



## Gradiente e fluxo geotérmico da plataforma continental da região sudeste do Brasil

Roberta A. Cardoso\* e Valiya M. Hamza, Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Brasil.

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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.

### Abstract

Results of geothermal studies carried out in the southeastern continental platform area are presented. It includes mapping sea-bottom temperatures in the off-shore area of the state of Rio de Janeiro as well as gradient and heat flow determinations in petroleum exploration wells in the Campos basin. Appropriate sea floor temperatures and bottom hole temperatures with AAPG corrections were used in obtaining estimates of geothermal gradient values. The values are found to fall within the range of 24 to 30°C/km. The thermal conductivity was determined making use of a mixed data set that included measured and estimated values. Representative formation thermal conductivity values were then calculated using detailed lithologic profiles. Mean heat flow for three sites at the western border of the basin is 44mW/m<sup>2</sup>.

Maps prepared using automatic contouring techniques reveal the existence of a general northeast-southwest trend of low thermal gradients (< 20°C/km) along a narrow belt parallel to the coast. On the other hand, there are indications that it may be relatively high (> 20°C/km) along the coastal area as well as in the deeper eastern parts of the continental platform. These observations are considered as indicative of thermal refraction effects along the western border of the Campos basin rift.

### Introdução

Estudos geotérmicos foram efetuados na área da plataforma continental da região sudeste, como parte de um projeto de recursos geotérmicos do estado do Rio de Janeiro. Nesta iniciativa foi levada em consideração a necessidade de integração de dados geotérmicos continentais e oceânicos. Devido a uma maior disponibilidade de dados, a área de estudo selecionada ficou restrita à Bacia de Campos, no litoral do estado do Rio de Janeiro.

Utilizou-se para esta finalidade dados oceanográficos concedidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha Brasileira (DHN), informações geotérmicas concedidas pelo CENPES/Petrobrás e perfis litológicos disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). Também foram utilizados dados geotérmicos disponíveis no Banco de Dados Geotérmicos do Laboratório de Geotermia do Observatório Nacional/MCT. Os procedimentos adotados para a avaliação do campo térmico da área de estudo incluem análise de dados de temperatura do fundo do mar, revisão de dados disponíveis de temperatura e do gradiente geotérmico de poços de petróleo, medidas laboratoriais de

condutividade térmica das principais formações geológicas e determinação do fluxo geotérmico pelo método BHT.

### Temperaturas do fundo do mar

As análises de dados oceanográficos revelaram existência de variações temporais no campo térmico do mar raso, com escalas de tempo da ordem de dias. As variações verticais são caracterizadas por gradientes térmicos na faixa de 60 a 90 °C/ km em lâminas d'água de até 200 metros. Valores de gradientes menores que 20 °C/km foram encontrados em profundidades de 200 a 1000m. Este comportamento observado se enquadra dentro dos padrões normais do campo térmico de mar raso. Os resultados foram úteis na avaliação regional da influência da lâmina d'água na temperatura do fundo do mar em profundidades rasas de até 1000 metros. Neste contexto foi desenvolvida uma relação empírica entre a lâmina d' água e a temperatura do fundo do mar para a região da bacia de campos:

$$T_{FM} = 8 \times 10^{-9} P^3 + 3 \times 10^{-6} P^2 - 3,01 \times 10^{-2} P + 22,505 \quad (1)$$

onde  $T_{FM}$  é a temperatura do fundo do mar e  $P$  a lâmina d' água. A relação entre lâmina d' água e temperatura do fundo do mar é ilustrada na figura (1).

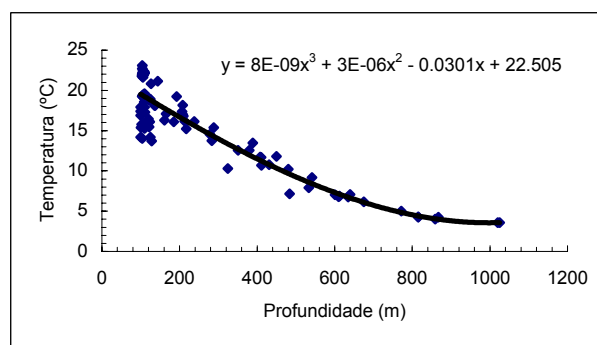


Figura 1: Relação entre lâmina d' água e temperatura do fundo do mar na área de Bacia de Campos.

