

# Estudo acerca da variabilidade térmica do solo

J. M. T. Diniz<sup>1</sup>; E. M. Albuquerque<sup>1</sup>; R. A. Rafael<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, 58109-970, Campina Grande-PB, Brasil*

*julio\_mannuel@hotmail.com*

*(Recebido em 14 de abril de 2013; aceito em 09 de janeiro de 2014)*

O conhecimento das temperaturas e propriedades térmicas do solo de uma determinada região é de fundamental importância para o entendimento dos vários processos físicos existentes no solo. Embora se saiba que a temperatura do solo é um dos fatores ambientais de maior importância para agricultura, poucos estudos foram realizados pela comunidade científica a respeito dessa variável. Logo, o presente trabalho tem como objetivo o estudo das características térmicas do solo através de dados coletados no Instituto Nacional do Semiárido, durante os meses de julho a dezembro do ano de 2012. Mediante a análise dos resultados verificou-se que as maiores amplitudes térmicas diárias estão associadas às porções mais próximas a superfície. Também se observou significativa semelhança das estimativas da difusividade térmica do solo obtidas por métodos distintos.

Palavras-chave: Temperatura do solo, propriedades térmicas, difusividade térmica.

## Study about the thermal variability of soil

The knowledge of temperatures and thermal properties of the soil of a given region is of fundamental importance for the understanding of the various physical processes that occurs in the soil. Although it is known that soil temperature is an environmental factor of great importance to agriculture, few studies have been performed by the scientific community about this variable. Therefore, this work aims the study of thermal characteristics of the soil using data collected in National Institute of Semiarid, during the months from July to December of the year 2012. By analyzing the results it was found that the highest daily thermal amplitudes are associated to portions closest to the surface. Also observed similarity significant of the estimates of soil thermal diffusivity obtained through different methods.

Keywords: Soil temperature, thermal properties, thermal diffusivity.

## 1. INTRODUÇÃO

As plantas necessitam do solo para obter água e nutrientes para o desenvolvimento, como também para a ancoragem e estabilidade [11]. O crescimento das plantas no contexto de produção agrícola exige condições adequadas para se obter uma colheita de maneira economicamente vantajosa. Para uma produção agrícola eficiente é importante compreender as características físicas do solo em que as plantas estão inseridas, a fim de reconhecer as limitações daquele ambiente e para melhorá-lo sempre que possível sem prejudicar a sua qualidade [15].

Medições de temperatura em diferentes profundidades do solo são rotineiras em estações meteorológicas, porém, são poucos os estudos que têm feito uso de tais observações. Em geral, a não utilização de tal acervo de dados deve-se principalmente por não considerar o fator térmico como limitante na produção agrícola dando-se maior ênfase ao fator hídrico.

A temperatura do solo é uma propriedade de natureza física que influi diretamente em uma série de processos ambientais relacionados às plantas, tais como germinação de sementes, velocidade e duração de crescimento, desenvolvimento e atividade radicular, ocorrência e severidade de pragas, etc. [8]. Além disso, comanda a evaporação e arejamento bem como o tipo e a taxa das reações químicas que se realizam no solo [1].

O aquecimento demasiado do solo na fase inicial de estabelecimento das culturas compromete a absorção de nutrientes pelas plantas [2]. As altas temperaturas também ocasionam efeitos nocivos sobre as raízes e a atividade microbiana [5]. Johnson & Lowery [9], verificaram em estudos que a variação de 1°C na temperatura do solo pode afetar significativamente a taxa de crescimento do milho em regiões de clima temperado.

As magnitudes das temperaturas do solo estão em constantes alterações visto que este é continuamente perturbado pela “entrada” de calor mediante incidência de radiação solar como também pela “perda” através de processos como, por exemplo, a evaporação. Variações diurnas e sazonais na incidência de radiação solar fazem com que condições de temperatura do solo uniforme nunca sejam alcançadas.

Uma fração da energia incidente é absorvida pela superfície do solo ocasionando conseqüentemente a sua elevação de temperatura (aquecimento). Este aumento da temperatura dá origem a um gradiente térmico no interior do solo, proveniente do fato da temperatura na superfície ser mais elevada que a de regiões adjacentes, dando origem a um fluxo de calor através do perfil vertical do solo (sentido descendente durante o período diurno). Esta transferência de energia é realizada pelo processo físico denominado de condutividade térmica, cujos detalhes podem ser encontrados em qualquer livro destinado ao estudo dos fenômenos termodinâmicos.

