

A INFLUÊNCIA DA UMIDADE SOBRE OS VALORES DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA DA SUBSUPERFÍCIE

Rutenio Luiz Castro de Araujo¹, João da Silva Carvalho¹ & José Ricardo Santos de Souza²

No período de janeiro a dezembro do ano de 1992, na cidade de Manaus (AM), foi realizado um estudo sobre a condutividade térmica da subsuperfície. As medidas, realizadas em laboratório, foram efetuadas em amostras oriundas de dois locais, um essencialmente arenoso e outro fundamentalmente argiloso. As amostras foram coletadas mensalmente, a 1,0 m de profundidade. Durante o período estudado o conteúdo de água nas amostras coletadas variou mensuravelmente. Tais mudanças são atribuídas às variações sazonais da precipitação pluviométrica e evaporação local. A influência do conteúdo de água sobre a condutividade térmica da subsuperfície é mais acentuada quanto maior for o grau de porosidade do material amostrado. As medidas de condutividade térmica foram determinadas em laboratório, através do método do estado transiente de calor, utilizando-se o aparato tipo agulha. Os resultados mostraram que os valores de condutividade térmica referentes às amostras arenosas variaram de 1,71 a 2,38 W/mK, com valor médio de $2,18 \pm 0,19$ W/mK. Para as amostras argilosas, os valores obtidos variaram de 0,98 a 1,29 W/mK, com valor médio de $1,18 \pm 0,09$ W/mK. A variabilidade dos resultados obtidos neste trabalho indica que os valores de condutividade térmica dos materiais existentes na zona de aeração estão sujeitos a alterações significativas causadas por fatores variáveis no período de observações. Evidenciou-se que a condutividade térmica, neste caso, pode ser modificada em mais de 30%, dependendo do conteúdo de água dos respectivos materiais. Este fato sugere o cuidado com que os valores deste parâmetro físico deve ser utilizado em estimativas de fluxo térmico em Geotermia Rasa.

Palavras-chave: Condutividade térmica; Umidade; Geotermia.

THE INFLUENCE OF MOISTURE ON THE SUBSURFACE'S THERMAL CONDUCTIVITY - *The subsurface's conductivity at two sites in Manaus-AM-Brazil was monitored in the period of January to December, 1992. In order to do that, laboratory measurements were performed on samples collected monthly at each site. The selected sites are representative of sandy and clayish subsurface occurrences at 1.0 m depth. During the period studied the moisture content of the collected samples changed significantly. Such changes may be attributed to the seasonal variation of the local pluviometric precipitation and evaporation. The influence of the moisture content on subsurface thermal conductivity was stronger when the sample material had greater porosity. The thermal conductivities were determined in the laboratory by the heat transient needle type apparatus. The results showed that the thermal conductivities of the sandy samples varied from 1.71 to 2.38 W/mK, with an average value of 2.18 ± 0.19 W/mK. On the other samples, the values obtained ranged from 0.98 to 1.29 W/mK, with an average value of 1.18 ± 0.09 W/mK. The variability observed from the above results indicates that the thermal conductivity values of materials existing in the aeration zone were significantly altered by physical variables during the period of observation. This work shows that the thermal conductivity changes may exceed 30% between its extreme values, measured on field samples at natural conditions. Such dependence of conductivity of common materials on moisture content suggests that precautions should be taken when one uses thermal conductivity values from the literature, for thermal flux estimates in shallow geothermics in the Amazon.*

Key words: Thermal conductivity; Moisture; Geothermics.

¹ Departamento de Geociências / Universidade do Amazonas Caixa Postal: 2032 - CEP: 69.072-970 - Manaus - AM

² Departamento de Meteorologia / Universidade Federal do Pará Caixa Postal: 1611 - CEP: 66.075-900 - Belém - PA

INTRODUÇÃO

A determinação de valores precisos de condutividade térmica é de importância fundamental para o pleno desenvolvimento de qualquer estudo acerca do estado e comportamento do fluxo de calor em determinada área. Isto, obviamente, deve-se ao fato de que o fluxo geotérmico em situações de estratificação plana pode ser definido pelo produto dos parâmetros gradiente de temperatura e condutividade térmica representativos da área em estudo (Beck, 1965).

No entanto, conforme Heiland (1940), Holman (1983) e outros, os valores de condutividade térmica referentes a uma mesma amostra podem ser muito discrepantes entre si caso haja variações de, por exemplo, umidade e temperatura.

