

Gradientes Geotérmicos nas Bacias Tafrogênicas da Região Sudeste.

Iran Ferreira Rodrigues (Iran@on.br) e Valiya M. Hamza (hamza@on.br), Observatório Nacional, RJ, Brasil.

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Resumo

Resultados de estudos geotérmicos realizados a partir da década de 1970 foram utilizados numa avaliação detalhada dos gradientes geotérmicos das bacias tafrogênicas da região sudeste do Brasil. O estágio atual da compilação engloba medidas experimentais em 28 locais distribuídos em 15 municípios. Os gradientes térmicos ficaram distribuídos no intervalo compreendido entre 16 a 57 °C/km com valores médios de $23 \pm 2,1$ °C/km para a bacia de Taubaté, de $20 \pm 1,2$ °C/km para a bacia de São Paulo e de $38 \pm 2,6$ °C/km para Resende. Esta faixa é típica de áreas continentais, tectonicamente estáveis. Contudo, foram encontradas áreas com gradientes térmicos acima de 35 °C/km ao longo da borda norte, na parte central da bacia Taubaté, na região próxima de Jacareí e também na Bacia de Resende.

Introdução

Uma das feições tectônicas marcantes da crosta continental na região sudeste é o conjunto de bacias sedimentares de pequeno porte que se estendem desde a região de Curitiba (PR) até o município Barra de São João (RJ), passando pela região sudeste do Estado de São Paulo. De acordo com os estudos geológicos (Almeida, 1983; Hasui, et al, 1978; Riccomini, 1989; entre outros) essas bacias são originárias de processos tafrogênicos ocorridos na parte continental da região sudeste do Brasil. Do ponto de vista morfológico, constitui-se de uma faixa arqueada paralela à área costeira com extensão aproximada de 900 km, conforme ilustrado na Figura (1).

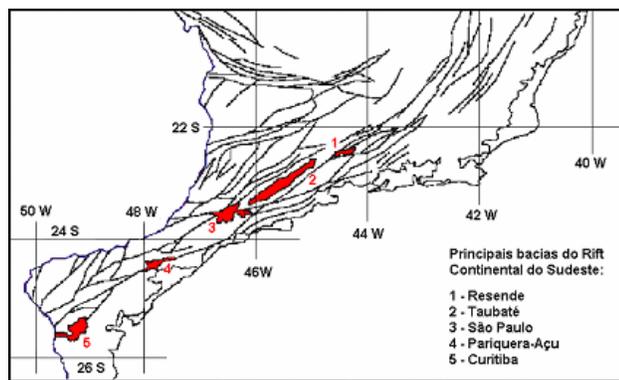


Figura 1 - Mapa de Localização das principais bacias tafrogênicas continentais da região sudeste adaptado de Riccomini (1989).

O presente estudo faz parte integrante de um projeto de pesquisa iniciado recentemente no Laboratório de Geotermia do Observatório Nacional – ON/MCT, cujo objetivo é a avaliação de recursos geotérmicos das bacias tafrogênicas da região sudeste.

Dados Geotérmicos Utilizados

Grande parte dos dados obtidos nas décadas de 1970 e 1980 encontra-se dispersa em relatórios internos de circulação limitada em diversas instituições de pesquisa. Nas avaliações posteriores dos dados geotérmicos (Hamza et al, 1986), (Hamza e Muñoz, 1996) e (Hamza e Silva Dias, 2003), foram examinados apenas aspectos do campo térmico em escalas continentais. Apresentam-se, neste contexto, resultados da primeira análise detalhada dos dados de gradiente geotérmico nas bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda.

Na primeira fase deste projeto foi efetuada uma compilação dos dados de perfis térmicos de 28 localidades, distribuídos em 15 municípios nas bacias de São Paulo, Taubaté, Volta Redonda e Resende. A distribuição geográfica de dados é razoavelmente uniforme, o que permite análise do campo térmico em escalas regionais.

