

---

# REVISTA DE GEOGRAFIA

Programa de pós-graduação em geografia da UFPE  
www.ufpe.br/revistageografia

---

## DIFUSIVIDADE TÉRMICA DO SOLO DE CAMPINA GRANDE PARA DOIS PERÍODOS DO ANO

Soetânia Santos de Oliveira<sup>1</sup> ; José Fideles Filho<sup>2</sup> ; Simone Vicente de Oliveira<sup>3</sup> ; Thiago Silva Araújo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: soetania@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Prof. Dr. do Departamento de Física, da Universidade Estadual da Paraíba. E-mail: fidelesfilho@uol.com.br

<sup>3</sup> Mestre em Física pela Universidade Federal da Paraíba. Email: simone\_909@hotmail.com

<sup>4</sup> Doutorando em Meteorologia Pela Universidade Federal de Campina Grande. Email: thsaraujo@gmail.com

Artigo recebido em 05/04/2010 e aceito em 23/11/2010

---

### RESUMO

Foram coletados dados de temperatura do solo nas profundidades de 02, 05, 20, 30, 50 e 100 cm, durante um ciclo diário na Estação Meteorológica de Campina Grande, PB, em dois períodos distintos entre os anos de 2004-2005. O estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o comportamento térmico e determinar a difusividade térmica, a partir da amplitude e da fase do 1º harmônico da Série de Fourier. Para isto foram escolhidas três camadas de solo, uma superficial, de 2 a 5 cm de profundidade, uma intermediária, de 20 a 30 cm de profundidade, e outra mais profunda, de 50 a 100 cm. Para a camada superficial, os valores da difusividade térmica parecem mais confiáveis. No caso das camadas intermediária e profunda, os valores de difusividade térmica obtidos pelo método da amplitude são mais coerentes que os obtidos pelo método da fase, que além de mais variáveis, são sistematicamente mais elevados.

**Palavras-chaves:** Temperatura do solo, perfil térmico, ciclo diário.

### ABSTRACT

Daily soil temperature data were collected for the depths of 02, 05, 20, 30, 50 and 100 cm, at the Climatological Station of Campina Grande, PB, during two different periods in the years of 2004-2005. The study was conducted with the objective of evaluating the thermal behavior and to determine the thermal diffusivity of the soil using the amplitude and phase informations of the first harmonic of the Fourier Series. For this purpose three soil layers, an near the surface, 2-5 cm depth, an intermediary, 20-30 cm depth and the other a deeper layer, 50-100 cm, were chosen. For the surface layer, the values of the thermal diffusivity were more reliable. In case of the intermediary and deeper soil layer, the thermal diffusivity values obtained through the method of amplitudes were more coherent than those obtained from the phase method which are more variable and systematically higher.

**Keywords:** Soil temperature, thermal profile, daily cycle.

## INTRODUÇÃO

A temperatura do solo é um dos fatores limitantes e essenciais ao crescimento vegetal, sendo bastante importante para as diversas fases fenológicas das plantas e conseqüentemente para o crescimento, qualidade e quantidade na produção agrícola. Além disso, associada à qualidade do solo, a temperatura do solo influencia o acúmulo de carbono, a absorção de água pelas plantas, a ciclagem dos nutrientes e a atividade radicular (MACDUFF et al., 1986; DOMISCH et al., 2001).

Segundo CASTRO (1989) o excessivo aquecimento do solo, no início do estabelecimento das culturas, compromete a absorção de nutrientes pelas plantas, sendo a cobertura vegetal uma boa maneira de criar um ambiente favorável às plantas, pois reduz a temperatura do solo durante as horas mais quentes do dia, criando um ambiente mais propício e viável ao desenvolvimento de algumas culturas. Portanto, a temperatura do solo é um dos fatores limitantes no que diz respeito ao poder produtivo do mesmo, tendo em vista que afeta diretamente as funções biológica, química e física do solo. Desta forma, o significado ecológico da temperatura do solo torna-se importante para aqueles que trabalham na agricultura, uma vez que se esta temperatura for desfavorável durante a estação de crescimento da cultura pode retardar as colheitas.

