

Este exemplar corresponde a redação final da tese
defendida pelo Sth. Maria Angela Fagnani e
aprova da pela comissão julgadora.

Campana, 20 de Junho de 1955



CARACTERÍSTICAS MICROMETEOROLÓGICAS OBSERVADAS EM
CAFEEIROS EM NOITES SUJEITAS A GEADA DE IRRADIAÇÃO

MARIA ANGELA FAGNANI

orientador : Dr. HILTON SILVEIRA PINTO

CARACTERÍSTICAS MICROMETEOROLÓGICAS OBSERVADAS EM CAFEZEIROS
EM NOITES SUJEITAS A GEADA DE IRRADIAÇÃO

MARIA ANGELA FAGNANI

Orientador: Prof. Dr. Hilton Silveira Pinto

Dissertação apresentada ao Instituto
de Biologia da Universidade Estadual
de Campinas, para obtenção do título
de Mestre em Ciências Biológicas -
Área de Ecologia .

CAMPINAS

1985

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. HILTON SILVEIRA PINTO, pela segura orientação.

Aos integrantes da pré-banca, Dra. ANTONIA CECÍLIA Z. AMARAL, Dr. KEITH SPALDING BROWN Jr., Dr. MÁRIO JOSÉ PEDRO Jr., Dr. NILSON AUGUSTO VILLA NOVA, e Dr. WOODRUFF WHITMAN BENSON .

À SEÇÃO DE CLIMATOLOGIA AGRÍCOLA DO INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, pela oportunidade de valiosíssimo estágio durante o desenvolvimento deste trabalho, pelo uso do campo experimental, dos equipamentos utilizados, e demais comodidades oferecidas.

Aos senhores ADAMASTOR POLASTRO, LUIZ ANDRÉ MACEDO, JOSÉ CARLOS FABRI e sra. ISAURA BONATO, pela inestimável ajuda e ensinamentos nos trabalhos de campo; e demais funcionários e técnicos da Seção de Climatologia Agrícola do IAC, pela acolhida, apoio e incentivos edificantes e inesquecíveis.

À desenhista LILIANA SOLHA, pelo esmero na confecção das figuras.

À sra. ANNA GAGLIARDI, bibliotecário-chefe da Biblioteca do Instituto de Biologia, UNICAMP, pela revisão das referências bibliográficas.

Aos colegas e funcionários da FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, UNICAMP, pela paciência e apoio.

À CAPES e ao CNPq, pelas bolsas concedidas.

Ao engenheiro agrícola ISSAO KUMAGAI e à analista de sistemas MARIA LÚCIA FELTRIN, pela ajuda na programação de computação.

Ao TÚLIO, PRETA, KOJAK e ALEMÃO, pela força.

À WALDÊ e ROMEU, com profundo reconhecimento.

A LAHIRI MAHASAYA.

ÍNDICE

	página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. MATERIAL E MÉTODO	18
3.1. MATERIAL	18
3.1.1. Caracterização das condições do experimento	18
3.1.2. Instrumental utilizado	22
3.1.2.1. Radiômetros líquidos	22
3.1.2.2. Radiômetro termal	23
3.1.2.3. Instrumental para medida de tempe- ratura	23
3.1.2.4. Medida do vento	25
3.1.3. Calibração dos instrumentos	25
3.2. MÉTODO	26
3.2.1. Teoria	26

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. Gradientes de temperatura	37
4.1.1. Variação horária de temperaturas observadas em vários pontos da planta e no posto meteo- rológico padrão	37
4.1.2. Variação horária das diferenças de tempera- turas observadas entre vários pontos da cul- tura e no posto meteorológico	43
4.1.3. Perfil da temperatura do ar e de folhas ..	56
4.1.4. Comparação entre temperatura de folha e do ar adjacente	64
4.2. Associação entre temperatura do ar no abrigo do posto meteorológico padrão e temperatura média de folhas externas	64
4.3. Balanço de energia	69
5. CONCLUSÕES	77
6. RESUMO	78
7. SUMMARY	79
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

9. APÊNDICE	88
9.1. Anexo 1. Ocorrência de geadas com temperaturas mínimas de 2,5°C ou menos, no período de 1890 a 1920 e de 1929 a 1975 , em Campinas (CAMARGO,1977)	88
Anexo 2. Valores de temperaturas observados nos termopares , nas 4 noites estudadas	89
Anexo 3. Valores de radiação líquida medidos ao nível da copa e a 1,0m acima desta , em planta de café , para as 4 noites estudadas	92
Anexo 4. Valores de temperatura e umidade relativa do ar do posto meteorológico padrão e micrometeorológico , para as 4 noites estudadas ..	96
9.2 Símbolos utilizados	100

FIGURAS ENCONTRADAS NO TEXTO

página

Fig.	1. Esquema vertical e lateral da instalação dos termopares e radiômetros líquidos na área experimental durante os invernos de 1980 e 1981 , no Centro Experimental de Campinas (CEC-IAC)	20
Fig.	2. Instalação dos instrumentos na área experimental ..	21
Fig.	3. Fluxos de energia radiante que chegam e que saem de uma folha	33
Fig.	4. Esquema da instalação dos radiômetros líquidos na área experimental	36
Fig.	5. Variação horária das temperaturas observadas em vários pontos em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico, na noite de 30-6/1-7-80	39
Fig.	6. Variação horária das temperaturas observadas em vários pontos em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico , na noite de 20/21-7-80	40
Fig.	7. Variação horária das temperaturas observadas em vários pontos em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico , na noite de 30-6/1-7-81	41

- Fig. 8. Variação horária das temperaturas observadas em vários pontos em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico , na noite de 25/26-7-81 42
- Fig. 9. Variação horária das diferenças de temperaturas observadas entre vários pontos, em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico , na noite de 30-6/1-7-80 44
- Fig. 10. Variação horária das diferenças de temperaturas observadas entre vários pontos, em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico , na noite de 20/21-7-80 45
- Fig. 11. Variação horária das diferenças de temperaturas observadas entre vários pontos, em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico , na noite de 30-6/1-7-81 46
- Fig. 12. Variação horária das diferenças de temperaturas observadas entre vários pontos, em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico , na noite de 25/26-7-81 47
- Fig. 13. Variação horária do perfil da temperatura do ar medida em planta de café Catuaí , na noite de 30-6/1-7-81 56
- Fig. 14. Variação horária do perfil da temperatura do ar medida em planta de café Catuaí , na noite de 25/26-7-81 57

- Fig. 15. Variação horária do perfil da temperatura de folhas medida em planta de café Catuaí, na noite de 25/26-7-81 58
- Fig. 16. Variação dos perfis de temperatura do ar dentro da planta de café Catuaí, a cada 2 horas, na noite de 30-6/1-7-81 62
- Fig. 17. Variação dos perfis de temperatura do ar dentro da planta de café Catuaí, a cada 2 horas, na noite de 25/26-7-81 63
- Fig. 18. Variação horária de temperaturas medidas em uma folha a 1,5m de altura dentro da copa de planta de café Catuaí e no ar, à mesma altura, distante cerca de 10cm, na noite de 30-6/1-7-81 65
- Fig. 19. Variação horária de temperaturas medidas em uma folha a 0,5m de altura dentro da copa de planta de café Catuaí e no ar, à mesma altura, distante cerca de 10cm, na noite de 30-6/1-7-81 66
- Fig. 20. Variação horária de temperaturas medidas em uma folha a 0,5m de altura dentro da copa de planta de café Catuaí e no ar, à mesma altura distante cerca de 10cm, na noite de 25/26-7-81 67
- Fig. 21. Regressão e correlação entre temperaturas no abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e temperaturas médias das folhas externas (tfe) obser

vadas em plantas de café Catuaí, nas 4 noites estudadas 70

Fig. 22. Perda de energia radiante observada e estimada , ao nível da copa e a 1,0m acima desta , em plantas de café Catuaí para as 4 noites estudadas 71

Fig. 23. Variação de deficit de saturação do vapor d'água do ar no abrigo do posto meteorológico , para as 4 noites analisadas 75

TABELAS ENCONTRADAS NO TEXTO

página

Tabela 1. Valores das diferenças de temperaturas observadas entre vários pontos, em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico	48
Tabela 2. Análise de correlação linear entre temperatura medida na folha - $F(x)$ - e no ar a 10cm de distância no interior da copa	68
Tabela 3. Valores de totais de energia líquida medida no nível da copa da planta ($R_{n(c)}$) e a 1,0m acima desta ($R_{n(ac)}$) para as 4 noites analisadas	72
Tabela 4. Valores do deficit de saturação do vapor d'água do ar no posto meteorológico, para as 4 noites analisadas	74
Tabela 5. Valores estimados dos gradientes de perdas de radiação sob a forma de energia líquida acima da cultura e ao nível da copa e valores observados dos horários de ocorrência de radiação líquida igual a zero	72

1. INTRODUÇÃO

" O problema da geada é um dos mais graves que enfrenta a lavoura de café, árvore de clima tropical e, no entanto, cultivada contra todos os princípios ecológicos, em zona sujeita ao fenômeno " (SERRA, 1957).

A afirmação, embora feita já há algum tempo, quando a cultura cafeeira dominava somente o sul do Brasil, pode ser encarada ainda como válida já que os estados do Paraná e São Paulo, além do sul de Minas Gerais, estão sujeitos a geadas periódicas e são grandes regiões produtoras.

CAMARGO (1977), em trabalho analisando o período de 1890 a 1920 e de 1929 a 1975, mostra que a ocorrência de geadas severas na região de Campinas é bastante frequente, cerca de uma a cada 5 anos (anexo 1). Complementando este trabalho, pode-se citar a ocorrência de geadas nos anos de 1978 , 1979 e 1981, as tres consideradas bastante severas.

Os prejuízos causados pelas geadas têm sido significativos em várias culturas, inclusive na do café, com consequências negativas em caráter interno ou externo ao país. Em 1975 foram atingidos pela geada de julho, cerca de 1,5 bilhões de cafeeiros das regiões produtoras dos Estados de São Paulo e Paraná. Um cálculo aproximado revelou um decréscimo de produção da ordem de 4,5 milhões de sacas no biênio 1976-77, impossibilitando um grande volume de vendas ao exterior. Essa situação criou sérios problemas de comercialização e de preços internos do produto (ORTOLANI e PINTO , 1979). No Estado de São Paulo,

em 1978, a quebra estimada na produção foi de cerca de 30% , ou seja, 278 milhões de cafeeiros e em 1981, cerca de 443,6 milhões de cafeeiros representando 45% da produção (PINTO et alii, 1983). Devido a esse problema, têm sido desenvolvidos vários métodos de proteção direta contra o fenômeno, sendo o principal a nebulização atmosférica. No entanto, dado à extensão da área cultivada, os métodos de proteção preventiva vêm sendo os mais indicados, com a instalação de culturas em locais adequados quanto ao relevo local ou em regiões livres do fenômeno (CAMARGO , 1963, 1981).

Um outro problema decorrente da incidência de geadas é a avaliação dos prejuízos causados à lavoura. Deve-se considerar que uma avaliação rápida dos prejuízos causados é uma informação importante a nível governamental para elaboração de planos de controle de estoques e de preços, de assistência técnica e outros que possam minimizar seus efeitos para o lavrador , principalmente nos casos de produtos de exportação, como o café. Para isso, a Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agrônomo de Campinas vem desenvolvendo, há cerca de oito anos, um sistema para levantamento de prejuízos causados por geadas à cafeicultura no Estado de São Paulo que, embora não concluído totalmente, já permite estimativas de danos com aproximação de até 95%. Trata-se no entanto de um sistema empírico, baseado em métodos estatísticos que não explicam as condições físicas do processo de resfriamento da planta.

Este trabalho pode ser considerado uma continuação do sistema citado, onde se procurou aplicar o método do balanço de energia para caracterização do resfriamento de uma planta de

café isoladamente tentando uma aproximação da cultura como um to
do.

Durante os invernos de 1980 e 1981, foram obtidos, em condições de campo, dados micrometeorológicos característicos de noites de geadas de irradiação, que permitiram estabelecer estimativas de perda de energia e de abaixamento de temperatura da planta de café. São analisados ainda os dados referentes a perfis de temperatura do ar e de folhas em diferentes localizações bem como o relacionamento entre as informações microclimáticas e as obtidas em posto agrometeorológico padrão.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A temperatura da superfície terrestre exerce considerável controle sobre importantes processos físicos na interface solo-atmosfera. Influencia no balanço de radiação da superfície de acordo com a lei de Stefan-Boltzmann, promovendo a emissão da radiação de ondas longas. Uma vez que também estabelece as condições limites para transferência vertical de calor sensível e latente, afeta o balanço de energia da superfície (DAVIES et alii, 1971; ORTOLANI e PINTO, 1979).

Considerando que as superfícies naturais da terra são absorvedoras da radiação solar e, portanto, ponto de partida para quase todos os eventos dependentes de energia do planeta, o conhecimento específico das temperaturas das folhas é de considerável interesse, especialmente do ponto de vista fisiológico, visto que processos metabólicos como absorção de nutrientes, fotossíntese, transpiração e fluxo protoplasmático, por exemplo, são dependentes de temperatura.

Em termos de avaliação de prejuízos em culturas causados por temperaturas altas ou baixas, ou especificamente de previsão de níveis de resfriamento na planta, o conhecimento das temperaturas das folhas é muito importante.

Uma razoável previsão de temperatura de folha vegetal pode ser efetuada com base no posto meteorológico eliminando-se assim o uso de instrumental sofisticado, de alto custo e de difícil utilização no campo. Métodos para esses tipos de estimativas foram apresentados por SUTHERLAND (1980) e PINTO

et alii (1976,1977 e 1978) . PINTO et alii (1977) demonstram a potencialidade do computador para mapeamento da variação espacial de danos em plantas por baixas temperaturas usando como exemplo a geada de julho de 1975 e utilizando dados do posto meteorológico. PINTO et alii (1978) apresentam um método para avaliação rápida de prejuízos causados por geadas à cafeicultura do Estado de São Paulo, sendo a estimativa dos danos baseada nas temperaturas mínimas observadas em abrigo meteorológico. Verificaram, empiricamente, que temperaturas próximas a $0,7^{\circ}\text{C}$ no abrigo meteorológico indicavam o início do processo de danos aos tecidos da planta. As temperaturas mínimas no abrigo foram correlacionadas às temperaturas mínimas observadas na relva do posto meteorológico considerando as diferenças entre as leituras dos dois termômetros e sua distribuição de frequências. Neste caso, as temperaturas da relva do posto meteorológico foram consideradas como representativas das temperaturas das folhas externas dos cafeeiros . Com isso pode-se inferir com que probabilidade o termômetro do abrigo representa a temperatura das folhas ao ar livre, assumindo valores médios para o Estado de São Paulo. Estatisticamente as diferenças entre as temperaturas do abrigo e da relva obedecem a uma distribuição normal, e a diferença de $4,2^{\circ}\text{C}$ ou mais ocorre em toda área analisada com uma probabilidade maior que 75%.

Entretanto, valores de temperaturas do ar medidos no abrigo tipo "Stevenson" podem dar apenas uma indicação das temperaturas das folhas, pois podem ocorrer variações consideráveis dependendo das condições meteorológicas, da cultura, taxa de transpiração e irrigação, como demonstraram LOMAS et alii (1971).

Os mesmos autores consideraram também que a maioria dos trabalhos utilizava os dados do posto meteorológico porque os métodos de medidas de temperaturas das superfícies das folhas haviam sido desenvolvidos somente nos últimos 10 anos. Como efeito local sabe-se que a uma variação grande de temperatura das folhas vegetais, principalmente em dias ou noites de atmosfera transparente, corresponde uma variação bem menor na temperatura do ar dentro do abrigo padrão. A causa é física e bem conhecida, e vários trabalhos experimentais tem demonstrado o fato (TANNER , 1963 ; RAHN e BROWN , 1971) . Mesmo em dias encobertos essa diferença existe, embora com variações menores, da ordem de 0,1 a 2,4°C , quando em dias limpos atinge 8 a 10°C (GATES, 1963) .

Vários estudos recentes mostram que medidas acuradas de temperatura de folhas podem ser utilizadas para controle de irrigação. Assim, REICOSKY et alii (1980) observaram que em ausência de advecção a temperatura da folha aumenta em decorrência do aumento do estresse hídrico da planta, devido ao fechamento dos estômatos e paralização da transpiração. Neste caso a temperatura do ar dentro da cultura tende a aumentar e pode servir como indicativo de início de irrigação, demonstrando o potencial prático deste tipo de abordagem . Resultados obtidos com a medida da temperatura do ar na cultura foram mais significativos do que os obtidos com medidas de temperatura do ar no abrigo do posto meteorológico.

Ainda, outros autores observaram grandes diferenças de temperatura quando as medidas eram feitas na folha e no ar , dentro da cultura, como demonstrado por WINTER e PENDLETON (1970)

em trabalho relacionando efeitos de luz e temperatura na fotossíntese, na cultura de milho . Os autores mostram que as temperaturas ótimas do ar e das folhas para a máxima fotossíntese são $33,5^{\circ}\text{C}$ e $40,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

As diferenças de temperatura entre pontos diferentes de uma planta devem também ser consideradas. ASTON e van BAVEL (1972) mostram a diferença de temperatura entre a superfície superior e a inferior, da ordem de 6°C em uma folha artificial próxima ao solo . As temperaturas de ambas as faces aumentam com o transcorrer do dia em função da diminuição do conteúdo de água no solo, o que faz aumentar a refletividade do mesmo, aumentando, conseqüentemente, a temperatura de folhas. As folhas mais próximas do solo, pelo aumento de energia incidente devido ao aumento de ondas curtas refletidas e de ondas longas emitidas do solo, são as mais afetadas.

TANNER (1963) mostra as inúmeras dificuldades referentes a determinações de temperaturas de folhas. A magnitude da diferença de temperatura entre plantas e o ar é de difícil determinação simplesmente por não haver meio de se medir temperatura da planta, sendo tres as razões principais : a) uma folha com a superfície normal à radiação solar incidente estará com a temperatura mais elevada do que a de uma folha que tenha um ângulo de incidência maior, ou que esteja sombreada; b) decorrente disto, há problemas sérios com a amostragem e não há um valor único de temperatura que represente a planta para todas as finalidades ; c) aderir ou inserir algum sensor pode afetar a temperatura da planta a ser medida. Além disso há a necessidade de se definir um local da planta que seja representativo da mesma,

já que a temperatura da copa refere-se à parte da planta que participa mais ativamente nos processos de transpiração, troca de calor e assimilação.

Além dos problemas referentes a amostragens representativas da temperatura de uma planta, devem-se considerar ainda as dificuldades de definir os melhores sensores para fazer essas medidas.

Os sensores mais usados são termopares e termômetros de radiação infra-vermelha.

Os termopares começaram a ser usados para medidas de temperaturas de folhas na década de 1970 (LOMAS et alii , 1971) e os termômetros de radiação , na década de 1950 e 1960 (STOLL e HARDY, 1952; MONTEITH e SZEICZ, 1962).

Os primeiros medem a temperatura diretamente na folha enquanto que os segundos medem-na indiretamente, através da radiação infra-vermelha emitida, que pode ser convertida para temperatura da planta com poucos erros, já que a emissividade de plantas é da ordem de 0,95 a 0,97 (TANNER, 1963) .

LOMAS et alii (1971) em trabalho comparando dois tipos de termopares, um que fica preso na superfície da folha , medindo a temperatura neste local, e outro, tipo agulha, para medir a temperatura em seu interior, apontam alguns problemas na amostragem de temperatura de plantas e folhas, perceptíveis apenas com o uso de termopares. Por exemplo, durante o dia, pequenas diferenças na orientação da folha e diferenças resultan-

tes do seu balanço de radiação, juntamente com as suas propriedades individuais como cor, espessura, fazem com que cada folha adquira sua temperatura individual, e as diferenças podem ser consideráveis mesmo entre folhas de orientação similares. As temperaturas medidas dentro e fora de uma mesma folha apresentaram diferenças, sendo durante o dia mais fria por dentro e invertendo à noite. Em vista das dificuldades técnicas de se medirem temperaturas sob condições de campo, com sensores à base de termopares colocados diretamente nas folhas, sugere o uso de miniaturas protegidas, bem ventiladas e expostas ao nível da copa da cultura, pois eles podem fornecer temperaturas bastante similares às das folhas enquanto que diferem das medidas do abrigo.

Ainda, GALE et alii (1970) obtiveram diferenças de cerca de 2°C entre termopares colocados na mesma folha, em posições diferentes, indicando que o problema da amostragem representativa continua a ocorrer, mesmo trabalhando-se com sensores mais acurados, como os termopares.

Com base em trabalhos desenvolvidos por IDLE (1968) e PERRIER (1971), BEADLE et alii (1973) apontam alguns cuidados que devem ser tomados ao se trabalhar com termopares com a finalidade de se obterem medidas mais precisas, a saber: a) providenciar bons contatos térmicos entre o termopar e a folha; b) usar fios finos para termopares para diminuir a distância da saliência da junção para a camada de ar vizinha e reduzir tanto a condução de calor dos fios como a quantidade de radiação interceptada ; c) minimizar as diferenças de temperaturas entre a folha e o ar.

GUILLESPIE (1984) (*) aponta problemas de se utilizarem termopares para medidas de temperaturas de folhas : a) a espessura da folha é cerca de 0,2mm, quase a mesma espessura do termopar, o qual estaria, na verdade dando um valor intermediário entre a temperatura da folha e do ar ; b) para medidas diurnas aparece um novo problema que é a alta absorção de comprimentos de onda acima de 3μ pelos metais componentes do termopar enquanto a absorção de comprimentos de onda maiores que 3μ pelas folhas é desprezível. Devido a estes dois fatores ter-se-ia u'a medida errônea da temperatura das folhas.

Embora apareçam trabalhos como o de HARDY (1934) sobre a radiação de calor que sai do corpo humano, aludindo à radiação infra-vermelha, os primeiros trabalhos com uso de termômetros de infra-vermelho para estudo de temperatura de plantas aparecem nas décadas de 1950 e 1960 : STOOLL e HARDY (1952) , MONTEITH e SZEICZ (1952) , TANNER e ROBINSON (1959) , FRANK (1964) , BUETTNER e KERN (1965) , COMBS et alii (1965), FUCHS e TANNER (1966) . São considerados básicos os trabalhos de GATES (1952,1961,1963,1965) com respeito às medidas feitas em vegetação .

Hoje em dia os termômetros infra-vermelhos são utilizados em larga escala, inclusive em sensoreamento remoto, com aplicações até em mapeamento por satélites. Em agrometeorologia têm sido usados para avaliação de temperaturas da superfície (DAVIES et alii,1971 ; CHEN et alii ,1979).

A detecção da temperatura, além dos métodos diretos de medida, ainda pode ser feita indiretamente através

(*) T.J. GUILLESPIE , comunicação pessoal

do balanço de energia . O princípio no qual este método se baseia é que a temperatura de uma folha é o resultado dos fluxos energéticos aos quais ela está sujeita . De acordo com MINTAH (1977) , o conceito de balanço de energia foi primeiro introduzido por RASCHKE (1956 , 1960) e desenvolvido subsequentemente por KNOERR e GAY (1965) e por GATES et alii (1968) .

Muitos estudos sobre balanço energético foram feitos utilizando modelos de folhas reais e não reais, como placas de superfície plana, ou desenvolvendo modelos para ambientes controlados para melhor compreensão dos fluxos envolvidos nas trocas térmicas . Assim, LOOMIS (1965) trabalhou com folhas vivas e soluções de cloroplastos para determinar coeficientes de absorção, reflexão e transmissão da luz; KNOERR e GAY (1965) aplicaram a teoria de convecção em placas de superfícies planas para estimar a perda de calor por convecção de folhas ; GATES (1968) trabalhou com folhas simuladas de papel mata-borrão montadas em um túnel de vento para determinar os coeficientes de convecção e de resistência para a camada externa, associados à relação largura/dimensão da folha na direção do vento ; ASTON e van BAVEL (1972) verificaram as equações para o balanço de energia usando folhas artificiais secas, úmidas e folhas reais em ambientes simulados com velocidade do ar, temperatura e umidade controlados ; MINTAH (1977) estudou os fluxos energéticos a que uma folha está sujeita através da analogia com uma placa artificial de superfície plana, simulando o que aconteceria em uma folha viva e MORRISON et alii (1981) , trabalharam com folha artificial construída de laminado, usando membrana de superfície de teflon, para fazer um modelo de previsão da temperatura de folhas vegetais .

