

*Autor para correspondência

Recebido em 12 01 2013-06-24 Aceito em 03 05 2013

1 Mestrando em Meteorologia, DCA/UFCG, Campina Grande-PB. E-mail: julio_mannuel@hotmail.com

2 Graduada em Tecnologia em Geoprocessamento (IFPB)

3Doutorando em Meteorologia, DCA/UFCG, Campina Grande-PB.

4 Doutorando em Engenharia Agrícola, CTRN/UFCG, Campina Grande-PB

5 Graduando em Engenharia Ambiental, CCTA/UFCG, Pombal-PB

6 Professor Doutor, CCTA/UFCG, Pombal-PB

Avaliação da difusividade térmica do solo de Campina Grande-PB - Brasil

RESUMO

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 nesse ambiente. Por conseguinte, os objetivos desse trabalho concentram-se em determinar a difusividade térmica do solo e verificar sua correlação com as temperaturas desse meio. Foram utilizados dados de temperatura do solo coletados no Instituto Nacional do Semiárido (INSA), durante os meses de julho a dezembro do ano de 2012. A partir da análise dos resultados verificou-se que as estimativas dessa grandeza física, realizadas utilizando métodos distintos, forneceram valores bastante semelhantes. Além disso, ambas se mostraram fortemente correlacionadas.

Palavras-chave: INSA, temperaturas do solo, propriedades térmicas, difusividade térmica

Evaluation of soil thermal diffusivity from Campina Grande – PB - Brazil

ABSTRACT

The knowledge of temperatures and soil thermal properties of a given region is of fundamental importance for the understanding of the various physical processes that occurs in this environment. Therefore, the objectives of this work concentrates in determine the soil thermal diffusivity and check its correlation with the temperatures of this medium. Were used data collected in National Institute of Semi-arid (INSA), during the months from July to December of 2012. From the analysis of using different methods, provided values quite similar. Furthermore, both showed highly correlated.

Keywords: INSA, soil temperature, thermal properties, thermal diffusivity.

INTRODUÇÃO

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. (BRADY, 1989). Segundo Mota (1983), a temperatura do solo possui maior importância ecológica para a vida vegetal do que a própria temperatura do ar.

O aquecimento demasiado do solo na fase inicial de estabelecimento das culturas compromete a absorção de nutrientes pelas plantas (CASTRO, 1989). As altas temperaturas também ocasionam efeitos nocivos sobre as raízes e a atividade microbiana (FURLANI et al., 2008). Johnson & Lowery (1985), 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.

Medições de temperatura em diferentes profundidades do solo são frequentemente realizadas em estações meteorológicas, no entanto, pouco se utiliza de tal acervo de dados uma vez que grande parte dos estudos não considera o fator térmico como limitante para a produção agrícola (atribuem maior ênfase ao fator hídrico). Informações acerca das temperaturas do solo, sua magnitude e forma de variação no tempo e espaço, são elementos de importância primordial para a determinação da taxa e direção dos processos físicos existentes no solo (HILLEL, 2004).

Quando uma mesma quantidade de energia está disponível para solos distintos o processo de aquecimento e resfriamento pode ser bastante variável em virtude de suas propriedades térmicas específicas. Basicamente, as propriedades térmicas dos solos que intervêm diretamente em seu regime de temperatura são denominadas de calor específico, condutividade térmica e difusividade térmica. Entre outros fatores, suas magnitudes dependem principalmente da composição do solo.

Em particular, a difusividade térmica do solo está diretamente relacionada à capacidade desse meio em conduzir calor através de seu perfil vertical, ou seja, é um indicativo da rapidez com que o calor difunde-se no solo. Como se verifica em Gao et al. (2009), diferentes métodos vêm sendo propostos na busca de estimar a magnitude dessa propriedade. A difusividade térmica é função da constituição, granulometria, densidade e estrutura do solo (SILANS et al. 2006).

Sabendo-se da sua importância e uma vez que cada tipo de solo possui características específicas, faz-se necessário que sejam identificadas para cada situação particular as suas propriedades térmicas. Até então, poucos estudos dessa natureza foram realizados pela comunidade científica para os solos do Brasil. Com o

intuito de contribuir para o desenvolvimento dessa área científica, a presente pesquisa tem como objetivo estimar a magnitude da difusividade térmica do solo de determinados ciclos mensais e verificar sua correlação com as temperaturas desse meio.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração da presente pesquisa foram utilizadas informações obtidas 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.

Com o objetivo de monitorar as condições térmicas do solo, foram empregados sensores de temperatura que operam durante 24 horas por dia e encontram-se instalados em três profundidades distintas. Esses equipamentos estão alojados mais especificamente nas profundidades de 10, 20 e 50 centímetros.