Baseando-se na solução da equação da condução do calor, apenas na direção vertical, VIANELLO et. al. (1982) estudaram o comportamento térmico dos solos de Jaboticabal, no estado de São Paulo, expandindo a referida solução em série de Fourier, permitindo conhecer a amplitude e a fase dos harmônicos, como também a difusividade térmica da onda de temperatura, obtendo resultados satisfatórios.

PAIVA e POGGIANI (2000) verificaram que a temperatura medida diariamente na camada superficial do solo em um sub-bosque de um fragmento florestal, acompanha a temperatura ambiente. Além disso, eles observaram que conforme se aprofundam os pontos de medidas no solo, as temperaturas tendem a se igualar.

SILVA JUNIOR et. al. (2001) estudaram o comportamento térmico do solo da Estação Meteorológica de Campina Grande, PB, considerando o ciclo anual de temperatura nos horários de 12, 18 e 24 TMG, e observaram que a temperatura média mensal do solo na profundidade de 100 cm foi superior as demais profundidades durante a maior parte do ano não havendo variação nos horários estudados.

OLIVEIRA (2005) estudando a difusividade térmica do solo tipo regossol para o período seco, encontrou resultados satisfatórios para as camadas entre 2 e 20 cm. Os resultados encontrados são condizentes com os encontrados por SELLERS (1965) e VIANELLO et. al. (1971) para o mesmo tipo de solo.

ELTZ e ROVEDDER (2005) estudando o comportamento térmico em áreas vegetadas e degradadas verificaram que durante o verão a temperatura do solo a 3, 10 e 20 cm de profundidade foi mais amena nas áreas vegetadas, tornando-se esse efeito mais evidente após as 9 horas do dia.

OLIVEIRA e FIDELES FILHO (2007) estudando o comportamento térmico do solo de Campina Grande-PB, em três períodos do ano verificaram que, para a camada superficial as temperaturas no período seco apresentaram valores mais elevados que as observadas nos períodos intermediário e chuvoso, já para a camada mais profunda as temperaturas no período chuvoso foram superiores as observadas nos outros dois períodos.

Acreditando que o conhecimento do comportamento da temperatura no perfil do solo é essencial para uma agricultura bem orientada, objetiva-se, analisar o comportamento térmico do solo de Campina Grande-PB, utilizando dados de temperatura do solo, medidos em intervalos de hora em hora, nas profundidades de 2, 5, 20, 30, 50 e 100 cm e determinar a difusividade térmica pelo método da solução da equação de Fourier.

## MATERIAL E MÉTODO

Os dados de temperatura do solo foram coletados na Estação Meteorológica, instalada na sede da EMBRAPA/Algodão, localizada no município de Campina Grande, PB (7°13'S, 35°53'O, 530 m). O solo da área estudada é classificado como Regossol de textura arenosa. As temperaturas de solo foram coletadas a partir de geotermômetros, cujo elemento sensível é o mercúrio, em intervalos de hora em hora, num período de 24 horas, nas profundidades de 2, 5, 20, 30, 50 e 100 cm. Foram realizadas duas medições em épocas diferentes do ano: a primeira entre os dias 20 e 21 de Dezembro de 2004, período seco, e a segunda entres os dias 10 e 11 de junho de 2005, período chuvoso.

Para determinação da difusividade térmica do solo, utilizou-se a Equação de Fourier da condução do calor que foi reduzida apenas às variáveis tempo e profundidade, relacionando o aquecimento ou resfriamento do solo, com a curvatura do perfil vertical da temperatura (SELLERS, 1965). Assumindo-se condições de contornos apropriadas ao fenômeno de condução de calor no solo, obteve-se a solução da Equação de Fourier dada pela equação abaixo:

$$T(z,t) = T + A(0) \cdot \exp(-z/d) \cdot \text{sen}(wt + \Phi - z/d) \quad (1)$$