Em estudos de Geotermia Rasa (estudos geotermiais realizados na subsuperfície, onde há influência mensurável de fontes externas), anteriormente efetuados pelos autores deste trabalho na região Amazônica, foram observadas, por diversas vezes, mudanças mensuráveis nos valores de condutividade térmica referentes a amostras oriundas de um mesmo local, porém, coletadas em meses distintos. Tais amostras apresentavam, no entanto, conteúdos de água diferentes.

O presente estudo tem por objetivo definir, para uma determinada área, as possíveis variações do parâmetro físico condutividade térmica; variações estas oriundas das mudanças no conteúdo natural de água existente nos materiais situados a profundidades em que pode ser significativa a influência de fatores intempéricos. Tal estudo foi desenvolvido durante um ciclo climático de um ano, na área do campus da Universidade do Amazonas, localizado na cidade de Manaus (AM).

METODOLOGIA

Todas as medidas de condutividade térmica referentes ao presente trabalho foram realizadas utilizando-se o aparato tipo agulha, que constitui um dos métodos mais precisos do estado transiente de calor. Este método corresponde ao do espaço infinito, com a formulação matemática conforme Carslaw & Jaeger (1959). A escolha desta técnica deveu-se, fundamentalmente, ao grau de consolidação das amostras medidas.

O aparato tipo agulha usado é similar aos descritos por Von Herzen & Maxwell (1959), Langseth (1965), Smith (1973), Carvalho (1981), e Araujo (1987). Este aparato consiste em uma fina agulha hipodérmica, uma fonte de corrente contínua e um multímetro digital; no interior da agulha há um fio aquecedor e um termistor localizado em seu ponto médio. Para se efetuar as medidas de condutividade térmica, a agulha é inserida na amostra a ser analisada e após ter sido atingido o equilíbrio térmico do sistema (agulha-amostra) é ligada a fonte de corrente contínua. Isto provoca o aquecimento da sonda cuja temperatura (T_s), registrada pelo termistor, varia com o tempo (t) segundo a relação descrita por Carslaw & Jaeger (1959):

$$T_s = (Q_s / 4 \pi \lambda) \ln(t) + C, \quad (1)$$

sendo que:

Q_s : fluxo de calor, por unidade de comprimento, produzido dentro da agulha pelo fio aquecedor;

λ : condutividade térmica da amostra analisada;

C : constante.

O gráfico dos valores registrados de temperatura em função do tempo resulta em uma relação linear de cuja inclinação determina-se o valor da condutividade térmica da amostra analisada, desde que se conheça o valor de Q_s . O aparato tipo agulha utilizado neste trabalho apresenta as seguintes características:

- resistência do fio aquecedor = 361 ohm
- comprimento da agulha = 0,063 m
- diferença de potencial aplicada entre os terminais do fio aquecedor = 15 V
- $Q_s = 9,89 \text{ W/m}$

Durante a execução deste trabalho foram realizadas medidas de condutividade térmica em vinte e quatro amostras. Doze amostras foram retiradas de um local predominantemente arenoso e doze outras de um local fundamentalmente argiloso. Os locais distam entre si cerca de 2 km. Um dos locais constitui-se em um areal o qual está localizado na parte referente à reserva florestal do campus da Universidade do Amazonas. O outro local está contíguo ao bloco I de edificações no referido campus, e é essencialmente argiloso. A amostragem foi feita no último dia de cada mês, de janeiro a dezembro do ano de 1992.

Assim sendo, no final de cada mês foram retiradas duas amostras, uma de cada local estudado. Nas amostras arenosas, o conteúdo de areia foi de 91%, enquanto nas amostras argilosas o conteúdo de argila foi de 88%; tais teores foram obtidos via processos de separação granulométrica por peneiramento e lavagem. Esses locais foram previamente escolhidos, principalmente, devido a estas características. Todas as amostras foram coletadas no intervalo de profundidade de 1,0 m a 1,1 m, via trado manual. As amostras analisadas tinham forma cilíndrica, com 10,0 cm de altura e 2,0 cm de raio.

