

ESTUDOS DE TEMPERATURA EM SOLOS TROPICAIS

L.M. Moreira Nordemann
Instituto de Pesquisas Espaciais
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

L.A. Maciel Lucht
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
70.000 - Brasília, DF

RESUMO

Medidas de temperatura foram efetuadas em campo para diferentes tipos de solos, utilizando-se um radiômetro de precisão tipo PRT5 (região do infravermelho) e a energia solar incidente monitorada através de um actinômetro. Determina-se então a relação entre a absorção de calor pelo solo e seu processo de aquecimento, através da radiação terrestre emitida. Paralelamente foram levantados em laboratório espectros fotoacústicos de vários tipos de solos, a fim de ser estudado o comportamento térmico destas amostras em função da radiação incidente, num intervalo de comprimento de onda de 200 à 2.000 nanômetros. Estabelece-se então a correlação entre os espectros fotoacústicos obtidos e a radiação solar incidente na superfície da terra, em seus intervalos de frequência. Também tenta-se relacionar o processo de absorção do calor em função dos teores em matéria orgânica e Fe_2O_3 dos diferentes tipos de solos.

ABSTRACT

Soil temperature is a decisive factor controlling bacterial activity, the processes of plant development as well its production. For a specific climate condition, soil temperature is a function of the soil geological nature and humidity. In this paper, we studied the soil energy balance. Measurements of the soils temperature were made in the infrared region, using a PRT5 radiometer. Correlations between temperature and the main constituents of the soils were studied in laboratory, by means of photoacoustic spectroscopy.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura dos solos desempenha papel importante no equilíbrio do sistema solo-planta-atmosfera e influi substancialmente no processo dinâmico de produção vegetal.

O ciclo térmico dos solos nos países temperados foi estudado desde o século passado por Wolny (Baver, 1956) através de medidas de temperatura efetuadas com termômetros. Atualmente, além desta técnica utilizam-se instrumentos sensores à nível orbital e de campo. No Brasil, poucos são os trabalhos efetuados neste domínio e são extremamente raros os estudos relacionados ao comportamento térmico de solos situados em regiões tropicais; no entanto, os solos apresentam propriedades físicas e químicas bem características que são particulares à cada região, em função dos seus contextos climatológicos e geológicos específicos. A extrapolação de dados obtidos em diferentes regiões nem sempre pode ser aplicada.

Para determinar a inércia térmica de uma superfície é necessário conhecer a evolução

da temperatura nesta superfície como também a energia incidente sobre a mesma (Favard, 1978). Sabe-se que a terra recebe radiação solar em faixas de comprimentos de onda curtos e que irradia, de volta à atmosfera, em comprimentos de onda longos. A penetração da radiação no solo é dependente do comprimento de onda da radiação incidente e dos tamanhos dos grãos das partículas constituintes daquele meio.

Quando a superfície do solo é aquecida pela radiação solar incidente estabelece-se um gradiente de temperatura vertical onde o fluxo de calor é positivo e a temperatura de cresce com o aumento de profundidade. Este fluxo de calor será proporcional à condutividade térmica do solo, que é uma característica de cada tipo de solo e que segundo Chang (1958) é função da composição, do teor em umidade e da temperatura do solo.

Neste trabalho amostras de diferentes tipos de solos foram estudados em laboratório por espectroscopia fotoacústica, sendo então determinadas as porcentagens de absorção

de energia por estas amostras em função do comprimento de onda da radiação incidente.

Paralelamente monitorou-se em campo, com auxílio de instrumentos sensores a evolução da temperatura na superfície de diferentes tipos de solos em função do tempo e da radiação solar incidente, correlacionando-se os resultados obtidos com variáveis teores de umidade, ferro total e matéria orgânica.

2. METODOLOGIA

Foram escolhidos os tipos de solos representativos e característicos de regiões tropicais, e de maior ocorrência: latosol vermelho amarelo (LV), podzólico vermelho amarelo (PVA) e latosol roxo (LR). Estes solos foram bastante estudados e descritos no Brasil (1960). Derivam-se de granitos e migmatitos associados na região de Igaratá, e de arenitos e folhelhos em São José dos Campos e Cachoeira Paulista, no vale do rio Paraíba. Na região de Piracicaba, temos solos formados tanto sobre argilitos, siltitos e arenitos, quanto sobre rochas básicas intrusivas. São solos geralmente espessos e as regiões apresentam um relevo colinoso e ondulado.

As medidas de temperatura foram realizadas no campo, diretamente sobre o solo nu, em superfície, geralmente das 7 às 17 horas (hora local) sendo o intervalo entre 2 medidas sucessivas de meia hora. Para tais medidas utilizou-se um radiômetro modelo PRT5 de fabricação Barnes. A cabeça sensora é constituída de um bolômetro termistor, munido de uma ótica com abertura angular de dois graus. Este sensor foi sempre mantido à mesma distância em relação aos alvos (1 m) abrangendo uma área constante. A faixa de medida é de -20°C à $+75^{\circ}\text{C}$ nas 3 escalas que dispõe o aparelho e a precisão de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. O tempo de resposta é constante e de 5, 50 e 500 milissegundos à depender da escala utilizada. Para comprovar a uniformidade da temperatura dos solos a medida foi repetida em diferentes pontos do terreno escolhido.

Paralelamente às medidas de temperatura realizadas em campo, a radiação solar incidente foi monitorada com um actinógrafo bimetálico Robitzsch tipo 58 d.c. Este instrumento registra a radiação solar total incidente (difusa e direta) em $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ com uma precisão de $\pm 10\%$.

As determinações dos teores de umidade dos solos foram efetuadas por método gravimétrico e as de Fe_2O_3 através do processo de titulação com emprego de dicromato de potássio.

Os teores em matéria orgânica total foram medidos sobre 250g de cada amostra utilizando-se um analisador de carbono marca Leybold Heraus que opera com radiação infravermelha e deteta diretamente a porcentagem em peso do carbono.

Também foram feitas análises de difratometria de raios X para determinação dos tipos de argila das amostras de solo.

Espectros fotoacústicos foram obtidos em laboratório em 18 amostras de solos tamizadas em peneiras de diâmetro de malha de 50 μm ; se cadadas à temperatura ambiente, em igual período de tempo. O aparelho utilizado foi um espectrômetro fotoacústico da E.G.G. Princeton Applied Research Co. Modelo 6001, munido de uma lâmpada de xenônio de 1 kw com frequência de "chopper" de 40 Hz. A faixa de varredura é de 200 à 2.000 nm. Neste tipo de aparelho a amostra é colocada numa célula fechada que contém um gás, no caso o ar, e um microfone ultra sensível. A amostra é então iluminada por uma luz monocromática de frequência chopped. A energia absorvida pela amostra é transformada em energia de vibração, a qual é transferida às moléculas de ar que entram em movimento produzindo som. O sinal recebido pelo microfone é amplificado e o resultado obtido é registrado em função do comprimento de onda da luz incidente. O espectro fotoacústico assim obtido corresponde ao verdadeiro espectro de absorção ótica da amostra.