O método do balanço de energia tem sido usado principalmente pela facilidade de ser aplicado em locais onde é difícil a colocação de sensores diretos nas folhas . Devido à possibilidade de medir fluxos de energia tanto em áreas pequenas como em áreas grandes, o método facilita os estudos de distribuição térmica espacial, mesmo para grandes áreas, com vistas à previsão , por exemplo , de temperaturas baixas, ou ainda, de avaliação de temperaturas baixas ocorridas em uma área extensa. Assim, SUTHERLAND (1980) , através de medidas obtidas pelo método de balanço de energia, desenvolveu um modelo estatístico para previsão de temperaturas em noites frias,baseando-se em condições locais iniciais de várias estações meteorológicas representativas de vários pontos de medida .

Além de medidas diretas de temperatura da superfície de vegetais ou solo, e métodos indiretos como o balanço de energia, são usadas, frequentemente, fórmulas empíricas para estimar a radiação térmica da atmosfera, através das quais também é possível estimar a temperatura da superfície . Duas das mais antigas e amplamente usadas destas relações foram propostas por ÅNGSTRÖM (1915) e BRUNT (1932) . Cada uma delas relaciona radiação térmica atmosférica com valores de temperatura do ar (em graus absolutos) ao nível do abrigo (T_a) e pressão de vapor (e_a) também ao nível do abrigo meteorológico .

A equação de ÅNGSTRÖM (1915) tem a forma :

$$R_a = \sigma T_a^4 (\alpha - \beta 10^{-\gamma e_a})$$

e a equação de BRUNT (1932) :

$$R_a = \sigma T_a^4 (a + b \sqrt{e_a})$$

onde:

σ é a constante de Stefan-Boltzmann

a , b , α , β e γ são coeficientes empíricos

e_a é a pressão de vapor do ar atmosférico

T_a é a temperatura do ar no abrigo meteorológico ($^{\circ}K$)

R_a é a radiação térmica da atmosfera

Mais recentemente, SWINBANK (1963) e IDSO e JACKSON (1969) desenvolveram equações que consideram somente a temperatura do ar . A primeira é expressa por :

$$R_a = \delta T_a^6$$

e a segunda por :

$$R_a = \sigma T_a^4 \{ 1 - c \exp [-d (273 - T_a)^2] \}$$

onde δ , c e d são constantes empíricas.

Há também outras equações que foram desenvolvidas , mas estas são talvez as mais comumente usadas (IDSO 1974) .

DEACON (1963 , 1970) mostrou que em bases diárias ou mensais, a níveis regionais , T_a e e_a variam em fase. Desta forma, segundo IDSO (1974) , as equações de SWINBANK(1963) e IDSO-JACKSON (1969) podem ser mais úteis em um contexto climatológico ou geográfico, enquanto que as equações de ÅNGSTRÖM (1915) e BRUNT (1932) podem ser mais úteis em uma área es-

pecífica ou em escala de tempo menor . As constantes empíricas nas equações de SWINBANK (1963) e IDSO-JACKSON (1969) são generalizadas para aproximar-se de condições médias mundiais enquanto as constantes das equações de ÅNGSTRÖM (1915) e BRUNT (1932) tem mostrado variar amplamente com relação a local e estação do ano . Ainda segundo IDSO (1974) , na faixa de temperatura de 0°C a 50°C há pouca diferença entre a R_a medida pelas equações de SWINBANK (1963) e IDSO-JACKSON (1969) . Somente quando a temperatura cai abaixo do congelamento é que ocorre uma discrepância marcante . Dados experimentais de IDSO e JACKSON (1969) e IDSO e BLAD (1971) indicam que a equação de SWINBANK (1963) super-estima grandemente a radiação térmica quando as temperaturas estão abaixo de 0°C . Assim, para aplicações com temperaturas acima de 0°C , tanto a equação de SWINBANK (1963) como a de IDSO-JACKSON (1969) , são adequadas , enquanto que , para aplicações abaixo de 0°C , a equação de IDSO-JACKSON (1969) deve ser preferida .

Segundo KONDRAT'YEV (1965 , citado por IDSO 1974) , as equações de ÅNGSTRÖM (1915) e BRUNT (1932) produzirão praticamente os mesmos resultados com coeficientes adequadamente selecionados . Assim, à parte o fato de que a equação de BRUNT(1932) requer somente dois coeficientes empíricos , sendo portanto mais simples de usar do que a de ÅNGSTRÖM (1915) , nenhuma dessas equações deve ser preferida sobre a outra, desde que se considere os mesmos limites de temperatura e pressão de vapor .

De acordo com CAMPBELL (1977) a radiação atmosférica é formada por ondas longas que são emitidas e absorvidas pela atmosfera, através principalmente do vapor d'água e CO_2 , além de uma banda estreita de

absorção pelo O_3 . Vapor d'água , CO_2 e O_3 são ,portanto os principais constituintes atmosféricos com níveis de energia que são excitados por radiação de onda longa . A radiação atmosférica pode ser estimada usando a equação de Stefan-Boltzmann ($R_a = \sigma e T_a^4$) desde que conhecida a emissividade atmosférica (e) . Muitas fórmulas empíricas são usadas para estimar a emissividade de céu claro, dentre elas, a de BRUTSAERT (1975) onde :

$$e = 0,58 \rho v_a^{1/7}$$

sendo ρv_a a densidade de vapor medida a 1-2 metros de altura . Isto porque a radiação atmosférica de ondas longas é, primariamente, uma função da concentração de vapor d'água nos primeiros quilômetros da atmosfera e é mais fortemente dependente da concentração de vapor a 1 ou 2 metros de altura ; combinada com estimativas do perfil de vapor e temperatura até 5 km, pode ser usada para estimar a emissividade . Uma vez que a concentração de vapor na atmosfera é correlacionada com a temperatura, BRUTSAERT (1975) fez correlações entre temperatura a 1-2 metros de altura e emissividade de céu claro dando a relação acima . CAMPBELL (1977) apresenta uma tabela com valores de emissividade (e) em função de T_a usando esta equação. Para temperaturas abaixo do congelamento a relação

$$e = 0,72 + 0,005 T_a$$

fornece valores bem compatíveis aos dados observados .

Uma vez determinada a emissividade da atmosfera pode-

se determinar a radiação térmica ou emissão da atmosfera através das fórmulas empíricas já discutidas .

Com referência à previsão de baixas temperaturas , SERRA (1957) trabalhando com café,utilizou os modelos propostos por BRUNT (1932), por HENSON, ANGOT e YOUNG , e apresentou um método de previsão de abaixamento de temperaturas com propósitos de proteção a geada , para localidades no Estado do Paraná.

O método proposto por SERRA (1957) foi baseado no fato de que é sobretudo a superfície do solo que, irradiando calor para o espaço durante a noite , sofre um resfriamento acentuado . Mostra que em nada influi a natureza da superfície, mas somente a sua temperatura, dado que a emissão se produz como em um corpo negro . Essa radiação do solo (R_s) é , contudo, em grande parte absorvida pela atmosfera que,de acordo com a lei de Kirchoff a reemitirá parcialmente em direção à superfície (R_a) observando , então que $R_a < R_s$. Tal radiação é inferior à do solo, em parte devido às perdas através da faixa transparente ou janela da atmosfera ($8,5\mu$ a 11μ), e em parte dada à menor temperatura do ar superior,que lhe acarreta valores mais baixos da radiação,conforme a lei de Stefan-Boltzmann. Por outro lado, enquanto a emissão do solo era toda para cima, a da atmosfera se faz em todos os sentidos,e só volta a ser absorvida pela superfície a parte dirigida para baixo . Desse modo, a radiação efetivamente perdida pelo solo,será a diferença(R_n) entre a emitida e a recebida de volta da atmosfera , ou seja :

$$R_n = R_s - R_a$$

No trabalho de SERRA (1957) apesar da determinação de R_s ser bastante precisa , o cálculo de R_a foi feito através do modelo proposto por BRUNT (1932) .

Tanto a metodologia do balanço de energia como de medida de temperatura de folhas são bastante utilizados por diversos autores, e serviram de base para os estudos efetuados no presente trabalho .

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. MATERIAL

3.1.1. Caracterização das condições do experimento

As observações foram conduzidas no Centro Experimental de Campinas (CEC), do Instituto Agronômico, localizado na cidade de Campinas-SP, a uma latitude de 22°53'S, longitude 47°04'W e altitude de 706m.

O lote de estudo constou de um talhão de cafeeiros da variedade Catuaí, com 12 anos de idade, altura média 1,90m, e espaçamento 3x2m com tratamentos culturais normais.

A geada de irradiação ocorre, normalmente, em condições meteorológicas bem definidas que são atmosfera transparente e ausência de ventos. Dado essas condições, as observações foram feitas durante os meses de junho, julho e agosto de 1980 e 1981. Do total dos 6 meses de dados coletados inicialmente foram selecionados e analisados os correspondentes a 8 noites do período de 27-6-80 a 14-8-80 e 7 noites do período de 19-6-81 a 10-8-81. Essas 15 noites, das 98 observadas, foram selecionadas devido ao critério adotado quanto às condições de ocorrência de geadas de irradiação. Após estudo dessas 15 noites, foram selecionadas 4 noites para as quais são apresentados gráficos e análises mais detalhadas, consideradas, de acordo com os critérios definidos acima, as mais características e representativas das condições nas quais ocorre geada, que são : 30-6/1-7-80, 20/21-7-80, 30-6/1-7-81 e 25/26-7-81.

Da área de estudo foram selecionadas duas plantas para se efetuarem as medições de microclima, ambas localizadas na parte central do lote . As observações foram efetuadas continuamente , embora o período envolvido na análise dos dados esteja entre 18:00 e 6:00 horas .

As figuras 1_a e 1_b mostram um esquema, e as figuras 2_a e 2_b mostram detalhes da instalação dos sensores e registradores no local, utilizados para medição dos seguintes elementos meteorológicos :

a) ano de 1980

- radiação atmosférica descendente
- radiação líquida ao nível da copa
- radiação líquida a 1,0m acima da copa
- temperatura de folhas externas superiores horizontais
(4 sensores)
- temperatura de folhas internas (3 sensores)
- temperatura do ar dentro da planta na altura da copa
(1 sensor)
- temperatura de relva
- vento ao nível da copa

b) ano de 1981

- radiação líquida ao nível da copa
- radiação líquida a 1,0m acima da copa
- temperatura de folhas superiores horizontais (2 sensores)
- temperatura de folhas internas em 3 níveis : 0,5m , 1,0m e 1,5m (1 sensor em cada altura)
- temperatura do ar internamente à copa, em 4 níveis : 0,05m, 0,5m , 1,0m e 1,5m (1 sensor em cada nível)
- temperatura do ar a 10 e 100cm acima da copa

Figura 1.a

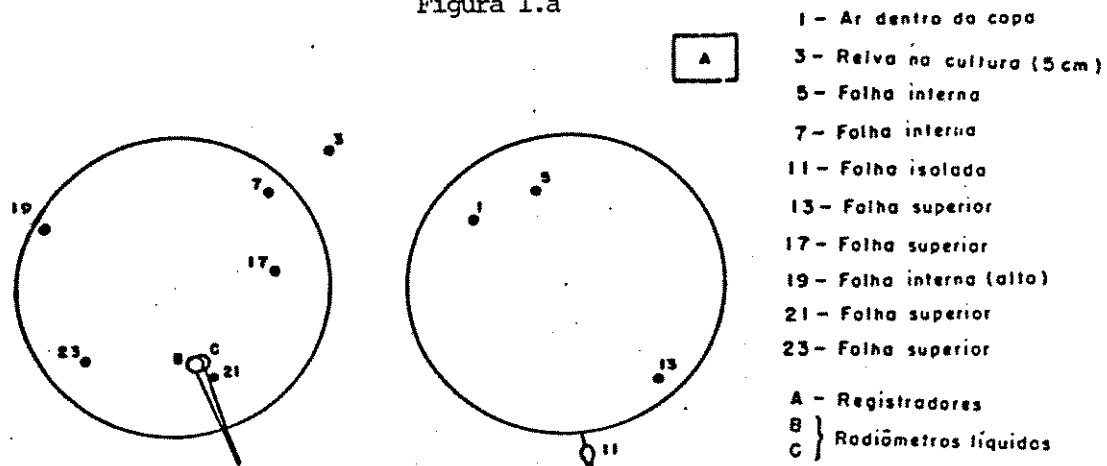


Figura 1.b

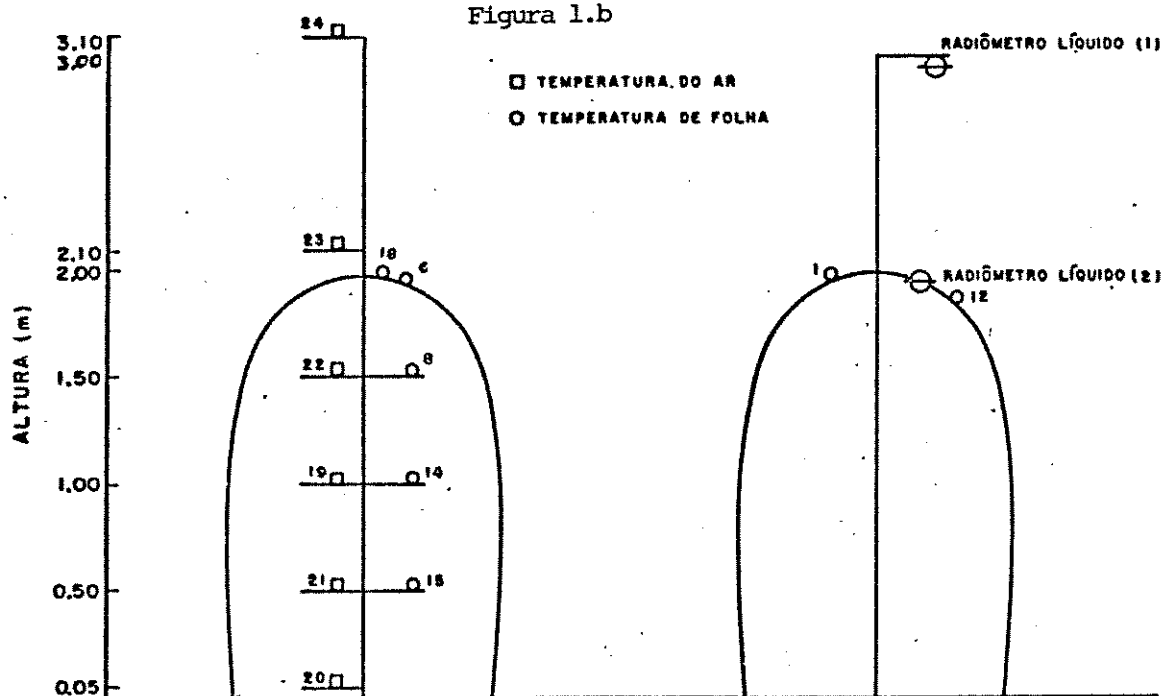


Figura 1. Esquema vertical e lateral da instalação dos termopares e radiômetros líquidos na área experimental durante os invernos de 1980 (Fig. 1.a) e 1981 (Fig. 1.b), no Centro Experimental de Campinas (CEC), IAC.

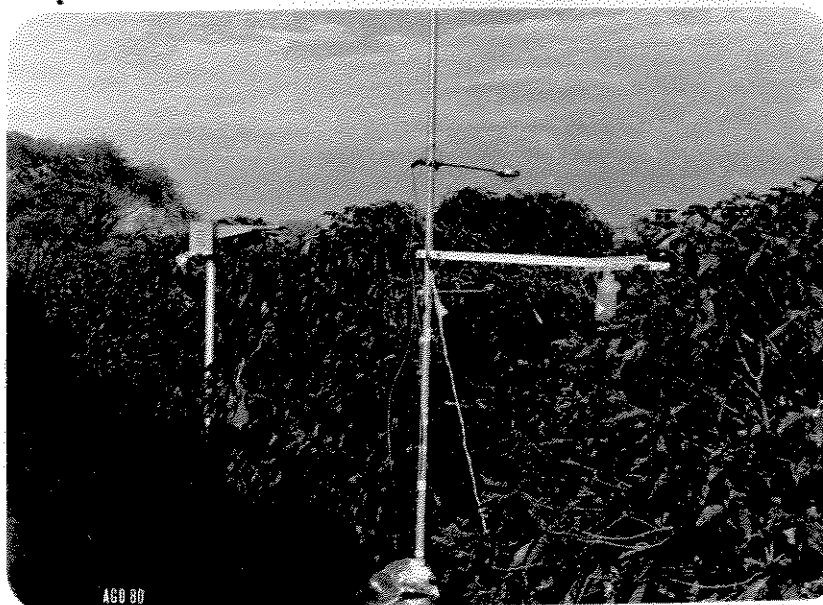


Figura 2a. Instalação dos instrumentos na área experimental: radiômetro termal, radiômetros líquidos e anemômetro.

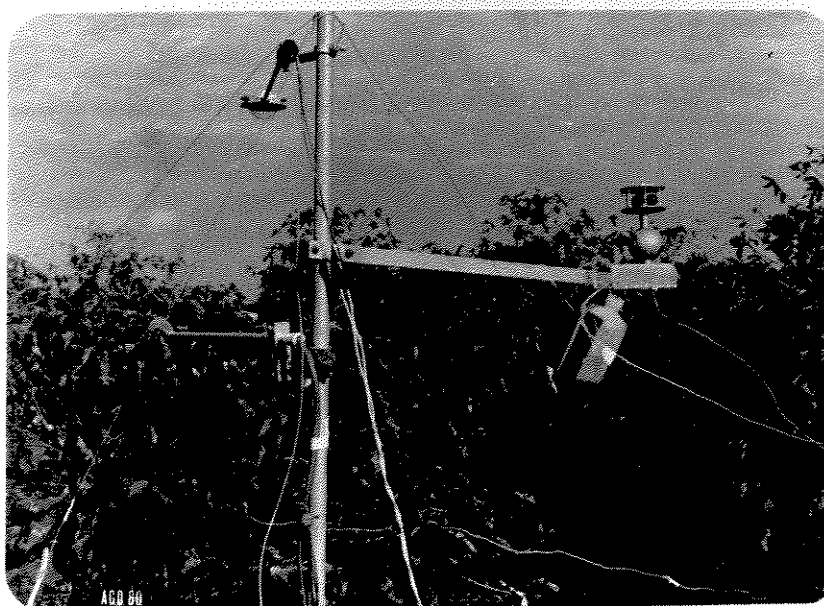


Figura 2b. Detalhe da instalação dos radiômetros líquidos na cultura.

Ainda nas condições da área experimental foi instalado um abrigo micrometeorológico para observação contínua da temperatura e umidade relativa do ar .

Outras observações foram efetuadas no posto meteorológico localizado a 800m da área experimental : temperatura do ar, umidade relativa do ar, vento e temperatura da relva .

3.1.2. Instrumental utilizado

3.1.2.1. Radiômetros líquidos

Para a determinação do balanço de radiação foram instalados dois radiômetros líquidos, cujas especificações são as seguintes :

a) um radiômetro tipo "Net Pyrradiometer" nº740, de fabricação Midleton & Co. Pty. Ltd. , Austrália , com constante de resposta de $30,85 \text{ mv/cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$, instalado tangencialmente ao nível superior da copa, com a parte superior voltada para a atmosfera e a inferior para o interior da copa, medindo, portanto , a radiação líquida entre o interior da copa e a atmosfera .

b) um radiômetro tipo "Net Pyrradiometer" nº 647010, modelo nº R 421 , fabricado pela Weather Measure Co. , nº série 634 , fator de calibração $3,21 \text{ mv/cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$, colocado a 1,0m de altura acima do topo da copa, com a parte superior voltada para a atmosfera e a inferior para a parte externa da copa, medindo, portanto , a radiação líquida entre a superfície foliar e a atmosfera .

As figuras 2_a e 2_b mostram detalhes da instalação dos mesmos.

Esses sensores foram acoplados a um registrador potenciométrico marca ECB modelo RB 102.

3.1.2.2. Radiômetro termal

A radiação atmosférica descendente foi medida através de um radiômetro termal modelo TCH 188 de fabricação PACKARD BELL com fator de calibração $0,7650 \text{ cal.cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} / \text{mv}$, cujos dados foram registrados continuamente em um registrador potenciométrico de fabricação Cole-Parmer Instrument Company modelo 8341 - 2 Mark VII Recorder , série nº 852.

3.1.2.3. Instrumental para medida de temperatura

As temperaturas de folhas e ar foram obtidas respectivamente através de termopares de ferro-constantan nº 32 AWG (0,0080 ") e nº 28 AWG (0,130 ") e registradas continuamente em um potenciôgrafo multipontos da marca Honeywell, modelo nº 153X84 , tipo J , série 66b-597 , 24 pontos.

Os termopares foram instalados nas plantas segundo os esquemas apresentados na figura 1, para 1980 e figura 2, para 1981.

A colocação dos termopares nas folhas foi feita através de fixação com fita adesiva " fita crepe " , cerca de 0,3 cm abaixo da junção , colocados na face inferior da folha, segundo procedimento usado por SZEICZ (1975) .

Os termopares para medidas de temperatura do ar foram instalados às alturas desejadas , através da fixação nos próprios ramos das plantas , mantendo-se as junções livres a cerca

de 10 cm das folhas.

Foram feitas aferições das temperaturas das folhas medidas pelos termopares , através de um termômetro infra-vermelho tipo PRT-10 da Barnes Engineering Co. , nº série 237.

Essas aferições foram feitas no início do experimento, para conferir as medidas obtidas pelos termopares, e no início de algumas noites bastante propícias para ocorrência de geada de irradiação .

A temperatura da relva na cultura foi determinada através de um termopar colocado a 5 cm de altura , fora da copa em 1980 e, em 1981, dentro da copa.

Para a temperatura da relva do posto meteorológico foi também usado um termopar exposto a 5 cm da grama e registrando continuamente em um potenciôgrafo da marca ECB modelo RB 101 .

A temperatura e umidade relativa do ar, no abrigo micrometeorológico , na cultura , foram obtidas através de um termohigrôgrafo da marca R.Fuess modelo 115r , com escala de umidade relativa de 0 a 100% e de temperatura de -10°C a $+45^{\circ}\text{C}$, com rotação semanal.

A temperatura do ar e umidade relativa no posto meteorológico , a 800m da área experimental , foram obtidas através de um termôgrafo marca R. Fuess modelo 136/2 com escala de -5°C a $+50^{\circ}\text{C}$, com rotação semanal , e de um higrôgrafo marca R. Fuess modelo 108 RS com escala de 0 a 100% , com rotação semanal.

3.1.2.4. Vento

Os dados de vento no posto agrometeorológico foram obtidos através de um anemôgrafo universal de rotação diária , fabricação R. Fuess modelo 82 a .

Na cultura , ao nível da copa , foi instalado um anemômetro marca R.Fuess de contacto ,acoplado a um cronôgrafo de contacto elétrico a cada 100m de percurso de vento.

3.1.3. Calibração dos instrumentos

Todos os instrumentos foram calibrados a partir dos instrumentos padrões instalados no posto meteorológico do Centro Experimental de Campinas , São Paulo.

3.2. MÉTODO

3.2.1. Teoria

A energia solar é propagada na forma de radiação eletromagnética, sendo absorvida, refletida ou transmitida pelas superfícies terrestres. As diferentes superfícies, como solo, vegetação, água, alteram a composição espectral da radiação conforme ela seja diferencialmente absorvida, refletida, ou transmitida (CAMPBELL, 1977).

"Dois tipos de estudos de trocas de energia são de interesse para os ecologistas : um primeiro tipo para compor um balanço de energia e, para tanto, é necessário observações detalhadas das densidades de fluxo radiante que chegam ou que saem de um organismo. Essas observações podem ser obtidas através de medida direta durante o tempo em que se está determinando o balanço. O segundo tipo de estudo é uma tentativa de modelagem de partes de um ecossistema, como por exemplo, determinações da radiação atmosférica para se calcular a energia numa dada região geográfica. Nestes casos os detalhes não são tão importantes, mas sim a habilidade para se obter estimativas razoáveis de densidades médias de fluxo radiante. Para este tipo de estudo, os climatologistas frequentemente lançam mão de relações empíricas para obter as estimativas que necessitam" (CAMPBELL, 1977).

Desta forma, vários estudiosos tentaram desenvolver modelos que traduzissem o estado energético do ambiente e seus componentes, tornando mais fácil seu conhecimento.

Um trabalho considerado clássico no primeiro tipo de

estudo é o de GATES (1963) . Segundo esse autor a temperatura de uma folha vegetal é determinada pelo balanço térmico imposto sobre ela pelo ambiente . A troca de energia pode ser definida através dos seguintes termos : radiação solar direta e difusa de ondas curtas (S) ; radiação térmica de ondas longas emitida pelas superfícies da folha (R_f) ; convecção e condução de energia pelo ar próximo (H) ; evaporação ou condensação de umidade na superfície incluindo transpiração (LE ; onde L é o calor latente) e um termo de armazenamento (s) , para a situação transiente onde a folha pode ganhar ou perder uma quantidade de calor .