Após a coleta das amostras, estas foram acondicionadas diretamente em recipiente próprio e imediatamente transportadas para o laboratório onde as medidas foram efetuadas. O intervalo de tempo decorrido entre a obtenção das amostras, no campo, e a realização das respectivas medidas de condutividade térmica, em laboratório, foi de cinco a vinte minutos. Este procedimento teve como finalidade minimizar o efeito de evaporação do fluido contido nestas amostras. A fim de verificarmos a variação do erro de medida, foram efetuadas, para cada amostra analisada, quatro medidas consecutivas de condutividade térmica. O valor apresentado no presente trabalho corresponde à média aritmética dessas quatro medidas. Este procedimento, associado à precisão dos equipamentos utilizados, permitiu a obtenção dos valores de condutividade térmica com erro de medida menor que 3%.

Imediatamente após a realização das medidas de condutividade térmica, as amostras foram pesadas em uma balança de precisão de 0,01 g e, a seguir, inseridas em uma estufa a temperatura de 130° C, por um período de três dias. Posteriormente, as amostras foram novamente pesadas obtendo-se, assim, das diferenças de massa, o conteúdo de água anteriormente existente nas mesmas. A escolha do valor da temperatura de 130° C deve-se a que a esta temperatura é removida, da amostra, a água livre e a água fisicamente ligada; porém, não há remoção das águas quimicamente ligadas, ou sejam, água de cristalização e água de constituição, cuja remoção, se ocorresse, provocaria alteração de minerais.

Em Manaus, as medidas atinentes à precipitação pluviométrica e evaporação foram obtidas junto ao 1° Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INEMET).

ASPECTOS GEOLÓGICOS DA ÁREA ESTUDADA

Na região de Manaus, predominam sedimentos clásticos, inconsolidados, de coloração avermelhada, constituídos de argilitos, siltitos e arenitos, pertencentes à Formação Alter do Chão (Damião et al., 1972) considerada de idade cretácica (Daemon, 1975), e depositadas em ambiente continental aquoso, com significativa contribuição fluvio-lacustrina em processo de imersão não profunda (Caputo et al., 1972). Tratam-se de depósitos descontínuos, apresentando brusca variação litológica vertical e distribuição espacial irregular, caracterizando variações nos ambientes de deposição dos mesmos (Souza, 1974).

Localmente, na área do campus da Universidade do Amazonas, porção sudeste da região de Manaus, predominam sedimentos de natureza argilosa, onde a fração silte-argila é normalmente superior a 85% (Araujo et al., 1991), de coloração avermelhada, ocorrendo, ainda, mais superficialmente, depósitos arenosos isolados, de dimensões limitadas, normalmente sobrepostos àqueles. Esses sedimentos argilosos, ao contrário dos arenosos, possuem baixíssimo grau de permeabilidade, dificultando assim a infiltração de água em seu interior.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos de condutividade térmica referentes às amostras analisadas são mostrados na Tab. I. e Fig. 1. Nesta figura podemos notar, nitidamente, a constante superioridade dos valores de condutividade térmica das amostras arenosas, em relação às amostras argilosas; isto certamente já era esperado, em face da superioridade dos valores de condutividade térmica do material arenoso, em relação ao material argiloso, devido, principalmente, aos seus constituintes químicos e tamanho dos grãos envolvidos. Porém, fato importante a observar é que os valores de condutividade térmica variaram mensuravelmente durante o período de execução deste estudo. Para as amostras arenosas, a variação dos valores de condutividade térmica foi de 1,71 a 2,38 W/mK, com o valor médio de $2,18 \pm 0,19$ W/mK. Em relação às amostras argilosas, esse parâmetro físico variou de 0,98 a 1,29 W/mK, com valor médio de $1,18 \pm 0,09$ W/mK.

MÊS	COND.TÉRMICA		CONT.DE ÁGUA		PRECIPITAÇÃO	EVAPORAÇÃO
	(W/m.K)		(%)			
	A	B	A	B		
JAN	2,35	1,21	28,6	26,9	236,5	100,2
FEV	2,38	1,27	29,1	27,3	262,7	99,3
MAR	2,38	1,29	29,3	27,5	344,8	73,8
ABR	2,34	1,28	28,8	27,5	218,6	95,5
MAI	2,25	1,26	26,7	27,4	125,3	137,4
JUN	2,11	1,21	21,1	27,0	71,0	152,0
JUL	2,15	1,19	22,7	26,8	90,8	133,2
AGO	2,14	1,17	22,5	26,7	100,3	126,7
SET	2,10	1,13	22,1	25,8	90,0	168,6
OUT	2,06	1,10	21,6	24,9	87,4	138,5
NOV	1,71	0,98	18,3	24,3	71,2	113,6
DEZ	2,19	1,12	24,9	25,7	267,1	86,8

Tabela 1 - Valores de condutividade térmica e conteúdo de água referentes às amostras arenosas (A) e argilosas (B), precipitação pluviométrica e evaporação local.

