

FLUTUAÇÃO ESTACIONAL DA TEMPERATURA E DA  
DIFUSIVIDADE TÉRMICA PARA SOLO DA REGIÃO DE  
CAMPINAS, SP

ROGÉRIO REMO ALFONSI

Orientador: NILSON AUGUSTO VILLA NOVA

*Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.*

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Novembro - 1979

*Dedico*

*Aos meus pais,  
À minha esposa,  
Aos meus filhos,*

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova, professor do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, pela orientação científica e pela amizade.

Aos pesquisadores científicos: Dr. Altino Aldo Ortolani, Dr. Antonio Roberto Pereira, Luiz Roberto Angelocci, Mário José Pedro Jr., Dr. Hermano Vaz de Arruda e Marcelo Bento Paes de Camargo, da Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agrônomo - Campinas, pelas revisões e sugestões apresentadas, pela amizade e excelente ambiente de trabalho.

Ao professor Dr. Hilton Silveira Pinto, do Departamento de Fisiologia Vegetal da Universidade Estadual de Campinas, pelas sugestões e estímulo.

À Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Sidneide Manfredini, da Seção de Pedologia do Instituto Agrônomo - Campinas, pela colaboração na análise de solo.

Ao Instituto Agrônomo, pelas facilidades oferecidas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo auxílio financeiro nas pesquisas.

À Benedito Albergaria P. Gomes, Dione Michelin Bacchetti, Nanci Signori Piccoli e Maria Luíza Falsarella, da Seção de Climatologia Agrícola, pelo auxílio prestado nas cotações e computação dos dados.

À desenhista Liliana Solha, da Seção de Climatologia Agrícola, pelo esmero na confecção das figuras.

*À Heloisa Sampaio Ferraz, da Seção de Climatologia Agrícola, pelo excelente serviço de datilografia.*

*Aos demais funcionários da Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico Campinas, que de uma forma ou de outra colaboraram para a realização desse trabalho.*

## ÍNDICE

	Página
1. RESUMO .....	1
2. INTRODUÇÃO .....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	7
4. MATERIAL E MÉTODO .....	15
4.1 Material .....	15
4.2 Método .....	16
4.2.1 Temperatura do solo e do ar .....	16
4.2.2 Determinação da difusividade térmica, profundidade de amortecimento e ca- mada de extinção .....	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
5.1 Solo .....	29
5.2 Relativos aos estudos comparativos entre tem- peratura do solo e do ar .....	29
5.2.1 Comparações entre valores de tempe- ratura do solo obtidos por geotermô- metros e tele-termôgrafos .....	29
5.2.2 Comparações entre temperaturas me- dias mensais do solo e do ar .....	31
5.3 Relativos à determinação da difusividade térmica, profundidade de amortecimento e camada de extinção .....	62

	Página
6. CONCLUSÕES .....	72
7. SUMMARY .....	74
8. LITERATURA CITADA .....	76

## 1. RESUMO

Foram estudadas as relações entre a temperatura do ar e do solo, bem como as variações sazonais da difusividade térmica, da profundidade de amortecimento, e da camada de extinção da onda de calor de um Latossolo roxo da região de Campinas-SP.

Em geral, a temperatura média diária do solo pode ser estimada através de três observações feitas às 7, 14 e 21 horas locais, respectivamente. A análise de regressão linear mostrou haver boa associação entre as médias de temperatura do solo e do ar, tanto em escala mensal como anual. Para o período estudado (1967-1976) as diferenças entre as temperaturas do ar e do solo oscilaram entre 0,2 e 6,6°C para a escala mensal, e foi praticamente constante e igual a 3,2°C para a escala anual, sendo a temperatura do solo sempre maior que a temperatura do ar.

Os valores diários da difusividade térmica do

solo, da profundidade de amortecimento e da camada de extinção variaram entre  $1,9 \times 10^{-3}$  e  $11,9 \times 10^{-3}$   $\text{cm}^2/\text{s}$ , entre 5,3 e 18,0 cm, e entre 22,0 e 72,0 cm, respectivamente, para períodos chuvosos, enquanto que em sequências de dias sem chuva tais intervalos foram de  $2,5 \times 10^{-3}$  a  $5,0 \times 10^{-3}$   $\text{cm}^2/\text{s}$ , 7,5 a 12,5 cm, e 40 a 60 cm, respectivamente.



## 2. INTRODUÇÃO

A superfície do solo, como limite inferior da atmosfera, atua como um corpo intermediário através do qual são permanentes os fluxos de energia do solo para o ar e vice-versa.

O solo se comporta como um reservatório de grande capacidade térmica, sendo aquecido durante o dia pela radiação solar e cedendo, durante a noite, parte dessa energia para o aquecimento da atmosfera, atuando como estabilizador térmico. Durante o dia a superfície do solo se apresenta, geralmente, mais aquecida que a atmosfera. A camada de ar adjacente à superfície se aquece por contacto direto com o solo tornando-se menos densa e, consequentemente, com tendência a se deslocar verticalmente. Esse deslocamento vertical induzido pela diferença de densidade aumenta consideravelmente o processo de transferência de calor do solo para a atmosfera. Se, por qualquer motivo, a temperatura da superfície

do solo for menor que a temperatura do ar, a camada de ar adjacente ao solo será mais densa inibindo qualquer processo convectivo de transferência de calor. Portanto, a temperatura da superfície do solo é um fator importante nos processos de troca de energia que ocorrem na biosfera.

A temperatura do solo é também um importante fator na formação do próprio solo, influenciando na desintegração do material original, na retenção e fluxo de água, aeração e movimentação de colóides, sendo usada atualmente como um dos parâmetros na classificação dos solos pela 7.<sup>a</sup> aproximação da classificação americana (SMITH, 1964).

Os processos biológicos da maioria dos organismos que habitam o solo dependem da temperatura desse meio. O metabolismo e desenvolvimento de microorganismos, a germinação de sementes, o crescimento do sistema radicular das plantas, são alguns exemplos de tais processos. (ORTOLANI e PINTO, 1972).

É evidente que se o sistema radicular de uma planta for afetado por condições adversas, sua parte aérea também será afetada. Para FRANCO (1958), por exemplo, o desenvolvimento de mudas de cafeeiros foi condicionado pela temperatura da zona das raízes, indicando as temperaturas de 26°C a 28°C como ótimas para o crescimento das raízes, enquanto que acima de 30°C o crescimento foi sensivelmente prejudicado. FRANCO (1961) verificou também o aparecimento de lesões no colo de mudas de cafeeiros quando estas foram submetidas à temperaturas de 44°C a 51°C, temperaturas estas frequentes na superfície do solo em áreas cafeeiras. Em solo terra-roxa da região de Ribeirão Preto-SP COSTA e GODOY (1962) observaram temperaturas superiores a 48°C na superfície do solo. Os mesmos efeitos foram verificados por CARNAUBA e ORTOLANI (1966), no ponto de enxertia de mudas de abacateiro.

Segundo DOBEREINER e ARONOVICH (1966) temperaturas do solo acima de  $30^{\circ}\text{C}$  prejudicam a nodulação, afixação de nitrogênio, e a produção da forrageira *Centrosema pubescens*, Benth. Também para SICHMANN (1977) temperaturas máximas do solo, acima de  $33^{\circ}\text{C}$ , prejudicam principalmente a formação de nódulos em raízes de soja. No caso de milho, BEAUCHAMP e LATHWELL (1966) observaram que o tempo necessário para que as plantas atingissem um determinado estágio de desenvolvimento, aumentou substancialmente quando a temperatura do solo decresceu de  $25^{\circ}\text{C}$  para  $15^{\circ}\text{C}$ .

A resistência de alguns cultivares de tomate à seca bacteriana causada por *Pseudomonas solanacearum* foi, segundo MEW e HO (1977), afetada por variações da temperatura do solo.

O período necessário para que 50% de plantulas de trigo emergissem foi de uma semana, em condições de temperaturas do solo entre  $19^{\circ}\text{C}$  e  $27^{\circ}\text{C}$ , duas semanas para temperaturas ao redor de  $12^{\circ}\text{C}$ , e até seis semanas para  $5^{\circ}\text{C}$ , independentemente do tipo de solo, profundidade de plantio, e potencial de água do solo (de JONG e BEST, 1979).

Essas considerações demonstram a importância do conhecimento do comportamento térmico do solo, sendo que esse campo de pesquisa poderá se constituir em importante subsídio à solução de problemas agrícolas, bem como à própria preservação de recursos naturais.

Em razão do exposto estabeleceu-se os seguintes objetivos para o presente trabalho:

a) verificar a possibilidade do uso de expressões simplificadas, baseadas nos horários convencionais de observações meteorológicas, para a estimativa da temperatura média diária do solo, à várias profundidades.

b) correlacionar temperatura média mensal do solo à várias profundidades com a temperatura média do ar, obtidas em posto meteorológico padrão, com a finalidade de se obter equações que permitam a estimativa da temperatura do solo em função da temperatura do ar;

c) verificar o comportamento do solo em relação às suas propriedades térmicas, com ênfase para a difusividade térmica;

d) determinar, para o solo em estudo, as profundidades de amortecimento da onda de calor, bem como a camada de extinção dessa onda, verificando suas variações estacionais.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

Em geral, tem sido observado que a média anual da temperatura do solo é praticamente constante com a profundidade, com desvios normalmente menores que  $1 - 2^{\circ}\text{C}$ .

Como a temperatura do ar é dependente da radiação e condução do calor no solo, pode-se esperar que a média anual da temperatura do ar seja aproximadamente igual à média anual da temperatura do solo. Uma única observação da temperatura do solo na profundidade onde a variação térmica anual é desprezível, pode ser usada como média anual da temperatura do ar, para esse local. Para várias partes do mundo a média anual da temperatura do solo, nessa profundidade, excede à do ar de  $0,5$  a  $3^{\circ}\text{C}$  (BATES, 1924). Exceções a essa diferença normal são encontradas em alguns regimes climáticos, como regiões com longos períodos de cobertura de neve, regiões desérticas, onde a insolação é grande, e regiões de grandes altitudes (MAURER, citado por CHANG, 1958).

Os fatores que determinam a variação anual da temperatura em um perfil do solo, afetam, igualmente a sua variação diária. ITO e KUSAKABE (1951) mostram que solos secos apresentam uma variação diária de temperatura maior que solos úmidos, isto porque a condutividade térmica da água é muito maior que a do ar.

FLUCKER (1958) desenvolveu equações para descrever as flutuações da temperatura em solo nũ, para várias profundidades, em College Station, Texas. Associou os efeitos da precipitação nas ocorrências de extremos de temperatura no solo. Para o período observado houve uma redução nas temperaturas máximas e mínimas anuais, causadas por precipitações.

Para 36 localidades do Canada OUELLET (1972) fez comparações entre as temperaturas do ar e do solo a várias profundidades. Em geral, a média anual da temperatura do solo foi  $3,6^{\circ}\text{C}$  maior que a média anual do ar, mas a amplitude de variação no solo foi aproximadamente  $14,5^{\circ}\text{C}$  menor que a do ar. OUELLET (1975) verificou para Ottawa, Canada que os valores extremos da temperatura do solo, a profundidade de 100 cm, ocorreram de 3 a 6 semanas depois das do ar.

Um modelo matemático baseado em regressões múltiplas, foi desenvolvido por OUELLET (1973) para estimativa de temperaturas mensais e anuais a partir de dados macroclimáticos, tais como, temperaturas máximas e mínimas médias do ar, número de dias de chuva, total de chuva, inclusive a temperatura média do solo do período anterior.

OLIVEIRA *et alii* (1979) para solos da região de Viçosa, Estado de Minas Gerais, no período de 1971 a 1975, determinaram equações de estimativas da temperatura do solo a 2 cm de profundidade, a partir da temperatura do ar do mesmo dia ou de dias anteriores. Verificaram que em dias não

chuvosos a estimativa é mais segura, enquanto que para dias chuvosos a temperatura do solo observada era sempre inferior à estimada.

O efeito da cobertura na temperatura do solo tem sido também objeto de vários estudos, podendo ser citados aqueles desenvolvidos em culturas de tâmaras e citrus (BLISS *et alii*, 1942; BLISS, 1944; CAMARGO *et alii*, 1961) em culturas de aspargos (RIGG, 1947), em cultura de batata em solos irrigados e não irrigados (LORENZ, 1950), em cultura de milho (DREIBELBIS, 1951; van WIJK *et alii*, 1959; ALLMARAS *et alii*, 1964). Recentemente, TOOGOOD (1979) encontrou, para Edmonton, Canada, que as temperaturas do solo, sob diferentes coberturas vegetais, diferenciaram-se por menos de 3°C para a profundidade de 20 cm, e por menos de 2°C para 100 cm.

Para coberturas inertes, tais como, polietileno, serragem, e restos de grama batatais, DEICO e SANTOS (1975) mostraram que as amplitudes diárias da temperatura dos solos cobertos com serragem e restos de grama, foram cerca de 10 °C menores que para solo coberto com polietileno ou nã.

A média diária verdadeira da temperatura do solo tem sido considerada como a média aritmética de 24 observações horárias. O instrumento para registro contínuo é relativamente caro e de pouco uso nas nossas condições, sendo mais comum determinações instantâneas através de geotermômetros em um, dois ou três horários diários. Esse pequeno número de medidas causa problema no cálculo da média diária, tentando-se superá-lo através do estabelecimento de equações que estimem essa média com um número reduzido, adequado e possível de leituras diárias.

PRIMAULT (1953) comparou a temperatura média diária de solo de Zurique, calculada através de 24 leituras horárias, consideradas como verdadeira, com as médias calcu-

ladas com um número menor de leituras. A utilização da média aritmética entre as temperaturas máxima e mínima diárias, revelou desvios menores em relação à média verdadeira, do que a utilização da média aritmética de duas leituras (8 horas e 20 horas), ou de três leituras (8, 14 e 21 horas). Entretanto, os menores desvios foram encontrados com o emprego da média aritmética entre as leituras das 2, 8, 14 e 20 horas.

SURING, citado por CHANG (1958), concluiu que a equação  $\bar{T} = (3/8 T_7 + 2/8 T_{14} + 3/8 T_{21})/3$ , onde  $T_7$ ,  $T_{21}$  e  $T_{14}$  representam, respectivamente, as temperaturas do solo às 7, 14 e 21 horas e  $\bar{T}$  a temperatura média diária, foi a que apresentou valores mais próximos da média verdadeira, quando utilizada para a profundidade de 20 cm.

BERTOLDO *et alii* (1975) utilizaram os valores da temperatura do solo obtidos às 7, 14 e 21 horas para a estimativa da temperatura média diária do solo, sem apresentarem, no entanto, comparações com a média verdadeira.

Quanto ao período necessário para a obtenção de dados médios satisfatórios de variáveis climáticas, LANDSBERG e JACOBS (1951) usando resultados de estudos realizados pelas Forças Armadas Americanas, sugeriram que, para se obter uma distribuição estável de frequência da temperatura do ar, há necessidade de uma série de 15 anos contínuos de dados para as médias e altas latitudes e, de 10 anos para as áreas entre os trópicos.

A variação da temperatura no solo decresce exponencialmente com a profundidade. Essa relação é derivada da teoria da condução de calor no solo, como mostram INGERSOLL *et alii* (1954), de VRIES (1958) e van WIJK e de VRIES (1963). A uma certa profundidade essa variação pode ser negligível ou seja menor que  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Essa profundidade é normalmente chama-



da de "profundidade de temperatura invariável" ou camada de extinção da onda de calor, que varia com a difusividade térmica do solo e com o clima. A variação da temperatura no solo diminui mais lentamente com a profundidade em solos de maior condutividade térmica e mais rapidamente em solos de grande capacidade térmica. Em solos secos, a variação da temperatura é grande na superfície, mas não há penetração da onda de calor. Em solos moderadamente úmidos, embora a amplitude térmica seja pequena na superfície, a onda de calor penetra profundamente. Em solos bastante úmidos (saturados em água) a camada de extinção é próxima à superfície. Em solos com alta difusividade térmica, a profundidade da camada de extinção pode ser grande (CHANG, 1958).

Trabalhos de diversos autores como LEFFINGWELL (1919), KANDASAMY (1937), MACCARTHY (1952), THOMSON e BREMNER (1952), SEARLE (1953), MORAIS (1955) indicam que, de modo geral, a profundidade da camada de extinção anual da onda de calor é aproximadamente de 10 metros para a região dos trópicos, 15 metros para médias latitudes e 20 metros para o Alaska e norte do Canada.

KERSTEIN (1949) e DECICO (1967, 1974) apresentam equações para determinação da condutividade térmica do solo em função da umidade e densidade do solo, em condições de laboratório. Esses autores constataram que o aumento da condutividade térmica em função da densidade do solo, é praticamente o mesmo para todos os teores de umidade do solo.

DECICO (1974, 1975) utilizando-se do modelo matemático da teoria clássica da condução de calor em solos, determinou em condições de campo as propriedades térmicas de um solo. Mostrou que a velocidade da onda não é função da umidade do solo para o intervalo de umidade entre 19 e 25%; que a difusividade térmica é uma função da velocidade da onda

de temperatura e que, uma grande variação na amplitude máxima de temperatura induz uma pequena variação na espessura da camada de extinção. No entanto, RAO e RAO (1976) encontraram que tanto a velocidade de propagação da onda como a profundidade de amortecimento, em Mollisols de textura fina, aumentaram até o nível de 60-70% da umidade de saturação dos solos. Mostraram também que a onda diária de temperatura não penetra além de 75 cm de profundidade, para qualquer teor de umidade dos solos estudados. Para a região amazônica DECICO *et alii* (1977) encontraram que a camada de extinção diária foi de 60 cm e praticamente constante durante o ano.

KIMBALL e JACKSON (1979) relataram a importância das propriedades térmicas do solo e seu comportamento em relação aos teores de umidade e cobertura do solo. A difusividade térmica representa um índice de mudança da temperatura do solo em relação ao ganho de calor. É expressa pela relação entre a condutividade térmica de um solo e sua capacidade térmica. Os fatores que influenciam a condutividade térmica do solo também influenciam os valores da difusividade térmica, porém de forma diferente.

CHANG (1958) assinala que o aumento do teor de umidade do solo provoca um aumento na difusividade até um máximo, havendo em seguida um decréscimo, mesmo com o aumento do teor da umidade nesse meio. Isso pode ser explicado pelo fato de que uma pequena quantidade de água no solo, diminui a ação isolante do ar contido nos poros. Quando uma quantidade maior de água é adicionada, há um aumento proporcionalmente maior da capacidade térmica do que o da condutividade térmica do solo, determinando uma diminuição da difusividade térmica. PATTEN (1909) encontrou valores máximos de difusividade térmica quando o teor de umidade do solo é de aproximadamente 15% para a areia, 12% para solo barro arenoso e 30%

para solos orgânicos. Os valores encontrados variam entre  $10^{-2}$  a  $10^{-3}$   $\text{cm}^2/\text{seg}$ . KEEN (1932) sugere um valor médio para a difusividade térmica de  $0,004 \text{ cm}^2/\text{seg}$ , para regiões temperadas úmidas.

A difusividade térmica, em condições de campo, pode ser determinada por vários processos: INGERSOLL e KOEPP (1924) apresentaram um método que utiliza medidas diretas de temperatura do solo, por meio de termopares. Outro método utiliza equações que levam em conta os valores das amplitudes térmicas entre duas profundidades, ou as diferenças de horários em que ocorrem as temperaturas máximas nas duas profundidades. Esses métodos são usados desde que a teoria clássica de condução de calor no solo seja obedecida.

Essas duas últimas maneiras de se determinar a difusividade térmica de um solo foram utilizadas por vários autores. JOHNSON e DAVIES (1927), SUTTON (1953), PEARCE e GOLD (1959), CARSON (1963), encontraram valores concordantes quando determinados pelos dois métodos, enquanto que TAMURA (1905), HUTCHINGS (1952), KRISHNAN e KUSHWAHA (1972), e DECICO (1974) não encontraram boas correlações entre os valores de difusividade, obtidos pelos dois métodos.

LETTAU (1954) comenta que podem ser obtidos resultados enganosos quando a teoria clássica da condução de calor no solo é aplicada indiscriminadamente para vários solos. Esse autor apresenta um modelo matemático para determinação da difusividade térmica em função da profundidade.

Os mesmos pontos de vista são apresentados por SINGER e BROWN (1956) e RIDER (1957). ROSE (1966) notou que o movimento de massa de água bem como o fluxo de umidade na fase vapor, invalidam completamente a aplicação da equação clássica de condução de calor no solo. A não aplicabilidade dessa foi verificada por KRISHNAN e KUSHWAHA (1972) em

estudos sobre as variações periódicas dos valores semanais de temperatura do solo em Jodhpur-Índia, através do uso das séries de Fourier. Como hipótese, justificam a existência das ocorrências de ventos monçônicos na região que provocam chuvas e, por sua vez alteravam as condições de umidade do solo.

