



## Distribuição Regional de Gradiente e Fluxo Geotérmico no Estado do Rio Grande do Sul incluindo também áreas vizinhas do Uruguai e da Argentina

Antonio Jorge de Lima Gomes ( [ailgomes@on.br](mailto:ailgomes@on.br) ) e Valiya M. Hamza ( [hamza@on.br](mailto:hamza@on.br) ), Observatório Nacional, Brasil.

Copyright 2008, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

*Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III 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.*

### Resumo

Apresentamos neste trabalho os resultados de uma reavaliação recente de dados geotérmicos do Estado do Rio Grande do Sul. A compilação atual inclui um total de 37 dados, destes 21 localizados dentro do Estado do Rio Grande do Sul e o restante nas áreas vizinhas do Uruguai, Paraguai e Argentina. Os gradientes geotérmicos se encontram no intervalo de 14 a 47°C/km, sendo o valor médio de  $28 \pm 4^\circ\text{C}/\text{km}$ . Os valores do fluxo geotérmico estão compreendidos entre 30 e 121 mW/m<sup>2</sup> com um valor médio de  $69 \pm 8 \text{ mW}/\text{m}^2$ . A distribuição regional indica que a região oeste é caracterizada por gradientes térmicos relativamente baixos, na faixa de 15 a 25 °C/km, enquanto a região leste é caracterizada por valores maiores que 25 °C/km. A distribuição do fluxo térmico também apresenta tendências semelhantes. Este comportamento é considerado como resultado de refração de calor dos sedimentos da bacia do Paraná, conjugado com o efeito de isolamento térmico, oriundo da baixa condutividade térmica dos derrames de basalto da formação Serra Geral. Análises de dados de temperaturas in-situ do aquífero Guarani e a sua espessura indicam existência de recursos geotérmicos de baixa entalpia na região oeste, que é continuação de recursos semelhantes identificados nas partes contíguas do Uruguai e da Argentina.

### Introdução

Este trabalho representa parte de um programa de avaliação de recursos geotérmicos em escala regional da Bacia do Paraná, iniciado em 2004 pelo Laboratório de Geotermia do Observatório Nacional/MCT. As investigações geotérmicas pioneiras na Bacia do Paraná foram realizadas por Meister (1973), Vitorello et al (1978, 1980), Eston et al (1981), Hurter (1986), Hurter e Hamza (1987). Posteriormente Hamza e Muñoz (1996), Hurter e Pollack (1996), Hamza et al (2005) apresentaram resultados de estudos complementares. Gomes e Hamza (2004, 2005 e 2006), apresentaram compilações atualizadas acompanhadas de reavaliações de dados geotérmicos das regiões centro e norte da Bacia do Paraná e também das áreas vizinhas da região norte. Contudo, os trabalhos realizados nas etapas anteriores ficaram limitados às porções central (Gomes e Hamza,

2006) e norte (Gomes e Hamza, 2007) da Bacia do Paraná. O enfoque principal desta etapa do projeto é análise de dados geotérmicos da porção Sul da Bacia do Paraná, situada, em grande parte, no Estado do Rio Grande do Sul. Na Figura (1) apresentamos um mapa com os locais dos dados geotérmicos e sua distribuição em relação ao contorno da Bacia do Paraná na área de interesse deste estudo.

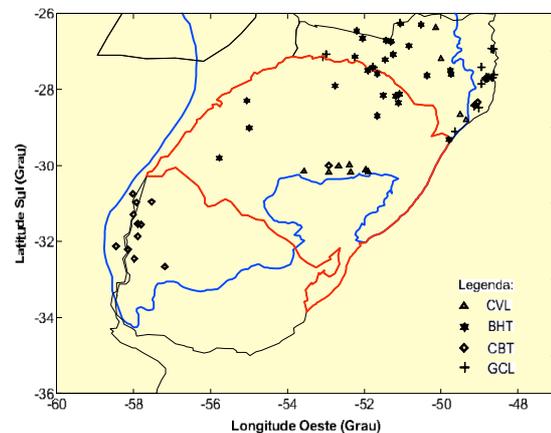


Figura 1 – Distribuição de dados geotérmicos no Estado do Rio Grande do Sul com e regiões vizinhas por tipo de método empregado. O contorno em cor azul indica limite da Bacia do Paraná.

