

## CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE SEDIMENTOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL SUDESTE DO BRASIL

YARA R. MARANGONI e VALIYA M. HAMZA<sup>1</sup>

Instituto Astronômico e Geofísico – USP  
Caixa Postal 30627 – 01051 – São Paulo – SP

Thermal conductivity measurements have been carried out on 94 samples of platform sediments collected off the coast of São Paulo and Rio Grande do Sul States. The mean conductivity of these shelf sediments is  $1.76 \pm 0.40$  W/m K and is thus considerably higher than those normally observed for deep sea sediments. The sediment conductivity is found to be strongly dependent on the type of sediments, its water content and degree of compaction. A general trend of decrease of conductivity with depth has been observed. Conductivity-porosity plot of the data shows that sand is a major constituent of platform sediments. Laboratory compaction studies indicate that conductivity increases linearly with the density, the rate of increase being lower for sediments rich in organic matter. Results of compaction studies have been pointed out as relevant in the investigation of such problems as reconstruction of paleotemperatures during the evolution of sedimentary basins, heat losses in submarine oil pipes and radioactive waste disposal in sea floors.

### INTRODUÇÃO

Estudos das propriedades térmicas de sedimentos da plataforma continental brasileira são praticamente inexis-

tentes. A condutividade térmica é uma propriedade importante que afeta a distribuição de temperaturas e o fluxo de calor no assoalho oceânico. Nos estudos de regime térmico das margens continentais, o conhecimento das proprieda-

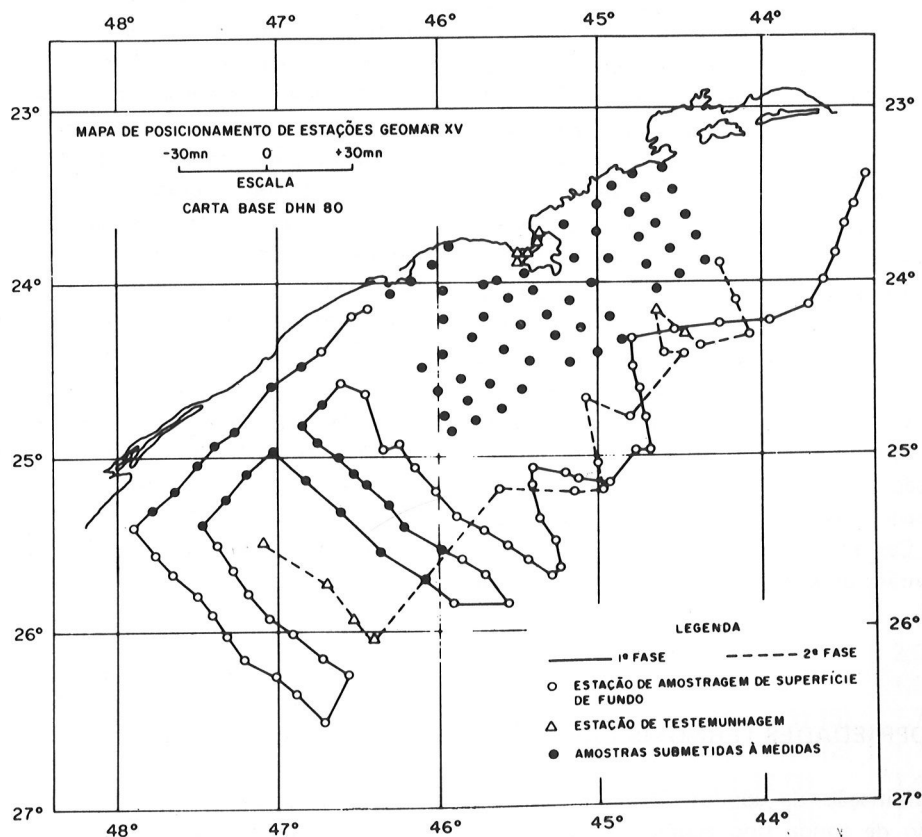


Figura 1 — Localização geográfica das amostras referentes ao litoral do Estado de São Paulo:

<sup>1</sup> Também no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), São Paulo.

des térmicas de seu material constituinte torna-se extremamente importante. Por outro lado, a condutividade térmica de sedimentos marinhos e suas variações com a compactação são de interesse geral nas pesquisas relacionadas à evolução de paleotemperaturas nas rochas geradoras de hidrocarbonetos, perda de calor em oleodutos submarinos e disposição de rejeitos radioativos no fundo oceânico.