Em que  $T(z,t)$  é a temperatura do solo a uma profundidade  $z$  no tempo  $t$ ,  $T$  é a temperatura média à superfície,  $A(0)$  a amplitude da onda de temperatura à superfície,  $d$  a profundidade de

amortecimento da onda,  $w$  a frequência radial e  $\Phi$  o ângulo de fase. A amplitude e a fase foram obtidas mediante a expansão da Equação (1) em série de Fourier de Senos e Cossenos pela obtenção dos coeficientes da série, a partir dos dados de temperatura do solo observadas em um ciclo diário. A partir da amplitude e da fase do 1º harmônico, determinou-se a difusividade térmica nas diferentes camadas do solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Figuras 1 e 2 são apresentados os perfis de temperatura para as profundidades de 2 e 5 cm, respectivamente. Pode-se observar, por essas Figuras, que as temperaturas a 2 cm de profundidade apresentaram variações aproximadas às observadas a 5 cm, atingindo valores máximos e mínimos nos mesmos nos dois períodos estudados. De forma geral, durante 24 horas, a superfície do solo experimenta uma variação de energia que tem como consequência a ocorrência das menores temperaturas pouco antes do nascer do sol e as maiores logo após o meio dia solar. Verifica-se ainda, pelas Figuras 1 e 2 que, as temperaturas no período seco, apresentaram valores mais elevados que os observados no período chuvoso.

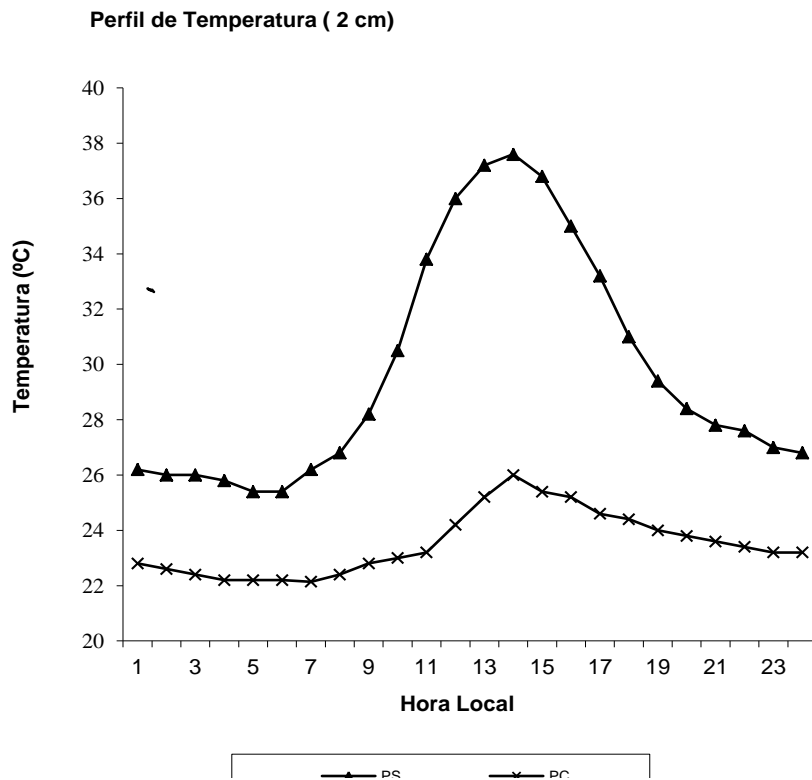


Figura 1 – Temperatura do Solo de Campina Grande, PB, à profundidade de 2 cm, nos períodos Seco e Chuvoso.