JACKSON e KIRKHAM (1958) apresentam um método de determinação da difusividade térmica, chamada de real. Uma

fonte alternativa de calor no solo faz com que a transferência de calor se processe em direções alternadas, diminuindo o efeito do movimento de umidade. O estudo apresentou valores crescentes da difusividade térmica real com o aumento da umidade no solo, até o ponto de saturação. Comentaram ainda que esses valores são diferentes dos normalmente apresentados na literatura, os quais referem-se a valores de difusividade térmica aparente, pois não levam em consideração a transferência de calor pelo movimento de massa de água.

A análise da bibliografia consultada mostra a existência de grande número de trabalhos relacionados com a determinação das propriedades térmicas, e temperatura do solo e suas influências nos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo.

Há alguma discordância em trabalhos apresentados nesta revisão, no que diz respeito à determinação da difusividade térmica através dos vários métodos apresentados.

Em relação à influência da temperatura do solo na temperatura do ar, a literatura se apresenta menos abundante, sendo do mesmo modo, poucas as referências que tratam dos procedimentos para a obtenção de valores médios de temperatura do solo, através de um número reduzido de observações.

## 4. MATERIAL E MÉTODO

### 4.1 Material

Os dados para o presente estudo foram obtidos na estação agrometeorológica do Centro Experimental do Instituto Agrônomo, localizado na cidade de Campinas, Estado de São Paulo, com latitude de  $22^{\circ}53'S$ , longitude de  $47^{\circ}04'W$  e altitude de 669 metros acima do nível do mar.

O solo da área experimental é caracterizado como Latossolo Roxo, cuja análise granulométrica é mostrada na Tabela 1.

Os dados referentes à temperatura do ar foram obtidos através de termômetro de bulbo seco, marca R. Fuess, com escala de  $-20^{\circ}$  a  $+60^{\circ}C$  e precisão de  $0,1^{\circ}C$ , instalado no abrigo meteorológico padrão.

A temperatura do solo foi observada através

de geotermômetros, marca R. Fuess, com precisão de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , nas profundidades de 2, 5, 10, 20, 40 e 100 centímetros, com escalas de  $-20^{\circ}$  a  $+60^{\circ}\text{C}$  para as quatro primeiras profundidades,  $-15^{\circ}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$  para a de 40 cm e  $-12^{\circ}$  a  $+30^{\circ}\text{C}$  para a de 100 cm. Para registro contínuo dos mesmos elementos foram utilizados três tele-termógrafos, marca Foxboro, série 650522, fabricados pela Foxboro Company, Massachusetts, U.S.A.. A escala original desses equipamentos, entre  $-20^{\circ}$  e  $120^{\circ}\text{C}$ , foi modificada para  $-10^{\circ}$  a  $+60^{\circ}\text{C}$ , resultando em precisão de  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Cada termógrafo é composto de duas penas registradoras, um sistema de relojoaria de rotação semanal e búlbo sensores com cabos de 10 metros de comprimento.

Os bulbos sensores desses instrumentos foram instalados a aproximadamente um metro do conjunto de geotermômetros e às mesmas profundidades.

O período de registro das temperaturas do solo, através dos tele-termógrafos, foi de maio de 1975 a maio de 1977.

A precipitação pluviométrica diária foi medida através de pluviômetro tipo Paulista e de pluviôgrafo de rotação diária, tipo Helmann, marca R. Fuess.

As observações diárias foram feitas, convencionalmente, nos horários das 7, 14 e 21 horas.

## 4.2 Método

### 4.2.1 Temperatura do solo e do ar

A temperatura média compensada do ar ( $T$ ) foi calculada através da fórmula

$$\bar{T} = \frac{T_7 + T_{14} + 2T_{21}}{4},$$

onde  $T_7$ ,  $T_{14}$  e  $T_{21}$  correspondem às leituras do termômetro de bulbo seco às 7, 14 e 21 horas respectivamente.

As médias diárias das temperaturas do solo  $\bar{T}_s$  nas várias profundidades, foram obtidas através da expressão

$$\bar{T}_s = \frac{T_{s7} + T_{s14} + T_{s21}}{3}, \quad (2)$$

sendo  $T_{s7}$ ,  $T_{s14}$ ,  $T_{s21}$  os valores das leituras dos geotermômetros nos horários das 7, 14 e 21 horas respectivamente.

Os diagramas diários dos tele-termôgrafos foram cotados horariamente e, através das 24 leituras assim obtidas, calcularam-se as médias aritméticas diárias das temperaturas do solo, para as profundidades de 2, 5, 10, 20, 40 e 100 centímetros.

As médias mensais das temperaturas do ar e do solo foram calculadas através das médias diárias.

Para comparar os valores médios diários e mensais, das temperaturas do solo obtidos com, os geotermômetros, nas profundidades estudadas, com os obtidos a partir dos diagramas termográficos, foram utilizados estudos de correlação.

Em termos diários foram feitas análises para os valores médios das temperaturas obtidos pelos dois métodos, para os meses de janeiro, abril, julho e outubro de 1976, justificando-se a escolha desses meses em razão das diferentes disponibilidades de energia solar para a região no curso do ano, sendo a época de maior ganho representada pelo mês de janeiro e a de menor pelo mês de julho.

Em termos mensais, correlacionaram-se os valores médios dos mesmos parâmetros, para todas as profundidades, abrangendo o período de maio de 1975 a maio de 1977.

Em função dos resultados obtidos, mostrando elevados coeficientes de determinação, foram estudados, comparativamente, os valores médios mensais de temperatura do ar e do solo determinados através das leituras dos geotermômetros nos horários das 7, 14 e 21 horas.

Para um período de 10 anos, de 1967 a 1976, foram correlacionados os valores médios mensais de temperatura do ar e do solo, para as várias profundidades.

#### 4.2.2 Determinação da difusividade térmica, profundidade de amortecimento e camada de extinção.

Pela segunda lei da termodinâmica, a existência de um gradiente de aquecimento em um corpo, resulta na transferência de energia da região de maior para a de menor temperatura. Neste caso, o transporte de energia se dá por condução molecular e a taxa de transferência, por unidade de área,  $G$  ( $W.m^{-2}$ ) é proporcional ao gradiente de temperatura,  $T$  ( $^{\circ}C$ ) na direção do fluxo de calor, isto é,

$$G_i = -K_i \frac{dT}{dX_i}, \quad (3)$$

onde  $X_i$  é a coordenada de espaço e  $i=1,2,3$  representa, respectivamente, as coordenadas  $x, y$  e  $z$ . A eq.(3) é denominada lei de Fourier da condução de calor, onde a constante de proporcionalidade  $K$  é positiva e chamada condutividade térmica do corpo ( $W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ ). O sinal é negativo para que a segunda lei da termodinâmica seja satisfeita.

Para um volume qualquer de um corpo homogêneo, em que as propriedades térmicas são independentes das coordenadas de espaço, o balanço de energia pode ser descrito por

$$-K_i \frac{\partial T}{\partial X_i} + Q dX_i = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} dX_i = (K_i \frac{\partial T}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_i} (K_i \frac{\partial T}{\partial X_i}) dX_i) \quad (4)$$

(a)      (b)      (c)      (d)



Os termos que compõem a eq.(4) tem a seguinte interpretação: termo (a) representa a densidade de fluxo de calor que entra no volume considerado; termo (b) é a energia gerada ou consumida dentro do volume; termo (c) é a variação da energia interna do volume com o tempo  $t$ , onde  $\rho$  é a densidade do corpo ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) e  $c$  é o calor específico do corpo ( $\text{J.Kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ). O produto  $\rho c$  denomina-se capacidade volumétrica de calor ( $\text{MJ.m}^{-3}.\text{°C}^{-1}$ ). O conjunto (d) representa a densidade de fluxo de calor que sai do volume e é dado pela expansão da série de Taylor com apenas os dois primeiros termos da série.

Considerando-se, no entanto, que não há nem produção nem consumo de calor dentro do volume considerado e que a densidade de fluxo seja somente na direção vertical ( $i=3, X_3=z$ ) a eq.(4) reduz-se a

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \quad (5)$$

onde  $D=K/\rho c$  é a difusividade térmica do corpo ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ). Quanto maior o valor de  $D$  mais rápida é a condução (difusão) do calor através do corpo. Um valor elevado de  $D$  pode ser devido tanto a um valor alto de  $K$ , que indica uma alta taxa de transferência de calor, como a um baixo valor de  $\rho c$ , significando que uma pequena parte do calor que flui através do corpo será usada para aumentar sua temperatura e, portanto, que mais energia será disponível para ser transportada.

Para o caso de um sistema estacionário, isto é, onde não haja variação da temperatura com o tempo, a quantidade de calor que entra no sistema é igual à quantidade que sai, ou seja  $d^2T/dz^2=0$ .

A aplicação da eq.(5) para o estudo de fluxo de calor em solos é questionável, em princípio, uma vez que o

solo não é um sistema homogêneo mas sim um sistema composto. Mesmo para uma camada de um solo que apresente uma composição mineral e orgânica homogênea, a variação do teor de umidade é suficiente para torná-la heterogênea. No entanto, a necessidade de se conhecer o fluxo de calor no solo, tanto para fins agrícolas como para fins de engenharia, por si só justifica a utilização de uma teoria desenvolvida para sistema homogêneo, em um sistema reconhecidamente heterogêneo. Evidentemente, em tal situação, as propriedades térmicas dos solos devem ser tomadas como valores médios e, em analogia com a teoria cinética dos gases, as dimensões do volume de solo considerado devem ser maiores que as dimensões lineares de suas partículas constituintes.

A capacidade volumétrica de calor ( $\rho c$ ) de uma camada do solo, por exemplo, depende de sua composição mineral, de sua textura e estrutura e dos teores de matéria orgânica, água e ar. Alto teor de umidade no solo implica em baixo teor de ar e vice-versa, desde que a capacidade térmica do ar é várias ordens de magnitude menor que a capacidade térmica da água e das partículas minerais, um solo seco tem menor capacidade térmica que o mesmo solo quando úmido. Segundo de VRIES (1963) a capacidade térmica para a maioria dos solos pode ser descrita por

$$\rho c = 1,9.\theta_M + 2,5.\theta_o + 4,18.\theta_A \quad (\text{MJ.m}^{-3}\text{O}^{-1}), \quad (6)$$

onde  $\theta_M$ ,  $\theta_o$ , e  $\theta_A$  são as frações volumétricas das partículas minerais, da matéria orgânica, e da água do solo, respectivamente. Portanto, a capacidade térmica da maioria dos solos é uma função linear de seu teor de umidade.

Pela presente teoria é evidente que o comportamento térmico do solo será ditado pela eq.(5) cuja solução dependerá das condições de contorno especificadas. Equações

diferenciais admitem uma infinidade de soluções, quando estas existem e a solução particular inerente ao problema em estudos deve satisfazer às condições de contorno impostas. Essas condições, como o próprio nome indica, expressam o que acontece na periferia do volume considerado.

No caso específico de fluxo de calor em solos a fonte principal de calor é o sol. A alternância entre dia e noite resulta também em uma alternância entre ganho e perda de calor pelo solo que causa uma variação harmônica da temperatura do solo. A intensidade dos raios solares que atingem a superfície do solo é uma função da hora do dia e da época do ano. Para um terreno de exposição horizontal, como requer a condição de unidirecionalidade do fluxo de calor imposta para obtenção da eq.(5), a experiência mostra que, em geral, a temperatura da superfície do solo apresenta uma variação senoidal em torno de um valor médio. Portanto, a condição de contorno na superfície do solo pode ser descrita por

$$T(0,t) = \bar{T} + T_0 \text{sen}(wt), \quad (7)$$

onde  $\bar{T}$  é a temperatura média do período considerado,  $T_0$  é a amplitude de variação da temperatura, isto é, metade da diferença entre os valores extremos e  $w=2\pi f$  é a velocidade angular sendo  $f$  a frequência de variação da temperatura.

Deve haver também uma profundidade tal em que a amplitude da temperatura é desprezível. Como tal profundidade não é conhecida a priori essa condição de contorno pode ser representada por

$$T(\infty,t) = \bar{T}, \quad (8)$$

onde o símbolo  $\infty$  representa uma profundidade suficientemente grande. Portanto, neste caso particular, a solução da eq.(5) deve satisfazer às condições de contorno dadas pelas eqs.(7) e (8).

A eq.(5) pode ser resolvida pelo método de separação de variáveis. O tratamento matemático aqui apresentado pode ser encontrado em alguns textos básicos, como exemplo, van WILK (1963), e KIRKHAM e POWERS (1972). Assume-se que a solução dessa equação seja da forma

$$T(z,t) = f(z)g(t), \quad (9)$$

onde  $f(z)$  é função somente da profundidade ( $z$ ) e  $g(t)$  é função do tempo ( $t$ ).

Diferenciando-se a eq.(9) com respeito a  $t$  e  $z$ , respectivamente, obtem-se

$$\frac{dT}{dt} = g'(t)f(z), \quad e \quad (10)$$

$$\frac{d^2T}{dz^2} = g(t)f''(z). \quad (11)$$

Substituindo as eqs.(10) e (11) em (5) tem-se

$$g'(t)f(z) = D f''(z)g(t) \quad (12)$$

Dividindo-se a eq.(12) por  $Df(z)g(t)$  obtem-se

$$\frac{g'(t)}{Dg(t)} = \frac{f''(z)}{f(z)}, \quad (13)$$

Nota-se que o lado esquerdo da eq.(13) é função somente de  $t$  e que o lado direito é função somente de  $z$  e, portanto,

$$\frac{g'(t)}{Dg(t)} = \gamma, \quad (14)$$

onde  $\gamma$  é a constante de separação. Rearranjando-se a eq.(14) obtem-se

$$g'(t) - \gamma Dg(t) = 0, \quad (15)$$

cuja solução é

$$g(t) = A \exp(\gamma Dt) \quad , \quad (16)$$

Similarmente

$$f''(z) - \gamma f(z) = 0 \quad , \quad (17)$$

cuja solução é

$$f(z) = B \exp(\pm \gamma^{1/2} z) \quad (18)$$

Constantes A e B são arbitrárias. Substituindo as eqs.(16) e (17) na eq.(9) obtem-se

$$T(z, \hat{t}) = C \exp(\gamma Dt) \exp(\pm \gamma^{1/2} z) \quad , \quad (19)$$

onde  $C = A B$ . A eq.(19) é solução da eq.(5). A condição de contorno dada pela eq.(7) exige que a solução seja senoidal em função do tempo. Na eq.(19) a variável tempo está no termo  $\exp(\gamma Dt)$ . A função exponencial pode ser expandida em uma série da forma

$$\exp(x) = \sum_0^{\infty} \frac{x^n}{n!} \quad , \quad (20)$$

Se  $x = iy$ , onde  $i^2 = -1$ ,

$$\exp(iy) = \sum_0^{\infty} \frac{(iy)^n}{n!} \quad , \quad (21)$$

Expandindo-se a eq.(21) tem-se

$$\exp(iy) = 1 + iy + \frac{(iy)^2}{2!} + \frac{(iy)^3}{3!} + \dots$$

$$\exp(iy) = 1 - \frac{y^2}{2!} + \frac{y^4}{4!} - \dots + i \left( y - \frac{y^3}{3!} + \frac{y^5}{5!} - \dots \right)$$

ou seja

$$\exp(iy) = \cos y + i \sin y \quad , \quad (22)$$

que é denominada Relação de Euler. Portanto, uma função exponencial pode ser substituída pelas funções seno e coseno

através da relação de Euler.

Para que na eq.(19)

$$\exp(\gamma Dt) = \cos(\omega t) + i \operatorname{sen}(\omega t)$$

deve-se fazer  $\gamma D = i\omega$ , ou seja  $\gamma = i\omega/D$ . Substituindo-se  $\gamma$  na eq.(19) tem-se

$$T(z, t) = C \exp(i\omega t) \exp\left(\frac{i\omega}{D} z\right)^{1/2} \quad (23)$$

É desejável eliminar-se  $i$  da eq.(23). Os números complexos podem ser expandidos na forma polar, isto é,

$$a + bi = R (\cos \theta + i \operatorname{sen} \theta) \quad , \quad (24)$$

onde  $R = (a^2 + b^2)^{1/2}$ ,  $\cos \theta = a/R$ , e  $\operatorname{sen} \theta = b/R$ .

Se  $a = 0$  e  $b = 1$  tem-se  $R=1$ , isto é,

$$a + bi = i = \cos \theta + i \operatorname{sen} \theta \quad .$$

Nesse caso  $\cos \theta = 0$ ,  $\operatorname{sen} \theta = 1$ , e portanto  $\theta = \pi/2$ , isto é,

$$i = \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) + i \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{2}\right) \quad .$$

Pela relação de Euler para  $y = \pi/2$  obtem-se

$$\exp\left(i\frac{\pi}{2}\right) = \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) + i \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{2}\right) = i$$

Evidentemente,

$$i^{1/2} = \exp\left(i\frac{\pi}{4}\right) = \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) + i \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right),$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{4}\right) = \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{4}\right) = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 2^{-1/2} \quad e$$

$$i^{1/2} = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{i}{\sqrt{2}} = (1 + i)/\sqrt{2}.$$

Substituindo-se  $i^{1/2}$  na eq.(23) obtem-se

$$T(z,t) = C \exp(i\omega t) \exp\left(\frac{1}{2}(1+i)\left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z\right) \quad (25)$$

Pela condição de contorno imposta pela eq.(7) tem-se que adicionar  $\bar{T}$  e eliminar o sinal positivo da exponencial na eq.(25) pois este acarretaria uma amplitude infinita para  $z = \infty$ . Eliminando-se o sinal positivo e expandindo a eq.(25) tem-se

$$T(z,t) = \bar{T} + C \exp(i\omega t) \exp\left(-\left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z - i\left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z\right),$$

$$T(z,t) = \bar{T} + C \exp(i\omega t) \exp\left(-\left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z\right) \exp\left(-i\left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z\right),$$

$$T(z,t) = \bar{T} + C \exp\left(-\left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z\right) \exp\left(i\left(\omega t - \left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z\right)\right) \quad (26)$$

Utilizando-se a relação de Euler, a eq.(26) resulta em

$$T(z,t) = \bar{T} + C \exp\left(-\left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z\right) \left\{ \cos\left(\omega t - \left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z\right) + i \sin\left(\omega t + \left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z\right) \right\} \quad (27)$$

Tanto a parte real como a parte imaginária da eq.(27) são soluções da eq.(5). Pelas condições de contorno assumidas a parte real da parte imaginária será a escolhida e portanto

$$T(z,t) = \bar{T} + T_0 \exp\left(-\left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z\right) \sin\left(\omega t - \left(\frac{w}{2D}\right)^{1/2} z\right) \quad (28)$$

é solução particular da eq.(5). A constante C foi substituída

por  $T_0$  para satisfazer a eq.(8). O termo  $(w/2D)^{1/2}$  na eq.(28) em dimensões de (comprimento)<sup>-1</sup>. Fazendo-se  $z_D = (2D/w)^{1/2}$  e substituindo-se na eq.(28) resulta em

$$T(z,t) = \bar{T} + T_0 \exp\left(-\frac{z}{z_D}\right) \operatorname{sen}\left(\omega t - \frac{z}{z_D}\right) , \quad (29)$$

onde  $z_D$  é chamado de profundidade de amortecimento.