3. RESULTADOS

A Figura 1 mostra as temperaturas médias obtidas no mesmo dia (10/04/80) e de 7 às 17 horas (hora local) em Igaratá para diferentes tipos de alvo. A radiação total incidente foi $378 \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{dia}$. A temperatura máxima observada no cimento foi 36°C e 30°C para o solo nu. Observa-se que após o cimento foi o solo nu que apresentou temperaturas mais elevadas. Por outro lado, sabe-se que a penetração da energia apenas atinge os primeiros centímetros de perfil do solo. Estudos realizados anteriormente (Ramana Rao e Vianello, 1977) num perfil de solo em Cachoeira Paulista, evidenciam que o gradiente térmico assume valores maiores próximo à superfície, passando o efeito de aquecimento diurno e resfriamento noturno a ser praticamente desprezível à partir de 20 cm de profundidade. Assim sendo, todas as medidas de temperatura efetuadas neste trabalho foram feitas sobre solo nu e em superfície.

A Figura 2 exemplifica as curvas obtidas em campo, onde são dadas a radiação solar incidente e as temperaturas registradas em função do tempo, para o latosol roxo de Piracicaba (LL8). Nas Figuras 3 e 4 são dados os mes

mos tipos de resultado para o latosol vermelho amarelo de São José dos Campos, (LL4) em diferentes datas e condições de umidade. Nota-se em todos os casos que a chegada do fluxo máximo de radiação antecede a temperatura máxima como era teoricamente esperado (Sellers, 1965). Também nota-se o efeito da nebulosidade (Figura 4) que é responsável por uma temperatura constante do solo num certo intervalo de tempo. Este efeito é particularmente notado nas Figuras 5, 6, 7 e 8 onde são dados as curvas de radiação incidente versus temperatura para os solos citados, e em especial no caso da Figura 8 que corresponde a um LV de Igaratá (LL5), observa-se uma súbita diminuição de temperatura no solo devido à nebulosidade intensa e descontínua. Também é possível notar nestas figuras a maior ou menor rapidez com que o solo é aquecido, em função da radiação incidente e do teor em umidade do solo, através da declividade inicial apresentada pelas curvas obtidas.

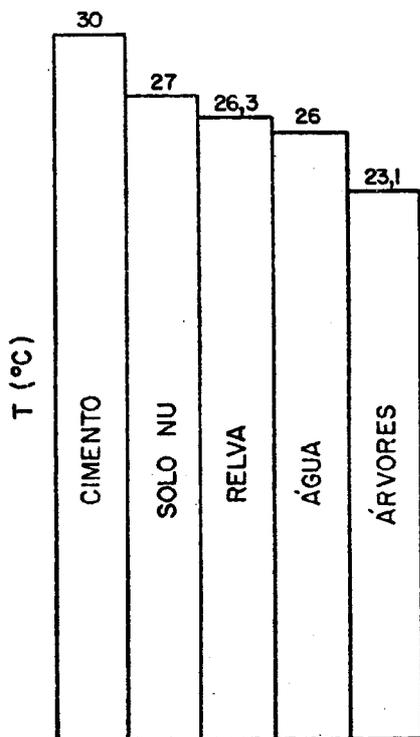


Fig. 1 - Temperaturas médias obtidas em Igaratá (10/04/80) para diferentes solos e entre 7 hs e 17 hs (hora local).

É necessário frisar aqui que a radiação total incidente não corresponde necessariamente à toda a energia que é absorvida pelo solo: parte desta energia é refletida pela superfície (albedo) e parte gasta em calor latente para evaporação da água contida no solo. Infelizmente não nos foi possível efetuar medidas de albedo e evaporação o que dificulta a comparação da variação de temperatura em função da radiação solar incidente

para diferentes tipos de solos. No entanto, para o LV de São José dos Campos (LL4) as medidas foram sempre efetuadas no mesmo local e nas mesmas condições, o que possibilita uma tal comparação. Neste caso, fica evidenciada a influência da umidade no comportamento térmico dos solos: na Tabela 1 são mostradas as radiações totais incidentes e temperaturas máximas registradas para o LV de São José dos Campos (LL4). Vê-se que ao valor máximo de radiação incidente não corresponde a máxima temperatura obtida por ter sido o dia em que o solo apresentava o maior teor em umidade. Este resultado era previsto pois sabemos que entre os principais constituintes do solo é a água que possui maior calor específico: 1.00 cal/°C.g. Para a caulinita, que é o principal tipo de argila encontrado em todos os tipos de solos estudados (invariavelmente caulinita e secundariamente ilita e clorita; exceção para a amostra LL5 de Igaratá onde apenas caulinita foi detectada) o calor específico vale 0,233 e para o humus 0,477 (Laus 1878 apud Bayer, 1956). No entanto estes valores sobem à 0,555 e 0,539 respectivamente quando apresentando 50% de umidade e para 0,945 e 0,846 se a umidade é de 100% (Ulrich 1894, apud Bayer, 1956).

A Tabela 2 dá as temperaturas máximas obtidas para os diferentes tipos de solos e as respectivas radiações totais incidentes. Estas temperaturas foram registradas entre 12 hs 30 e 15 hs (hora local). Os solos apresentam igual teor em umidade (5%) exceto o LL5 de Igaratá. O latosol roxo foi quem apresentou maior elevação de temperatura, embora recebendo uma quantidade de energia incidente comparável à recebida pelos demais solos. Sendo o que apresenta coloração mais escura, é sem dúvida o que deve apresentar menor albedo. (O albedo dos solos varia entre 8% para solos úmidos e escuros, à 30% para solos secos e claros, segundo Robinson 1966, e sua variação, tanto anual quanto diurna é função da elevação do sol). Os demais solos, de tonalidades mais claras, especialmente o LL2 (que recebeu maior incidência de radiação solar) apresentam temperaturas máximas 10°C inferiores à registrada no latosol roxo. Hanks (1958) mostrou para solos de climas temperados que em igualdade de condições, tais como teor em umidade e espessura de camada orgânica, a evaporação é diretamente proporcional à temperatura. Porém em condições de campo, esta relação nem sempre pode ser estabelecida devido à influência de outros fatores. Em outra experiência realizada (Hanks et al, 1960) não foi possível estabelecer uma relação direta entre radiação total, temperatura e evaporação. No nosso caso não medimos a evaporação e não existem dados suficientes para se estabelecer uma tal relação, mas fica evidenciada a influência do fator umidade no comportamento térmico dos solos. Por outro lado, temos que

admitir, embora com poucos dados, que não há uma relação direta entre quantidade de ener

gia total incidente e temperatura do solo.

