

MARIA DO CARMO FELIPE DE OLIVEIRA

ASPECTOS EXPERIMENTAIS E TEÓRICOS DE UM ESTUDO MICROMETEOROLÓGICO SOBRE SUPERFÍCIE GRAMADA (*Paspalum notatum* L.)

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

Tese Apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das Exigências do Curso de Meteorologia Agrícola, para Obtenção do Grau de "Magister Scientiae".

VIÇOSA - MINAS GERAIS

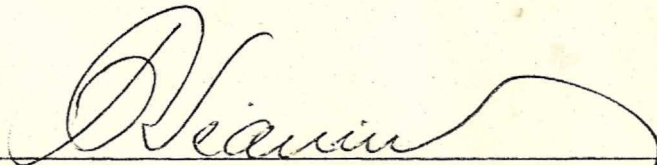
1983

ASPECTOS EXPERIMENTAIS E TEÓRICOS DE UM ESTUDO MICROMETEORO-
LÓGICO SOBRE SUPERFÍCIE GRAMADA (*Paspalum notatum* L.)

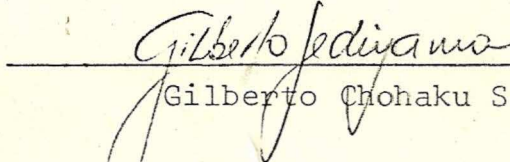
por

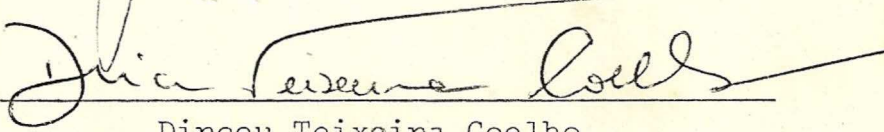
MARIA DO CARMO FELIPE DE OLIVEIRA

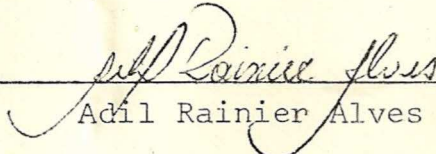
APROVADA:

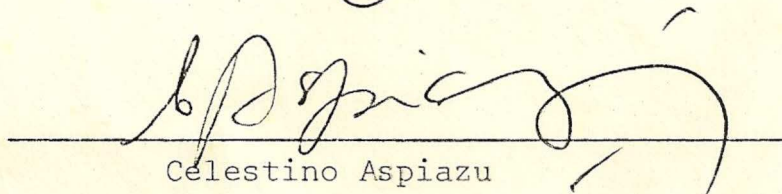

Rubens Leite Vianello
(Orientador)

551.5
046a
1983
ex. 2


Gilberto Chohaku Sedyama


Dirceu Teixeira Coelho


Adil Rainier Alves


Celestino Aspiazu

Agradeço aos meus pais que me enca-
minharam, aos meus irmãos, cunha-
dos e sobrinhos, que me apoiaram e
dedico, a José Augusto de Souza e
a Marcos Antonio Corrêa, estímulo
e motivo de meu esforço.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará (U.F.Pa), pela permissão para realizar o programa de mestrado na U.F.V.

À Universidade Federal de Viçosa (U.F.V.) pelo apoio e pelos ensinamentos, contribuindo assim para o meu aprimoramento profissional.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais (I.N.P.E.), pelo empréstimo de equipamentos, para a realização desta pesquisa.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pelo apoio dado em todas as etapas da pesquisa, especialmente no fornecimento, instalação e operação dos equipamentos micrometeorológicos.

Ao Professor Rubens Leite Vianello, pela dedicada e segura orientação e, acima de tudo, pelo incentivo e amizade.

Aos Professores Gilberto Chohaku Sedyama, Dirceu Teixeira Coelho e Hélio Alves Vieira, pelo apoio, interesse e amizade durante o curso e no decorrer deste trabalho.

Aos Professores José Carvalho de Moraes e Adelina Moraes de Souza, do Curso de Meteorologia da U.F.Pa, pela soli

cidade em assumir os encargos das disciplinas durante a ausência da autora.

Aos colegas do curso de mestrado, pelo incentivo e compreensão e pela convivência sincera e amigável.

A Custódia Souza, pela paciência e amizade durante todo o decorrer do curso.

Finalmente, meus agradecimentos a todos que, direta ou indiretamente, tenham contribuído para a realização e conclusão deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

MARIA DO CARMO FELIPE DE OLIVEIRA, filha de Antonio Rosa de Oliveira e Edemia Felipe de Oliveira, nasceu em Belém, Estado do Pará, no dia 16 de julho de 1951.

Em dezembro de 1974 graduou-se em Engenharia Agrônomica pela Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (F.C.A.P.).

Em 1975 frequentou curso de Especialização em Meteorologia Tropical promovido pelo convênio SUDAM/UFPa.

De 1976 a 1978 cursou inúmeras disciplinas na área de Meteorologia no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) em São José dos Campos-SP.

Em setembro de 1978 foi contratada pela U.F.Pa. para exercer a função de Auxiliar de Ensino junto ao Departamento de Geologia - Geofísica e Meteorologia. Atualmente é Professor Assistente 2 na mesma Universidade.

Em 1981 ingressou no curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, ao nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa-MG.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xii
EXTRATO	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Equações Básicas	6
2.2. Coeficientes de Difusão de calor, massa e momentum	10
2.3. Parâmetros de Estabilidade	12
2.4. Funções Adimensionais - Parametrização	16
2.5. Equação do Balanço de Energia	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1. Localização da Área	39
3.2. Instalação dos Instrumentos	41
3.2.1. Radiação	41
3.2.2. Perfis de Temperatura	43
3.2.3. Perfis de Temperatura do Solo	45
3.2.4. Perfil de Velocidade do Vento	45
3.2.5. Dados Complementares	47
3.2.6. Frequência das Observações	49

	Página
3.3. Cálculos	49
3.3.1. Parâmetro de Estabilidade - Número de Richardson	49
3.3.2. Velocidade de Fricção	50
3.3.3. Funções Adimensionais	51
3.3.4. Coeficientes de Difusividade Turbulenta .	55
3.3.5. Balanço de Energia	56
3.3.6. Parâmetros Derivados	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1. Parâmetro de Estabilidade - Número de Richardson	60
4.2. Velocidade de Fricção	65
4.3. Funções Adimensionais	65
4.4. Coeficientes de Difusividade Turbulenta	70
4.5. Balanço de Energia	76
4.6. Parâmetros Derivados	81
5. CONCLUSÕES	86
6. LITERATURA CITADA	89
APÊNDICE A	
QUADRO A.1 - Dados horários de temperatura do ar, a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 19 de abril de 1982 ...	93
FIGURA A.1 - Variação diária da temperatura do ar, a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 18 de abril de 1982 ...	95
FIGURA A.2 - Variação diária da temperatura do bulbo úmido, a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 18 de abril de 1982	96
QUADRO A.2 - Dados horários de velocidade do vento e umidade relativa, a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 19 de abril de 1982	97
FIGURA A.3 - Variação diária da velocidade do vento,	

	a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 18 de abril de 1982 .	99
FIGURA A.4 -	Variação diária da umidade relativa, a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 18 de abril de 1982 ...	100
QUADRO A.3 -	Dados horários de temperatura do solo, a diferentes profundidades, observados em Viçosa-MG, de 17 a 19 de abril de 1982	101
APÊNDICE B		
QUADRO B.1 -	Dados instantâneos de temperatura do ar, a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 19 de abril de 1982	104
QUADRO B.2 -	Dados instantâneos de velocidade do vento e umidade relativa, a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 19 de abril de 1982	110
QUADRO B.3 -	Dados instantâneos de temperatura do solo, a diferentes profundidades, observados em Viçosa-MG, de 17 a 19 de abril de 1982	116
QUADRO B.4 -	Valores dos fluxos saldo de radiação (R_n), calor sensível (H), calor latente (LE) e calor do solo (G), além da razão de Bowen (β), para a camada compreendida entre 1,6 e 3,2 m	122
QUADRO B.5 -	Valores do número de Richardson (Ri), velocidade de fricção segundo KAO e em função do perfil logarítmico do vento, para as camadas de 0,4; 1,6 e 3,2 m ..	128
QUADRO B.6 -	Valores dos fluxos adimensionais de momentum (ϕ_M), calor sensível (ϕ_H) e vapor de água (ϕ_W) e as razões entre eles	134

QUADRO B.7 - Valores dos coeficientes de difusividade turbulenta de momentum (K_M), calor sensível (K_H) e vapor de água (K_W) e as razões entre os coeficientes ...	140
--	-----

LISTA DE QUADROS

QUADROS	Página
1	Valores horários do número de Richardson (Ri), velocidade de fricção segundo KAO e em função do perfil logarítmico do vento, para as camadas de 0,4; 1,6 e 3,2 m 62
2	Valores horários dos fluxos adimensionais de momentum (ϕ_M), calor sensível (ϕ_H) e vapor de água (ϕ_W) e as razões entre eles 67
3	Valores horários dos coeficientes de difusividade turbulenta de momentum (K_M), calor sensível (K_H) e vapor de água (K_W) e as razões entre os coeficientes 73
4	Valores horários dos fluxos saldo de radiação (R_n), calor sensível (H), calor latente (LE) e calor do solo (G), além da razão de Bowen (β), para a camada compreendida entre 1,6 e 3,2 m . 78