Quando um tempo inicial  $t_0$  é introduzido na eq.(29) tem-se

$$T(z,t) = \bar{T} + T_0 \exp\left(-\frac{z}{z_D}\right) \operatorname{sen}\left(\omega t + \phi - \frac{z}{z_D}\right) , \quad (30)$$

onde  $\phi = -\omega t_0$  é denominado constante de fase e pode ser determinada no instante em que  $T(z,t)$  é máxima, isto é

$$\operatorname{sen}\left(\omega t + \phi - \frac{z}{z_D}\right) = 1$$

$$\omega t + \phi - \frac{z}{z_D} = \frac{\pi}{2} .$$

Para  $z = 0$  ,  $\omega t + \phi = \frac{\pi}{2}$  e  $\phi = \frac{\pi}{2} - \omega t$ . No caso de se considerar o período de um dia (24 horas)  $\omega = 2\pi/24$  e a hora de ocorrência da temperatura máxima é ao redor das 12 horas, o que resulta em  $\phi = -\pi/2$ . Substituindo-se  $\phi$  na eq.(30) obtém-se

$$T(z,t) = \bar{T} + T_0 \exp\left(-\frac{z}{z_D}\right) \operatorname{sen}\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \frac{z}{z_D}\right) . \quad (31)$$

Para que a eq.(31) possa ser utilizada  $\bar{T}$ ,  $T_0$  e  $z_D$  devem ser determinados através de dados experimentais. O termo  $T_0 \exp(-z/z_D)$  na eq.(31) é a equação da amplitude. Desde que a temperatura da superfície do solo é de difícil medida, a razão entre as amplitudes medidas em duas profundidades podem ser utilizadas para a determinação de  $z_D$ , através da equação da amplitude, isto é,

$$\frac{A_1}{A_2} = \exp\left(\frac{z_2 - z_1}{z_D}\right) ,$$



$$\text{ou } z_D = \frac{z_2 - z_1}{\ln(A_1/A_2)} \quad (32)$$

Conhecendo-se  $z_D$ , estimado através da eq.(32) e  $A_1$  por exemplo,  $T_0$  pode ser calculado através de

$$T_0 = A_1 \exp\left(\frac{z_1}{z_D}\right) \quad (33)$$

A difusividade térmica  $D$  pode também ser determinada após o conhecimento de  $z_D$  através de

$$D = \frac{z_D^2 w}{2} \quad (34)$$

Nota-se pela eq.(34) que a difusividade térmica do solo é proporcional ao quadrado da profundidade de amortecimento,  $z_D$ . A profundidade na qual a amplitude térmica é menor que  $0,1^\circ\text{C}$  denomina-se de camada de extinção,  $Z_E$ . Tal profundidade pode ser estimada através da eq.(33) fazendo-se  $Z_E = z_1$  e  $A_1 = 0.1$ , isto é,

$$Z_E = z_D \ln(10 T_0) \quad (35)$$

Através das equações 32, 33, 34 e 35 calcularam-se os valores diários de difusividade térmica ( $D$ ), das profundidades de amortecimento ( $z_D$ ) e das camadas de extinção ( $Z_E$ ), para o período de 01/6 a 31/7 de 1976 e de 15/4 a 24/5 de 1977. Esses valores são comparados graficamente, juntamente com valores diários de precipitação pluviométrica observados nos mesmos períodos, a fim de verificar efeitos destes na variação dos primeiros.

Para o período de maio de 1975 a maio de 1977, calcularam-se valores médios mensais de  $D$ ,  $z_D$  e  $Z_E$ , os quais são comparados graficamente, juntamente com dados mensais de precipitação pluviométrica no mesmo período, verificando suas variações estacionais:

Os valores de difusividade térmica, profundidade de amortecimento e camada de extinção, no presente trabalho, são apresentados nas unidades  $\text{cm}^2/\text{s}$ , cm, e cm respectivamente.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Solo

Os resultados da análise física para o solo onde foram obtidos os dados de temperatura estão na Tabela 1. Verifica-se tratar de solo bastante argiloso em todo o perfil, com uma camada adensada entre 20 e 40 cm de profundidade.

### 5.2 Relativos aos estudos comparativos entre temperatura do solo e do ar.

#### 5.2.1 Comparações entre valores de temperatura do solo obtidos por geotermômetros e tele-termôgrafos

Os valores diários de temperatura do solo, para as profundidades de 2, 5, 10, 20, 40 e 100 cm, obtidos pelos

tele-termôgrafos e geotermômetros, para os meses de janeiro, abril, julho e outubro de 1976, encontram-se nas Tabelas 2 a 5.

Esses valores foram correlacionados obtendo-se equações de regressão, cujos coeficientes são apresentados na Tabela 6. As Figuras 1 a 4 mostram a dispersão dos pontos em torno das respectivas retas de regressão.

A finalidade da determinação dessas correlações é estudar a possibilidade do uso de dados de temperatura do solo, obtidos em horários convencionais, em expressões simplificadas que permitam a estimativa de valores médios diários, próximos à chamada média real ou horária, para a região e solo em questão.

De acordo com as equações da Tabela 6 e das representações apresentadas nas figuras 1 a 4, nota-se que há uma alta correlação entre os valores. Os altos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), todos significativos a nível de 1%, e a dispersão dos pontos em torno das respectivas retas de regressão, mostram a possibilidade da utilização da expressão (2) para a estimativa dos valores médios diários da temperatura do solo, nas várias profundidades.

A Tabela 7 apresenta os valores médios mensais da temperatura do solo, obtidos pelos dois métodos, para o período de maio de 1975 a maio de 1977. A dispersão dos pontos em torno das respectivas retas de regressão estão representados na Figura 5.

Os coeficientes das equações de regressão, obtidos pelas correlações realizadas, estão na Tabela 8. Nota-se pelos elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ), todos significativos ao nível de 1% de probabilidade, e pela dispersão dos pontos, que é bastante estreita a relação entre os valores.

Isto mostra que é possível utilizar para a região e solo em estudo, os valores médios mensais de temperatura do solo, nas várias profundidades, obtidos pela expressão (2).

#### 5.2.2 Comparações entre temperaturas médias mensais do solo e do ar.

Uma vez estabelecida a possibilidade do uso da expressão (2) para a representação da média diária e mensal da temperatura do solo, às várias profundidades, procurou-se correlacionar este parâmetro com a temperatura do ar para um período de 10 anos, ou seja 1967 a 1976. As Tabelas 9 a 18 mostram os valores médios mensais e anuais da temperatura do solo para as profundidades de 2, 5, 10, 20, 40 e 100 centímetros, bem como os do ar, apresentados anualmente. As equações de regressão encontradas e os respectivos coeficientes de determinação, para cada profundidade, são apresentados na Tabela 19, enquanto as dispersões dos pontos em torno das respectivas retas de regressão são mostradas na Figura 6.

Através dos dados mensais de temperatura do solo e do ar apresentados nas Tabelas 9 e 18 obteve-se as médias mensais para o período dos 10 anos, valores estes apresentados na Tabela 20. Com esses dados efetuaram-se novas correlações entre as temperaturas. As equações representativas dessas análises, bem como os respectivos coeficientes de determinação se encontram na Tabela 21. A Figura 7 mostra as retas de regressão para as várias profundidades e a dispersões dos pontos.

Através dos elevados valores dos coeficientes de determinação, todos significativos a nível de 1%, nota-se a alta dependência entre a temperatura do solo a várias profundidades e a temperatura do ar.

Quando se comparam os coeficientes de determinação, mostrados nas Tabelas 19 e 21, verifica-se que são sensivelmente maiores aqueles correspondentes às correlações entre as médias dos valores mensais.

Comparando-se as diferenças entre os valores mensais da temperatura do solo em cada profundidade e da temperatura do ar, no período de 1967 a 1976, verifica-se que as

diferenças extremas ocorrem quando da comparação com os da profundidade de 2 cm. Esses valores extremos oscilaram entre  $0,2^{\circ}\text{C}$ , verificado no mês de junho de 1969 e de  $6,6^{\circ}\text{C}$  no mês de fevereiro de 1974, sendo as temperaturas do solo sempre maiores que as do ar. A Figura 8 apresenta a variação estacional dos valores mensais de temperatura do solo a 2 e 100 centímetros, e os da temperatura do ar, para o período estudado, caracterizando as diferenças acima citadas. Na mesma figura, são representados os totais mensais de precipitação pluvial, notando-se que as maiores diferenças térmicas entre solo e ar ocorreram em meses de grande disponibilidade de energia solar. Essas diferenças são tanto maiores quanto menor o total de precipitação verificado nesses meses.

Pelas Tabelas 9 a 18 e 20, nota-se que as diferenças entre os valores anuais da temperatura do solo e do ar, para as várias profundidades, oscilaram entre  $2,5^{\circ}$  e  $4,1^{\circ}\text{C}$ , enquanto que para os valores anuais do período 1967-1976, essa diferença é de aproximadamente  $3,2^{\circ}\text{C}$ , em qualquer profundidade.

Os resultados apresentados permitem concluir ser possível estabelecer equações de regressão entre temperatura do ar e do solo, para determinada região e tipo de solo, com a finalidade da estimativa de um parâmetro em função do outro.

Tabela 1. Principais características físicas do solo em estudo.

Profundidade (cm)	Granulometria %				Densidade g/cm <sup>3</sup>	
	Areia fina	Areia grossa	Limo	Argila	d <sub>ap</sub>	d <sub>r</sub>
0 - 20	12	26	1	61	1.2	2.5
20 - 40	10	18	3	69	1.4	2.9
40 - 60	12	16	0	72	1.1	2.9
60 - 80	8	17	4	71	1.1	2.9
80 -100	10	18	2	70	1.1	2.9

d<sub>ap</sub> = densidade aparente

d<sub>r</sub> = densidade real

Tabela 2. Valores diários de temperatura do solo a várias profundidades, obtidos através dos dados horários dos termôgrafos (FOX) e pela fórmula  $(T_7+T_{14}+T_{21})/3$  (MED), para o mês de janeiro de 1976. Centro Experimental Campinas.

Dia	Temperatura do solo, °C - Profundidades, cm											
	2		5		10		20		40		100	
	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED
01	-	-	25,9	27,3	25,7	26,6	24,4	25,4	25,0	25,0	-	-
02	21,7	22,2	24,2	22,7	-	-	24,0	24,4	25,4	25,0	24,0	25,4
03	24,1	24,5	24,9	24,7	25,3	24,4	23,5	23,6	25,2	24,3	24,6	25,4
04	24,1	25,3	26,0	25,4	25,4	24,9	23,8	24,1	25,0	24,2	24,9	25,4
05	25,5	26,5	26,7	26,0	25,6	25,6	24,7	24,9	25,0	24,7	25,0	25,2
06	26,6	25,6	26,7	26,0	26,5	25,4	25,3	24,9	25,3	24,9	25,0	25,0
07	25,2	25,3	24,7	25,2	25,5	25,0	24,7	24,2	25,0	24,8	24,9	25,0
08	23,4	23,4	24,5	23,7	23,3	24,1	24,0	24,1	24,8	24,5	24,3	25,1
09	25,9	26,1	26,1	25,9	25,8	25,6	24,9	25,0	25,0	24,8	24,3	25,0
10	24,1	24,0	24,7	24,4	24,6	24,6	25,2	24,9	25,0	24,8	25,0	25,2
11	25,5	26,2	25,6	25,9	25,5	25,7	25,0	24,8	25,0	24,9	25,0	25,2
12	25,3	25,5	25,9	25,8	25,8	25,8	24,4	25,3	25,3	25,1	25,0	25,3
13	26,1	27,6	26,8	27,6	26,5	26,9	25,4	25,8	25,5	25,2	25,0	25,3
14	30,6	31,4	30,0	31,0	29,8	29,9	27,2	27,5	25,7	25,8	25,0	25,0
15	30,3	30,9	30,7	31,1	30,3	30,9	28,9	29,2	26,5	27,4	25,0	25,4
16	30,4	31,2	30,7	31,1	29,8	30,9	29,6	29,7	27,7	27,9	25,0	25,1
17	29,3	31,6	30,9	31,5	30,9	30,7	29,3	29,7	28,0	28,3	25,0	25,8
18	30,4	31,5	30,3	31,4	30,5	31,1	29,2	29,4	27,8	28,1	25,0	26,1
19	29,9	31,3	30,9	31,5	30,8	31,3	29,8	29,7	28,0	28,2	26,3	26,0
20	31,3	30,6	30,5	30,3	29,7	29,5	29,3	29,2	28,8	28,4	27,0	26,6
21	23,0	22,9	23,8	23,7	23,9	23,9	26,0	25,8	27,5	27,4	26,6	26,6
22	21,3	21,3	21,9	21,8	22,5	22,3	23,9	23,6	26,0	25,9	26,5	26,7
23	24,4	25,1	24,9	25,2	24,0	24,6	23,2	23,8	24,8	24,8	26,7	26,6
24	30,2	30,3	28,8	29,6	28,1	28,7	26,3	26,3	25,7	25,5	26,5	26,7
25	27,1	26,7	27,1	26,9	27,2	27,3	26,6	27,1	26,1	26,4	26,5	26,4
26	27,4	28,5	27,5	28,1	27,0	27,0	26,6	26,8	25,9	26,1	26,4	26,2
27	26,7	27,3	26,3	27,2	26,3	26,5	25,1	25,1	25,6	25,8	26,7	26,2
28	25,6	25,6	26,4	25,9	26,0	26,0	25,6	25,8	26,0	25,8	26,6	26,2
29	25,4	25,5	24,5	25,1	24,5	24,5	24,7	24,6	25,5	25,5	26,2	26,1
30	24,3	24,1	25,1	24,9	25,2	25,2	25,2	25,2	25,5	25,1	26,0	26,1
31	27,9	28,3	27,8	28,1	27,7	27,2	25,8	25,6	25,3	25,2	25,6	26,0



Tabela 3. Valores diários de temperatura do solo a várias profundidades, obtidos através dos dados horários dos termôgrafos (FOX) e pela fórmula  $(T_7+T_{14}+T_{21})/3$  (MED), para o mês de abril de 1976. Centro Experimental Campinas.

Dia	Temperatura do solo, °C - Profundidades, cm											
	2		5		10		20		40		100	
	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED
01	26.4	27.5	27.5	27.6	25.7	26.9	25.1	26.0	24.6	24.9	24.8	25.4
02	27.5	28.9	28.4	28.5	26.4	27.7	25.7	26.9	25.1	25.8	24.9	25.4
03	24.5	25.1	26.4	25.6	25.1	25.8	25.7	25.5	26.5	26.0	25.2	25.4
04	27.4	28.0	29.1	27.9	26.1	27.3	25.6	25.8	26.8	25.3	25.6	25.6
05	29.0	29.0	30.7	28.9	28.0	28.3	27.3	26.9	27.2	26.1	26.3	25.6
06	28.5	27.4	29.8	27.9	28.2	28.0	28.1	27.0	27.5	26.5	26.5	25.7
07	-	-	29.1	29.3	27.8	28.5	27.7	27.3	26.8	26.5	-	-
08	28.3	27.6	28.1	27.3	26.4	27.6	26.2	26.4	26.6	26.4	25.3	26.1
09	24.2	22.2	25.5	23.2	23.9	24.4	25.1	25.0	27.0	26.3	26.2	26.0
10	23.1	21.7	24.4	22.3	22.5	23.0	23.7	23.9	26.7	25.6	26.5	26.2
11	22.3	22.6	23.8	22.5	22.2	22.5	23.3	22.9	25.7	24.5	26.5	26.0
12	19.7	19.3	21.5	19.9	21.2	20.1	22.8	21.2	24.9	23.7	25.9	25.6
13	18.9	18.8	20.5	19.1	20.8	19.3	22.0	20.1	23.5	22.3	25.2	25.6
14	19.4	19.4	20.7	19.7	19.8	19.6	20.5	20.0	22.6	21.8	25.0	25.4
15	23.3	23.6	24.0	23.3	21.7	22.9	20.9	21.8	22.0	21.8	25.0	25.0
16	24.3	24.5	-	-	-	-	23.0	22.8	22.9	22.6	25.0	24.6
17	23.1	23.2	24.8	23.3	23.6	23.5	23.8	22.9	24.0	23.2	25.0	24.6
18	23.8	26.4	25.8	25.8	24.3	24.9	24.1	23.8	24.1	23.2	24.9	24.4
19	25.3	26.2	27.0	25.6	25.1	25.3	24.6	24.4	24.9	23.8	24.9	24.6
20	26.3	27.8	27.5	26.9	25.7	26.3	25.0	24.1	25.0	24.2	25.0	24.6
21	26.5	27.3	27.9	27.2	25.4	27.0	25.0	25.4	25.3	24.7	25.0	24.8
22	24.8	25.2	27.3	25.0	24.6	25.4	25.0	24.9	26.2	24.9	24.9	24.8
23	19.1	18.3	21.8	19.0	24.6	20.2	24.6	21.8	26.3	24.3	25.0	25.0
24	19.3	20.3	21.4	20.7	20.5	20.9	21.7	20.9	24.0	23.0	25.0	25.0
25	21.5	23.5	22.8	23.3	22.2	23.0	22.2	21.9	22.6	22.5	25.0	25.1
26	23.5	24.3	23.9	23.9	23.5	23.8	23.3	23.3	22.6	22.9	25.0	24.8
27	22.7	22.7	23.4	22.1	23.1	23.1	23.1	22.9	23.5	23.1	25.0	24.6
28	20.7	20.4	21.7	20.9	20.7	21.1	21.7	21.3	23.9	22.9	24.8	24.6
29	22.8	24.1	25.0	23.9	22.5	23.5	22.2	22.5	23.4	22.6	23.9	24.6
30	23.1	23.5	24.8	23.6	23.3	23.6	23.0	23.0	23.9	22.9	23.5	24.6

Tabela 4. Valores diários de temperatura do solo a várias profundidades, obtidos através dos dados horários dos termôgrafos (FOX) e pela fórmula  $(T_7+T_{14}+T_{21})/3$  (MED), para o mês de julho de 1976. Centro Experimental Campinas.

Temperatura do solo, °C - Profundidades, cm												
Dia	2		5		10		20		40		100	
	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED
01	12.4	12.6	13.1	13.0	14.1	13.5	15.7	15.4	19.7	17.9	20.0	20.3
02	14.0	13.6	13.8	14.0	14.2	14.1	14.6	14.6	18.5	16.8	20.0	19.4
03	12.6	11.5	12.3	11.9	13.5	12.5	14.0	13.6	17.4	15.9	20.0	19.7
04	13.4	13.0	13.0	13.4	13.5	13.7	13.5	13.7	16.6	14.9	19.9	19.4
05	13.5	13.2	13.0	13.6	13.6	13.4	13.6	13.9	16.5	15.1	20.0	19.0
06	15.0	14.0	14.5	14.4	14.4	14.5	14.1	14.6	16.9	15.2	19.5	19.0
07	13.5	13.5	13.4	13.6	13.4	13.9	13.7	14.2	16.6	15.3	18.7	18.6
08	14.6	15.2	14.3	15.3	14.5	15.1	14.2	15.1	16.3	15.5	18.5	18.6
09	16.1	16.8	16.1	16.8	16.0	16.5	15.4	16.0	17.0	16.0	18.5	18.6
10	11.6	10.9	12.3	11.9	13.1	12.4	14.2	13.7	17.8	15.6	18.5	18.5
11	15.4	15.9	15.0	15.8	14.8	15.1	13.8	14.5	17.0	15.1	18.8	18.4
12	16.7	16.3	16.1	16.7	16.2	16.5	15.2	15.7	16.9	15.7	18.9	18.1
13	16.3	16.5	15.8	17.3	16.4	16.8	15.9	15.7	17.0	16.1	18.9	18.1
14	16.4	18.1	15.8	18.3	16.2	17.9	15.7	16.8	16.8	16.3	18.1	18.3
15	15.7	17.3	15.2	17.3	15.8	17.3	15.6	16.8	17.2	16.8	18.0	18.4
16	14.8	15.9	14.4	16.2	15.0	16.1	15.0	15.8	17.2	16.5	18.2	18.2
17	16.6	17.9	16.1	17.8	16.6	17.3	16.0	16.2	17.8	16.4	18.8	18.4
18	17.9	18.7	17.6	18.7	17.9	18.0	17.0	17.1	18.1	16.6	18.0	18.6
19	18.1	18.5	18.0	18.3	18.3	17.9	17.5	17.2	18.4	17.0	18.5	18.4
20	18.9	19.7	18.6	19.6	18.7	18.9	17.8	17.8	18.4	17.5	18.4	18.6
21	16.6	16.3	16.5	16.9	17.3	17.3	17.4	17.6	18.6	17.7	18.3	18.6
22	19.0	19.6	18.2	19.6	18.1	18.8	17.4	17.8	18.3	17.7	18.4	18.0
23	19.8	19.7	19.2	19.9	19.2	19.7	18.4	18.1	18.9	18.0	18.6	18.8
24	20.2	20.6	19.9	20.6	19.9	19.8	19.0	20.7	19.5	18.5	18.9	18.9
25	20.4	20.5	20.3	21.0	20.3	20.6	19.4	19.6	19.9	18.9	18.9	19.0
26	21.3	21.2	20.7	21.5	20.9	21.1	20.1	19.4	20.3	19.1	19.1	19
27	22.4	23.1	22.3	22.7	22.0	22.1	21.0	20.5	20.5	19.6	19.3	19.5
28	23.1	23.7	22.3	23.7	22.4	22.9	21.4	21.1	20.6	20.1	19.4	19.6
29	22.3	22.7	21.9	22.6	22.2	22.4	21.4	21.3	21.1	20.6	19.2	19.8
30	21.8	22.5	21.8	22.5	21.7	22.1	21.3	21.3	21.7	20.4	19.7	20.0
31	22.7	23.7	22.8	23.3	22.3	22.7	21.5	21.3	21.9	21.0	19.9	20.0

Tabela 5. Valores diários de temperatura do solo a várias profundidades, obtidos através dos dados horários dos termôgrafos (FOX) e pela fórmula  $(T_7+T_{14}+T_{21})/3$  (MED), para o mês de outubro de 1976. Centro Experimental Campinas.