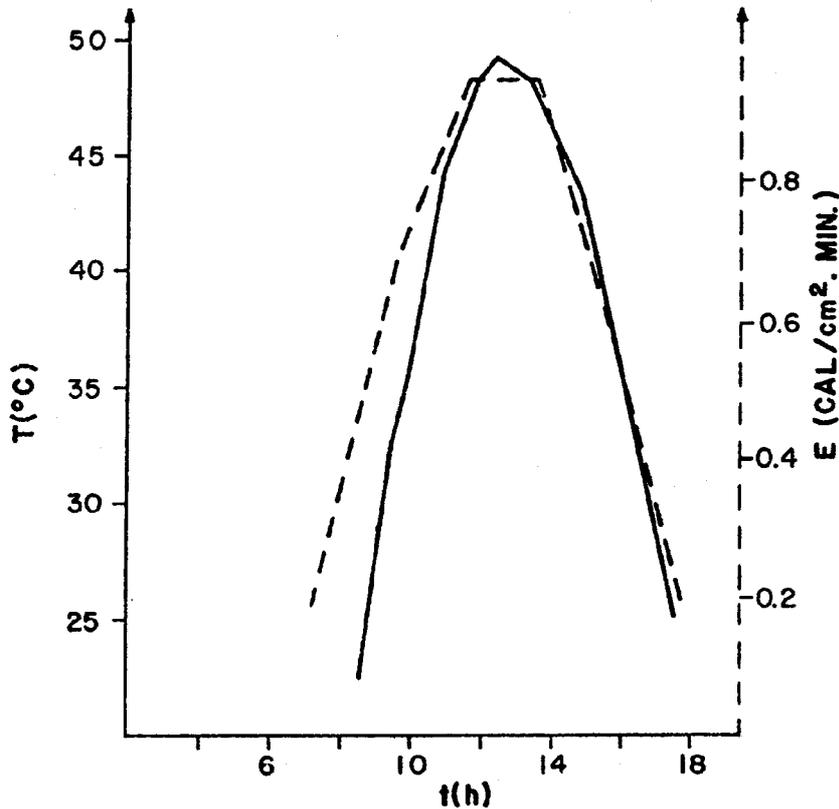


Fig. 2 - Medidas de temperatura obtidas com intervalos de meia hora, e entre 7 hs e 17 hs, para o LR de Piracicaba, em 16/05/80. Em pontilhado a radiação solar total incidente, neste mesmo dia e monitorada por actinógrafo no mesmo local.

O latosol roxo, além de apresentar temperatura mais elevada, é também, entre os 5 estudados, o que apresentou maior teor em matéria orgânica (C total) e ferro (Fe_2O_3), conforme pode ser visto na Tabela 2. Sabe-se que é essencialmente o ferro que, associado à matéria orgânica, determina a coloração do solo. Segundo Graner e Godoi Jr. (1967) "a terra roxa se mostra de grande fertilidade, rica em elementos minerais e uma reação neutra, pH de ordem 7, em consequência das bases retidas pela matéria orgânica, sendo esta, porém, de evolução muito rápida em virtude do clima e da presença de óxido de ferro, a sua reação tende para a aridez depois de alguns anos de uso".

Além de outros fatores, tais como tipo de cobertura vegetal, pluviometria, textura do solo etc., a temperatura tem papel importante na evolução da matéria orgânica dos solos: Boissezon et al (1973), baseados em resultados obtidos por vários autores, mostram que o teor em matéria orgânica (C) dos solos temperados diminui quando a temperatura aumenta, sendo que este decréscimo é muito mais acentuado em solos de países tropicais. Por outro lado, a diminuição da temperatura tem

um efeito mais importante sobre o crescimento das plantas que sobre a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo. Curvas de variação de teor de C em função da temperatura foram estabelecidas em solos de regiões de clima temperado e países intertropicais sendo que os resultados obtidos são diferentes e ainda não são conhecidas as razões da diferença de inclinação e deslocamento apresentadas por tais curvas (Laudelout, 1962 apud Boissezon et al, 1973).

A fim de se tentar estabelecer uma correlação entre os teores em Fe_2O_3 e C dos solos e a absorção de energia (e conseqüente aumento de temperatura) nós selecionamos várias amostras de solos; apresentando teores variados dos compostos mencionados, sendo examinados por espectroscopia fotoacústica. Este procedimento oferece a vantagem de eliminar a influência de certos parâmetros que não podem ser controlados no campo, tais como teor em umidade, variação da radiação incidente e granulometria. Assim sendo, todas as amostras de solo foram medidas nas mesmas condições e submetidas à mesma radiação incidente.

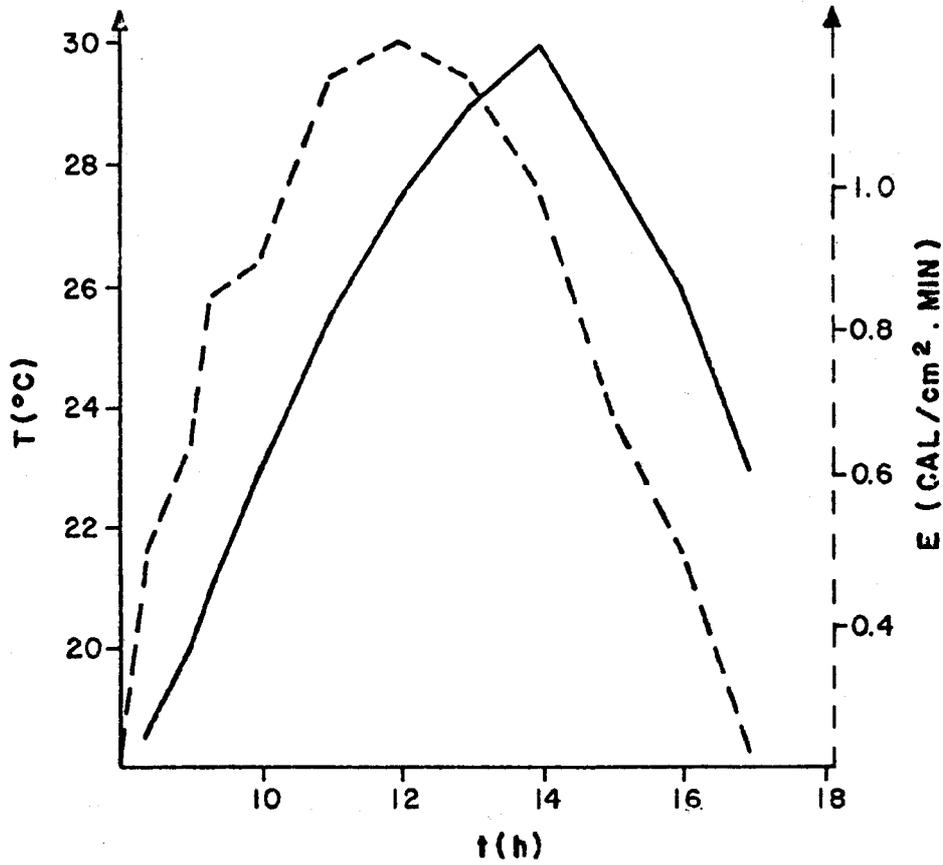


Fig. 3 - Medidas de temperatura obtidas em campo para o LV de São José dos Campos; em 14/08/80. Radiação solar incidente local (em pontilhado).