Table 1 - Thermal conductivity values and moisture content of sandy (A) and clayish (B) samples. Local precipitation and evaporation.

AMOSTRAS ARENOSAS E ARGILOSAS

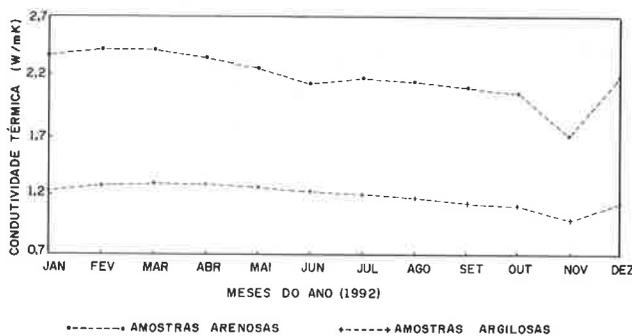


Figura 1 - Valores de condutividade térmica referentes às amostras arenosas e argilosas analisadas.

Figure 1 - Thermal conductivity values of the sandy and clayish samples analysed.

As mudanças nos valores de condutividade térmica apresentaram uma excelente relação direta com o conteúdo de água existente nessas amostras. Esta relação direta observada é explicada pelo fato de que a condutividade térmica da

AMOSTRAS ARENOSAS

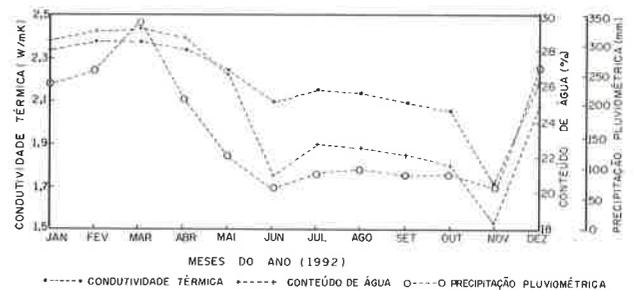


Figura 2 - Variação mensal dos valores de condutividade térmica e conteúdo de água referentes às amostras arenosas e da precipitação pluviométrica local.

Figure 2 - Monthly variation of thermal conductivity values and moisture content of sandy samples and local pluviometric precipitation.

água é cerca de vinte e duas vezes superior à condutividade térmica do ar (Holman, 1983). Assim sendo, embora o valor da condutividade térmica da água seja inferior aos valores deste parâmetro físico referentes às amostras analisadas, no

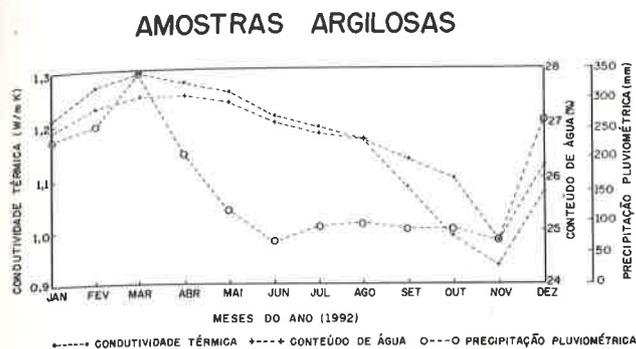


Figura 3 - Variação mensal dos valores de condutividade térmica e conteúdo de água referentes às amostras argilosas e da precipitação pluviométrica local.

Figure 3 - Monthly variation of thermal conductivity values and moisture content of clayish samples and local pluviometric precipitation.