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS		Página
1	Balanço de energia no volume de controle	28
2	Escoamento com trajetória distorcida	32
3	Vista geral da área de observação e disposição dos instrumentos	40
4	Saldo-radiômetros e piranômetros	42
5.a	Detalhe do abrigo termométrico e do sistema de umedecimento	44
5.b	Vista frontal da torre de temperatura, bulbos seco e úmido	46
6.a	Vista lateral da torre de vento	48
6.b	Detalhe de um dos anemômetros componentes da torre de vento	48
7	Valor do número de Richardson (Ri), para a camada compreendida entre 0,4 e 1,6 m	64

FIGURAS	Página	
8	Valores da velocidade de fricção segundo KAO, e em função do perfil logarítmico do vento, estimados para os dias 17 e 18 de abril de 1982	66
9	Fluxo adimensional de momentum (ϕ_M), em função do número de Richardson (Ri)	69
10	Fluxo adimensional de calor sensível (ϕ_H), em função do número de Richardson (Ri)	71
11	Fluxo adimensional de vapor de água (ϕ_W), em função do número de Richardson (Ri)	72
12	Dependência da razão entre os coeficientes do calor sensível (K_H) e momentum (K_M), com a estabilidade	75
13	Valores dos fluxos, saldo de radiação (R_n), calor sensível (H), calor latente (LE), para a camada compreendida entre 1,6 e 3,2 m e calor do solo (G)	80
14	Mecanismo responsável pela inversão de sinais entre os fluxos de calor sensível e calor latente	81
15	Valores da razão de Bowen (β), para a camada compreendida entre 1,6 e 3,2 m	82
16	Variação diária do albedo (α), observados em Viçosa-MG, de 17 a 18 de abril de 1982	84

LISTA DE SÍMBOLOS

A_0, A_1, A_{n-1}, A_n	- Áreas das camadas do escoamento (m^2)
β	- Razão de Bowen
C	- Capacidade calorífica do solo ($J m^{-3} ^\circ C^{-1}$)
\bar{C}	- Velocidade média quadrática (ms^{-1})
C_c	- Calor específico da cultura ($J kg^{-1} ^\circ C^{-1}$)
C_p	- Calor específico do ar à pressão constante ($J kg^{-1} ^\circ C^{-1}$)
s	- Propriedade escalar qualquer
D	- Coeficiente de difusão molecular do vapor de água ($m^2 s^{-1}$)
e	- Pressão de vapor de água (Pa)
\bar{e}	- Energia cinética média turbulenta por unidade de massa ($m^2 s^{-2}$)
E_f	- Energia gasta na fotossíntese ($W m^{-2}$)
E_*	- Escala para pressão de vapor (Pa)
E	- Taxa de evaporação ($kg m^{-2} s^{-1}$)
\vec{F}	- Forças externas por unidade de massa ($m s^{-2}$)
g	- Aceleração local da gravidade ($m s^{-2}$)

G	- Fluxo de calor para o interior do solo ($W m^{-2}$)
H	- Fluxo turbulento de calor sensível ($W m^{-2}$)
H_o	- Fluxo turbulento de calor sensível à superfície ($W m^{-2}$)
H_j	- Tensor fluxo de calor
K	- Constante de von Karman
K_s	- Difusividade térmica do solo ($m^2 s^{-1}$)
K_M	- Coeficiente de difusividade turbulenta de momentum ($m^2 s^{-1}$)
K_H	- Coeficiente de difusividade turbulenta de calor sensível ($m^2 s^{-1}$)
K_W	- Coeficiente de difusividade turbulenta de vapor de água ($m^2 s^{-1}$)
K_T	- Condutividade térmica ($W m^{-1} °C^{-1}$)
ℓ	- Livre percurso médio (m)
L	- Calor latente de evaporação ($J kg^{-1}$)
L_c	- Parâmetro de comprimento de Monin e Obukhov (m)
L_E	- Fluxo turbulento de calor latente ($W m^{-2}$)
M_v	- Massa molecular do vapor de água ($kg mol^{-1}$)
n	- Número de superfícies
\bar{P}	- Pressão atmosférica média (Pa)
P'	- Flutuação da pressão atmosférica em torno da média (Pa)
P	- Pressão atmosférica (Pa)
\bar{q}	- Umidade específica (kg/kg)
\dot{q}	- Taxa de geração de energia por unidade de massa ($W m^{-3}$)
r	- Razão entre áreas
R	- Constante termodinâmica do ar seco ($J Kg^{-1} °C^{-1}$)

R_*	- Constante universal dos gases ($J \text{ mol}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
R_n	- Fluxo saldo de radiação ($W \text{ m}^{-2}$)
Re	- Número de Reynolds
Rf	- Número fluxo de Richardson
Ri	- Número de Richardson
R_j	- Termo radiativo da equação de energia
t	- Tempo (s)
T	- Temperatura ($^\circ\text{C}$)
\bar{T}	- Temperatura média ($^\circ\text{C}$)
T'	- Flutuação da temperatura em torno da média ($^\circ\text{C}$)
T_a	- Temperatura absoluta (K)
T_o	- Temperatura de referência ($^\circ\text{C}$)
T_δ	- Temperatura no topo da camada viscosa ($^\circ\text{C}$)
T_*	- Escala de temperatura ($^\circ\text{C}$)
u_*	- Velocidade de fricção (m s^{-1})
u_δ	- Velocidade do vento no topo da subcamada viscosa (m s^{-1})
u_s	- Velocidade de arrasto (m s^{-1})
u, v, w	- Componentes locais de velocidade médias do vento ao longo dos eixos coordenados (m s^{-1})
u', v', w'	- Flutuações locais da velocidade do vento em torno da média (m s^{-1})
u_1, u_2, u_3	- Velocidade do vento em três níveis de referência (m s^{-1})
u_i, u_j	- Componentes da velocidade do vento
\vec{v}	- Velocidade do vento na atmosfera livre (m s^{-1})

\vec{V}_H	- Velocidade horizontal do vento ($m s^{-1}$)
\vec{V}	- Velocidade do vento em três dimensões ($m s^{-1}$)
x, y, z	- Coordenadas cartesianas
x_i, x_j	- Coordenadas espaciais
z_g	- Altura do vento geostrófico (m)
z_o	- Parâmetro de rugosidade (m)
z_1, z_2, z_3	- Níveis de referência (m)
α	- Albedo
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	- Razão entre os coeficientes de difusividade turbulenta
γ	- Constante psicrométrica ($Pa \text{ } ^\circ C^{-1}$)
δ	- Espessura da camada viscosa (m)
ϵ	- Constante
ϵ_r	- Radiação refletida ($W m^{-2}$)
ϵ_i	- Radiação incidente ($W m^{-2}$)
θ	- Temperatura potencial ($^\circ C$)
θ'	- Flutuação da temperatura potencial ($^\circ C$)
λ	- Condutividade térmica do solo ($W m^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$)
μ	- Viscosidade dinâmica ($kg m^{-1} s^{-1}$)
ν	- Viscosidade cinemática ($m^2 s^{-1}$)
ρ	- Massa específica do ar ($kg m^{-3}$)
ρ'	- Flutuação da massa específica em torno da média ($kg m^{-3}$)
ρ_o	- Massa específica do estado de referência ($kg m^{-3}$)
ρ_c	- Massa específica da cultura ($kg m^{-3}$)
ρ_v	- Massa específica do vapor de água ($kg m^{-3}$)
τ	- Fluxo vertical de momentum ($kg m^{-1} s^{-2}$)
τ_o	- Fluxo vertical de momentum à superfície

	$(\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2})$
τ_z	- Fluxo vertical de momentum a uma altura z ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$)
ϕ_M, ϕ_H, ϕ_W	- Funções adimensionais de momentum, calor sensível e vapor de água
$\vec{\Omega}$	- Velocidade angular da Terra (rad s^{-1})
∇	- Operador vetorial ($\vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}$)
∇^2	- Operador Laplaceano ($\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$)
∇_H	- Operador vetorial ($\vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y}$)
\vec{n}	- Vetor unitário paralelo ao eixo de rotação da Terra
ϵ_{ijk}	- Tensor de 3. ^a ordem
δ_{ij}	- Tensor de 2. ^a ordem (Delta de Kronecker)
σ_{ij}	- Tensor tensão (Fluxo de momentum)
ξ	- Fluxo difusivo (molecular)
ψ	- Taxa de geração generalizada

EXTRATO

OLIVEIRA, MARIA DO CARMO FELIPE, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 1983. *Aspectos experimentais e teóricos de um estudo micrometeorológico sobre superfície gramada (Paspalum notatum L.)*. Professor Orientador: Rubens Leite Vianello. Professores Conselheiros: Gilberto Chohaku Sedyama, Dirceu Teixeira Coelho e Hélio Alves Vieira.

O presente trabalho teve por objetivo geral o estudo das características essenciais de uma pesquisa micrometeorológica, tanto sob o enfoque experimental quanto teórico.

