



## Varição Temporal da Temperatura

#Roberto Matias da Silva, ##\*Rutenio Luiz Castro de Araújo e ##João da Silva Carvalho

#Funtac–Fundação de Tecnologia do Estado do Acre. ##DEGEO–Universidade Federal do Amazonas

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 was reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

The present work has as its main objective to quantify the weather variations of the temperature to the depths of 0,0m and 1,0m, also showing the main external sources which are responsible for these geothermal variations. It was verified that these main external sources are the degree of superficial vegetation coverage and the local pluviometric precipitation indices and insulation. The registered geothermal variations in the present work are of utmost importance for the best knowledge of the shallow geothermal structure. This study also brings real and useful data of the models elaboration concerning deforestation or reforestation processes in the Amazon.

### Resumo

O presente trabalho de pesquisa tem como escopo principal quantificar as variações temporais da temperatura às profundidades de 0,0m e 1,0m, mostrando, também, as fontes externas principais as quais são responsáveis por essas variações geotérmicas. Verificou-se que estas fontes externas principais são o grau de cobertura vegetal superficial e os índices de precipitação pluviométrica e insolação locais. As variações geotérmicas registradas no presente trabalho são de suma importância para o melhor conhecimento da estrutura geotermal rasa como, também, fornece dados reais úteis para a elaboração de modelos acerca dos processos de desmatamento ou reflorestamento na Amazônia.

### Introdução

Para se ter um melhor entendimento sobre o regime geotermal raso, envolvendo suas magnitudes, variações, efeitos e comportamento temporal, torna-se necessário a realização de estudos que levem em consideração as fontes que influenciam diretamente os valores da temperatura na superfície terrestre e em sub-superfície. Dentre as fontes externas citamos, como principais, o fluxo de radiação solar incidente, a insolação, a precipitação pluviométrica e o grau de cobertura vegetal superficial. Por esta razão é que o presente trabalho de pesquisa foi desenvolvido em dois locais contíguos, porém com diferenças marcantes quanto ao grau de cobertura vegetal superficial. A condição de que os locais estudados devem ser contíguos, é fundamental na fase de análise comparativa dos resultados.

### Metodologia

Os resultados analisados neste trabalho concernem ao ano de 2000. Tais resultados foram obtidos em dois locais contíguos, localizadas no município de Manaus (AM), situados na área do mini-campus da Universidade Federal do Amazonas. Estes locais apresentam diferentes graus de proteção vegetal superficial. Desta forma foram realizadas pesquisas em um local com cobertura vegetal (c/c) e em outro local sem cobertura vegetal (s/c).

O estado do Amazonas é caracterizado, em termos climatológicos, em apenas dois períodos distintos ao longo de um ciclo de um ano, ou sejam, o período chuvoso e o período considerado seco. O período chuvoso compreende os meses de dezembro a maio, enquanto que o período considerado seco abrange os meses de junho a novembro.

Para fins de análise, consideramos o mês de abril/2000 como sendo o mês representativo do período de maior precipitação pluviométrica, enquanto que o mês de outubro/2000 foi escolhido como sendo o mês representativo do período de maior insolação, ou de menor precipitação pluviométrica. A figura 1 mostra os resultados obtidos dos parâmetros precipitação pluviométrica e insolação relativos a todo o ano de 2000. A análise dos dados contidos na figura 1 ratificam, cristalina, a escolha dos meses referenciais utilizados no presente trabalho.