No presente trabalho apresentam-se os resultados pioneiros de medidas de condutividade térmica de sedimentos da plataforma continental do sudeste do Brasil. As amostras de sedimentos oceânicos utilizadas foram coletadas pelo Instituto Oceanográfico (IO) da Universidade de São Paulo. Foram adquiridas 85 amostras provenientes da plataforma continental do Estado de São Paulo e 9 amostras do litoral do Rio Grande do Sul. A Fig. 1 mostra a disposição geográfica das amostras.

## COLETA DAS AMOSTRAS

O método de coleta e a maneira de conservação das amostras podem afetar as propriedades termofísicas de sedimentos oceânicos. No presente caso o método de coleta adotado pelo Instituto Oceanográfico é o método simples de "dragagem de fundo", o que dificulta a reconstituição do estado de compactação "in situ" e conteúdo natural de água. Estes dois parâmetros são importantes na determinação da condutividade térmica "in situ" de sedimentos marinhos. Para a conservação das amostras, o procedimento adotado pelo IO não é uniforme. Dentro das 94 amostras adquiridas, 28 (provenientes da região do litoral sul do Estado de São Paulo) foram conservadas em recipientes selados e mantidos sob refrigeração desde a coleta, evitando deste modo qualquer alteração no estado físico-químico dos componentes orgânicos. Por outro lado, 57 amostras do litoral central e norte do Estado de São Paulo foram coletadas em 1976 e a partir de 1977 deixaram de ser mantidas sob refrigeração. As nove amostras do litoral do Estado de Rio Grande do Sul foram secadas em estufa a 60°C para evitar oxidação dos componentes orgânicos.

A classificação visual utilizada pelo IO enquadra as amostras nos seguintes grupos: Areia (A), Lama (L), Biodetritos (B) e Cascalho (C). O grupo de areia recebe ainda outra subdivisão: areia fina (AF), areia média (AM) e areia grossa (AG).

## MEDIDAS DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS

Para a determinação da condutividade térmica foi utilizado o método de sonda tipo agulha. A preferência por este método, em lugar do método tradicional de estado estacionário, é baseada em algumas vantagens do primeiro em relação ao segundo. A principal delas é a curta duração dos experimentos, evitando variações na

condutividade térmica devido a evaporação de fluidos e sua distribuição não homogênea no espaço poroso. Este método tem sido utilizado com êxito nos últimos anos para medidas de condutividade térmica, tanto de materiais não consolidados como consolidados (Horai & Simmons, 1969; Horai & Baldrige, 1972; Hamza et al., 1980).

A variação de temperatura devido a uma fonte linear contínua de calor num meio homogêneo, isotrópico e infinito é dada por (Carslaw & Jaeger, 1959):

$$T = \frac{Q}{4\pi k} [\ln(t/t_0) - b] \quad (1)$$

onde Q é a taxa de produção de calor dentro da agulha, k é a condutividade térmica,  $t_0$  é um parâmetro de tempo relacionado com a difusividade térmica e o raio da agulha, t o tempo após início de aquecimento e b uma constante.

Portanto, um gráfico de temperatura em função de  $\ln t$  resultará numa relação linear cujo declive ( $D = \frac{Q}{4\pi k}$ )

é inversamente proporcional à condutividade térmica do meio. Conhecendo-se o valor de Q, a condutividade pode ser facilmente determinada.

A sonda utilizada foi uma agulha de aço inoxidável da Fenwall Electronics, de 0,1 cm de diâmetro e 6,3 cm de comprimento. No seu interior é colocado um fio aquecedor de 354 ohms de resistência e um termistor cuja bolha está localizada no centro da agulha. A agulha é instalada dentro de um recipiente cilíndrico de acrílico de 4,0 cm de diâmetro e 6,0 cm de comprimento, preenchido com o sedimento em seu estado natural. O sistema recipiente-sonda-amostra é isolado termicamente contra mudanças bruscas de temperatura do meio ambiente. O fio aquecedor é ligado a uma fonte simétrica regulável de corrente contínua. Um voltímetro e um miliamperímetro foram utilizados na determinação da taxa de aquecimento fornecida ao sistema. A variação de temperatura da agulha foi obtida através de medidas diretas da variação de resistência do termistor utilizando-se um multímetro digital. Um esquema do conjunto é mostrado na Fig. 2.

Para obter-se a variação de temperatura a partir dos dados de resistência elétrica é necessário conhecer-se a curva característica do termistor. Esta curva característica é obtida através da calibração da sonda. A equação empírica utilizada nos testes de calibração é:

$$\ln R = A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} \quad (2)$$

onde R é a resistência do termistor, T a temperatura, A, B e C constantes características do termistor.

