

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
DISCIPLINA DE FÍSICA DO SOLO**

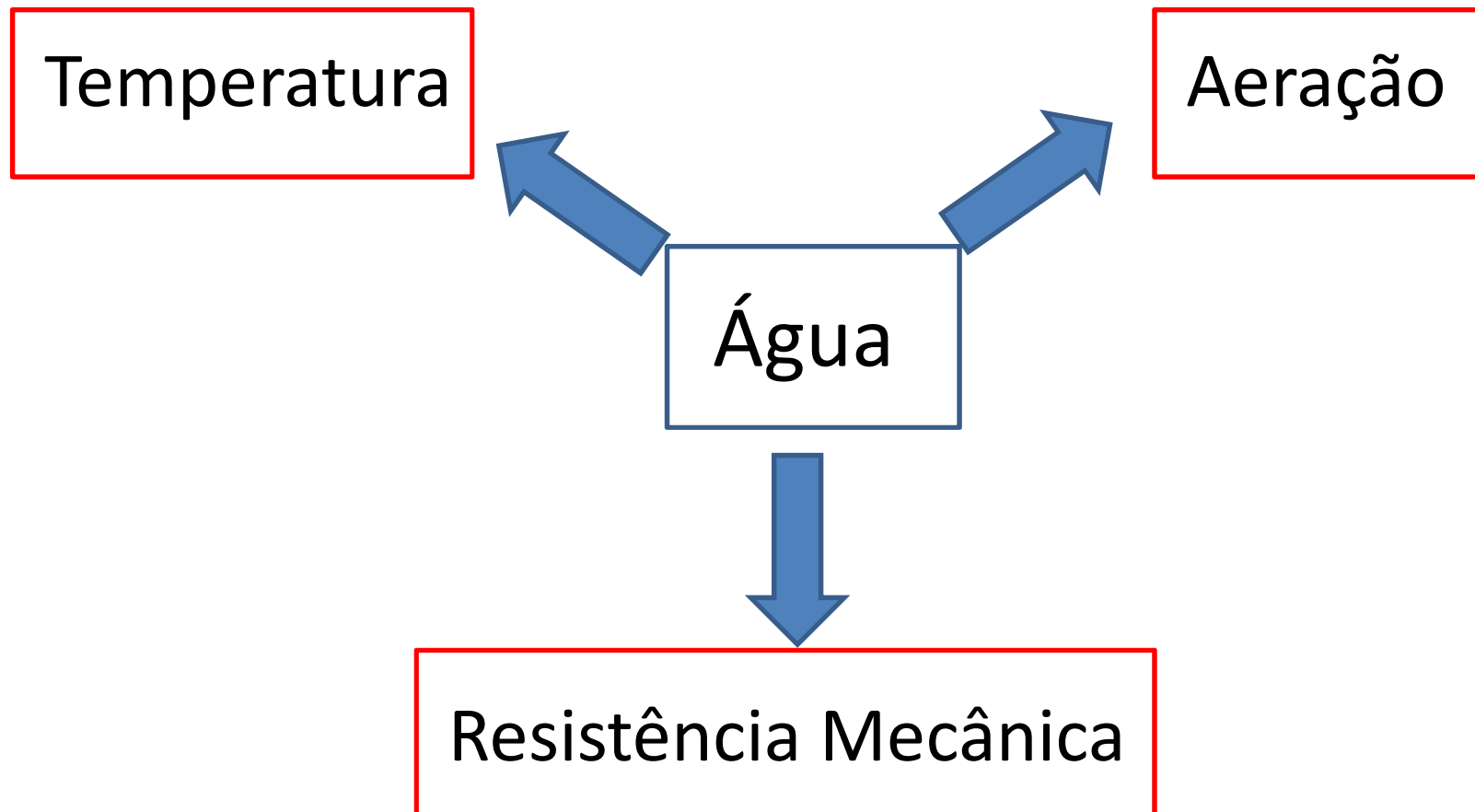
FLUXO COMBINADO DE ÁGUA E CALOR NO SOLO

Anderson Luiz Zwirtes

Santa Maria, Dezembro de 2011

INTRODUÇÃO

- LETEY (1985)



INTRODUÇÃO

(FORSYTHE, 1967)

- Solo
 - Fonte plana de entrada e saída de calor
 - Logo após a interceptação
 - Pequena parte é absorvida,
 - Outra é refletida
- O calor é transmitido no solo por processo de condução
 - Regida pelo gradiente de temperatura e a condutividade térmica
- A temperatura do solo é dependente deste fluxo de calor