Temperatura do solo, °C - Profundidades, cm												
Dia	2		5		10		20		40		100	
	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED
01	20.5	21.8	21.1	22.1	22.5	22.2	21.4	21.5	21.3	21.2	22.0	21.4
02	22.0	23.1	22.1	23.0	23.4	22.9	21.4	21.5	21.8	21.0	22.0	21.0
03	23.9	24.9	23.9	24.5	24.5	24.3	22.1	22.7	21.9	21.5	22.2	21.4
04	27.4	27.6	26.9	26.7	26.7	26.7	23.8	23.7	22.7	22.0	22.8	21.6
05	19.8	18.2	19.8	19.0	22.6	20.5	22.9	21.7	23.9	22.8	23.0	21.6
06	20.9	21.3	20.6	21.3	22.3	21.7	21.1	21.3	22.3	21.5	22.7	22.0
07	22.5	23.4	22.4	23.3	23.1	23.1	21.2	21.5	21.8	21.3	22.7	21.8
08	25.9	26.1	26.0	25.3	25.6	25.1	23.3	23.4	22.7	21.9	23.0	22.0
09	18.9	18.1	19.0	18.5	21.4	19.2	22.1	20.5	23.4	22.4	23.0	22.0
10	20.1	20.5	19.9	20.1	21.2	20.0	20.4	19.8	21.8	20.7	23.0	22.0
11	20.5	21.7	21.2	21.5	21.9	21.6	20.9	20.9	21.6	21.0	23.0	22.0
12	22.3	24.4	22.4	23.9	23.1	23.0	21.3	21.9	21.7	21.5	23.0	22.0
13	25.4	26.3	24.7	25.9	24.9	25.2	22.4	23.4	21.9	21.9	22.5	21.8
14	27.6	28.5	27.3	27.9	27.2	27.5	24.3	25.4	23.0	22.9	22.6	21.8
15	28.4	28.3	28.3	28.2	28.3	28.3	26.0	26.7	24.3	24.2	23.0	22.0
16	30.2	30.0	29.8	29.5	29.9	28.9	27.1	27.0	25.2	24.9	23.4	22.0
17	29.1	28.5	28.4	27.9	29.4	28.0	27.8	27.3	26.4	25.4	23.9	22.6
18	23.7	22.5	24.0	22.9	26.0	23.6	26.0	24.4	26.1	25.1	24.0	23.0
19	21.1	20.2	21.2	20.8	23.3	21.7	23.8	22.3	24.8	24.0	24.0	23.2
20	18.1	18.1	18.4	18.6	20.8	19.4	21.5	20.4	23.1	22.6	23.9	23.4
21	18.0	19.6	18.1	19.4	20.2	19.7	20.1	19.8	22.1	21.7	23.5	23.4
22	21.5	22.5	21.6	22.1	22.3	22.0	20.5	21.0	21.9	21.1	23.7	23.2
23	24.1	24.3	24.1	24.1	24.2	24.1	22.1	22.8	22.4	21.9	23.8	23.0
24	21.7	21.9	21.9	22.1	23.2	22.5	22.6	22.5	23.1	22.5	23.7	22.6
25	23.8	23.7	23.6	23.7	24.1	23.4	22.3	21.9	22.6	22.1	23.8	22.8
26	21.2	20.2	20.6	20.6	22.9	21.3	22.4	21.7	22.8	22.2	24.0	22.6
27	22.7	22.7	22.5	22.6	23.5	22.3	22.0	22.0	22.2	22.0	23.6	22.8
28	23.2	24.3	23.3	23.9	23.9	23.7	22.3	23.0	22.2	22.3	23.2	22.6
29	24.9	26.1	24.7	26.1	25.2	25.7	23.2	24.1	22.9	22.8	23.6	22.6
30	27.2	28.4	26.9	27.8	27.0	27.3	24.4	24.9	23.5	23.3	23.5	22.6
31	25.6	26.6	25.8	26.4	26.9	26.1	25.4	24.8	24.6	24.2	23.7	22.7

Tabela 6. Valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  das equações de regressão  $Y = a+bX$ , onde  $\bar{X}$  representa os valores médios diários de temperatura do solo, a varias profundidades, obtidas através dos dados horários do termógrafo e  $Y$  os obtidos pela fórmula  $(T_7+T_{14}+T_{21})/3$ , com os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para os meses de janeiro, abril, julho e outubro de 1976.

Prof.	Janeiro			Abril		
	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$
2	-1,166	1,061	0,95**	-0,234	1,024	0,90**
5	-2,917	1,114	0,96**	-1,026	1,026	0,93**
10	-1,147	1,046	0,96**	-2,241	1,110	0,93**
20	0,423	0,988	0,97**	-0,939	1,027	0,88**
40	-3,315	1,124	0,94**	2,289	0,878	0,87**
100	10,333	0,604	0,78**	10,493	0,582	0,56**
	Julho			Outubro		
2	-0,997	1,076	0,97**	0,382	0,999	0,93**
5	0,101	1,034	0,96**	0,912	0,974	0,95**
10	-1,781	1,026	0,97**	-2,196	1,063	0,92**
20	1,383	0,929	0,96**	1,035	0,951	0,86**
40	-2,228	1,059	0,94**	1,203	0,965	0,93**
100	4,170	0,777	0,63**	0,190	0,952	0,80**

Tabela 7. Valores médios mensais de temperatura do solo a várias profundidades, obtidos através de dados horários dos termôgrafos (FOX) e pela fórmula  $(T_7+T_{14}+T_{21})/3$  (MED), para o período de maio/75 a maio/77. Centro Experimental Campinas.

Mês	Temperatura do solo, °C - Profundidades, cm											
	2		5		10		20		40		100	
	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED	FOX	MED
Mai/75	21.4	21.9	20.8	22.1	22.2		21.7	21.7	23.6	22.4	24.4	24.2
Jun	19.7	20.9	19.5	20.9	20.3	20.8	19.6	20.0	20.9	20.7	22.2	22.2
Jul	18.4	18.4	18.2	18.5	18.1	18.3	17.5	17.9	18.8	18.4	20.8	20.4
Ago	24.6	25.5	25.8	25.3	25.4	24.9	24.2	23.6	24.1	23.1	22.4	22.4
Set	25.5	26.6	26.9	26.4	26.7	26.2	24.9	25.3	25.5	25.2	24.7	24.6
Out	23.1	24.3	24.7	24.4	22.9	22.4	21.7	21.9	23.8	23.3	23.7	23.6
Nov	24.8	24.5	24.5	24.1	24.8	24.6	23.5	23.8	24.5	23.8	24.1	24.5
Dez	27.7	27.8	27.5	27.4	27.1	26.9	25.7	26.3	26.1	25.9	24.8	25.3
Jan/76	26.4	26.9	26.8	26.9	26.7	26.7	25.9	26.0	25.9	25.8	25.5	25.7
Fev	25.7	25.8	26.0	26.0	25.7	25.6	25.2	25.1	25.4	25.3	25.9	25.8
Mar	26.0	26.4	26.8	26.6	25.9	26.3	25.9	25.6	26.0	25.7	26.2	26.1
Abr	23.8	24.1	25.3	24.3	24.0	24.3	24.1	23.8	24.9	24.1	25.2	25.2
Mai	19.8	19.8	21.1	20.0	20.0	20.1	20.3	20.0	21.9	20.9	23.2	23.1
Jun	17.6	17.9	17.4	18.2	17.7	18.0	17.7	17.7	19.3	18.3	20.5	20.3
Jul	17.2	17.5	16.9	17.7	17.2	17.4	16.8	17.0	18.4	17.2	19.0	18.9
Ago	19.7	20.5	19.7	20.4	19.9	20.4	19.5	19.6	20.4	19.6	20.0	20.6
Set	20.4	20.8	20.3	20.6	20.9	20.9	20.3	20.3	21.1	20.4	21.2	21.0
Out	23.3	23.7	23.2	23.6	24.2	23.6	22.8	22.8	23.0	22.4	23.2	22.3
Nov	27.1	27.9	27.0	27.6	27.9	27.5	26.4	26.4	26.1	25.8	25.3	24.7
Dez	25.2	26.3	25.5	26.0	24.9	25.7	23.4	25.2	25.6	25.2	26.0	25.3
Jan/77	26.9	27.6	27.5	27.3	25.7	27.4	24.0	26.6	26.7	26.3	26.6	25.8
Fev	32.6	31.9	32.2	31.4	30.0	31.5	27.7	30.2	29.2	29.6	28.2	27.8
Mar	28.8	28.9	29.4	28.7	28.1	29.0	26.5	28.4	28.7	28.8	29.0	28.6
Abr	23.3	23.4	24.2	23.1	24.3	23.4	22.1	23.0	24.6	23.7	26.5	25.5
Mai	22.2	22.0	22.8	22.2	23.1	22.5	20.7	21.9	23.4	22.5	25.1	24.2

Tabela 8. Valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  das equações de regressão  $Y = a+bX$ , onde  $X$  representa os valores médios mensais de temperatura do solo, para várias profundidades, obtidos através dos dados horários dos termôgrafos e  $Y$  os obtidos pela fórmula  $(T_7+T_{14}+T_{21})/3$ , com os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para o período de maio 1975 a maio de 1977.

Profundidade (cm)	a	b	$R^2$
2	0,965	0,976	0,98**
5	2,415	0,899	0,97**
10	-0,333	1,019	0,97**
20	-1,289	1,078	0,94**
40	-2,760	1,093	0,99**
100	1,180	0,942	0,97**

\*\* Significativo ao nível de 1%

Tabela 9. Valores médios mensais e anual de temperatura do solo e do ar para o ano de 1967. Centro Experimental Campinas.

Meses	Temperatura do solo - °C						Temp. do ar oC
	Profundidades - cm						
	2	5	10	20	40	100	
Jan ...	25.4	25.2	25.3	25.2	25.4	25.4	22.3
Fev ...	25.8	25.8	26.0	25.5	25.5	25.4	22.8
Mar ...	26.0	26.0	26.1	26.1	26.3	26.1	22.4
Abr ...	24.6	24.7	24.9	25.2	25.8	26.0	21.1
Mai ...	22.4	22.2	23.0	23.2	23.6	24.4	19.6
Jun ...	18.3	18.4	19.0	19.3	20.1	21.9	17.4
Jul ...	18.4	18.5	18.9	19.1	19.6	20.8	17.2
Ago ...	22.9	22.5	22.7	22.5	22.2	21.7	20.6
Set ...	22.8	22.7	22.8	22.7	22.9	22.9	20.6
Out ...	25.1	24.8	24.8	24.5	24.6	24.3	22.5
Nov ...	24.6	24.5	24.7	24.4	24.5	24.3	21.7
Dez ...	23.3	23.3	23.4	23.3	23.5	23.9	20.7
ANO ...	23.3	23.2	23.5	23.4	23.7	23.9	20.7

Tabela 10. Valores médios mensais e anual de temperatura do solo e do ar para o ano de 1968. Centro Experimental Campinas.

Meses	Temperatura do solo - °C						Temp. do ar °C
	Profundidades - cm						
	2	5	10	20	40	100	
Jan ...	25.4	25.2	25.3	25.0	24.7	24.5	22.1
Fev ...	26.3	26.2	26.6	26.3	26.6	26.1	21.7
Mar ...	25.3	25.3	25.5	25.3	25.5	25.4	22.3
Abr ...	21.4	21.6	22.3	22.7	23.5	24.9	18.9
Mai ...	18.1	18.2	19.1	19.4	20.2	22.1	16.2
Jun ...	18.3	18.3	19.0	19.2	19.8	21.0	16.7
Jul ...	18.4	18.3	18.8	18.9	19.3	20.2	16.7
Ago ...	19.2	19.1	19.5	19.6	19.9	20.4	17.4
Set ...	22.1	22.1	22.2	22.0	21.9	21.5	19.7
Out ...	24.5	24.4	24.3	24.0	24.0	23.4	21.1
Nov ...	28.0	27.9	27.9	27.3	27.2	25.5	23.4
Dez ...	27.4	27.2	27.2	26.9	26.7	26.1	23.5
ANO ...	22.9	22.8	23.1	23.0	23.3	23.4	20.0



Tabela 11. Valores médios mensais e anual de temperatura do solo e do ar para o ano de 1969. Centro Experimental Campinas.

Meses	Temperatura do solo - °C						Temp. do ar °C
	Profundidades - cm						
	2	5	10	20	40	100	
Jan ...	27.5	27.6	27.9	27.7	27.5	26.9	23.9
Fev ...	27.8	27.6	27.8	27.4	27.5	27.1	24.4
Mar ...	27.1	27.1	27.5	27.3	27.5	27.3	23.5
Abr ...	23.4	23.7	24.2	24.4	25.0	25.9	20,7
Mai ...	21.5	21.5	22.1	22.4	23.0	24.2	19.3
Jun ...	18.5	18.6	19.1	19.5	20.2	22.0	18.3
Jul ...	19.6	19.5	19.9	20.1	20.5	21.3	17.8
Ago ...	20.6	20.6	21.0	21.0	21.2	21.5	19.3
Set ...	23.8	23.7	23.7	23.5	23.4	23,0	21.9
Out ...	22.5	22.4	22.4	22.3	22.4	22.8	19.6
Nov ...	24.1	24.0	24.1	23.9	24.0	23.9	21.8
Dez ...	25.5	25.3	25.3	25.0	25.0	24.7	21.4
ANO ...	23.5	23.5	23.8	23.7	23.9	24.2	21.0

Tabela 12. Valores médios mensais e anual de temperatura do solo e do ar para o ano de 1970. Centro Experimental Campinas.

Meses	Temperatura do solo - °C						Temp. do ar °C
	Profundidades - cm						
	2	5	10.	20	40	100	
Jan ...	26.5	26.2	26.2	25.9	25.6	25.3	22.7
Fev ...	25.3	25.1	25.1	25.0	25.3	25.7	22.5
Mar ...	25.6	25.5	25.6	25.3	25.4	25.4	23.2
Abr ...	24.1	24.0	24.4	24.4	24.7	25.2	21.1
Mai ...	21.3	21.3	21.8	22.1	22.7	24.0	19.9
Jun ...	19.7	19.7	20.1	20.5	21.2	22.7	18.8
Jul ...	18.8	18.5	18.9	19.1	19.6	20.9	17.3
Ago ...	20.2	20.2	20.4	20.6	21.1	21.7	17.9
Set ...	20.6	20.5	20.6	20.4	20.4	20.9	19.2
Out ...	23.9	23.8	23.8	23.5	23.3	22.9	20.6
Nov ...	25.4	25.2	25.0	24.9	24.7	24.4	20.5
Dez ...	27.7	27.5	27.1	26.6	26.2	25.2	23.7
ANO ...	23.3	23.1	23.2	23.2	23.3	23.7	20.6

Tabela 13. Valores médios mensais e anual de temperatura do solo e do ar para o ano de 1971. Centro Experimental Campinas.

Meses	Temperatura do solo - °C						Temp. do ar °C
	Profundidades - cm						
	2	5	10	20	40	100	
Jan ...	30.3	29.7	29.3	28.7	28.0	26.5	24.3
Fev ...	29.0	29.0	28.9	28.6	28.7	27.9	24.2
Mar ...	26.7	26.7	26.5	26.3	26.5	26.8	23.5
Abr ...	24.0	23.9	23.9	23.8	24.3	25.6	20.6
Mai ...	21.0	21.0	20.9	20.8	21.6	23.1	18.1
Jun ...	18.2	18.4	18.4	18.4	19.0	20.4	16.6
Jul ...	19.6	19.8	19.6	19.3	19.6	19.9	17.3
Ago ...	22.9	22.5	22.1	21.8	21.6	21.3	18.9
Set ...	23.5	23.1	23.1	22.8	22.7	22.4	19.9
Out ...	24.5	23.9	23.7	23.3	23.1	23.0	20.1
Nov ...	26.1	25.4	25.2	25.0	24.9	24.5	20.4
Dez ...	26.2	25.6	25.4	25.2	25.3	24.6	22.0
ANO ...	24.3	24.1	23.9	23.7	23.8	23.8	20.5

Tabela 14. Valores médios mensais e anual de temperatura do solo e do ar para o ano de 1972. Centro Experimental Campinas.

Meses	Temperatura do solo - °C						Temp. do ar °C
	Profundidades - cm						
	2	5	10	20	40	100	
Jan ...	26.1	25.7	25.4	25.2	25.2	25.0	22.6
Fev ...	25.2	25.0	25.0	25.0	25.1	25.1	22.0
Mar ...	28.8	28.1	27.7	27.2	26.9	26.1	23.3
Abr ...	24.4	24.1	24.0	24.0	24.5	25.2	19.5
Mai ...	22.9	22.6	22.7	22.5	22.8	23.4	19.4
Jun ...	21.1	20.9	20.7	20.4	20.8	21.8	18.4
Jul ...	18.8	18.6	18.5	18.6	19.1	20.4	17.1
Ago ...	20.5	20.2	20.1	20.0	20.0	20.4	18.5
Set ...	23.3	22.8	22.7	22.5	22.3	21.8	20.0
Out ...	24.7	23.9	23.9	23.4	22.9	22.3	21.2
Nov ...	25.6	25.0	24.7	24.7	24.5	24.2	22.0
Dez ...	27.9	27.3	27.2	26.9	26.6	25.4	22.9
ANO ...	24.1	23.7	23.5	23.4	23.4	23.4	20.6

Tabela 15. Valores médios mensais e anual de temperatura do solo e do ar para o ano de 1973. Centro Experimental Campinas.

Meses	Temperatura do solo - °C						Temp. do ar °C
	Profundidades - cm						
	2	5	10	20	40	100	
Jan ...	28.9	28.2	28.0	27.5	27.1	26.3	23.8
Fev ...	30.5	29.6	29.2	28.6	28.0	27.1	24.6
Mar ...	27.7	27.4	27.8	27.9	28.0	27.2	22.6
Abr ...	25.6	25.4	25.7	25.9	25.8	26.0	23.3
Mai ...	20.2	20.6	21.2	21.9	22.4	24.1	18.8
Jun ...	19.4	19.8	20.3	20.9	21.2	22.5	18.7
Jul ...	18.8	19.1	19.3	19.8	20.0	21.2	17.9
Ago ...	20.0	20.2	20.1	20.5	20.1	20.7	18.3
Set ...	21.6	21.6	21.7	21.9	21.4	21.5	19.3
Out ...	24.6	24.5	24.4	24.3	23.6	22.9	20.4
Nov ...	26.7	25.8	25.6	25.3	24.6	23.8	21.0
Dez ...	26.8	26.5	26.2	26.2	25.8	24.9	22.6
ANO ...	24.2	24.1	24.1	24.2	24.0	24.0	20.9

Tabela 16. Valores médios mensais anual de temperatura do solo e do ar para o ano de 1974. Centro Experimental Campinas.

Meses	Temperatura do solo - °C						Temp. do ar °C
	Profundidades - cm						
	2	5	10	20	40	100	
Jan ...	26.0	25.7	25.6	25.6	25.2	25.1	22.5
Fev ...	31.0	30.5	30.0	29.2	28.0	26.5	24.4
Mar ...	26.8	26.3	26.4	26.5	26.3	26.3	22.9
Abr ...	23.8	23.8	24.1	24.4	24.4	25.2	20.4
Mai ...	22.2	22.3	22.6	21.6	22.1	23.3	18.2
Jun ...	17.8	18.2	18.2	18.0	19.2	21.6	16.5
Jul ...	21.1	21.2	21.0	19.7	19.7	20.5	18.0
Ago ...	22.6	22.6	22.4	21.3	21.3	21.9	18.4
Set ...	26.6	26.4	26.3	24.9	24.7	23.9	21.1
Out ...	24.3	24.3	24.3	23.5	23.7	24.2	20.4
Nov ...	27.3	27.1	26.7	25.8	25.4	25.1	21.9
Dez ...	24.8	24.8	24.6	23.9	24.2	25.0	21.3
ANO ...	24.6	24.4	24.3	23.7	23.7	24.0	20.5

Tabela 17. Valores médios mensais e anual de temperatura do solo e do ar para o ano de 1975. Centro Experimental Campinas.

