
Temperatura de Superfícies Naturais

Objetivos:

1. Justificar a importância da temperatura do solo às plantas;
2. Relacionar a temperatura do solo com o balanço de radiação na superfície;
3. Descrever o regime térmico do solo;
4. Conhecer as propriedades térmicas do solo;
5. Estimar o fluxo de calor no solo;
6. Distinguir os instrumentos para medição da temperatura do solo.

Desenvolvimento:

1. Generalidades
 2. Balanço de Radiação e Temperatura do Solo
 3. Transporte de Calor no Solo
 4. Propriedades Térmicas do Solo
 5. Estimativa do Fluxo de Calor no Solo
 6. Instrumentos e Medição da Temperatura do Solo
 7. Conclusões
 8. Exercícios Propostos
 9. Bibliografia Citada e Recomendada
-

I. Generalidades

- A temperatura da superfície afeta processos de natureza física, química e biológica, seja na água seja no solo. Exemplos:
 - a. atividade microbiana (fauna e flora);
 - b. atividade e metabolismo de pequenos animais que vivem no solo;
 - c. decomposição e mineralização da matéria orgânica;
 - d. biodegradação de pesticidas e compostos orgânicos;
 - e. germinação de sementes;
 - f. respiração, crescimento e desenvolvimento radicular;
 - g. absorção de água e nutrientes do solo pelas plantas;
 - h. movimentação de água e compostos diluídos no solo e do solo para as raízes;
 - i. efeito sobre a composição gasosa do solo; e
 - j. relação entre temperatura do solo e cobertura do solo.

2. Balanço de Radiação e Temperatura das Superfícies Naturais

- O balanço de radiação determina as características de intensidade e alcance do regime térmico do solo.
- Q_G é a energia disponível para aquecimento do solo.
- Regime térmico à superfície (Figura 1)

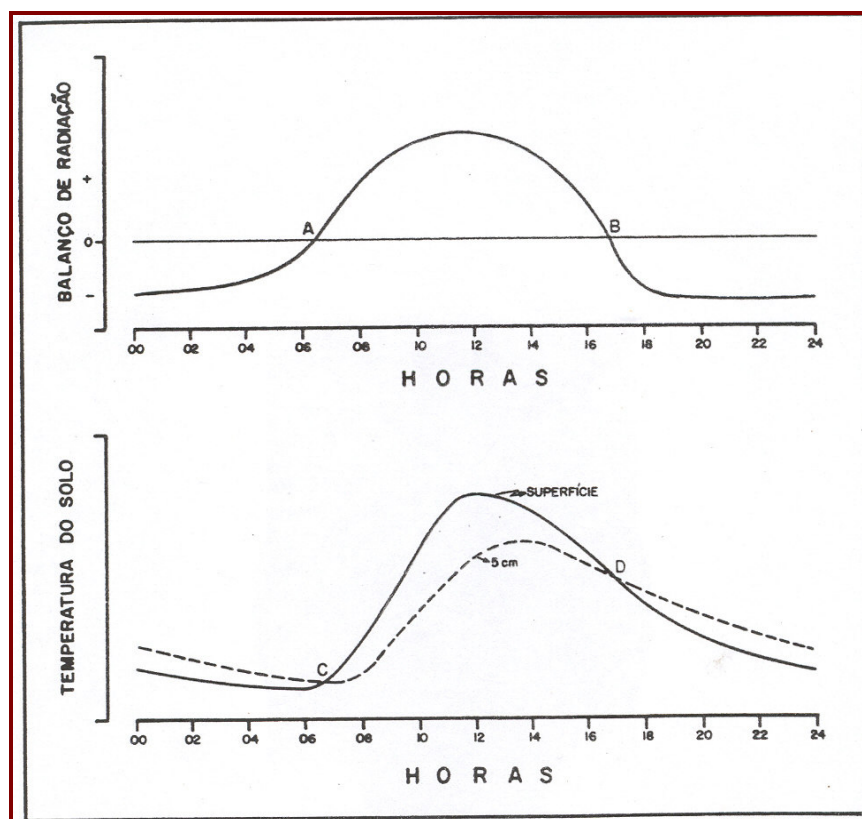


Figura 1 – Curso diário do balanço de radiação e da temperatura do solo. (Fonte: TUBELIS e NASCIMENTO, 1984).