### Metodologia

Na determinação dos gradientes e de fluxo geotérmico utilizamos quatro métodos distintos: convencional (CVL), temperatura estável do fundo de poço (CBT), temperatura do fundo de poço de petróleo (BHT) e o método geoquímico (GCL). Os princípios desses métodos e detalhes de procedimentos utilizados foram apresentados por Gomes (2005) e Alexandrino (2008). Desta forma, limitamos a discussão aqui somente sobre a questão da qualidade dos resultados. No presente caso, os indicadores de qualidade foram definidos com base nos fatores que determinam a exatidão nas medições de temperaturas e a profundidade alcançada. A exatidão das medidas de temperaturas nos métodos CVL é melhor que 0,01°C. Contudo, a maioria dos furos, nos quais foram utilizados métodos CVL e CBT, possuem profundidades menores que 300 metros, o que compromete a confiabilidade na determinação de gradiente e do fluxo térmico na crosta e no manto. No método BHT a exatidão nas medições de temperaturas é geralmente menor que 2 °C. Por outro lado, a maioria dos poços, nos quais

foram empregados métodos BHT, possuem profundidades maiores que 1000 metros. Conhecimento direto das temperaturas em profundidades maiores permite compensar parcialmente as incertezas oriundas da baixa exatidão nas medições. As diferenças nas profundidades são ilustradas na Figura (2).

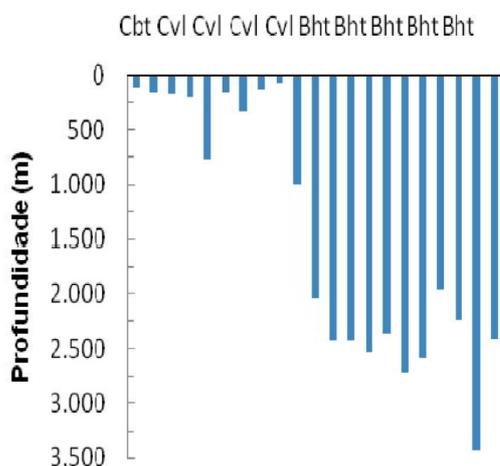


Figura 2 – Ilustração das Profundidades dos poços de medições geotérmicas. As siglas no topo da Figura indicam métodos utilizados nas determinações de gradientes térmicos.

A Figura (3) ilustra a distribuição dos dados geotérmicos adquiridos por tipo de método utilizado. Nota-se que cerca de 30% de dados foram obtidos pelos métodos CVL, 35% pelos métodos CBT e 35% pelos métodos BHT. Conclui-se, portanto que o conjunto global de dados possa ser considerado como um acervo de bom grau de confiabilidade.

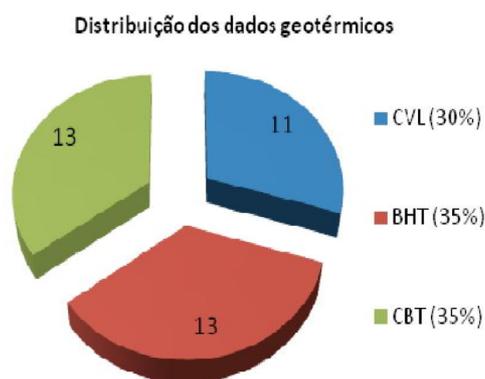


Figura 3– Distribuição de todos os dados geotérmicos por tipo de gradiente utilizado.

### Bases de Dados

Na fase inicial do projeto foram reavaliados os resultados de estudos anteriores de Vitorello et al (1978 e 1980), Eston et al (1981), Hamza et al (1979), Hamza e Muñoz (1996), Hurter e Pollack (1996) e Hamza et al (2004 e 2005). Também foram reavaliados dados geoquímicos das fontes termais da área de estudo com base em resultados de Hurter et al (1983), Hurter (1986), e Hurter e Hamza (1987). Para uma melhor interpretação dos resultados, utilizamos também dados do estado de Santa Catarina, ao norte (Gomes e Hamza, 2005), e as partes contíguas dos países vizinhos, Argentina e Uruguai nas partes sul e oeste (Pesce & Lippmann, 2002). O conjunto utilizado para a avaliação do gradiente térmico e do fluxo geotérmico, incluiu dados num total de 34 localidades. As reavaliações incluíram as determinações dos valores representativos de condutividade térmica e também dos procedimentos adotados nas determinações do gradiente e do fluxo térmico.