Quando uma mesma quantidade de energia está disponível para solos distintos o processo de aquecimento e resfriamento pode ser bastante variável devido ao fato de cada solo possuir propriedades térmicas específicas, dentre as quais, pode-se destacar a difusividade térmica [10]. Mesmo sabendo de sua importância, até então poucos estudos dessa natureza foram realizados pela comunidade científica para os solos do Brasil

A difusividade térmica do solo indica a capacidade desse meio em transportar calor através de seu perfil vertical, ou seja, reflete a facilidade com que é modificada a temperatura no solo. Portanto, esta fornece uma idéia da velocidade de avanço da onda de calor no solo. Dentre outros fatores a difusividade térmica é função da constituição, granulometria, densidade e estrutura do solo [14].

A fim de contribuir para o desenvolvimento dessa área científica o presente trabalho tem como objetivo o estudo do comportamento e das propriedades térmicas do solo (particularmente a difusividade térmica), a partir de dados de temperatura obtidos na cidade de Campina Grande-PB.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados dados obtidos através de uma estação meteorológica automática em funcionamento no Instituto Nacional do Semiárido – INSA, localizado na cidade paraibana de Campina Grande (7,22°S; 35,88°O). Os dados empregados são provenientes dos meses de julho a dezembro do ano de 2012. A amostra de dados pode ser considerada pequena mais é conseqüência do pouco tempo de instalação dos equipamentos na área de estudo, porém, é de fundamental importância este trabalho visto que pouco se sabe a respeito do comportamento térmico do solo dessa localidade.

Para o monitoramento térmico do solo foram utilizados sensores de temperatura que operam durante 24 horas por dia, instalados em três profundidades distintas do solo dessa região. Os sensores estão instalados nas profundidades de 10, 20 e 50 centímetros.

A fim de estimar a difusividade térmica considerou-se o solo um meio homogêneo, isotrópico, sem fontes ou sumidouros de calor, restringindo-se a análise apenas aos processos que ocorrem na direção vertical. A partir dessas considerações irá ser aplicado o tratamento clássico de condução de calor a um meio homogêneo proposto por Fourier, que permite conhecer as amplitudes e fases da onda de calor [4].

Uma vez que a difusividade térmica do solo é calculada para certas camadas específicas do solo é necessário que sejam destacados os critérios adotados nesse estudo. Devido à disponibilidade de dados as estimativas foram realizadas para as porções do solo denominadas de camada 1 (estende-se desde 0,1 até 0,2 metros de profundidade), camada 2 (estende-se desde 0,2 até 0,5 metros de profundidade) e camada 3 (estende-se desde 0,1 até 0,5 metros de profundidade).

Mediante as informações e considerações anteriores empregam-se determinados métodos a fim de se estimar a difusividade térmica diária do solo, cujos detalhes podem ser encontrados

em Gao *et al.* [6]. Os métodos utilizados recebem a nomenclatura de método da amplitude, arco tangente e logarítmico.

Para se estimar a difusividade térmica do solo através do método da amplitude, utiliza-se a seguinte equação:

$$K = \frac{\omega(Z_2 - Z_1)^2}{2 \ln(A_1/A_2)^2} \quad (1)$$

Na equação acima,  $\omega$  é a frequência angular,  $A_1$  e  $A_2$  são as amplitudes da onda de temperatura nas profundidades  $Z_1$  e  $Z_2$ , obtidas através das temperaturas observadas em cada profundidade.

Fazendo uso do método do arco tangente para o cálculo da difusividade térmica utiliza-se a expressão abaixo:

$$K = \frac{\omega(Z_2 - Z_1)^2}{2 \left\{ \arctan \left[ \frac{(T_1 - T_3)(T_2' - T_4') - (T_2 - T_4)(T_1' - T_3')}{(T_1 - T_3)(T_1' - T_3') + (T_2 - T_4)(T_2' - T_4')} \right] \right\}^2} \quad (2)$$

Em que  $T_1, T_2, T_3$  e  $T_4$  são as temperaturas obtidas na profundidade  $Z_1$  e  $T_1', T_2', T_3'$  e  $T_4'$  são as temperaturas oriundas de  $Z_2$ . Em ambas as profundidade, deve-se utilizar as temperaturas observadas em intervalos de 6 em 6 horas.

