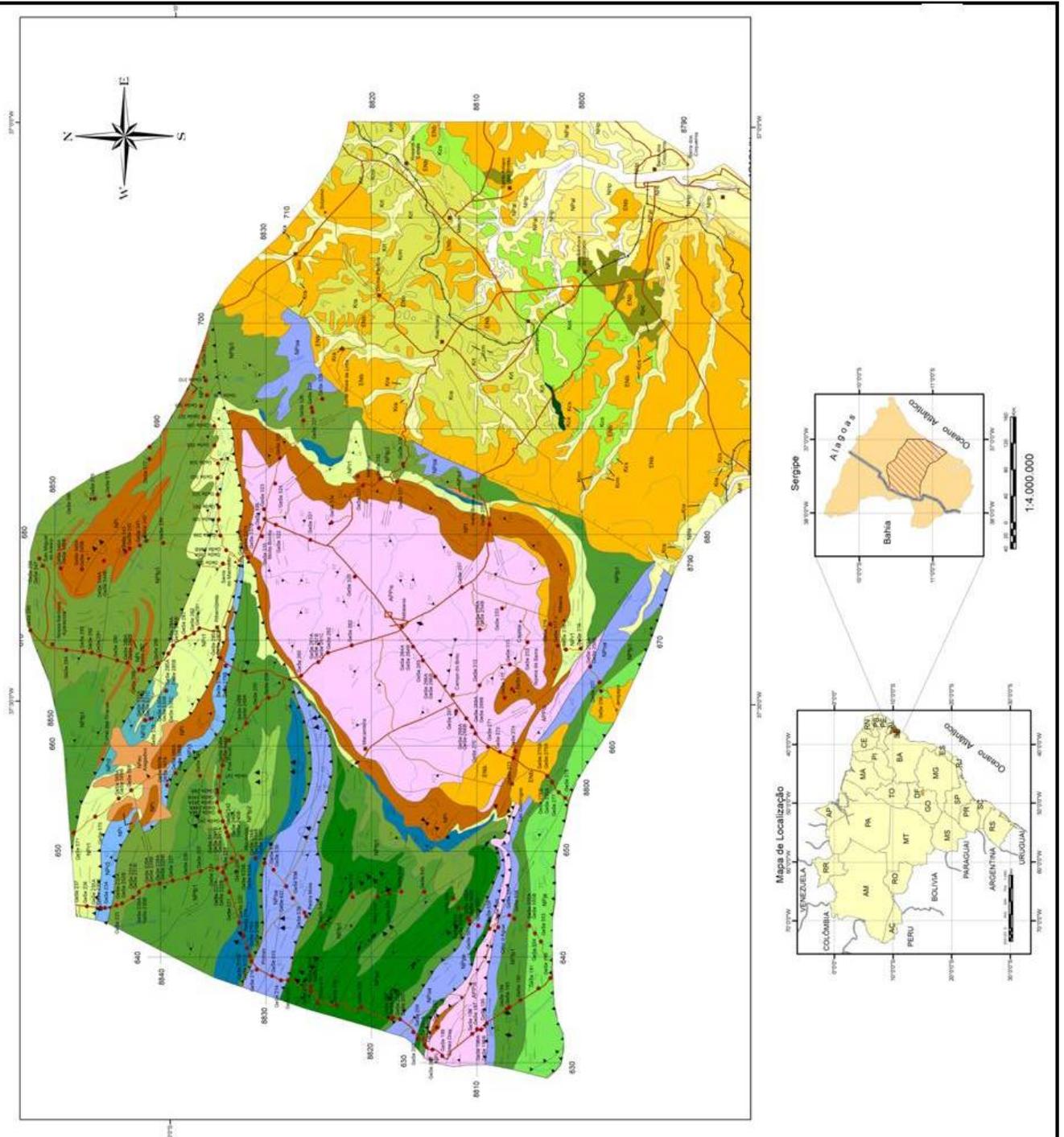
Oliveira, N. (2006). Efeitos dos gradientes do campo magnético na determinação da porosidade por ressonância magnética nuclear, Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia.

Pereira, E. S. (2008). Determinação das propriedades térmicas das rochas do embasamento adjacente à bacia do Recôncavo, Trabalho de graduação, monografia, Universidade Federal da Bahia.

Reyes, L. M. G. (2008). Distribuição vertical da taxa volumétrica de produção de calor radiogênico no cráton do São Francisco, Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia.

Sapucaia, N. (2004). Diferenciação litológica, teores de potássio, urânio, tório e taxas de produção de calor radiogênico no embasamento adjacente às bacias sedimentares de Camamu e Almada, Tese de mestrado, Universidade Federal da Bahia.

Vosteen, H., S. (2003). Influence of temperature on thermal conductivity, thermal capacity and thermal diffusivity for different types of rocks, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28:499–509.



Anexo 1- Mapa da Área de estudo com os pontos amostrados