Optou-se pelo uso de uma superfície gramada, sobre a qual instalou-se um conjunto de sensores e registradores micrometeorológicos, abrangendo os principais parâmetros comumente considerados em tais estudos, ou seja: temperatura dos bulbos seco e úmido e velocidade do vento, ambos para diversos níveis verticais; radiação solar, em diversas modalidades; temperatura do solo em diferentes profundidades; nebulosidade; direção do vento etc.

Os dados observados foram submetidos à formulação teórica, resultando na obtenção de inúmeros parâmetros de interesse prático e acadêmico, destacando-se: indicadores de es-

tabilidade atmosférica; velocidade friccional; funções adimensionais e fluxos de calor, massa e momentum; coeficientes de difusividade turbulenta; balanço de energia; razão de Bowen e albedo.

Todos os resultados foram apresentados em forma de tabelas e gráficos.

1. INTRODUÇÃO

Os processos relacionados com a vida animal e vegetal desenvolvem-se nos primeiros metros acima da superfície da Terra. É na sua camada superficial que a maior parte da energia solar é absorvida ou transmitida e o balanço de calor, que sustenta a vida na Terra, é mantido. O solo, ou a superfície das plantas, forma também a principal superfície para troca de radiação à noite. A Micrometeorologia fornece um detalhado conhecimento dos mecanismos envolvidos nos processos de pequena escala do ambiente atmosférico, particularmente os que ocorrem nos primeiros metros acima da superfície da Terra (15). A Micrometeorologia é uma ferramenta fundamental para uso em Meteorologia Agrícola, Biometeorologia, Engenharia Civil, Urbanismo, Estudos de Erosão, Evaporação e Evapotranspiração para fins de irrigação, estudos de dispersão de poluentes etc.; enfim, desempenha importante papel em muitos problemas nos quais a pesquisa física acha-se envolvida (18).

A atmosfera é formada por várias camadas. A que vai da superfície até 50 metros é denominada de Camada Limite Superficial (CLS), onde a característica fundamental do movi -

mento do ar é uma função tanto da natureza física da superfície quanto da grandeza e sinal do gradiente vertical de temperatura. Nessa camada, a turbulência se processa através de movimentos aleatórios e turbilhonares, com as variações do escoamento, em pequena escala, causadas pela rugosidade da superfície e pela variação da temperatura. A região entre 50 e 500 metros corresponde a uma zona de transição entre o fluxo geostrófico uniforme da atmosfera livre e o fluxo de natureza essencialmente turbulento próximo à superfície. Abaixo de 500 metros, a turbulência torna-se mais evidente, juntamente com outras manifestações do arraste friccional exercido pela superfície da Terra sobre o movimento do ar. A camada atmosférica entre a superfície e aproximadamente 500 metros é chamada de Camada Limite Planetária (CLP) ou Camada de Fricção. Como consequência dos efeitos de fricção, há um retardamento progressivo do vento do topo da camada para a superfície. Entre 500 e 50 metros, a velocidade do vento decresce ligeiramente com o decréscimo da altura; entretanto, entre 50 metros e a superfície, tal decréscimo se acentua, com a velocidade, tendendo para zero à superfície. Acima de 500 metros da superfície, o movimento horizontal do ar processa-se de maneira praticamente geostrófica, sem o retardamento produzido pelo efeito de atrito (12).

A CLS desempenha um papel importante na transferência de vapor de água, calor e momentum na atmosfera; esta é também a camada atmosférica em que praticamente toda a atividade humana e biológica - com suas consequências - toma lugar. Um conhecimento da estrutura da camada limite é básico para o entendimento da circulação atmosférica de larga escala, co

mo também para o entendimento da capacidade atmosférica na distribuição de poluentes. Isso justifica, amplamente, um estudo completo da camada limite, tanto teórico quanto experimental (2).

O estudo da camada limite surgiu em 1904, quando Prandtl tentou analisar o escoamento viscoso em torno de um corpo sólido. Ele mostrou que o escoamento poderia se dividir em duas partes: uma fina camada junto ao corpo, onde a fricção é importante; outra fora desta, onde o escoamento pode ser considerado potencial. Prandtl conseguiu ainda simplificar as equações de Navier - Stokes para a camada limite, através de análises de escala, sendo que a primeira solução exata dessas equações foi conseguida por Blasius em 1908 (1).

A CLS surge devido à rugosidade da superfície do solo, associada a diversos outros fatores, sendo desejável pesquisar uma maneira adequada de estimar as propriedades essenciais, que são os fluxos à superfície. Sabe-se, entretanto, que as pesquisas nessa camada são extremamente dificultadas pelo fato de predominar o escoamento turbulento (22).

Segundo SHAW (22), a turbulência é a maior fonte de movimento desordenado, mas é também o ingrediente essencial no estudo da camada limite, pois facilita a transferência de vapor de água, calor e momentum. De fato, o solo é aquecido pela radiação, ou quando o ar, relativamente frio, move-se sob uma superfície mais aquecida, a turbulência gerada pelo movimento convectivo térmico é um mecanismo muito eficiente na transferência vertical de calor, e este, ao ser introduzido no ar atmosférico, ativa a própria difusão.

Segundo BUSINGER (4), o principal objetivo das pesqui

sas micrometeorológicas é obter expressões manejáveis para os fluxos de calor, de vapor de água e de momentum; porém, devido à complexidade da turbulência, muitas pesquisas teóricas foram feitas, embora sem o completo sucesso; por conseguinte, o máximo conseguido foram as equações de similaridades.

Segundo KAIMAL (13), a dificuldade encontrada no estudo da camada superficial é devida ao transporte turbulento que requer não somente sensores com frequência suficiente nas respostas, mas também a capacidade para registrar e processar um enorme volume de dados.

Outro problema ainda não resolvido no estudo da camada limite da atmosfera é o relativo aos perfis de vento e temperatura em condições diabáticas. Até o momento, todos os estudos desenvolvidos, visando conhecer os perfis de vento, temperatura e umidade, partiram da teoria de similaridade de Monin e Obukhov, sugerindo que o campo médio do vento e da temperatura, da camada superficial média dependerão somente do fluxo de calor da superfície, da tensão de cisalhamento superficial, do parâmetro de flutuação e da altura acima do solo (1).

Grandes progressos têm sido feitos quanto ao entendimento e ao prognóstico da CLS por meio da análise dimensional. Essa técnica baseia-se na suposição simplificada de que a tensão de cisalhamento e o fluxo de calor são constantes com a altura, para toda a camada, quando a superfície é homogênea (1).

Devido à importância da camada limite, muitos autores estudaram-na detalhadamente, procurando descobrir, ou melhor

conhecer suas características. Uma revisão dos processos físicos na camada limite encontra-se em FLEAGLE (5), HALTINER (10), HESS (11), PLATE (18), PRIESTLEY (19), SUTTON (24), e TENNEKES e LUMLEY (26) e outros.

Esta pesquisa tem por objetivos principais:

- a) realizar medições de parâmetros micrometeorológicos básicos na atmosfera, sobre superfície gramada, na área de armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA);
- b) baseando-se nas medidas realizadas estudar fluxos e perfis;
- c) determinar balanços de energia, de massa e de momentum;
- d) representar em forma de tabelas e gráficos os resultados alcançados, seguindo-se de análise e discussão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Equações Básicas

O conjunto de equações que governa o escoamento de gases e líquidos consiste basicamente da Equação de Navier - Stokes (expressando a conservação de momentum), da Equação da Continuidade (princípio da conservação da massa), da Equação da Energia Termodinâmica (conservação da energia) e da Equação do Estado, respectivamente (16):

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} = - \frac{1}{\rho} \nabla P + \nu \nabla^2 \vec{V} + 2\vec{\Omega} \times \vec{V} + \vec{F} \quad \text{eq. 1}$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} = - \nabla \cdot \vec{V} \quad \text{eq. 2}$$

$$\frac{D\theta}{Dt} = \frac{1}{\rho C_p} \nabla \cdot (K_T \nabla \theta) + \frac{\dot{q}}{\rho C_p} \quad \text{eq. 3}$$

$$P = \rho R T_a \quad \text{eq. 4}$$

em que:

$\vec{V} = u_i \vec{i} + v_j \vec{j} + w_k \vec{k}$ é a velocidade do escoamento ($m s^{-1}$);

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ são os vetores unitários;

P , a pressão atmosférica (Pa);

ρ , a massa específica do ar ($kg m^{-3}$);

ν , a viscosidade cinemática ($m^2 s^{-1}$);

$\vec{\Omega}$, a velocidade angular da terra ($rad s^{-1}$);

θ , a temperatura potencial ($^{\circ}C$);

C_p , o calor específico à pressão constante ($J kg^{-1} ^{\circ}C^{-1}$);

K_T , a condutividade térmica ($W m^{-1} ^{\circ}C^{-1}$);

\dot{q} , a taxa de geração de calor por unidade de massa ($W m^{-3}$);

R , constante dos gases para o ar seco ($J kg^{-1} ^{\circ}C^{-1}$);

T_a , temperatura do ar (K);

\vec{F} , forças externas por unidade de massa ($m s^{-2}$).

Assume-se K_T , C_p e ν serem independentes da flutuação de temperatura ou densidade.