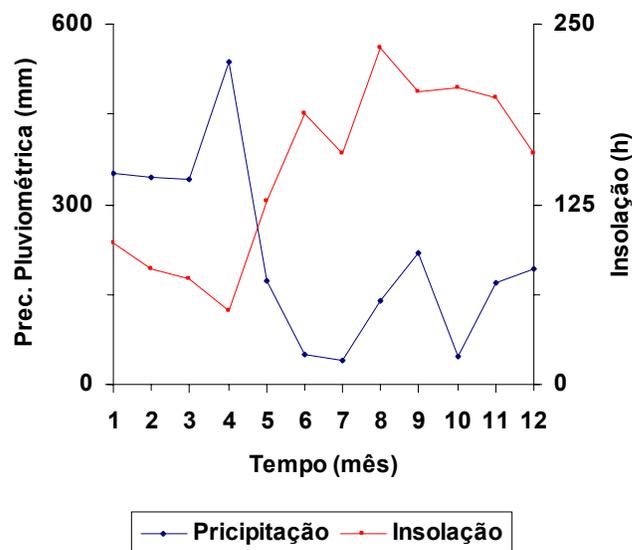


Figura 1 – Valores mensais da precipitação pluviométrica e da insolação, durante o ano de 2000.

As medidas de temperatura superficial foram realizadas com o emprego de um termômetro digital, tendo como sensor térmico um termopar. A precisão dessas medidas foi de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Todas as outras medidas de temperatura foram realizadas utilizando-se um termômetro de termistor. A leitura da resistência elétrica do termistor foi feita com a utilização de uma ponte resistiva, tipo Wheatstone. A precisão destas medidas foi da ordem de  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ . As medidas de temperatura realizadas a 1,0m foram obtidas através de monitoramento térmico; os termistores foram fixados na extremidade de um fio condutor e colocados àquelas profundidades. A outra extremidade do fio foi deslocada para o Laboratório de Geofísica, onde as medidas foram realizadas. O monitoramento térmico foi realizado diariamente, nos horários das 08h, 14h e 17h.

Os valores da precipitação pluviométrica e da insolação, referentes ao ano de 2000, foram obtidos junto ao INMET-Instituto Nacional de Meteorologia, 1<sup>o</sup> Distrito de Meteorologia.

### Resultados

A figura 2 mostra os resultados dos valores diários medidos da temperatura superficial e insolação, nos locais s/c e c/c, às 14:00h, referentes ao mês de abril/2000. Nesta figura observa-se, nitidamente, uma boa relação entre as configurações das curvas representativas dos valores da temperatura (para os locais s/c e c/c), em relação à curva referente à insolação. No mês de abril a somatória mensal da insolação teve o valor de 50,9h. A boa relação das variações dos parâmetros temperatura superficial e insolação caracteriza a insolação como uma eficiente e fundamental fonte externa a qual influencia, preponderantemente, os valores da temperatura às profundidades palco dos estudos da geotermia rasa. A figura 2 mostra, também, de maneira cristalina, a elevada superioridade dos valores da temperatura superficial registrados no local sem cobertura vegetal, em relação aos valores obtidos deste parâmetro correspondentes ao local com cobertura vegetal. Neste mês de abril o valor médio da temperatura superficial no local s/c foi de  $31,13^{\circ}\text{C}$ , enquanto que no local c/c registrou-se o valor médio de  $25,61^{\circ}\text{C}$ . Existe, então, uma diferença, entre as duas médias citadas, de  $5,52^{\circ}\text{C}$ . Face ao fato de que os dois locais estarem contíguos e apresentarem litologias iguais (88% de argila), podemos concluir que a elevada variação nos valores médios da temperatura superficial deve-se, exclusivamente, à diferença do grau de influência da cobertura vegetal. Assim sendo, mensurando tal influência torna-se possível, efetivamente, determinar a importância crucial da cobertura vegetal superficial como, ainda, fornecer dados reais para modelamentos que tratam dos processos de desmatamento e reflorestamento na Amazônia.