A metodologia do método do logarítmico é análoga a do arco tangente, principalmente no que diz respeito ao espaçamento de 6 horas entre as temperaturas utilizadas para se estimar a difusividade térmica. Nesse método, o cálculo é realizado através da relação:

$$K = \left\{ \frac{0,0121[Z_2 - Z_1]}{\ln \left\{ \frac{[(T_1 - T_3)^2 + (T_2 - T_4)^2]}{[(T_1' - T_3')^2 + (T_2' - T_4')^2]} \right\}} \right\}^2 \quad (3)$$

Similarmente ao método anterior,  $T_1, T_2, T_3$  e  $T_4$  são as temperaturas obtidas na profundidade  $Z_1$  e  $T_1', T_2', T_3'$  e  $T_4'$  são as temperaturas oriundas de  $Z_2$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de facilitar a exposição dos resultados em virtude do grande número de informações, foram estimadas médias mensais de temperatura do solo referentes a cada hora do dia e para três diferentes profundidades, a partir de dados coletados ao longo dos meses de julho a dezembro do ano de 2012. Os valores expostos graficamente representam conseqüentemente o ciclo térmico diário médio dos respectivos meses. A Figura-1 apresenta separadamente as magnitudes das temperaturas para porções distintas do solo, mais especificamente para as profundidades de 10 (A), 20 (B) e 50 cm (C).

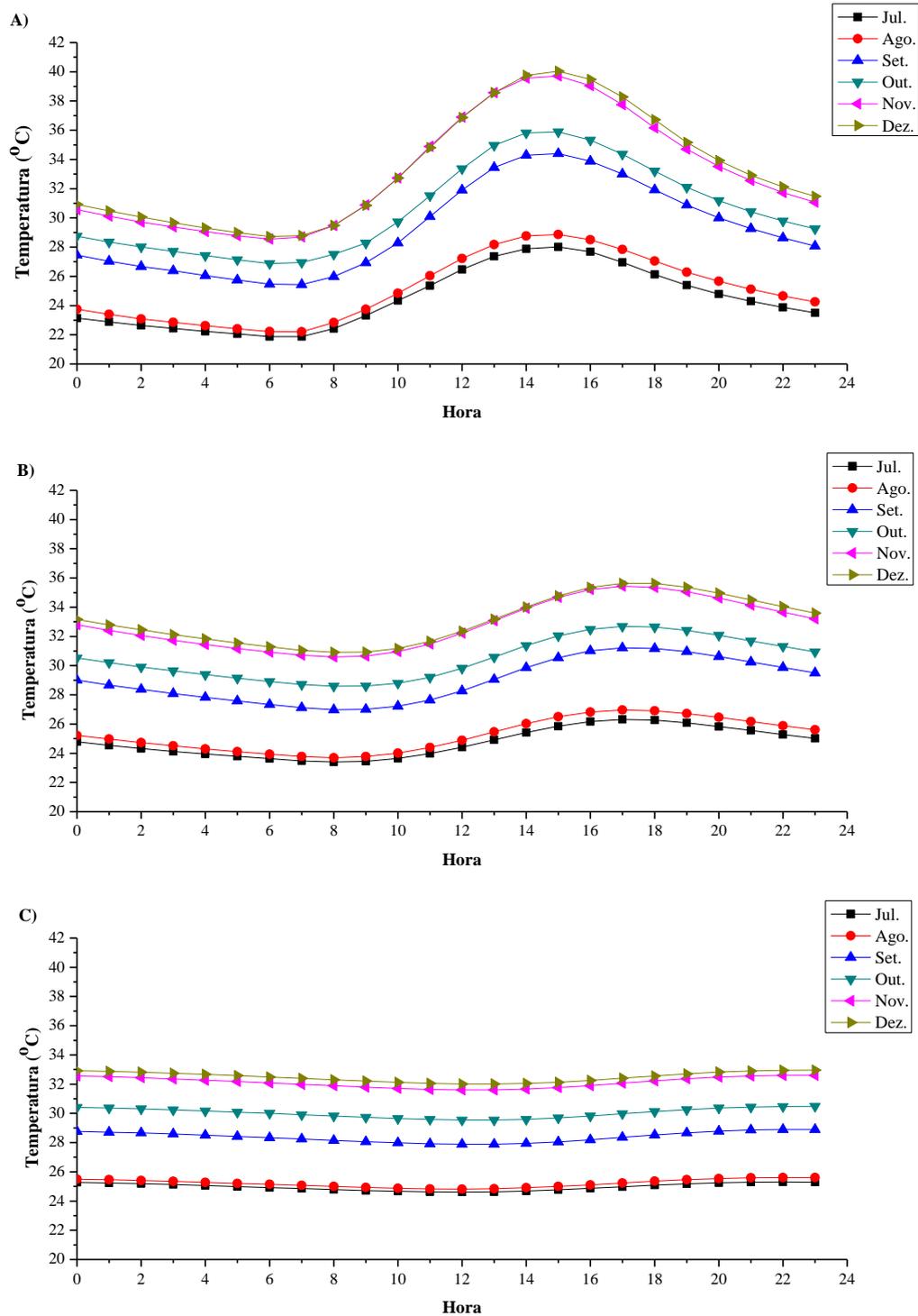


Figura 1: Temperaturas horárias médias mensais obtidas a partir de equipamentos alojados no solo nas profundidades de 10 (A), 20 (B) e 50 cm (C).