Segundo NIELS (16), para o estudo da convecção, próximo à superfície, usam-se as equações de Boussinesq, desde que as devidas aproximações sejam feitas. Em tais equações, o escoamento é considerado incompressível, mas com dependência na massa específica (temperatura), onde a variação é significativa somente quando multiplicado pela aceleração da gravidade. O conjunto de equações na qual se fundamenta o escoamento na camada limite em notação tensorial é:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{g T'}{T_0} \delta_{i3} + \frac{\nu \partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} - 2 \Omega \epsilon_{ijk} \omega_j u_k \quad \text{eq. 5}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad \text{eq. 6}$$

$$\frac{\partial T'}{\partial t} + u_j \frac{\partial T'}{\partial x_j} = \frac{K_T}{C_p \rho_0} \frac{\partial^2 T'}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{1}{C_p \rho_0} \frac{\partial R_j}{\partial x_j} \quad \text{eq. 7}$$

$$\frac{\rho'}{\rho_0} = - \frac{T'}{T_0} \quad \text{eq. 8}$$

em que o último termo do lado direito da equação 5 representa a aceleração de Coriolis e é o produto $2\Omega(\vec{\eta} \times \vec{V})$, onde $\vec{\eta}$ é o vetor unitário paralelo ao eixo de rotação, e Ω a frequência angular de rotação da Terra. O último termo da equação 7 é a taxa de troca da temperatura devido à divergência de energia radiante, o qual será desprezado, uma vez que o estudo se aplica à camada próxima à superfície. T' é a flutuação da temperatura em relação ao estado de referência à superfície, T_0 ; ρ' é a flutuação da massa específica em relação ao estado de referência à superfície e ρ_0 a massa específica do estado de referência.

O tipo e grau de estratificação térmica da atmosfera são de grande significado para o escoamento turbulento, uma vez que a turbulência ganha ou perde energia pela ação das forças de flutuação. Assim, para o exame das propriedades básicas do escoamento médio, introduz-se a convenção de Reynolds (16):

$$\begin{aligned} u_i &= \bar{u}_i + u'_i & , \bar{u}'_i &= 0 \\ T' &= \bar{T}' + \theta' & , \bar{\theta}' &= 0 \\ P &= \bar{P} + P' & , \bar{P}' &= 0 \end{aligned} \quad \text{eq. 9}$$

o que equivale a explicar o campo do escoamento a partir de um valor médio e de uma flutuação em torno dessa média. Assim, substituindo-se as expressões 9 em 5, 6 e 7, obtêm-se as equações para o escoamento médio (16).

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \frac{g \bar{T}'}{T_0} \delta_{i3} - 2\Omega \epsilon_{ijk} \bar{u}_j \bar{u}_k \quad \text{eq. 10}$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad \text{eq. 11}$$

$$\frac{\partial \bar{T}'}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}'}{\partial x_j} = - \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{H_j}{C_p \rho_0} \quad \text{eq. 12}$$

em que a barra pode ser interpretada como média temporal e o primo como a flutuação em torno da média; σ_{ij} e H_j são, respectivamente, tensor tensão (fluxo de momentum) e tensor fluxo de calor expressos por:

$$\sigma_{ij} = - \bar{p} \delta_{ij} + \nu \rho_0 \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho_0 \overline{u'_i u'_j}$$

$$H_j = C_p \rho_0 \left(- K_T \frac{\partial \bar{T}'}{\partial x_j} + \overline{\theta' u'_j} \right).$$

Usando-se as equações de Boussinesq 5, 6 e 7, e por meio de manipulações matemáticas, obter-se-á a equação da energia cinética turbulenta, em sua forma meteorológica (22):

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \bar{e}}{\partial t} = & \underbrace{- \overline{u'w'}}_{\text{II}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \underbrace{\frac{g}{T_0} \overline{w'\theta'}}_{\text{III}} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\underbrace{\overline{e'w'}}_{\text{IV}} + \underbrace{\frac{1}{\rho_0} \overline{p'w'}}_{\text{V}} - \underbrace{v \frac{\partial \bar{e}}{\partial z}}_{\text{VI}} \right) \\
 & + \underbrace{v \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \frac{\partial u'_i}{\partial x_j}}_{\text{VII}}
 \end{aligned}
 \tag{eq. 13}$$

$$\text{em que: } \bar{e} = \frac{\overline{u_i u_i^2}}{2}$$

e os diversos termos têm os seguintes significados:

- I - Taxa de variação de energia cinética média;
- II - Produção mecânica ou cisalhante de turbulência;
- III - Produção térmica ou flutuante de turbulência;
- IV - Transporte de energia cinética turbulenta pela própria turbulência;
- V - Transporte de energia cinética turbulenta por pressão;
- VI - Transporte molecular;
- VII - Dissipação viscosa de energia cinética.

2.2. Coeficientes de difusão de calor, massa e momentum

Segundo WEBB (28) e PRIESTLEY (19), usando-se a hipótese dos coeficientes de difusividade turbulenta e desprezando-se os termos de transferência molecular face aos turbulentos, obter-se-ão os fluxos instantâneos de momentum (τ), calor sensível (H) e calor latente (LE), em função da velocidade do vento (\bar{u}), da temperatura (\bar{T}) e da umidade específica

(\bar{q}), respectivamente:

$$\tau = \rho K_M \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad \text{eq. 14}$$

$$H = -\rho C_P K_H \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \quad \text{eq. 15}$$

$$LE = -\rho L K_W \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} \quad \text{eq. 16}$$

em que, K_M , K_H e K_W são os coeficientes de difusividade turbulenta de momentum, calor sensível e vapor de água, respectivamente. L é o calor latente de evaporação. As duas últimas expressões contêm o sinal negativo devido ao fato de a difusão de calor e vapor de água ocorrerem em direção contrária ao gradiente. A difusão de momentum também ocorre na direção contrária ao gradiente, mas convencionou-se trocar o sinal, tal que a tensão de cisalhamento torne-se uma quantidade positiva (19, 22).

Segundo a Hipótese de Reynolds, mencionada por ANDRÉ (1), no caso de existir similaridade nos transportes de momentum, calor sensível e vapor de água e, além disso, considerando-se a atmosfera próxima à neutralidade, os coeficientes de transporte são aproximadamente iguais. Entretanto, a razão K_H/K_M cresce em condições instáveis e decresce em condições estáveis.

A determinação da razão K_H/K_M , bem como K_H/K_W , é muito importante no estudo da camada limite atmosférica, e pode também ser feita por meio de estudos das relações fluxos-per

fis, utilizando-se de funções adimensionais (θ).

2.3. Parâmetros de estabilidade

a) Número Fluxo de Richardson - R_f

A fim de verificar a estabilidade atmosférica nas camadas inferiores, utiliza-se o "número fluxo de Richardson", definido a partir da equação da energia cinética turbulenta, 13, pela razão entre os termos de produção térmica e de produção mecânica (22).

$$R_f = \frac{g/T \overline{w'\theta'}}{\overline{u'w'} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}} \quad \text{eq. 17}$$

Considerando-se que o denominador é sempre uma quantidade negativa, exceto para situação anômala, verifica-se que:

sob condições de instabilidade, $\overline{w'\theta'} > 0$ e $R_f < 0$;

sob condições de neutralidade, $\overline{w'\theta'} = 0$ e $R_f = 0$;

sob condições de estabilidade, $\overline{w'\theta'} < 0$ e $R_f > 0$;

O valor de R_f nunca será maior que um valor crítico positivo. Experimentalmente, esse valor é aproximadamente 0,21, chamado número crítico de Richardson. Próximo desse valor o escoamento torna-se muito estável ou quase laminar (22).

Segundo SHAW (22), o número fluxo de Richardson foi primeiramente sugerido por L.F. Richardson no início de 1920. Tem esse nome porque expressa o parâmetro de estabilidade em

termos de fluxos de calor e momentum; porém, essas duas quantidades são difíceis de serem medidas diretamente em campo experimental. Por essa razão, a forma aproximada é comumente usada contendo o gradiente de temperatura potencial e de velocidade do vento, como segue.

b) Número de Richardson - Ri

De maneira análoga aos movimentos difusivos moleculares, pode-se expressar a turbulência por uma difusividade turbulenta (22):

$$\overline{w'\theta'} = - K_H \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z}$$

$$\overline{u'w'} = - K_M \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad \text{eq. 18}$$

Substituindo as expressões 18 em 17 segue:

$$Rf = \frac{K_H}{K_M} \frac{g(\partial\bar{\theta}/\partial z)}{T(\partial\bar{u}/\partial z)^2} = \frac{K_H}{K_M} Ri \quad \text{eq. 19}$$

Sendo Ri o número de Richardson, isto é:

$$Ri = \frac{g}{T} \frac{(\partial\bar{\theta}/\partial z)}{(\partial\bar{u}/\partial z)^2} \quad \text{eq. 20}$$

Considerando-se que a atmosfera turbulenta transporta calor e momentum com a mesma eficiência, isto é, $K_H \approx K_M$, teremos $Rf = Ri$.

Em condições de instabilidade, $\partial\bar{\theta}/\partial z < 0$ e $Ri < 0$
 Em condições de neutralidade, $\partial\bar{\theta}/\partial z = 0$ e $Ri = 0$
 Em condições de estabilidade, $\partial\bar{\theta}/\partial z > 0$ e $Ri > 0$ eq. 21

Segundo SHAW (22), o número de Richardson também aproxima-se de um valor máximo em torno de 0,21, quando a atmosfera torna-se muito estável. Não existe tal limite em condições instáveis, para ambos os parâmetros de estabilidade.