A atividade química da folha , através da fotossíntese e outros mecanismos , dado a sua baixa influência no processo térmico , geralmente pode ser negligenciada. Desta forma , o balanço de energia na superfície de uma folha pode ser descrito então pela seguinte equação :

$$S + R - R_f \pm H \pm LE \pm s = 0$$

Por convenção, um termo é considerado positivo se o fluxo de energia é em direção à superfície da folha , significando ganho e negativo se o fluxo é para fora da folha , significando perda . Em condição de equilíbrio o termo armazenamento (s) será zero . A quantidade de energia solar (S) e a radiação térmica (R) do ambiente podem ser facilmente medidas . O termo convectivo (H) pode ser estimado para uma dada condição de convecção natural ou forçada . Se a temperatura da superfície da folha é conhecida, então o termo radiação (R_f) pode ser determinado com bastante precisão . Sendo a transpiração também possível

de ser medida ou desprezível sob certas condições , então a evaporação ou a condensação (LE) pode ser calculada .

As condições meteorológicas propícias à ocorrência de geada de irradiação são céu claro e ausência de vento . A condição de céu sem nuvens e pouco vapor d'água na atmosfera favorece uma grande perda de calor da superfície ao espaço , através da atmosfera , e a falta de turbulência faz com que o ar frio, gerado a partir da perda de calor das folhas , por ser mais pesado se acame , ocasionando a " inversão " do gradiente térmico normal e, em condições de temperaturas mais baixas, ocasione a geada.

Considerando-se uma noite com essas condições, pode-se eliminar o componente solar (S) e o advectivo (H) da equação geral .

GATES (1965) mostra que uma planta é afetada por certos fatores ambientais através de mecanismos de transferência que influenciam o conteúdo energético e a temperatura da mesma . A quantidade de influência é determinada pelo poder de absorção e de emissão da radiação , a resistência à transpiração e a condutância ou coeficiente de convecção , sendo que a absortividade, emissividade, condutividade e resistividade são características de cada planta . A taxa de energia transferida entre a planta e o ambiente irá determinar a temperatura do vegetal . Considera que os fatores ambientais mais relevantes para esse processo são: radiação solar direta , radiação solar difusa , radiação térmica da superfície , da atmosfera , e de objetos próximos , temperatura do ar , vento e concentração do vapor d'água do ar .

MORRISON e BARFIELD (1981) demonstram que o parâmetro que mede os efeitos totais da radiação e outras cargas térmicas em uma planta é representado pela sua temperatura. Se os fatores solo e microambiente são mantidos constantes por um determinado tempo e se a combinação desses fatores não for letal, a resposta à energia líquida da planta é , entre outras coisas, um estado de equilíbrio de temperatura .

DANIELS e ALBERTY (1966) , afirmam que as condições do estado de equilíbrio são resultados esperados em sistemas físicos e também que as condições de equilíbrio são independentes dos mecanismos responsáveis pela aquisição destas condições . Os mesmos autores mostram que o problema da previsão de temperatura de folha é uma questão de definição individual , baseado no conjunto daqueles fatores , para aplicação no balanço de energia . Admite-se neste caso que uma planta é necessária , funcional e fisiologicamente estável para a manutenção deste balanço .

Fluxos e direções de transferência de calor em pontos específicos , superfícies ou espacialmente distribuídos são considerados por SUTTON (1953) que define o balanço de calor da folha como :

$$d_s / d_t = R_n + H + LE + z$$

onde :

d_s / d_t = taxa de calor armazenado na folha

R_n = fluxo líquido de radiação

H = fluxo de calor sensível

LE = fluxo de calor latente

z = energia armazenada nos processos fotossintéticos

Tem sido utilizado o método do balanço de energia em culturas para determinação dos parâmetros hídricos e aerodinâmicos da cobertura vegetal empregando a equação simplificada :

$$R_n + G_s + LE + H + z = 0$$

onde :

R_n = radiação líquida disponível à cultura na superfície

G_s = fluxo de calor para o solo

LE = fluxo convectivo de calor latente

H = fluxo convectivo de calor sensível

z = energia utilizada nos processos fotossintéticos

Segundo TANNER (1960 , 1968) , LEMON (1963) , LOURENCE et alii (1970) , SLAVIK (1974) e VILLA NOVA et alii (1975) , o balanço de energia de uma superfície vegetada pode ser expresso em termos dos fluxos verticais segundo a equação simplificada acima . Neste caso a energia química envolvida na fotossíntese raramente excede 2 a 5% da radiação líquida , podendo, portanto , ser desprezada sem acarretar erros significativos. Assim sendo , a equação do balanço de energia vertical pode ser apresentada sob a forma :

$$R_n + G_s + LE + H = 0$$

de acordo com PEDRO Jr. (1977) .

Segundo EDLING et alii (1971) admitindo que o fluxo de calor no solo deve se tornar nulo a ciclos diários completos e que a perda de energia pela fotossíntese pode ser negligenciável , o balanço de energia , para uma folha de superfície plana , pode ser escrito como :

$$R_n = H + LE$$

Ainda segundo o autor , para descrever a transferência de calor sensível e de calor latente de uma folha , têm sido usados os conceitos de camadas laminares adjacentes , onde:

$$H = \rho C_p \frac{(T_L - T_b)}{r_s}$$

$$LE = \frac{L}{\tau T} \frac{(e_{st} - e_b)}{(r_a + r_s)}$$

onde :

- ρ = densidade do ar seco
- C_p = calor específico do ar à pressão constante
- T_L = temperatura da folha
- T_b = temperatura do ar na copa
- r_a = v/D , é a resistência da camada adjacente
- v = é a espessura da camada adjacente
- D = difusividade de calor
- L = calor latente de vaporização
- τ = constante universal dos gases
- T = temperatura média da camada adjacente
- e_{st} = pressão de saturação do vapor na superfície substomatal
- e_b = pressão do vapor d'água na atmosfera
- r_s = resistência estomatal

CAMPBELL (1977) faz um estudo bastante detalhado da radiação e transmissão de energia e apresenta um modelo simplificado do balanço . Considerando que a radiação líquida de uma superfície é a soma algébrica de todos os fluxos de radiação que chegam e que saem , a densidade de fluxo radiante em uma folha vegetal suspensa horizontalmente acima da superfície (Fig. 3) é expressa por :

$$R_n = 2 R_f - a_c S (1 + \alpha) - a_l (R_{ac} + R_{ab})$$

onde:

R_n = radiação líquida

R_f = radiação líquida de ondas longas emitida por cada lado da folha

R_{ac}, R_{ab} = radiação de ondas longas proveniente das superfícies acima e abaixo da folha

α = albedo da superfície abaixo da folha

a_c, a_l = absortividade para ondas curtas e ondas longas

S = radiação solar de ondas curtas , direta e difusa

Para superfícies que não são horizontais a equação do balanço de radiação torna-se mais complicada . A irradiância de ondas curtas , além da necessidade da separação nos componentes direto e difuso , precisa ser corrigida em termos da lei do cosseno de Lambert.

Para o presente caso , considerando que as observações foram realizadas em noites típicas de geadas de irradiação pode-se eliminar os componentes referentes à radiação solar direta e

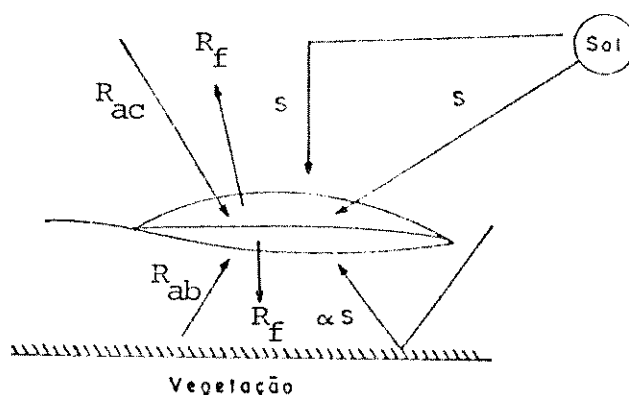


Fig. 3 Fluxos de energia radiante que chegam e que saem de uma folha (seg. CAMPBELL 1977) .

- R_f = radiação de ondas longas emitida por cada lado da folha
- R_{ac} = radiação de ondas longas emitida pelas superfícies próximas acima da folha
- R_{ab} = radiação de ondas longas emitida pelas superfícies próximas abaixo da folha
- S = radiação solar de ondas curtas , direta e difusa
- αS = radiação solar refletida pela vegetação abaixo da planta

difusa , bem como o componente advectivo . Neste caso , os principais fluxos de radiação são os de ondas longas .

Assim , dois modelos básicos , utilizando diferentes parâmetros podem ser descritos :

1. Balanço de energia na altura da copa da planta
São considerados os seguintes fluxos :

$$R_{n1} = R_a - e \sigma T_{fi}^4$$

2. Balanço de energia a 1m acima da copa da planta
São considerados os seguintes fluxos :

$$R_{n2} = R_a - e \sigma T_{fe}^4$$

onde:

R_a	= radiação de ondas longas da atmosfera
R_{n1}	= radiação líquida ao nível da copa
R_{n2}	= radiação líquida a 1m acima do nível da copa
e	= emissividade da folha para ondas longas
σ	= constante de Stefan-Boltzmann
T_{fi}	= temperatura de folhas internas (°K)
T_{fe}	= temperatura de folhas externas (°K)

Os valores de R_{n1} e R_{n2} são medidos diretamente pelos radiômetros líquidos colocados como explicados anteriormente e indicados nas figuras 2a e 2b e figura 4 ; os valores de T_{fi}^4 são calculados a partir dos valores obtidos nos termopares , assim como os valores de T_{fe}^4 ; os valores de R_a são medidos diretamente pela placa termal.

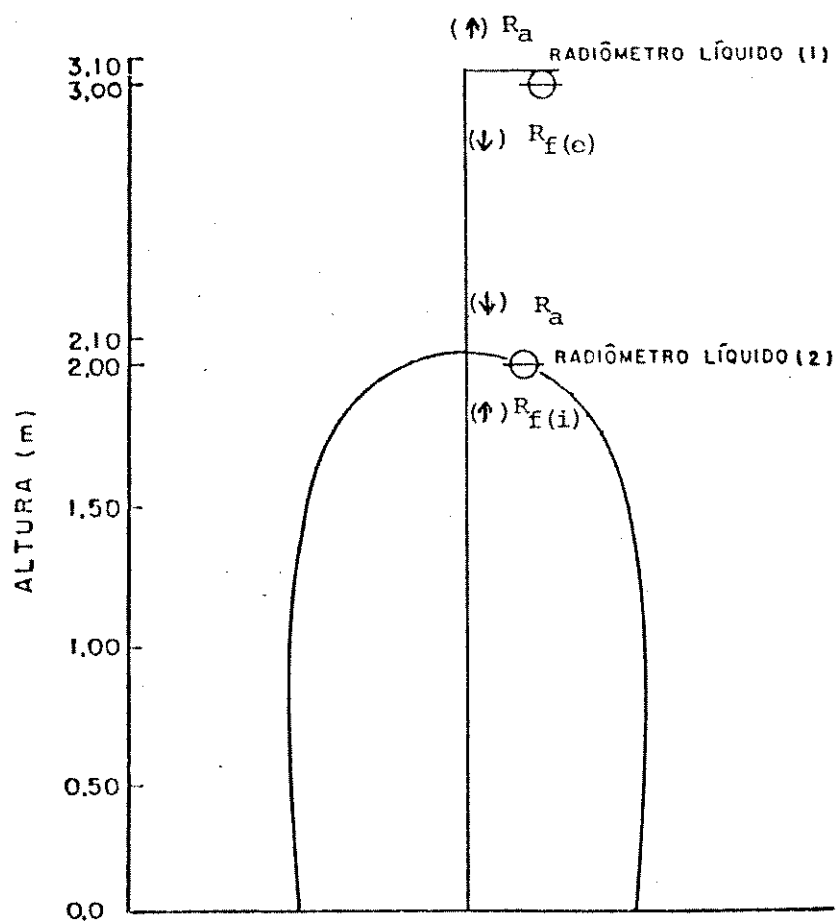


Fig. 4 . Esquema da instalação dos radiômetros líquidos na área experimental. R_a corresponde à radiação atmosférica descendente, $R_{f(e)}$ à radiação de ondas longas emitida pelas folhas da parte externa da copa da planta e $R_{f(i)}$ à radiação de ondas longas emitida pelas folhas da parte interna da copa da planta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho têm como finalidade fornecer subsídios a modelos mais complexos de estimativas de resfriamento noturno de plantas, principalmente para a cultura de café.

As tabelas 1 a 5 bem como as figuras 5 a 23 mostram os resultados obtidos com os experimentos. O período analisado é entre 18:00 e 6:00 horas para cada noite, com os dados caracterizados a cada meia-hora.

4.1. Gradientes de temperaturas

4.1.1. Variação horária das temperaturas observadas em vários pontos da planta e no posto meteorológico padrão

Inicialmente foram analisadas, graficamente, para as 4 noites selecionadas, as seguintes temperaturas:

- folhas externas superiores horizontais (média aritmética de até 5 termopares colocados nas posições indicadas na figura 1 para 1980 e figura 2 para 1981, representadas por tfe)
- folhas internas (resultado de observações de uma folha, para 1980 e, em 1981, pela média dos valores de 2 folhas observadas, representadas por tfi)
- relva do posto meteorológico padrão (rpp)
- ar do posto meteorológico padrão (tarpp)
- relva da cultura (rc)
- ar do posto micrometeorológico, na cultura (tarp_m)

Os resultados dessas observações são mostrados nas figuras 5 a 8 .

As temperaturas observadas no abrigo do posto micro meteorológico instalado na cultura foram sempre superiores às temperaturas observadas no abrigo do posto meteorológico padrão instalado a cerca de 800m da área experimental . De um modo geral as temperaturas dos diferentes pontos variaram em conjunto , isto é , as curvas apresentam um certo paralelismo durante toda a noite , verificando-se apenas as diferenças qualitativas de temperaturas entre elas . Entretanto , na noite de 20/21-7-80 a temperatura do ar medida no abrigo padrão permaneceu quase cons tante enquanto as temperaturas medidas nos outros pontos variaram consideravelmente durante o período (Fig. 6) .

Os valores de temperatura medidos nas folhas externas da cultura , nas folhas internas e na relva da cultura apresentam se bastante similares e com valores menores que as temperaturas medidas nos abrigos dos postos micro e macro meteorológicos . Os menores valores de temperatura foram os medidos na relva do posto padrão , o que pode ter ocorrido devido ao efeito de acamamento de ar frio e inversão de gradiente térmico , já que o posto meteorológico é um local plano e sem cobertura . Esse efeito de acamamen to parece não ter ocorrido na cultura , pois nota-se que temperaturas de folhas externas , folhas internas e relva na cultura são muito semelhantes , com pouca diferença entre elas e maiores do que na relva do posto meteorológico .

Não houve uma taxa constante de queda de temperatura para todas as noites . Nas noites de 30-6/1-7-80 , 20/21-7-80 e

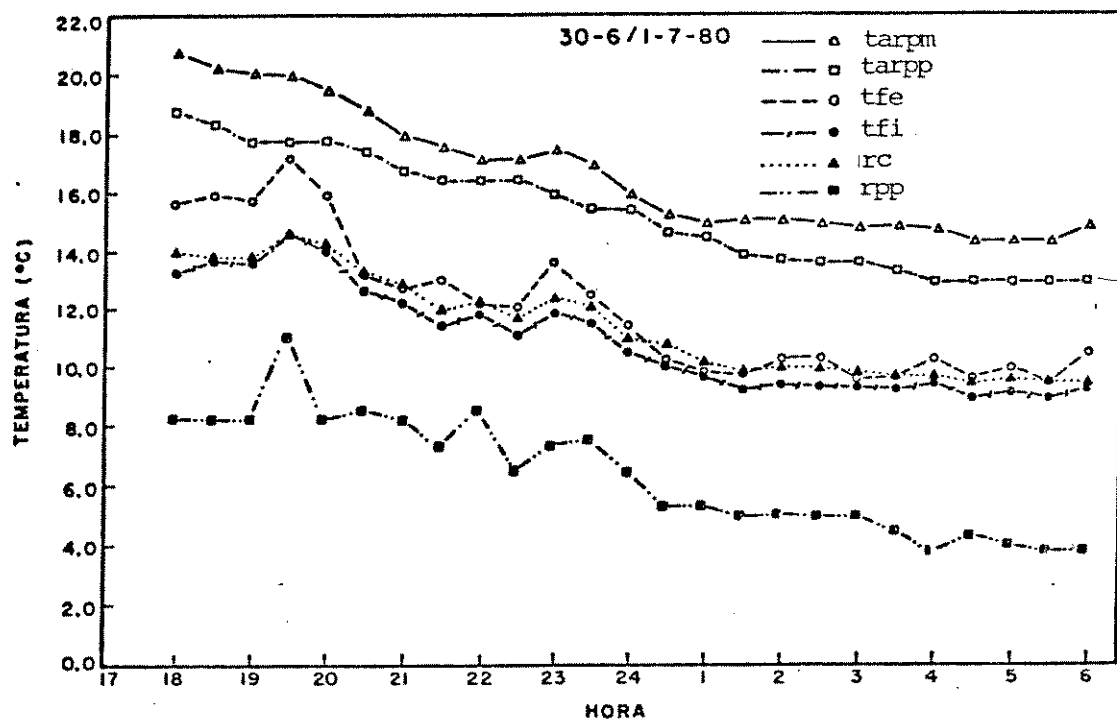


Fig. 5. Variação horária das temperaturas observadas em vários pontos em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico, na noite de 30-6/1-7-80 no Centro Experimental de Campinas (CEC), IAC.

- abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp)
- △ abrigo do posto micrometeorológico na cultura (tarpm)
- folhas externas (tfe)
- folhas internas (tfi)
- ▲ relva na cultura (rc)
- relva no posto meteorológico padrão (rpp)

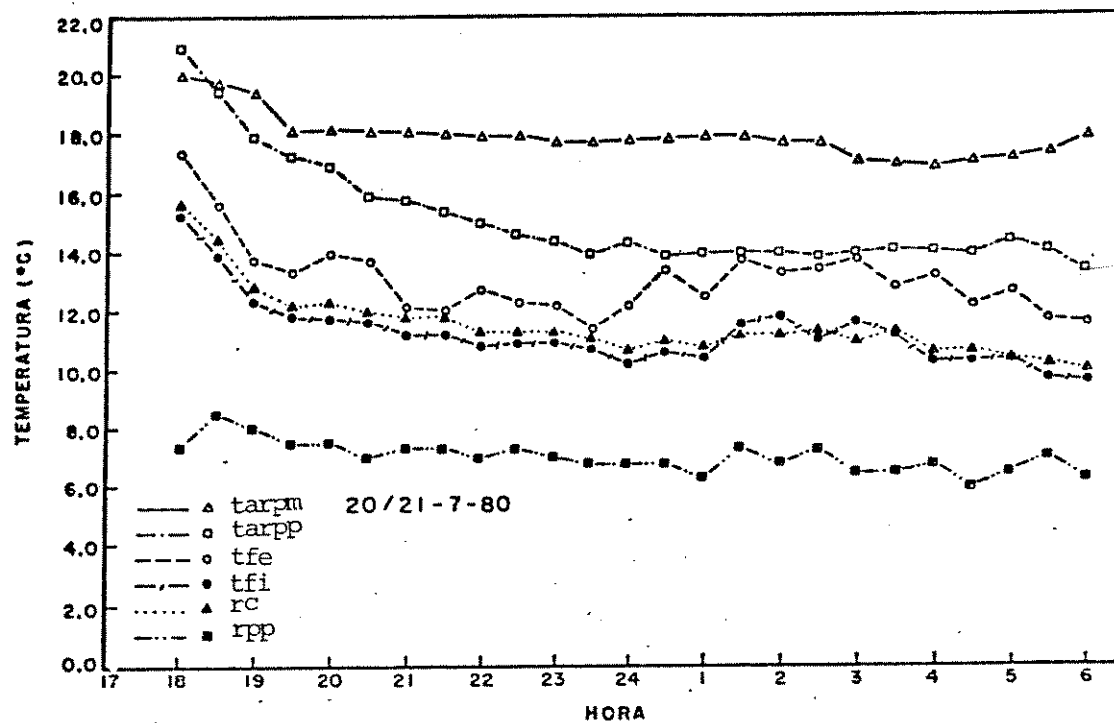


Fig. 6. Variação horária das temperaturas observadas em vários pontos em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico, na noite de 20/21-7-80 (CEC - IAC)

- abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp)
- △ abrigo do posto micrometeorológico na cultura (tarpm)
- folhas externas (tfe)
- folhas internas (tfi)
- ▲ relva na cultura (rc)
- relva no posto meteorológico padrão (rpp)

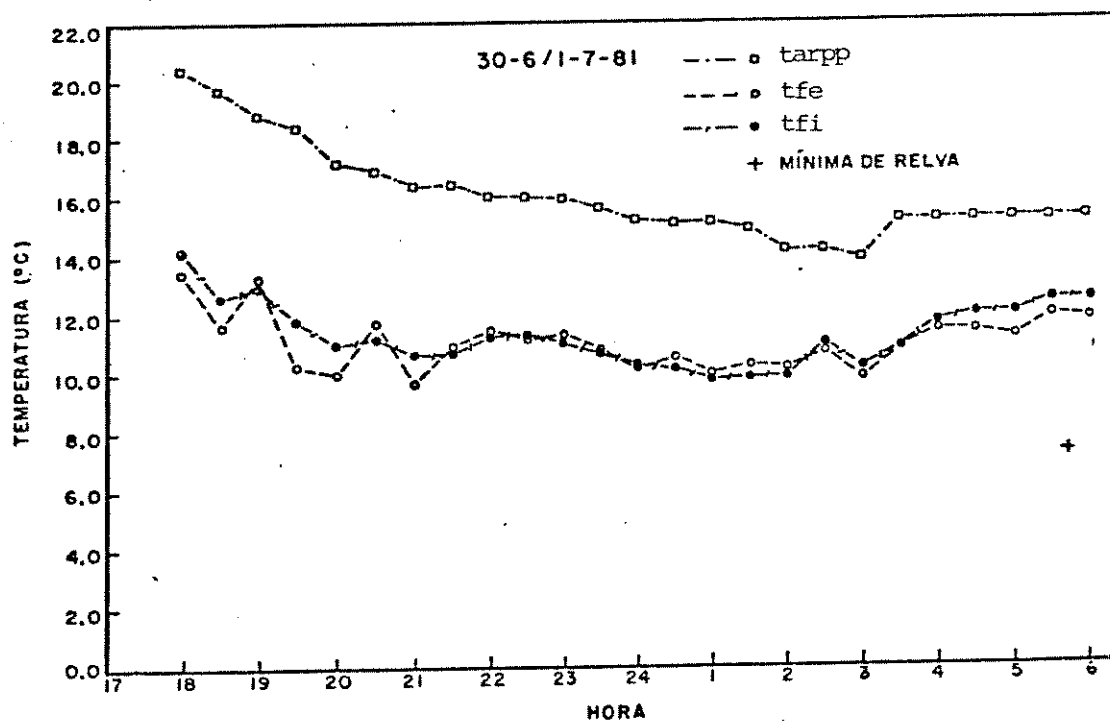


Fig. 7. Variação horária das temperaturas observadas em vários pontos em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico, na noite de 30-6/1-7-81 .
 (CEC - IAC)

- ◻ abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp)
- ◯ folhas externas (tfe)
- folhas internas (tfi)

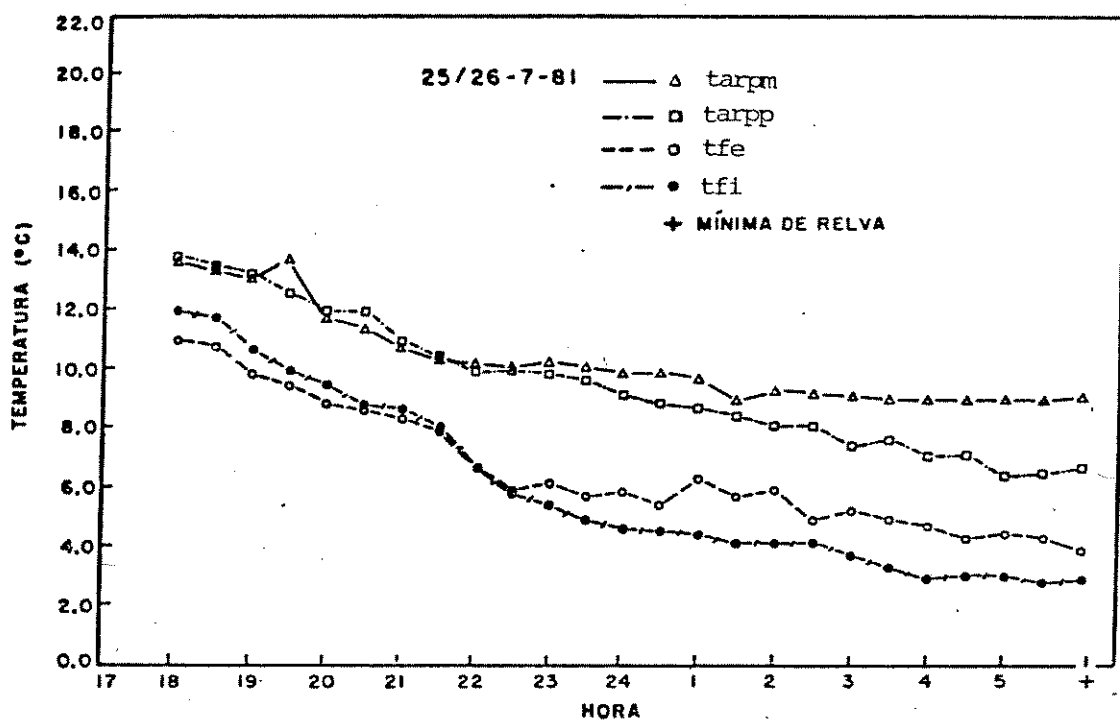


Fig. 8. Variação horária das temperaturas observadas em vários pontos em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico, na noite de 25/26-7-81 (CEC - IAC)

- abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp)
- Δ abrigo do posto micrometeorológico na cultura (tarpm)
- folhas externas (tfe)
- folhas internas (tfi)

e 30-6/1-7-81 não houve abaixamento de temperatura muito acentuado (cerca de 4 a 5°C) desde o início da noite até o amanhecer . Já na noite de 25/26-7-81 o abaixamento de temperatura foi acentuado para todos os locais medidos , com variações de 7 a 8°C durante o período , com a temperatura mínima chegando a 0°C na relva do posto padrão .