A calibração foi efetuada em banho térmico cuja estabilidade é da ordem de 0,05°C, as medidas de temperatura da sonda foram obtidas através de um termômetro tipo termopar de cobre-constantan. Realizou-se dois testes com intervalos de variação da ordem de 0,5°C nas faixas de 50 a 25°C e 32 a 17°C. Os valores das constantes A, B e C foram obtidos por regressão parabólica para os dois testes de calibração.

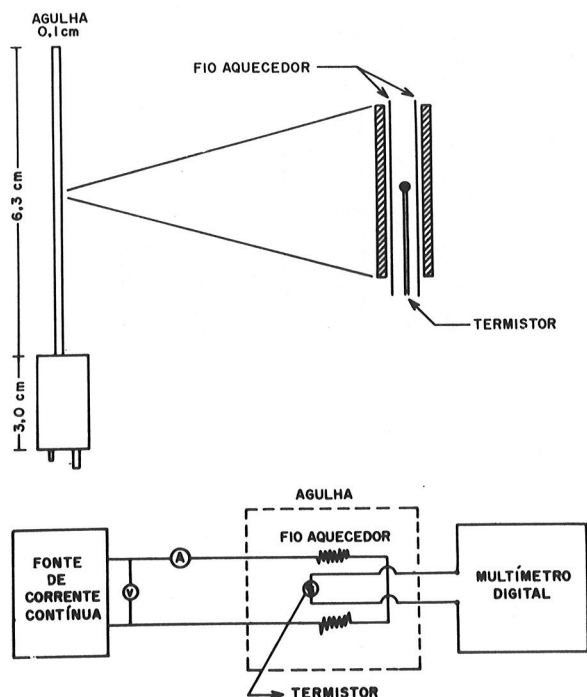


Figura 2 — Esquema do equipamento utilizado para as medidas de condutividade térmica.

O método fornece excelente reprodutibilidade, com variações menores que 2% nas medidas. O erro global ('overall error') depende de erros nas medidas de temperatura, tempo, taxa de aquecimento e no ajuste de mínimos quadrados no gráfico de temperatura/logaritmo do tempo. O erro absoluto é geralmente menor que 5% do valor da condutividade térmica na faixa de 0,1 W/m K a 5 W/m K.

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Foi determinada a condutividade térmica de 94 amostras. As medidas foram efetuadas em amostras saturadas de água. Na maioria dos casos as amostras foram conservadas em recipientes selados, no estado de saturação, e com pouca alteração no conteúdo natural de fluidos. No caso de nove amostras secas, as medidas foram efetuadas após saturação com água destilada. Precauções foram tomadas durante os experimentos para evitar alterações no estado de compactação da amostra recebida. Levando em consideração estes fatos, consideramos que a condutividade térmica medida no laboratório é bastante próxima dos valores "in situ" dos sedimentos. Obviamente melhores resultados podem ser obtidos com técnicas modernas de coleta de amostras. Por outro lado, pequenas alterações no estado de compactação ou conteúdo natural de fluidos não afetariam significativamente as conclusões principais deste trabalho. A pequena quantidade de dados não permite uma valiação detalhada mas algumas feições gerais podem ser facilmente notadas. Os principais fatores que afetam a condutividade térmica dos sedimentos marinhos são: natureza dos principais componentes da fase sólida, conteúdo de fluidos e grau de compactação. Os resultados obtidos foram examinados para determinar a influência destes fatores no valor de condutividade térmica determinado em laboratório.

### a. Variação da condutividade térmica com o tipo de sedimento

Os maiores valores de condutividade térmica foram encontrados para amostras de areia, enquanto amostras de lama são caracterizadas por baixos valores. Valores

Tabela 1 — Condutividade térmica de sedimentos da Plataforma Continental. Tipo de sedimento segundo a classificação visual do IO (USP). Os números entre parênteses referem-se ao número de amostras.

Tipo de Sedimento	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m K)			
	Litoral Sul	Litoral Norte e Central	Litoral RS	Valor Médio
Areia	2,09 ± 0,23 (12)	2,07 ± 0,13 (3)	—	2,09 ± 0,21 (15)
Areia e Lama	2,04 ± 0,26 (6)	1,84 ± 0,32 (7)	—	1,93 ± 0,30 (13)
Areia, Lama e Biodetritos	1,62 ± 0,17 (3)	1,82 ± 0,33 (37)	1,50 ± 0,31 (5)	1,77 ± 0,34 (55)
Areia e Biodetritos	1,99 (1)	1,62 ± 0,40 (3)	1,82 ± 0,63 (2)	1,75 ± 0,48 (6)
Lama e Biodetritos	1,00 (1)	1,55 ± 0,18 (6)	1,32 (1)	1,45 ± 0,24 (8)
Cascalho, Lama e Biodetritos	—	1,17 (1)	1,24 (1)	1,20 ± 0,03 (2)
Lama	1,03 ± 0,24 (5)	—	—	1,03 ± 0,24 (5)
Valor Médio	1,80 ± 0,48 (28)	1,79 ± 0,34 (57)	1,52 ± 0,41 (9)	1,76 ± 0,40 (94)