### Gradiente Geotérmico

As determinações dos gradientes térmicos foram efetuadas utilizando dados de temperaturas de poços de petróleo e do fundo do mar (equação 1). Convém notar neste contexto que as determinações de gradientes térmicos em alguns dos trabalhos anteriores não levaram em consideração as variações da temperatura do fundo do mar. Por exemplo, Jahnert (1987) adotou o valor constante de 26,7 °C para a temperatura do fundo do mar. Sendo este não representativo do regime de temperaturas do fundo do mar foram efetuadas correções segundo a equação (1). Foi incorporada também a correção de dados de temperatura do fundo do poço através do procedimento conhecido como correção AAPG, indicada na equação abaixo (AAPG, 1976):

$$\Delta T = a z + b z^2 - c z^3 - d z^4 \quad (2)$$

onde  $\Delta T$  é a correção da temperatura,  $z$  é a profundidade e  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  são os coeficientes polinomiais com valores:  $1.878 \times 10^{-3}$ ,  $8.476 \times 10^{-7}$ ,  $5.091 \times 10^{-11}$  e  $1.681 \times 10^{-14}$  respectivamente. Os valores corrigidos são cerca de 12 a 34% superior as estimativas anteriores. Como exemplo ilustrativo, apresentamos na tabela (1) magnitudes de correção e erros percentuais nos valores de gradientes térmicos de 7 poços analisados.

Tabela 1: Dados de temperatura e gradiente geotérmico de 7 poços analisados. BR - valores utilizados pelo PETROBRÁS; Cor - valores corrigidos.

Poço	P (m)	T (°C)	Prof (m)	B.H.T. (°C)	Gradiente (°C/km)		
					BR	Cor.	Erro(%)
1RJS 5B	50	21,0	3897	124,4	21,7	26,8	23,3
1RJS 46	100	19,5	3344	107,4	23,6	26,5	12,2
1RJS 33	150	18,1	3135	98,8	19,5	25,9	33,0
1RJS 100	200	16,7	3122	95,4	18,5	24,7	33,6
1RJS 32	250	15,3	3821	124,8	22,3	29,0	30,0
1RJS 107	300	14,0	3898	132,2	23,7	29,1	22,9
1RJS 99	450	10,3	4245	121,1	19	24,1	27,0

#### Determinação da condutividade térmica

A avaliação de condutividade térmica é baseada nos resultados das medidas experimentais (realizadas no Laboratório de Geotermia do ON) junto com dados disponíveis na literatura. Também foram utilizados para esta finalidade perfis litológicos de três poços localizados na bacia de Campos (1RJS\_005B\_RJ, 1RJS\_0013\_RJ e 1RJS\_0023\_RJ), a partir de relatórios geológicos com descrição de amostra de calha. Estes perfis possibilitaram a determinação da condutividade térmica representativa das formações geológicas com maior detalhe, já que as amostragens de cada poço foram feitas com um intervalo de três metros. A figura (2) apresenta os perfis litológicos e os gráficos da variação da condutividade térmica para cada poço estudado.

#### Determinação do fluxo geotérmico

As determinações do fluxo geotérmico foram efetuadas com base no método conhecido como BHT, onde utilizamos a seguinte relação:

$$q = (T_{BHT} - T_{FM}) / \sum_{i=1}^N R_i Z_i \quad (3)$$

onde  $T_{BHT}$  é a temperatura do fundo do poço,  $T_{FM}$  a temperatura do fundo do mar,  $N$  o número de camadas,  $R_i$  a resistividade térmica da camada  $i$  e  $Z_i$  a sua espessura. O termo da somatória representa a resistência térmica cumulativa das formações até a profundidade de medida da temperatura. Os resultados obtidos são apresentados na tabela (2).

Tabela 2: Valores de gradiente térmico ( $\Gamma$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e fluxo térmico ( $q$ ) para três poços na borda oeste da bacia de campos.

Poço	$\Gamma$	$\lambda$	$q$
	(°C/km)	(W/m K)	(mW/m <sup>2</sup> )
1RJS 0013 RJ	21,7	1,7	37,2
1RJS 0023 RJ	22,2	2,4	53,7
1RJS 005B RJ	23,3	1,7	40,1

#### Resultados

Gradientes térmicos corrigidos foram calculados para 97 poços na região de bacias de Campos e Santos. Os resultados indicam gradientes térmicos na faixa de 20 a 35°C/km. Mapa de contorno (ver figura (3)) indica que as partes norte e sul da plataforma (junto ao litoral do estado do Rio de Janeiro) são caracterizados por gradientes térmicos relativamente elevados (> 30°C/km). Na parte central há uma faixa estreita, na direção nordeste-sudoeste, onde os gradientes térmicos são relativamente menores (20 – 30°C/km).