3. Transporte de Calor no Solo

- Transporte, principalmente, por condução.
- Os fluxos verticais, ascendentes ou descendentes, de calor no solo (Figura 2) → gradiente térmico.

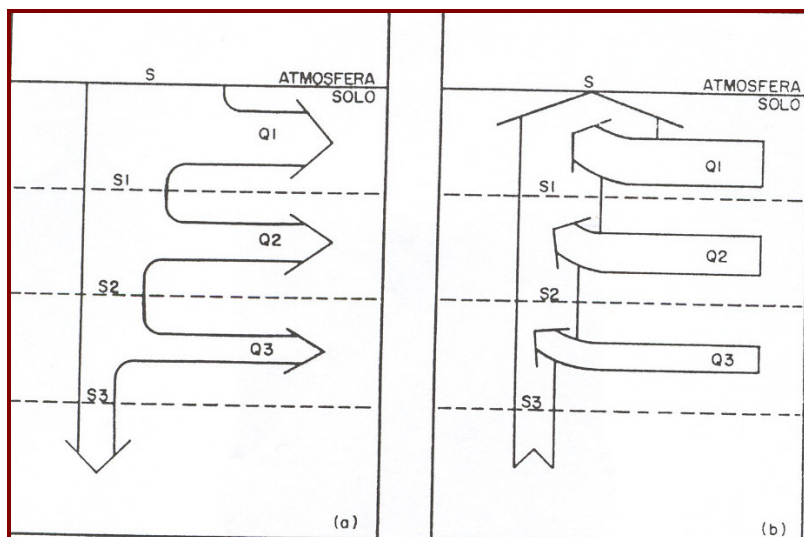


Figura 2 – Fluxos de calor no solo, com indicação da magnitude do armazenamento por camada. (Fonte: TUBELIS e NASCIMENTO, 1984).

- Regime térmico em profundidade (Figura 3 e Figura 4) → diminuição progressiva da ΔT com a profundidade e retardamento progressivo dos momentos de ocorrência das temperaturas extremas.

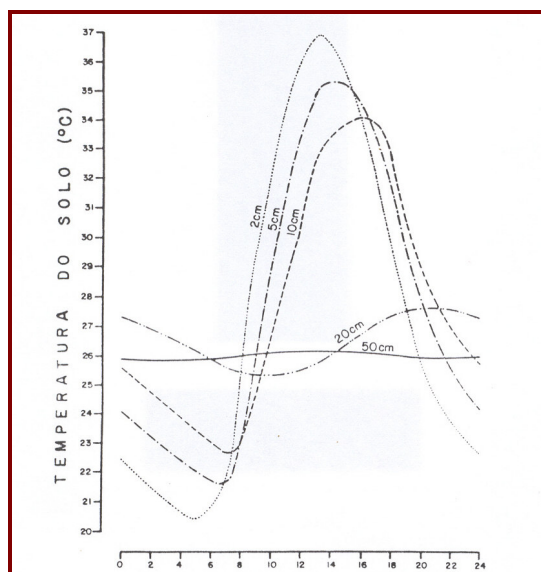


Figura 3 – Curso diário da temperatura média de solo nu, a diferentes profundidades. (Fonte: TUBELIS e NASCIMENTO, 1984).