intermediários foram encontrados para amostras apresentando misturas de areia, lama e biodetritos. Apresentamos na Fig. 3a e Tabela 1 a condutividade térmica média dos vários grupos de sedimentos segundo sua classificação visual. Por esta figura percebe-se que a presença de biodetritos produz uma diminuição na condutividade térmica comparável ao efeito produzido pela lama. Essas diferenças são atribuídas às variações na condutividade térmica das partículas ou grãos constituintes e conteúdo de fluidos.

A condutividade térmica parece também estar relacionada com a profundidade onde os sedimentos foram coletados, como pode ser visto através dos dados apresentados na Tabela 2 e Fig. 3b. A distribuição mostra altos valores de condutividade térmica numa faixa de profundidade de 20 a 40 metros. A condutividade diminui com a profundidade até cerca de 140 metros com exceção de um pico na faixa de 100-110 metros.

Nas profundidades maiores o número insuficiente de dados não permite determinação da distribuição de condutividade com a profundidade. Os altos valores encontrados nos intervalos de 100 a 110 metros e a cerca de 140 metros são possivelmente associados a bancos de areia submersos na plataforma continental. Evidências sobre a existência de extensos bancos de arenito foram apresentadas por Dias et al. (1982).

O valor médio obtido para as amostras do litoral de São Paulo é  $1,79 \pm 0,39$  W/m K e para o litoral do Rio Grande do Sul é de  $1,52 \pm 0,41$  W/m K. Estes valores são significativamente elevados em relação aos valores de condutividade térmica de sedimentos do fundo oceânico (0,8 a 1,2 W/m K). Os sedimentos do fundo oceânico são constituídos principalmente por lama (L) e biodetritos (B), com pouca areia (A) enquanto a quantidade de areia é significativa nos sedimentos da plataforma continental.

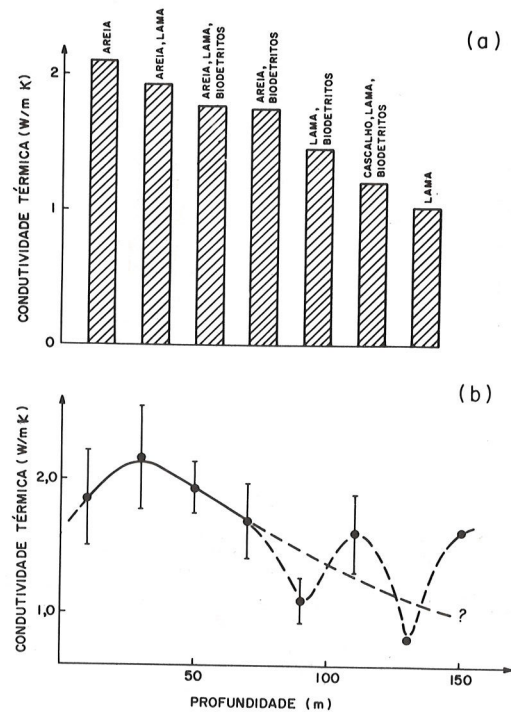


Figura 3 — (a) Valores médios de condutividade térmica para os vários tipos de sedimentos. (b) Variação da condutividade térmica média e desvio padrão em função da profundidade de coleta.

Portanto, as diferenças nas condutividades térmicas podem ser atribuídas às variações na composição físico-química dos sedimentos da plataforma em relação aos do fundo oceânico.

Tabela 2 — Valores médios de condutividade térmica em função da profundidade. Os números entre parênteses referem-se ao número de amostras.

