

DIFUSIVIDADE TÉRMICA DO SOLO NA REGIÃO AMAZÔNICA

Regina C. dos Santos e Y. Viswanadham
 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE
 Secretaria Especial de Ciência e Tecnologia
 12201 - São José dos Campos, São Paulo, Brasil

Francisca M. A. Pinheiro
 Departamento de Meteorologia - Universidade Federal do Pará
 66050 - Belém, Pará, Brasil

Ivan R. Wright
 Institute of Hidrology - Crowmarsh Gifford
 Wallingford - Oxfordshire OX10 8BB, United Kingdom

Abstract

The soil thermal diffusivity (K) is an important heat transport parameter because it affects soil temperature distribution and soil heat flux density. The parameter K for a cleared forest area at the Fazenda Dimona (2°18'S; 60°05'W), 80 km further north from Manaus was calculated using the soil temperatures at depths of 0,5, 05, 10, 20, and 40 cm for different days in September and October, 1990. The average values of K were obtained by the range and lag methods, in accordance with the simple theory of periodic heat flow. The results show that the parameter K depends on the particular method employed, and reveal that soil moisture content has a conspicuous effect on the temperature profile, thermal properties and consequently on the relevant agrometeorological phenomena.

1. Introdução

A difusividade térmica do solo é um importante parâmetro de transporte de calor que afeta a distribuição da temperatura do solo (frequentemente exigida em muitos tipos de aplicações agrícolas e ecológicas pois influencia a germinação das sementes e o desenvolvimento dos vegetais) e a densidade do fluxo de calor no solo (componente relevante na caracterização do microclima).

Há alguns métodos para a estimativa da difusividade térmica (K) do solo. Um modelo teórico que depende das frações volumétricas dos constituintes do solo e de suas formas foi proposto por DeVries (1963). Devido às dificuldades na estimativa dos fatores de forma, este método aplica-se melhor aos solos com uma estrutura simples. Outros métodos que dependem de soluções analíticas da equação de escoamento de calor no solo uniforme foram desenvolvidos por van Wijk (1963) e Singh e Sinha (1977). Horton et al. (1983) fizeram uma ampla avaliação e comparação de alguns destes métodos. Estes aplicam-

se somente quando o solo é uniforme nas suas propriedades.

Alguns dos métodos mais importantes para a estimativa de K em solo não uniforme baseiam-se na teoria de transferência de calor no solo (Lettau, 1971). Estes métodos descrevem K como uma função da profundidade, ou seja, utilizam-se as variações com a profundidade dos parâmetros de temperatura (amplitude e fase da onda de temperatura) e a fase do fluxo de calor. Polinômios de Taylor (MacLaurin) ou "splines" cúbicos polinomiais são alguns dos métodos de interpolação (Nassar e Horton, 1989) utilizados para a estimativa da variação dos parâmetros de temperatura com a profundidade.

Mais recentemente, Nassar e Horton (1990) apresentaram um método para a determinação de K que combina os resultados obtidos a partir dos harmônicos individuais em um único valor. Este método é simples e aplica-se em solo uniforme e não uniforme.

Considerando a condução como o mecanismo primário responsável pela transferência de calor no solo, conclui-se que o estudo do parâmetro K pode ser feito com base nesta característica. Assim sendo, K pode ser estimado através das observações das temperaturas máximas e mínimas diárias de duas profundidades no perfil do solo, sobre um determinado período de tempo. Portanto o parâmetro K para uma área devastada na Fazenda Dimona (2°18'S; 60°05'W e distante 80 km a norte de Manaus), foi determinado utilizando-se as temperaturas do solo às profundidades de 0,5, 05, 10, 20, e 40 cm em diferentes dias de setembro e outubro de 1990.

2. Metodologia

Os valores do fluxo de calor (G) na superfície do solo são estimados a partir da distribuição da temperatura na coluna do solo de acordo com a equação:

$$G = -K\rho s(\partial T/\partial z)_{z=0} \quad (1)$$

onde ρ é a densidade da camada do solo; s é o calor específico e $(\partial T/\partial z)$ é a variação da temperatura com a profundidade.