A TRANSFERÊNCIA DE CALOR NO SOLO

- Condução
 - É uma consequência de trocas de energia nos níveis moleculares e atômicos
 - Se da devido ao contato de partículas
 - Dependente propriedades térmicas do solo
 - Dependentes do conteúdo de água
- Convecção
 - Ocorre por fluidos em movimento
 - Fluxos de massa
 - Geralmente mais importante em solos úmidos

(PREVEDELLO, 2010)

COUPLED HEAT AND WATER TRANSPORT IN FROZEN ORGANIC SOILS

(NAGARE , 2011)

- A água e o fluxo de calor em solos congelados estão fortemente acoplados
 - Resultado de gradientes de temperatura
 - Induzem o movimento de água
 - Estado líquido e gasoso
- O movimento da água também carrega o calor e as mudanças térmicas do solo.
- Este movimento é mais importante em solos de umidade intermediária
 - Em solos secos ou saturados
 - Baixo movimento de água no solo
 - Em alguns casos pode não ocorrer o movimento

- O movimento de vapor de água em solos congelados insaturados ocorre por processos de difusão
- Devido a diferença de temperatura
 - Ocorre diferentes gradientes de pressão de vapor no solos
 - Resultando em diferentes concentrações de vapor de água no solo
 - Desta forma ocorrerá uma difusão de vapor através dos poros
- Com isso o transporte de vapor aumenta diretamente a transferência de calor

(NAGARE , 2011)

- Utilização de modelos matemáticos para avaliar e analisar estes processos
 - Devido a complexidade do fluxo de água e calor na zona não saturada
 - Dificuldades de medidas junto a superfície do solo

(ANTONOPOULOS, 2006)

Review of heat and water movement in field soils

(PARLANGE, *et al.*, 1998)

- Westcot e Wierenga (1974) o calor transportado por fluxo de vapor representam 40-60% do fluxo de calor total na camada de 0-2 cm do solo.
- Cahill e Parlange (1998) utilizando medidas de temperatura e umidade volumétrico, em solo descoberto
 - Encontraram que 40-60% do fluxo de calor foi devido ao transporte de vapor
 - A contribuição de fluxo de vapor de água para o total de fluxo de umidade foi importante 10-30%

PROPRIEDADE TÉRMICAS DO SOLO

- Calor específico do solo

- Quantidade de energia que 1 m³ de solo necessita para elevar a temperatura em 1 k.
 - É dado pela soma dos calores específicos de suas fases constituintes

$$C_{v(solo)} = c_{gm} f_{vm} \rho_{pm} + c_{go} f_{vo} \rho_{po} + c_{gag} f_{vag} \rho_{ag} + c_{gar} f_{var} \rho_{ar}$$

Calor específico

Frações

Massa específica das partículas

m = mineral

o = material orgânica

ag = água

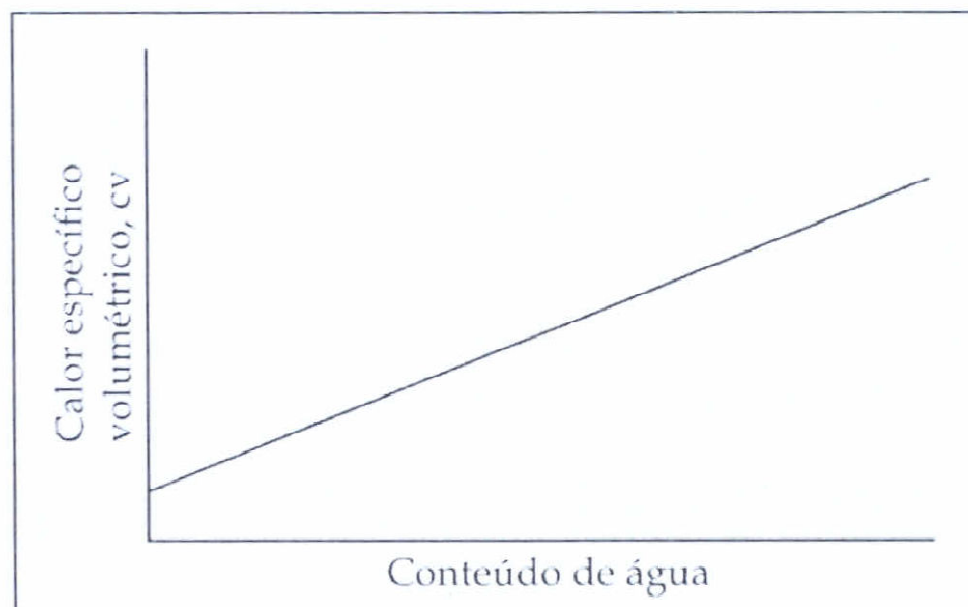
ar = ar do solo

(PREVEDELLO, 2010)