Profundidade (m)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m K)			
	Litoral Sul	Litoral Central e Norte	Litoral RS	Valor Médio
0 — 20	$1,85 \pm 0,42$ (5)	$1,87 \pm 0,26$ (5)	—	$1,86 \pm 0,35$ (10)
21 — 40	$2,23 \pm 0,08$ (6)	$2,11 \pm 0,51$ (7)	—	$2,16 \pm 0,31$ (13)
41 — 60	$1,89 \pm 0,18$ (13)	$2,00 \pm 0,18$ (9)	—	$1,94 \pm 0,19$ (22)
61 — 80	$1,51 \pm 0,19$ (3)	$1,71 \pm 0,28$ (26)	—	$1,69 \pm 0,28$ (29)
81 — 100	$0,94 \pm 0,05$ (2)	$1,26 \pm 0,09$ (2)	—	$1,10 \pm 0,17$ (4)
101 — 120	—	$1,60 \pm 0,29$ (4)	—	$1,60 \pm 0,29$ (4)
121 — 140	$0,81 \pm 0,02$ (2)	—	—	$0,81 \pm 0,02$ (2)
141 — 160	$1,62$ (1)	—	—	$1,62$ (1)
161 — 180	—	—	$1,82 \pm 0,63$ (2)	$1,82 \pm 0,63$ (2)
181 — 200	—	—	$1,34 \pm 0,17$ (3)	$1,34 \pm 0,17$ (3)
201 — 220	—	—	$1,60 \pm 0,30$ (3)	$1,60 \pm 0,30$ (3)
1100	—	—	$1,24$ (1)	$1,24$ (1)

## b. Conteúdo de água

O conteúdo de água nas amostras foi determinado utilizando-se a relação:

$$M_a = M (1/\rho_a - 1/\rho_s) / (1/\rho - 1/\rho_s) \quad (3)$$

onde  $M_a$ ,  $\rho_a$  são massa e densidade de água respectivamente,  $M$  e  $\rho$  são massa e densidade de sedimento saturado de água e  $\rho_s$  densidade das partículas dos sedimentos.

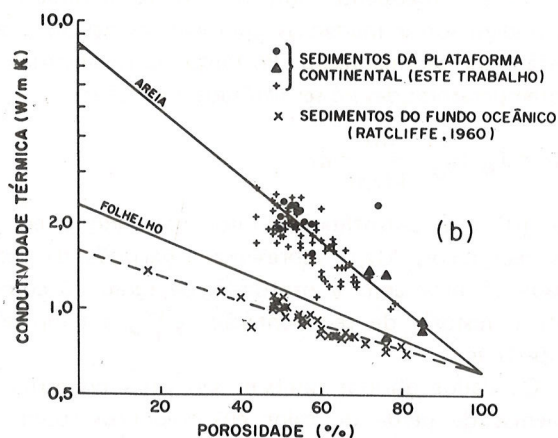
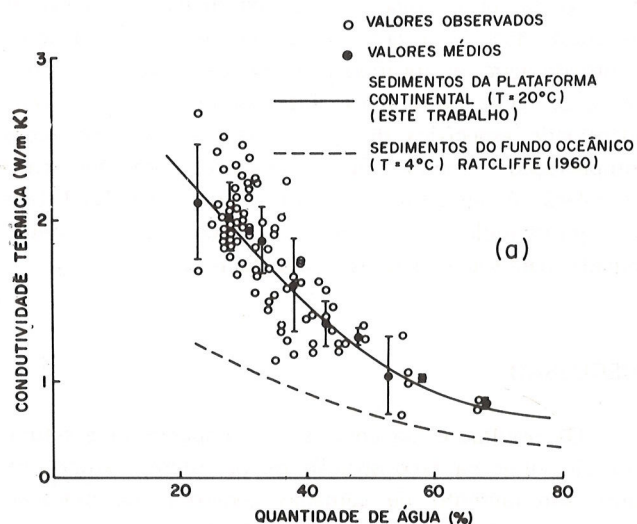


Figura 4 — (a) Variação da condutividade térmica com a quantidade de água. A curva cheia representa a curva experimental média que melhor aproxima os resultados obtidos. (b) Relação linear entre logaritmo da condutividade e porosidade para sedimentos da plataforma continental. Os valores obtidos são dados pela simbologia: ● ( $\rho_s = 2,65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  — areia), ▲ ( $\rho_s = 2,72 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  — lama), + ( $\rho_s = 2,68 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  — misturas de areia, lama e biodetritos). Os valores obtidos por Ratcliffe (1960) para sedimentos do fundo oceânico estão representados pelo símbolo x. As linhas contínuas referem-se às linhas teóricas para misturas aleatórias com água, de areia pura e de folhelho.