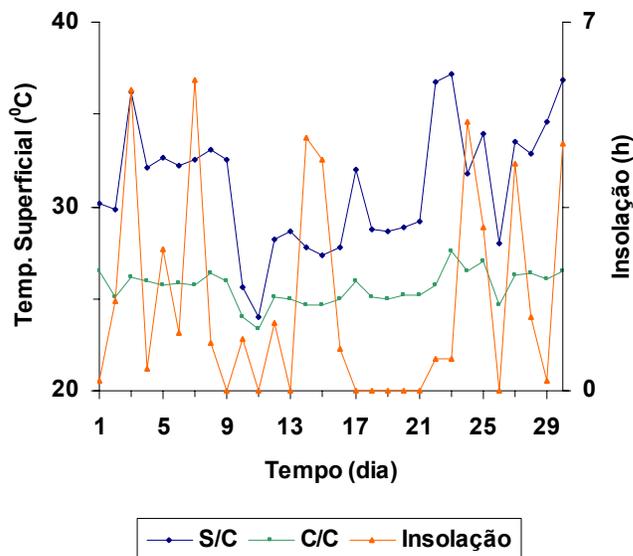


Figura 2: Valores diários da temperatura superficial e da insolação, referentes ao mês de abril, às 14h, nos locais sem e com cobertura vegetal superficial.

Na figura 3 são apresentados os resultados dos mesmos parâmetros e horário mostrados na figura 2, porém, agora, atinentes ao mês de outubro/2000. Na figura 3 verifica-se, de maneira similar ao observado na figura 2, que existe uma elevada superioridade dos valores da temperatura superficial correspondentes ao local sem cobertura vegetal, em relação aos valores da temperatura superficial registrados no local com cobertura vegetal. Porém, devido ao fato de que o valor da insolação atinente ao mês de outubro ser mensuravelmente maior do que o valor registrado no mês de abril (205,2h e 50,9h, respectivamente), conseqüentemente, as magnitudes dos valores da temperatura superficial medidos no mês de outubro são superiores aos obtidos no mês de abril. No mês de outubro, a temperatura média mensal no local s/c foi de  $32,68^{\circ}\text{C}$ , enquanto que no local c/c foi de  $28,81^{\circ}\text{C}$ . Registrou-se, assim, uma variação dos valores médios mensais de temperatura superficial da ordem de  $3,87^{\circ}\text{C}$ . Também, de maneira similar à figura 2, verifica-se a boa relação entre as variações térmicas registradas e os valores da insolação. A somatória total da insolação no mês de outubro foi de 205,2h. Face ao fato de que os meses de abril e outubro aqui analisados serem representativos dos dois períodos climatologicamente diferentes no estado do Amazonas, podemos, então, concluir que as diferenças registradas nestes meses referenciais refletem as mudanças que ocorrem ao longo do ano. Assim sendo, os resultados mostrados nas figuras 2 e 3 mensuram as diferenças dos valores médios mensais da temperatura, cuja causa é simplesmente o fato de que em um determinado local há cobertura vegetal superficial e em outro não há tal proteção.

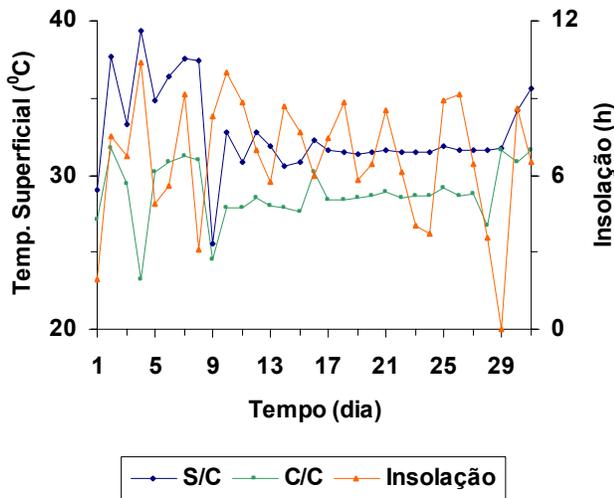


Figura 3: Valores diários da temperatura superficial e da insolação, referentes ao mês de outubro, às 14h, nos locais sem e com cobertura vegetal superficial.

A figura 4 apresenta os resultados dos valores medidos de temperatura à 1,0m de profundidade e os de insolação, referentes ao mês de abril, no horário das 14h, tanto para o local sem cobertura vegetal quanto para o local com cobertura vegetal. Nesta figura verifica-se as mesmas boas relações entre os parâmetros envolvidos na figura 2, como, também, a nítida superioridade dos valores registrados da temperatura à 1,0m de profundidade no local s/c em relação ao local c/c. A temperatura média à 1,0m de profundidade no local s/c, no mês de abril/2000, foi de  $25,11^{\circ}\text{C}$ ; enquanto que no local c/c registrou-se um valor médio desse parâmetro da ordem de  $24,62^{\circ}\text{C}$ . O que denota uma variação de temperatura média, à 1,0m de profundidade, no mês de abril, de  $0,49^{\circ}\text{C}$ .