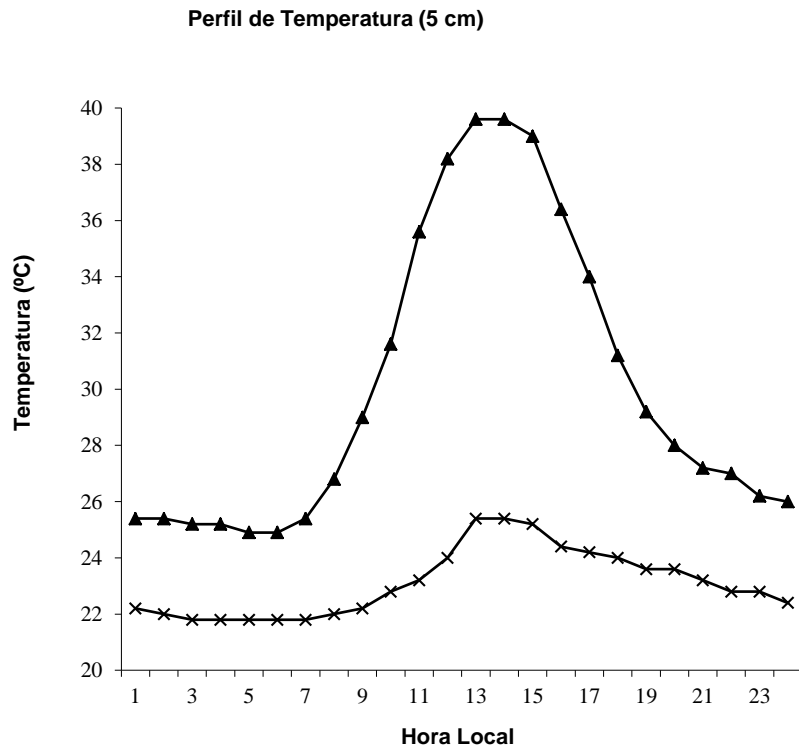


Figura 2 – Temperatura do Solo de Campina Grande, PB, à profundidade de 5 cm, nos períodos Seco e Chuvoso.

A temperatura do solo é uma função controlada, pelo periodismo diário do aquecimento do solo. Assim, nas duas primeiras camadas de solo a temperatura apresenta-se bastante variável, no entanto à medida que as camadas tornam-se mais profundas a temperatura tende a se estabilizar.

Nas camadas intermediárias verificou-se que para o período seco a temperatura a 30 cm de profundidade apresentou uma variação de magnitude menor que aquela observada a 20 cm de profundidade como pode ser visualizado nas Figuras 3 e 4. Isso ocorre provavelmente devido aos processos de troca de calor no solo serem mais intensos nas camadas mais próximas da superfície. Além disso, neste período do ano os processos de troca de calor nas camadas mais próximas da superfície tornam-se mais acentuados. No entanto para o período chuvoso ambas profundidades apresentaram comportamento térmico bem semelhantes.

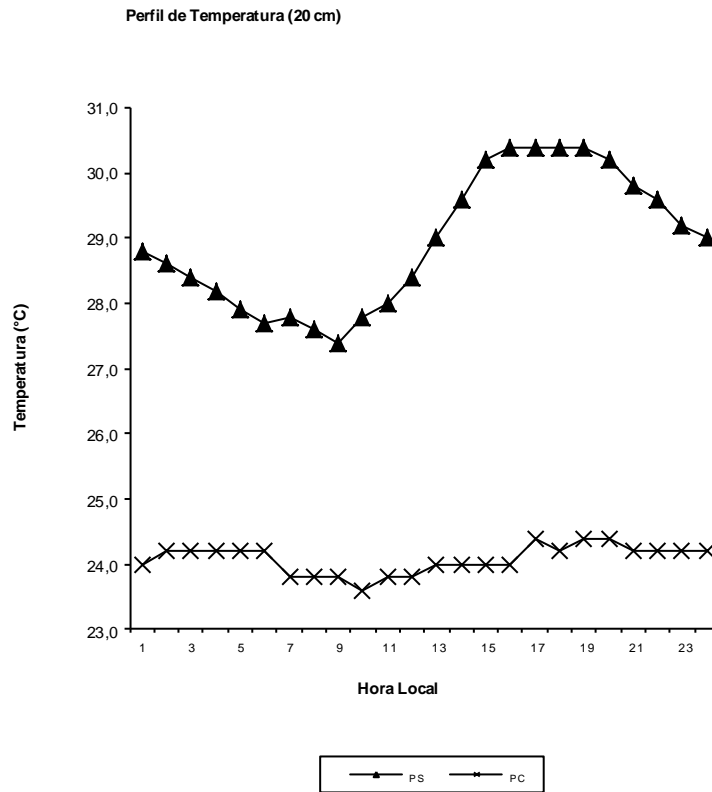


Figura 3 – Temperatura do Solo de Campina Grande, PB, à profundidade de 20 cm, nos períodos Seco e Chuvoso.