4.1.2. Variação horária das diferenças de temperaturas observadas entre vários pontos da cultura e no posto meteorológico

São analisadas as diferenças entre temperaturas observadas (Fig. 9 a 12 e tabelas 1a , 1b , 1c e 1d) em:

- abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e abrigo do posto micrometeorológico na cultura (tarpm) : tarpp-tarpm
- abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e folhas externas (tfe) : (tarpp-tfe)
- abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e folhas internas (tfi) : tarpp-tfi
- folhas externas (tfe) e folhas internas (tfi) : tfe-tfi
- folhas externas (tfe) e relva do posto meteorológico padrão (rpp) : tfe-rpp

A diferença entre a temperatura do ar do posto meteorológico e a temperatura do ar medida no abrigo do posto micrometeorológico instalado na cultura (tarpp-tarpm) apesar de ser relativamente diferente em todas as noites , variou de zero (mesmas temperaturas) como na noite de 25/26-7-81 , até 4°C na noite de 20/21-7-80 . Na noite de 30-6/1-7-80 foi variável durante o período

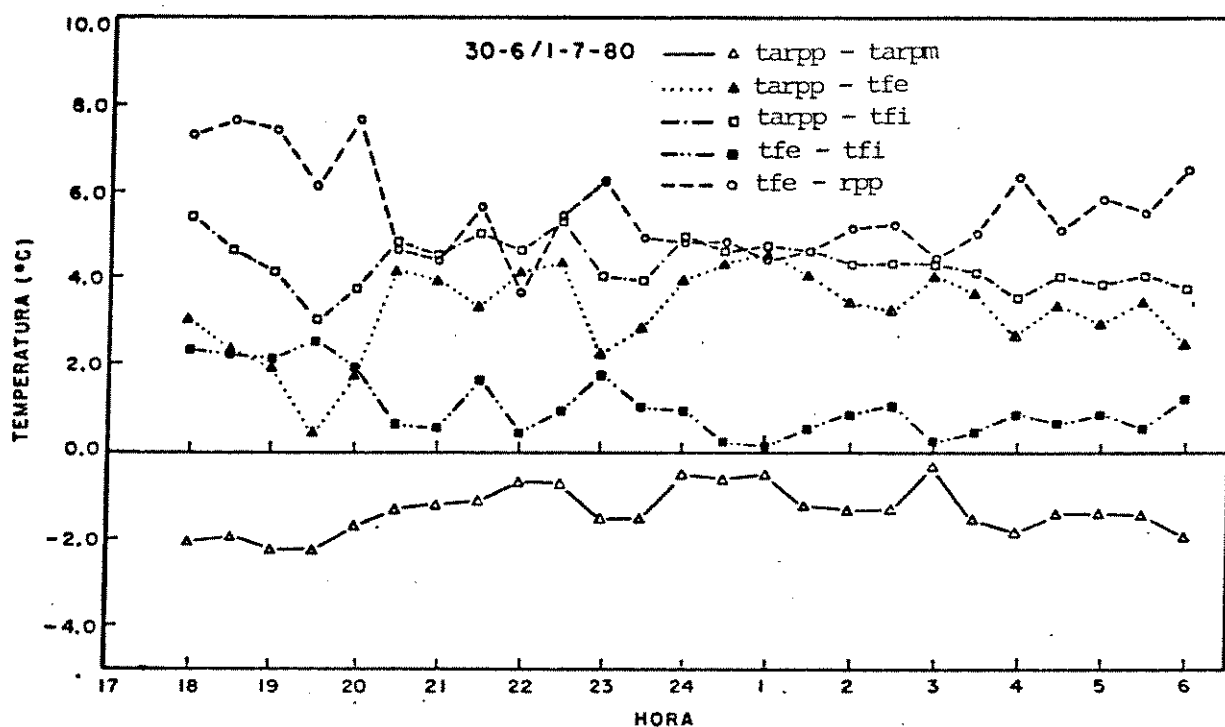


Fig. 9. Variação horária das diferenças de temperaturas observadas entre vários pontos, em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico, na noite de 30-6/1-7-80, (CEC - IAC) :

- $\triangle$ abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e abrigo do posto micrometeorológico (tarpm) instalado na cultura
- $\blacktriangle$ abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e folhas externas (tfe)
- $\square$ abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e folhas internas (tfi)
- $\blacksquare$ folhas externas (tfe) e folhas internas (tfi)
- $\circ$ folhas externas (tfe) e relva do posto meteorológico padrão (rpp)

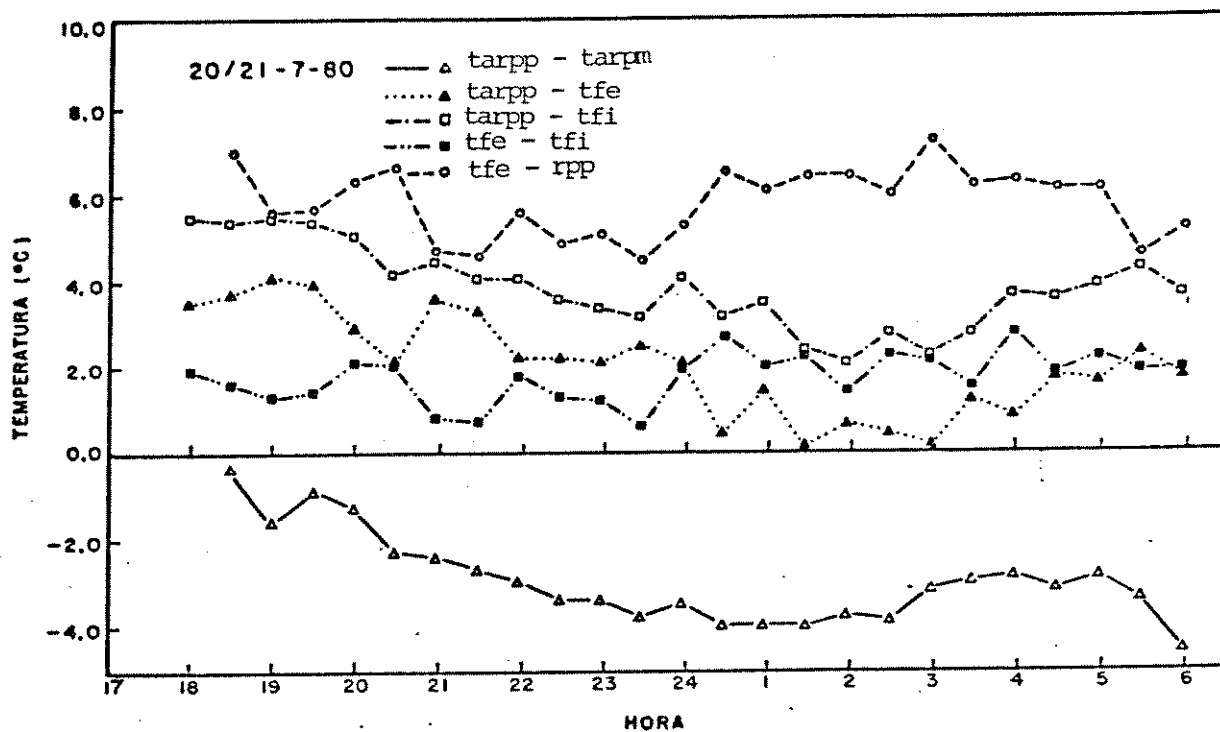


Fig. 10. Variação horária das diferenças de temperaturas observadas entre vários pontos, em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico, na noite de 20/21-7-80, (CEC - IAC) :

- △ abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e abrigo do posto micrometeorológico (tarpm) instalado na cultura
- ▲ abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e folhas externas (tfe)
- abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e folhas internas (tfi)
- folhas externas (tfe) e folhas internas (tfi)
- folhas externas (tfe) e relva do posto meteorológico padrão (rpp)

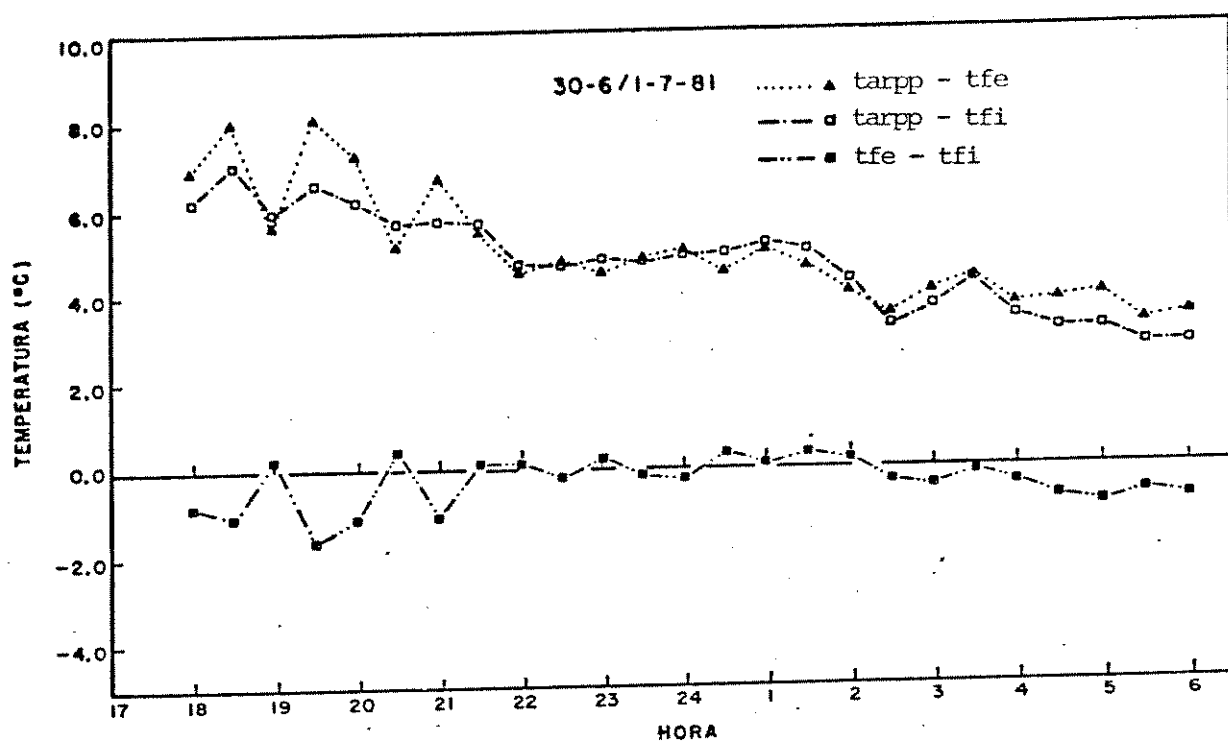


Fig. 11. Variação horária das diferenças de temperaturas observadas entre vários pontos, em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico, na noite de 30-6/1-7-81, (CEC - IAC) :

- ▲ abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e folhas externas (tfe)
- abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e folhas internas (tfi)
- folhas externas (tfe) e folhas internas (tfi)

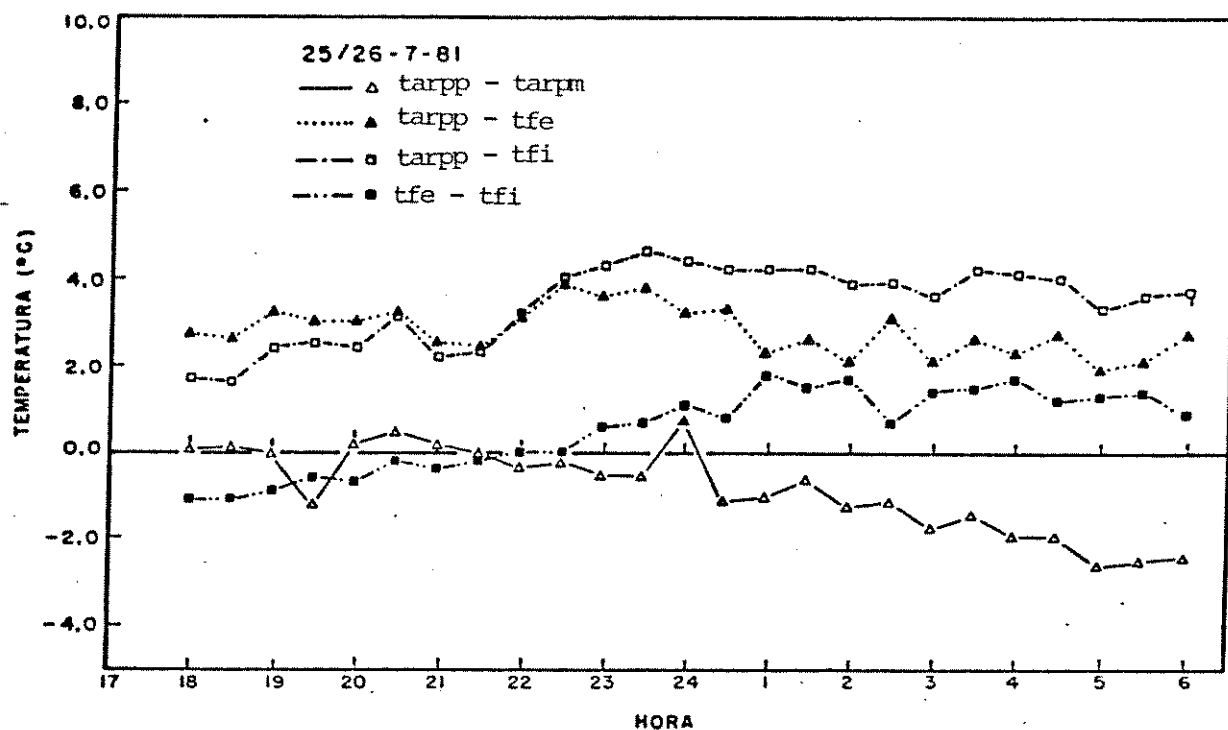


Fig. 12. Variação horária das diferenças de temperaturas observadas entre vários pontos, em cultura de café Catuaí e no posto meteorológico, na noite de 25/26-7-81, (CEC - IAC) :

- △ abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e abrigo do posto micrometeorológico (tarpm) instalado na cultura
- ▲ abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e folhas externas (tfe)
- abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e folhas internas (tfi)
- folhas externas (tfe) e folhas internas (tfi)

Tabela 1a. Valores das diferenças de temperaturas medidas entre diversos pontos : abrigo do posto meteorológico (tarpp),abrigo do posto micrometeorológico (tarpm),folhas externas(tfe),folhas internas (tfi),relva do posto meteorológico(rpp) na noite de 30-6/1-7-80 (CEC-IAC).

hora	tarpp-tarpm	tarpp-tfe	tarpp-tfi	tfe-tfi	tfe-rpp
18:00	-2,0	3,1	5,5	2,4	7,4
18:30	-1,9	2,4	4,7	2,3	7,7
19:00	-2,2	2,0	4,2	2,2	7,5
19:30	-2,2	0,5	3,1	2,6	6,2
20:00	-1,7	1,8	3,8	2,0	7,7
20:30	-1,3	4,2	4,9	0,7	4,7
21:00	-1,2	4,0	4,6	0,6	4,5
21:30	-1,1	3,4	5,1	1,7	5,7
22:00	-0,7	4,2	4,7	0,5	3,7
22:30	-0,7	4,4	5,4	1,0	5,5
23:00	-1,5	2,3	4,1	1,8	6,3
23:30	-1,5	2,9	4,0	1,1	5,0
24:00	-0,5	4,0	5,0	1,0	4,9
0:30	-0,6	4,4	4,7	0,3	4,9
1:00	-0,5	4,6	4,8	0,2	4,5
1:30	-1,2	4,1	4,7	0,6	4,7
2:00	-1,3	3,5	4,4	0,9	5,2
2:30	-1,3	3,3	4,4	1,1	5,3
3:00	-0,3	4,1	4,4	0,3	4,5
3:30	-1,5	3,7	4,2	0,5	5,1
4:00	-1,8	2,7	3,6	0,9	6,4
4:30	-1,4	3,4	4,1	0,7	5,2
5:00	-1,4	3,0	3,9	0,9	5,9
5:30	-1,4	3,5	4,1	0,6	5,6
6:00	-1,9	2,5	3,8	1,3	6,6
média	-1,3	3,3	4,4	1,1	5,6
e.padr.	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
c.var.	40,6	29,9	12,8	63,4	19,6

Tabela 1b. Valores das diferenças de temperaturas medidas entre diversos pontos : abrigo do posto meteorológico (tarpp),abrigo do posto micrometeorológico (tarpm),folhas externas (tfe),folhas internas (tfi),relva do posto meteorológico (rpp) na noite de 20/21-7-80 (CEC-IAC).

hora	tarpp-tarpm	tarpp-tfe	tarpp-tfi	tfe-tfi	tfe-rpp
18:00	-1,0	3,6	5,6	2,0	10,0
18:30	-0,3	3,8	5,5	1,7	7,1
19:00	-1,5	4,2	5,6	1,4	5,7
19:30	-0,8	4,0	5,5	1,5	5,8
20:00	-1,2	3,0	5,2	2,2	6,4
20:30	-2,2	2,2	4,3	2,1	6,7
21:00	-2,3	3,7	4,6	0,9	4,8
21:30	-2,6	3,4	4,2	0,8	4,7
22:00	-2,9	2,3	4,2	1,9	5,7
22:30	-3,3	2,3	3,7	1,4	5,0
23:00	-3,3	2,2	3,5	1,3	5,2
23:30	-3,7	2,6	3,3	0,7	4,6
24:00	-3,4	2,2	4,2	2,0	5,4
0:30	-3,9	0,5	3,3	2,8	6,6
1:00	-3,9	1,5	3,6	2,1	6,2
1:30	-3,9	0,2	2,5	2,3	6,5
2:00	-3,7	0,7	2,2	1,5	6,5
2:30	-3,8	0,5	2,9	2,4	6,1
3:00	-3,1	0,2	2,4	2,2	7,3
3:30	-2,9	1,3	2,9	1,6	6,3
4:00	-2,8	0,9	3,8	2,9	6,4
4:30	-3,1	1,8	3,7	1,9	6,2
5:00	-2,8	1,7	4,0	2,3	6,2
5:30	-3,3	2,4	4,4	2,0	4,7
6:00	-4,5	1,8	3,8	2,0	5,3
média	-2,8	2,1	3,9	1,8	6,1
e.padr.	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
c.var.	39,0	57,6	25,2	30,5	18,5

Tabela 1c. Valores das diferenças de temperaturas medidas entre diversos pontos : abrigo do posto meteorológico (tarpp),abrigo do posto micrometeorológico (tarpm),folhas externas (tfe),folhas internas (tfi),relva do posto meteorológico (rpp) na noite de 30-6-/1-7-81 (CEC-IAC).

hora	tarpp-tarpm	tarpp-tfe	tarpp-tfi	tfe-tfi	tfe-rpp
18:00	-	7,0	6,2	-0,7	-
18:30	-	8,1	7,1	-1,0	-
19:00	-	5,7	6,0	0,3	-
19:30	-	8,2	6,6	-1,5	-
20:00	-	7,3	6,3	-1,0	-
20:30	-	5,3	5,7	0,5	-
21:00	-	6,8	5,8	-1,0	-
21:30	-	5,5	5,7	0,2	-
22:00	-	4,6	4,8	0,2	-
22:30	-	4,8	4,7	-0,1	-
23:00	-	4,6	4,9	0,3	-
23:30	-	4,9	4,8	-0,0	-
24:00	-	5,1	4,9	-0,1	-
0:30	-	4,6	5,0	0,4	-
1:00	-	5,1	5,3	0,1	-
1:30	-	4,7	5,1	0,4	-
2:00	-	4,1	4,3	0,2	-
2:30	-	3,5	3,3	-0,2	-
3:00	-	4,1	3,7	-0,3	-
3:30	-	4,4	4,3	-0,0	-
4:00	-	3,8	3,5	-0,3	-
4:30	-	3,8	3,2	-0,6	-
5:00	-	4,0	3,2	-0,8	-
5:30	-	3,3	2,8	-0,5	-
6:00	-	3,5	2,8	-0,7	-
média	-	5,1	4,8	-0,3	-
e.padr.	-	0,3	0,2	0,1	-
c.var.	-	27,4	25,5	210,4	-

Tabela 1d. Valores das diferenças de temperaturas medidas entre diversos pontos : abrigo do posto meteorológico (tarpp),abrigo do posto micrometeorológico (tarpm),folhas externas (tfe),folhas internas (tfi),relva do posto meteorológico(rpp) na noite de 25/26-7-81 (CEC-IAC).

hora	tarpp-tarpm	tarpp-tfe	tarpp-tfi	tfe-tfi	tfe-rpp
18:00	0,1	2,8	1,8	-1,0	-
18:30	0,1	2,7	1,7	-1,0	-
19:00	0,0	3,3	2,5	-0,8	-
19:30	-1,2	3,1	2,6	-0,5	-
20:00	0,2	3,1	2,5	-0,6	-
20:30	0,5	3,3	3,2	-0,1	-
21:00	0,2	2,6	2,3	-0,3	-
21:30	0,0	2,5	2,4	-0,1	-
22:00	-0,3	3,2	3,3	0,1	-
22:30	-0,2	4,0	4,1	0,1	-
23:00	-0,5	3,7	4,4	0,7	-
23:30	-0,5	3,9	4,7	0,8	-
24:00	-0,8	3,3	4,5	1,2	-
0:30	-1,1	3,4	4,3	0,9	-
1:00	-1,0	2,4	4,3	1,9	-
1:30	-0,6	2,7	4,3	1,6	-
2:00	-1,2	2,2	4,0	1,8	-
2:30	-1,1	3,2	4,0	0,8	-
3:00	-1,7	2,2	3,7	0,5	-
3:30	-1,4	2,7	4,3	1,6	-
4:00	-1,9	2,4	4,2	1,8	-
4:30	-1,9	2,8	4,1	1,3	-
5:00	-2,6	2,0	3,4	1,4	-
5:30	-2,5	2,2	3,7	1,5	-
6:00	-2,4	2,8	3,8	1,0	-
média	-0,9	2,9	3,5	0,6	-
e.padr.	0,2	0,1	0,2	0,2	-
c.var.	105,0	18,6	25,5	153,5	-

do todo , e em 25/26-7-81 foi praticamente igual até as 24:00 horas ; desse horário em diante pode-se observar diferenças nos valores , com os do abrigo do posto micrometeorológico sendo maiores que os do posto padrão em cerca de 2°C e a maior diferença igual a 3°C . Em todas as noites pode-se observar que as temperaturas do abrigo do posto micrometeorológico foram superiores aos do abrigo do posto meteorológico , o que pode ser explicado pelo tipo de vegetação nos dois locais . A grama do posto meteorológico , rasteira , possibilita que o calor do solo se perca para a atmosfera , enquanto que a cultura de café , ao lado do posto micrometeorológico, mantém o calor no ambiente pelo fato de reter mais ar por entre as folhas , promovendo , desta forma, um retardamento no resfriamento do local .