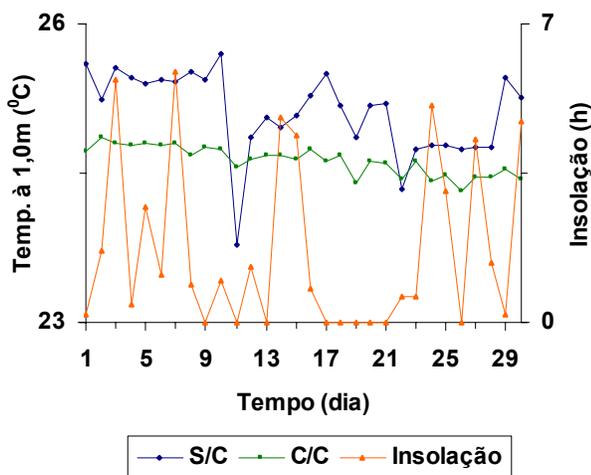


Figura – 4 Valores da temperatura à 1,0m de profundidade e insolação, nos locais s/c e c/c, às 14:00h, referentes ao mês de abril/2000.

A figura 5 apresenta os resultados obtidos dos mesmos parâmetros registrados na figura 4, porém, relativos ao mês de outubro. Os resultados da análise dessa figura são similares aos resultados da análise da figura 4. No entanto, também neste mês, as magnitudes dos valores da temperatura à 1,0m de profundidade concernentes ao local s/c são preponderantemente superiores aos valores medidos no local c/c. A temperatura média à 1,0m de profundidade no local s/c, no mês de outubro/2000, foi de  $25,11^{\circ}\text{C}$ , enquanto que no local c/c obteve-se o valor médio de  $24,62^{\circ}\text{C}$ . O que mostra uma variação de temperatura média a 1,0m de profundidade, no mês de outubro, às 14h, de  $0,49^{\circ}\text{C}$ .

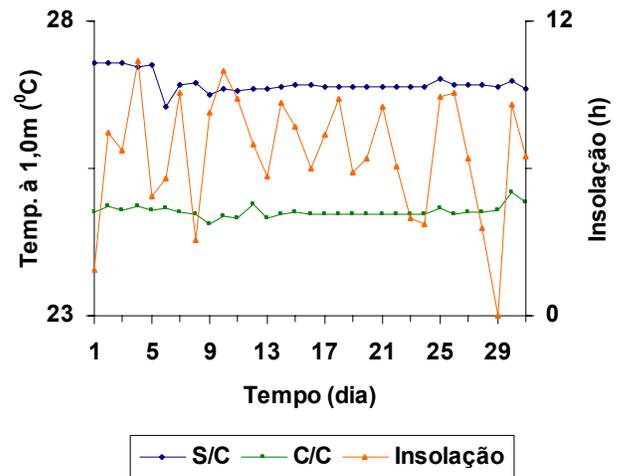


Figura 5 – Valores da temperatura à 1,0m de profundidade e insolação, nos locais s/c e c/c, às 14h, referentes ao mês de outubro/2000.

Os resultados mostrados nas figuras 4 e 5 possibilitam concluirmos que as variações térmicas observadas na superfície terrestre se propagam, de maneira indubitável, à profundidade de 1,0m, onde ali são registradas com magnitudes mensuráveis, conseqüentemente, em hipótese alguma desprezíveis. Obviamente que essas variações térmicas, tanto superficiais como à 1,0m de profundidade, são mais intensas no mês de outubro, em relação ao mês de abril, face ao fato de que, na região amazônica, o mês de outubro caracterizar-se pelo maior índice de fluxo de radiação solar incidente na superfície terrestre, o que é corroborado pelo índice de insolação, ou seja, 205,2h no mês de outubro, enquanto que no mês de abril se registrou apenas 50,9h. Portanto, podemos concluir que, na área em estudo, as perturbações térmicas superficiais geradas pelo fluxo de radiação solar incidente na superfície terrestre se propagam de maneira eficiente para a subsuperfície local, sendo que a variação diurna atinge profundidades superiores à 1,0m.