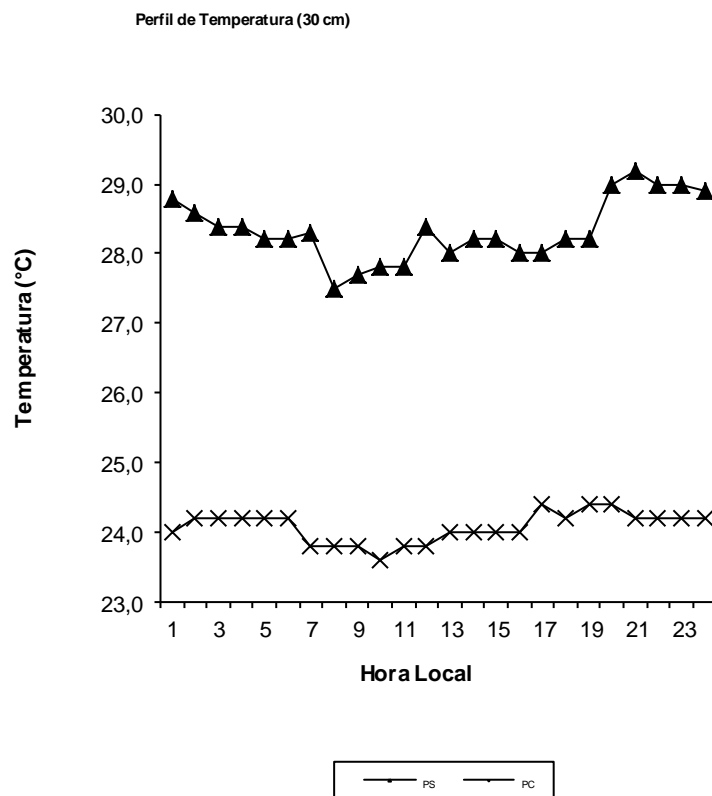


Figura 4 – Temperatura do Solo de Campina Grande, PB, à profundidade de 30 cm, nos períodos Seco e Chuvoso.

As camadas mais profundas sofreram menores variações de temperatura, como se pode observar nas Figuras 5 e 6, que apresentam, respectivamente, os perfis de temperatura às profundidades de 50 e 100 cm. Nota-se também que as temperaturas registradas no período chuvoso, para estas profundidades, foram superiores as observadas nas demais profundidades para o mesmo período. Este fato deve-se, provavelmente, a grande concentração de água nestas camadas, devido à ocorrência de chuvas nesse período. Segundo PEZZOPANE (2002), o preenchimento do espaço poroso do solo pela água aumenta a condutividade térmica do mesmo, fazendo com que a transferência de calor para as camadas mais profundas seja mais eficiente evitando maior aquecimento das camadas superficiais.

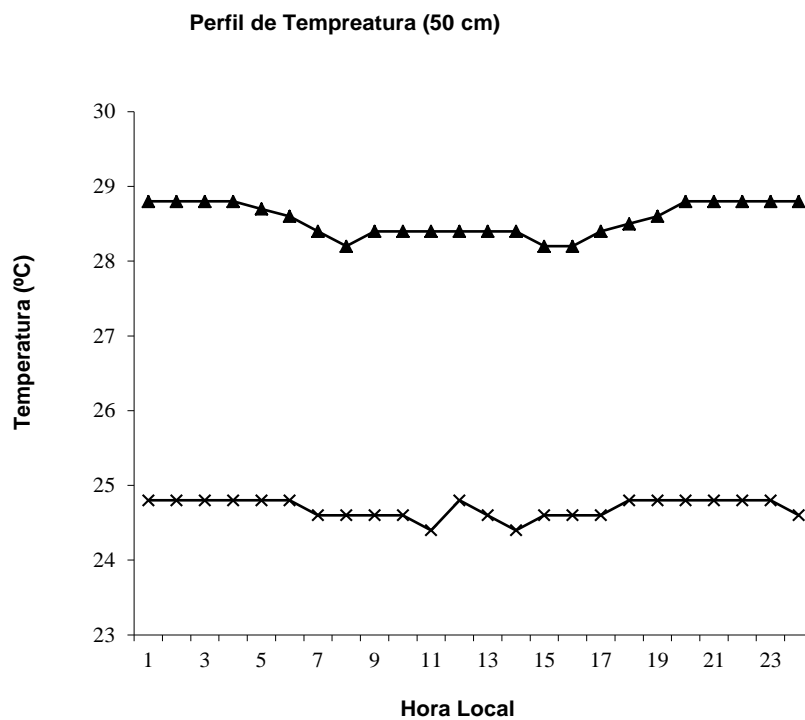


Figura 5 - Temperatura do Solo de Campina Grande, PB, à profundidade de 50 cm, nos períodos Seco e Chuvoso.