Os valores de  $\rho_s$  utilizados são: lama  $2,72 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , biodetritos e calcário  $2,72 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , lama com areia ou biodetrito com areia  $2,68 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , e areia  $2,65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Ratcliffe (1960) sugeriu uma relação experimental semelhante à (3) para sedimentos oceânicos com conteúdo de água entre 40% e 70% e com  $\rho_s = 2,35 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

A Fig. 4a mostra a variação de condutividade térmica com conteúdo de água para sedimentos da plataforma continental e a relação proposta por Ratcliffe (1960) para sedimentos do fundo oceânico. A condutividade térmica diminui com o aumento do conteúdo de água para ambos os casos. Entretanto sedimentos da plataforma continental são caracterizados por valores elevados de condutividade térmica, produzindo deste modo uma diferença sistemática entre os dois grupos.

Para examinar a causa dessa diferença na variação da condutividade térmica com água, transformamos os valores de conteúdo de água em valores de porosidade equivalente. Essa transformação é válida para sedimentos finos não consolidados. A variação de condutividade com porosidade segundo o modelo de distribuição aleatória de duas fases é dado por (Woodside & Messmer, 1961):

$$k_e = k_s (1 - \phi) k_a^\phi \quad (4)$$

onde  $k_s$  e  $k_a$  são condutividades térmicas das fases (sedimentos e água respectivamente),  $k_e$  condutividade térmica da mistura e  $\phi$  porosidade. A equação (4) implica numa relação linear entre  $\log k_e$  e  $\phi$  tipo:

$$\log k_e = a - b\phi \quad (5)$$

onde  $a$  e  $b$  são constantes. Na Fig. 4b apresentamos a variação da condutividade térmica com a porosidade para sedimentos da plataforma continental. A linha contínua superior da Fig. 4b refere-se à variação prevista pela equação (5) para areia pura saturada com água, tomando como base a condutividade média do quartzo cristalino igual a condutividade da areia sem porosidade. A maior parte dos dados são distribuídos ao redor da linha teórica da areia pura demonstrando que a areia é o principal constituinte dos sedimentos da plataforma. Por outro lado, os dados de Ratcliffe (1960) são distribuídos ao redor da linha teórica correspondente a uma mistura de um material com condutividade térmica de  $1,6 \text{ W/m K}$  com a água. A linha teórica correspondente a folhelho parece ser um limite superior para amostras do fundo oceânico.

## c. Efeitos de compactação

Testes para a determinação de variações na condutividade térmica com a compactação foram realizados utilizando amostras representativas de três tipos de se-