Esse novo parâmetro de estabilidade é frequentemente usado na literatura, devido à relativa simplificação das medidas exigidas para sua determinação (22).

c) Parâmetro de comprimento de Monin-Obukhov - L_c

Segundo SHAW (22), existem duas dificuldades com os números Rf e Ri como indicadores de estabilidade: a primeira é no caso estável, onde têm um valor assintótico 0,21, e o segundo é que são parâmetros que dependem da altura de observação.

O parâmetro de Monin-Obukhov, L_c , expressa a estabilidade, mostrando a variação desta diretamente com a altura (22).

Segundo PLATE (18), a fim de obter-se o comprimento de Monin-Obukhov, considerar-se-á a equação da energia cinética adimensionalizada, usando-se a escala de comprimento característica (Kz) e a velocidade característica derivada da tensão cisalhante, considerada constante na camada limite, ou seja:

$$\frac{Kz}{u_*^3} \frac{\partial \bar{e}}{\partial t} = \phi_M + \frac{Kz}{u_*^3} \frac{g}{T} \overline{w'\theta'} - \frac{Kz}{u_*^3} \frac{\partial}{\partial z} \left[\overline{e'w'} - \frac{\overline{P'w'}}{\rho} - v \frac{\partial \bar{e}}{\partial z} \right] - \frac{Kz}{u_*^3} \left[v \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \right] \quad \text{eq. 22}$$

em que $\phi_M = \frac{Kz}{u_*^3} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$ é a função adimensional de momentum; K é a constante de von Karman; z é a distância da superfície até um ponto qualquer da atmosfera e u_* é a velocidade de fricção, definida por:

$$u_* = \left(\frac{\tau}{\rho} \right)^{1/2} \quad \text{eq. 23}$$

Segundo SHAW (22), o segundo termo da direita da equação 22, na forma

$$\frac{Kz}{u_*^3} \frac{g}{T} \overline{w'\theta'} \quad \text{eq. 24}$$

para determinado perfil, deve ser considerado independente da altura, e, além disso, deve ter unidade inversa de comprimento, sendo assim definido como escala de comprimento de Monin-Obukhov (17):

$$L_c = - \frac{u_*^3 T}{K g \overline{w'\theta'}} \quad \text{eq. 25}$$

em que g/T é o termo devido às forças de flutuação. A convenção de sinal adotada é que o fluxo de calor sensível é positivo quando dirigido para cima; portanto, o sinal negativo deve ser incluído no parâmetro de Monin-Obukhov para ser consistente com os demais parâmetros de estabilidade; então,

Sob condições de instabilidade, $L_c < 0$

Sob condições de neutralidade, $L_c \rightarrow \infty$

Sob condições de estabilidade, $L_c > 0$

É conveniente lembrar que o parâmetro z/L_c é relacionado com R_f e R_i por:

$$R_f = \frac{K_H}{K_M} \quad R_i = \frac{1}{\phi_M} \frac{z}{L_c} \quad \text{eq. 26}$$

Segundo KAO (14), a velocidade de fricção é um parâmetro cujo valor influencia todas as determinações da camada limite, podendo ser medida através de placas de arrasto ou estimada por algum método. Esse mesmo autor propôs um método que se tem revelado bastante preciso, ou seja:

$$u_* = K \frac{(u_2 - u_1)(z_3 - z_2) - (u_3 - u_2)(z_2 - z_1)}{(z_3 - z_2) \ln(z_2/z_1) - (z_2 - z_1) \ln(z_3/z_2)} \quad \text{eq. 27}$$

em que, u_1 , u_2 e u_3 são as velocidades nos níveis z_1 , z_2 e z_3 , respectivamente, e K é a constante de von Karman.

2.4. Funções adimensionais - parametrização

Segundo SHAW (22), de acordo com a teoria da similaridade

dade, se as condições que envolvem dois experimentos são idênticas, então os resultados devem ser similares.

A teoria de Monin-Obukhov sugere que as médias dos campos de velocidade e temperatura na CLS dependem dos seguintes parâmetros (16):

$$H = -\rho C_p \overline{w'\theta'} \quad , \quad \text{fluxo de calor sensível;}$$

$$\tau = -\rho \overline{u'w'} \quad , \quad \text{fluxo cisalhante;}$$

$$g/T \quad , \quad \text{parâmetro de flutuação;}$$

$$z \quad , \quad \text{altura acima do nível da superfície.}$$

A partir desses parâmetros, define-se um conjunto de seis escalas não necessariamente independentes entre si (22), ou seja:

$$\text{Velocidade: } u_* = \left(\frac{\tau}{\rho}\right)^{1/2} \quad ; \quad u_f = \left(\frac{z g \overline{w'\theta'}}{T}\right)^{1/3} \quad \text{eq. 28}$$

$$\text{Temperatura: } T_* = -\frac{\overline{w'\theta'}}{u_*} \quad ; \quad T_f = \left(\frac{T \overline{w'\theta'}^2}{g z}\right)^{1/3} \quad \text{eq. 29}$$

$$\text{Comprimento: } z \quad ; \quad L_c = -\frac{u_*^3 T}{K g \overline{w'\theta'}} \quad \text{eq. 30}$$

Mostra-se facilmente que:

$$\frac{u_f}{u_*} = -\frac{T_*}{T_f} = \left(-\frac{1}{K} \frac{z}{L_c}\right)^{1/3} \quad \text{eq. 31}$$

E as quatro propriedades H , τ , g/T e z , que governam a CLS, produzem um total de quatro escalas independentes de velocidade, temperatura e comprimento. Por facilidade, é costume usar uma escala de velocidade, u_* , uma escala de temperatura, T_* , e duas escalas de comprimento, z e L_c . Desde que u_* é a única escala que envolve tempo e T_* é única que envolve temperatura, só se pode formar uma única razão adimensional com as quatro escalas, que é a quantidade z/L_c . A análise dimensional então prediz que as propriedades do escoamento, após a adimensionalização com essas escalas, são funções somente de z/L_c (22).

As propriedades de interesse são o gradiente de velocidade média, de temperatura média e de umidade média, e essas podem ser expressas, na forma adimensional, do seguinte modo:

$$\phi_M = \frac{K z}{u_*} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad \text{eq. 32}$$

$$\phi_H = \frac{K z}{T_*} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \quad \text{eq. 33}$$

$$\phi_W = \frac{K z}{E_*} \frac{\partial \bar{e}}{\partial z} \quad \text{3q. 34}$$

em que ϕ_M , ϕ_H e ϕ_W são as funções adimensionais de momentum, de calor sensível e de vapor de água, respectivamente. T_* e E_* são escalas de temperatura e pressão de vapor (22).

Uma vez definidos os fluxos adimensionais e a razão de altura, procurar-se-á a correlação entre eles que melhor

traduza a influência da estabilidade. A razão entre duas propriedades adimensionais deve obedecer à similaridade de Monin-Obukhov (22). Assim:

$$\alpha_1 = \frac{\phi_M}{\phi_H} = \frac{T_* \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}}{u_* \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z}} \quad \text{eq. 35}$$

e, por definição:

$$u_*^2 = \overline{u'w'} \quad \text{eq. 36}$$

$$T_* = \frac{\overline{w'\theta'}}{u_*} \quad \text{eq. 37}$$

$$E_* = - \frac{\overline{w'e'}}{u_*} \quad \text{eq. 38}$$

então:

$$\alpha_1 = \frac{\phi_M}{\phi_H} = \frac{\overline{w'\theta'} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}}{\overline{u'w'} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z}} \quad \text{eq. 39}$$

Se os coeficientes de difusividade turbulentos K_H e K_M são definidos pelas equações

$$\overline{w'\theta'} = - K_H \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \quad \text{eq. 40}$$

$$\overline{u'w'} = - K_M \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad \text{eq. 41}$$

e substituindo estas em 39, então:

$$\alpha_1 = \frac{\phi_M}{\phi_H} = \frac{K_H}{K_M} \quad \text{eq. 42}$$

$$\alpha_2 = \frac{\phi_W}{\phi_H} = \frac{K_H}{K_W} \quad \text{eq. 43}$$

$$\alpha_3 = \frac{\phi_M}{\phi_W} = \frac{K_W}{K_M} \quad \text{eq. 44}$$

Segundo BUSINGER *et alii* (3), as funções adimensionais de momentum, calor sensível e vapor de água, para condições instáveis, podem ser estimadas por:

$$\phi = (a - b\zeta)^m \quad \zeta < 0$$

onde $\zeta = z/L$, a e b são coeficientes que assumem vários valores e m é um expoente que, do mesmo modo, pode assumir valores diferentes, segundo cada pesquisador. Como ainda há muita controvérsia, são necessários novos estudos para chegar a valores que conduzam à função universal.

Para condições estáveis, entretanto, o ajuste foi feito por vários pesquisadores e tem apresentado a forma linear.

$$\phi = a + b(z/L)$$

A escassez de perfis estáveis para testar melhor as funções tem-se revelado um grande problema para os pesquisadores.