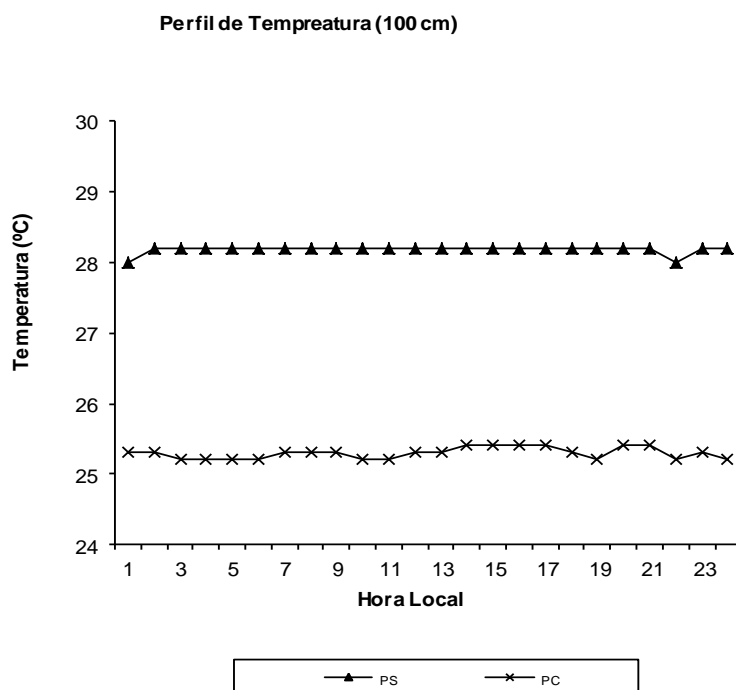


Figura 6 - Temperatura do Solo de Campina Grande, PB, à profundidade de 100 cm, nos períodos Seco e Chuvoso.

A difusividade térmica, calculada pela amplitude e pela fase do 1º harmônico da série de Fourier, para os períodos seco e chuvoso, nas camadas de solo, entre as profundidades estudadas, tem valores apresentados na Tabelas 1.

Tabela 1 – Valores de Difusividade Térmica para camadas de solo da Estação Meteorológica na EMBRAPA/Algodão de Campina Grande-PB, nos períodos seco e chuvoso.

Camadas entre as profundidades (cm)	Difusividade Térmica $\alpha$ ( $10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ seg}^{-1}$ )			
	Cálculo pelo método da Amplitude		Cálculo pelo método da Fase	
	PS <sup>1</sup>	PC <sup>2</sup>	PS <sup>1</sup>	PC <sup>2</sup>
02 – 05	5,9	80,7	0,2	0,05
20 – 30	2,5	4,0	199,7	200,4
50 – 100	216,8	10,0	3799,0	4138,2

\* 1 – Período Seco; 2 – Período Chuvoso.



Observa-se, pela Tabela 1 que, há uma divergência nos valores encontrados pelo método da Amplitude para a camada de solo entre 50 e 100 cm de profundidade no período seco, já no período chuvoso, essa divergência de valores ocorreu na primeira camada de solo, devido ao fato desta camada estar muito úmida, em virtude das chuvas que caíram durante o período de observação. Uma pequena quantidade de água é capaz de reduzir o efeito isolante do ar que preenche um poro vazio. Assim, à medida que se aumenta a quantidade de água, aumenta também a capacidade calorífica, devido à mesma ser maior que a do ar.

Ainda pela Tabela 1 é possível verificar que os valores da difusividade estimados tanto pelo método da amplitude como pelo método da fase, para a camada entre 2 e 5 cm de profundidade, nos dois períodos estudados, parecem mais confiáveis. Tais valores podem estar relacionados a processos não moleculares de transferência de calor. Para a camada intermediária os valores de difusividade estimados pelo método da amplitude apresentaram-se bem mais condizentes que aqueles estimados pelo método da fase. De forma geral, nota-se maior coerência entre os valores estimados pelas amplitudes, exceto para a camada entre 2 e 5 cm no período chuvoso, provavelmente, devido à quantidade de água acumulada nesta. Os valores obtidos com o método da fase, além de mais variáveis, apresentam-se sistematicamente mais elevados. No caso das camadas intermediária e profunda, os valores estimados pelo método da fase chega a ser mais de vinte vezes maior que aquele encontrado com o método da amplitude. Apesar de todas as possíveis incorreções, os valores de difusividade térmica estimados para a camada entre 2 e 5 cm correspondem ao esperado para o tipo de solo analisado (SELLERS, 1965; VIANELLO et. al., 1977). Vários pesquisadores atestam a validade da técnica para determinação da difusividade térmica (CARSON, 1963).