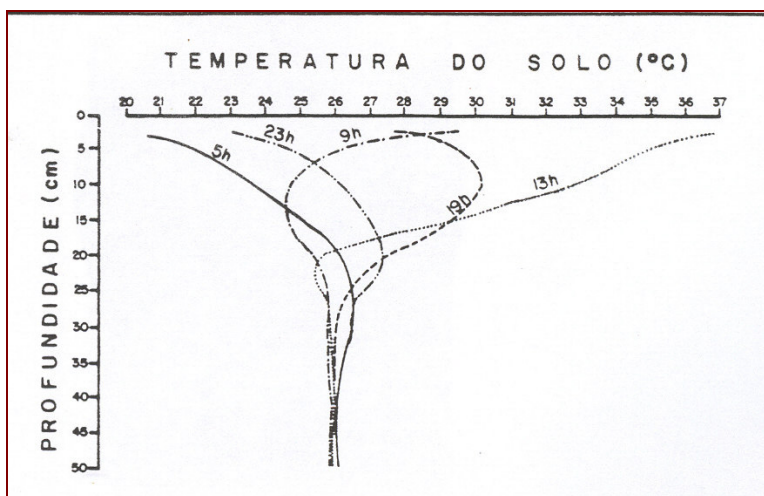


Figura 4 – Tautócrono de temperaturas médias de solo nu. (Fonte: TUBELIS e NASCIMENTO, 1984).

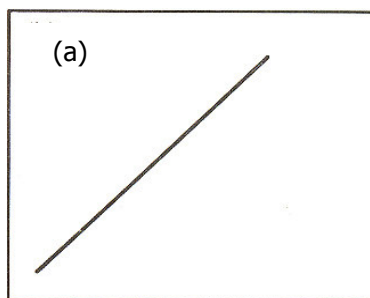
4. Propriedades Térmicas das Superfícies

Capacidade calórica do solo → caracteriza a quantidade de calor que pode ser adicionada ou removida do solo por unidade de variação de temperatura.

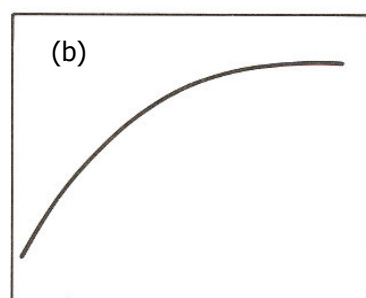
- Depende das proporções relativas dos constituintes do solo (ar, água, material mineral, material orgânico) bem como das capacidades calóricas de cada um deles.
- Capacidade calórica por unidade de massa (c) → calor específico ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)
- Capacidade calórica por unidade de volume (C) → calor específico volumétrico ($\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$)

Condutividade térmica do solo (κ_s) ($\text{J s}^{-1} \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$) → descreve a habilidade de uma substância ou meio em transmitir calor (por condução, no caso dos solos). É definida como a quantidade de calor (J) que flui através de uma área unitária em uma unidade de tempo (s) quando o gradiente de temperatura é também unitário (K m^{-1}).

- Depende da natureza das partículas do solo, da porosidade e do conteúdo de água do solo.



Umidade do solo



Umidade do solo

Figura 5 – Relações entre conteúdo de umidade do solo e (a) capacidade calórica e (b) condutividade térmica, para a maior parte dos solos. (Fonte: OKE, 1995).

A capacidade calórica de um solo (C_s) pode ser estimada a partir do teor das frações mineral, orgânica e hídrica do solo. A equação 1 segundo OMETTO (1981) permite estimar C_s :

$$C_s = C_m \cdot f_m + C_o \cdot f_o + C_a \cdot f_a \quad (1)$$

onde C_m , C_o e C_a = capacidades calóricas das frações mineral, orgânica e hídrica do solo, respectivamente. Igualmente, f_m , f_o e f_a = teores relativos das frações mineral, orgânica e hídrica no solo.

A fração de qualquer um dos componentes do solo na equação 1, é obtida segundo a equação 2:

$$f = \frac{V}{V_t} \quad (2)$$

onde V = volume (cm^3 ou m^3) de uma dada fração na amostra de solo e V_t = volume (cm^3 ou m^3) total da amostra.