A fim de estimar a difusividade térmica dos respectivos ciclos mensais considerou-se o solo um meio homogêneo, isotrópico, sem fontes ou sumidouros de calor, restringindo 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 (FIDELES FILHO, 1988).

Uma vez que a difusividade térmica do solo é calculada para certas camadas específicas do solo, faz-se 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 há 0,2 metros de profundidade), camada 2 (estende-se desde 0,2 há 0,5 metros de profundidade) e camada 3 (estende-se desde 0,1 há 0,5 metros de profundidade).

Mediante as informações e considerações anteriores empregam-se determinadas metodologias com o intuito de se estimar a magnitude dessa grandeza física, cujos detalhes podem ser encontrados em Gao et al. (2009). As metodologias utilizadas recebem a nomenclatura de método da amplitude e método do logarítmico.

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

$$K = \frac{\omega(Z_2 - Z_1)^2}{2 \ln \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2}$$

Na equação acima, ω é a frequência angular ($7,27 \times 10^{-5}$ rad/s), A_1 e A_2 são as amplitudes da onda de temperatura

nas profundidades Z_1 e Z_2 (diferença entre a temperatura máxima do dia e a média diária), respectivamente. Fazendo uso do método do logarítmico, emprega-se a expressão abaixo:

$$K = \left\{ \frac{0,0121[Z_2 - Z_1]}{\ln \left\{ \frac{[(T_1 - T_3)^2 + (T_2 - T_4)^2]}{[(T'_1 - T'_3)^2 + (T'_2 - T'_4)^2]} \right\}} \right\}^2$$

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.

Segundo Kokoska (2012), o grau e o tipo de relação existente entre duas variáveis quaisquer podem ser quantificados através do chamado coeficiente de correlação (r). Um dos objetivos desta pesquisa concentra-se em verificar a correlação que há entre a temperatura de camadas específicas do solo e sua respectiva difusividade térmica. Logo, além da difusividade térmica dos referentes ciclos mensais, foram também estimadas as temperaturas médias mensais para as três camadas distintas do solo mencionadas anteriormente. Para o cálculo do coeficiente de correlação fez-se uso da seguinte expressão (LARSON & FARBER, 2004):

$$r = \frac{N \sum XY - [(\sum X)(\sum Y)]}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

De tal modo que X e Y são os valores assumidos pelas variáveis de estudo e N é o número de pares de dados.

Uma vez realizado o procedimento anterior, a próxima etapa consiste em determinar a equação da reta que melhor se ajusta aos dados. Denomina-se essa reta de regressão e sua equação pode ser usada para prever o valor de uma das variáveis no desconhecimento da outra (THURMAN, 2012). A equação de uma reta de regressão para uma variável independente x e uma variável dependente y é expressa da seguinte maneira:

$$y = mx + b$$

Na qual y é o valor previsto para a variável dependente a partir de determinado valor assumido por x . Neste estudo, considerou-se que as difusividades térmicas do solo são funções das temperaturas das respectivas camadas. De acordo com Spiegel (1993), a inclinação da reta (m) e o valor da constante (b) são determinados da seguinte maneira:

$$m = \frac{N \sum XY - [(\sum X)(\sum Y)]}{N \sum X^2 - [(\sum X)^2]}$$

$$b = \frac{\sum Y}{N} - m \frac{\sum X}{N}$$

Nas equações acima, as incógnitas N, X e Y representam novamente o número de pares de dados e os valores assumidos pelas variáveis de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados de temperatura do solo coletados em três profundidades distintas durante os meses de julho a dezembro do ano de 2012, fazendo uso das metodologias descritas anteriormente, foram calculadas às difusividades térmicas do solo para os referentes ciclos mensais. Na Tabela-1 são apresentados esses valores estimados para três camadas distintas do solo mediante o emprego do método da amplitude e método do logarítmico. Verifica-se na Tabela-1 que os métodos aplicados a fim de estimar as difusividades térmicas do solo forneceram valores bastante semelhantes para os casos de análise, indicando consistência das metodologias. Rao et al. (2005), observaram comportamento análogo ao realizar estudo acerca das propriedades térmicas do solo de Salvador-BA.

Devido à ordem de grandeza dos valores as “pequenas” divergências não comprometem as metodologias, contudo, se faz necessário que os estudos a respeito dessa temática continuem sendo realizados na busca de desenvolver novas metodologias e aprimorar as já existentes. De acordo com Silans et al. (1999), o método Harmônico proporciona bons resultados quando a condição de estabilidade da periodicidade é satisfeita, no entanto, durante dias com condições climáticas muito variáveis o mesmo deve ser substituído pelo método da Transformada de Laplace corrigida.