## CONCLUSÕES

As camadas mais superficiais de solo apresentaram valores máximos entre as 13 e as 14 horas e mínimos por volta das 05 horas, para os dois períodos de observação. Já as camadas intermediárias apresentaram valores máximos entre o fim da tarde e o início da noite, e mínimos entre as 9 e as 10 horas, enquanto as camadas mais profundas apresentaram temperaturas praticamente constantes. O modelo de estimativa da difusividade térmica, tanto pelo método da amplitude como pelo método da fase, apresentaram maior coerência nas camadas mais superficiais, para os períodos estudados.

**AGRADECIMENTOS:** CNPq, UEPB, EMBRAPA/Algodão de Campina Grande-PB.

**REFERÊNCIAS**

- BERGAMASCHI, H. GUADAGNIN, M.R. Modelos de ajuste para médias de temperatura do solo, em diferentes profundidades. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 1, n. 1, p. 95-99, Santa Maria, 1993.
- BRADY, N. C. Natureza e Propriedades dos Solos, 6ª ed, Livraria Freitas Bastos S.A., Rio de Janeiro - RJ, p. 276-285. 1989.
- CARSON, J. E. Analysis of soil and air temperatures by Fourier techniques. **Journal Geophysical Research**, n.68, v. 8, p. 2217-2232, 1963.
- CASTRO, O.M. Preparo do solo para a cultura do milho. Campinas, Fundação Cargill, 1989. 41p.
- DOMISCH, T.; FINER, L.; LEHTO, T. Effects of soil temperature on biomass and carbohydrate allocation in Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings at the beginning of the growing season. **Tree Physiology**, v.21, n.7, p.465-472, 2001.
- ELTZ, F. L. F. ROVEDDER, A. P. M. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas no Sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, n. 2, p. 193-200, Pelotas, 2005.
- MACDUFF, J.H. WILD, A. HOPPER, M.J. DHANOA, M.S. Effects of temperature on parameters of root growth relevant to nutrient uptake: Measurements on oilseed rape and barley grown in flowing nutrient solution. **Plant and Soil**, v.94, p.321-332, 1986.
- MALUF, J. R. T. MATZENAUER. R. CAIAFFO. M. R. BUENO. A. C. Análise e representação espacial da temperatura do solo gramado, visando a antecipação da semeadura de culturas de primavera-verão, em sistema plantio direto, no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 1, p. 117-123, Santa Maria, 2001.
- OLIVEIRA, S. S. **Uma aplicação da equação do calor**. 34f. Monografia (Licenciatura Plena em Física) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2005.
- OLIVEIRA, S. S. FIDELIS FILHO, J. Determinação da difusividade térmica do solo tipo regossol. In: **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Aracajú-SE. 02-05 de Julho. Anais em cd. 2007.
- PAIVA, A.V.; POGGIANI, F. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas plantadas no sub-bosque de um fragmento florestal. **Scientia Forestalis**, n. 57, p.141-151, 2000.
- RESENDE, M. Clima do solo suas relações com o ambiente agrícola. **Informe Agropecuário**, v. 12, n.138, 43-58, Belo Horizonte, 1986.
- SELLERS, W. D. **Physical Climatology**. Chicago, University of Chicago Press, 1965. 272p.
- SOARES, J. V. VIANELLO, R. L. SEDIVAMA, G. C. COELHO, D. T. **Experientiae** – U.F.V. v.27, Viçosa, MG, 1981.
- VIANELLO, R. L. ANDRÉ, R. G. B. MARQUES, V. S. Comportamento térmico do solo de Jaboticabal – SP, sob três diferentes coberturas. **Revista Ceres**, v.29, p.73-88, 1982.

VIANELLO, R. L. RAMANA RAO, T. V. NOGUEIRA, J. M. Comportamento térmico do solo de Viçosa – MG, ciclo anual – 1971, Juiz de Fora , 1977.