O mapa de contorno incluindo dados de gradientes térmicos da área emersa é apresentado na figura (4). Conforme pode ser visto nesta figura os gradientes térmicos são relativamente elevados (> 30°C/km), ao longo de uma faixa paralela à área costeira.

#### Conclusões

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram mapeamento de gradiente geotérmico na área de plataforma continental da região sudeste. Também foram determinados valores representativos de condutividade térmica das principais formações sedimentares na bacia de Campos.

As feições regionais nos mapas de gradiente térmico podem ser consideradas como indicativos de fluxo térmico relativamente elevado nas partes norte e sul da bacia de Campos. Os valores relativamente baixos (na faixa de 37 a 54 mW/m<sup>2</sup>) encontrados em três poços na borda oeste pode ser consequência de efeitos de refração de calor.

#### Agradecimentos

Os recursos computacionais para conclusão desse trabalho foram obtidos através de recursos concedidos pela Fundação Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ (Processo nº E-26/151. 920/2000).

**Bibliografia**

- American Association of Petroleum Geologists (AAPG)**, 1976, Basic data file from AAPG Geothermal Survey of North America: Univ. of Oklahoma, Norman.
- Beardsmore, G.R., Cull, J.P.**, 2001, Crustal heat flow – A guide to measurement and modelling.
- Brigaud, F., Chapmam, D. S., Le Douaran, S.** Estimating thermal conductivity in sedimentary basins using lithologic data and geophysical well logs. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. V. 74. nº 9. setembro/1990. P: 1459-1477;
- Carvalho, M.D., Praça, U.M., Júnior, J.J.M., Spadini, A.R.** 1990. Reservatórios carbonáticos profundos do Eo/Mesoalbio da Bacia de Santos. Bol. Geoc. Petrobrás, Rio de Janeiro, 4(4): 429-450.
- Del Rey, A.C., Zembruski, S.G.** Estudo hidrogeotérmico das bacias do Espírito Santo e Mucuri. Bol. Geoc. Petrobrás, RJ, 5 (1/4): 25-38, jan/dez 1991.
- Feijó, F.J.** Bacias de Sergipe e Alagoas. Bol. Geoc. Petrobrás, Rio de Janeiro, 8(1): 149-161, jan/mar 1994;
- Jahnert, R.J.** 1987. Gradiente geotérmico da Bacia de Campos. Bol. Geoc. Petrobrás, Rio de Janeiro, 1(2): 183-189.
- Kappelmeyer, O., Haenel, R.** Geothermics with special reference to application. Geopublication Associates.
- Marangoni, Y. R., Hamza, V. M.** Condutividade térmica de sedimentos da plataforma continental sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geofísica: 1983, Vol. 2, 11-18;
- Pereira, M.J.,m Feijó, F.J.** 1994. Bacia de Santos. Bol. Geoc. Petrobrás, Rio de Janeiro, 8(1): 219-234.
- Rangel, H.D., Martins, F.A.L., Esteves, F.R., Feijó, F.J.** 1994. Bacia de Campos. Bol. Geoc. Petrobrás, Rio de Janeiro, 8(1): 203-217.
- Schaller, H.** 1973. Estratigrafia da Bacia de Campos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 27. Aracajú, SBG. Anais, V.3, P: 247-258;
- Sombra, C.L., Arienti, L.M., Pereira, M.J., Macedo, J.M.** 1990. Parâmetros controladores da porosidade e da permeabilidade nos reservatórios clásticos profundos do campo de Merluza, Bacia de Santos, Brasil. Bol. Geoc. Petrobrás, Rio de Janeiro, 4(4): 451-466.
- Vacquier, V., Mathieu, Y., Legendre, E., Blondin, E.** 1988. Experiment on estimating thermal conductivity of sedimentary rocks from oil well logging. Geologic Note. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. V 72, nº 6. Junho 1988. P: 758-764;
- Vasseur, G., Brigaud, F., Demongodin, L.** 1995. Thermal conductivity estimation in sedimentary basins. Tectonophysics 244 / 167-174;
- Vieira, R. A. B., Mendes, M. P., Vieira, P. E., Costa, L. A. R., Tagliari, C. V., Bacelar, L. A. P., Feijó, F. J.** Bacias do Espírito Santo e Mucuri. Bol. Geoc. Petrobrás, Rio de Janeiro, 8(1): 191-202, jan/mar 1994;
- Zembruski, S.G., Kiang, C.H.** 1989. Gradiente geotérmico das bacias sedimentares brasileiras. Bol. Geoc. Petrobrás, Rio de Janeiro, 3(3): 215-227.