entanto, o valor da condutividade térmica da amostra aumenta quando o ar existente em seus interstícios é substituído pela água, aumentando, consideravelmente, a eficiência no transporte de calor ao longo do material analisado. Tanto nas amostras arenosas como nas argilosas, o sinal do incremento do conteúdo de água coincidiu com o sinal de variação da condutividade térmica em 90,9% dos casos estudados. Essas relações são mostradas nas Figs. 2 e 3. Tanto nas amostras arenosas como nas argilosas, o maior valor de condutividade térmica foi determinado no mês em que se observou o maior conteúdo de água existente nas amostras analisadas. De maneira idêntica, o menor valor de condutividade térmica foi registrado no mês em que se determinou o menor conteúdo de água existente. Na Tab. I são mostrados os valores de precipitação pluviométrica e evaporação. As Figs. 2 e 3 mostram, também, a excelente relação direta entre os valores de precipitação pluviométrica e o conteúdo de água existente nas amostras analisadas. Isto caracteriza, nitidamente, que as mudanças do índice de precipitação pluviométrica são claramente responsáveis por flutuações no conteúdo de água existente nos materiais localizados na zona de aeração. Portanto, a precipitação pluviométrica local constitui uma das fontes externas que provoca variações mensuráveis nos valores de condutividade térmica dos materiais situados na zona de aeração. Esta influência é mais preponderante, obviamente, nos locais de maior permeabilidade. Isto é ratificado pelo fato da relação direta entre os valores de precipitação pluviométrica e conteúdo de água existente nas amostras are-

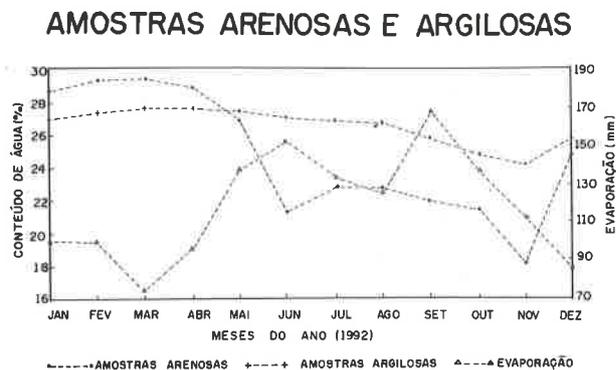


Figura 4 - Variação mensal dos valores de evaporação e o conteúdo de água existente nas amostras arenosas e argilosas.

Figure 4 - Monthly variation of relation between evaporation and moisture content of sandy and clayish samples.

nas ter sido de 90,9%, enquanto que para as amostras argilosas esta relação foi de 72,7%. Conseqüentemente, podemos considerar que quanto maior for a porcentagem de areia existente em determinado local, maior será a faixa de variação dos valores de condutividade térmica referentes aos materiais localizados na zona de aeração. Esta consideração é facilmente ratificada ao analisarmos os dados contidos na Tab. I, onde observamos que durante o ano de estudo os valores de condutividade térmica relativos às amostras arenosas variaram de 39,2%, enquanto que para as amostras argilosas esta variação foi de 31,6%. Consideramos, ainda, que tais variações poderiam ter sido maiores caso não fosse tão elevado o índice de precipitação pluviométrica na área em estudo. Nesta área, durante o período de menor índice de precipitação pluviométrica, ou seja, nos meses de junho a novembro, a somatória foi de 510,7 mm. Consideramos que, em Geotermia Rasa, a influência da precipitação pluviométrica sobre os valores de condutividade térmica de uma dada amostra é tão elevada que, em um período caracterizado por baixos índices de precipitação pluviométrica, uma chuva de elevada intensidade, no dia ou na véspera da amostragem, pode alterar, significativamente, a tendência de variação dos valores de condutividade térmica.

A Fig. 4 mostra a relação inversa entre os valores de evaporação local e o conteúdo de água existente nas amostras analisadas. Esta relação para as amostras arenosas foi de 81,8%, enquanto que para as amostras argilosas foi de

54,5%. Isto mostra a relativa facilidade do processo de evaporação em locais de maior permeabilidade. Assim sendo, consideramos que a Fig. 4 também ratifica os efeitos do mesmo processo físico apresentado nas Figs. 2 e 3, ou seja, a variação dos valores de condutividade térmica com as mudanças no conteúdo de água.

Pelo acima exposto podemos concluir que na zona de aeração, os valores de condutividade térmica dos materiais ali existentes sofrem mudanças mensuráveis durante um ciclo de período de um ano. Estas mudanças podem ser geradas por variáveis externas, sendo de fundamental importância a precipitação pluviométrica e a evaporação local, as quais contribuem, de maneira eficiente, para o conteúdo de água existente no material amostrado. Assim, quanto maior for o grau de permeabilidade do material ali existente, maiores serão as mudanças de condutividade térmica.