Meses	Temperatura do solo - °C						Temp. do ar °C
	Profundidades - cm						
	2	5	10	20	40	100	
Jan ...	27.2	27.3	27.0	26.1	25.7	25.3	22.2
Fev ...	27.3	27.4	27.0	26.2	26.5	26.5	23.2
Mar ...	28.8	29.0	29.0	28.0	27.8	27.4	23.4
Abr ...	24.5	24.5	24.7	24.0	24.3	25.6	20.1
Mai ...	21.9	22.1	22.1	21.7	22.4	24.2	17.9
Jun ...	20.9	20.9	20.8	20.0	20.7	22.2	17.5
Jul ...	18.4	18.5	18.3	17.9	18.4	20.4	15.7
Ago ...	25.5	25.3	24.9	23.6	23.1	22.4	21.3
Set ...	26.6	26.4	26.2	25.3	25.2	24.6	21.5
Out ...	24.3	24.4	22.4	21.9	23.3	23.6	21.0
Nov ...	24.5	24.1	24.6	23.8	23.8	24.5	21.2
Dez ...	27.8	27.4	26.9	26.3	25.9	25.3	23.1
ANO ...	24.8	24.8	24.5	23.7	23.9	24.3	20.7

Tabela 18. Valores médios mensais e anual de temperatura do solo e do ar para o ano de 1976. Centro Experimental Campinas.

Meses	Temperatura do solo - °C						Temp. do ar °C
	Profundidades - cm						
	2	5	10	20	40	100	
Jan ...	26.9	26.9	26.7	26.0	25.8	25.7	23.1
Fev ...	25.8	26.0	25.6	25.1	25.3	25.8	21.6
Mar ...	26.4	26.6	26.3	25.6	25.7	26.1	22.5
Abr ...	24.1	24.3	24.3	23.8	24.1	25.2	20.4
Mai ...	19.8	20.0	20.1	20.0	20.9	23.1	17.8
Jun ...	17.9	18.2	18.0	17.7	18.3	20.3	16.5
Jul ...	17.5	17.7	17.4	17.0	17.2	18.9	16.1
Ago ...	20.5	20.4	20.4	19.6	19.6	20.6	18.3
Set ...	20.8	20.6	20.9	20.3	20.4	21.0	18.3
Out ...	23.7	23.6	23.6	22.8	22.4	22.3	19.7
Nov ...	27.9	27.6	27.5	26.4	25.8	24.7	21.8
Dez ...	26.3	26.0	25.7	25.2	25.2	25.3	22.1
ANO ...	23.1	23.2	23.0	22.5	22.6	23.3	19.9



Tabela 19. Valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  das equações de regressão  $Y = a+bX$ , onde  $X$  representa os valores médios mensais de temperatura do ar e  $Y$  a do solo, a várias profundidades, com os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para o período de 1967 a 1976.

Profundidade (cm)	a	b	$R^2$
2	-4,568	1,379	0,91**
5	-3,652	1,330	0,91**
10	-2,536	1,277	0,91**
20	-1,169	1,225	0,93**
40	0,618	1,117	0,91**
100	7,252	0,807	0,75**

\*\*Significativo ao nível de 1%

Tabela 20. Valores médios mensais e anual de temperatura do solo e do ar, correspondentes a um período de 10 anos (1967/76). Centro Experimental Campinas.

Meses	Temperatura do solo - °C						Temp. do ar °C
	Profundidades - cm						
Jan ...	26.9	26.8	26.7	26.3	26.0	25.6	22.9
Fev ...	27.8	27.6	27.5	27.0	26.9	26.4	23.1
Mar ...	27.0	26.9	27.0	26.7	26.8	26.6	23.0
Abr ...	23.9	23.9	24.2	24.1	24.6	25.5	20.6
Mai ...	21.1	21.3	21.6	21.6	22.2	23.6	18.5
Jun ...	18.8	19.1	19.4	19.4	20.1	21.6	17.5
Jul ...	18.9	19.0	19.1	19.0	19.3	20.5	17.1
Ago ...	21.5	21.4	21.4	21.1	21.0	21.3	18.9
Set ...	23.2	23.0	23.0	22.6	22.5	22.5	20.2
Out ...	24.2	24.0	23.8	23.4	23.3	23.2	20.7
Nov ...	26.0	25.7	25.6	25.3	24.9	24.5	21.5
Dez ...	26.3	26.1	25.9	25.6	25.4	25.0	22.3
ANO ...	23.8	23.7	23.8	23.5	23.6	23.8	20.5

Tabela 21. Valores dos coeficientes a e b das equações de regressão  $Y = a + bX$ , onde  $\bar{X}$  representa a média dos valores mensais de temperatura do ar, e  $\bar{Y}$  a do solo, a várias profundidades, com os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para o período de 1967 a 1976.

Profundidade (cm)	a	b	$R^2$
2	-6,235	1,463	0,99**
5	-5,031	1,401	0,99**
10	-3,949	1,350	0,99**
20	-3,013	1,292	0,98**
40	-0,646	1,180	0,95**
100	6,061	0,867	0,81**

\*\*Significativo ao nível de 1%.

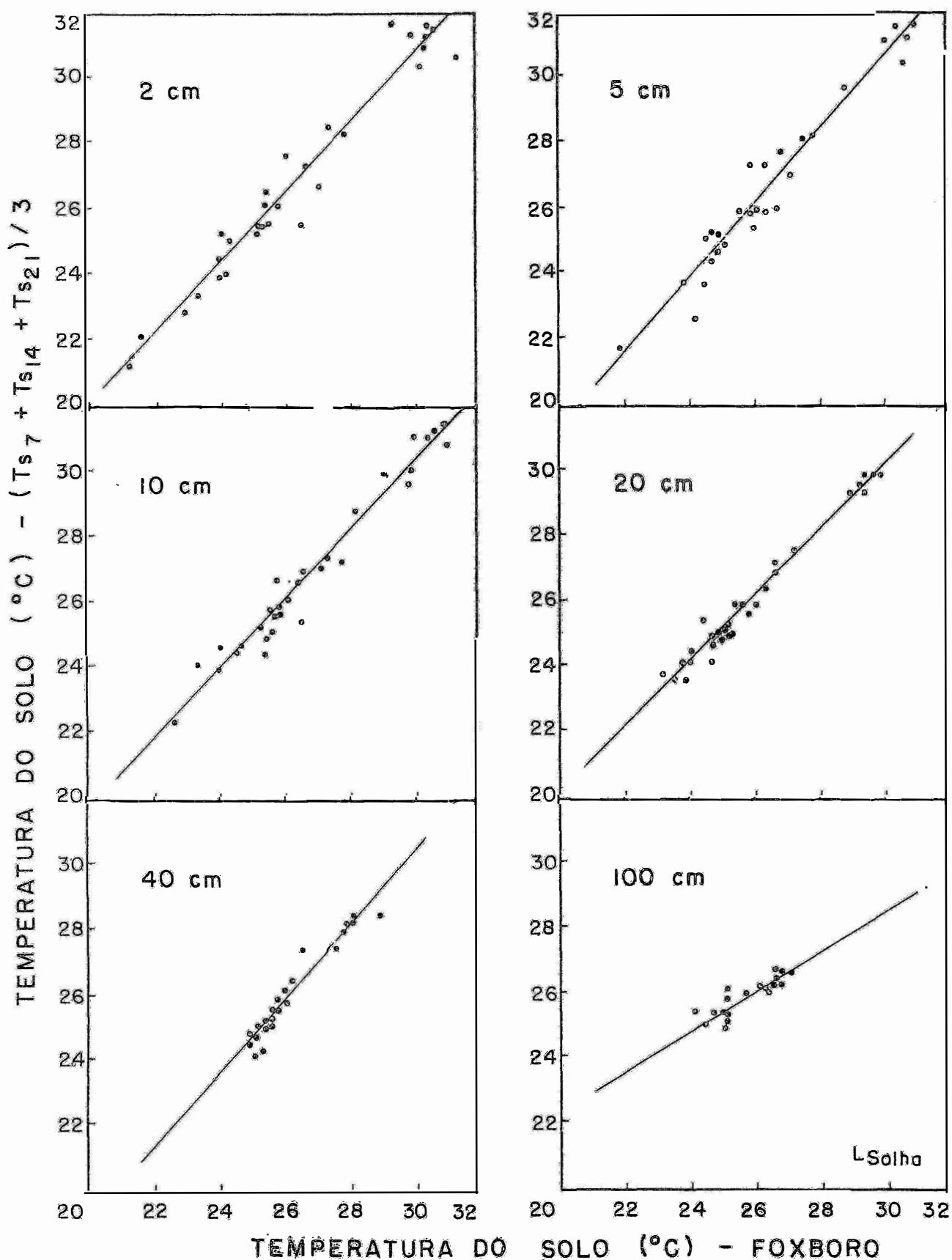


FIGURA 1. Relações entre valores médios diários de temperatura do solo obtidos pela fórmula  $(Ts_7 + Ts_{14} + Ts_{21}) / 3$  e pelo geotermôgrafo (FOXBORO), a várias profundidades, para o mês de janeiro de 1976. Centro Experimental, de Campinas.

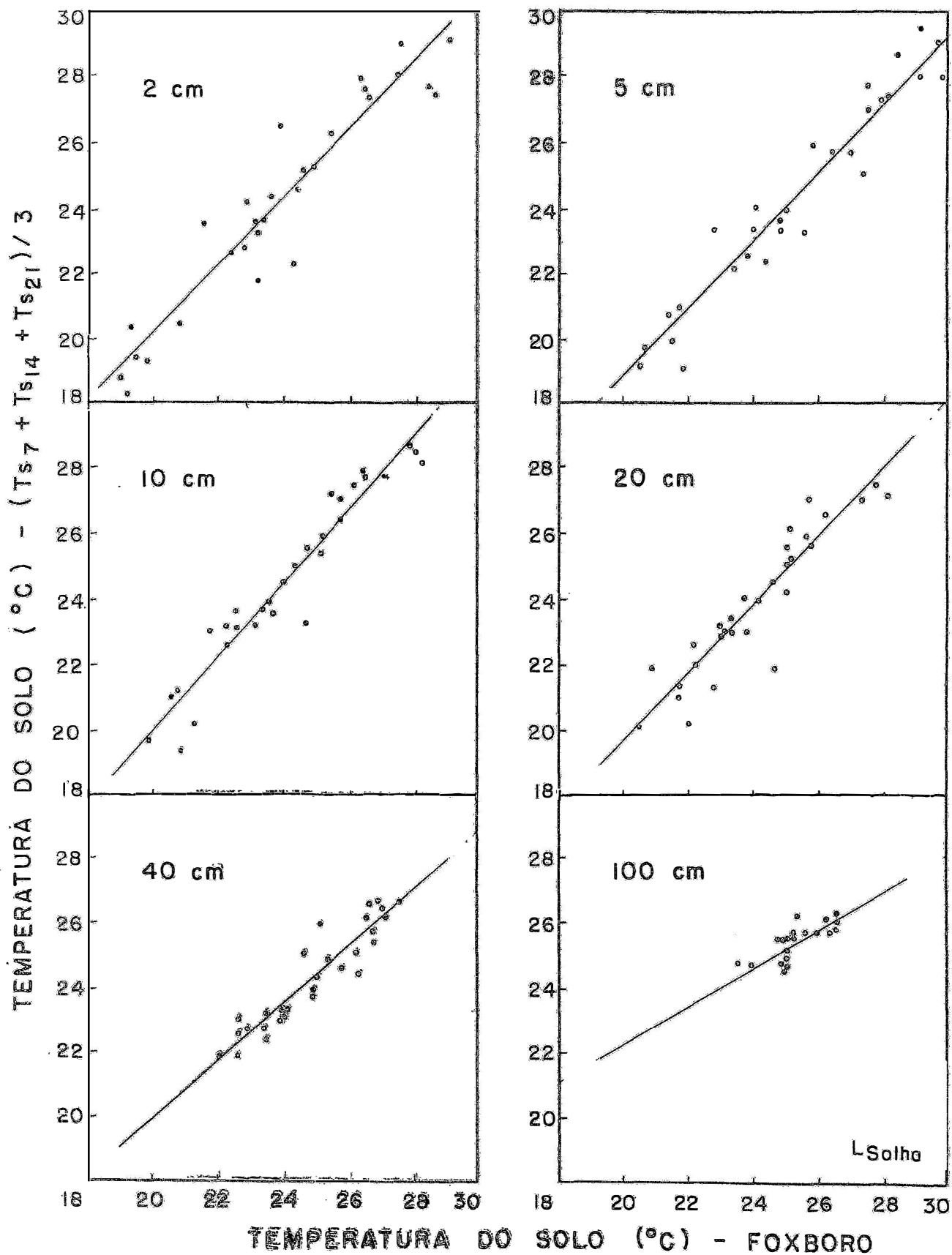


FIGURA 2. Relações entre valores médios diários de temperatura do solo obtidos pela fórmula  $(Ts_7 + Ts_{14} + Ts_{21}) / 3$  e pelo geotermôgrafo (FOXBORO), a várias profundidades, para o mês de abril de 1976. Centro Experimental de Campinas.

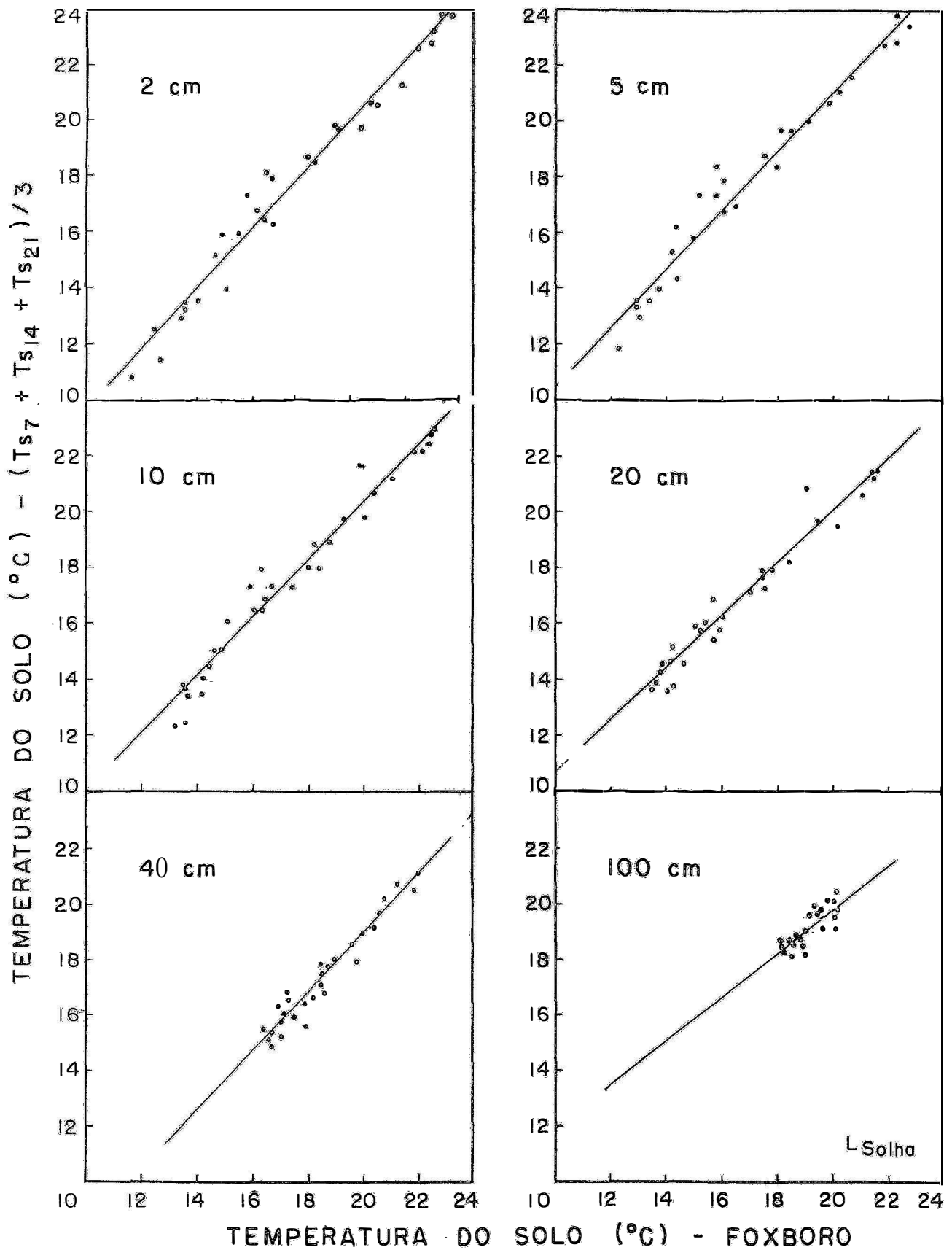


FIGURA 3. Relações entre valores médios diários de temperatura de solo obtidos pela fórmula  $(Ts_7 + Ts_{14} + Ts_{21}) / 3$  e pelo geotermôgrafo (FOXBORO), a várias profundidades, para o mês julho de 1976. Centro Experimental de Campinas.

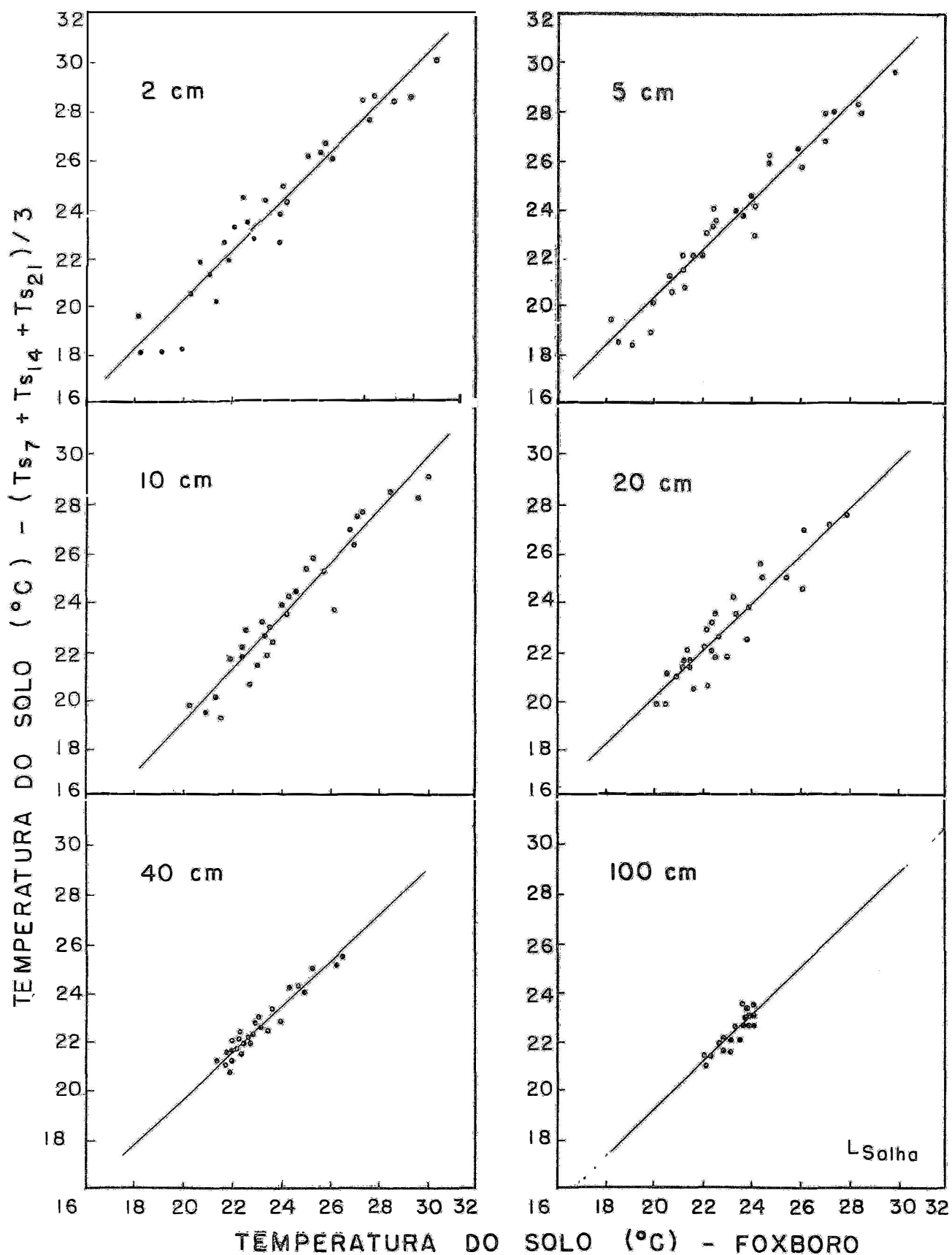


FIGURA 4. Relações entre valores médios diários de temperatura do solo obtidos pela fórmula  $(Ts_7 + Ts_{14} + Ts_{21}) / 3$  e pelo geotermôgrafo (FOXBORO), a várias profundidades; para o mês de outubro de 1976. Centro Experimental de Campinas.