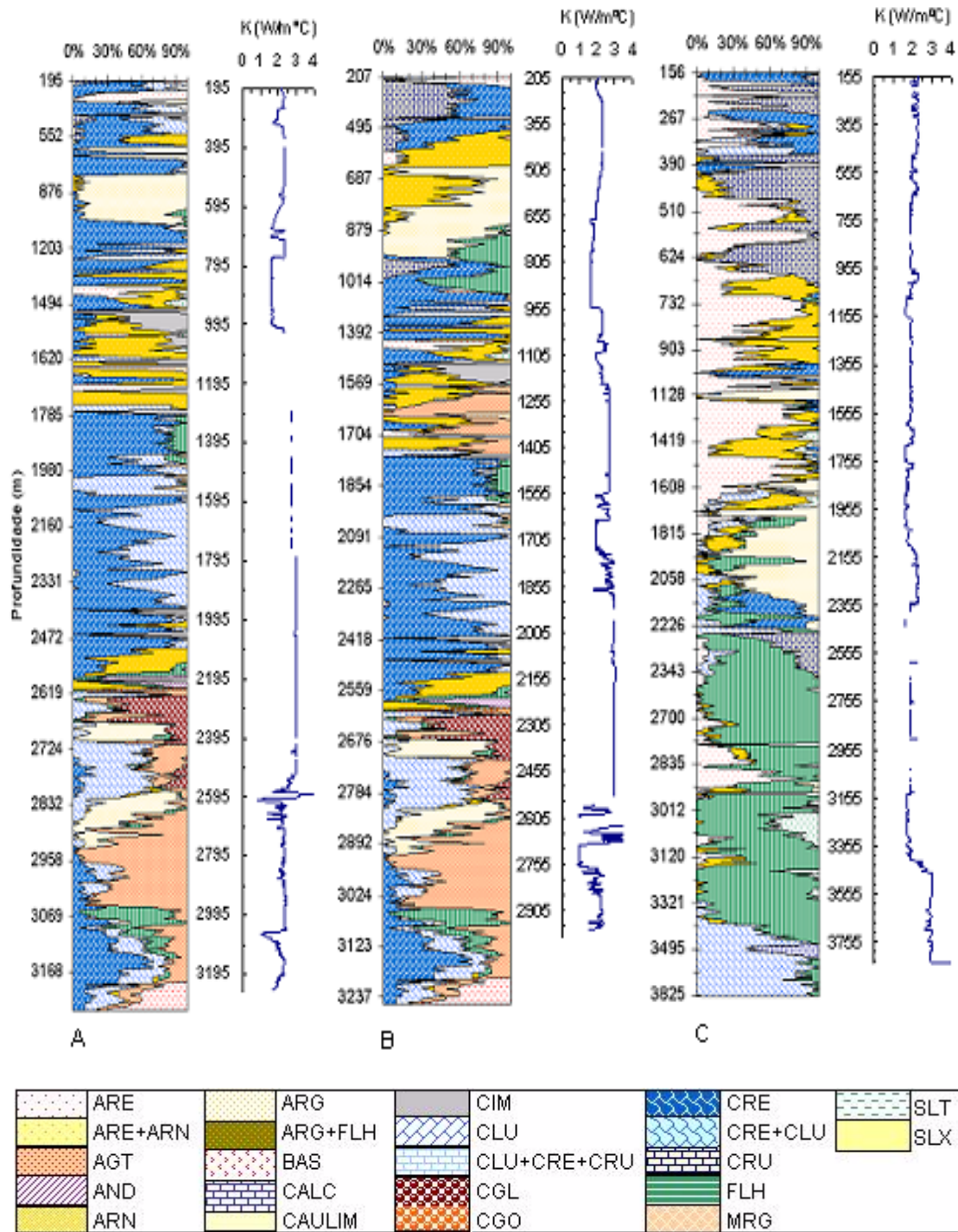


Figura (2) Perfis litológicos e as distribuições verticais de condutividade térmica efetiva nos locais de poços 1RJS 0013 RJ (A), 1RJS 0023 RJ (B) e 1RJS 005B (C) RJ.