As constantes térmicas são muito importantes no processo de troca de calor nas camadas do solo. A determinação direta das constantes térmicas como a condutibilidade térmica (λ), a difusividade (K) e o calor específico (s) do solo é difícil (Santos, 1987).

A equação fundamental de condução de calor de Fourier em uma dimensão é dada pela relação:

$$\lambda(\partial^2 T/\partial z^2) = s(\partial T/\partial t) \text{ ou } \partial T/\partial t = K(\partial^2 T/\partial z^2) \quad (2)$$

supondo que T, z e t representam a temperatura, profundidade e tempo, respectivamente. Assumindo que K é constante, a Equação (2) pode ser solucionada para dadas condições inicial e limite. O procedimento mais simples consiste em aproximar a temperatura por uma função senoidal variando no tempo. Assim, uma medida da amplitude ou fase é suficiente para determinar K.

A equação para determinar K a partir da razão entre os "ranges" diários R_1 e R_2 em duas profundidades z_1 e z_2 é:

$$K = (\pi/P)((z_2 - z_1)^2 / (\ln R_1 / R_2)) \quad \text{cm}^2/\text{s} \quad (3)$$

Os valores de K calculados pela defasagem entre os tempos de ocorrência de temperatura máxima em segundos (L) às profundidades z_1 e z_2 são dados por:

$$K = (P/4\pi L^2) (z_2 - z_1) \quad \text{cm}^2/\text{s} \quad (4)$$

Obviamente, alguns desvios, a partir das condições assumidas afetarão os valores de K calculados pelos métodos acima.

3. Discussão dos Resultados e Conclusões

Os valores de K obtidos a partir de observações da temperatura considerando o solo coberto com grama podem ser vistos na Tabela 1 para alguns dias de setembro e outubro de 1990. Observa-se algumas discrepâncias entre os valores obtidos pelos dois métodos e uma melhor correlação dos valores na camada mais superficial (05-10 cm), com um valor médio de $2,056 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$. Há um aumento de K nas camadas mais profundas, indicando que deve haver um aumento da umidade nestas camadas e conseqüentemente nos valores de K.

Tabela 1 - Valores de K (cm^2/s) para o solo coberto com grama determinados pelos métodos do "range" e da defasagem para a Fazenda Dimona, Manaus, AM.

DATA	MÉTODO	05-10	05-20	05-40	CAMADAS (cm)			20-40
					10-20	10-40		
					K x 10-3	cm ² /s		
27/09/90	A	0,908	3,908	21,276	18,256	*	-	
	B	1,865	1,865	**	1,865	16,786	1,865	
	Média	1,387	2,886	21,276	10,060	16,786	1,865	
28/09/90	A	1,291	6,778	32,231	*	*	*	
	B	**	3,946	10,591	1,987	8,488	38,977	
	Média	1,291	5,326	21,411	1,987	8,488	38,977	
29/09/90	A	2,189	2,693	3,273	3,013	3,531	3,841	
	B	1,865	1,945	8,995	1,987	14,032	**	
	Média	2,027	2,319	6,134	2,500	8,782	3,841	
30/09/90	A	0,224	0,785	-	2,457	-	-	
	B	1,865	1,652	8,995	1,559	14,032	-	
	Média	1,044	1,218	8,995	2,008	14,042	-	
01/10/90	A	1,892	5,529	6,575	13,281	8,975	7,568	
	B	3,316	2,220	9,358	1,865	11,904	**	
	Média	2,604	3,874	7,966	7,573	10,440	7,568	
02/10/90	A	1,780	2,256	3,005	2,569	3,329	3,841	
	B	4,775	2,122	9,358	1,559	10,743	**	
	Média	3,278	2,189	6,182	2,064	7,036	3,841	
04/10/90	A	2,263	2,849	2,941	3,231	3,083	3,013	
	B	2,122	1,652	8,995	1,474	13,263	-	
	Média	2,192	2,250	5,968	2,352	8,173	3,013	
05/10/90	A	2,418	2,548	2,972	2,617	3,083	3,364	
	B	2,825	1,865	7,460	1,559	9,296	**	
	Média	2,622	2,206	5,216	2,088	6,190	3,364	

A, B = Métodos do "Range" e da Defasagem, respectiva/; *, ** = Valores do "range" e da defasagem não corretos, respectiva/; - ausência de dados.