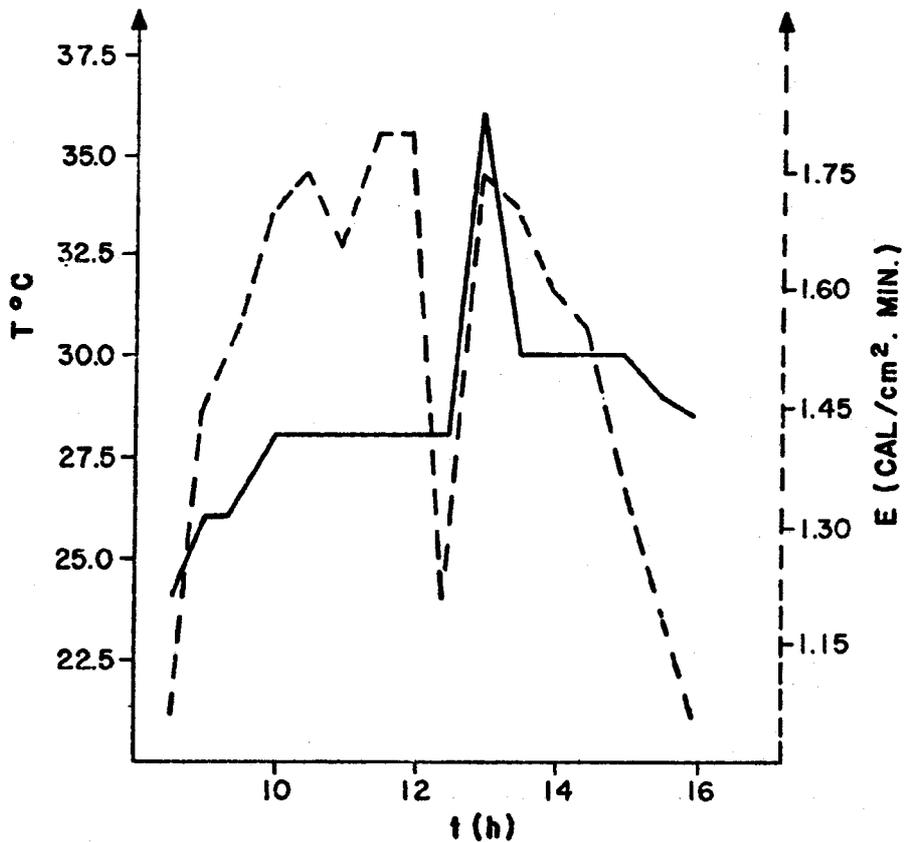


Fig. 4 - Temperaturas obtidas para o solo anterior, São José dos Campos, em dia de forte nebulosidade (14/11/80). Radiação solar incidente local (em pontilhado).

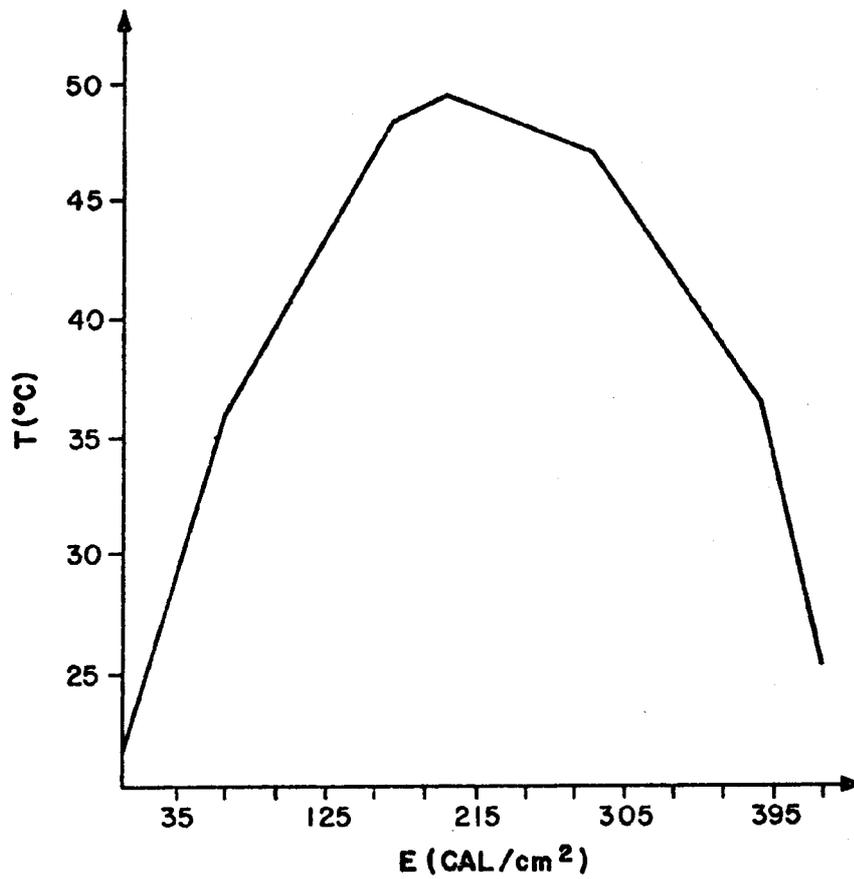


Fig. 5 - Valores de temperatura versus radiação solar incidente para o LR de Piracicaba (16/05/80).

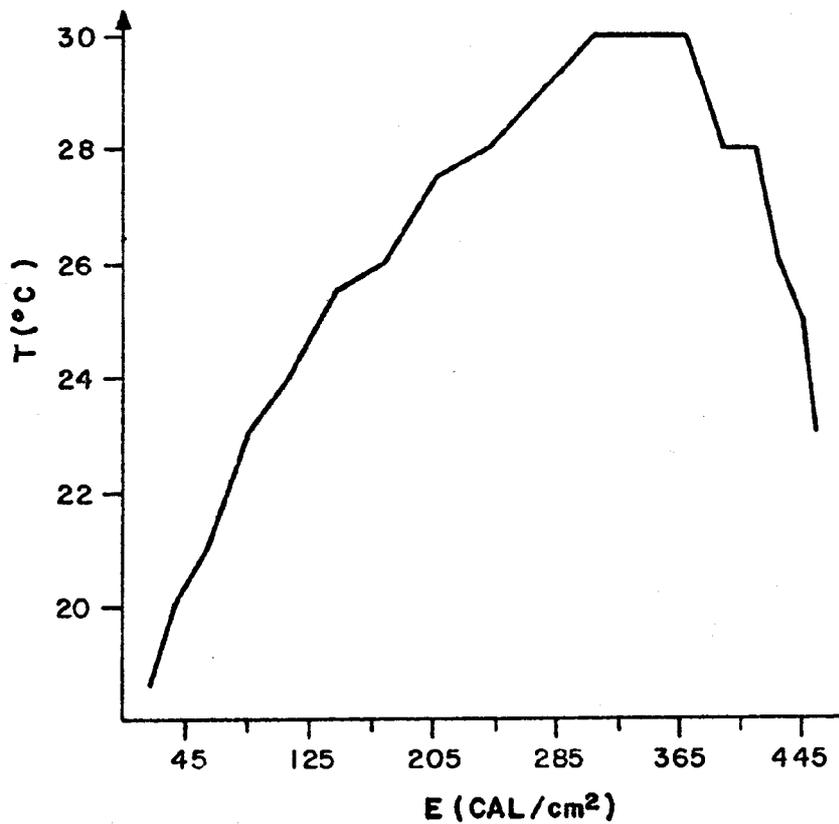


Fig. 6 - Valores de temperatura versus radiação solar para o LV de São José dos Campos em 14/08/80.