Verifica-se na figura acima que tanto as maiores quanto as menos temperaturas do solo são oriundas da profundidade mais próxima a superfície (10 cm). Ao comparar com as demais a superfície e regiões adjacentes possuem maior facilidade em ganhar e perder calor durante o ciclo diário, justificando o comportamento visto anteriormente [12]. As temperaturas de maior magnitude são observadas em torno das 15 horas e alcançam no mês de dezembro valores da ordem de 40°C. Em contrapartida, durante o mês de julho foram observadas nas primeiras horas da manhã temperaturas por volta dos 22°C.

À medida que se avança em profundidade observa-se que as temperaturas do solo tendem a diminuir a amplitude térmica diária (variações bastante sutis), assumindo valores quase que constantes em 50 cm. Diniz *et al.* [3], fazendo uso de dados coletados em duas regiões relativamente próximas, observaram comportamento semelhante a este.

As temperaturas apresentam um progressivo aumento de suas magnitudes alcançando valores máximos nas três profundidades durante o mês de dezembro. Este resultado já era esperado em virtude do começo das observações ocorrerem no inverno e terminar no mês em que se inicia o verão. Como Campina Grande localiza-se próximo ao equador as variações anuais da temperatura do solo não são acentuadas como as de regiões de médias e altas latitudes, porém, por mais sutis que sejam podem afetar significativamente no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Outro aspecto que merece destaque é o fato dos máximos de temperaturas não ocorrerem simultaneamente nas profundidades de 10 e 20 centímetros. Esse atraso indica que a onda de calor leva certo tempo para se propagar no solo em função de sua capacidade de conduzir calor através de seu perfil vertical. Portanto, o intervalo de ocorrência dos máximos de temperatura está diretamente relacionado às propriedades térmicas do solo em estudo. De acordo com Geiger [7], esta mudança em comparação a região mais superficial é consequência do fluxo de calor no interior do solo ocorrer de maneira relativamente lenta. Em particular a difusividade térmica fornece uma idéia da velocidade de avanço da onda de calor no solo.

Os dados de temperatura expostos na Figura-1 foram utilizados para a estimativa da difusividade térmica média do solo para os meses de análise. Na Tabela-1 são apresentados esses valores calculados para três camadas distintas do solo mediante o uso dos métodos da amplitude, arco tangente e logarítmico.

Tabela 1: Difusividade térmica média do solo para os meses de julho a dezembro do ano de 2012.

| Data     | Método        | Camada 1 | Camada 2 | Camada 3 |
|----------|---------------|----------|----------|----------|
| Julho    | Amplitude     | 0,70E-06 | 1,71E-06 | 1,31E-06 |
|          | Arco tangente | 0,69E-06 | 2,10E-06 | 4,27E-06 |
|          | Logarítmico   | 0,62E-06 | 1,76E-06 | 1,28E-06 |
| Agosto   | Amplitude     | 0,78E-06 | 1,63E-06 | 1,32E-06 |
|          | Arco tangente | 0,80E-06 | 2,32E-06 | 3,55E-06 |
|          | Logarítmico   | 0,68E-06 | 1,63E-06 | 1,26E-06 |
| Setembro | Amplitude     | 0,73E-06 | 1,58E-06 | 1,27E-06 |
|          | Arco tangente | 0,75E-06 | 2,15E-06 | 3,97E-06 |
|          | Logarítmico   | 0,60E-06 | 1,63E-06 | 1,21E-06 |
| Outubro  | Amplitude     | 0,66E-06 | 1,52E-06 | 1,19E-06 |
|          | Arco tangente | 0,67E-06 | 1,88E-06 | 4,91E-06 |
|          | Logarítmico   | 0,54E-06 | 1,60E-06 | 1,15E-06 |
| Novembro | Amplitude     | 0,55E-06 | 1,39E-06 | 1,06E-06 |
|          | Arco tangente | 0,66E-06 | 1,79E-06 | 5,33E-06 |
|          | Logarítmico   | 0,48E-06 | 1,45E-06 | 1,03E-06 |
| Dezembro | Amplitude     | 0,52E-06 | 1,33E-06 | 1,01E-06 |
|          | Arco tangente | 0,61E-06 | 1,82E-06 | 5,53E-06 |
|          | Logarítmico   | 0,46E-06 | 1,38E-06 | 0,99E-06 |