As diferenças de temperatura entre o abrigo do posto meteorológico e folhas externas (tarpp-tfe) indicam o grau em que a temperatura observada no abrigo representa a de folhas externas de plantas de café , e portanto sua utilidade em indicar ocorrência de geadas . As diferenças encontradas são da ordem de 3 a 4°C em média (tarpp>tfe) , porém não são constantes para todas as noites .

Na noite de 30-6/1-7-80 variou durante todo o período sendo que às 18:00 horas apresenta uma diferença de quase 2°C , valor que se mantém até 19:30 horas ; às 20:00 horas quase se igualam e às 20:30 horas já se diferenciam novamente em quase 4°C até as 22:30 horas ; novamente às 23:00 horas um novo acréscimo na temperatura de folhas externas e novo abaixamento de temperatura mantendo a diferença de cerca de 4°C até o amanhecer .

Na noite de 20/21-7-80 , enquanto a temperatura do ar medida no abrigo do posto meteorológico (tarpp) teve uma queda constante das 18:00 às 24:00 horas e a partir daí manteve-se praticamente constante em torno de 15°C , a temperatura de folhas externas (tfe) também apresentou uma queda de até 5°C apesar de não constante .

A partir de 24:00 horas houve um aumento de temperatura foliar , quase se igualando à temperatura do abrigo do posto meteorológico, caindo novamente a partir das 3:00 horas até ao amanhecer , com uma diferença de 2°C .

Na noite de 30-6/1-7-81 as curvas são de forma semelhante , mas apresentam uma diferença da ordem de 6 a 7°C até às 22:00 horas quando decresce para 5°C até as 24:30 horas diminuindo para cerca de 4°C até ao amanhecer .

Em 25/26-7-81 a temperatura do ar do abrigo do posto meteorológico apresenta um abaixamento constante durante toda a noite . A temperatura de folhas externas abaixa até as 22:00 horas , posteriormente oscilando ao redor de 6°C até ao amanhecer . Desta forma as diferenças de temperatura são maiores no início da noite - cerca de 3°C - até 1:00 hora e a partir desse horário as diferenças oscilam em torno de 2°C .

As diferenças entre temperaturas do ar do abrigo do posto meteorológico , folhas externas e relva do posto meteorológico foram analisadas para servir como mais um parâmetro de comparação com o modelo de PINTO et alii (1978) . Esses autores compararam temperaturas do abrigo do posto meteorológico padrão com temperaturas de relva do mesmo e obtiveram uma diferença de

4,2°C ou mais , estabelecendo uma correlação estatística entre esses parâmetros , com a premissa de que rpp pode ser usada para representar a temperatura de folhas externas de uma cultura de café . Correlacionando-se então o valor de temperatura da relva do posto meteorológico com a temperatura do abrigo do posto tem-se uma idéia do comportamento térmico regional da cultura , uma vez que o posto meteorológico representa de certa maneira a região .

As temperaturas observadas na relva do posto meteorológico (rpp) e nas folhas externas da cultura de café (tfe) (Fig. 5 e 6) e as diferenças entre estas (Fig. 9 e 10) mostram que as temperaturas de folhas externas foram , nas noites analisadas , cerca de 6°C mais altas que na relva do posto , e que as diferenças entre terpp e tfe em média foram cerca de 4 ou 5°C. Isso significa que quando o modelo de PINTO et alii (1978) , aponta um certo valor para a temperatura prevista de folha , na verdade , esse valor (a temperatura real da folha) foi quase 2°C mais baixo ainda . Em outras palavras , o dano foi maior do que o valor dado pelo modelo . Este modelo , entretanto , já apresenta uma correção desta ordem de valor , obtendo-se portanto, um valor correto de dano , confirmado agora por esse trabalho .

Com relação às diferenças de temperatura entre folhas externas (tfe) e folhas internas (tfi) , (Fig. 5 a 12 e tabelas 1a , 1b , 1c e 1d) , pode-se observar que essa diferença foi bastante variável durante as 4 noites analisadas , com valores de tfe maiores que tfi em 2,8°C até valores de tfi maiores que de tfe em 1,5°C .

Na noite de 30-6/1-7-80 tfe foi maior que tfi durante toda a noi-

te . No início da noite foi cerca de 2°C e no final a diferença é de cerca de $0,5^{\circ}\text{C}$, com muitas oscilações durante o período . Na noite de 20/21-7-80 também tfe foi amior que tfi durante toda a noite . No início da noite a diferença foi de $1,5^{\circ}\text{C}$ em média aumentando para 2 a $2,5^{\circ}\text{C}$ em média .

Na noite de 30-6/1-7-81 as duas temperaturas praticamente se igualam , com a diferença entre elas igual a zero (Fig.11) . No início da noite até 21 horas , tfe foi menor que tfi , o mesmo ocorrendo das 2:00 horas até ao amanhecer .

Na noite de 25/26-7-81 tfi é maior que tfe até 22:00 horas . Neste período a diferença entre elas é de $0,5$ a $1,0^{\circ}\text{C}$. A partir de 22:00 horas tfe torna-se maior que tfi com diferença média de $1,5^{\circ}\text{C}$.

Esses dados de algumas noites com tfi menores que tfe à primeira vista parece estar contrariando a teoria do balanço de energia . Segundo essa teoria as folhas externas têm que necessariamente estarem mais frias que as folhas internas , pois as primeiras estão perdendo calor para a atmosfera enquanto as segundas estão recebendo radiações térmicas das folhas ao redor , além das folhas superiores (externas) estarem impedindo que o calor de dentro se perca para a atmosfera , considerando uma noite sem advecção , como foi esperado .

A possível explicação da ocorrência de tfi menores que tfe para as 4 noites analisadas , é discutida mais à frente , no item 4.1.3 por ser pertinente ao assunto abordado naquele item .

As temperaturas de folhas internas sendo menores que as temperaturas de folhas externas leva à questão da ocorrência

de geada de "capote" . Esse tipo de geada é explicado pela teoria do balanço de energia descrito anteriormente , pois as folhas externas estando mais frias por perder calor para a atmosfera deverão ser as primeiras a se congelar .Entretanto , pode ser possível que ocorra geada de "capote" mesmo estando as folhas internas mais frias que as folhas externas . Segundo MAGALHÃES (1985) (*) as folhas internas sendo mais maduras que as folhas externas poderão apresentar diferentes conteúdos em água e sólidos solúveis , o que altera a resposta ao congelamento . Para uma dada temperatura , as folhas internas, por terem maior concentração de substâncias com propriedades osmóticas poderão ser mais resistentes ao congelamento.

A frequência com que ocorrem temperaturas de folhas internas menores que as temperaturas de folhas externas é desconhecida e só poderá ser obtida experimentalmente.

As diferenças de temperatura de folhas internas (t_{fi}) com ar do abrigo do posto meteorológico (tarpp) foram feitas para ter-se tarpp como padrão de comparação.

4.1.3. Perfil da temperatura do ar e folhas

As temperaturas do ar dentro do perfil da copa da planta nas alturas de 0,05m , 0,5m e 1,0m acima do nível do solo praticamente se igualaram (Fig. 13 a 15) .

Para a noite de 30-6/1-7-80 (Fig. 13),as menores

(*) A. C. N. MAGALHÃES , comunicação pessoal

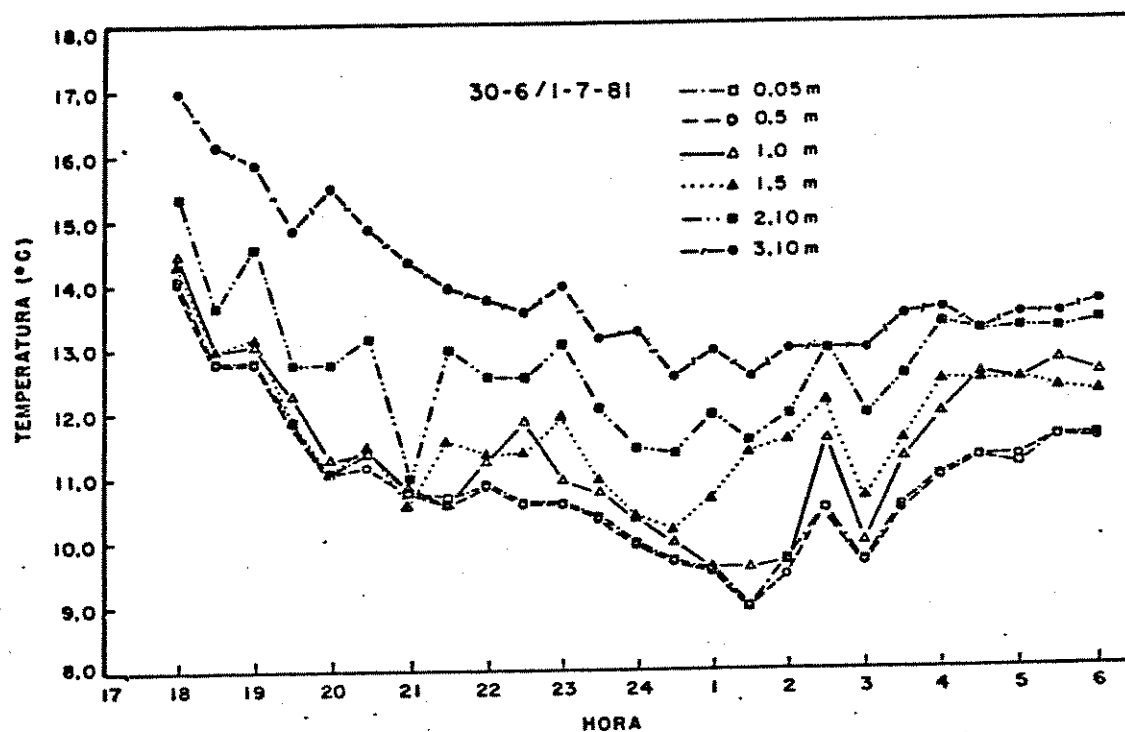


Fig. 13. Variação horária do perfil da temperatura do ar medida em planta de café Catuaí, na noite de 30-6/1-7-81 (CEC - IAC).

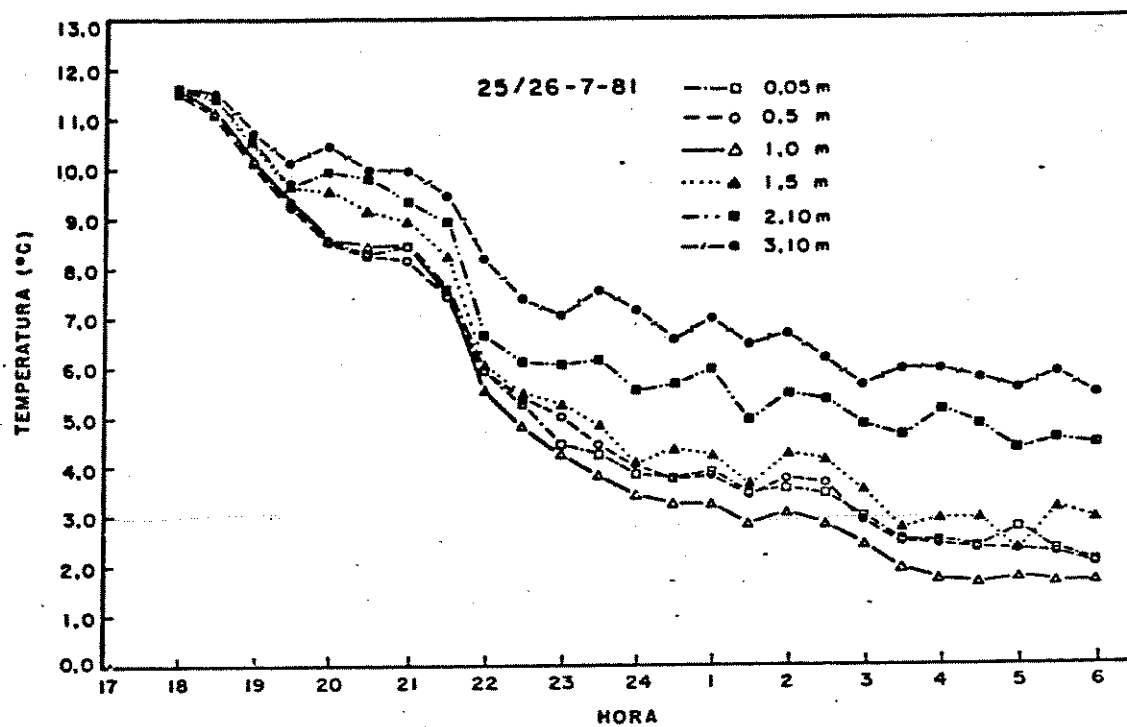


Fig. 14. Variação horária do perfil da temperatura do ar medida em planta de café Catuaí, na noite de 25/26-7-81 (CEC - IAC).

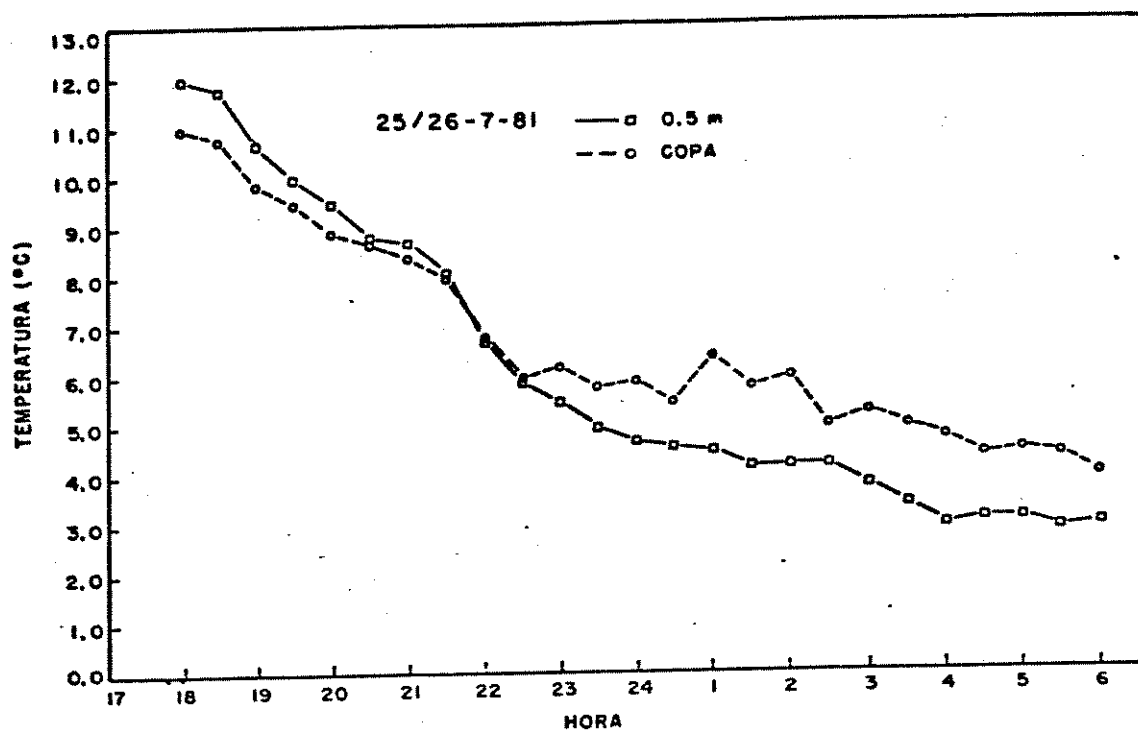


Fig. 15. Variação horária do perfil da temperatura de folhas medida em planta de café Catuaí, na noite de 25/26-7-81 (CEC - IAC).

temperaturas se verificaram nas alturas de 0,05m e 0,5m aparecendo em seguida , pela ordem crescente de temperatura as alturas de 1,0m , 1,5m , copa e 10cm acima desta .

Para a noite de 25/26-7-81 , com relação às medidas dos termopares de ar (Fig. 14) , foi na altura de 1,0m que se verificaram as menores temperaturas , seguida de 0,05m , 0,5m , 1,5m , copa e 10cm acima desta .

Para os valores de temperatura de folha , a 0,5m dentro da copa foi menor do que da folha na altura da copa . Só foi possível analisar estas duas alturas porque os outros termopares não funcionaram esta noite .

A observação de menores temperaturas ao nível médio da copa , parece ser explicado pelo fato de , havendo produção de ar frio pelas folhas externas superiores que estão se resfriando por emissão de ondas longas para a atmosfera transparente , há uma tendência da massa fria ir em direção ao solo . Em contrapartida o solo , por se encontrar mais aquecido na superfície , devido ao fenômeno da condução térmica faz aumentar a temperatura da massa fria próxima à superfície . Formam-se então dois gradientes térmicos internos à copa : um da superfície do solo para cima (ar mais quente) e outro da copa para a superfície com o encontro das massas na altura de 1,0m a 1,5m . Assim , as temperaturas mais baixas ocorrem próximas a estas alturas no interior da copa.

Este ar frio , por ser mais pesado impede que o ar mais quente suba , e pode ser uma resposta à questão das folhas internas se apresentarem mais frias em algumas situações do que as externas , pois o ar frio formado pelas folhas externas ficará preso nas alturas de 1,0m a 1,5m dentro da copa , resfriando as folhas internas neste local , que desta forma não conseguem receber o ar mais quente proveniente do solo . Ainda neste caso uma outra questão a ser levantada é o papel da condensação . Ocorrendo primeiro nas folhas externas , como é esperado , esta poderá estar fornecendo calor ao microambiente das folhas externas e, desta forma elevando novamente a temperatura das mesmas.

Nas figuras 16 e 17 são apresentados graficamente os perfis verticais das temperaturas do ar em diferentes horários para as noites de 30-6/1-7-81 e 25/26-7-81 , que destacam a ocorrência das menores temperaturas no interior da copa nas alturas entre 0,5m e 1,5m , como já indicado nas figuras 13 e 14 .

Apesar de a escolha destas 4 noites para análise dever-se ao anemograma do posto meteorológico indicar que o vento foi praticamente nulo e a atmosfera transparente conforme indicado pelas leituras dos radiômetros líquidos , pode ter ocorrido no local do experimento brisas leves , que não chegaram a ser mostradas no anemograma , devido à inércia inicial da caneca do anemômetro , e/ou aumento do teor de vapor d'água na atmosfera . Estes dois fenômenos , separados ou conjuntamente , exercem um efeito de alterar o perfil de temperatura esperado nas noites analisadas : a brisa por provocar uma mistura de massas de ar e o aumento do teor de vapor d'água da atmosfera por barrar a radiação de ondas longas emitida pela superfície(solo + plantas),aquecendo-a.

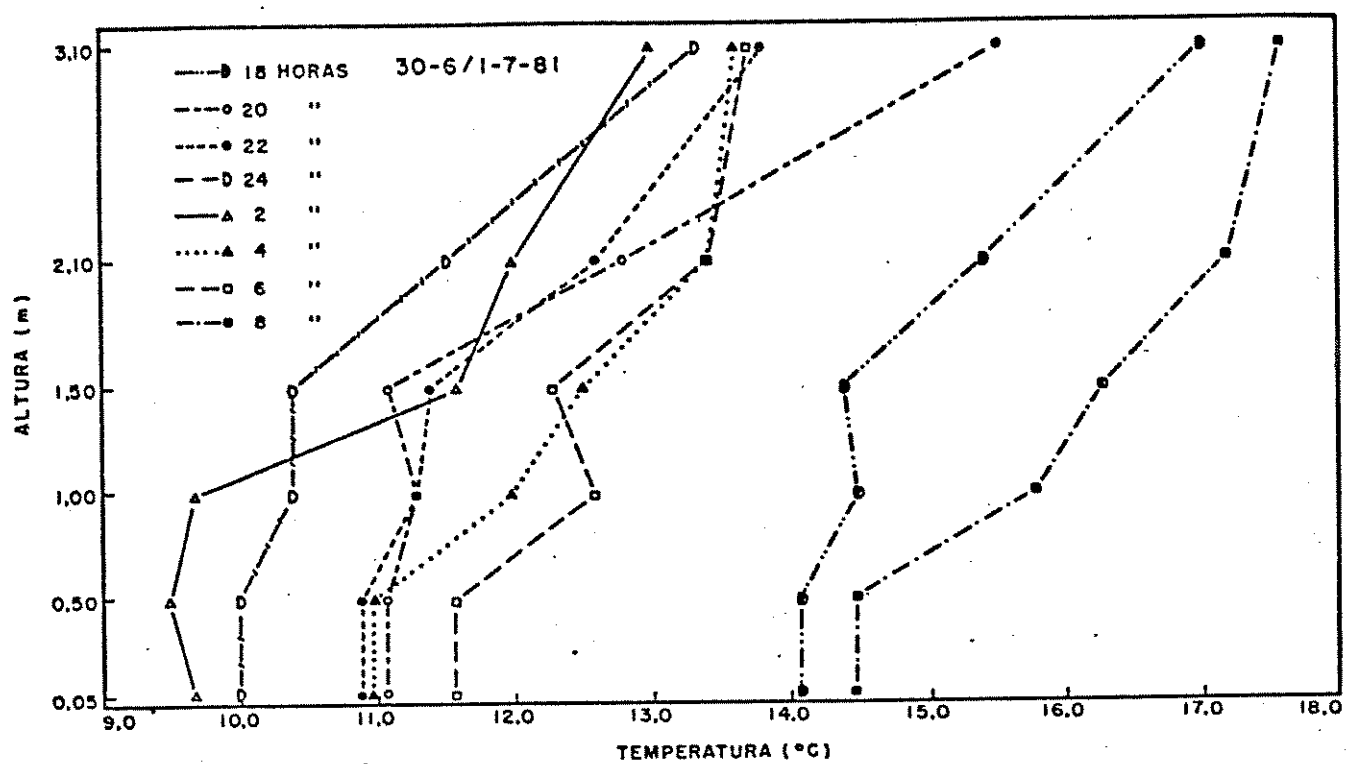


Fig. 16. Variação dos perfis de temperatura do ar dentro da planta de café Catuaí , a cada 2 horas , na noite de 30-6/1-7-81 (CEC - IAC).

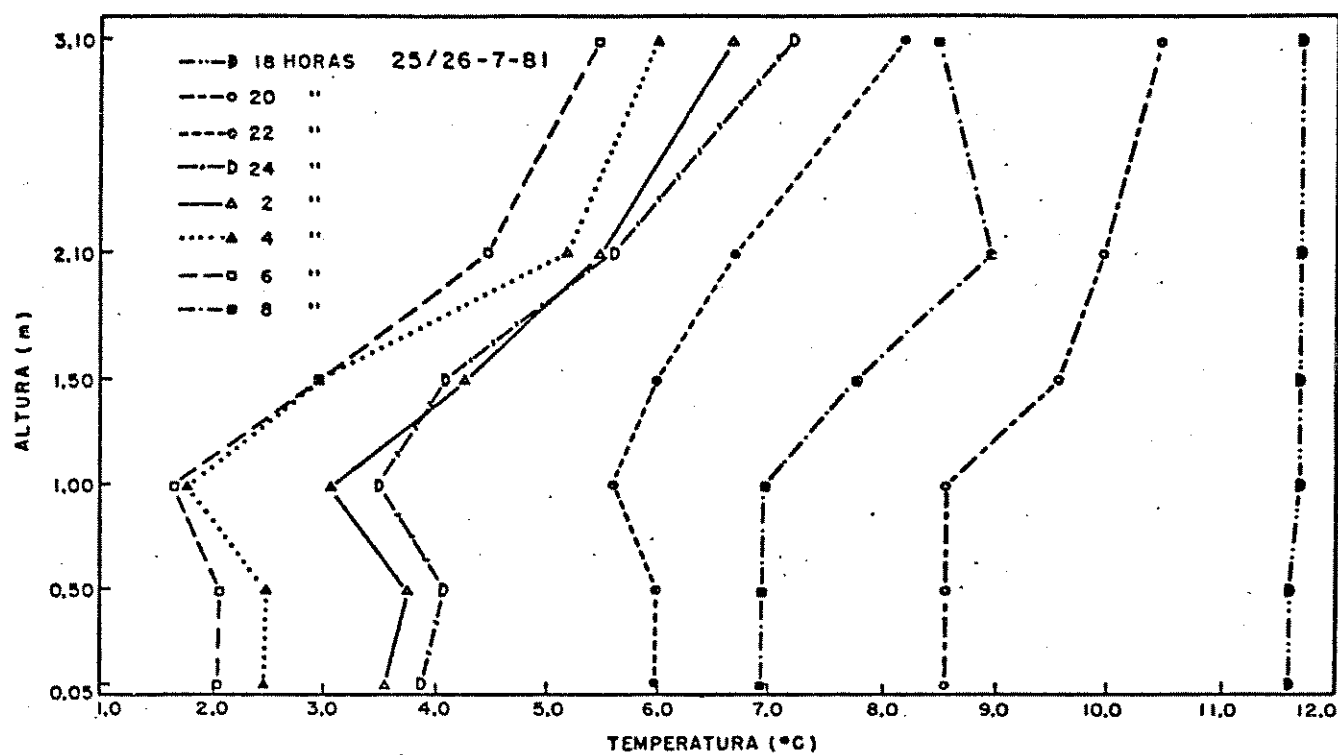


Fig. 17. Variação dos perfis de temperatura do ar dentro da planta de café Catuaí, a cada 2 horas, na noite de 25/26-7-81 (CEC - IAC).