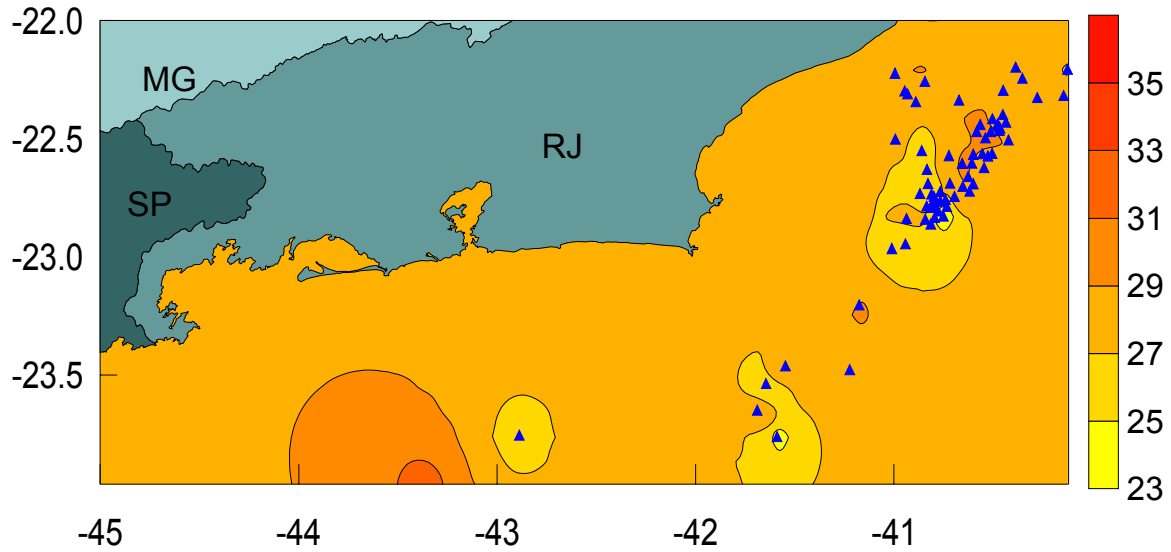


Figura 3: Mapa de gradiente geotérmico da plataforma continental com base em valores corrigidos. Os contornos de isovalores estão em unidades de °C/km. Os triângulos indicam a localização dos poços estudados.

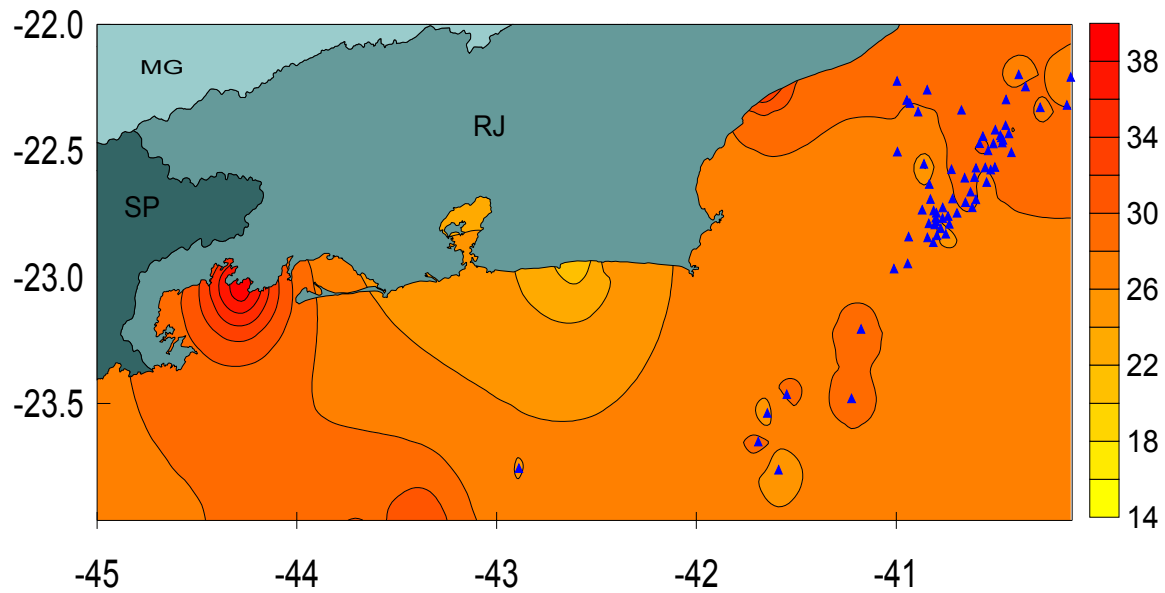


Figura 4: Mapa de gradiente geotérmico integrado com base em valores corrigidos. Os contornos de isovalores estão em unidades de °C/km. Os triângulos indicam a localização dos poços estudados