A fim de mostrarmos que as variações geotermiais rasas aqui apresentadas não são características apenas do horário das 14h, apresentamos, a seguir, as figuras de 6 a 9. A figura 6 apresenta os valores diários da temperatura superficial e precipitação pluviométrica referentes ao mês de abril/2000, no horário das 17h, para

os locais s/c e c/c; enquanto que a figura 7 apresenta os resultados dos mesmos parâmetros e horário registrados na figura 6, porém, atinentes ao mês de outubro/2000. A figura 8 mostra os valores diários da temperatura à 1,0m de profundidade e os de precipitação pluviométrica atinentes ao mês de abril/2000, no horário das 17h, para os locais s/c e c/c; enquanto que a figura 9 mostra os valores medidos dos mesmos parâmetros e horário assinalados na figura 8, porém, agora, relativos ao mês de outubro/2000.

Os comportamentos das variações tanto da temperatura superficial como, também, da temperatura à 1,0m de profundidade, registrados nas figuras de 6 a 9 são similares aos comportamentos das variações desses mesmos parâmetros mostrados nas figuras 2 a 5. Isto comprova que as variações geotermiais rasas aqui registradas não são características de um horário especial, mas, sim, válidas para todo o ciclo climatológico de período de um ano. Esta característica é explicada face ao fato de serem as mesmas fontes as causadoras das variações geotermiais registradas. Portanto, dependendo das mudanças das fontes externas haverá variações com magnitudes diferenciadas no regime geotermal raso. A fim de ratificar tal conclusão é que foi inserido o índice de precipitação pluviométrica nas figuras de 6 a 9. O comportamento da curva que representa as variações deste índice é inverso ao comportamento que registra as mudanças das curvas relativas à insolação. Portanto, temos duas fontes externas que provocam, de maneira cristalina, variações mensuráveis nos valores da temperatura às profundidades palco da geotermia raso. A temperatura média superficial no mês de abril, às 17:00h, no local s/c, foi de 27,55<sup>o</sup>C, enquanto que no local c/c foi de 25,48<sup>o</sup>C. Registrou-se uma variação de 2,07<sup>o</sup>C. A temperatura média superficial no mês de outubro, às 17:00h, no local s/c, foi de 27,96<sup>o</sup>C, enquanto que no local c/c foi de 26,56<sup>o</sup>C. Registrou-se uma variação de 1,40<sup>o</sup>C. A temperatura média à 1,0m de profundidade no mês de abril, às 17:00h, no local s/c, foi de 25,17<sup>o</sup>C, enquanto que no local c/c foi de 24,59<sup>o</sup>C. Registrou-se uma variação de 0,58<sup>o</sup>C. A temperatura média à 1,0m de profundidade no mês de outubro, às 17:00h, no local s/c, foi de 27,10<sup>o</sup>C, enquanto que no local c/c foi de 24,73<sup>o</sup>C. Registrou-se uma variação de 2,37<sup>o</sup>C. A precipitação pluviométrica total no mês de abril foi de 535,4mm, enquanto que no mês de outubro registrou-se o valor de, apenas, 47,2mm.

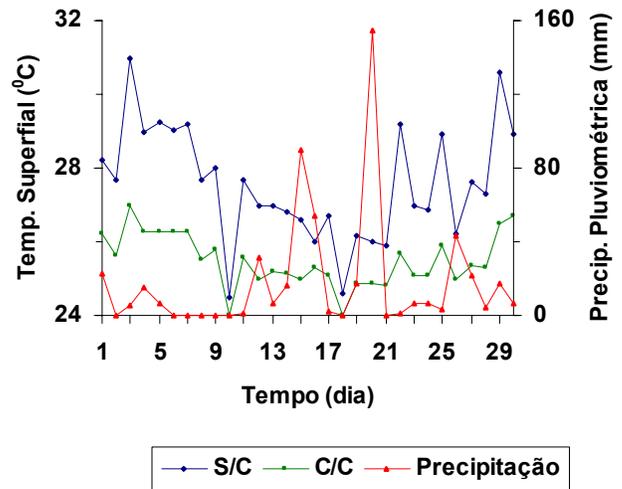


Figura 6 – Valores diários da temperatura superficial e precipitação pluviométrica referentes ao mês de abril/2000, no horário das 17h, nos locais s/c e c/c.