As faixas de variações dos valores de condutividade térmica, registrados no presente trabalho, estão em acordo com outras obtidas por diferentes autores, como por exemplo: Marangoni & Hamza (1983) obtiveram para amostras sedimentares arenosas o valor médio de $2,09 \pm 0,21$ W/mK; Astier (1975) obteve para amostras argilosas valores variando de 0,84 a 1,25 W/mK, e para amostras arenosas uma série de valores que variam entre 1,67 e 2,51 W/mK. Heiland (1940) obteve para material argiloso valores variando entre 1,05 e 1,46 W/mK, enquanto que para material arenoso obteve valores de até 3,4 W/mK.

A fim de ratificarmos, mais uma vez, que as variações dos valores de condutividade térmica, registrados no presente trabalho, são fundamentalmente influenciados pelo conteúdo de água existente nas amostras analisadas, efetuamos um experimento simples, em laboratório, conforme as etapas descritas a seguir:

- a - inserimos as amostras arenosas e argilosas coletadas no mês de novembro, em estufa à temperatura de 130° C. As amostras ali permaneceram por um período de três dias consecutivos. A escolha deste valor da temperatura deve-se ao exposto no item Metodologia;
- b - após a retirada das amostras da estufa, as mesmas foram acondicionadas em um recipiente de vidro, fechado hermeticamente. As amostras ali permaneceram por período de um dia para resfriamento;
- c - após a retirada das amostras do recipiente de vidro, foram efetuadas várias medidas de condutividade térmica. Após cada medida de condutividade térmica foi adicionado, na amostra analisada, 10 ml de água.

A água inserida nas amostras apresentou a seguinte composição físico-química característica:

Ca = 0,260 mg/l Mg = 0,060 mg/l Fe = 0,360 mg/l
 K = 0,015 mg/l Na = 0,005 mg/l
 pH = 4,45 Condutividade Térmica = 0,70 W/mK

Os resultados deste experimento são apresentados na Fig. 5. Estes resultados mostram a grande variação dos valores de condutividade térmica com o conteúdo de água existente nas amostras analisadas. Esta variação era, obviamente, esperada. Assim, a pretensão do presente experimento foi conhecer, para os tipos de materiais locais amostrados, parte da faixa de variação da condutividade térmica com o incremento do conteúdo de água, pois, conforme anteriormente ressaltado, este conteúdo de água é variável e dependente de fonte externa, ou seja, a precipitação pluviométrica local. Foi confirmado para os extremos de conteúdo de água possíveis de controle em laboratório que o intervalo de variação da condutividade térmica foi maior do que nas amostras em situações de campo. Isto é explicado pelo fato de que, no experimento controlado em laboratório, as medidas de condutividade térmica foram realizadas nas mesmas amostras (uma arenosa e outra argilosa), desde o estado seco até o estado saturado de água; enquanto que nas medidas de condutividade térmica realizadas nas amostras coletadas no campo, tais amostras não representaram esses dois estados extremos, ou sejam, estados seco e saturado.

Fato interessante a observar é que os valores máximos de condutividade térmica, referentes às amostras saturadas, em laboratório, são inferiores a alguns valores de condutividade térmica atinentes às amostras coletadas no campo. Em virtude da área em estudo localizar-se em uma reserva florestal há, constantemente, na superfície desta área, volume mensurável de matéria orgânica (principalmente folhas e galhos) em processo de decomposição. Este processo libera ácidos húmicos e fúvicos, dentre outros, os quais são ricos em íons livres. Assim sendo, quando a água oriunda da precipitação pluviométrica atinge a superfície da área em estudo, essa água é enriquecida de tais ácidos. Desta maneira, as amostras coletadas no campo, a pequenas profundidades, são impregnadas com esse tipo de água. A saturação das amostras, em laboratório, ocorreu com água potável, com a composição físico-química acima descrita, portanto, com o valor de condutividade térmica de 0,70 W/mK. A fim de simular as condições características da água existente no campo, coletamos, na área em pauta, uma porção de matéria orgânica em elevado estágio de decomposição. Inserimos este material em um recipiente de vidro com

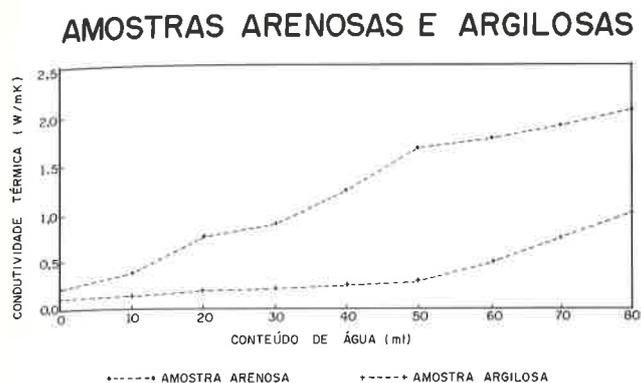


Figura 5 - Variação da condutividade térmica em função do conteúdo de água, para amostras arenosas e argilosas.