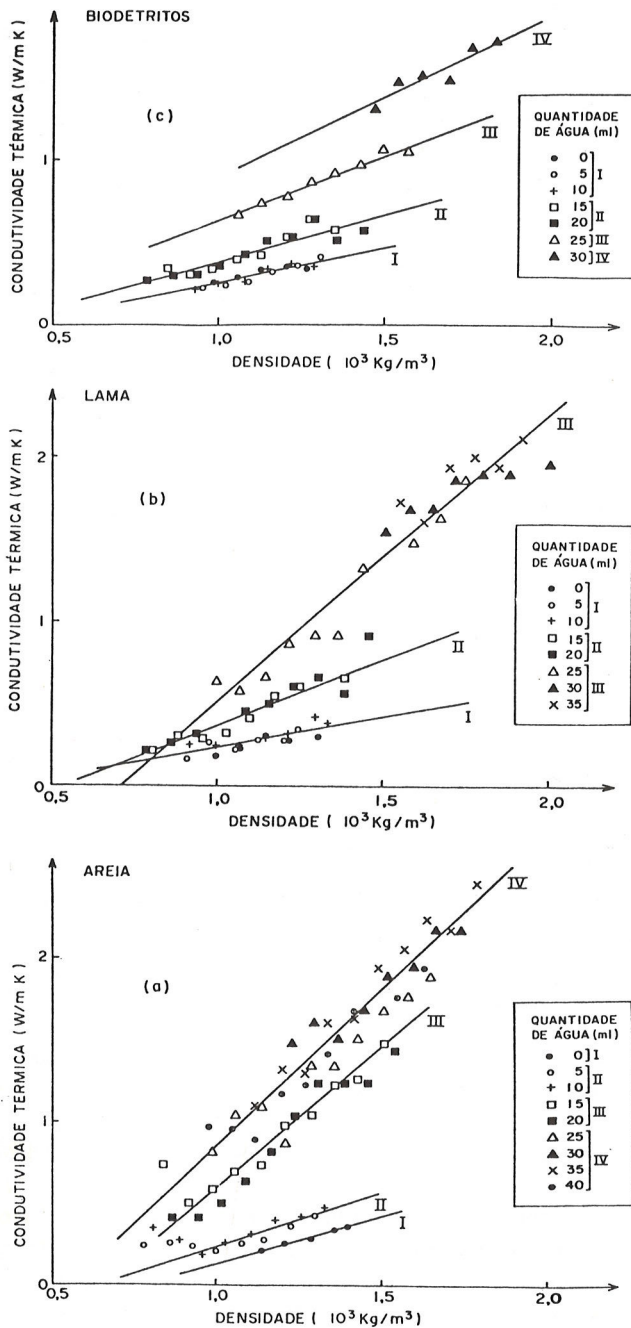


Figura 5 — Relação entre condutividade térmica e densidade para três tipos de sedimentos: areia (a), lama (b), biodetrito (c) sob diversos graus de saturação. As linhas contínuas referem-se aos ajustes obtidos por regressão linear para os dados agrupados I, II, III e IV. As linhas I indicam geralmente estados secos, linhas II e III estados subsaturados e linhas IV estados saturados.

dimentos: areia, lama e amostra com biodetritos (conchas e matérias orgânicas). Foram realizadas medidas em estados seco, úmido, saturação parcial e saturação completa.

O procedimento adotado para obter estes estados constitui-se em compactação mecânica após adição de água em quantidades incrementais de 5 ml às amostras secas e realização de ensaios. A cada adição de 5 ml de água, a amostra é misturada num recipiente maior antes dos ensaios a fim de evitar problemas devido à distribuição não homogênea da água.

Os resultados obtidos são apresentados nas Figs. 5a, 5b e 5c para amostras representativas predominantemente de areia, lama e biodetritos respectivamente. As figuras mostram que a condutividade térmica das amostras sub-saturadas aumenta quase linearmente com a densidade (ou compactação) em todos os casos investigados. Os dados também indicam que a taxa de aumento é menor no estado seco e eleva-se gradualmente com o adição de água, alcançando a maior taxa para as amostras saturadas. Uma outra feição interessante é que para uma quantidade específica de água, a taxa de aumento com compactação é menor para as amostras com biodetritos em relação às amostras com lama e com areia. Na Tabela 3 é apresentado um resumo das relações lineares determinadas para vários estudos de compactação.

## DISCUSSÃO

Os resultados de ensaios de compactação e saturação são úteis na reconstrução de paleotemperaturas durante soterramento de camadas geradoras de hidrocarbonetos. Os dados mostram que a evolução de paleotemperaturas e conseqüentemente o grau de maturação térmica podem sofrer mudanças significativas devido à compactação por sedimentação. Portanto na reconstrução de paleotemperaturas deverá ser utilizada a relação:

$$T(z,t) = T_0 + \int_0^z \frac{q(t)}{k(z,t)} dz \quad (6)$$

onde  $q(t)$  é o paleofluxo térmico baseando-se em modelos tectônicos,  $k(z,t)$  representa a variação da condutividade térmica com a profundidade (grau de compactação) e história de sedimentação, e  $T_0$  a temperatura da superfície.

Os dados obtidos também são úteis no estudo de problemas de perda de calor em oleodutos submarinos que atravessam uma variedade de sedimentos com propriedades térmicas diferentes e produzem, dependendo da carga, diversos graus de compactação nos sedimentos no fundo do mar. Neste caso é interessante notar que variações na taxa de bombeamento de óleo são capazes de induzir ciclos térmicos de aquecimento e resfriamento nos sedimentos ao redor do oleoduto. Francis (1982) mostra que no caso de sedimentos permeáveis com granulação grossa e média, efeitos de ciclos térmicos são reversíveis. Entretanto no caso de sedimentos impermeáveis de granulação fina, esses ciclos produzem compactação de sedimentos através de um processo denominado de "Thermal Tamping", permitindo deste modo

Tabela 3 — Relações lineares entre condutividade térmica e densidade para vários estados de compactação.  $x$ , densidade ( $\times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ),  $y$ , condutividade térmica (W/m K),  $R$ , coeficiente de correlação. Os números I, II, III e IV referem-se às linhas da Fig. 5.

Estado da amostra	Quantidade de água (ml)	Areia	Lama	Biodetrito
Seca	0	$y = 0,58x - 0,44$ (I) $R = 0,992$	$y = 0,40x - 0,16$ (I) $R = 0,842$	$y = 0,44x - 0,19$ (I) $R = 0,938$
Saturação parcial	5 – 10	$y = 0,68x - 0,44$ (II) * $R = 0,939$	$y = 0,81x - 0,44$ (II) $R = 0,922$	$y = 0,56x - 0,17$ (II) $R = 0,919$
		$y = 1,66x - 1,03$ (III) $R = 0,944$		
Saturação completa	25	$y = 1,90x - 1,07$ (IV) $R = 0,957$	$y = 1,75x - 1,23$ (III) $R = 0,967$	$y = 0,78x - 0,15$ (III) $R = 0,991$
	30			$y = 1,01x - 0,13$ (IV) $R = 0,929$
	35			
	40			

\* Excluindo dados com densidades menores que  $0,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

uma perda acentuada de calor. Estudos detalhados são necessários para avaliar a magnitude da transferência de calor por este processo.