Metodologia Adotada

No presente trabalho foi efetuada uma reavaliação dos gradientes térmicos determinados nos estudos anteriores, com objetivo de uniformizar os procedimentos de análise de dados primários e de padronizar os métodos de correção. A fim de minimizar problemas oriundos de mudanças na qualidade dos dados primários foram selecionados apenas dados de medições experimentais que permitem determinação direta do gradiente geotérmico. Desta forma, foram utilizados resultados obtidos pelos métodos designados aqui como de convencional (CVL) e de temperatura estável do fundo de poço (CBT). Os detalhes de procedimentos adotados nesses métodos foram apresentados nos trabalhos anteriores de Hamza e Muñoz (1996), Gomes e Hamza (2003 e 2004) e Hamza et al (2004). Por este motivo, citam-se no presente trabalho apenas os aspectos relevantes dos procedimentos adotados na aplicação desses métodos. De acordo com a escala de prioridades sugeridas por Hamza e Muñoz (1996), resultados destes métodos podem ser considerados como de qualidade superior àqueles obtidos por métodos geoquímicos (Hurter et al, 1983). No método convencional (CVL) o gradiente geotérmico é determinado para intervalos de profundidades selecionados, com base em informações de perfil litológico do poço em questão. Os valores foram calculados pelo critério de mínimos quadrados. Nos casos de poços com indícios de perturbações térmicas foram aplicadas correções para minimizar os efeitos de mudanças climáticas e de topografia local.

O método de temperatura estável do fundo do poço (CBT) foi utilizado em casos em que o campo térmico do poço é alterado pelo fluxo de fluidos no seu interior.

Nestas situações a perturbação térmica é praticamente nula na parte inferior do poço (Ribeiro, 1988). Neste caso a relação utilizada para a determinação do gradiente térmico é:

$$\Gamma = (T_{FP} - T_0) / H = \sum_{i=1}^N (dT / dz)_i h_i / \sum h_i \quad (1)$$

onde T_{FP} é a temperatura do fundo do poço, T_0 a temperatura média anual da superfície, H a profundidade do poço, N o número de camadas e h a espessura da camada. A segunda igualdade no lado direito da equação (1), indica, que os gradientes calculados pelo método CBT, são médias ponderadas de gradientes intervalares, os quais mudam conforme as variações nas condutividades térmicas das camadas interceptadas pelo poço. Convém notar que, no método CBT, as medições de temperaturas são geralmente efetuadas em poços de regimes térmicos estáveis, utilizando termômetros de precisão e, portanto, não necessitam de correções. Por outro lado, o grau de incerteza deste método é maior, já que falta de informações apropriadas dificultam a determinação exata da temperatura média anual da superfície nos locais de poços.

Resultados Obtidos

a) Bacia Taubaté: No estágio atual do projeto foram concluídos reavaliações de gradientes térmicos em 21 localidades, distribuídos em 11 municípios, na bacia de Taubaté e suas circunvizinhanças. As profundidades dos poços onde foram efetuados perfilagens térmicas pelos métodos CVL e CBT são inferiores a mil metros. A distribuição geográfica desses dados é ilustrada na Figura (2).

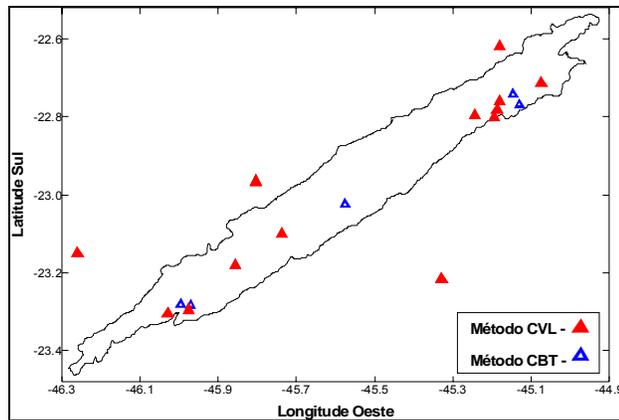


Figura 2 – Locais das medidas geotérmicas no entorno e na Bacia de Taubaté por tipo de método utilizado.