Quadro 1. Valores típicos aproximados dos calores específicos gravimétricos e das massas específicas das frações constituintes do solo

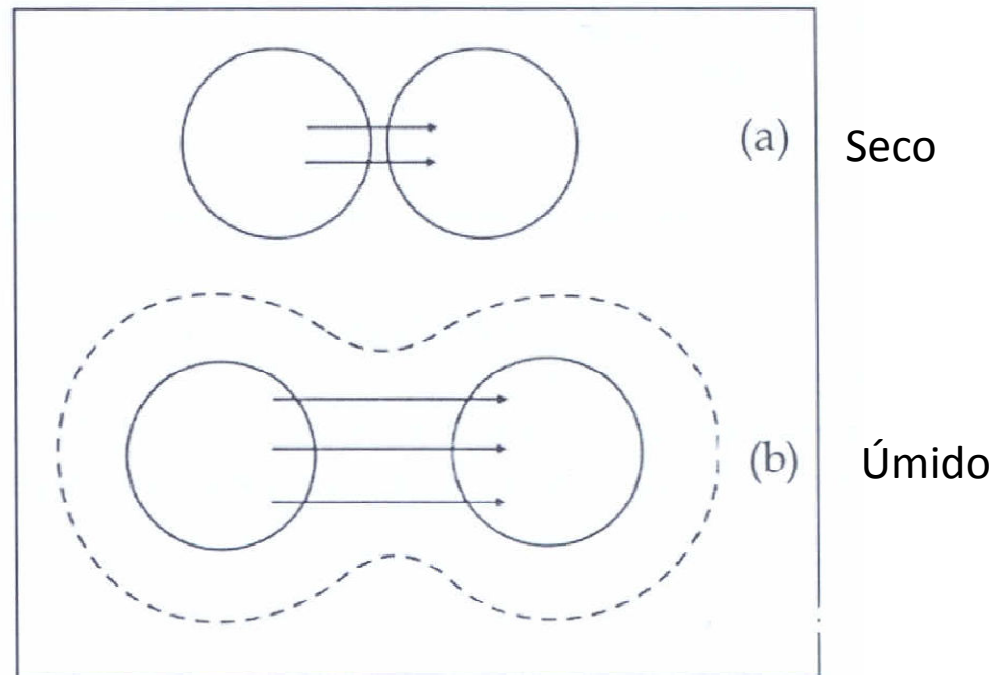
FRAÇÕES	c_g $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	ρ_p kg m^{-3}
MINERAL	712	2650
ORGÂNICA	1926	1400
ÁGUA	4186	1000
AR	1005	1,3

$$c_{v(solo)} = 1,89 f_{vm} + 2,70 f_{vo} + 4,19\theta \text{ (MJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}\text{)}$$



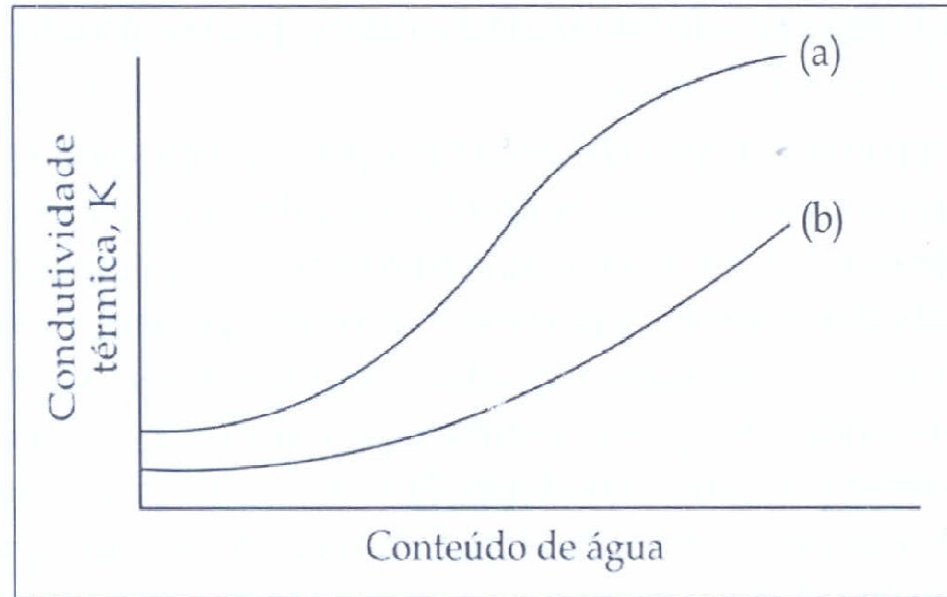
(PREVEDELLO, 2010)