Figure 5 - Thermal conductivity versus moisture content of sand and clayish samples.

água deionizada, cujo valor de condutividade térmica medido foi de 0,68 W/mK. Após um período de duas horas, retiramos a água do recipiente e efetuamos a medida de condutividade térmica da mesma, obtendo-se o valor de 0,87 W/mK. Assim sendo, consideramos que as diferenças entre os valores máximos de condutividade térmica, referentes às amostras saturadas em laboratório, em relação a alguns valores superiores deste mesmo parâmetro físico apresentados na Tab. I, são decorrentes da qualidade da água que preenchia os interstícios das amostras em questão. Isto, em face do fato de que a condutividade térmica varia não somente com o conteúdo de água existente na amostra analisada mas, também, com a característica química desta água, dentre outros parâmetros.

Devido ao fato de haver variações significativas nos valores de condutividade térmica em profundidades onde realizam-se estudos de Geotermia Rasa, consideramos que, cuidados devem ser tomados com o uso dos valores desse parâmetro físico disponíveis na literatura, pois nem sempre as amostras utilizadas estão saturadas e, ainda, tais amostras podem ser provenientes de um local com características ambientais diferentes. A fim de se obter um valor confiável do fluxo geotermal, há necessidade de serem realizadas medidas de condutividade térmica com o material local.

Araújo & Silva (1982) determinaram o valor de 20,6 K/km para o gradiente geotérmico médio concernente à cidade de Manaus (AM). Com base neste valor do gradiente de temperatura e nos valores extremos de condutividade térmica obtidos no presente trabalho, o cál-

culo do fluxo térmico terrestre, para os dois locais aqui estudados, mostra variações de 35,23 a 49,03 W/m², com valor médio de 44,91 W/m², para o local arenoso e variações de 20,19 a 26,57 W/m², com valor médio de 24,31 W/m² para o local argiloso. Há, portanto, de um local para outro, uma variação de fluxo geotermal médio de 45,9%. Assim sendo, podemos concluir que é possível que diferentes pesquisadores determinem valores desiguais do fluxo geotérmico para uma mesma área. Para tanto, basta que tenham efetuado medidas de condutividade térmica em amostras coletadas em diferentes estações do ano. Será então aconselhável, para fins de estudos comparativos, que seja informado em tais trabalhos o conteúdo de água existente nas amostras medidas. A fim de ratificarmos tal conclusão, observemos as Figs. 2 e 3, as quais mostram, também, as relações entre os valores de precipitação pluviométrica e condutividade térmica das amostras analisadas, no período atinente a este trabalho.

CONCLUSÕES

Em estudo realizado durante o período referente aos meses de janeiro a dezembro do ano de 1992, observou-se que os valores de condutividade térmica de materiais fundamentalmente arenosos ou argilosos, localizados na zona de aeração, sofreram mudanças significativas. No material arenoso, os valores de condutividade térmica variaram de 1,71 a 2,38 W/mK, com valor médio de $2,18 \pm 0,19$ W/mK; registrou-se, portanto, uma variação de 39,2%. Para o material argiloso, a variação dos valores de condutividade térmica foi de 0,98 a 1,29 W/mK, com valor médio de $1,18 \pm 0,09$ W/mK; portanto, registrou-se uma variação de 31,6%.

Há uma relação direta dos valores de condutividade térmica e o conteúdo de água existente no material localizado na zona de aeração. Tanto para as amostras arenosas como para as argilosas, a relação verificada foi de 90,9%. O conteúdo de água está intimamente relacionado com a precipitação pluviométrica e a evaporação local. A relação direta entre os valores de precipitação pluviométrica e conteúdo de água nas amostras analisadas foi de 90,9% para as amostras arenosas e de 72,7% para as amostras argilosas. A relação inversa entre os valores de evaporação e conteúdo de água nessas amostras foi de 81,8% para as amostras arenosas e de 54,5% para as amostras argilosas. Portanto, os valores de condutividade térmica do material situado na zona de aeração é mensuravelmente influenciado pelas mudanças do índice de precipitação pluviométrica e evaporação

local. Tal influência é mais acentuada quanto maior for o grau de permeabilidade da zona em estudo.