4.1.4. Comparação entre temperatura de folha e do ar adjacente

Quando se utiliza termopares a medida de folhas é uma operação delicada . Neste caso o diâmetro do termopar deve ser bastante pequeno para que se tenha a medida da temperatura da folha e não da camada adjacente . É importante demonstrar a associação entre medidas de temperaturas de folhas e outras , efetuadas no ar adjacente . Assim, junto com a observação de cada folha , mediu-se também a temperatura do ar ao seu redor , colocando-se , em cada caso , um termopar em contato com o ar distanciado cerca de 10cm das folhas em questão , em todo o perfil interno da planta conforme a Fig. 2 indica . As figuras 18 a 20 ilustram os resultados .

Para se testar a possibilidade de usar medidas do termopar do ar para representar a temperatura da folha , foi feita uma análise de correlação entre as duas variáveis . A análise demonstrou um alto grau de correlação , significando , portanto, que a medida da temperatura do ar a 10cm da folha pode ser usada para estimar a temperatura da última . (tabela 2) .

4.2. Associação entre temperatura do ar no abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e temperatura das folhas externas (tfe) .

Com os valores observados de temperaturas do ar do posto meteorológico (tarpp) e temperaturas de folhas externas (tfe) foi feita uma análise para estudar o grau em que tarpp representa tfe de uma cultura de café . Assim , analogamente ao que

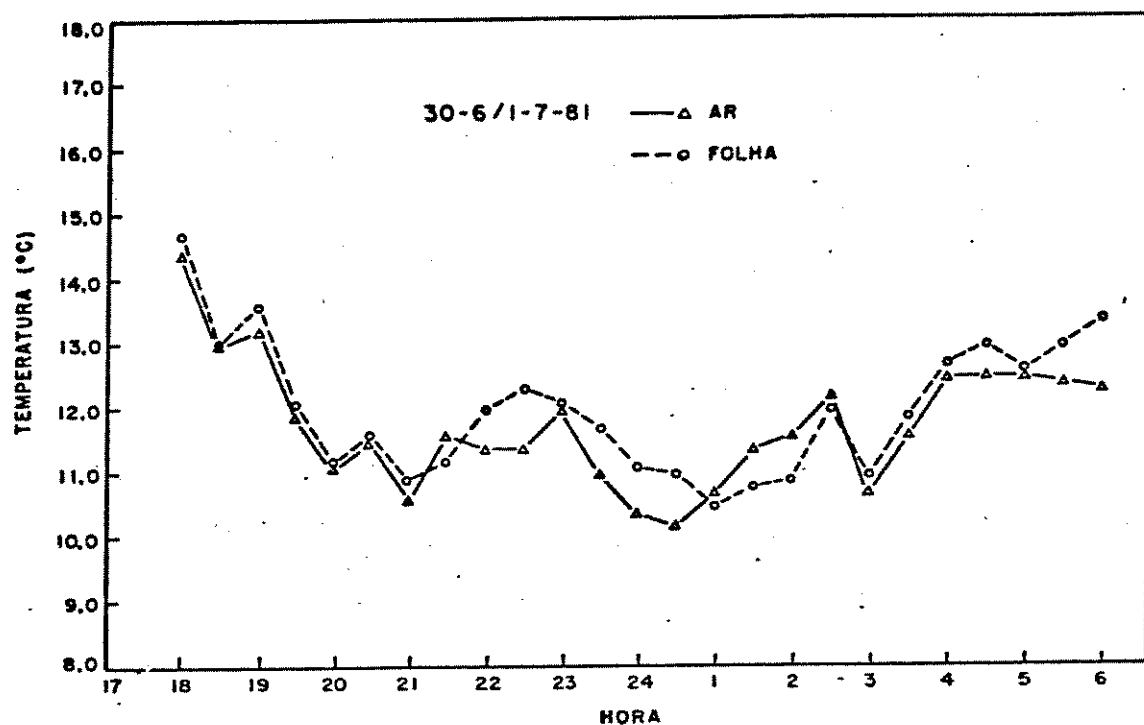


Fig. 18. Variação horária de temperaturas medidas em uma folha a 1,5 m de altura dentro da copa de planta de café Catuaí e no ar , à mesma altura , distante cerca de 10 cm , na noite de 30-6/1-7-81 (CEC - IAC).

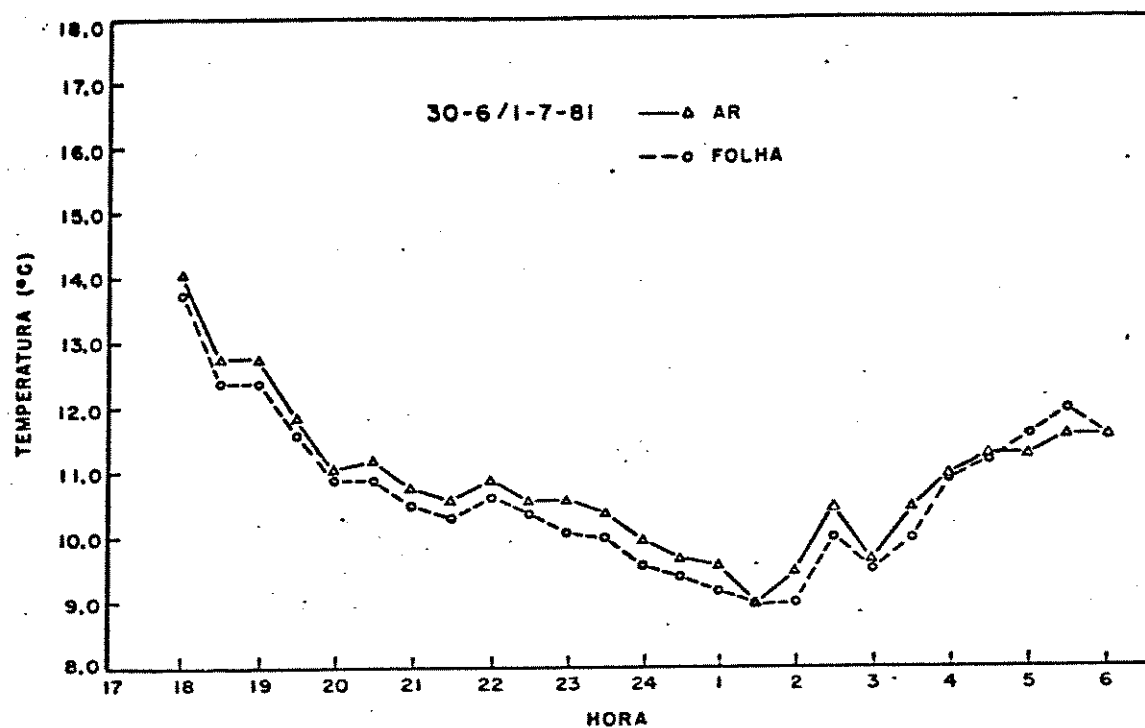


Fig. 19. Variação horária de temperaturas medidas em uma folha a 0,5 m de altura dentro da copa de planta de café Catuaí e no ar, à mesma altura, distante cerca de 10 cm, na noite de 30-6-/1-7-81 (CEC - IAC).

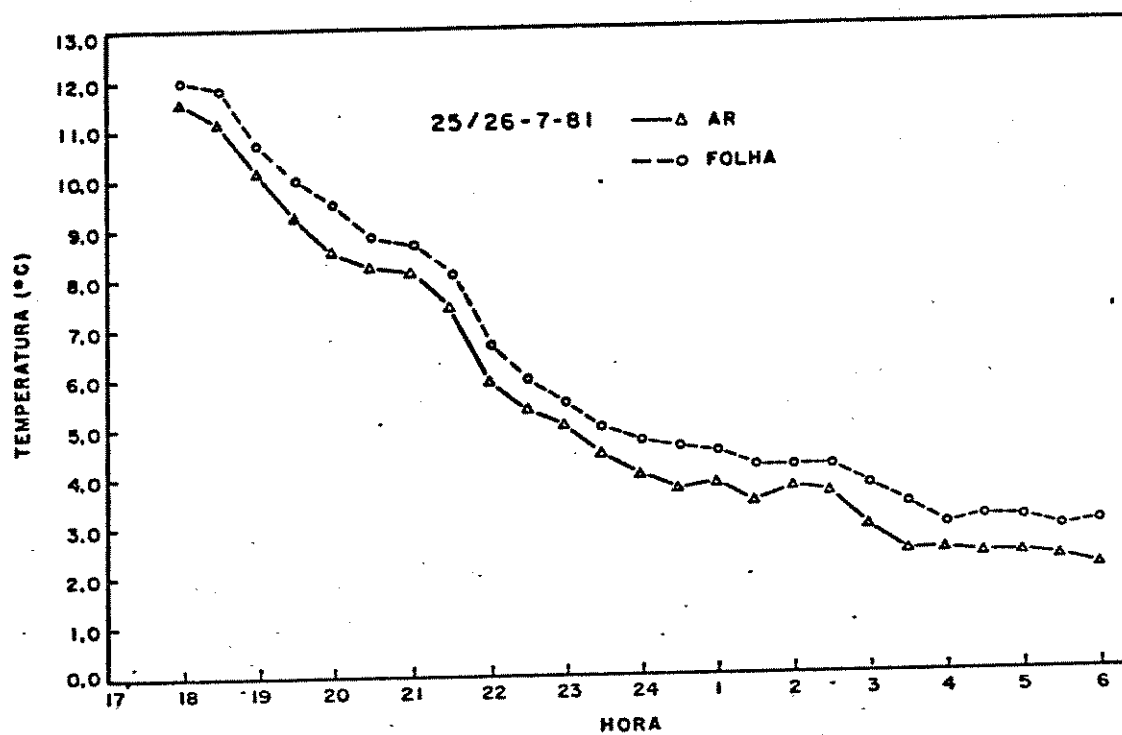


Fig. 20. Variação horária de temperaturas medidas em uma folha a 0,5 m de altura dentro da copa de planta de café Catuaí e no ar, à mesma altura distante cerca de 10 cm, na noite de 25/26-7-81 (CEC - IAC).

Tabela 2. Equações de regressão e valores dos coeficientes de correlação entre temperatura medida na folha e no ar a 10cm de distância no interior da copa.

30-6/1-7-81 altura:0,5m	30-6/1-7-81 altura:1,5m	25/26-7-81 altura:0,5m
$F(x) = - 0,5 + 1,02x$ coef. deter. = 0,96 erro padrão = 0,23	$F(x) = 0,6 + 0,9x$ coef. deter. = 0,82 erro padrão = 0,46	$F(x) = - 0,7 + 0,98x$ coef. deter. = 0,99 erro padrão = 0,15

foi feito para o modelo de PINTO et alii (1978) realizou-se uma análise da associação entre tarpp e tfe . Para tanto foi usado o método de regressão linear com 100 pares de observações (tfe- média de 5 folhas - e tarpp) realizadas a cada meia-hora , 25 para cada noite , provenientes das 4 noites de estudo . Os resultados são apresentados na Fig.21 . Pode-se observar que para as quatro noites analisadas a equação $Y = -0,87 + 0,82x$ representa bem a tfe e que , o coeficiente de determinação sendo da ordem de 0,78 mostra que apenas 22% da variação nas medidas precisa ser explicada por outros fatores . Neste caso , deve-se levar em consideração a influência de brisas e variações no teor de vapor d'água atmosférico , citados anteriormente.

4.3. Balanço de energia

Os resultados referentes às observações do balanço de energia são mostrados na Fig.22 , onde se tem a perda de energia líquida ao nível da copa e a 1,0m acima desta . A partir desta figura e das equações constantes na mesma construiu-se a tabela 3 .

Pode-se notar pela figura 22 que a perda de energia foi diferente para as 4 noites , em termos quantitativos . Nas noites mais quentes (30-6/1-7-80 e 20/21-7-80) , houve uma maior perda de energia do que para as noites mais frias (30-6/1-7-81 e 25/26-7-81) , o que é esperado , uma vez que estando com maior energia nas folhas das plantas haverá maior perda de calor e portanto o resfriamento será maior .

Mas também a quantidade de vapor d'água presente no ar pode estar interferindo nesta variação quantitativa de perda de energia . A figura 23 mostra a variação de deficit de saturação para essas noi

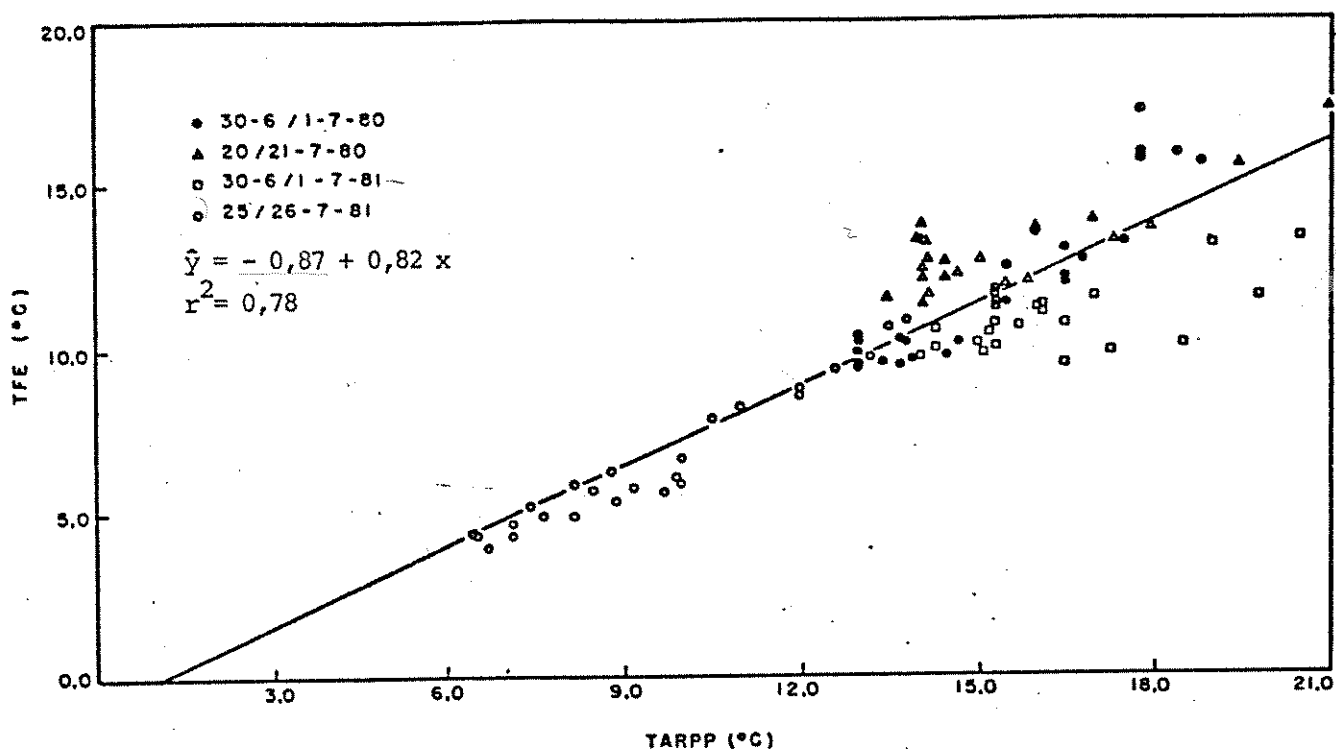


Fig. 21. Regressão e correlação entre temperaturas no abrigo do posto meteorológico padrão (tarpp) e temperaturas médias das folhas externas (tfe) observadas em plantas de café Catuaí , nas 4 noites estudadas (CEC - IAC) .

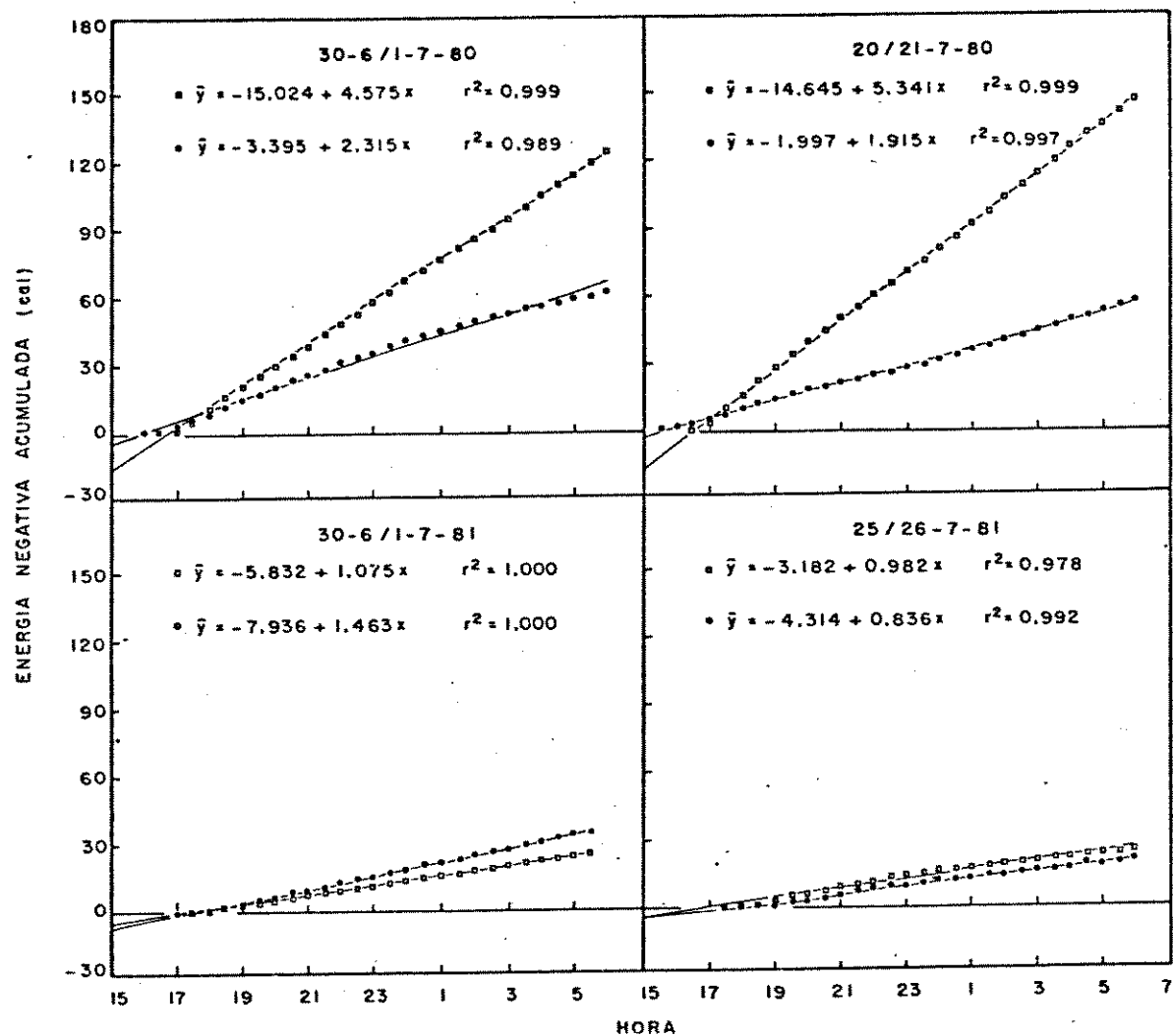


Fig. 22. Perda de energia radiante observada e estimada, ao nível da copa e a 1,0 m acima desta, em plantas de café Catuaí, para as 4 noites estudadas (CEC - IAC).

- nível da copa
- 1,0 m acima da copa

Tabela 3. Valores de totais de energia líquida medida no nível da copa da planta ($R_{n(c)}$) e a 1,0m acima desta ($R_{n(ac)}$) para as 4 noites analisadas (valores em $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{hora}$)

Noites	$R_{n(c)}$	$R_{n(ac)}$
30-6/1-7-80	2,31	4,57
20/21-7-80	1,94	5,34
30-6/1-7-81	1,46	1,07
25/26-7-81	0,84	0,98

Tabela 5. Valores estimados dos gradientes de perdas de radiação (b), em $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{hora}$, sob a forma de energia líquida acima da cultura ($R_{n(ac)}$) e ao nível da copa ($R_{n(c)}$) e valores observados dos horários de ocorrência de radiação líquida igual a zero. Os parâmetros "a" e "b" correspondem respectivamente ao total de calorías acumuladas no início das observações e ao coeficiente de regressão entre energia líquida acumulada e tempo (FAGNANI e PINTO - 1981)

Noites	$R_{n(c)}$		$R_{n(ac)}$		$R_{n(c)}$		$R_{n(ac)}$	
	a	b	a	b	tarde	manhã	tarde	manhã
28/29-6-80	1,04	2,38	3,88	6,28	16:07	07:10	16:55	08:05
29/30-6-80	3,18	2,57	1,94	5,42	16:07	07:15	15:45	08:10
30/01-7-80	6,05	2,21	5,17	4,63	16:00	07:22	16:50	08:00
08/09-7-80	2,98	2,57	6,36	5,59	16:07	07:50	16:30	07:45
11/12-7-80	-1,17	2,29	2,06	6,12	17:07	07:20	17:00	07:45
12/13-7-80	-0,38	2,49	4,32	5,99	16:30	07:40	16:45	08:00
19/20-7-80	0,01	1,91	4,49	5,75	14:30	07:15	-	07:10
20/21-7-80	1,83	1,94	7,04	5,34	14:30	07:40	16:35	07:55
Média		2,29		5,64				

tes , no posto meteorológico . Pode-se perceber que , nas noites de 30-6/1-7-81 e 25/26-7-81 havia maior quantidade de vapor d'água na atmosfera , o que contribuiu para que a radiação atmosférica fosse maior , o que também explica o fato de nessas 2 noites a perda de energia ter sido menor do que para as noites de 30-6/1-7-80 e 20/21-7-80 . Os valores de deficit de saturação para as 4 noites são apresentados na tabela 4 .

Deve-se observar que , apesar de haver variação quantitativa na perda de energia para diferentes noites , para uma mesma noite essa perda permanece constante , a partir do momento em que a energia líquida torna-se igual a zero . Esse fato pode ser percebido pela análise da Fig.22 e da tabela 5 . Na figura 22 nota-se que as curvas de regressão se ajustam bem aos pontos observados e que os respectivos valores de r^2 são elevados, mostrando a representatividade da mesma . Assim , pode-se salientar a constância de perda de energia líquida durante a noite, com dados de 2 a 3 horas de perda de energia líquida a partir do momento em que a energia líquida é igual a zero pode ser possível prever para a madrugada a seguir , a quantidade de energia que estará sendo perdida possibilitando a previsão de ocorrência de geada com uma probabilidade de acerto muito alta , com antecipação de 10 a 12 horas .