A Tabela 2 apresenta alguns valores de K considerando o solo coberto com troncos de árvores derrubadas versus solo coberto por grama e em outra situação o caso do solo nu comparado com solo gramado. Verifica-se uma diminuição no valor de K quando há grama recobrindo o solo, ou seja esta cobertura impede que haja maior movimento de umidade no solo.

Tabela 2 - Valores de K (cm^2/s) para diferentes condições de solo determinados pelos métodos do "range" e da defasagem para a Fazenda Dimona, Manaus, Am.

DATA	MÉTODO	CAMADAS (cm)	
		0,5-10 K x 10^{-3} solo c/ troncos	10-20 cm^2/s grama
17/10/90	A	7,474	2,244
	B	6,733	1,559
	Média	7,104	1,902
18/10/90	A	7,468	2,192
	B	8,794	1,652
	Média	8,131	1,922
19/10/90	A	6,227	1,691
	B	17,236	1,033
	Média	11,732	1,362
20/10/90	A	8,030	1,717
	B	**	2,122
	Média	8,030	1,920
21/10/90	A	6,215	1,532
	B	**	1,136
	Média	6,215	1,334
		solo nu	grama
23/10/90	A	3,794	2,428
	B	7,661	0,247
	Média	5,728	1,338
24/10/90	A	4,463	1,478
	B	**	0,829
	Média	4,463	1,154
25/10/90	A	5,543	1,892
	B	**	1,256
	Média	5,543	1,574
26/10/90	A	6,642	1,892
	B	**	0,986
	Média	6,642	1,439
28/10/90	A	5,304	1,995
	B	11,970	1,083
	Média	8,637	1,539

A, B = Métodos do "Range" e da Defasagem, respectivamente; *, ** = Valores do "range" e da Defasagem não corretos, respectivamente.

Apesar de todas as possíveis incorreções incorporadas às

estimativas de K, principalmente quanto a cobertura de nuvens que afetam os valores da difusividade térmica, pode-se verificar que os resultados obtidos correspondem àqueles encontrados na literatura para regiões tropicais do Hemisfério Sul; outrossim, observa-se que os valores dependem do método de estimativa e finalmente vale ressaltar que o conteúdo de umidade no solo deve ser considerado pois este atua de forma singular nos perfis de temperatura e conseqüentemente nas propriedades térmicas.

Agradecimentos. Os autores expressam seus agradecimentos às autoridades do Projeto ABRACOS (Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observational Study) pela concessão dos dados e a Srta Ângela Y. Harada pela computação de dados e preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- De Vries, D. A. Thermal properties of soils. In: van Wijk, W. R., ed. Physics of plant environment. North Holland, Amsterdam, 1963. p. 210-235.
- Horton, R.; Wierenga, P. J.; Nielsen, D. R. Evaluation of methods for determining apparent thermal diffusivity of near the surface. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:25-32, 1983.
- Lettau, B. Determination of thermal diffusivity in the upper layers of a natural ground cover. Soil Sci., 112:173-177, 1971.
- Nassar, I. N.; Horton, R. Determination of the apparent thermal diffusivity of a nonuniform soil. Soil Sci., 147:238-244, 1989.
- Nassar, I. N.; Horton, R. Determination of soil apparent thermal diffusivity from multiharmonic temperature analysis for nonuniform soils. Soil Sci., 149:125-130, 1990.
- Santos, R. C. Propriedades térmicas do solo: um estudo de casos. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, set., 1987. 133 p. (INPE-4332-TDL/289).
- Singh, S. R.; Sinha, B. K. Soil thermal diffusivity determination for overspecification of boundary data. Soil Sci. Soc. Am. J., 41:831-834, 1977.
- Van Wijk, W. R. Physics of plant environment. North Holland, Amsterdam, 1963. p.102-142.