Tabela 1. Difusividade térmica 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
	Logarítmico	0,62E-06	1,76E-06	1,28E-06
Agosto	Amplitude	0,78E-06	1,63E-06	1,32E-06
	Logarítmico	0,68E-06	1,63E-06	1,26E-06
Setembro	Amplitude	0,73E-06	1,58E-06	1,27E-06
	Logarítmico	0,60E-06	1,63E-06	1,21E-06
Outubro	Amplitude	0,66E-06	1,52E-06	1,19E-06
	Logarítmico	0,54E-06	1,60E-06	1,15E-06
Novembro	Amplitude	0,55E-06	1,39E-06	1,06E-06
	Logarítmico	0,48E-06	1,45E-06	1,03E-06
Dezembro	Amplitude	0,52E-06	1,33E-06	1,01E-06
	Logarítmico	0,46E-06	1,38E-06	0,99E-06

Em geral, ao contrário do que ocorre com as temperaturas, as magnitudes da difusividade térmica dos referentes ciclos mensais decaem progressivamente com o decorrer do tempo, de modo que em cada camada os valores mínimos são observados no mês de dezembro. Fazendo uso de uma maior amostra de dados, estudos devem ser conduzidos na busca de verificar a existência e causas desse fenômeno em situações similares.

Observa-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.

Mediante o conhecimento das magnitudes da difusividade térmica do solo e também das temperaturas médias mensais de porções particulares desse meio, tornou-se possível examinar com exatidão a relação existente entre ambas em cada camada de estudo. Os mapas de dispersão apresentados na Figura-1 foram construídos fazendo uso dos valores obtidos a partir do método da amplitude.

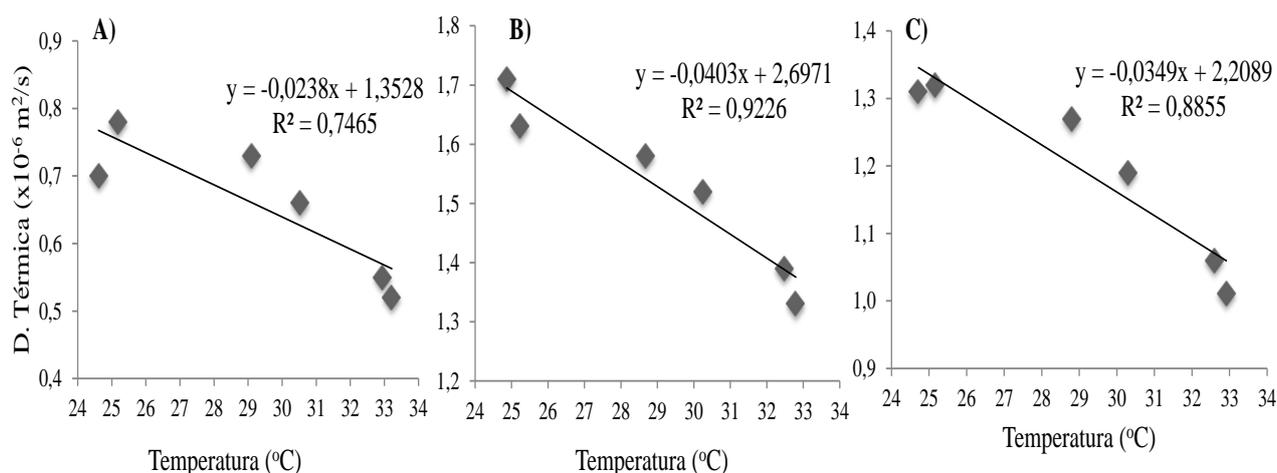


Figura 1. Correlação entre temperatura e difusividade térmica do solo, obtidas pelo método da amplitude, para a camada 1 (A), 2 (B) e 3 (C).

A partir da Figura-1 observa-se em primeira análise que há uma correlação linear negativa entre as variáveis de estudo, ou seja, à medida que se aumenta a temperatura do solo constata-se a tendência deste em diminuir sua capacidade de conduzir calor através do perfil vertical (propriedade diretamente relacionada à difusividade térmica). Os valores do coeficiente de correlação (r) encontram-se entre 86,4% (camada 1) e 96,1% (camada 2), indicando que ambas estão fortemente correlacionadas.

As consideráveis magnitudes do coeficiente de determinação (r^2), parâmetro utilizado para saber o grau de ajustamento do modelo estatístico aos dados coletados, revela que a equação da reta de regressão representa significativamente a relação existente entre as variáveis de

estudo. Portanto, esta equação pode ser utilizada com boa aproximação para a obtenção do valor de uma das variáveis no desconhecimento da outra. A fim de conseguir um melhor ajuste deve-se utilizar uma maior amostra de dados, com o intuito de verificar se ambas estão realmente negativamente correlacionadas, além de serem aplicados critérios mais minuciosos para a coleta e tratamento das informações na busca de minimizar os erros amostrais.