Na Tabela-1 observa-se que aparentemente os métodos se adéquam a estimativa dessa variável visto que os valores concordam significativamente entre si. Algumas discrepâncias

surtem na camada três ao comparar os valores oriundos do método do arco tangente com os demais. Rao *et al.* [13], verificaram comportamento semelhante ao estudar o comportamento térmico do solo de Salvador-BA. Essas divergências não comprometem o método, sugere apenas que este seja aplicado em outras situações a fim de verificar a sua confiabilidade.

Em geral, ao contrário do que ocorre com as temperaturas, a difusividade térmica decai progressivamente com os valores mínimos sendo observados em cada camada no mês de dezembro. Novos estudos devem ser conduzidos utilizando uma maior amostra de dados a fim de verificar e justificar as causas desse fenômeno.

Constata-se também na tabela anterior que os maiores valores da difusividade térmica do solo estão associadas à camada 2 (0,2 – 0,5 m de profundidade). Logo, conclui-se que essa região do solo possui maior capacidade de transferir calor através de seu perfil vertical. Essa característica pode ser associada ao maior teor de água nessa região particular do solo, entretanto esta afirmativa não pode ser tomada como correta devido à falta de sensores que se destinam a aferir a umidade do solo.

#### 4. CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados verificou-se que à medida que se avança em profundidade as variações diárias da temperatura do solo tendem a se tornar cada vez mais discretas. Portanto, conclui-se que em solos profundidade e amplitude térmica diária são grandezas inversamente proporcionais.

Além disso, observou-se que os diferentes métodos utilizados para a estimativa da difusividade térmica diária do solo forneceram em geral valores bastante semelhantes indicando a consistência das metodologias. Estudos semelhantes a este é de fundamental importância ser realizado em localidades que não se tenha nenhum conhecimento acerca das características térmicas do solo da região.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) pelo fornecimento dos dados utilizados nesse estudo, bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de estudo.

- 
1. Brady, N. C. *Natureza e propriedades do solo*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.
  2. Castro, O. M. *Preparo do solo para a cultura do milho*. Campinas: Fundação Cargill, 1989.
  3. Diniz, J. M. T.; Rafael, R. A.; Fideles Filho, J.; Sousa Júnior, J. R.; Fernandes, A. A. Características térmicas do solo observadas em cidades distintas do estado da Paraíba. *Revista Ver de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 8:117-126, 2013.
  4. Fideles Filho, J. *Estrutura térmica de solos do Nordeste do Brasil*. 1988. 85 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Campina Grande. 1988.
  5. Furlani, C. E. A.; Gamero, C. A.; Levien, R.; Silva, R. P.; Cortez, J. W. Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:375-380, 2008.
  6. Gao, Z.; Wang, L.; Horton, R. Comparison of six algorithms to determine the soil thermal diffusivity at a site in the Loess Plateau of China. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6:2247-2274, 2009.
  7. Geiger, R. *Manual de Micrometeorologia*. Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.
  8. Hillel, D. *Introduction to environmental soil physics*. Massachusetts: Elsevier Science, 2004.
  9. Johnson, M. D.; Lowery, B. Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. *Soil Science Society of America Journal*, 49:1547-1552, 1985.
  10. Mota, F. S. *Meteorologia agrícola*. São Paulo: Nobel S/A, 1983.

11. Oliveira, M. L.; Ruiz, H. A.; Costa, L. M.; Schaefer, C. E. G. R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9:535-539, 2005.
12. Oliveira, S. S.; Fideles Filho, J.; Oliveira, S. V.; Araújo, T. S. Difusividade térmica do solo de Campina Grande para dois períodos do ano. *Revista de Geografia*, 27:179-189, 2010.
13. Rao, T. V. R.; Silva, B. B.; Moreira, A. A. Características térmicas do solo em Salvador, BA. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9:554-559, 2005.
14. Silans, A. P.; Silva, F. M.; Barbosa, F. A. R. Determinação in loco da difusividade térmica num solo da região de caatinga (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:41-48, 2006.
15. Warrick, A.W. *Soil physics companion*. Florida: CRC Press, 2001.