Podem ser adotados os seguintes valores médios de capacidade calórica: $C_m = 1,93 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $C_o = 2,51 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $C_a = 4,19 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Assim:

$$C_s = 1,93 \cdot f_m + 2,51 \cdot f_o + 4,19 \cdot f_a \quad (3)$$

Exemplo Prático 1) *Determine a capacidade calórica de um solo hipotético, que possui o volume de poros igual a 49% do volume total, a matéria seca total com 97% em peso de matéria mineral ($d_m = 2,65 \text{ kg dm}^{-3}$) e 3% em peso de matéria orgânica ($d_{mo} = 1,3 \text{ kg dm}^{-3}$). A porcentagem de água ($d_{ag} = 1,00 \text{ kg dm}^{-3}$) contida no solo é de 15% em relação ao peso seco.*

A Tabela 1 mostra as propriedades térmicas de alguns materiais naturais, incluindo solos com diferentes teores de umidade.

5. Estimativa do Fluxo de Calor no Solo

- A densidade de fluxo de calor sensível (Q_G) no perfil de solo é diretamente proporcional ao gradiente vertical de temperatura do solo (G_{VTS}). A constante de proporcionalidade é a condutividade térmica do solo κ_s . Matematicamente Q_G pode ser estimado segundo a equação 6 (OKE, 1995):

$$Q_G = -\kappa_s \cdot G_{VTS} \cong -\kappa_s \cdot \frac{\Delta T}{\Delta z} = -\kappa_s \cdot \left(\frac{T_{m2} - T_{m1}}{z_2 - z_1} \right) \quad (4)$$

onde Q_G = fluxo de calor sensível no solo; κ_s = condutividade térmica do solo; G_{VTS} = gradiente vertical de temperatura do solo.

Exemplo Prático 2) *Considere um solo arenoso seco, com 40% de espaço poroso, para o qual $\kappa_s = 0,30 \text{ J m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$. A temperatura a 10 cm de profundidade no perfil é 20°C e 15°C a 20 cm. Determine o fluxo de calor Q_G para estas condições e verifique se o fluxo é ascendente ou descendente. É provável que o fluxo esteja ocorrendo durante o dia ou a noite?*

Tabela 1 – Propriedades térmicas de alguns materiais. (Adaptado de outros autores por OKE, 1995).

Material	Detalhes	d (kg m ⁻³) x 10 ³	c (J kg ⁻¹ K ⁻¹) x 10 ³	C (J m ⁻³ K ⁻¹) x 10 ⁶	κ (J m s ⁻¹ K ⁻¹)	μ (m ² s ⁻¹) x 10 ⁻⁶	β (Jm ⁻² s ^{-1/2} K ⁻¹)
Solo arenoso (40% poros)	Seco	1,60	0,80	1,28	0,30	0,24	620
	Saturado	2,00	1,48	2,96	2,20	0,74	2550
Solo argiloso (40% poros)	Seco	1,60	0,89	1,42	0,25	0,18	600
	Saturado	2,00	1,55	3,10	1,58	0,51	2210
Solo orgânico (80% poros)	Seco	0,30	1,92	0,58	0,06	0,10	190
	Saturado	1,10	3,65	4,02	0,50	0,12	1420
Água*	4°C, calma	1,00	4,18	4,18	0,57	0,14	1545
Ar*	10°C, calmo	0,0012	1,01	0,0012	0,025	21,50	5
	Turbulento	0,0012	1,01	0,0012	≈ 125	≈ 10 ⁷	390

* Propriedades dependentes da temperatura.

Observação: d = densidade; c = calor específico; C = calor específico volumétrico; κ = condutividade térmica; μ = difusividade térmica; e β = admitância térmica.

6. Instrumentos e Medição da Temperatura e Fluxo de Calor no Solo

- Geotermômetros ou termômetros de solo.