A Figura-2, por sua vez, apresenta os mapas de dispersão estabelecidos a partir do emprego dos dados de temperatura do solo e das respectivas difusividades térmicas obtidas pelo método do logaritmo.

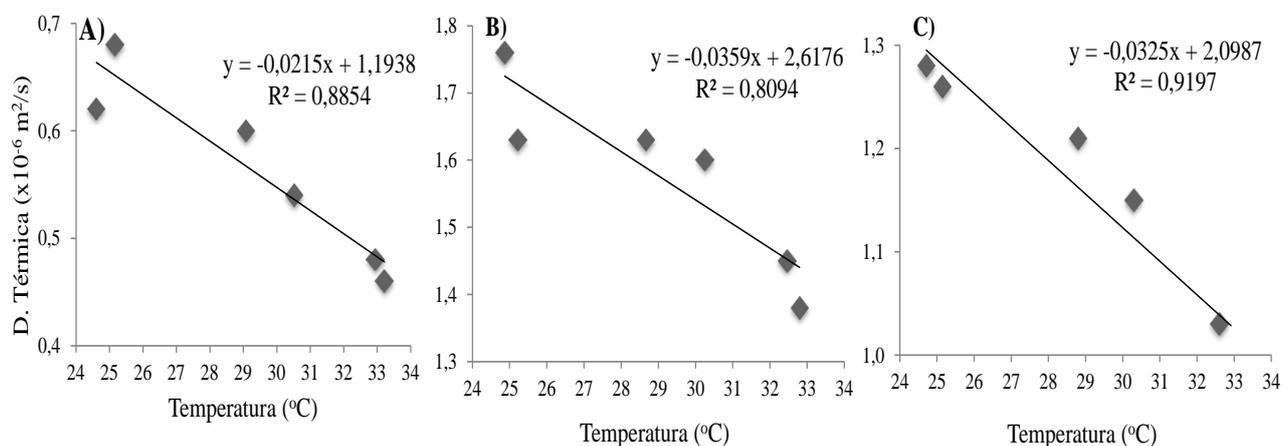


Figura 2. Correlação entre temperatura e difusividade térmica do solo, obtidas pelo método do logaritmo, para a camada 1 (A), 2 (B) e 3 (C).

Com base na análise da figura acima se verifica que, similarmente aos casos vistos anteriormente, as variáveis de estudo apresentam-se negativamente correlacionadas. Essas se mostram novamente fortemente correlacionadas, de modo que o valor do coeficiente de correlação encontra-se variando entre 89,96% (camada 2) e 95,9% (camada 3). O modelo estatístico utilizado consegue mais uma vez descrever com eficácia a relação existente entre ambas, reflexo das elevadas magnitudes do coeficiente de determinação, desta forma as equações das retas de regressão podem ser amplamente empregadas. De maneira sucinta, sendo assim bastante úteis, essas equações fornecem estimativas próximas daquelas que seriam obtidas mediante o uso do método do logaritmo.

CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados verificou-se a consistência das metodologias destinadas à estimativa da difusividade térmica do solo, uma vez que forneceram valores bastante próximos e até mesmo iguais. Ao correlacionar as variáveis, temperatura e difusividade térmica do solo, constata-se forte correlação linear negativa entre ambas. Com base nas informações e estudos realizados, não se pode determinar com exatidão as causas desse comportamento. Logo, pesquisas devem ser conduzidas na busca de verificar se fenômeno semelhante a este é observado em demais situações.

AGRADECIMENTOS

Os autores 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) e a Coordenação de Apoio ao Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS

- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.
- CASTRO, O. M. **Preparo do solo para a cultura do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1989.
- FIDELES FILHO, J. **Estrutura térmica de solos do Nordeste do Brasil**. 1988. 85 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1988.
- 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**, v. 32, p. 375-380, 2008.
- 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**, v. 6, p. 2247-2274, 2009.
- HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**. Massachusetts: Elsevier Science, 2004.
- JOHNSON, M. D.; LOWERY, B. Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 1547-1552, 1985.
- KOKOSKA, S. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 744 p.
- LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. 2ª Ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004. 476 p.
- MOTA, F. S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel S/A, 1983.
- RAO, T. V. R.; SILVA, B. B.; MOREIRA, A. A. Características térmicas do solo em Salvador, BA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 554-559, 2005.
- SILANS, A. M. B. P.; MONTENY, B. A.; LHOMME, J. P. Apparent soil thermal diffusivity, a case study: HAPEX – Sahel experiment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.81, p.201-216, 1999.
- 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**, v. 30, p. 41-48, 2006.
- SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 3ª Ed. São Paulo: Makron Books, 1993. 643 p.
- THURMAN, P. W. **Estatística**. São Paulo: Saraiva, 2012. 232 p.