A tabela 5 mostra os dados analisados para o ano de 1980 (FAGNANI e PINTO , 1981) onde aparecem os horários em que a energia líquida foi igual a zero . Quando este valor se refere ao período da tarde , significa que não está mais chegando energia para a planta e portanto a partir desse horário se iniciará o processo de resfriamento . O inverso ocorre com relação ao valor

Tab. 4 . Valores do deficit de satura-
ção do vapor d'água do ar no
posto meteorológico , para as 4
noites analisadas.

hora	1*	2	3	4
18:00	6,51	14,92	10,13	2,22
18:30	5,50	12,69	8,55	2,48
19:00	4,69	10,94	7,69	2,57
19:30	4,69	9,14	6,81	2,48
20:00	4,69	8,14	4,93	2,38
20:30	4,20	6,91	4,65	2,10
21:00	3,82	6,50	3,94	1,71
21:30	3,88	5,98	3,38	1,40
22:00	3,19	5,15	3,11	1,23
22:30	3,88	4,68	3,11	1,23
23:00	3,27	4,29	2,91	1,22
23:30	2,82	4,02	2,68	1,20
24:00	2,82	3,80	2,43	1,16
0:30	2,17	3,68	1,34	1,14
1:00	1,98	3,70	1,89	1,13
1:30	1,59	3,86	1,88	1,11
2:00	1,58	3,70	1,42	1,09
2:30	1,57	3,83	1,30	1,09
3:00	1,57	3,86	1,12	1,04
3:30	1,23	3,88	1,39	1,05
4:00	1,20	4,05	2,43	1,01
4:30	1,05	3,86	2,61	1,01
5:00	1,05	4,13	2,78	0,97
5:30	0,90	4,05	2,78	0,97
6:00	0,90	4,02	2,78	0,99

* 1 - 30-6/1-7-80
 2 - 20/21-7-80
 3 - 30-6/1-7-81
 4 - 25/26-7-81

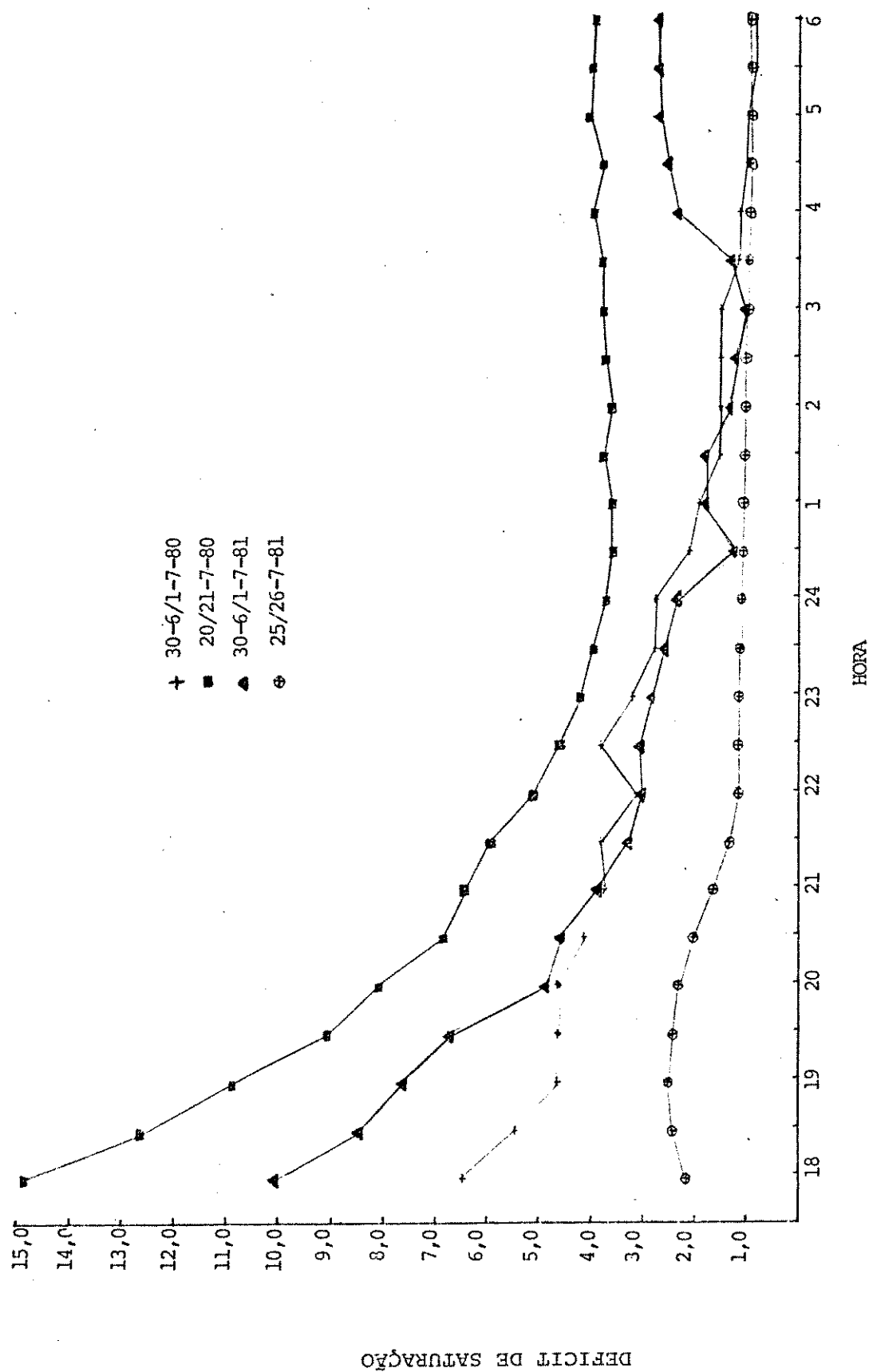


Fig. 23. Variação do deficit de saturação do vapor d'água do ar no abrigo do posto meteorológico para as 4 noites analisadas .

do período da manhã , significando que a partir deste momento se iniciará o processo de aquecimento da planta . Com relação a estes valores é interessante verificar também a constância do gradiente de perda de calor durante os 8 dias analisados neste trabalho : no caso de N_c esse valor foi da ordem de $2,29 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{h}$ e de $5,64 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{h}$ para N_a . Entretanto deve-se salientar que este tipo de análise é estritamente condicionada a cada noite . Portanto , a previsão da ocorrência de geada na noite a seguir é possível a partir de se analisar a perda de energia após o momento em que a radiação líquida é igual a zero. Com apenas 6 ou 7 pontos (por volta de 19:00 horas) pode-se traçar a curva de regressão referente àquela noite e portanto , prever a queda de energia para a mesma . Este procedimento sendo efetuado no posto meteorológico pode dar uma idéia da perda de energia para a região.

5. CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos e de sua discussão tem-se as seguintes conclusões :

- de um modo geral , a variação da temperatura nos diferentes pontos medidos foi constante , isto é , as curvas apresentaram um certo paralelismo durante o período .Não se observou uma taxa de resfriamento uniforme para todas as noites .
- em quase 75% dos casos analisados , as temperaturas das folhas internas à copa foram menores que as temperaturas das folhas externas atingindo valores de até $2,9^{\circ}\text{C}$. Os níveis térmicos mais baixos foram observados entre 0,5 a 1,0m de altura. Devido a este fato , pode-se supor que existe uma maior resistência das folhas mais velhas às baixas temperaturas, já que normalmente não são danificadas por geadas não severas .
- houve um alto grau de correlação entre as medidas de temperatura efetuadas nas folhas e no ar próximo ,indicando uma possibilidade de medições indiretas em trabalhos semelhantes.
- para todas as noites analisadas , a partir do momento em que a energia líquida acima da cultura foi igual a zero , observou-se uma taxa constante de perda de energia . Este dado permite prever a possibilidade de ocorrência de geada para a madrugada com uma boa margem de acerto , bem como uma eventual reposição de energia no ambiente , através de métodos diretos de combate .

6. RESUMO

Neste trabalho foi feita uma tentativa de caracterizar os parâmetros micrometeorológicos que condicionam o resfriamento de plantas de café , como subsídio a modelos numéricos de previsão de geadas .

As medidas foram efetuadas durante os invernos de 1980 e 1981 , no Centro Experimental de Campinas do Instituto Agrônômico , em plantas adultas de café Catuaí , tendo sido selecionados os dados de quatro noites típicas à ocorrência de geada de irradiação.

Foram analisados os dados referentes a energia líquida e a perfis de temperatura do ar e de folhas em diferentes localizações e o relacionamento dos dados obtidos em campo com os obtidos no posto meteorológico, tendo sido possível estabelecer taxas de perda de energia e de abaixamento de temperatura. Os resultados também permitem sugerir possibilidades de se medirem in diretamente temperaturas de folhas através de sensores colocados no ar , em função do grau de associação existente entre esses parâmetros .

7. SUMMARY

This research project was developed looking for the characterization of the micrometeorological parameters conditioning the chilling process from coffee's trees, to serve to numerical models of frost's prevision.

The measurements were obtained during the winter of 1980 and 1981 , in the Experimental Center of the " Instituto Agronômico de Campinas " . The measurement was conducted on coffee plantation , and restrict to nights with irradiation frost's conditions.

It was analysed air and leaves temperatures in different locations of the plants , and comparing them with temperatures from the official meteorological station , located at 800 meters near the experimental area. It was established rates of net energy loss and the lowering temperature of the coffe's plants; and the possibility of leave's temperature's measurement be made by the measurement of air temperature at 10 centimeters of these leaves.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTON, A. R. and BAVEL, C. H. M. van ,1972. Soil surfaces water depletion and leaf temperature. Agron. J. , 64:368-73.
- ÅNGSTRÖM, A. ,1915. A study of the radiation of the atmosphere. Smithson. misc. Collns , 65(3):1-159 .
- BEADLE, C. L. , STEVENSON, K. R. and THURTELL, G. W. ,1973. Leaf temperature measurements and control in a gas-exchange cuvette. Can. J. Pl. Sci. , 53:407-12.
- BRUNT, D. ,1932. Notes on radiation in the atmosphere. Q. Jl R. met. Soc. , 58:389-18 .
- BRUTSAERT, W. ,1975. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. Wat.Resour. Res. , 11:742-44.
- BUETTNER, K. J. K. , and KERN, C. D. ,1965. The determination of infrared emissivities of terrestrial surfaces. J.Geophys. Res. 70:1329-37.
- CAMARGO, A. P. de ,1963. Instruções para o combate à geada em cafezais. Campinas,IAC 17p.(Boletim técnico,nº130).
- CAMARGO, A. P. de ,1977. Frequência das geadas excepcionais como as de julho de 1975. Seminário Internacional sobre Climatologia do Hemisfério Sul, Campinas.IAC. p.1-3.

- CAMARGO, A. P. de ,1981. Combate racional à geada. Campinas,CATI 15p. (Boletim técnico, nº155).
- CAMPBELL, G. S. ,1977. An introduction to environmental biophysics. N.Y. , Springer-Verlag.
- CHEN, E. , ALLEN Jr., L.H. , BARTHOLIC, J. F. , BILL Jr., R. G. and SUTHERLAND, R. A. ,1979. Satellite-sensed winter nocturnal temperature patterns of the Everglades agricultural area. American met. Soc. 18:992-02.
- COMBS, A. C. , WEICKMANN, H. K. , MADER, C. and TEBO, A. ,1965. Aplication of infrared radiometers to meteorology. J.appl.Met. 4:253-62.
- DANIELS, F. and ALBERTY, R. A. ,1966. Physical chemistry. N.Y. John Wiley & Sons,Inc.
- DAVIES, J. A. , ROBINSON, P. J. and NUNEZ, M. ,1971. Field determinations of surface emissivity and temperature for Lake Ontario. J. appl. Met. , 10(4).811-19.
- DEACON, E. L. ,1963. Water vapor over the Sahara and TIROS III observations. J.Atmos. Sci. 20:614-15.
- DEACON, E. L. ,1970. The derivation of Swinbank's long-wave radiation formula. Q. Jl R. met. Soc. 96:313-19.
- DICKSON, D. G. Relationship between transpiration stomatal resistance, and laminar boundary thickness for individual tobacco leaves .1967. Master Thesis , University of Kentucky.

EDLING, R. J. , BARFIELD, B.J. , HAAN, C.T. and FOGLEMAN, M. E.

1971. Prediction of leaf temperature under unstable atmospheric conditions. Trans. Am. Soc. agric. Engrs 1095-99.

FAGNANI, M. A. e PINTO, H. S. ,1981. Simulação de baixas temperaturas em folhas de cafeeiro em noites sujeitas a geada de irradiação . II Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Pelotas.RS.

FRANK, J. L. ,1964. Accuracy of airnone infrared thermometry-techniques for infrared survey of sea temperature. Bureau circular n°202. Sandy Hook Marine Laboratory , Highlands , New Jersey:25-36.

FUCHS, M. and TANNER, C. B. ,1966. Infrared thermometry of vegetation. Agron. J. , 58:597-01.

GALE, J. , MANES, A. and POLJAKOFF-MAYER, A. ,1970. A rapidly equilibrating thermocouple contact thermometer for measurement of leaf-surface temperature. Ecology , 51:521-25.

GATES, D. M. and TRANTAPORN, W. ,1952. The reflectivity of deciduous trees and herbaceous plants in the infrared to 25 microns. Science ,115:613-16.

GATES, D. M. ,1961. Winter thermal radiation studies in Yellowstone Park. Science , 134:32-35.

GATES, D. M. ,1962. Energy exchange in the biosphere. New York. Harper and Row.

GATES, D. M. ,1963. Leaf temperature and energy exchange.

Arch. Met. Geophys. Biokl. B.,12:321-36.

GATES, D. M. ,1965. Energy,plants and ecology. Ecology,46:1-13.

GATES, D. M. ,1968. Transpiration and leaf temperature.

A.Rev. Pl. Physiol. , 19:211-38.

GATES, D. M. , ALDERFER, R. and TAYLOR, E. ,1968. Leaf temperature of desert plants. Science,159:994-95.

HARDY, J. D. ,1934. The radiation of heat from the human body.

J.clim.Invest. , 13:605-14.

IDLE, D. B. ,1968. The measurement of apparent surface temperature.

In:The measurement of environmental factors in terrestrial ecology. Oxford-Edinburgh.Blackwell Sci. Publ. p.47-57.

IDSO, S. B. ,1974. On the use of equations to estimate atmospheric thermal radiation. Arch. Meteorol. Geophys. Biokl.,ser.B,

22:287-99.

IDSO, S. B. and BLAD, B. L. ,1971. The effect of air temperature upon net solar radiation relations. J. appl. Met. 10:604-05.

IDSO, S. B. and JACKSON, R. D. ,1969. Thermal radiation from the atmosphere. J. Geophys. Res. , 74:5397-03.

KNOERR, K. K. and GAY, L. W. ,1965. Tree leaf energy balance.

Ecology , 46:17-44

- KONDRAT'YEV, K. Ya. ,1965. Radiative heat exchange in the atmosphere. New York , Pergamon Press.
- LEMON, E. ,1963. Energy and water balance of plant communities. In: EVANS, L. T. (ed.) Environmental control of plant growth. New York , London . Academic Press. 449p.
- LOMAS, J. , SCHLESINGER, E. and ISRAELI, A. ,1971. Leaf temperature measurement techniques. Boundary-Layer Meteorol. , 1:458-65.
- LOOMIS, W. E. ,1965. Absorption of radiant energy by leaves. Ecology , 46:14-17.
- LOURENCE, F. J. , PRUITT, W. D. and SERVIS, A. ,1970. Energy balance and the crop water requirement of rice grown in California . Wat. Sci. & Engng Pap. 9002. Davis , 44p.
- MINTAH, C. N. A numerical model to estimate leaf wetness duration 1977. M.S. Thesis. Faculty of Graduate Studies, University of Guelph , Canada.
- MONTEITH, J.L. and SZEICZ, G. ,1962. Radiative temperatura in the heat balance of natural surfaces. Q. Jl R. met. Soc. 88:499-07.
- MORRISON Jr., J. E. and BARFIELDS, B.J. ,1981. Temperature predictions for plant and controlled-resistance artificial leaves. Trans. Am. Soc. agric. Engrs,1204-10.
- ORTOLANI, A. A. e PINTO, H. S. ,1979. Projeto Nacional de Agro-meteorologia . Relatório EMBRAPA.

PEDRO Jr., M. J. Balanço de energia em soja. Piracicaba, 1977.
82 p. Tese (mestrado) ESALQ-USP .

PERRIER, A., 1971. Leaf temperature measurement. p. 632-671.
In: Plant photosynthetic production manual of methods.
The Hague , Dr, W. Junk N.V. Publishers.

PINTO, H. S. , ALFONSI, R.R. e PEDRO Jr., M.J. , 1976. Estimati-
va de danos em cafezais por geadas. Anais . 4º Congresso
Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras . IBC. p.25-26.

PINTO, H. S. , TARIFA, J. R. , ALFONSI, R. R. and PEDRO Jr. M. J.
1977. Estimation of frost damage in coffee trees in the state
of Sao Paulo , Brazil . 13th A.M.Soc. Conference on Agriculture
and Forest Meteorology , Purdue University , West Lafayette ,
Indiana.

PINTO, H. S. , CAMARGO, M. B. P. de , NOBREGA, M. da , ORTOLANI, A. A.
1978. Um sistema computacional para levantamento de prejuízos
causados por geadas à cafeicultura do Estado de São Paulo. 6º
Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras . Ribeirão Preto. SP
p 167-170.

PINTO, H. S. , PEDRO Jr., M. J. e CAMARGO, M. B. P. de , 1983.
Avaliação de efeitos causados por geadas à agricultura paulista
através do uso de cartografia computadorizada. 1º Congresso
Nacional de Automação Industrial . São Paulo, p. 274-279.

RAHN, J. J. and BROWN, D. M. , 1971. Estimating corn canopy extreme
temperatures from shelter values. J.agric. Met. 8:129-38.

- RASCHKE, K. ,1956. Über die Physikalischen zwischen
Warmeübergangszahl, Strahlungsaustausch, Temperatur, und
Transpiration eines Blattes. Planta. 48:200-38.
- RASCHKE, K. ,1960. Heat transfer between the plant and the
environment. A. Rev. Pl. Physiol. 11:111-26.
- REICOSKY, D. C. , DEACON, D. E. and PARSONS, J. E. , 1980.
Canopy air temperature and evapotranspiration from irrigated
and stressed soybeans. J. agric. Met. 21(1): 21-35.
- RIJTEMA, P. E. ,1965. An analysis of actual evapotranspiration.
Versl.landbouwk.Onderz.Rijkslandb-Proefstn , 5:1-107.
- SERRA, A. ,1957. Previsão da geada. Revta bras. Geogr.,3:43-65.
- SLAVIK, B. ,1974. Methods of studying plant water relations.
Praga. Publishing House of the Czechoslovak Academy of Sciences.
449p.
- STOLL, A. M. and HARDY, J. D. ,1952. A method for measuring radiant
temperatures of the environment. J. appl. Physiol. 5,117-24.
- SUTHERLAND, R. A. ,1980. A short-range objective nocturnal
temperature forecasting model. Am. met. Soc. 19:247-55.
- SUTTON, O.G. ,1953. Micrometeorology. New York,N.Y., Mc Graw-hill.
- SWINBANK, W. C. ,1963. Long-wave radiation from clear skies.
Q. Jl R. met. Soc. 89, 339-48.

- SZEICZ, G. ,1975. Instruments and their exposure. In:
Vegetation and atmosphere. Ed. J.L. Monteith. vol. 1:229-273.
- TANNER, C. B. and ROBINSON, S. M. ,1959. Black-body function
 σT^4 soils. Bull. 1. Department of soils, University of Wisconsin
Madison . 1959.
- TANNER, C. B. ,1960. Energy balance approach to evapotranspiration
from crops. Soil Sci. Soc. Am. Proc. , 24:1-9.
- TANNER, C. B. ,1963. Plant temperatures. Agron.J. 5:210-11.
- TANNER, C. B. ,1968. Evaporation of water from plants and soil.
In:Water deficits and plant growth. Ed. T.T. Koslowski. Nova York
Londres, Academic Press . 390p.
- VILLA NOVA, N. A. , PEREIRA, A. R. e PEDRO Jr., M. J. ,1975.
Balanço de energia numa cultura de arroz em condições de se-
queiro. Bragantia. Campinas , 34:171-76.
- WIEBELT, J. A. and HENDERSON, J. B. ,1978. Theoretical thermal
modeling of a leaf with experimental verification. J.agric.Met.
19:101-11.
- WINTER, S. R. and PENDLETON, J. W. ,1970. Results of changing
light and temperature regimes in a corn field and temperature
effects on the apparent photosynthesis of individual leaves.
Agron. J. 62(2) : 181-84.

Anexo 1. Ocorrência de geadas com temperaturas mínimas (TM) de 2,5°C ou menos , nos períodos de 1890 a 1920 e 1929 a 1975 , em Campinas

Geadas consideradas potencialmente severas : TM = 2,5 ou menos , com vento , TM = 1,5 ou menos , com vento fraco , TM = 0,5 ou menos , sem vento .

DATA	Temp. mínima	Vento, Dir. e Veloc. +			Severid. de Geadas ++	Inter- valos (anos)
		Véspera 7 H.	Noite 21 H.	7 H.		
14 jul 1892	0,2	NW 1	SW 1	C	S	-
14 jul 1894	1,0	SE 2	NE 2	C	S	4
25 jun 1895	1,0	C	SE 2	C	S	1
05 jul 1898	2,4	C	NW 2	NW 2	S	3
18 jul 1899	1,6	NW 3	C	C	M	1
19 ago 1902	0,2	SE 3	SW 1	E 2	SS	3
12 ago 1904	1,5	NW 3	W 1,5	C	S	2
18 jul 1910	2,1	C	C	C	M	6
23 jun 1911	2,2	C	SE 3	SE 0,5	M	1
03 set 1912	1,8	C	SE 5,5	C	S	1
25 jun 1918	-1,5	N 0,5	NW 1,5	NW 0,5	SS	6
29 jun 1931	2,0	C	C	C	M	-
14 jul 1933	1,4	C	C	C	M	2
12 jul 1942	-0,2	SW 2	C	C	S	9
15 set 1943	2,0	C	C	C	M	1
05 jul 1953	1,2	SE 4	SW 2	C	S	10
02 ago 1955	1,1	S 2	S 4	SE 2	S	2
21 jul 1957	1,2	W 7	NW 4	C	S	2
07 jul 1962	2,0	C	C	C	M	5
22 jul 1963	2,5	C	S 1	C	M	1
28 jul 1964	2,4	C	C	C	M	1
21 ago 1965	0,6	NW 2	C	C	S	1
06 ago 1966	7,2*	C	C	C (7 neb)	S	1
06 ago 1966	-2,5§	NW 1	N 1	NW 1	S	1
11 jul 1969	2,4	C	C	C	M	3
09 jul 1972	1,6	NW 8	C	C	M	3
18 jul 1975	0,6	SE 2	W 5	S 1,5	SS	3

+ Escala beaufort : 0 (C) = Calma ; 12 = Vel. máxima

++ M = Moderada ; S = Severa ; SS = Severíssima

§ Ipauçu ; * Forte nebulosidade impediu queda da temperatura
Em 78 anos constam 26 geadas , sendo 15 severas , uma para 5,2
anos e severíssimas , uma para 28 anos .

Fonte : CAMARGO , A.P. de . 1977 .