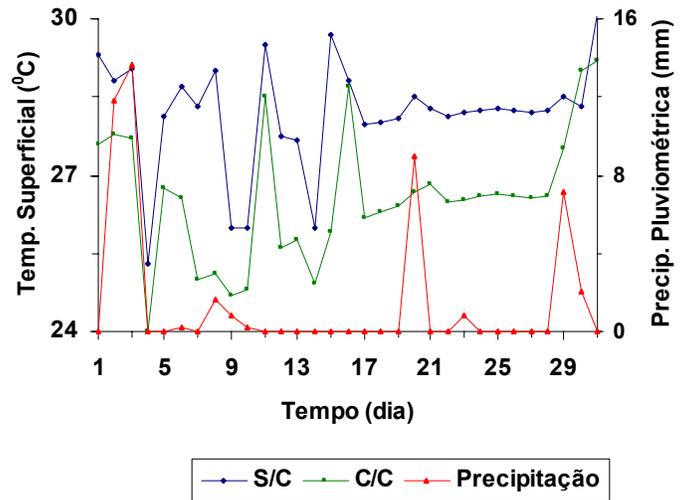


Figura 7 – Valores diários da temperatura superficial e precipitação pluviométrica referentes ao mês de outubro/2000, no horário das 17h, nos locais s/c e c/c.

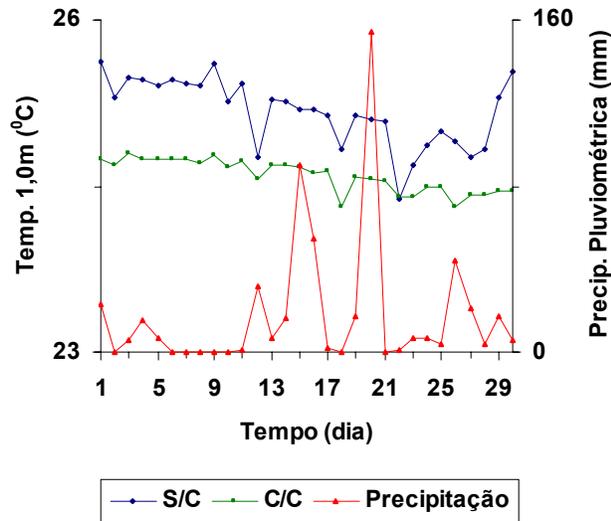


Figura 8 – Valores diários da temperatura à 1,0m de profundidade e precipitação pluviométrica, referentes ao mês de abril/2000, às 17h, nos locais s/c e c/c.

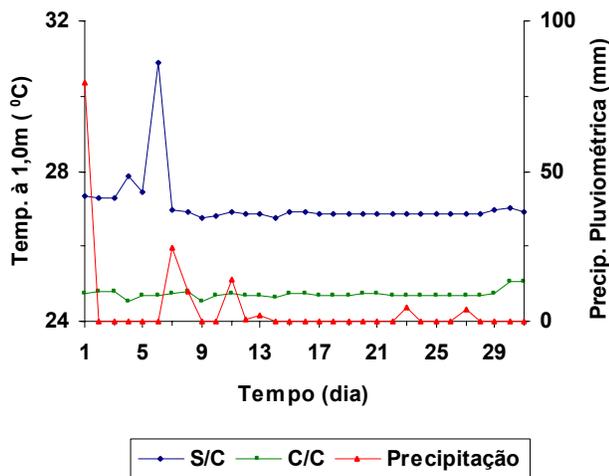


Figura 9 – Valores diários da temperatura à 1,0m de profundidade e precipitação pluviométrica, referentes ao mês de outubro/2000, às 17h, nos locais s/c e c/c.