2.5. Equação do balanço de energia

Os termos a serem considerados na equação do balanço de energia são os seguintes:

a) Fluxo saldo de radiação, R_n :

É o fluxo de energia radiante efetivamente disponível. Representa o balanço total de radiação à superfície do solo, ou seja, expressa a soma do balanço de radiação de ondas curtas com o balanço de radiação de ondas longas. O termo R_n pode ser estimado por equações empíricas, ou determinado por medições diretas.

b) Fluxo de calor no solo, G :

Segundo SELLERS (23), a taxa na qual o calor flui através de um nível do solo, numa profundidade z abaixo da superfície, é diretamente proporcional ao gradiente vertical de temperatura existente naquele nível. Assim, a profundidade z_1 ,

$$G_1 = - \lambda_1 \left(\frac{\Delta T}{\Delta z} \right)_1 \quad \text{eq. 45}$$

em que G_1 é o fluxo de calor no nível 1, positivo para baixo, quando a temperatura decresce com a profundidade. λ_1 é a constante de proporcionalidade, chamada de condutividade térmica, sendo uma função da composição, teor de umidade e temperatura do solo. ΔT é a diferença da temperatura entre os limites superior e inferior da camada e Δz a espessura da mesma.

Usando a expressão 45 para outro nível z_2 e subtraindo-se segue-se:

$$\Delta G = G_2 - G_1 = \lambda_1 \left(\frac{\Delta T}{\Delta z} \right)_1 - \lambda_2 \left(\frac{\Delta T}{\Delta z} \right)_2 \quad \text{eq. 46}$$

em que ΔG representa o fluxo líquido de calor na camada entre z_2 e z_1 . Esse fluxo pode ser representado por (23):

$$\Delta G = -C \frac{\Delta T}{\Delta t} \Delta z \quad \text{eq. 47}$$

em que C representa a capacidade calorífica do solo.

Para uma camada de solo infinitamente fina, podem-se representar as equações 46 e 47 na forma diferencial (23):

$$\frac{\partial G}{\partial z} = - \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -C \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{eq. 48}$$

Além disso, se o solo é homogêneo, de modo que a condutividade de térmica não varie com a profundidade, então:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{C} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = K_s \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad \text{eq. 49}$$

em que $K_s = \lambda/C$ é definido como a difusividade térmica. Essa expressão é a equação da condução de calor unidimensional e relaciona o aquecimento ou o esfriamento de uma coluna do solo com o perfil da temperatura (23)

Segundo SELLERS (23), integrando a equação 49, para o caso permanente, obtém-se:

$$\frac{\partial T}{\partial z} = \text{constante} \quad \text{eq. 50}$$

Essa relação é consistente com a Lei de Fick, ou seja;

$$G = - \lambda \nabla T \quad \text{eq. 51}$$

que, quando aplicada apenas à direção vertical, torna-se:

$$G = - \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \quad \text{eq. 52}$$

Assim, como na realidade o solo não é um meio homogêneo, só se pode aplicar a equação 52 se as variações locais causadas pela estrutura granular do solo e outras heterogeneidades forem desprezadas (23).

c) Fluxo de calor sensível, (H), e fluxo de calor latente, (LE):

Para introduzir os termos de fluxo de calor sensível e de calor latente torna-se necessário evocar a equação geral do transporte (1), isto é:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \nabla \cdot (\xi \vec{V}) + \nabla \cdot \vec{\xi} - \psi = 0 \quad \text{eq. 53}$$

onde ξ é uma propriedade escalar qualquer tal como temperatura, umidade específica, calor sensível, calor latente, etc.; $\nabla \cdot (\xi \vec{V})$ representa a divergência, $\nabla \cdot \vec{\xi}$ a difusão e ψ a geração.

Desprezando-se os dois últimos termos da esquerda, respectivamente, difusão e geração, tem-se:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \nabla \cdot (\xi \vec{V}) = 0 \quad \text{eq. 54}$$

Integrando-se a equação 54, temos:

$$\int_0^z \frac{\partial \xi}{\partial t} dz + \int_0^z \nabla_H \cdot (\vec{V}_H \xi) dz + \int_0^z \frac{\partial (\xi w)}{\partial z} dz = 0 \quad \text{eq. 55}$$

Segundo ANDRÉ (1), para o caso do calor sensível, em que $\xi = \rho C_P T$, tem-se:

$$\int_0^z \frac{\partial}{\partial t} (\rho C_P T) dz + \int_0^z \nabla_H \cdot (\vec{V}_H \rho C_P T) dz + \int_0^z \frac{\partial}{\partial z} (\rho C_P T w) dz = 0 \quad \text{eq. 56}$$

Considerando-se ρ e C_P constantes e introduzindo o fluxo vertical, $H = \rho C_P T w$, para toda a camada, segue (1):

$$\rho C_P \int_0^z \frac{\partial T}{\partial t} dz + \rho C_P \int_0^z \nabla_H \cdot (\vec{V}_H T) dz + H = 0 \quad \text{eq. 57}$$

Para o caso do calor latente, em que $\xi = \rho L q$, e considerando-se relações termodinâmicas e a equação de estado, após integração, resulta (1):

$$\frac{L \epsilon}{R} \int_0^z \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{e}{T} \right) dz + \frac{L \epsilon}{R} \int_0^z \nabla_H \cdot \left(\vec{V}_H \frac{e}{T} \right) dz + LE = 0 \quad \text{eq. 58}$$

em que:

L é o calor latente de evaporação ($J \text{ kg}^{-1}$);

ϵ é igual a 0,622;

R é a constante dos gases ($J \text{ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

- e é a pressão de vapor de água do ar (Pa);
 T é a temperatura do ar (K);
 E é a taxa de evaporação ($\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$); e
 \vec{V}_H é a velocidade horizontal do vento (m s^{-1}).

d) Termo de armazenamento e energia utilizada na fotossíntese

Ainda segundo ANDRÉ (1), o calor sensível armazenado devido à cultura = $\rho_c C_c T$, em que:

- ρ_c = massa específica da cultura;
 C_c = calor específico da cultura;
 T = temperatura do ar = temperatura da cultura.

Considerando-se C_c e ρ_c constantes, tem-se:

$$\text{Calor sensível armazenado na camada} = \rho_c C_c \int_0^z \frac{\partial T}{\partial t} dz \quad \text{eq. 59}$$

Outro termo, a ser acrescentado, é o referente à energia utilizada no processo fotossintético, E_f .

Conseqüentemente, a Equação geral do Balanço de Energia resulta da soma de todos os termos anteriormente discutidos, ou seja:

$$G + \rho C_p \int_0^z \frac{\partial T}{\partial t} dz + \rho C_p \int_0^z \vec{V}_H \cdot (\vec{V}_H T) dz + H + \frac{L \epsilon}{R} \int_0^z \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{e}{T} \right) dz +$$

$$+ \frac{L \epsilon}{R} \int_0^z \nabla_H \cdot \left(\vec{V}_H \frac{e}{T} \right) dz + LE + R_n + E_f + \rho_c C_c \int_0^z \frac{\partial T}{\partial t} dz = 0$$

eq. 60

Reordenando, resulta:

$$R_n + G + \rho C_p \int_0^z \nabla_H \cdot (\vec{V}_H T) dz + \frac{L \epsilon}{R} \int_0^z \nabla_H \cdot \left(\vec{V}_H \frac{e}{T} \right) dz + \rho C_p \int_0^z \frac{\partial T}{\partial t} dz +$$

I
II
III
IV
V

$$+ \frac{L \epsilon}{R} \int_0^z \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{e}{T} \right) dz + \rho_c C_c \int_0^z \frac{\partial T}{\partial t} dz + H + LE + E_f = 0$$

VI
VII
VIII
IX
X

eq. 61

em que:

- I - fluxo saldo de radiação;
- II - fluxo de calor para o interior do solo;
- III- advecção de calor sensível;
- IV - advecção de calor latente;
- V - variação no armazenamento devido ao calor sensível do ar;
- VI - variação no armazenamento devido ao calor latente;
- VII- variação no armazenamento devido ao calor sensível da cultura;

- VIII- fluxo vertical de calor sensível para a atmosfera;
 IX - fluxo vertical de calor latente para a atmosfera;
 X - energia fixada em síntese biológica.

Para melhor entendimento do balanço de energia, e melhor visualização do significado físico de seus diversos termos, a Figura 1 representa um volume de controle indicando os mecanismos físicos envolvidos.

Os termos de advecção, bem como os de armazenamento e a energia consumida no processo de fotossíntese poderão ser desprezados em relação ao saldo de radiação (1). Portanto, desde que se tomem cuidados para minimizar esses efeitos e convencionando-se que os fluxos que chegam à superfície são positivos e os que saem são negativos, a equação 61 pode ser expressa por:

$$R_n = G + H + LE \quad \text{eq. 62}$$

que é chamada "Equação do Balanço de Energia".