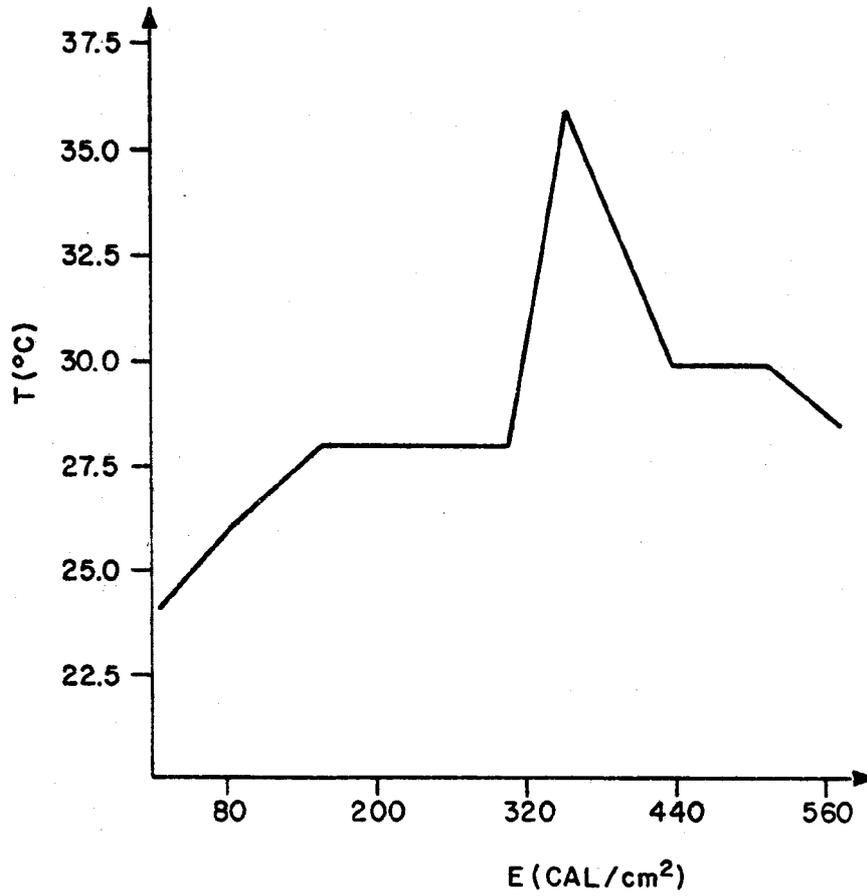


Fig. 7 - Valores de temperatura versus radiação solar para o LV de São José dos Campos em 14/11/80

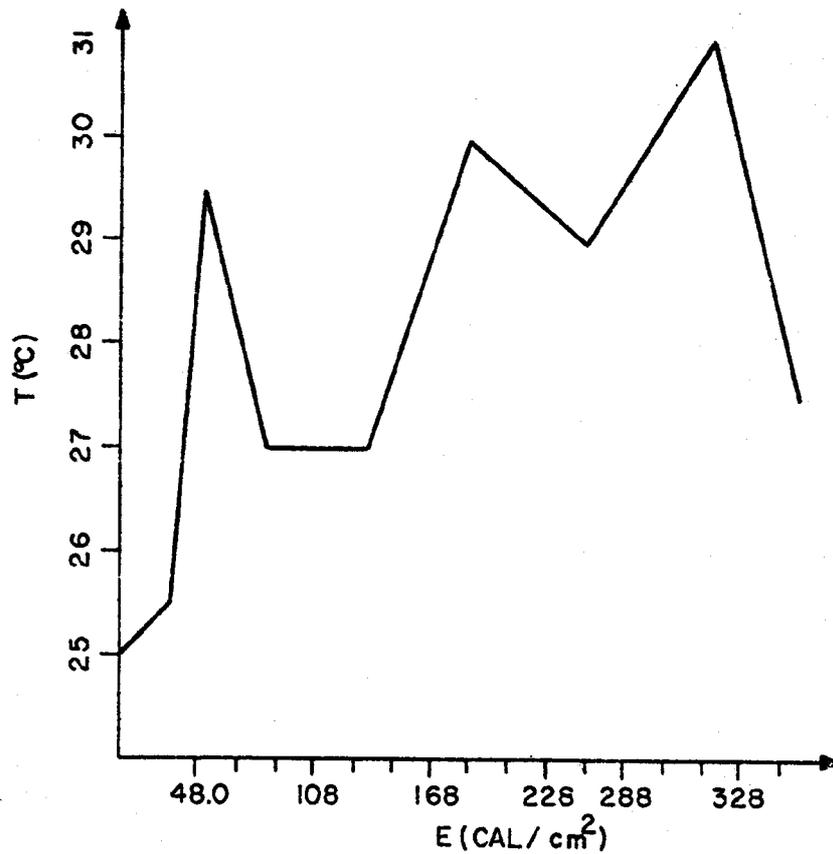


Fig. 8 - Temperatura versus radiação solar para o LV de Igaratã em 10/04/80.

TABELA 1

E(ENERGIA TOTAL INCIDENTE), TEMPERATURAS MÁXIMAS OBTIDAS E TEOR EM UMIDADE PARA O LV DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS EM DIFERENTES DATAS

E (cal/cm ² . dia)	Tmax (°C)	UNIDADE (%)	DATA
727	34	10	20.11.80
606	36	7.4	14.11.80
456	30	6.5	14.08.80
264	27	6	07.10.80

TABELA 2

TEMPERATURAS MÁXIMAS OBTIDAS EM CAMPO PARA OS DIFERENTES TIPOS DE SOLOS, RADIAÇÃO TOTAL INCIDENTE (E), TEORES EM CARBONO TOTAL E Fe₂O₃ E INTENSIDADE TOTAL (I) DO SINAL F.A.

SOLO/LOCAL	TIPO DE SOLO	E (CAL/CM ² . DIA)	TMAX. (°C)	C (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	I	COR	DATA
LL8/PIRACICABA	LR	444	50	1,21	9,54	2814	2,5YR3/4	16.05.80
LL7/PIRACICABA	PVA	468	41	0,84	3,87	2178	7,5YR4/4	12.05.80
LL4/S.J. DOS CAMPOS	LV	458	40	0,81	3,55	2688	5YR4/3	24.04.80
LL2/CACHOEIRA PAULISTA		624	40	0,06	0,48	1159	5YR6/4	07.02.80
LL5/IGARATÁ	LV	378	31	0,18	7,11	2669	5YR4/6	10.04.80

Alguns dos espectros fotoacústicos (F.A.) obtidos são apresentados na Figura 9. As formas destes espectros podem ser a priori classificadas em 2 tipos: as amostras ricas em matéria orgânica que apresentam um pico em torno de 300 nm (Figura 9a); para aquelas ricas em ferro, onde se observa nitidamente um patamar entre 260 e 540 nm (Figura 9b). Também nota-se que as amostras mais ricas em ferro tem maior absorção na faixa do laranja e vermelho, como era esperado.

Os espectros apresentados na Figura 9, onde temos intensidade relativa do sinal fotoacústico (I) em função do comprimento de onda (λ), podem também ser obtidos em função da energia (em e.V.) utilizando-se a equação $E = h\nu = hc/\lambda = (1242 \times 10^{-9})/\lambda$ onde h é a constante de Planck e c, a velocidade da luz (Figura 9c). Integrando-se a área sobre a curva obtemos o valor relativo da energia que foi absorvida. Assim a intensidade do sinal F.A. é proporcional à quantidade de energia absorvida pela amostra pois a luz absorvida é convertida em som. Logo, amostras que absorveram maior energia apresentam um sinal F.A. mais intenso.