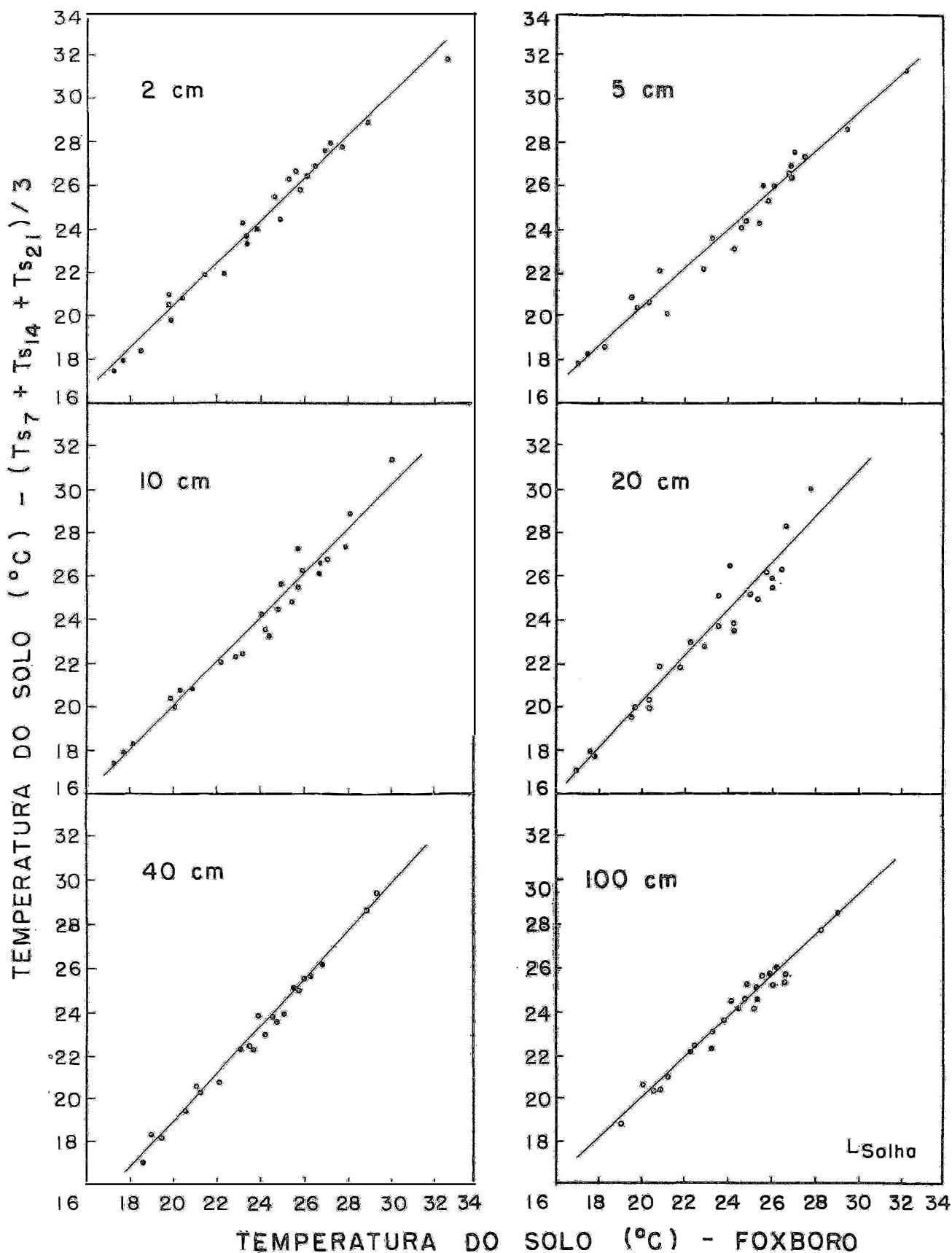


FIGURA 5. Relações entre valores médios mensais de temperatura do solo obtidos pela fórmula  $(Ts_7 + Ts_{14} + Ts_{21}) / 3$  e pelo geotermógrafo (FOXBORO), a várias profundidades, para o período de maio de 1975 a maio de 1977. Centro Experimental de Campinas.



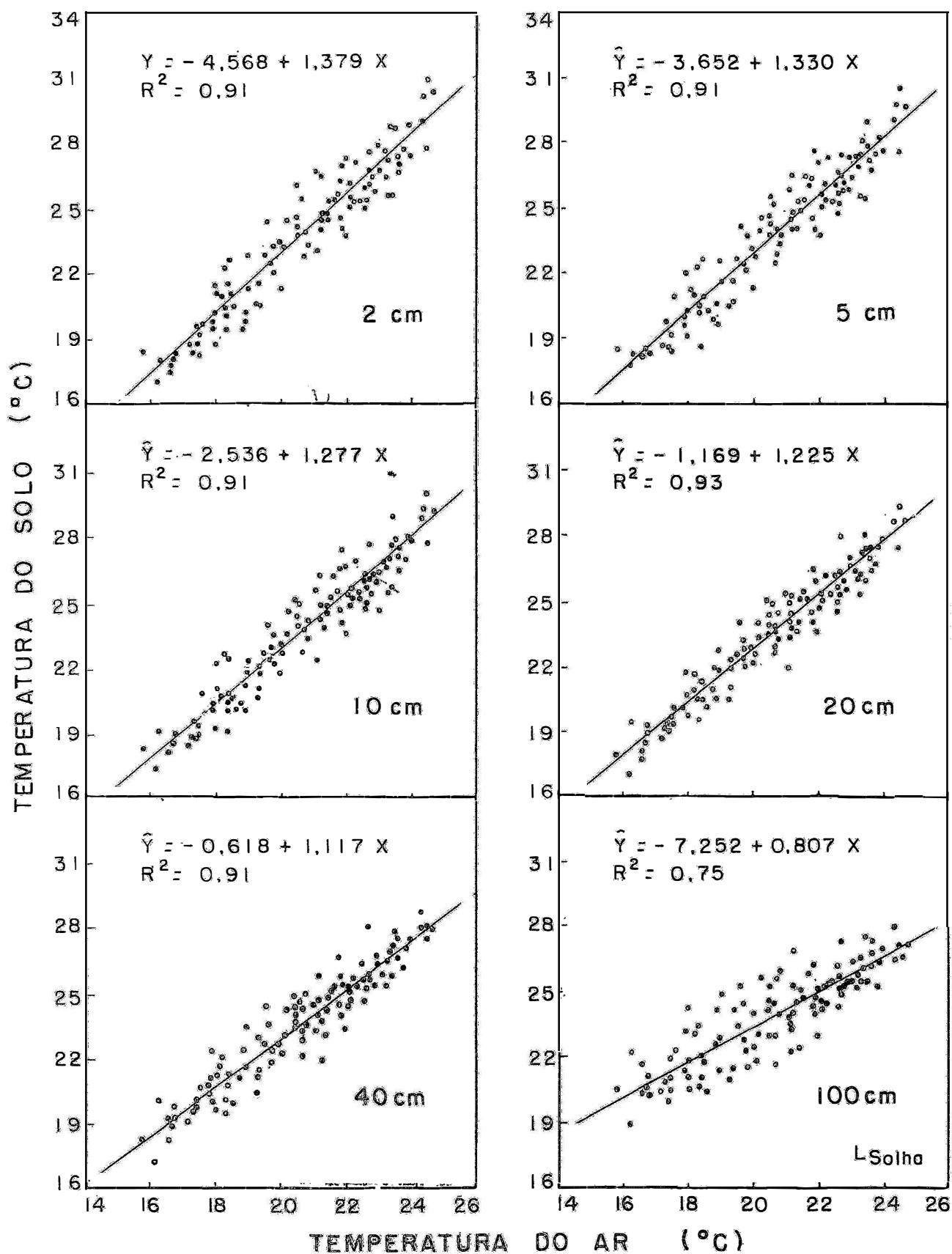


FIGURA 6. Relações entre valores médios mensais de temperatura do solo obtidos pela fórmula  $(T_{s7} + T_{s14} + T_{s21})/3$  e temperatura do ar, a várias profundidades, para o período de 1967 a 1976. Centro Experimental de Campinas.

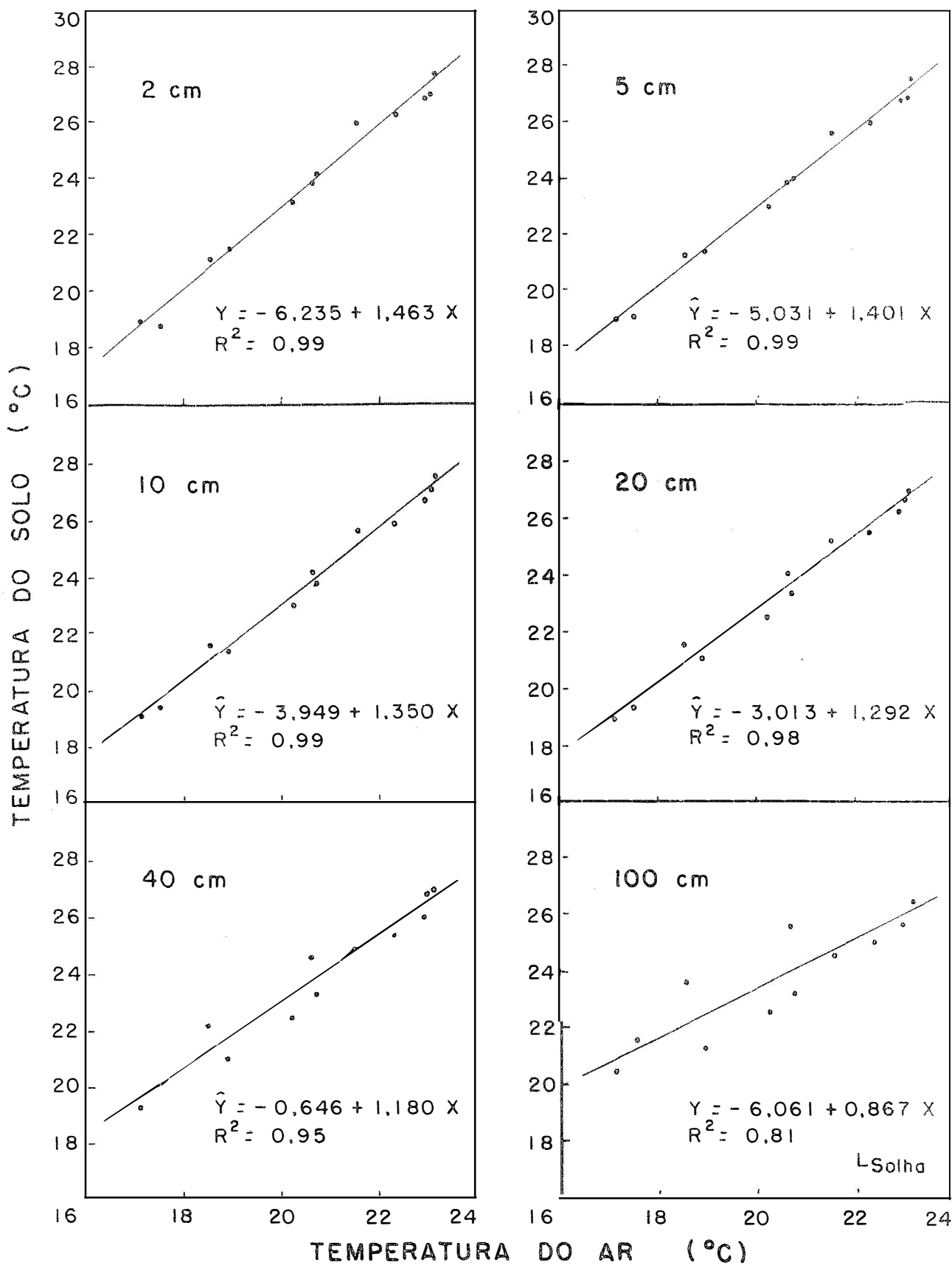


FIGURA 7. Relações entre a média dos valores médios mensais de temperatura do solo obtidos pela fórmula  $(Ts_7 + Ts_{14} + Ts_{21})/3$  e temperatura do ar, a várias profundidades, correspondentes ao período de 1967 a 1976. Centro Experimental de Campinas.

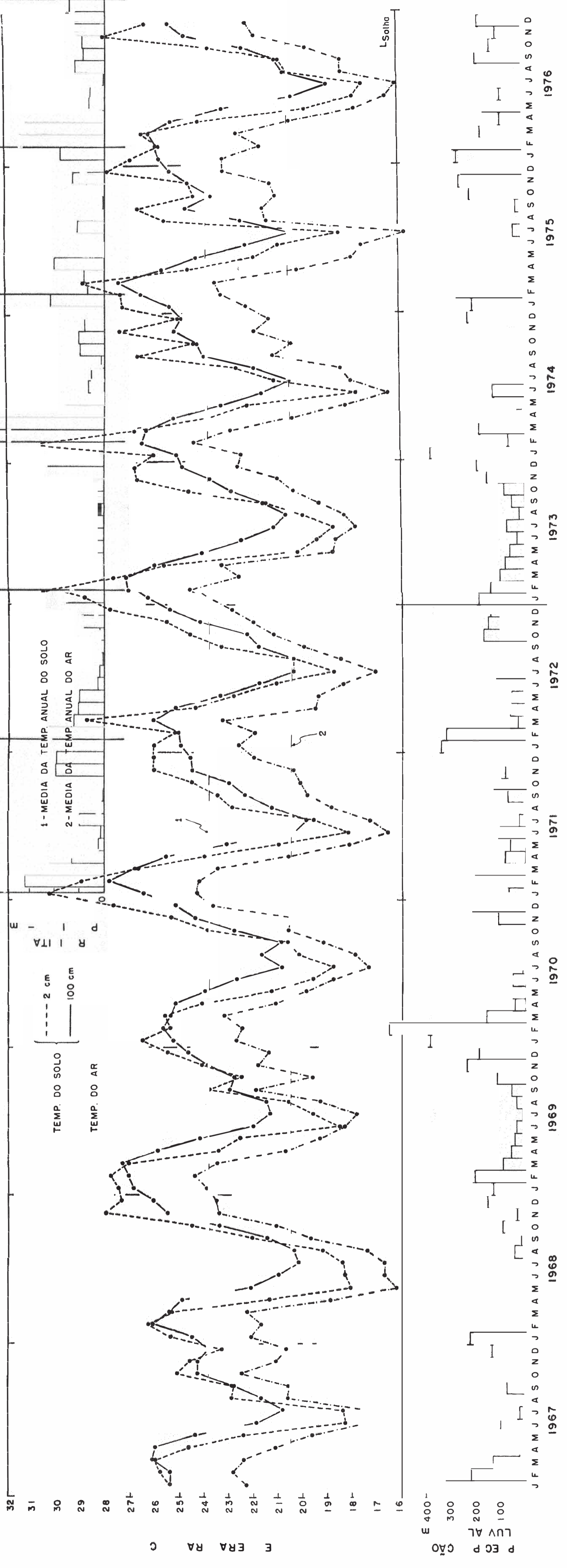


Figura 8. Variação mensal da temperatura do ar, temperatura do solo a 2 e 100 centímetros de profundidade, obtidos pelo fórmula  $(T_{s7} + T_{s14} + T_{s21})/3$  e precipitação pluviométrica para o período de 1967 a 1976. Local: Centro Experimental de Campinas - SP

### 5.3 Relativos à determinação da difusividade térmica, profundidade de amortecimento e camada de extinção.

Os valores diários da difusividade térmica (D), profundidade de amortecimento da onda de calor ( $z_D$ ), camada de extinção ( $z_E$ ) dessa mesma onda, e amplitude térmica à superfície do solo ( $T_0$ ), foram calculados através das equações (34), (32), (35) e (33) respectivamente, para os períodos de 1 de junho a 31 de julho de 1976 e de 15 de abril a 24 de maio de 1977.

Para o primeiro período, os valores estão relacionados nas Tabelas 22 e 23, representados na Figura 9 e para o segundo período, na Tabela 24 e Figura 10, respectivamente.

Foram calculados também, os valores mensais dos mesmos parâmetros, para o período de maio de 1975 a maio de 1977, apresentados na Tabela 25 e representados na Figura 11. Em todas as tabelas mencionadas são apresentados os valores das temperaturas nas profundidades utilizadas para os cálculos, bem como os valores de precipitação pluvial. Os valores da precipitação representados nas Figuras 9 e 10 correspondem aos obtidos entre 0 e 24 horas do dia em questão.

Nota-se, através dos valores obtidos, coerentes com outros autores, que a difusividade térmica diária oscilou entre  $1,9 \times 10^{-3}$  a  $11,9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ , para o período estudado. Os valores mensais oscilaram entre  $1,5 \times 10^{-3}$  a  $6,4 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ .

A variação da profundidade de amortecimento diária foi da ordem de 5,3 a 18,0 cm e de 6,4 a 12,9 cm para os valores mensais.

Os valores diários da camada de extinção, para período estudado, variaram de 22,0 a 72,0 centímetros e de 36,0 a 62,0 cm para os valores mensais.

Nota-se pelas figuras 9 e 10, que essas variações ocorrem mais acentuadamente em dias chuvosos ou subsequentes. De acordo com CHANG (1958), a difusividade térmica aumenta com a umidade do solo, até certo ponto, decrescendo em seguida com o aumento da umidade.

Verificando as figuras, nota-se que após ou em dias chuvosos os valores de D aumentam e decrescem em seguida, voltando a aumentar até um valor mais ou menos constante nos dias não chuvosos. O fato de estarem as profundidades de 2 e 10 centímetros, utilizadas nesse trabalho para o cálculo de D, sujeitas a uma rápida alternância de molhamento e secamento, poderia explicar essas variações. Os teores de umidade atingidos pelo solo nessas alternâncias, provocam um aumento maior ou menor na capacidade térmica do solo, em relação à sua condutividade térmica, alterando assim a difusividade térmica do solo.

O mesmo acontece com as profundidades de amortecimento e da camada de extinção da onda de calor, pois estas estão intimamente ligadas à difusividade térmica do solo. Para períodos não chuvosos, os valores da difusividade térmica apresentam pequena variação, oscilando em torno de  $3,0 \times 10^{-3}$  e  $3,0 \times 10^{-3}$  cm<sup>2</sup>/s, segundo as tabelas 22, 23 e 24 e figuras 9 e 10. O mesmo se verifica com relação a profundidade de amortecimento e camada de extinção.

As figuras 9 e 10 apresentam também a oscilação dos dados médios de temperatura do solo a 2 cm, durante o período estudado, verificando que em dias chuvosos ocorre uma queda acentuada em seus valores. Nos dias não chuvosos há um aumento da temperatura do solo, até atingir valores elevados, não se notando alterações nos valores de D,  $z_D$  e  $Z_E$ , indican-

do não haver grandes fluxos de calor no solo quando este se apresenta com a superfície seca, de acordo com CHANG (1958).

Em relação aos valores médios mensais nota-se pela Tabela 25 e Figura 11, que há uma variação da difusividade térmica, profundidade de amortecimento e camada de extinção no período estudado.

A figura 11 também apresenta a flutuação estacional da temperatura do solo a 2 centímetros de profundidade. Comparando-se os valores médios mensais da difusividade térmica em relação aos elementos climáticos, para o período estudado, nota-se que os seus mais elevados valores correspondem ao período de maior e melhor distribuição da precipitação pluvial e maiores temperaturas do solo, ou seja de novembro de 1975 a fevereiro de 1976, com o valor máximo ocorrido no

mês de dezembro de 1975 igual a  $6,42 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ .

Quando se verifica o mesmo período para os anos de 1976/1977, nota-se que ocorre, no mês de fevereiro, o menor valor de D, ou seja,  $1,51 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ . Nesse mês verifica-se o maior valor da temperatura média do solo a 2 cm,  $32,6^\circ\text{C}$ , e um total de precipitação bastante reduzido, 56 mm.

As mesmas alternâncias de valores ocorrem com a profundidade de amortecimento e camada de extinção.

Conclui-se portanto, que em períodos secos, e de grande disponibilidade de energia solar, há uma elevação da temperatura da superfície do solo, indicando não haver fluxos intensos de calor para o interior do solo, em consequência dos baixos valores de difusividade térmica.