Apresenta-se na Tabela (1) gradientes térmicos obtidos, em 21 localidades, pelos métodos CVL e CBT, descrito no item anterior. Os desvios padrões (σ) na determinação dos gradientes, apresentados na última coluna desta tabela indicam os graus de incerteza deste método. A maior parte dos gradientes encontrados está na faixa de 13 a 28°C/km. As exceções são os gradientes térmicos elevados (na faixa de 34 a 57°C/km) encontrados em três poços localizados nos municípios de Jacareí, São Jose dos Campos e Taubaté. É importante notar que o valor alto de 57°C/km foi encontrado num poço de

aproximadamente 500 metros de profundidade no município de Taubaté.

Tabela 1 - Valores de gradientes térmicos na Bacia de Taubaté e regiões circunvizinhas.

Município	Coordenadas		Gradiente (°C/km)	
	Longitude	Latitude	Calculado	σ
Jacareí	-45,9758	-23,2814	20,7	4,17
	-45,9500	-23,2833	48,9	5,43
Lorena	-45,1261	-22,7428	29,0	0,74
	-45,1097	-22,7692	27,0	1,17
Taubaté	-45,5555	-23,0250	57,1	0,51
Caçapava	-45,7167	-23,1000	25,2	2,72
Guaratinguetá	-45,1667	-22,7817	16,1	1,31
	-45,1739	-22,8017	16,1	2,82
	45,1600	22,7600	22,9	3,27
Jacareí	-45,2233	-22,7964	27,1	0,71
	-45,9556	-23,2956	23,2	0,05
	-46,0092	-23,3042	17,4	2,98
Piquete	-45,1600	-22,6200	8,9	0,13
Santa Izabel	-46,2400	-23,1500	15,2	3,65
Lorena	-45,0539	-22,7131	20,5	0,93
São José dos Campos	-45,7833	-22,9667	23,2	1,47
	-45,7833	-22,9667	7,5	1,44
	-45,7833	-22,9667	34,9	3,32
São Luiz do Paraitinga	-45,8358	-23,1803	27,4	2,84
	-45,3090	-23,2170	13,2	2,04
	-45,3090	-23,2170	10,8	2,66

b) Bacia de São Paulo: Com relação à bacia de São Paulo foram concluídas reavaliações de dados geotérmicos de quatro localidades distribuídas em três municípios. Os dados nesses locais foram obtidos pelo método convencional (CVL). A distribuição de dados é ilustrada na Figura (3) e indica que um dos poços está localizado no interior e o outro na área limítrofe desta bacia. Os demais poços estão situados em locais distantes de cerca de 40 a 60 quilômetros.

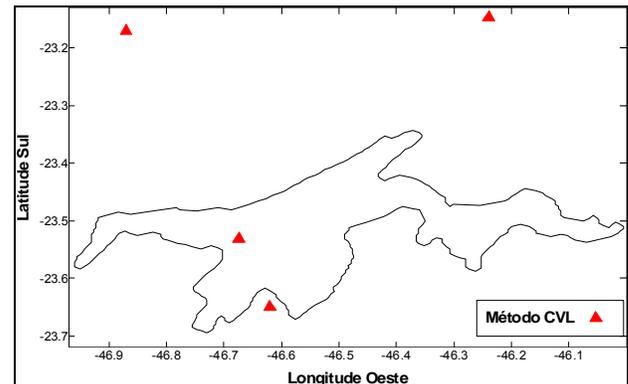


Figura 3 – Locais das medidas geotérmicas da Bacia de São Paulo e áreas vizinhas.