Na Tabela 2 são dadas as intensidades do F.A. (I) para os solos cujas temperaturas foram medidas em campo. Nesta tabela também são dadas a cor de cada amostra, segundo a Munsell Soil Color Chart. Nota-se que há uma correspondência entre a cor dos solos, teor em C total e Fe₂O₃, e a intensidade do sinal F.A. O solo de coloração mais escura (LL8) e que também é o mais rico em Fe₂O₃ e C total, foi o que atingiu a mais alta temperatura em campo e também o que apresentou sinal F.A. mais intenso; por outro lado, o LL2 sendo o mais claro, mais pobre em C e Fe₂O₃ é o que apresenta sinal F.A. menos intenso e embora tendo recebido a maior quantidade de energia incidente em campo, não foi o que apresentou maior valor de temperatura. As amostras LL4 e LL5 são comparáveis em termos de teor em C total e intensidade de sinal F.A., apenas o LL5 estando o mais úmido foi o que atingiu menor valor de T, como foi dito anteriormente.

Além dos solos cujas temperaturas foram medidas em campo, outras amostras de solos com variados teores em Fe₂O₃ e carbono total foram selecionadas e analisadas por espectroscopia F.A.. Com os resultados obtidos foram tra

çadas as curvas da Figura 10, onde temos a intensidade do sinal F.A. (I) versus teor em C e teor em Fe_2O_3 . Nota-se que a matéria orgânica absorve maior quantidade de energia. Portanto as amostras ricas em C dão um sinal F.A. mais intenso que aquelas que apresentam porcentagens comparáveis em Fe_2O_3 . Assim, solos mais ricos em C têm tendência a apresentarem temperaturas mais altas e consequentemente são facilmente atingidos pela rápida

evolução e deterioração desta mesma matéria orgânica, o que implica num aumento de acidez do solo, provocando sua rápida degradação e empobrecimento em microorganismos. Vários autores (apud Konova et al, 1966) baseados em experiências realizadas em laboratório, consideram que a atividade microbiana apresenta o seu máximo à $30^{\circ}C$, e para este valor de temperatura corresponderia um máximo de decomposição da matéria orgânica.

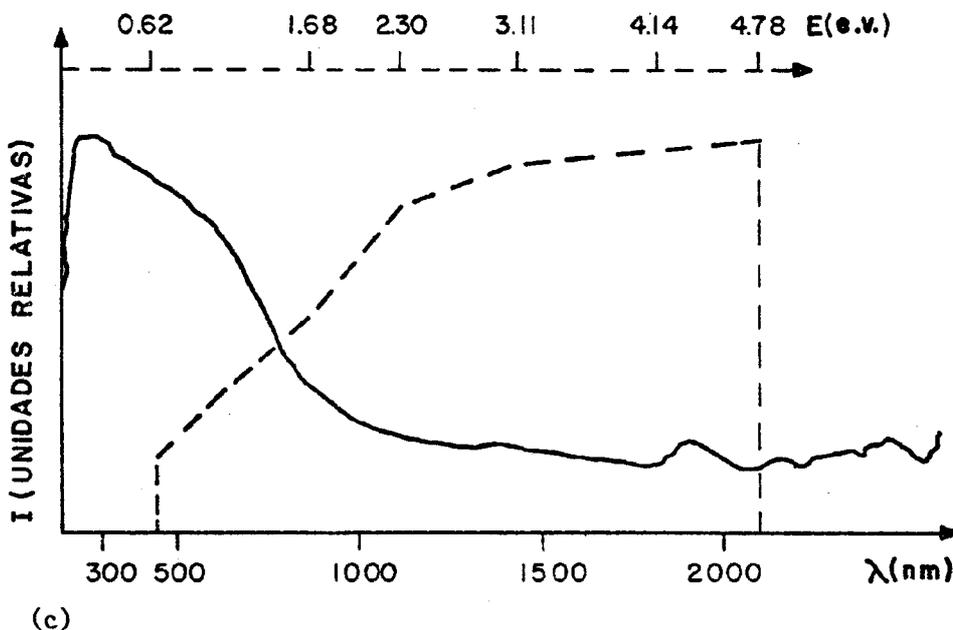
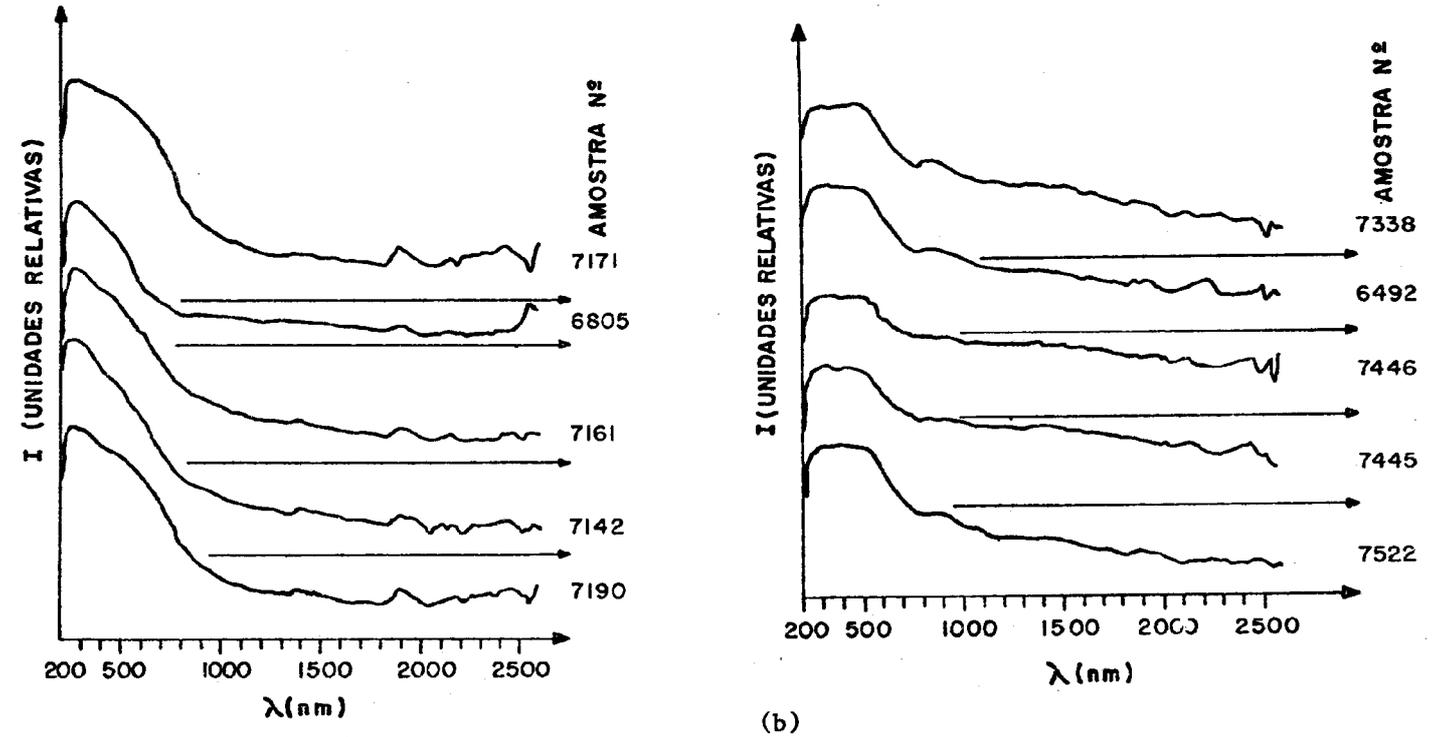


Fig. 9 - (a) Espectros F.A. para amostras de solos ricos em matéria orgânica, (b) Espectros F.A. para solos ricos em Fe_2O_3 , (c) Espectro F.A. (I em unidades relativas x comp. de onda em nanômetros); o mesmo espectro representado em termos de I x energia em e.v. em pontilhado.