As variações na condutividade térmica de sedimentos oceânicos tornam-se interessantes no problema de disposição de rejeitos radioativos em recipientes vedados e colocados no fundo do mar. A alta condutividade e elevada taxa de soterramento na plataforma continental poderão tornar-se parâmetros úteis na avaliação da dissipação do calor radiogênico destes rejeitos. A recuperação futura e monitoração, por qualquer motivo, também serão tecnologicamente menos complexas para os recipientes colocados na plataforma continental em lugar de estarem no fundo oceânico.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que a condutividade térmica de sedimentos da plataforma continental são geralmente bem superiores em relação aos valores

encontrados para amostras do fundo oceânico. Mudanças no tipo de sedimento e grau de compactação produzem variações típicas na distribuição de condutividade térmica. As faixas de alta condutividade térmica encontradas podem estar associadas a bancos de areia submersos. Por outro lado, estudos laboratoriais mostram que pequenas diferenças no grau de compactação e conteúdo de água afeta significativamente o valor de condutividade térmica dos sedimentos sub-compactados e sub-saturados.

Os resultados poderão ter aplicações na reconstrução de paleotemperaturas nas bacias sedimentares, perda de calor em oleodutos submarinos e disposição de rejeitos radioativos.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luis Bruner de Miranda do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO/USP), que permitiu o acesso ao acervo de amostras desse Instituto, e a utilização de algumas delas no presente trabalho.



Gostaríamos de agradecer ao Dr. Valdenir F. Furtado (IO/USP) pelo apoio recebido durante a escolha de amostras e fornecimento de informações auxiliares necessárias para interpretação dos dados.

Uma parte dos equipamentos utilizados no presente trabalho foram montados com apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico através dos auxílios ns. 4101248/80 e 401414/81. Um dos autores (Marangoni, Y.R.) gostaria de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de Iniciação

Científica durante a execução de uma parte deste projeto.

Ensaio de condutividade térmica foram realizados nos laboratórios de Geotermia do Instituto Astronômico e Geofísico da USP e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Este projeto de pesquisa foi executado como parte de estudos geofísicos de sedimentos marinhos efetuados pelo Dr. Enio B. Pereira (INPE) e estamos gratos a ele pela iniciativa científica e sugestões para pesquisas integradas.

## REFERÊNCIAS

- CARSLAW, H.S. & JAEGER, J.G. — 1959 — Conduction of Heat in Solids. Oxford at the Clarendon Press, London, 510.
- DIAS, G.T.M., GORINI, M.A., GALLEA, C.G., ESPINDOLA, C.R.S., MELLO, S.M., DELLAPIAZZA, H. & CASTRO, J.R.J.C. — 1982 — Bancos de arenito de praia (Beach Rocks) submersos na plataforma continental SE brasileira. Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Bahia, 4: 1540-1546.
- FRANCIS, T.J.G. — 1982 — Thermal expansion effects in deep sea sediments. *Nature*, 299: 334-336.
- HAMZA, V.M., CHI, C.M. & MARANGONI, Y.R. — 1980 — O método de fonte linear para medidas de condutividade térmica. Anais do VIII Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Curitiba, Paraná, 11: 348-373.
- HORAI, KI-ITI & BALDRIDGE, E.S. — 1972 — Thermal conductivity of nineteen igneous rocks. I — Application of the needle probe method to the measurement of the thermal conductivity of rocks. *Phys. Earth. Planet. Interiors*, 5: 151-156.
- HORAI, KI-ITI & SIMMONS, G. — 1969 — Thermal conductivity of rock forming minerals. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 6: 359-368.
- RATCLIFFE, E.H. — 1960 — The thermal conductivities of ocean sediments. *J. Geophys. Res.*, 65: 1535-1541.
- VON HERZEN, R. & MAXWELL, A.E. — 1959 — The measurement of thermal conductivity of deep sea sediments by a needle-probe method. *J. Geophys. Res.*, 64: 1557-1563.
- WOODSIDE, W. & MESSMER, J.H. — 1961 — Thermal conductivity of porous media. I — Unconsolidated sands. *J. Appl. Phys.*, 32: 1688-1699.

Versão original recebida em Jan./83;  
Versão final, em Jan./84.