#### Conclusões

A análise dos resultados do presente projeto de pesquisa permitiu obtermos as seguintes conclusões principais:

a- Em ambos os períodos e locais estudados ocorrem variações consideráveis nos valores da temperatura, tanto em superfície como a 1,0 m de profundidade. Os valores da temperatura a 1,0 m de profundidade são sensivelmente dependentes das variações dos valores de

temperatura em superfície. Tal comportamento é extensivo a todo o ciclo de um ano;

b- Há uma boa relação entre as variações dos parâmetros temperatura, tanto superficial quanto à 1,0m de profundidade, com as mudanças nos índices de precipitação pluviométrica e insolação. Quando há um incremento do índice de insolação, conseqüentemente, ocorre também um aumento nos valores da temperatura, independentemente da profundidade e local estudados, caracterizando, assim, uma relação diretamente proporcional entre as variações dos parâmetros insolação e temperatura. Com relação ao índice de precipitação pluviométrica, esta relação é inversamente proporcional, ou seja, com o incremento da precipitação pluviométrica ocorre um decréscimo nos valores da temperatura, também independentemente do local e profundidade estudados;

c- A precipitação pluviométrica local, a insolação e o tipo de cobertura vegetal superficial são fontes externas fundamentais responsáveis pelas variações geotermiais rasas;

d- As mensurações obtidas no presente trabalho permitem avaliar, realisticamente, a influência da cobertura vegetal superficial no estado térmico das camadas subsuperficiais, as quais constituem-se palco da geotermia rasa. Tais valores são de suma importância na elaboração de modelos reais acerca dos efeitos causados pelos processos de desmatamento ou de reflorestamento na Amazônia;

e- Os resultados do presente trabalho permitiram a mensuração da influência da cobertura vegetal superficial no regime geotermal raso e, conseqüentemente, acerca do conforto térmico local.

#### Agradecimentos

Externamos nossos sinceros agradecimentos:

À Universidade Federal do Amazonas e à Fundação de Tecnologia do Estado do Acre por permitirem aos autores dedicação à pesquisa.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia, 1<sup>o</sup> Distrito de Meteorologia, pelo fornecimento dos dados de precipitação pluviométrica e insolação.

À todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

#### Referência Bibliográfica

ARAUJO, R. L. C. 1999. Contribuição da Geotermia Rasa aos Estudos Ambientais. Manaus. Ed. Universidade do Amazonas. 88p.

ARAUJO, R. L. C. e SILVA, R. M. 1982. Estimativas Preliminares do Gradiente Geotérmico Concernente à Cidade de Manaus. XXXII Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, V. 4, 1615-1620.

BECK, A. E. 1989. Precision Logging of Temperature Gradients and the Extraction of Past Climate. Tectonophysics, 83 (1/2) : 1-11.

CARSLAW, H. S. and JAEGER, J. C. 1959. Conduction of Heat in Solids. 2<sup>a</sup> ed. Oxford. Clarendon Press. 527 p.

SERRA, P.N.; ARAUJO, R.L.C.; CARVALHO, J.S. & PALHA, W.S.M. (1997) Caracterização Geotérmica no Campus da Universidade do Amazonas. Anais do V Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, SBGf, São Paulo (SP), v.II, 946-949.

SMITH, P. J. 1973. Topics in Geophysics. New York. The Open University Press. 303 p.

SOUZA, J.R.S.; PINHEIRO, F.M.A.; ARAUJO, R.L.C.; PINHEIRO Jr., H.S. & HODNETT, M.G. (1996) Temperature and Moisture Profiles in Soil Beneath Forest and Pasture Areas in Eastern Amazonia. Amazonian Deforestation and Climate. Capítulo 6. Editado por Gash, J.H.C., Nobre, C.A.; Roberts, J.M. & Victoria, R.L. John Wiley & Sons. England. 125-137.