Anexo 2a. Valores de temperatura (°C) medidos nos termopares nas noites de 30-6/1-7-80 e 20/21-7-80, em planta de café Catuaí (CEC-IAC).

hora	30-6/1-7-80				20/21-7-80			
	rpp	rc	tfe	tfi	rpp	rc	tfe	tfi
18:00	8,3	14,0	15,7	13,3	7,4	15,7	17,4	15,4
18:30	8,3	13,8	16,0	13,7	8,6	14,6	15,7	14,0
19:00	8,3	13,8	15,8	13,6	8,1	12,9	13,8	12,4
19:30	11,1	14,6	17,3	14,7	7,6	12,3	13,4	11,9
20:00	8,3	14,3	16,0	14,0	7,6	12,4	14,0	11,8
20:30	8,6	13,3	13,3	12,6	7,1	12,1	13,8	11,7
21:00	8,3	12,9	12,8	12,2	7,4	11,9	12,2	11,3
21:30	7,4	12,0	13,1	11,4	7,4	11,9	12,1	11,3
22:00	8,6	12,3	12,3	11,8	7,1	11,4	12,8	10,9
22:30	6,6	11,7	12,1	11,1	7,4	11,4	12,4	11,0
23:00	7,4	12,4	13,7	11,9	7,1	11,4	12,3	11,0
23:30	7,6	12,1	12,6	11,5	6,9	11,2	11,5	10,8
24:00	6,6	11,0	11,5	10,5	6,9	10,8	12,3	10,3
0:30	5,4	10,8	10,3	10,0	6,9	11,1	13,5	10,7
1:00	5,4	10,2	9,9	9,7	6,4	10,9	12,6	10,5
1:30	5,1	9,9	9,8	9,2	7,4	11,3	13,9	11,6
2:00	5,1	10,0	10,3	9,4	6,9	11,3	13,4	11,9
2:30	5,1	10,0	10,4	9,3	7,4	11,4	13,5	11,1
3:00	5,1	9,8	9,6	9,3	6,6	11,1	13,9	11,7
3:30	4,6	9,7	9,7	9,2	6,6	11,4	12,9	11,3
4:00	3,9	9,7	10,3	9,4	6,9	10,7	13,3	10,4
4:30	4,4	9,5	9,6	8,9	6,1	10,8	12,3	10,4
5:00	4,1	9,6	10,0	9,1	6,6	10,5	12,8	10,5
5:30	3,9	9,5	9,5	8,9	7,1	10,3	11,8	9,8
6:00	3,9	9,4	10,5	9,2	6,4	10,1	11,7	9,7

rpp : relva do posto meteorológico padrão

rc : relva na cultura

tfe : temperatura de folhas externas

tfi : temperatura de folhas internas

Anexo 2b. Valores de temperatura (°C) medidos nos termopares na noite de 30-6/1-7-81 em plantas de café Catuaí (CEC-IAC).

hora	8	12	15	19	20	21	22	23	24
18:00	14,7	13,6	13,8	14,5	14,1	14,1	14,4	15,4	17,0
18:30	13,0	11,5	13,4	13,0	12,8	12,8	13,0	13,7	16,2
19:00	13,6	13,0	12,4	13,1	12,8	12,8	13,2	14,6	15,9
19:30	12,1	10,0	11,6	12,3	11,9	11,9	11,9	12,8	14,9
20:00	11,2	9,2	10,2	11,3	11,1	11,1	11,1	12,8	15,5
20:30	11,6	10,5	10,9	11,4	11,4	11,2	11,5	13,2	14,9
21:00	10,9	8,9	10,5	10,9	10,8	10,8	10,6	11,0	14,4
21:30	11,2	10,0	10,3	10,6	10,7	10,6	11,6	13,0	14,0
22:00	12,0	10,6	10,6	11,3	10,9	10,9	11,4	12,6	13,8
22:30	12,3	10,5	10,4	11,9	10,6	10,6	11,4	12,6	13,6
23:00	12,1	10,9	10,1	11,0	10,6	10,6	12,0	13,1	14,0
23:30	11,7	10,0	10,0	10,8	10,4	10,4	11,0	12,1	13,2
24:00	11,1	9,5	9,6	10,4	10,0	10,0	10,4	11,5	13,1
0:30	11,0	9,6	9,4	10,0	9,7	9,7	10,2	11,4	12,6
1:00	10,5	9,5	9,2	9,6	9,6	9,6	10,7	12,0	13,0
1:30	10,8	9,5	9,0	9,6	9,0	9,0	11,4	11,6	12,6
2:00	10,9	9,5	9,0	9,7	9,7	9,5	11,6	12,0	13,0
2:30	12,0	10,0	10,0	11,6	10,5	10,5	12,2	13,0	13,0
3:00	11,0	9,2	9,5	10,0	9,7	9,7	10,7	12,0	13,0
3:30	11,9	10,0	10,0	11,3	10,5	10,5	11,6	12,6	13,5
4:00	12,7	11,0	10,9	12,0	11,0	11,0	12,5	13,4	13,6
4:30	13,0	10,6	11,2	12,6	11,3	11,3	12,5	13,3	13,3
5:00	12,6	10,9	11,6	12,5	11,2	11,3	12,5	13,3	13,5
5:30	13,0	11,6	12,0	12,8	11,6	11,6	12,4	13,3	13,5
6:00	13,4	11,0	11,6	12,6	11,6	11,6	12,3	13,4	13,7

termopar nº 8 : instalado a 1,5m de altura,interno à copa (folha)
termopar nº12 : instalado na altura da copa,externamente (folha)
termopar nº15 : instalado a 0,5m de altura,interno à copa (folha)
termopar nº19 : instalado a 1,0m de altura,interno à copa (ar)
termopar nº20 : instalado a 0,05m de altura,interno à copa(ar)
termopar nº21 : instalado a 0,5m de altura, interno à copa(ar)
termopar nº22 : instalado a 1,5m de altura,interno à copa (ar)
termopar nº23 : instalado a 10cm acima da copa (ar)
termopar nº24 : instalado a 1,0m acima da copa (ar)

Anexo 2c. Valores de temperatura (°C) medidos nos termopares na noite de 25/26-7-81 em plantas de café Catuaí (CEC-IAC).

hora	8	12	15	19	20	21	22	23	24
18:00	-	11,0	12,0	11,7	11,6	11,6	11,7	11,7	11,7
18:30	-	10,8	11,8	11,5	11,2	11,2	11,5	11,4	11,6
19:00	-	9,9	10,7	10,6	10,2	10,2	10,6	10,6	10,8
19:30	-	9,5	10,0	9,4	9,4	9,3	9,7	9,7	10,2
20:00	-	8,9	9,5	8,6	8,6	8,6	9,6	10,0	10,5
20:30	-	8,7	8,8	8,5	8,3	8,3	9,2	9,9	10,0
21:00	-	8,4	8,7	8,5	8,5	8,2	9,0	9,4	10,0
21:30	-	8,0	8,1	7,6	7,6	7,5	8,3	9,0	9,5
22:00	-	6,8	6,7	5,6	6,0	6,0	6,0	6,7	8,2
22:30	-	6,0	5,9	4,9	5,3	5,4	5,5	6,2	7,4
23:00	-	6,2	5,5	4,3	4,5	5,1	5,3	6,1	7,1
23:30	-	5,8	5,0	3,9	4,3	4,5	4,9	6,2	7,6
24:00	-	5,9	4,7	3,5	3,9	4,1	4,1	5,6	7,2
0:30	-	5,5	4,6	3,3	3,8	3,8	4,4	5,7	6,6
1:00	-	6,4	4,5	3,3	3,9	3,9	4,3	6,0	7,0
1:30	-	5,8	4,2	2,9	3,5	3,5	3,7	5,0	6,5
2:00	-	6,0	4,2	3,1	3,6	3,8	4,3	5,5	6,7
2:30	-	5,0	4,2	2,9	3,5	3,7	4,2	5,4	6,2
3:00	-	5,3	3,8	2,5	3,0	3,0	3,6	4,9	5,7
3:30	-	5,0	3,4	2,0	2,5	2,5	2,8	4,7	6,0
4:00	-	4,8	3,0	1,8	2,5	2,5	3,0	5,2	6,0
4:30	-	4,4	3,1	1,7	2,4	2,4	3,0	4,0	5,8
5:00	-	4,5	3,1	1,8	2,8	2,4	2,4	4,4	5,6
5:30	-	4,4	2,9	1,7	2,3	2,3	3,2	4,6	5,9
6:00	-	4,0	3,0	1,7	2,1	2,1	3,0	4,5	5,5

termopar nº 8 : instalado a 1,5m de altura , interno à copa (folha)
termopar nº12 : instalado na altura da copa , externamente (folha)
termopar nº15 : instalado a 0,5m de altura , interno à copa (folha)
termopar nº19 : instalado a 1,0m de altura, interno à copa (ar)
termopar nº20 : instalado a 0,05m de altura, interno à copa (ar)
termopar nº21 : instalado a 0,5m de altura, interno à copa (ar)
termopar nº22 : instalado a 1,5m de altura, interno à copa (ar)
termopar nº23 : instalado a 10cm acima da copa (ar)
termopar nº24 : instalado a 1,0m acima da copa (ar)

Anexo 3a. Valores de radiação líquida medidos ao nível da copa e a 1,0m acima desta, em planta de café Caturai, na noite de 30-6/1-7-80. (CEC-IAC).

hora	nível da copa			1,0m acima da copa		
	cal.	cal. acum.	cal. acum. total	cal.	cal. acum.	cal. acum. total
15:00	-	-	-	-	-	-
15:30	+0,17	-	-	-	-	-
16:00	0,0 ²¹	-	-	+0,18	-	-
16:30	-0,05 ¹²	-0,75	-0,75	-0,009	-0,14	-0,14
17:00	-0,10	-2,25	-3,00	-0,125	-2,01	-2,15
17:30	-0,10	-3,00	-6,00	-0,162	-4,31	-6,46
18:00	-0,10	-3,00	-9,00	-0,172	-5,01	-11,47
18:30	-0,10	-3,00	-12,00	-0,172	-5,16	-16,63
19:00	-0,08	-2,78	-14,78	-0,172	-5,16	-21,79
19:30	-0,10	-2,78	-17,56	-0,102	-4,11	-25,90
20:00	-0,09	-2,85	-20,41	-0,149	-3,77	-29,67
20:30	-0,08	-2,63	-23,04	-0,160	-4,64	-34,31
21:00	-0,08	-2,48	-25,52	-0,153	-4,70	-39,01
21:30	-0,09	-2,55	-28,07	-0,153	-4,59	-43,60
22:00	-0,08	-2,55	-30,62	-0,162	-4,73	-48,33
22:30	-0,08	-2,40	-33,02	-0,149	-4,67	-53,00
23:00	-0,09	-2,55	-35,57	-0,160	-4,64	-57,64
23:30	-0,09	-2,70	-38,27	-0,160	-4,80	-62,44
24:00	-0,09	-2,70	-40,97	-0,153	-4,70	-67,14
0:30	-0,07	-2,40	-43,37	-0,153	-4,59	-71,73
1:00	-0,07	-2,40	-45,47	-0,153	-4,59	-76,32
1:30	-0,06	-1,95	-47,42	-0,153	-4,59	-80,91
2:00	-0,06	-1,88	-49,30	-0,153	-4,59	-85,50
2:30	-0,05	-1,80	-51,10	-0,153	-4,59	-90,09
3:00	-0,05	-1,58	-52,68	-0,158	-4,67	-94,76
3:30	-0,05	-1,50	-54,18	-0,153	-4,67	-99,43
4:00	-0,05	-1,50	-55,68	-0,160	-4,70	-104,13
4:30	-0,05	-1,50	-57,18	-0,162	-4,83	-108,96
5:00	-0,05	-1,50	-58,68	-0,160	-4,83	-113,79
5:30	-0,05	-1,50	-60,18	-0,160	-4,80	-118,59
6:00	-0,05	-1,50	-61,68	-0,160	-4,80	-123,39
6:30	-0,05	-1,50	-63,18	-0,162	-4,83	-128,22
7:00	-0,04	-1,35	-64,53	-0,162	-4,86	-133,08
7:30	-0,04	-1,20	-65,73	-0,160	-4,83	-137,91
8:00	+0,14	+1,50	-64,23	-0,079	-3,59	-141,50
8:30	+0,20	+5,10	-59,13	-0,038	-1,76	-143,26
9:00	-	-	-	+0,173	+2,03	-141,24

Anexo 3b. Valores de radiação líquida medidos ao nível da copa e a 1,0m acima desta , em plantas de café Catuaí , na noite de 20/21-7-80 . (CEC-IAC).

hora	nível da copa			1,0m acima da copa		
	cal.	cal. acum.	cal. acum. total	cal.	cal. acum.	cal. acum. total
15:00	0,0	-	-	-	-	-
15:30	-0,04	-0,60	-0,60	-	-	-
16:00	-0,05	-1,35	-1,95	+0,61	-	-
16:30	-0,05	-1,50	-3,45	-0,067	-1,01	-1,01
17:00	-0,065	-1,73	-5,18	-0,172	-3,59	-4,60
17:30	-0,075	-2,10	-7,28	-0,209	-5,72	-10,32
18:00	-0,075	-2,25	-9,53	-0,209	-6,27	-15,59
18:30	-0,075	-2,25	-11,78	-0,195	-6,06	-22,65
19:00	-0,065	-2,10	-13,88	-0,186	-5,72	-28,37
19:30	-0,065	-1,95	-15,83	-0,186	-5,58	-33,95
20:00	-0,06	-1,88	-17,71	-0,186	-5,58	-39,53
20:30	-0,06	-1,80	-19,51	-0,172	-5,37	-44,90
21:00	-0,05	-1,65	-21,16	-0,172	-5,16	-50,06
21:30	-0,05	-1,50	-22,66	-0,167	-5,09	-55,15
22:00	-0,05	-1,58	-24,24	-0,172	-5,09	-60,24
22:30	-0,055	-1,65	-25,89	-0,167	-5,09	-65,33
23:00	-0,055	-1,65	-27,54	-0,172	-5,09	-70,42
23:30	-0,055	-1,65	-29,19	-0,167	-5,09	-75,51
24:00	-0,060	-1,73	-30,92	-0,176	-5,15	-80,66
0:30	-0,070	-1,95	-32,87	-0,176	-5,28	-85,94
1:00	-0,070	-2,10	-34,97	-0,181	-5,36	-91,30
1:30	-0,075	-2,18	-37,15	-0,186	-5,51	-96,81
2:00	-0,075	-2,25	-39,40	-0,186	-5,58	-102,39
2:30	-0,075	-2,25	-41,65	-0,188	-5,61	-108,00
3:00	-0,080	-2,33	-43,98	-0,190	-5,67	-113,67
3:30	-0,075	-2,33	-46,31	-0,186	-5,64	-119,31
4:00	-0,080	-2,33	-48,64	-0,183	-5,54	-124,85
4:30	-0,070	-2,25	-50,89	-0,172	-5,33	-130,18
5:00	-0,065	-2,03	-52,92	-0,176	-5,22	-135,40
5:30	-0,060	-1,88	-54,80	-0,172	-5,22	-140,62
6:00	-0,060	-1,80	-56,60	-0,172	-5,16	-145,78
6:30	-0,075	-2,03	-58,63	-0,172	-5,16	-150,94
7:00	-0,060	-2,03	-60,66	-0,186	-5,37	-156,31
7:30	-0,02	-1,20	-61,86	-0,149	-5,03	-161,34
8:00	+0,065	+0,68	-61,19	-0,079	-3,42	-164,76
8:30	-	-	-	+0,038	-0,62	-165,38

Anexo 3 c. Valores de radiação líquida medidos ao nível da copa e a 1,0m acima desta , em planta de café Catuaí , na noite de 30-6/1-7-81 . (CEC-IAC).

hora	nível da copa			1,0m acima da copa		
	cal.	cal. acum.	cal. acum. total	cal.	cal. acum.	cal. acum. total
18:00	-0,049	-0,74	-0,74	-0,036	-0,54	-0,54
18:30	-0,049	-1,47	-2,21	-0,036	-1,08	-1,62
19:00	-0,049	-1,47	-3,68	-0,036	-1,08	-2,70
19:30	-0,049	-1,47	-5,15	-0,036	-1,08	-3,78
20:00	-0,049	-1,47	-6,62	-0,036	-1,08	-4,86
20:30	-0,049	-1,47	-8,09	-0,036	-1,08	-5,94
21:00	-0,049	-1,47	-9,56	-0,036	-1,08	-7,02
21:30	-0,049	-1,47	-11,03	-0,036	-1,08	-8,10
22:00	-0,049	-1,47	-12,50	-0,036	-1,08	-9,18
22:30	-0,049	-1,47	-13,97	-0,036	-1,08	-10,26
23:00	-0,049	-1,47	-15,44	-0,036	-1,08	-11,34
23:30	-0,049	-1,47	-16,91	-0,036	-1,08	-12,42
24:00	-0,049	-1,47	-18,38	-0,036	-1,08	-13,50
0:30	-0,049	-1,47	-19,85	-0,036	-1,08	-14,58
1:00	-0,049	-1,47	-21,32	-0,036	-1,08	-15,66
1:30	-0,049	-1,47	-22,79	-0,036	-1,08	-16,74
2:00	-0,049	-1,47	-24,26	-0,036	-1,08	-17,82
2:30	-0,049	-1,47	-25,73	-0,036	-1,08	-18,90
3:00	-0,049	-1,47	-27,20	-0,036	-1,08	-19,98
3:30	-0,049	-1,47	-28,67	-0,036	-1,08	-21,06
4:00	-0,049	-1,47	-30,14	-0,036	-1,08	-22,14
4:30	-0,049	-1,47	-31,61	-0,036	-1,08	-23,22
5:00	-0,049	-1,47	-33,08	-0,036	-1,08	-24,30
5:30	-0,049	-1,47	-34,55	-0,036	-1,08	-25,38

Anexo 3d. Valores de radiação líquida medidos ao nível da copa e a 1,0m acima desta, em plantas de café Catuaí, na noite de 25/26-7-81. (CEC-IAC).

hora	nível da copa			1,0m acima da copa		
	cal.	cal. acum. (30')	cal. acum. total	cal.	cal. acum. (30')	cal. acum. total
17:30	-	-	-	-0,024	-0,036	-0,36
18:00	-0,016	-0,24	-0,24	-0,024	-0,72	-1,08
18:30	-0,016	-0,48	-0,48	-0,047	-1,07	-2,15
19:00	-0,032	-0,72	-1,44	-0,047	-1,41	-3,56
19:30	-0,032	-0,96	-2,40	-0,047	-1,41	-4,97
20:00	-0,040	-1,08	-3,48	-0,047	-1,41	-6,38
20:30	-0,040	-1,20	-4,68	-0,047	-1,41	-7,79
21:00	-0,040	-1,20	-5,88	-0,047	-1,41	-9,20
21:30	-0,040	-1,20	-7,08	-0,047	-1,41	-10,61
22:00	-0,032	-1,08	-8,16	-0,047	-1,41	-12,02
22:30	-0,032	-0,96	-9,12	-0,047	-1,41	-13,43
23:00	-0,024	-0,84	-9,96	-0,024	-1,07	-14,50
23:30	-0,024	-0,72	-10,68	-0,024	-0,72	-15,22
24:00	-0,024	-0,72	-11,40	-0,024	-0,72	-15,94
0:30	-0,024	-0,72	-12,12	-0,024	-0,72	-16,66
1:00	-0,024	-0,72	-12,84	-0,024	-0,72	-17,38
1:30	-0,024	-0,72	-13,56	-0,024	-0,72	-18,10
2:00	-0,024	-0,72	-14,28	-0,024	-0,72	-18,82
2:30	-0,024	-0,72	-15,00	-0,024	-0,72	-19,54
3:00	-0,024	-0,72	-15,72	-0,024	-0,72	-20,26
3:30	-0,024	-0,72	-16,44	-0,024	-0,72	-20,98
4:00	-0,024	-0,72	-17,16	-0,024	-0,72	-21,70
4:30	-0,024	-0,72	-17,88	-0,024	-0,72	-22,42
5:00	-0,024	-0,72	-18,60	-0,024	-0,72	-23,14
5:30	-0,024	-0,72	-19,32	-0,024	-0,72	-23,86
6:00	-0,024	-0,72	-20,04	-0,024	-0,72	-24,58
6:30	-0,024	-0,72	-20,76	-0,012	-0,54	-25,12
7:00	-0,016	-0,60	-21,36	+0,024	+0,18	-24,94
7:30	+0,049	+0,50	-20,87	+0,071	+1,43	-23,52

Anexo 4a. Valores de temperatura e
umidade relativa do ar do
posto padrão e micrometeo
rológico para a noite de
30-6/1-7-80 (CEC-IAC).

hora	tarpp	tarpn	URpp	URpn
18:00	18,8	20,8	70	50
18:30	18,4	20,3	70	52
19:00	17,8	20,0	77	55
19:30	17,8	20,0	77	57
20:00	17,8	19,5	77	58
20:30	17,5	18,8	79	63
21:00	16,8	18,0	80	66
21:30	16,5	17,6	82	68
22:00	16,5	17,2	83	71
22:30	16,5	17,2	82	70
23:00	16,0	17,5	82	70
23:30	15,5	17,0	84	74
24:00	15,5	16,0	84	76
0:30	14,7	15,3	87	82
1:00	14,5	15,0	88	84
1:30	13,9	15,1	90	85
2:00	13,8	15,1	90	85
2:30	13,7	15,0	90	85
3:00	13,7	14,9	90	83
3:30	13,4	14,9	92	85
4:00	13,0	14,8	92	86
4:30	13,0	14,4	93	86
5:00	13,0	14,4	93	87
5:30	13,0	14,4	94	87
6:00	13,0	14,9	94	88

Anexo 4b. Valores de temperatura e
umidade relativa do ar do
posto padrão e micrometeo
rológico para a noite de
20/21-7-80 (CEC-IAC).

hora	tarpp	tarpn	URpp	URpn
18:00	21,0	20,0	40	49
18:30	19,5	19,8	44	53
19:00	18,0	19,5	47	55
19:30	17,4	18,2	54	62
20:00	17,0	18,2	58	62
20:30	16,0	18,2	62	62
21:00	15,9	18,2	64	64
21:30	15,5	18,1	66	64
22:00	15,1	18,0	70	64
22:30	14,7	18,0	72	64
23:00	14,5	17,8	74	66
23:30	14,1	17,8	75	64
24:00	14,5	17,9	77	64
0:30	14,0	17,9	77	64
1:00	14,1	18,0	77	63
1:30	14,1	18,0	76	63
2:00	14,1	17,8	77	63
2:30	14,0	17,8	76	63
3:00	14,1	17,2	76	65
3:30	14,2	17,1	76	64
4:00	14,2	17,0	75	66
4:30	14,1	17,2	76	66
5:00	14,5	17,3	75	64
5:30	14,2	17,5	75	64
6:00	13,5	18,0	74	64

Anexo 4c. Valores de temperatura e
umidade relativa do ar do
posto padrão e micrometeo
rológico para a noite de
30-6/1-7-81 (CEC-IAC).

hora	tarpp	tarpn	URpp	URpn
18:00	20,5	-	58	-
18:30	19,8	-	63	-
19:00	19,0	-	65	-
19:30	18,5	-	68	-
20:00	17,3	-	73	-
20:30	17,0	-	76	-
21:00	16,5	-	79	-
21:30	16,5	-	82	-
22:00	16,1	-	83	-
22:30	16,1	-	83	-
23:00	16,0	-	84	-
23:30	15,7	-	85	-
24:00	15,3	-	86	-
0:30	15,2	-	87	-
1:00	15,1	-	89	-
1:30	15,0	-	89	-
2:00	14,3	-	91	-
2:30	14,3	-	92	-
3:00	14,0	-	93	-
3:30	15,3	-	92	-
4:00	15,3	-	86	-
4:30	15,3	-	85	-
5:00	15,3	-	84	-
5:30	15,3	-	84	-
6:00	15,3	-	84	-

Anexo 4d. Valores de temperatura e
umidade relativa do ar do
posto padrão e micrometeo
rológico para a noite de
25/26-7-81 (CEC-IAC).

hora	tapp	tarpn	URpp	URpn
18:00	13,8	13,7	84	84
18:30	13,5	13,4	84	83
19:00	13,2	13,2	83	82
19:30	12,6	13,8	83	82
20:00	12,0	11,8	83	83
20:30	12,0	11,5	85	86
21:00	11,0	10,8	87	89
21:30	10,5	10,5	89	90
22:00	10,0	10,3	90	93
22:30	10,0	10,2	90	93
23:00	9,9	10,4	90	93
23:30	9,7	10,2	90	93
24:00	9,2	10,0	90	93
0:30	8,9	10,0	90	93
1:00	8,8	9,8	90	93
1:30	8,5	9,1	90	93
2:00	8,2	9,4	90	93
2:30	8,2	9,3	90	93
3:00	7,5	9,2	90	92
3:30	7,7	9,1	90	92
4:00	7,2	9,1	90	92
4:30	7,2	9,1	90	92
5:00	6,5	9,1	90	92
5:30	6,6	9,1	90	92
6:00	6,8	9,2	90	92

9.2. símbolos utilizados

R_a	= radiação atmosférica de ondas longas
T_a	= temperatura do ar no abrigo meteorológico , em graus absolutos
e_a	= pressão do vapor d'água atmosférico medido no abrigo meteorológico
σ	= constante de Stefan-Boltzmann ($0,813 \cdot 10^{-10} \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{OK}^{-4}$)
$a, b, \alpha, \beta, \gamma$	= coeficientes empíricos utilizados nas equações de ÅNGSTRÖM (1915) e BRUNT (1932)
c, d, δ	= constantes empíricas utilizadas nas equações de SWINBANK (1963) e IDSO-JACKSON (1969)
e	= emissividade atmosférica
ρ_{va}	= densidade de vapor do ar medida a 1-2 m de altura
R_s	= radiação de ondas longas do solo
R_n	= fluxo líquido de radiação ou radiação líquida
S	= radiação solar direta e difusa de ondas curtas
R	= radiação de ondas longas emitida pela atmosfera , pela superfície e pela vegetação ao redor
R_f	= radiação de ondas longas emitida pelas superfícies da folha
H	= convecção e condução de energia pelo ar próximo
LE	= evaporação ou condensação de umidade na superfície incluindo transpiração
L	= calor latente
s	= armazenamento de calor na folha
z	= energia armazenada nos processos fotossintéticos
G_s	= fluxo de calor para o solo
ρ	= densidade do ar seco
C_p	= calor específico do ar à pressão constante

rpp	= temperatura , em graus centígrados , da relva do posto meteorológico
rc	= temperatura , em graus centígrados , da relva na cultura
tarpp	= temperatura , em graus centígrados , do ar no abrigo do posto meteorológico
tarpm	= temperatura , em graus centígrados do ar no abrigo do posto micrometeorológico ,na cultura
$R_n(c)$	= radiação líquida no nível da copa da planta de <u>ca</u> fé experimental
$R_n(ac)$	= radiação líquida a 1m acima da copa da planta de café experimental
URpp	= umidade relativa do ar no posto meteorológico
URpm	= umidade relativa do ar no posto micrometeorológico