- O conteúdo de água não só afeta o calor específico do solo, mas também sua condutividade térmica



(PREVEDELLO, 2010)

CONDUTIVIDADE



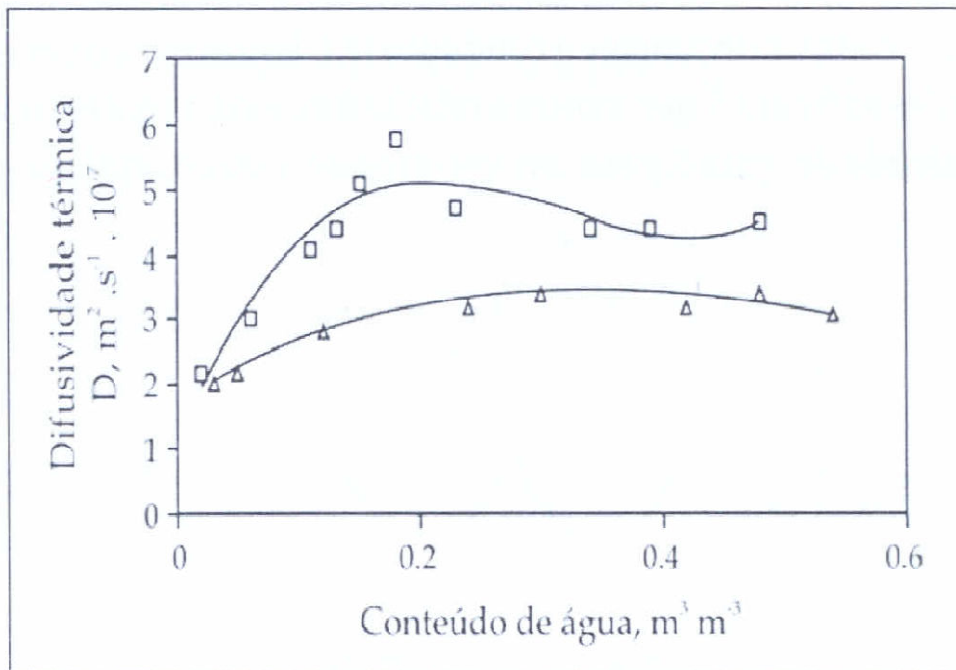
- Efeito
 - A profundidade de penetração de calor aumenta
 - Aumenta a temperatura do solo
 - Reduz a defasagem de propagação em todas as camadas

- Condutividade refere-se a capacidade de transmitir o calor .
- No solo a condutividade pode aumentar
 - Aumento do conteúdo de água
 - Compactação

(PREVEDELLO, 2010)