Os resultados de gradientes geotérmicos são apresentados na Tabela (3). Está claro que a densidade de dados é baixa. Contudo, é importante notar que o maior valor do gradiente geotérmico foi encontrado no

poço localizado no interior da bacia. Portanto, há indícios de que o gradiente térmico diminui com a distância do centro da bacia.

Tabela 3 - Valores de gradientes térmicos na Bacia de São Paulo e áreas vizinhas.

Município	Coordenadas		Gradiente (°C/km)	
	Longitude	Latitude	Calculado	σ
Jundiaí	-46,8700	-23,1700	19,8	0,09
Água Funda - SP	-46,6200	-23,6500	22,0	0,26
Água Branca - SP	-46,6740	-23,5310	25,0	0,66
Santa Izabel	-46,2394	-23,1475	15,2	3,65

b) Bacias de Resende e Volta Redonda: Com relação às bacias de Resende e de Volta Redonda foram concluídas reavaliações de dados geotérmicos de quatro localidades distribuídas em dois municípios. Os dados nesses locais foram obtidos pelo método convencional. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela (4).

Tabela 4 - Valores de gradientes térmicos na Bacia de Resende e Volta Redonda.

Município	Coordenadas		Gradiente (°C/km)	
	Longitude	Latitude	Calculado	σ
Resende	-44,4333	-22,4833	42,7	1,68
	-44,4333	-22,4833	39,1	0,47
	-44,4333	-22,4833	33,0	1,03
Volta Redonda	-44,1333	-22,5333	27,2	0,30

Mapas de Gradiente Geotérmico

Apesar da disponibilidade limitada de dados optamos pela elaboração de mapas em escalas apropriadas como a melhor forma de examinar as variações regionais do gradiente geotérmico. No presente caso, optou-se pelos mapas de contorno automáticos gerados por *softwares* computacionais.

O mapa de gradiente térmico da bacia de Taubaté, apresentado na Figura (4) indica que grande parte desta bacia é caracterizada por gradientes térmicos na faixa de 15 a 25°C/km. Contudo, o fato mais marcante é a constatação de gradientes térmicos relativamente elevados (>50°C/km) na região central da bacia, no município de Taubaté e numa a região próxima a Jacareí.

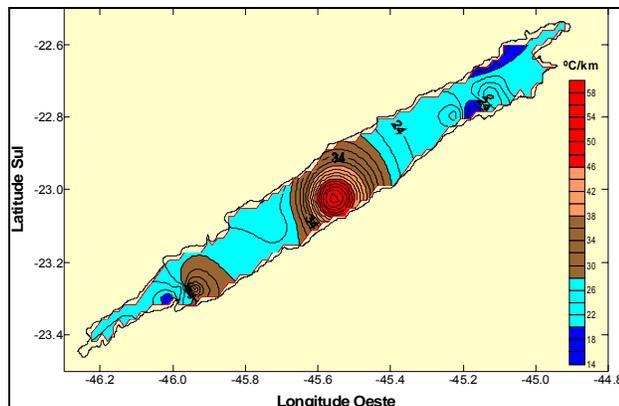


Figura 4 - Mapa de gradiente geotérmico da bacia de Taubaté.

Por outro lado, constata-se que as regiões Leste e Oeste parecem ser caracterizadas por valores de gradientes térmicos menores que 20°C/km. Devido à ausência de dados mais quantitativos, as ocorrências de valores elevados nos outros municípios, não foram consideradas como representativas de gradiente térmico regional.

O mapa de gradiente térmico da bacia de São Paulo, apresentado na Figura (5), revela uma tendência semelhante. Os gradientes térmicos são elevados no interior desta bacia, em relação às das áreas circunvizinhas. Obviamente, a baixa densidade de dados não permite análises mais detalhadas.