Tabela 22. Valores diários de precipitação; temperatura máxima ( $T_{\max}$ ) e média ( $T_{\text{méd}}$ ) do solo às profundidades de 2 e 10cm; profundidades de amortecimento ( $z_D$ ) e da camada de extinção ( $Z_E$ ); amplitude à superfície do solo ( $T_0$ ) e difusividade térmica ( $D$ ), para o período de 01 a 30/6/1976. Centro Experimental Campinas.

Dia	Prec. mm	2 cm		10 cm		$z_D$ cm	$Z_E$ cm	$T_0$ °C	$D$ $\times 10^{-3}$ cm <sup>2</sup> /s
		$T_{\max}$ °C	$T_{\text{méd}}$ °C	$T_{\max}$ °C	$T_{\text{méd}}$ °C				
01	0.0	26.5	15.9	22.0	16.8	11.2	54.38	12.6	4.60
02	0.0	25.0	15.1	21.0	16.1	11.3	54.26	11.8	4.72
03	0.0	25.5	16.7	21.0	16.7	12.1	55.75	9.7	5.40
04	0.0	29.0	19.2	22.0	18.0	8.9	42.93	12.2	2.90
05	1.4	21.5	16.8	19.0	16.9	9.9	40.23	5.7	3.59
06	74.4	22.0	16.4	19.5	16.5	12.8	53.60	6.5	5.99
07	0.0	24.0	15.2	20.5	15.8	12.7	59.10	10.2	5.93
08	0.0	25.0	15.6	21.0	16.3	11.5	54.43	11.1	4.86
09	0.0	22.0	16.1	19.5	16.0	15.3	64.46	6.7	8.56
10	2.1	26.5	18.1	22.0	17.6	12.3	56.81	9.8	5.58
11	0.0	19.0	16.8	18.0	17.0	10.1	33.36	2.6	3.75
12	0.0	22.5	17.2	20.0	17.5	10.6	44.26	6.4	4.13
13	1.0	23.0	18.0	20.0	18.0	8.7	36.15	6.3	2.78
14	7.2	24.0	17.3	21.0	17.8	10.8	47.52	8.1	4.27
15	0.0	27.0	16.9	19.0	16.5	5.7	28.44	14.3	1.19
16	0.0	26.5	17.0	22.0	17.5	10.7	50.75	11.4	4.18
17	0.0	27.0	17.7	23.0	17.8	13.7	64.37	10.7	6.91
18	0.0	27.0	17.8	23.0	18.3	11.9	55.85	10.8	5.17
19	0.0	29.5	18.8	24.0	18.9	10.7	52.44	12.8	4.25
20	0.0	30.0	18.9	24.0	19.2	9.5	46.94	13.6	3.32
21	0.0	30.5	18.6	25.0	18.6	10.8	63.64	13.8	4.07
22	0.0	30.0	18.2	24.0	18.4	10.7	53.20	14.2	4.20
23	0.0	29.5	17.8	24.0	18.2	11.4	56.30	13.9	4.74
24	0.0	29.5	18.0	23.5	18.0	10.8	53.46	13.8	4.29
25	0.0	29.0	18.7	24.0	18.9	11.3	54.74	12.2	4.72
26	0.0	31.5	19.4	25.0	19.4	10.3	51.80	14.6	3.93
27	0.0	31.0	19.6	25.0	19.8	10.1	50.26	13.8	3.79
28	0.0	32.5	20.3	25.0	19.9	10.2	51.35	14.8	3.85
29	0.0	27.5	18.6	23.0	19.3	9.1	42.91	11.0	3.03
30	0.0	22.0	15.8	19.0	16.6	8.4	36.88	7.8	2.59

Tabela 23. Valores diários de precipitação; temperatura máxima ( $T_{\text{máx}}$ ) e média ( $T_{\text{méd}}$ ) do solo às profundidades de 2 e 10cm; profundidades de amortecimento ( $z_D$ ) e da camada de extinção ( $Z_E$ ); amplitude à superfície do solo ( $T_0$ ) e difusividade térmica (D), para o período de 01 a 31/7/1976. Centro Experimental Campinas.

Dia	Prec. mm	2 cm		10 cm		$z_D$ cm	$Z_E$ cm	$T_0$ °C	$D \times 10^{-3}$ cm <sup>2</sup> /s
		$T_{\text{máx}}$ °C	$T_{\text{méd}}$ °C	$T_{\text{máx}}$ °C	$T_{\text{méd}}$ °C				
01	0.0	14.0	12.4	15.0	14.1	13.9	40.55	1.8	7.05
02	26.0	19.5	14.0	17.0	14.2	11.8	49.48	6.5	5.12
03	65.0	17.0	12.6	15.0	13.5	7.4	30.13	5.7	2.01
04	21.6	22.0	13.4	18.0	13.5	12.3	57.01	10.1	5.56
05	0.0	22.0	13.5	18.0	13.6	12.1	55.97	10.0	5.38
06	0.0	23.5	15.0	19.0	14.4	13.1	59.88	9.9	6.19
07	0.0	17.0	13.5	15.5	13.4	15.6	57.68	3.9	8.95
08	1.0	17.0	14.6	15.5	14.5	9.2	31.04	2.9	3.04
09	10.3	19.0	16.1	17.5	16.0	12.1	42.86	3.4	5.37
10	14.2	13.0	11.6	14.0	13.1	18.1	49.78	1.5	11.90
11	0.0	24.0	15.4	20.0	14.8	15.9	72.82	9.7	9.22
12	0.0	25.0	16.7	20.0	16.2	10.2	47.24	10.0	3.82
13	0.0	24.0	16.3	20.0	16.4	10.5	47.70	9.3	4.04
14	0.0	24.0	16.4	20.0	16.2	11.5	51.98	9.0	4.86
15	0.0	22.0	15.7	19.0	15.8	11.8	50.92	7.4	5.09
16	0.0	26.0	14.8	21.0	15.0	12.8	62.47	13.1	5.99
17	0.0	28.5	16.6	22.5	16.6	11.4	56.49	14.1	4.74
18	0.0	29.0	17.9	23.5	17.9	11.6	57.06	13.1	4.99
19	0.0	30.0	18.1	24.0	18.3	10.8	53.94	14.3	4.31
20	0.0	29.5	18.9	24.0	18.7	11.5	55.82	12.6	4.86
21	0.0	23.0	16.6	20.0	17.3	9.2	40.55	7.9	3.13
22	0.6	30.0	19.0	23.0	18.1	9.8	48.50	13.4	3.57
23	0.0	32.0	19.8	25.0	19.2	10.7	53.68	14.6	4.22
24	0.0	33.0	20.2	26.0	19.9	10.7	54.37	15.4	4.25
25	0.0	33.0	20.4	26.0	20.3	10.0	50.77	15.3	3.71
26	0.0	34.0	21.3	27.0	20.9	10.9	54.84	15.2	4.34
27	0.0	35.0	22.4	28.0	22.0	10.7	54.14	15.1	4.24
28	0.0	35.0	23.1	28.0	22.4	10.6	52.72	14.3	4.11
29	0.0	34.5	22.3	28.0	22.2	10.7	53.68	14.6	4.22
30	0.0	34.5	21.8	27.5	21.7	10.2	51.44	15.4	3.80
31	0.0	35.5	22.7	28.5	22.3	11.0	55.54	15.3	4.44



Tabela 24. Valores diários de precipitação; temperatura máxima (T<sub>máx</sub>) e média (T<sub>méd</sub>) do solo às profundidades de 2 e 10cm; profundidades de amortecimento (z<sub>D</sub>) e da camada de extinção (z<sub>E</sub>); amplitude à superfície do solo (T<sub>o</sub>) e difusividade térmica (D), para o período de 15/4 a 24/5/1977. Centro Experimental Campinas.

Dia	Prec. mm	2 cm		10 cm		z <sub>D</sub> cm	z <sub>E</sub> cm	T <sub>o</sub> °C	D x10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> /s
		T <sub>máx</sub> °C	T <sub>méd</sub> °C	T <sub>máx</sub> °C	T <sub>méd</sub> °C				
15/04	0.0	41.0	27.3	33.5	27.4	9.88	50.64	16.7	3.56
16	0.0	42.0	27.9	33.5	27.8	8.83	45.71	17.6	2.84
17	0.0	43.0	28.5	34.0	28.5	8.25	43.07	18.4	2.48
18	0.0	44.0	27.2	35.0	27.9	9.28	59.59	20.8	4.14
19	19.3	32.0	24.0	29.0	25.8	8.73	40.25	10.1	2.78
20	5.0	23.0	20.3	23.0	22.4	5.31	19.50	3.9	2.03
21	13.1	30.0	21.4	25.5	22.4	7.84	36.92	11.0	2.24
22	0.0	25.5	20.3	25.0	22.1	13.69	56.13	6.0	6.85
23	0.0	29.0	19.2	25.5	21.8	8.21	39.65	12.5	2.46
24	0.0	31.5	20.9	27.0	22.5	9.33	45.54	13.1	3.18
25	0.0	37.0	23.4	29.0	23.8	8.32	42.87	17.3	2.52
26	0.0	37.5	24.2	30.0	24.2	9.63	49.14	16.3	3.39
27	0.0	38.5	24.3	30.0	24.3	8.76	45.43	17.8	2.80
28	0.0	37.5	24.1	30.0	24.7	8.62	44.24	16.8	2.71
29	0.0	38.5	24.5	30.0	25.0	7.76	40.39	18.1	2.20
30	0.0	36.0	23.7	29.0	24.5	7.95	40.28	15.8	2.31
01/05	0.0	34.5	23.8	28.0	24.5	7.15	35.45	14.1	1.87
02	0.0	36.0	25.1	30.0	25.5	9.04	44.42	13.5	2.98
03	0.0	37.5	25.2	30.5	25.8	8.31	42.01	15.6	2.52
04	0.0	40.0	25.7	32.0	25.9	9.38	48.60	17.7	3.21
05	0.0	40.0	25.8	32.0	26.5	8.43	43.79	17.9	2.59
06	0.0	40.0	25.8	32.5	26.8	8.76	45.43	17.8	2.80
07	0.0	40.0	24.9	31.0	25.6	7.77	41.03	19.5	2.20
08	0.0	39.0	26.1	31.0	26.1	8.26	42.16	16.4	2.49
09	0.0	38.0	26.3	31.5	26.4	9.63	47.88	14.3	3.38
10	0.0	40.0	26.3	31.0	26.2	7.62	39.52	17.8	2.12
11	0.0	39.0	25.8	32.0	26.3	9.52	48.51	16.2	3.31
12	0.0	38.0	24.6	30.5	25.6	7.95	40.94	17.2	2.30
13	0.0	38.0	24.3	30.5	25.5	7.93	41.04	17.6	2.29
14	0.0	37.0	23.7	30.0	25.3	7.69	39.61	17.2	2.15
15	8.0	31.0	21.6	28.0	24.0	9.36	44.53	11.6	3.19
16	0.0	21.5	16.6	21.0	19.9	9.35	22.84	7.1	3.04
17	7.0	23.0	14.7	21.0	17.2	10.23	47.24	10.1	3.82
18	0.0	23.5	15.6	21.5	17.0	14.21	64.11	9.1	7.37
19	0.0	30.0	17.2	24.0	18.3	9.88	49.98	15.6	3.56
20	0.0	30.5	18.0	25.0	19.5	9.74	49.04	15.3	3.46
21	0.0	30.0	17.9	25.0	19.8	9.47	47.42	14.9	3.27
22	0.0	34.0	19.2	27.0	20.3	10.10	52.44	18.0	3.71
23	0.0	24.5	16.8	22.0	18.9	8.79	40.19	9.6	2.82
24	0.0	35.0	20.8	26.5	20.4	9.46	48.92	17.5	3.27

Tabela 25. Valores mensais de precipitação e médios de temperatura máxima ( $T_{\text{máx}}$ ) e média ( $T_{\text{méd}}$ ) do solo às profundidades de 2 e 10 cm; profundidades de amortecimento ( $Z_D$ ) e da camada de extinção ( $Z_E$ ), amplitude à superfície do solo ( $T_0$ ); e difusividade térmica ( $D$ ), para o período de maio/75 a maio/77. Centro Experimental Campinas.

Mês	Prec. mm	2 cm		10 cm		$Z_D$ cm	$Z_E$ cm	$T_0$ °C	$D \cdot 10^{-3}$ cm <sup>2</sup> /s
		$T_{\text{máx}}$ °C	$T_{\text{méd}}$ °C	$T_{\text{máx}}$ °C	$T_{\text{méd}}$ °C				
Mai/75	18	33.1	21.4	27.3	22.2	9.64	47.9	14.4	3.38
Jun	2	30.7	19.7	25.0	20.3	9.41	46.2	13.6	3.22
Jul	39	29.4	18.4	23.4	18.1	10.95	53.5	13.2	4.34
Ago	0	38.2	24.6	31.2	25.4	9.41	48.2	16.8	3.22
Set	24	38.5	25.5	32.1	26.7	9.10	46.3	16.2	3.01
Out	214	33.8	23.1	27.9	22.9	10.52	51.1	12.9	4.02
Nov	252	33.3	24.8	28.7	24.8	12.30	55.1	8.8	5.49
Dez	181	37.0	27.7	32.2	27.1	13.30	62.3	10.8	6.42
Jan/76	261	34.2	26.4	30.9	26.7	12.90	58.2	9.1	6.05
Fev	276	30.9	24.3	28.1	24.7	12.10	50.9	6.7	5.34
Mar	166	35.7	26.0	30.5	25.9	10.70	50.9	11.6	4.16
Abr	84	33.5	23.8	28.2	24.0	9.52	45.5	11.9	3.29
Mai	151	27.7	19.8	23.5	20.0	9.87	45.2	9.7	3.54
Jun	86	26.5	17.6	22.0	17.7	10.95	49.2	8.9	4.34
Jul	138	26.0	17.2	21.5	17.2	11.94	54.9	9.9	5.18
Ago	105	29.3	19.7	24.4	19.9	10.52	50.0	11.6	4.02
Set	182	29.1	20.4	25.1	20.9	10.95	50.9	10.4	4.34
Out	126	34.1	23.3	29.8	24.2	12.12	58.7	12.7	5.34
Nov	100	39.6	27.1	34.1	27.9	11.42	57.1	14.9	4.74
Dez	177	33.7	25.2	29.0	24.9	10.95	50.6	10.2	4.34
Jan/77	380	39.5	26.9	31.7	25.7	10.80	54.2	15.2	4.23
Fev	56	54.4	32.6	36.3	30.0	6.45	36.7	29.7	1.51
Mar	122	41.7	28.8	33.3	28.1	8.79	44.7	16.2	2.81
Abr	131	33.4	23.3	28.6	24.3	9.41	45.4	12.5	3.22
Mai	15	32.7	22.2	28.0	23.1	10.52	50.9	12.7	4.02

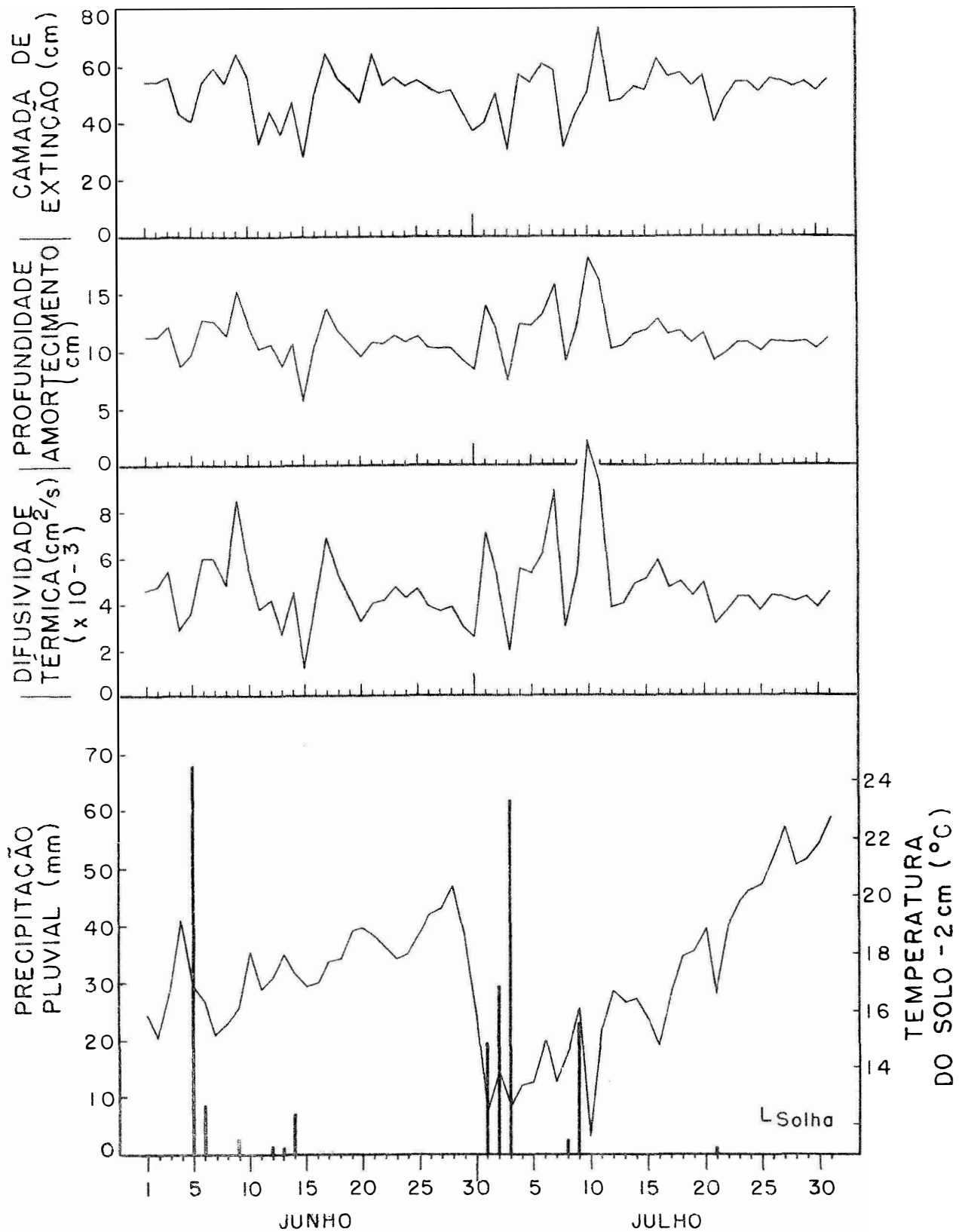


FIGURA 9. Variação diária da precipitação, difusividade térmica, profundidade de amortecimento, camada de extinção e temperatura do solo a 2 cm, para o período de 1 de junho a 31 de julho de 1976. Centro Experimental de Campinas.