Os valores de condutividade térmica dos materiais localizados na zona de aeração são influenciados por fatores externos e mutantes. Experimento, em laboratório, ratificou tal conclusão.

Nos trabalhos de Geotermia Rasa, os valores de condutividade térmica utilizados devem ser obtidos de medidas sobre amostras locais. Não é aconselhável o uso de valores publicados na literatura sem uma análise criteriosa, devido aos mesmos sofrerem influências de variáveis externas.

AGRADECIMENTOS

Externamos nossos sinceros agradecimentos: ao Prof. Dr. Francisco Yukio Hiodo pela construção de parte do aparato utilizado nas medidas de condutividade térmica e calibração do mesmo; ao Prof. Dr. Ubirajara Boechat Lopes pela análise química da água utilizada neste trabalho; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas Bolsas de Pesquisa concedidas a dois dos autores; ao 1 Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia, pelos dados de precipitação pluviométrica e evaporação.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, R. L. C., CARVALHO, J. S. & FERNANDES FILHO, L. A.** - 1991 - Condutividade térmica em solos argilosos em Manaus. Anais III Simpósio de Geologia da Amazônia, 350-360, Belém-PA.
- ARAUJO, R. L. C. & SILVA, R. M.** - 1982 - Estimativas preliminares do gradiente geotérmico, concernente à cidade de Manaus. Anais XXXII Cong. Bras. Geol., 4: 1615-1620, Salvador-BA.
- ARAUJO, R. L. C.** - 1987 - Geotermia Rasa em Belém. Tese de Doutorado. Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará., Belém-PA, 149 pp.
- ASTIER, J.** - 1975 - Geofísica Aplicada a la Hidrogeologia. Paraninfo, Madrid, 344 pp.
- BECK, A. E.** - 1965- Techniques of measuring heat flow on land. In: Terrestrial Heat Flow, Lee, W. ed., A.G.U., Washington, 24-57.
- CAPUTO, V. M., RODRIGUES, R. & VASCONCELOS, D. N. N.** - 1972- Nomenclatura estratigráfica da bacia do Amazonas: Histórico e atualização. Anais XXVI Cong. Bras. Geol., 3:35-46, Belém-PA.
- CARSLAW, H. S. & JAEGER, J. C.** - 1959- Conduction of Heat in Solids. 2ª ed., Clarendon Press, Oxford, 496 pp.
- CARVALHO, H. S.** - 1981- Método Para Determinação do Fluxo Geotérmico Com Aplicação às Bacias Sedimentares Petrolíferas do Recôncavo Baiano (Brasil) e Sumatra (Indonésia). Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, 92 pp.
- DAEMON, R. F.** - 1975 - Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, bacia do Amazonas. Rev. Bras. Geoc., 5: 78-84.
- DAMIÃO, R. N., SOUZA, M. M. & MEDEIROS, M. F.** - 1972 - Projeto Argila Manaus. Relatório Final, DNPM/CPRM, Manaus, 1: 1-93.
- HEILAND, C. A.** - 1940 - Geophysical Exploration. Prentice-Hall, New York, 1013 pp.
- HOLMAN, J. P.** - 1983 - Transferência de Calor. Mc Graw-Hill, São Paulo, 639 pp.
- LANGSETH, M. G.** - 1965 - Techniques of measuring heat flow through the ocean floor. In: Terrestrial Heat Flow, Lee, W. ed., A.G.U., Washington, 58-77.
- MARANGONI, Y. R. & HAMZA, V. M.** - 1983 - Condutividade térmica de sedimentos da plataforma continental sudeste do Brasil. Rev. Bras. Geof., 2: 11-18.
- SMITH, P. J.** - 1973 - Topics in Geophysics. The Open University Press. New York, 303 pp.
- SOUZA, M. M.** - 1974 - Perfil geológico da BR-174 (Manaus-Boa Vista) no trecho Manaus-Serra do Abonari. Anais XXVIII Cong. Bras. Geol., 2:75-86, Porto Alegre-RS.
- 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.

Submetido em: 21/07/93

Revisado pelo(s) autor(es) em: 24/03/95

Accito em: 04/05/95