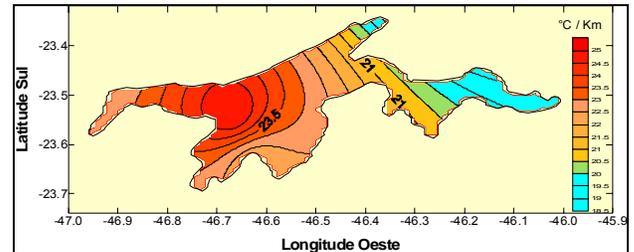


Figura 5 - Mapa do gradiente geotérmico da bacia de São Paulo.

Conclusões

A reavaliação de dados geotérmicos da bacia de Taubaté revela existência de locais de gradientes térmicos relativamente elevados na faixa de 34 a 57°C/km. Nas demais áreas os valores médios dos gradientes térmicos estão na faixa de 20 a 30°C/km. Modelos de circulação hidrotermal apontam para a existência de recursos de águas termais na porção basal desta bacia, em profundidades maiores que 400 metros, o que é confirmado pela ocorrência de águas termais no município de Taubaté. Resultados de análises químicas disponíveis na literatura indicam existência das águas subterrâneas com características de fluidos geotérmicos. No caso das bacias de São Paulo e Resende há indícios de existência de gradientes térmicos elevados nas suas partes interiores em relação às das áreas vizinhas. Conclui-se, portanto, que as bacias tafrogênicas da região Sudeste são caracterizadas por regimes geotérmicos anômalos.

Referências Bibliográficas

- Almeida, F.F.M., 1983, Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. *Revista Brasileira de Geociências*, 13:139-158.
- Gomes, A.J.L., Hamza, V.M., 2003, Avaliação de Recursos Geotérmicos do Estado do Rio de Janeiro, 8^o. *International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, Rio de Janeiro.
- Gomes, A.J.L. e Hamza, V.M., 2004, Mapeamento de gradientes geotérmicos no Estado de São Paulo, 1^o *Simpósio da Sociedade Brasileira de Geofísica*, São Paulo.

Hamza, V.M., Frangipani, A., Becker, E. A., 1986, Mapas de Geotermas, Gradientes Térmicos e Recursos Geotermiais do Estado de São Paulo - Fase 1: Regiões do Governo de São Jose dos Campos, Taubaté, Guaratinguetá e Cruzeiro., Relatório Interno, PROMINÉRIO, São Paulo.

Hamza, V.M., Muñoz, M., 1996, Heat Flow map of South America, *Geothermics Vol. 25, nº 6*, pp. 599-646.

Hamza, V.M. and Silva Dias, F. J. S., 2003, Functional Representation of regional heat flow in South America: Implications for the occurrence of low-temperature geothermal resources, *Geothermal Resources Council Transactions, V. 27*, pp. 615-618.

Hamza, V.M., Dias, F.J.S., Gomes, A.J.L. and Delgadilho, Z.G., 2004, Numerical and Functional Representations of Regional Heat Flow in South America., *Phys. Earth Planet.Int.* (no prelo).

Hasui, Y. et al, 1978, Sobre as Bacias Tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. Congresso Brasileiro de Geologia, Recife. Anais... Recife: SBG, 1978, v.1.

Hurter, S.J., Eston, S.M. e Hamza, V.M., 1983, Coleção Brasileira de Dados Geotérmicos Série 2 – Fontes Termiais. Publicação No. 1233, *Instituto. de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo s/a – IPT*, pp. 111

Ribeiro, F.B., 1988, Estudo sobre o problema da determinação de temperaturas de equilíbrio em poços afetados pela atividade de perfuração, Tese de Doutorado, IAG / USP, São Paulo.

Riccomini, C., 1989, O rift continental do sudeste do Brasil, Tese de Doutorado, IAG / USP, São Paulo.

Agradecimentos

Este trabalho é contribuição do Laboratório de Geotermia do Observatório Nacional – MCT.
Trabalho realizado sem auxílio das entidades nacionais de fomento á Pesquisa.