### Resultados do Gradiente e do Fluxo Térmico

Apresentamos nas Tabelas (1), (2) e (3) os resultados de gradientes e de fluxo térmicos de 37 locais, incluindo 21 no Estado do Rio Grande do Sul (Tabela 1), sete locais no Uruguai (Tabela 2) e nove na Argentina (Tabela 3). Quanto aos valores obtidos pelo método BHT, os gradientes térmicos estão compreendidos entre 19 e 31 °C/km e o fluxo geotérmico entre 44 e 70 mW/m<sup>2</sup>. O único resultado obtido pelo método CBT apresentou valor de 20°C/km e 52 mW/m<sup>2</sup> para o fluxo geotérmico. Os resultados obtidos de gradiente térmicos pelo método CVL estão compreendidos entre 22 e 47 °C/km e para o fluxo geotérmico se encontra entre 64 e 121 mW/m<sup>2</sup>. Os valores médios de gradientes térmicos dessas três regiões são respectivamente 28,1; 26,6 e 22,5°C/km. Apesar dos valores relativamente elevados de desvios padrão os resultados podem ser considerados como indicativos de uma queda sistemática do gradiente térmico, ao longo da faixa, que se estende do RS para norte da Argentina, passando pela região oeste do Uruguai. Os valores médios de fluxo térmico desses três regiões são respectivamente 68,5; 57,5 e 55,5 mW/m<sup>2</sup>, indicando existência de uma tendência semelhante aquela observada nos valores de gradiente térmicos.

### Mapeamento do Gradiente e do Fluxo Geotérmico

As distribuições regionais de gradiente e do fluxo geotérmico são apresentados respectivamente nos mapas das Figuras (4) e (5). Para obter-se um mapeamento mais representativo do campo térmico em escala regional, foram considerados também dados geotérmicos das áreas vizinhas, já avaliados durante as fases anteriores do projeto. Os mapas indicam zonas de gradiente e de fluxo térmico relativamente baixo na região oeste do Estado do Rio Grande do Sul em comparação com a da região leste. A zona de baixa gradiente estende para a parte oeste do Uruguai e também para a parte norte da Argentina. Comportamentos semelhantes também foram observados nos estudos anteriores, para regiões ao norte, estendendo para Estados de Santa Catarina (Gomes e Hamza, 2005), Paraná (Gomes e Hamza, 2006) e São Paulo (Gomes e Hamza, 2004).

Tabela 1 – Resultados de reavaliações de Gradiente e de fluxo térmico no Estado do Rio Grande do Sul.

Município	Coordenadas		Γ (°C/km)		Q(mW/m <sup>2</sup> )	
	Long.	Lat.	Médio	σ	Médio	σ
Alegrete	-55,77	-29,80	18	0,9	44	3
Butiá	-51,96	-30,12	29	0,9	74	3
Butiá	-51,90	-30,17	39	0,7	100	4
Butiá	-51,96	-30,12	33	0,9	101	4
Cachoeira do Sul	-52,92	-30,00	20	0,6	52	2
Esmeralda	-51,18	-28,18	23	0,7	49	2
Esmeralda	-51,09	-28,12	23	0,9	49	2
Itacurubi	-54,99	-29,02	20	0,6	48	2
Lagoa Vermelha	-51,50	-28,16	22	0,9	48	2
Machadinho	-51,66	-27,59	28	0,9	62	3
M. Ramos	-51,90	-27,51	29	0,9	65	3
Muitos Capões	-51,11	-28,35	28	0,8	55	2
Nova Bassano	-51,66	-28,70	26	0,8	53	2
Paraiso do Sul	-52,92	-30,18	23	0,7	64	3
Rio Pardo	-52,38	-29,99	41	1,2	112	5
Rio Pardo	-52,67	-30,02	41	1,2	109	5
Rio Pardo	-52,35	-30,18	25	0,8	65	3
Ronda Alta	-52,76	-27,91	23	0,9	52	3
São L. Gonzaga	-55,05	-28,30	19	0,6	46	2
São Sepé	-53,57	-30,16	48	1,4	122	5
Torres	-49,79	-29,33	32	1	69	3
Média	-	-	28,1	1,8	68,5	5,8

Tabela 2 – Resultados das reavaliações do Gradiente e do fluxo térmico na região oeste do Uruguai.