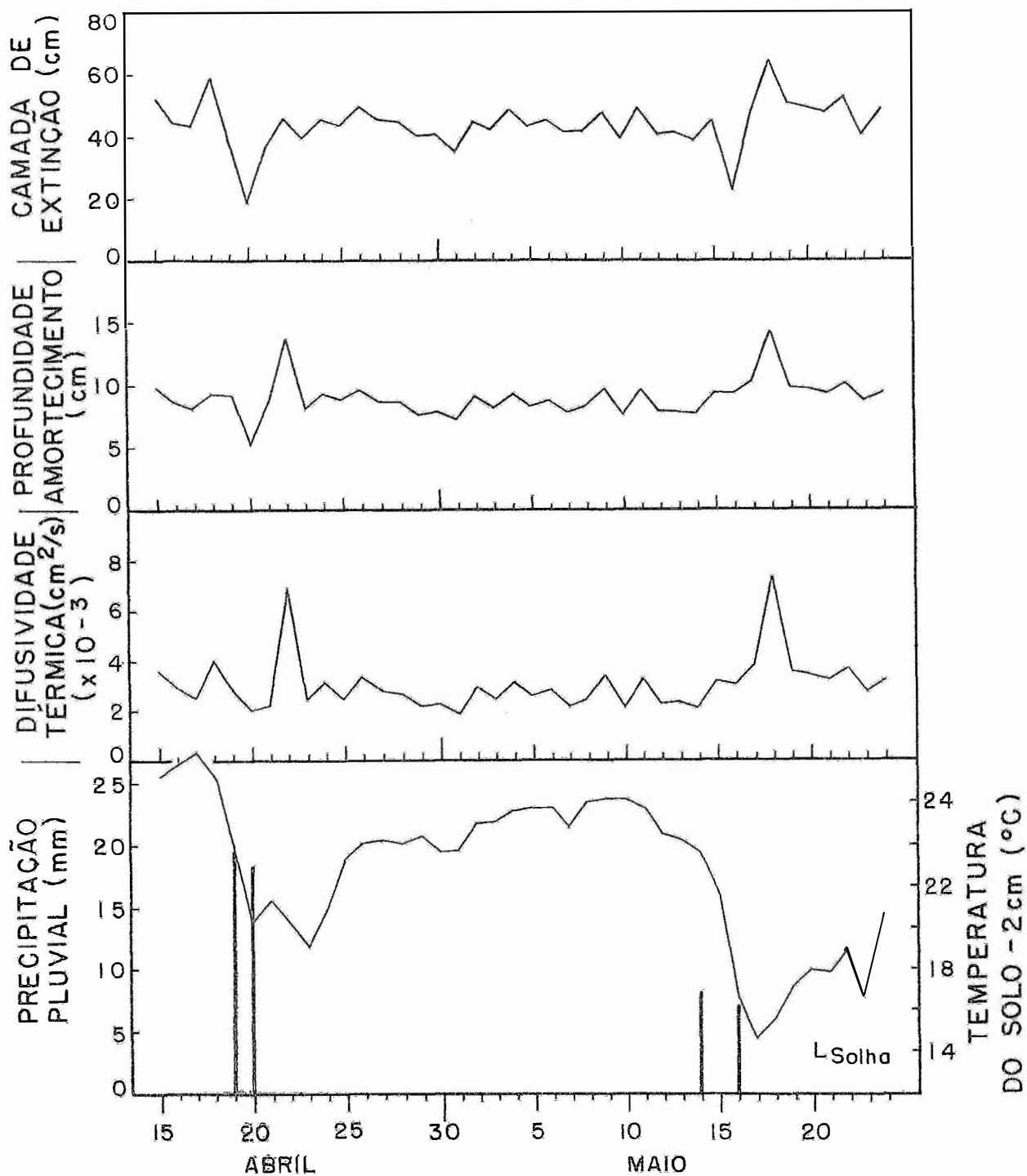


FIGURA 10. Variação diária da precipitação, difusividade térmica, profundidade de amortecimento, camada de extinção e temperatura do solo a 2 cm, para o período de 15 de abril a 24 de maio de 1977. Centro Experimental de Campinas.

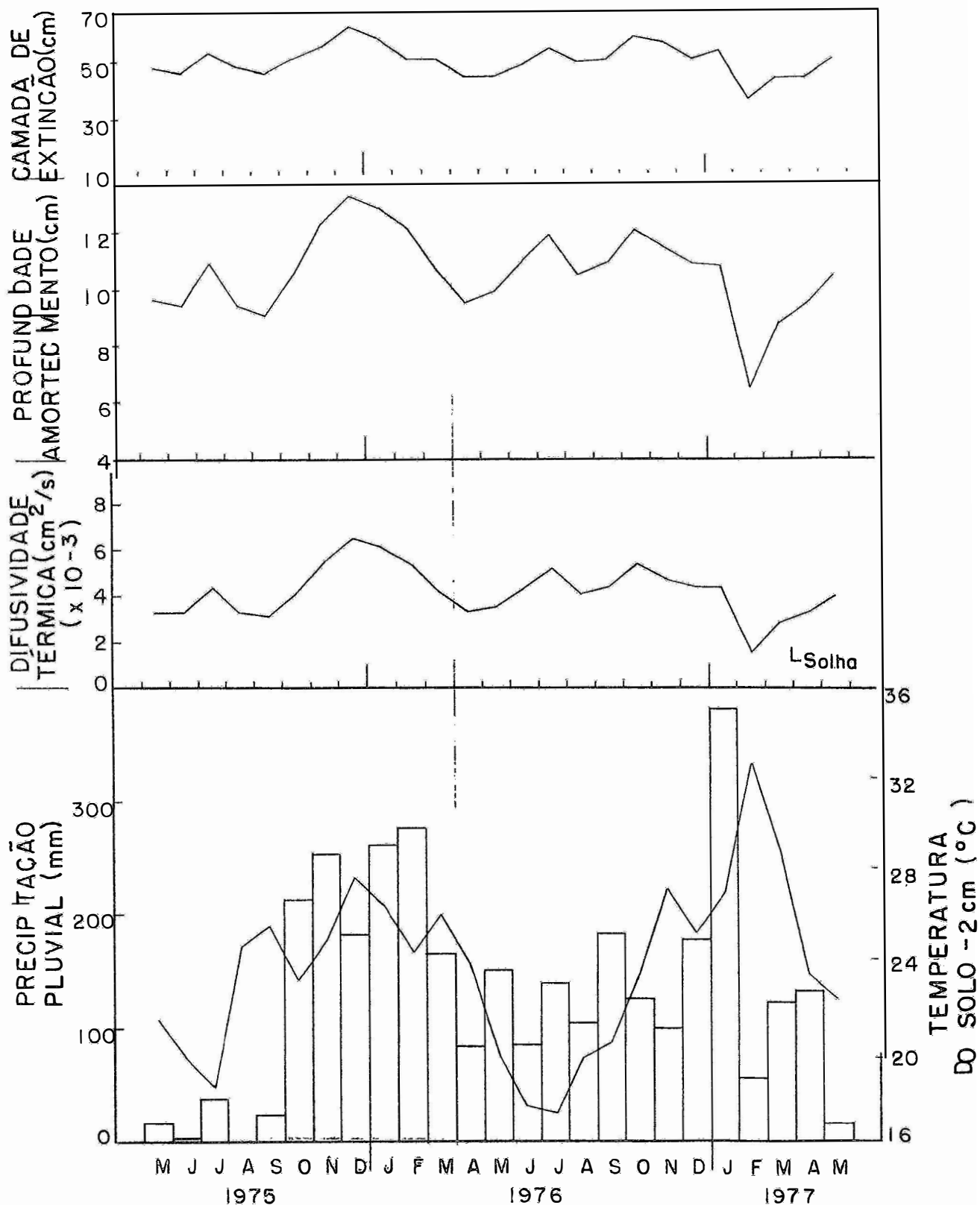


FIGURA 11. Variação mensal da precipitação, difusividade térmica, profundidade de amortecimento, camada de extinção e temperatura do solo a 2 cm, para o período de maio de 1975 a maio de 1977, Centro Experimental de Campinas.

## 6. CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos e de sua discussão, as seguintes conclusões podem ser enumeradas:

a) para a região e tipo de solo estudado, é aceitável a utilização da expressão

$$\bar{T}_s = \frac{T_{s7} + T_{s14} + T_{s21}}{3}$$

para a estimativa da temperatura média diária do solo ( $\bar{T}_s$ ), para todas as profundidades estudadas, onde  $T_{s7}$ ,  $T_{s14}$  e  $T_{s21}$  representam, respectivamente, os valores de temperatura do solo às 7, 14 e 21 horas;

b) há uma alta correlação entre a temperatura do solo e do ar para a região estudada, permitindo-se elaborar equações de estimativa de uma variável em função da outra;

c) as diferenças entre os valores mensais de temperatura do solo e do ar, para o período, região e profundidades estudadas, oscilaram entre  $0,2^{\circ}$  e  $6,6^{\circ}\text{C}$ , enquanto que os valores anuais entre  $2,5^{\circ}$  e  $4,1^{\circ}\text{C}$ , sendo a temperatura do solo sempre maior que a do ar;

d) em relação aos valores médios anuais para o período de 1967 a 1976, a diferença entre a temperatura do solo e do ar foi aproximadamente de  $3,2^{\circ}\text{C}$ , para todas as profundidades;

e) nas profundidades estudadas, a difusividade térmica do solo é sensivelmente alterada em dias chuvosos, em função das variações no teor de umidade do solo;

f) para os períodos estudados, os valores diários da difusividade térmica variaram entre  $1,9 \times 10^{-3}$  e  $11,9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ , enquanto que os mensais entre  $1,5 \times 10^{-3}$  e  $6,4 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ ;

g) as profundidades de amortecimento variaram entre 5,3 e 18,0 cm para valores diários, entre 6,4 e 12,9 cm para valores mensais;

h) a camada de extinção da onda de calor variou entre 22,0 e 72,0 cm para valores diários, e entre 36,0 e 62,0 cm para valores mensais;

i) em sequências de dias não chuvosos, os valores diários da difusividade térmica, da profundidade de amortecimento da onda de calor e da camada de extinção dessa onda, mostraram variações menos acentuadas, oscilando entre  $2,5 \times 10^{-3}$  e  $5,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$  para a difusividade térmica, entre 7,5 e 12,5 cm para a profundidade de amortecimento, e entre 40,0 e 60,0 cm para a camada de extinção.

## 8. SUMMARY

The relationships between air and soil temperatures as well as seasonal variations of thermal diffusivity, damping depth, and extinction depth layer of the temperature wave, for a Latossolo roxo in the region of Campinas-SP were studied.

In general, the mean daily temperature of the soil could well be estimated by three observations taken, respectively, at 7, 14, and 21 local hours. Linear regression analysis showed that there exists a good association between the mean air and soil temperature in all time scales studied, i.e., month, and year. For the period used (1967-1976) the differences between air and soil temperatures were between 0,2 and 6,6<sup>o</sup>C in the month scale, and were constant and equal to 3 2<sup>o</sup>C in the annual scale. The soil temperature was, always greater than the air temperature in all scales studied.

Daily values of the thermal diffusivity, damping



depth, and extinction depth layer for such soil were, respectively, between  $1.9 \times 10^{-3}$  and  $11.9 \times 10^{-3}$   $\text{cm}^2/\text{s}$ , 5.3 and 18.0 cm, and 22.0 and 72.0 cm for rainy periods, while for dry spells the daily values were between  $2.5 \times 10^{-3}$  and  $5.0 \times 10^{-3}$   $\text{cm}^2/\text{s}$ , 7.5 and 12.5 cm, and 40 and 60 cm, respectively.

## 8. LITERATURA CITADA

- ALLMARAS, R.R., W.C. BURROWS e W.E. LARSON, 1964. Early growth of corn as affected by soil temperature. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 28:271-275.
- BATES, C.G., 1924. Forest types in the Central Rocky mountains as affected by climate and soil. U.S. Department of agriculture, Bull 1233:84-102.
- BEAUCHAMP, E.G. e D.J. LATHWELL, 1966. Effect of root zone temperatures on corn leaf morphology. Can. J. Plant Sci. 46:593-601.
- BERTOLDO, J.O.; R.R. ALFONSI e M.J. PEDRO Jr., 1975. Regimes hídricos e térmicos dos solos do Estado de São Paulo. Anais do XV Congresso de Solos, 359-362.
- BLISS, D.E., 1944. Air and soil temperatures in a California citrus orchard. Soil Sci. 58:259-274.

- BLISS, D.E., D.C. MOORE e C.E. BREAM, 1942. Air and soil temperatures in a California date garden. Soil Sci. 53, 55-64.
- CAMARGO, A.PAES de, A.A. ORTOLANI e O. RODRIGUEZ, 1961. Efeito da cobertura do terreno em laranjal sobre as temperaturas extremas do ar. Bragantia. 20:XI-XVII.
- CARNAUBA, T.T. e A.A. ORTOLANI, 1966. Lesão do colo de mudas de abacateiro por temperatura elevada. Bragantia. 25:XLV-XLIX.
- CARSON, J.E., 1963. Analysis of soil and air temperatures by Fourier Techniques. J. Geophys. Res.68:2217-2232.
- CHANG, J.H., 1958. Ground Temperature. I. Blue Hill Meteorology Observatory. Harvard Univ, Mass. pp.300.
- COSTA, A.L. e H. GODOY, 1962. Contribuição para o conhecimento do clima do solo de Ribeirão Preto. Bragantia. 21: 689-742.
- de JONG, R. e K.F. BEST, 1979. The effect of soil water potential, temperature and seeding depth on seedling emergence of wheat. Can. J. Soil Sci. 59:259-264.
- DECICO, A., 1967. Equações para cálculo da condutividade térmica de algumas séries de solo. Tese, Dr., Univer. São Paulo, ESALQ, Piracicaba (SP).
- DECICO, A., 1974. Equações para o cálculo da condutividade térmica de alguns solos em função da densidade e umidade. Ciência e Cultura, vol. 26(12):1178-1182.
- DECICO, A., 1974. A determinação das propriedades térmicas do solo, em condições de campo. Univer. São Paulo, ESALQ. Tese de Livre Docência. pp.91
- DECICO, A., 1975. Velocidade de propagação e camada de extinção da onda de temperatura do solo. Anais do XV Congresso Brás: de Ciência do Solo, 51-54.

- DECICO, A. e J.M. SANTOS, 1975. Comportamento térmico do solo sob diferentes condições de cobertura. Anais do XV Congresso Bras. de Ciência do Solo, 54-62.
- DECICO, A. e K. REICHARDT, 1976. Determinação das propriedades térmicas do solo em condições de campo. Ciência e Cultura. Vol. 28(3), 359-362.
- DECICO, A., H.M. SANTOS, M.N.G. RIBEIRO e E. SALATI, 1977. Estudos Climatológicos da Reserva Florestal Ducke, Manaus-AM. Acta Amazônica. vol. 7(4):485-497.
- DOBEREINER, J. e S. ARONOVICH, 1966. Efeito da calagem e da temperatura do solo na fixação de nitrogênio de "Centrosema pubescens" Benth em solo com toxidez de manganês. Boletim do Inst. de Pesq. e Experimentação Agropecuária do Centro-Sul, Min. da Agric., Rio de Janeiro.
- DREIBELBIS, F.R., 1951. Summary of data on soil and air temperatures at the north Appalachian experimental watershed coshocton, Ohio. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 15:394-399.
- FLUCKER, B.J., 1958. Soil Temperatures. Soil Sci., vol. 86: 35-46.
- FRANCO, C.M., 1958. Influencia de la Temperatura en el Desarrollo del Cafeto. IBEC Research Institute. New York, pp.21.
- FRANCO, C.M., 1961. Lesão no colo do cafeeiro, causada pelo calor. Bragantia 20:645-652.
- HUTCHINGS, J.W., 1952. Some measurements of earth temperature and soil conductivity in New Zeland. Proc., Seventh Pacific Science Congress, vol. 3:50-56.
- INGERSOLL, L.R., O.J. ZOBEL e A.C. INGERSOLL, 1954. Heat Conduction. Univ. of Wisconsin Press, Madison, Wisc. pp. 325.

- INGERSOLL, L.R., O.A. KOEPP, 1924. Thermal diffusivity and conductivity in some soil materials. *Physical Review*, vol. 24:92-93.
- ITO, S. e M. KUSAKABE, 1951. The diurnal change of temperature of air dried and water-saturated soil. *Journal of Agricultural Meteorology*, vol. 6:74-76.
- JACKSON, R.D. e D. KIRKHAM, 1958. Method of measurement of the real thermal diffusivity of moist soil. *Soil Sci.Soc. Am. Proc.* vol. 22:479-482.
- JOHNSON, N.K. e E.L. DAVIES, 1927. Some measurements of temperatures near the surface in various kinds of soils. *Quarterly Journal, Roy. Meteo. Soc.*, vol. 53:45-59.
- KANDASAMY, A.P., 1937. Underground temperature at Colombo Observatory. *The Ceylon Journal of Science*, vol. 2:93-105.
- KEEN, B.A., 1932. Soil physics in relation to meteorology. *Quarterly journal Roy. Meteo. Soc.*, vol. 58:229-250.
- KERSTEIN, M.S., 1949. Thermal properties of soils. *Univ. of Minnesota, Bull* 28: pp 221.
- KIMBALL, B.A. e R.D. JACKSON, 1979. Soil heat flux. In B. J. Barfield e J.F. Gerber (ed.), *Modification of the aerial environment of plants*. ASAE monograph, pp 211-229.
- KIRKHAM, D. e W.L. POWERS, 1972. *Advanced Soil Physics*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- KRISHNAN, A. e R.S. KUSHWAHA, 1972. Analysis of soil temperatures in the arid zone of India by Fourier techniques. *Agricultural Meteorology*, vol. 10:55-64.
- LANDSBERG, H.E. e W.C. JACOBS, 1951. *Applied Climatology*. In *Compendium of Meteorology*. Am. Met. Soc. pp 976-992.
- LEFFINGWELL, E.D., 1919. The canning river region - Northern Alaska. U.S. Geological survey, professional paper n° 109: 179-243.

- LETTAU, H., 1954. Improved models of thermal diffusion in soils. *Trans. Am. Geophys. Union.* 35:121-132.
- LORENZ, O.A., 1950. Air and soil temperatures in potato field, Kern Country, California, during spring and early summer. *Am. Potato J.* 27:396-407.
- MacCARTHY, G.R., 1952. Geothermal investigations on the arctic slope of Alaska. *Transactions, American Geophysical Union,* vol. 33:589-593.
- MEW, T.W. e W.C. HO, 1977. Effect of soil temperature on resistance of tomato cultivars to bacterial wilt. *Phytopathology*, 67(7):909-911.
- MORAIS, J.C., 1955. Temperatura do terreno. *Memorias e noticias, Coimbra* n° 38:1-8.
- OLIVEIRA, F.R. de, G.C. SEDIYAMA, M. VIEIRA e J.B.P. Filho, 1979. Temperatura do solo, a 2 cm de profundidade, como resposta à temperatura do ar. *Revista Ceres*, 26(144):205-215.
- ORTOLANI, A.A. e H.S. PINTO, 1972. Temperatura do solo. In: MONIZ, A.C. coord. *Elementos de Pedologia.* São Paulo, Poligono, pp 59-76.
- OUELLET, C.E., 1972. Analysis of the annual cycles of soil and air temperatures in Canada. *Naturaliste Can.* 99:621-634.
- OUELLET, C.E., 1973. Estimation of monthly soil temperatures from climatic data. *Tech Bull 82: Agriculture Canada* pp 32.
- OUELLET, C.E., 1975. Soil and air temperatures at Ottawa. *Canada Dept. of Agriculture*, pub. n° 1541, pp 30.
- PATTEN, H.E., 1909. Heat Transference in Soils. *U.S. Dept. of Agriculture. Bureau of soils, Bull 59: pp 54.*

- PEARCE, D.C. e L.W. GOLD, 1959. Observations of ground temperature and heat flow at Ottawa - Canada. J. Geophys. Res. 64:1293-1298.
- PRIMAULT, B., 1953. Les Temperatures dans le sol à Zurich, an cours de l'année 1952. Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt n° 7:2-10.
- RAO, E.V. e B.V. RAO, 1976. Further analysis of the thermophysical properties of the fine textured Mollisols. J. Indian Soc. Soil Sci., 24(4):356-362.
- RIDER, N.E., 1957. A note on the physics of soil temperature. Weather, 12:241-246.
- RIGG, G.B., 1947. Soil and air temperatures in a sphagnum bog of the Pacific Coast of North America - Ann. J. Bot. 34:462-469.
- ROSE, C.W., 1966. Agricultural Physics. Pergamon, London pp 174.
- SEARLE, S.A., 1953. The measurement of plant climate. Chichester Press, London, pp 36.
- SICHMANN, W., 1977. A cultura da soja. In A soja no Brasil Central, Fundação Cargill, pp 219-261.
- SINGER, I.A. e BROWN, R.M., 1956. The annual variation of subsoil temperatures about a 600 feet circle. Trans. Am. Geophys Union, 37:743-748.
- SMITH, G.D., 1964. Soil temperature regimes; their characteristics and predictability. Washington, Soil Cons. Serv. pp 14.
- SUTTON, O.G., 1953. Micro-meteorology. Mac Graw Hill, N.Y. pp 333.
- TAMURA, S.T., 1905. Observations of earth temperature in Japan. Monthly Weather Review. vol. 33:296-302.

- THOMSON, A. e P.C. BREMNER, 1952. Premafrost drilling and soil temperature measurements at Resolute, Cornwallis Island, Canada. Nature, London, n<sup>o</sup> 4330:705-706.
- TOOGOOD, J.A., 1979. Comparison of soil temperatures under different vegetative covers at Edmonton. Can. J. Soil Sci. 59:329-335.
- VRIES, D.A. de, 1958. The thermal behaviour of soils. UNESCO, proc. Canberra Symp. Arid Zone Res, 11:109-113.
- VRIES, D.A. de, 1963. The thermal properties of soils. In Physics of plant environment. W.R. Van Wijk (ed). North Holland Pub. Company. Amsterdam pp 210-235.
- WIJK, W.R. van, W.E. LARSON and W.C. BURROWS, 1959. Soil temperature and the early growth of corn from mulched and unmulched soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23:428-435.
- WIJK, W.R., 1963. Physics of plant environment. North Holland Publishing Company. Amsterdam, pp 382.