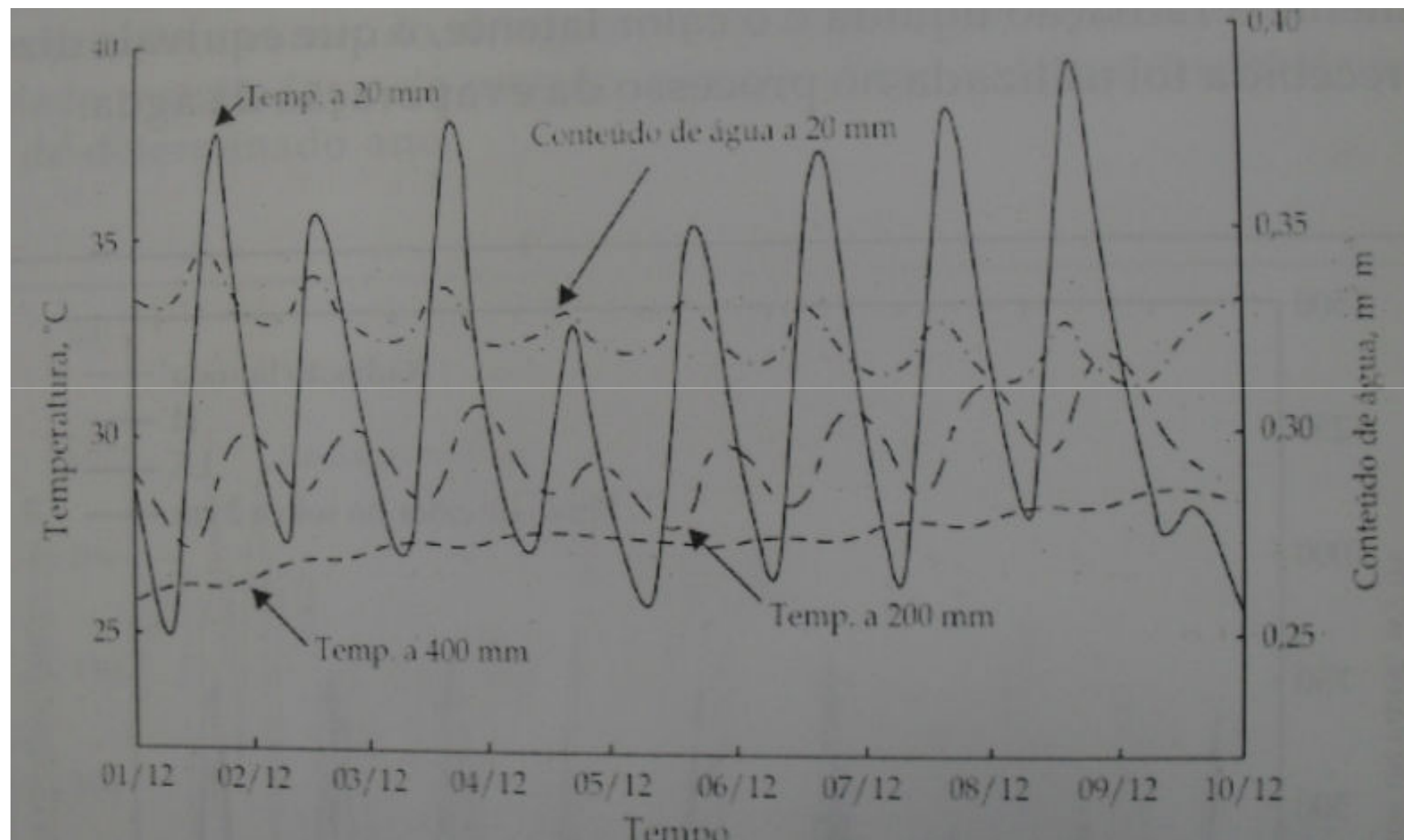
DIFUSIVIDADE

- Expressa a rapidez de mudança da temperatura
 - Submetido à variações de temperatura externa
- Sendo que o calor específico (c_v) e a condutividade térmica (K) são funções do conteúdo de água
 - Difusividade é função da conteúdo de água
- $D = K/c_v \text{ (m}^2\text{s}^{-1}\text{)}$



- O aumento
 - Aumento da seção capaz de conduzir calor com o aumento da conteúdo de água
- O decréscimo
 - devido ao aumento do conteúdo de água não aumentar a condutividade térmica (K) na mesma proporção de c_v .

(PREVEDELLO, 2010)



(PREVEDELLO, 2010)

- O conteúdo de água sofreu variações durante períodos noturnos e diurnos
 - A variação de temperatura pode explicar o movimento da água
 - O aumento e decréscimo do conteúdo de água na superfície
 - Pode ser devido ao gradientes térmicos formados pela variação de temperatura
 - Importantes variação na temperatura podem ser resultante do calor latente, do momento em que a água muda de estado
 - Quando ocorre fluxo de ar seco na superfície úmida a água evapora,
 - Esse calor pode ser suprido pelo solo úmido resultando no resfriamento da superfície do solo.

(PREVEDELLO, 2010)

Referência bibliográfica

- ANTONOPOULOS, V.Z. Water Movement and Heat Transfer Simulations in a Soil under Ryegrass, **Biosystems Engineering**, v. 95 n.1, p.127–138, 2006.
- FORSYTHE, W. M. Las factores físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. **Fitotecnia Latino Americana**, v.4, p.165-176, 196
- LETEY, J., Relationship between soil physical properties and crop productions. *Advances in Soil Science* 1, 277-294. 1985.
- NAGARE, R. M. COUPLED HEAT AND WATER TRANSPORT IN FROZEN ORGANIC SOILS, thesis (Doctor of Philosophy), The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada, 2011
- PARLANGE, M.B., CAHILL, A.T., NIELSEN, D.R., HOPMANS, J.W., WENDROTH, O., Review of heat and water movement in field soils, **Soil & Tillage Research** v.47 p.5-10, 1998.
- PREVEDELLO, C. L., ENERGIA TÉRMICA DO SOLO, IN: VAN LIER Q. J. (Ed.). **Física do solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 1ed, 2010, 298p.