Município	Coordenadas		Γ (°C/km)		Q(mW/m <sup>2</sup> )	
	Long.	Lat.	Médio	σ	Médio	σ
Almirón	-57,19	-32,66	22,0	0,7	48	2
Arapey	-57,53	-30,96	39,1	1	71	3
Dayman	-57,89	-31,54	26,2	1,3	66	4
Guaviyú	-57,89	-31,86	26,7	0,8	54	2
Paso Ullestie	-57,98	-32,45	20,6	0,6	41	2
Salto Grande	-57,89	-31,53	30,4	0,9	70	3
San Nicanor	-57,80	-31,56	20,9	0,6	53	2
Média	-	-	26,6	1,5	57,5	2,6

### Discussão e Conclusões

As regiões de baixos valores de gradiente e de fluxo térmico ocorrem nas partes centrais da Bacia do Paraná, onde existem camadas espessas de basaltos. Como a condutividade térmica dos basaltos é baixa em relação à dos sedimentos existe a possibilidade de que efeitos de refração de calor influem nas variações regionais. Análises de dados de temperaturas in-situ do aquífero Guarani e as suas espessuras, indicam existência de recursos geotermiais de baixa entalpia na região oeste, que é continuação de recursos semelhantes identificados nas partes contíguas do Uruguai e da Argentina. Esta região também apresenta condições climáticas favoráveis para aproveitamento de recursos geotermiais, tanto para atividades balneárias, quanto para o uso direto.

Tabela 3 – Resultados das reavaliações do Gradiente e do fluxo térmico na região norte de Argentina.

Município	Coordenadas		Γ (°C/km)		Q(mW/m <sup>2</sup> )	
	Long.	Lat.	Médio	σ	Médio	σ
Mendoza .Federal	-68,75	-33,25	21,0	3	63	4
Mendoza	-68,87	-32,80	11,4	2,2	25	2
Naposta B.Blanca	-62,30	-38,32	18,3	3	55	4
E.Salitra B.Blanca	-63,25	-38,68	25,7	3	77	5
Termas Cólón	-58,15	-32,21	26,1	0,8	67	3
Terma Chajari	-58,01	-30,75	27,0	0,8	56	2
Terma Federación	-57,93	-30,98	25,9	0,8	59	2
Terma Concórdia	-58,00	-31,30	24,6	0,7	51	2
Terma Vila Elisa	-58,46	-32,13	22,2	0,7	46	2
Média	-	-	22,5	1,8	55,4	3,3

### Referências

- Gomes, A.J.L. e Hamza, V.M., 2004. *Mapeamento de Gradientes Geotérmicos no Estado de São Paulo*, In: 1º Simpósio Regional de Geofísica, Anais, Cd-rom, São Paulo, 26-28 de setembro, 4p.
- Gomes, A.J.L. and Hamza, V.M., 2005. *Gradiente e Fluxo Geotérmico do Estado de Santa Catarina*, 9º International Congress of tSBGf, 6p., Cd-rom, Salvador, Brasil.
- Hamza, V. M.; Eston, S. M.; Araujo, R. L. C. 1979. Geothermal Energy Prospects in Brazil: A Preliminary Analysis. Pure And Applied Geophysics, Basel, Switzerland, v. 117, n. 1/2, p. 180-195.
- Hamza, V.M., Silva Dias, F.J.S., Gomes, A.J.L. and Terceros, Z.G.D., 2005. *Numerical and Functional Representations of Regional Heat Flow in South America*, PEPI, Volume 152, 4, p.223-256.
- Hamza, V.M. and Muñoz, M., 1996. *Heat Flow map of South America*, *Geothermics*, Vol. 25, nº 6, pp. 599-646.
- Hurter, S.J., Eston, S.M., Hamza, V.M., 1983. Coleção Brasileira de Dados Geotérmicos - Série 2: Fontes Termiais.-1. Publicação IPT 1233.
- Alexandrino, C.H. Hamza, V.M., 2008, Estimates of Heat Flow and Heat Production and a thermal model of the São Francisco Craton. IES, v. 97, p. 289-306.
- Hurter, S.J., 1986. The use of chemical geothermometry and heat loss models in estimating terrestrial heat flow for low temperature hydrothermal systems. RBGeofísica 6, 33-42.
- Hurter, S.J.; Pollack, H.N., 1996. *Terrestrial heat flow in the Paraná basin Southern Brazil*, JGR 101, p.8659-8672.
- Pesce, A., Lippmann, M. 2002, Thermal Spas: An economical development alternative along both sides of the Uruguay River, GHC Bulletin, September, pg 22-28.
- Vitarello, I., Hamza, V.M.; Pollack, H.N. and Araújo, R.L.C., 1978. *Geothermal Investigations in Brazil*, Rev. Brasil. Geociências, vol. 8, pp. 71-89.
- Vitarello, I., Hamza, V.M. and Pollack, H.N., 1980. *Terrestrial Heat Flow in the Brazilian Highlands*, Journal of Geophysical Research, vol. 85, pp. 3778-3788.