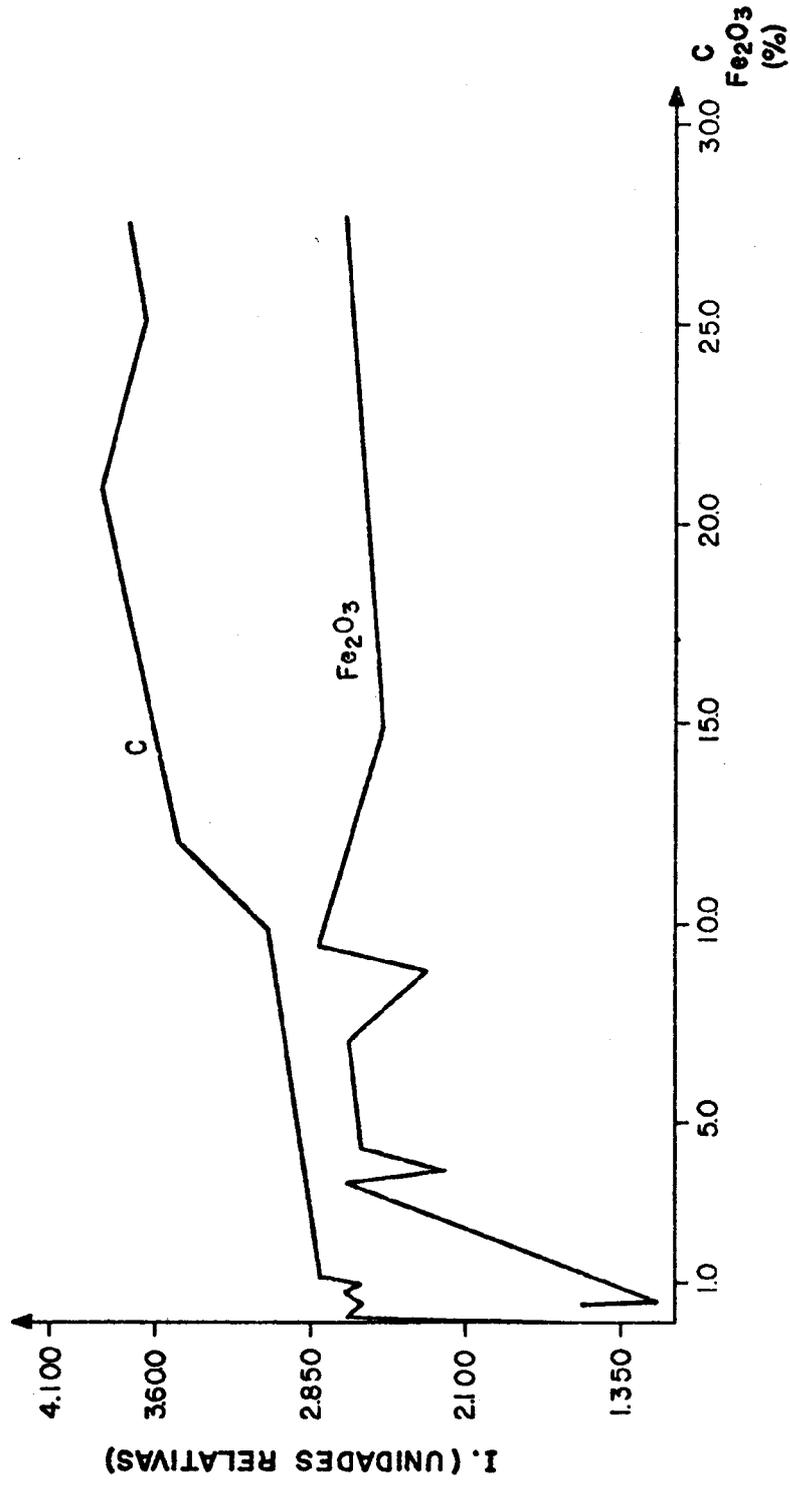


Fig. 10 - Intensidade do sinal F.A. (I, em unidades relativas) contra teores em C e Fe₂O₃ ambos em porcentagens.

Na Tabela 3 são dados os teores em C, Fe_2O_3 , cor e intensidades totais (I) do sinal F.A. para as amostras de solos. Também são dadas, em porcentagens, as intensidades relativas dos sinais F.A. para diferentes intervalos de comprimento de onda, em relação à intensidade total (I) do sinal F.A. para cada amostra. Esta porcentagem corresponde à razão entre a área sobre a curva num intervalo de comprimento de onda considerado, e a área total da curva entre 260 e 2.000 nm.

Verifica-se que para todas as amostras de solos há uma absorção de 20 a 30% somente na região compreendida entre 260 e 300 nm, sendo que mais de 50% da energia absorvida pelas amostras está na faixa entre 260 a 400 nm. Por outro lado, entre 400 e 1100 nm apenas uma quantidade em torno de 35% de energia é absorvida. Como foi dito antes, à uma menor absorção, corresponde uma maior reflexão: assim sendo, nossos resultados comprovam dados obtidos por meteorologistas (Robinson, 1966) que registram albedos maiores na região do visível e infravermelho, na superfície da terra, que na região do ultra-violeta.

Sabe-se que 9% da radiação solar incidente no topo da atmosfera encontra-se num intervalo compreendido entre 150 e 400 nm, 45% situa-se na região do visível e 46% no infravermelho. Porém o ozônio, absorvendo fortemente a radiação, praticamente nenhuma energia com comprimento de onda inferior à 290 nm atinge o solo. A atmosfera atua então como filtro, sendo que relativamente pequenas quantidades de energia são absorvidas pelo oxigênio e ozônio na região entre 600 e 700 nm com alguma absorção pelo CO_2 na banda do infravermelho próximo. O espalhamento da radiação (scattering) que é particularmente importante para comprimentos de onda curtos, é responsável pela atenuação da radiação que atinge o solo na região do visível e U.V. próximo. É na região do visível que o fluxo que atinge a superfície da terra atinge o seu máximo. (Sellers, 1965; Robinson, 1966; Coulson, 1975).

Devido à relativamente forte porcentagem de energia absorvida pelas amostras de solo na região entre 260 e 300 nm, pode-se observar que uma modificação da atmosfera acarretaria uma mudança significativa no comportamento térmico dos solos e em consequência uma variação climática notável.

Se compararmos as porcentagens de absorção de energia obtidas para as amostras de solo, nos comprimentos de onda correspondentes às faixas dos canais do LANDSAT, verificamos que há maior absorção nos comprimentos de onda correspondentes ao canal 4 (500 à 600 nm) quando comparado ao canal 5 (600 à 700 nm) e que é um dos canais mais utilizados em trabalhos e classificação dos solos. Em termos de se utilizar o F.A. para selecionar previa-

mente largura de banda na definição de instrumentos sensores, pouca diferença haveria no emprego das faixas correspondentes aos canais 5 e 7 (700 a 900 nm) uma vez que a porcentagem de energia absorvida indica ser a mesma para ambos os intervalos de comprimentos de onda. Apenas na região referente ao canal 7 obtemos uma excelente percepção do relevo, o que vem a complementar as informações obtidas no canal 5 para o solo nu.