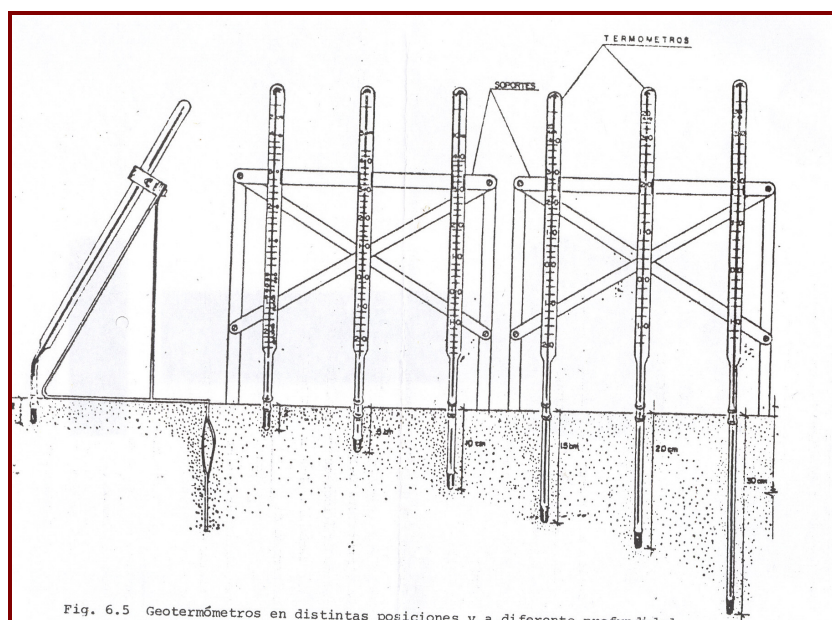


Figura 6 – Geotermômetros em distintas posições e a diferentes profundidades. (Fonte: ZUÑIGA, 1985).

7. Conclusões

O solo constitui uma parte importante do ambiente físico que envolve a planta. Devido ao íntimo contato entre as raízes e o solo, as variações de temperatura deste afetam notadamente os processos fisiológicos que se produzem na parte subterrânea das plantas. Isto é igualmente válido para a atividade da microflora e microfauna do solo.

8. Exercícios Propostos

EP.01. O calor específico é expresso em termos de unidade de peso, enquanto a capacidade calórica o é em termos de unidade de volume. Com base nisso, derive um relação em c_s e C_s de modo a permitir a estimativa de uma propriedade a partir da outra.

EP.02. Com o resultado do EP.01 determine a capacidade calórica de um solo para o qual uma amostra de 200 cm^3 pesou 332 g e que após secagem em estufa, a mesma amostra pesou 281 g. O calor específico do solo é $0,322 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

EP.03. Explique as diferenças no comportamento térmico de um solo quando seco e quando úmido.

EP.04. Da análise granulométrica de um solo mineral hipotético, obtiveram-se as seguintes informações: volume de poros = 40% do volume total, 95% em peso de fração mineral ($d_m = 2,65 \text{ g cm}^{-3}$), 5% em peso de matéria orgânica ($d_{mo} = 1,20 \text{ g cm}^{-3}$) e 11,8% em peso seco de água ($d_{ag} = 1,00 \text{ g cm}^{-3}$). Com base nesses dados determine a capacidade calórica ($\text{cal cm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) do solo. Expresse o resultado também em unidades internacionais.

EP.05. Considere um solo hipotético cujo volume de poros corresponde a 45% do volume total e que apresenta 91% e 9% de fração mineral ($d_m = 2,65 \text{ g cm}^{-3}$) e orgânica ($d_{mo} = 1,37 \text{ g cm}^{-3}$), respectivamente. Sabendo-se que o teor de água ($d_{ag} = 1,0 \text{ g cm}^{-3}$) é 22% em peso, determine o calor específico volumétrico deste solo.

9. Bibliografia Citada e Recomendada

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy. 1998. 300 p.

OKE, T. R. Boundary layer climates. 2ed. New York: Routledge. 435 p.

OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: Ceres. 1981. 425 p.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. do. Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel. 1984. 374 p.

ZUÑIGA, A. C. Agroclimatología. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia. 1985. 520 p.