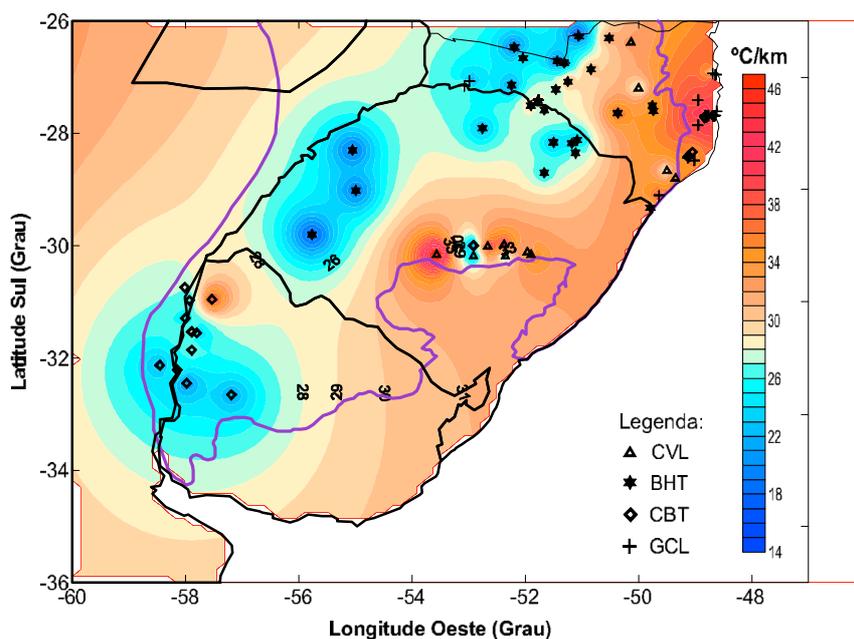


Figura 4 – Distribuição regional de gradiente geotérmico no Estado do Rio Grande do Sul incluindo também áreas vizinhas do Uruguai e da Argentina.

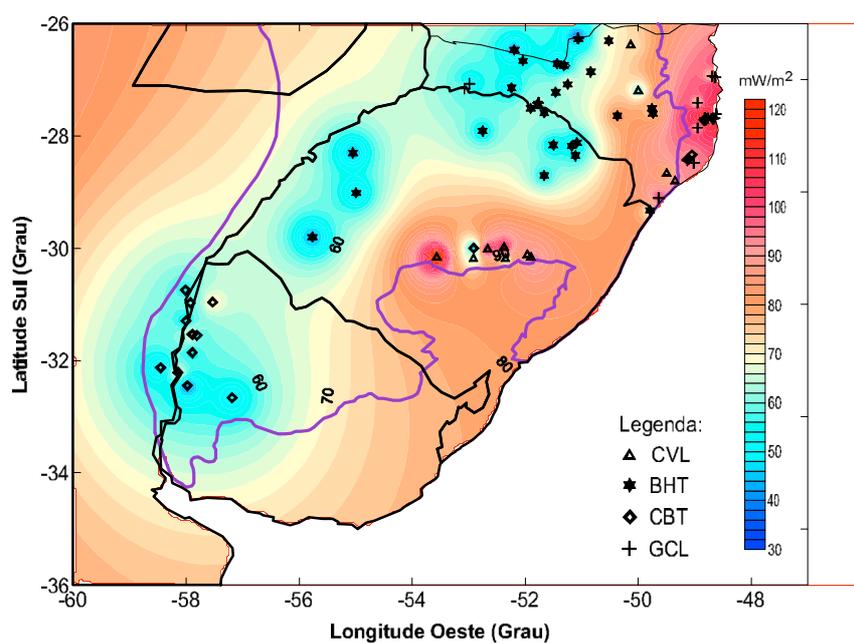


Figura 5 – Distribuição regional de fluxo geotérmico no Estado do Rio Grande do Sul incluindo também áreas vizinhas do Uruguai e da Argentina.