Na Tabela 3 são também dados os resultados obtidos por espectroscopia F.A. para amostras de hematita e goetita, formas de ocorrência mais comuns para os compostos de ferro nos solos.

Alguns espectros de F.A. foram obtidos para diferentes tipos de argila, assim como para as mesmas amostras de solo mas fazendo-se variar a granulometria. Estes resultados serão discutidos num próximo trabalho, e o estudo ora realizado deverá ser estendido, utilizando-se a espectroscopia F.A. em outros tipos de amostras, tais como vegetação, componentes minerais do solo, tipos de solo com diferentes densidades, etc.

4. CONCLUSÕES

Medidas realizadas por espectroscopia fotoacústica em amostras de solos evidenciaram o papel decisivo do teor em matéria orgânica na absorção de energia pelos solos, comprovando os resultados dos valores de temperaturas registradas em condições de campo: solos mais ricos em C total têm tendências à apresentarem temperaturas mais elevadas, independentemente da quantidade total de radiação solar incidente. Entre uma amostra de solo rica em Fe_2O_3 e uma outra apresentando igual porcentagem em C total, é esta última que absorve maior quantidade de energia. A matéria orgânica, e o fator umidade tem papel decisivo na evolução térmica dos solos.

Para todas as amostras estudadas, a absorção de energia é relativamente maior na região estreita do espectro compreendida entre 260 e 400 nm, que para regiões mais largas, como na faixa do visível ou infravermelho próximo. A atuação da atmosfera como filtro delimita o aquecimento dos solos na superfície da terra.

A espectroscopia F.A. pode ser utilizada como método de estudo para uma seleção prévia na definição de larguras de banda para instrumentos sensores. Por outro lado, este método apresenta vantagens de, embora utilizado em laboratório, controlar parâmetros tais como radiação incidente, umidade, etc., no estudo de temperaturas dos solos, fatores estes que nem sempre podem ser controlados em campo.

TABELA 3

TEORES EM Fe₂O₃, C, E INTENSIDADE TOTAL (I) DO SINAL F.A. PARA DIFERENTES AMOSTRAS DE SOLOS. INTENSIDADES RELATIVAS DO SINAL F.A. (EM %) CORRESPONDENTES A VÁRIOS INTERVALOS DE COMPRIMENTOS DE ONDA

AMOSTRA Nº	Fe ₂ O ₃ (%)	C (%)	I * (260 - 2.000)	300 - 700 (%)	260 - 300 (%)	300 - 400 (%)	400 - 500 (%)	500 - 600 (%)	600 - 700 (%)	700 - 800 (%)	800 - 1.100 (%)	1.100 - 2.000 (%)	COR
6805	0,45	0,06	1560	72	26	43	17	9	5	3	4	3	5YR5/6
LI2	0,48	0,06	1159	66	31	42	15	7	3	2	2	2	5YR6/4
LI4	3,55	0,81	2688	70	23	39	18	10	5	3	4	3	5YR4/3
LI7	3,87	0,84	2178	69	22	37	18	10	6	4	5	5	7,5YR4/4
6492	4,40	1,04	2607	65	19	33	16	11	7	5	7	6	2,5YR3/4
LI5	7,11	0,18	2669	70	23	37	18	11	6	3	4	2	5YR4/6
7446	8,9	0,35	2281	62	18	30	15	10	7	5	8	9	2,5YR3/4
LI8	9,54	1,21	2814	66	20	33	17	11	7	5	6	5	2,5YR3/4
7445	15	0,5	2602	63	18	31	15	10	8	5	8	8	2,5YR3/4
7522	27,8	1,08	2678	65	19	33	17	11	7	5	7	6	2,5YR3/4
7161		10,4	3066	67	22	35	16	10	6	4	5	4	10YR4/2
7142		11,2	3316	67	22	36	16	10	6	4	5	4	10YR3/2
7190		12,2	3500	67	21	34	16	10	7	5	6	4	10YR3/1
7168		21	3859	67	20	33	16	11	8	5	6	5	10YR3/1
7171		25,3	3646	67	20	33	16	11	7	5	6	4	10YR3/1
7120		27,7	3725	65	20	32	16	11	8	5	7	6	10YR3/2
HEM.	-	-	3579	58	16	28	14	10	8	7	11	10	
GOET.	-	-	4984	61	18	30	15	11	7	6	9	8	

(*) Unidades relativas.

5. AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer à cooperação dos engenheiros e técnicos da Copersucar que nos possibilitaram efetuar medidas de temperatura nos campos da Empresa, assim como à C. Rotta, do Instituto Agronômico de Campinas que amavelmente nos cedeu amostras de solos. À R.P.A. Muniz pelo apoio no estudo de F.A. e à M.C. Forti pelo trabalho de computação com nossos gráficos e dados. À F. de Almeida e M. Delhumeau pelas sugestões e críticas ao trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAVER, L.D. Soil temperature. In: ——— *Soil Physics*. 3ª ed. New York, John Wiley, 1956. Cap. 10, p. 362-379.
- BOISSEZON, P. de; MOUREAUX, C.; BOGEL, G.; BACHELIER, G. *Les sols ferrallitiques*. ORSTOM Paris, 1973. T. 4, 146 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisa Agronômica. *Levantamento e reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo*. s.l., 1960.
- CHANG, J. *Ground temperature*. Havard, Havard University, Blue Hill Meteorological Obs. Milton, 1958. v. 1.
- COULSON, K.L. *Solar and terrestrial radiation*. New York, Academic, 1975. 322 p.
- FAVARD, J.C. Determination de cycles thermiques a partir de satellites meteorologiques geostationnaires. In: EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). *Earth observation from space and management of planetary resources*; Proceedings of an International Conference, Toulouse, 6-10 mar. 1978. Paris, 1978, p. 141-143. (ESA SP-134).
- GRANER, E.A.; GODOI Jr., C. Técnicas Agrícolas. In: *Cultura da Fazenda Brasileira*. São Paulo Bibl. Agron. Melhoramentos, 1967. p. 146-167.
- HANKS, R.J. Water vapor transfers in dry soil. *Soil Science Society American Proceedings*, 22:372-374, 1958.
- HANKS, R.J.; BOWERS, S.A.; BARK, L.D. *Influence of soil surface conditions on net radiation, soil temperature and evaporation*. Kansas, U.S. Dep. of Agriculture and Kansas Agric. Exp. Station, Dep. of Agronomy, 1960. p. 233-238. (Contribution nº 694).
- KONOVA, M.M.; NOWAKOISKI, T.Z.; NEWMAN, D.A. C.D. The natural factors of humus formation. In: ——— *Soil organic matter*. 2ª ed. Oxford, Pergamon, 1966. Cap. 5, p. 229-256.

RAMANA RAO, T.V.; VIANELLO, R.L. *Características térmicas do solo de Cachoeira Paulista - S.P.* São José dos Campos, INPE, 1977. (INPE-1106-PE/080).

ROBINSON, N. *Solar Radiation*. Amsterdam, Elsevier, 1966. 347 p.