Conhecidos os termos do balanço de energia, podem-se determinar alguns coeficientes, como:

1) Razão de Bowen, β :

A razão de Bowen é definida como o quociente entre o fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor latente (LE), ou seja:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{\rho C_p K_H \Delta T / \Delta z}{\rho L K_W \Delta q / \Delta z} \quad \text{eq. 63}$$

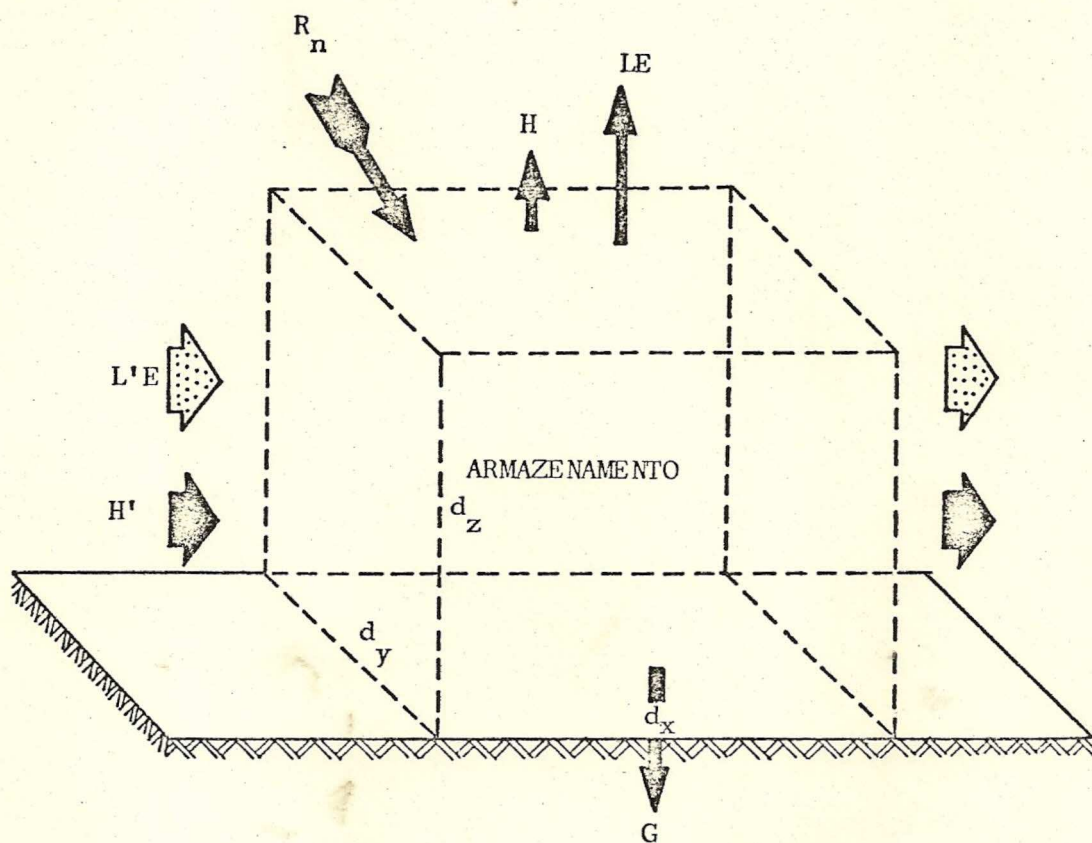




FIGURA 1. Balanço de energia no volume de controle, TANNER (25).

-  Advecção de calor latente - $L'E$
-  Advecção de calor sensível - H'

- Armazenamento:
- Variação no armazenamento devido ao calor sensível do ar
 - Variação no armazenamento devido ao calor latente
 - Variação no armazenamento devido ao calor sensível da cultura
 - energia fixada em síntese biológica

A distribuição da energia, nas formas de calor sensível e latente, tem efeito sobre o clima da camada limite.

A razão de Bowen é altamente variável, e algumas vezes negativa (12).

Fazendo a igualdade entre os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e calor latente, segue:

$$\beta = \frac{C_p}{L} \frac{\Delta T}{\Delta q} \quad \text{eq. 64}$$

ou

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad \text{eq. 65}$$

em que γ é a constante psicrométrica ($\text{Pa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

2) Albedo, α :

O albedo da superfície gramada é determinado pela relação entre a radiação refletida e radiação solar incidente, num dado instante, ou seja:

$$\alpha = \frac{\epsilon_r}{\epsilon_i} \quad \text{eq. 66}$$

em que ϵ_r é a radiação refletida pela superfície e ϵ_i a radiação solar incidente.

Este coeficiente mostra o poder de reflexão da superfície em relação às ondas curtas, e depende das características da superfície em estudo e da elevação do sol (12).

3) Parametrização de Halstead e Clayton:

Segundo HALSTEAD e CLAYTON (9), a taxa de transporte molecular dentro de um fluido, por unidade do tempo e área, numa direção perpendicular à velocidade média do fluido, é proporcional ao gradiente vertical de velocidade, ou seja:

$$\tau_z = \mu \frac{du}{dz} \quad \text{eq. 67}$$

em que μ é a viscosidade dinâmica do fluido. De acordo com SUTTON (24),

$$\mu = \frac{1}{3} \rho \bar{c} \ell \quad \text{eq. 68}$$

em que \bar{c} é a raiz quadrada da velocidade média quadrática das moléculas que compõem o fluido, ρ a massa específica e ℓ o livre percurso médio. Se a escala caracterizada pelo produto, uz , onde z é a distância da superfície limite, excede a escala molecular do movimento, $\bar{c} \ell$, o escoamento deixa de ser laminar e torna-se turbulento. Nessas condições a equação 67 é expressa por:

$$\tau_z = K \frac{du}{dz} \quad \text{eq. 69}$$

em que K é igual a μ , quando $z = \delta$, onde δ é a espessura da camada viscosa.

Considerando-se o escoamento de um fluido sobre uma superfície lisa e assumindo-se "n" superfícies hipotéticas ,

inseridas nele, acima da superfície limite, em que cada uma dessas superfícies distancia-se da outra imediata, de " δ " unidades, em média, de modo que a primeira superfície coincida com o topo da sub-camada laminar, o efeito de turbulência pode ser interpretado como um fator de distorção da área de uma dada superfície, Figura 2 . Então, a área da superfície j será maior que a área da superfície $j - 1$, e menor que a superfície $j + 1$.

A primeira superfície tem a mesma área da superfície limite; assim, abaixo de $z = \delta$ o escoamento é laminar. Acima de $z = \delta$ a superfície torna-se distorcida devido à variação da superfície precedente, somando-se a esta qualquer distorção inerente à própria superfície. Sendo r a razão entre duas áreas adjacentes quaisquer, tem-se:

$$r = \frac{A_n}{A_{n-1}} \quad \text{eq. 70}$$

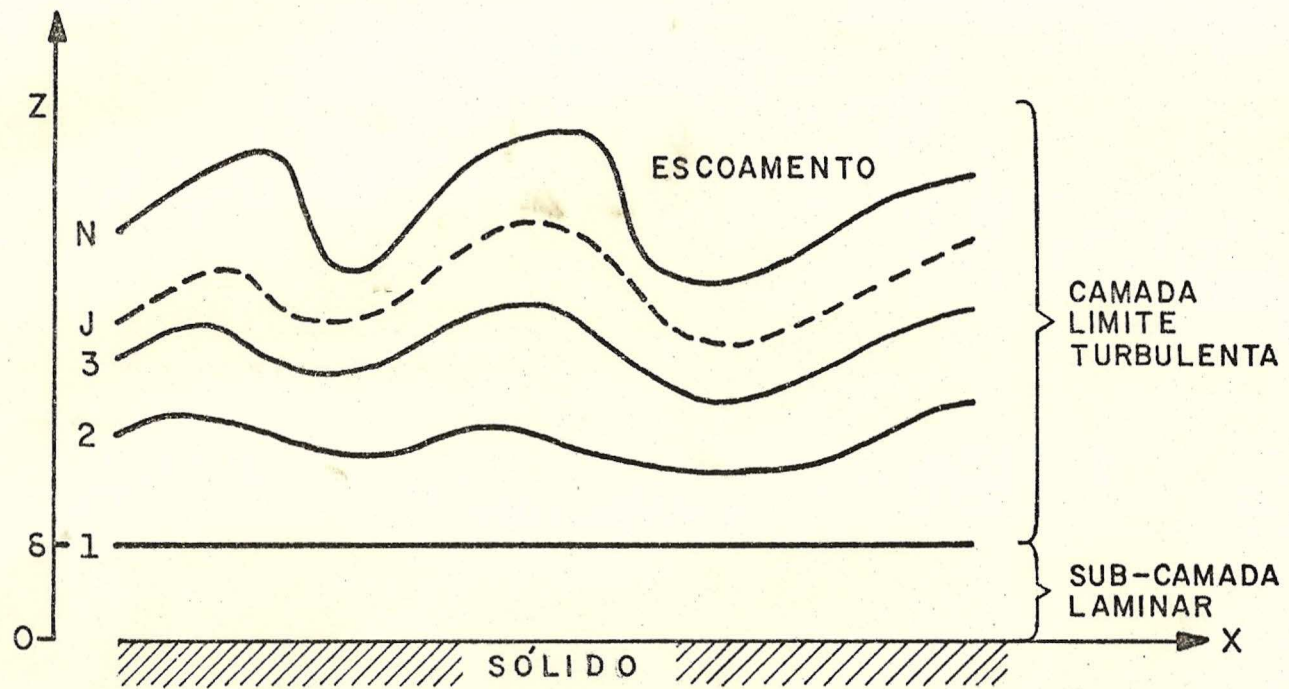
Então, a equação 67 torna-se:

$$\tau_z = \mu \frac{A_n}{A_0} \frac{du}{dz} \quad \text{eq. 71}$$

em que a área da n -ésima camada, à altura z , é:

$$A_n = A_1 r^n \quad \text{eq. 72}$$

e desde que $A_1 = A_0$, tem-se:



TRAJETÓRIA DISTORCIDA

FIGURA 2. Escoamento com trajetória distorcida, HALSTEAD (8).

$$\frac{A_n}{A_o} = r \frac{z}{\delta} \quad \text{eq. 73}$$

Substituindo-se a equação 73 na equação 71, tem-se:

$$\tau_z = \mu r \frac{z}{\delta} \frac{du}{dz} \quad \text{eq. 74}$$

que se aplica a escoamentos turbulentos. A tensão de cisalhamento decresce com a altura, sendo máximo em $z = 0$. Para a atmosfera, τ_z desaparece em $z = z_g$ onde z_g é o nível em que o vento passa a ser geostrófico. Assumindo-se a variação linear da tensão de cisalhamento com a altura, tem-se:

$$\tau_z = \tau_o (1 - z/z_g) \quad \text{eq. 75}$$

em que τ_o é a tensão de cisalhamento no topo da camada laminar, a qual, por considerações práticas, será igual à tensão de cisalhamento à superfície. Assim, das equações 74, 68 e 75, resulta:

$$\tau_o = (1 - z/z_g) = \rho \bar{C} (\ell r z/3\delta) du/dz \quad \text{eq. 76}$$

Na realidade ρ , \bar{C} e ℓ variam também com a altura, mas, para as camadas mais baixas da atmosfera, essa variação é relativamente pequena. Integrando-se a equação 76 de $z = 0$ a $z = \delta$, e fazendo $\tau_z = \tau_o$, tem-se:

$$u_\delta = \frac{3\tau_o \delta}{\rho \bar{C} \ell} \frac{Re v}{\delta} \quad \text{eq. 77}$$

em que Re é o número de Reynolds e ν a viscosidade cinemática, ($\nu = \mu/\rho$), o qual substituído em 77, tem-se:

$$Re = \frac{3\delta u_\delta}{\bar{c} \ell} \quad \text{eq. 78}$$

Integrando-se a equação 76 de δ a z , e como z/z_g é muito pequeno quando comparado com o $\ln(z/\delta)$, obtém-se:

$$u_z = u_\delta [1 + \ln(z/\delta)/r] \quad \text{eq. 79}$$

Usando dados de SUTTON (24) para o escoamento próximo à superfície lisa, HALSTEAD e CLAYTON (9) obtiveram o valor de $r = 4,65$, então:

$$u_z = u_\delta [1 + \ln(z/\delta)/4,65], \quad z > \delta \quad \text{eq. 80}$$

Dentro da sub-camada viscosa $z \leq \delta$, u é dado pela equação 77 e usando $\mu = 1,8 \times 10^{-4}$ g/cm.s, $\rho = 1,2 \times 10^{-3}$ g/cm³, e $Re = 135$, tem-se:

$$u_\delta = 20,3/\delta \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

A aplicação da equação 80 se limita a pequenas elevações e superfícies lisas. Enquanto um tratamento teórico satisfatório do efeito da rugosidade da superfície está ainda para ser desenvolvido, é razoável pensar em elementos rugosos como sumidouros de momentum que, no total, são equivalentes a uma velocidade de arrasto. Assim, para o escoamento sobre uma su

perfície rugosa, a equação 80 pode ser modificada para:

$$u_z = u_\delta \left[1 + \ln(z/\delta)/4,65 \right] - u_s \quad \text{eq. 81}$$

em que u_s é a velocidade de arrasto, correspondente ao transporte de momentum para os elementos rugosos à superfície, desde que não haja modificações nos elementos rugosos pelo escoamento. Como é difícil medir u_s , torna-se necessário aplicar a equação 81, para dois níveis e, assim, eliminar essa variável. Considerando-se os níveis z e $2z$, tem-se para o transporte de momentum:

$$u_{2z} - u_z = (u_\delta \ln 2)/r \quad \text{eq. 82}$$

em que u_z é a velocidade no nível z e u_{2z} é a velocidade no nível $2z$. Substituindo-se a equação 77 em 82 e considerando-se $Re = 135$, tem-se:

$$\tau_z = \frac{1}{3} \rho (u_{2z} - u_z)^2 \quad \text{eq. 83}$$

Essa equação será usada no cálculo dos fluxos de calor sensível e vapor de água.

a) Fluxo de calor sensível

O transporte vertical de calor sensível, H , por unidade de tempo e área, dentro de um fluido, é proporcional à densidade do meio, ao calor específico e ao gradiente de temperatura. Para escoamento não turbulento,

$$H = \rho C_p K_T \frac{dT}{dz} \quad \text{eq. 84}$$

em que K_T é a condutividade térmica. Entretanto, se o ar está em movimento turbulento, há condições favoráveis ao transporte de calor; identicamente ao transporte de momentum. Assim, a equação 84 pode ser generalizada, possibilitando o crescimento da área de contato entre camadas distorcidas pela turbulência. Essa equação pode ser reescrita como no caso do fluxo de momentum:

$$H = \rho C_p K_T \frac{rz}{\delta} \frac{dT}{dz} \quad \text{eq. 85}$$

Restringindo-se a aplicação da equação 85 a pequenos valores de z e considerando-se K_T , ρ e C_p como constantes, o que significa desprezar quaisquer efeitos devidos às forças de flutuação e considerando-se que a variação de H é linear com a altura, como no caso de fluxo de momentum, segue-se que:

$$H = H_0 (1 - z/z_g) \quad \text{eq. 86}$$

Integrando-se agora a equação 84 de $z = 0$ a $z = \delta$ e considerando-se a equação 86, tem-se:

$$T_\delta = \frac{H_0 \delta}{\rho C_p K_T} \quad \text{eq. 87}$$

Usando-se o mesmo raciocínio aplicado ao caso de perfis de vento em relação às variações de H com a altura, rugosidade

da superfície e flutuação térmica, obtêm-se as variações de temperatura para níveis particulares z e $2z$:

$$T_{2z} - T_z = T_\delta (\ln 2)/r \quad \text{eq. 88}$$

Combinando-se as equações 77, 82, 87 e 88, obtêm-se finalmente:

$$H = \rho C_P \frac{r^2}{Re} \frac{K_T}{v} \frac{(T_{2z} - T_z)(u_{2z} - u_z)}{(\ln 2)^2} \quad \text{eq. 89}$$

Essa expressão é válida para estimativa do fluxo de calor sensível.

b) Fluxo de vapor de água

A evaporação de um fluido é a medida da diferença de taxas de troca de moléculas do fluido entre a superfície e o meio ambiente. No caso de as moléculas que escapam de uma superfície do fluido serem influenciadas somente por sua concentração e pelas propriedades moleculares do meio, a evaporação é dada por:

$$E = \frac{D \rho_v}{dz} \quad \text{eq. 90}$$

em que D é o coeficiente de difusão molecular do vapor de água no ar e ρ_v é a massa específica do vapor. Se o escoamento é turbulento, a equação 90 necessita ser adaptada para esse tipo de escoamento. Como nos demais casos tratados, há ne

cessidade de generalizar o escoamento laminar para turbulento, introduzindo um fator que possibilite o crescimento da \bar{a} rea de contato entre as camadas distorcidas pela turbulência. A área distorcida é dada pela equação 73, de maneira que a equação 90 se torna:

$$E = \frac{D}{\delta} r_z \frac{d\rho_v}{dz} \quad \text{eq. 91}$$

Usando-se o mesmo raciocínio aplicado a perfis de vento e temperatura, pode-se escrever:

$$E = \frac{1}{3} \frac{D}{v} (u_{2z} - u_z) [(\rho_v)_{2z} - (\rho_v)_z] \quad \text{eq. 92}$$

Para calcular o fluxo de calor latente, a equação acima precisa ser multiplicada pelo calor latente de evaporação, L , para uma temperatura particular. Expressando a massa específica do vapor de água em função da pressão de vapor e temperatura do ar, como se segue:

$$\rho_v = \frac{e M_v}{R_* T_a} \quad \text{eq. 93}$$

em que M_v é a massa molecular do vapor de água, "e" é a pressão de vapor, R_* é a constante universal dos gases e T_a é a temperatura do ar, expressa em graus kelvin.

$$LE = \frac{L}{3} \frac{D}{v} \frac{M_v}{R_* T_a} (u_{2z} - u_z) (e_{2z} - e_z) \quad \text{eq. 94}$$

3. MATERIAL E MÉTODO

O material e a metodologia, que foram utilizados no desenvolvimento desta pesquisa, serão descritos em sub-itens, como se segue:

3.1. Localização da área

O presente trabalho foi realizado em Viçosa-MG, latitude $20^{\circ}45'S$, longitude $42^{\circ}51'W$ e altitude 651,0 m, no Campus Universitário, próximo ao laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. As medições realizaram-se sobre superfície com grama Batatais (*Paspalum notatum* L.). Não se trata de uma localização ideal, para fins de estudos micrometeorológicos, à luz da teoria da similaridade e das formulações apresentadas, por ser um local confinado entre um reservatório de água, estradas asfaltadas, silos de armazenamento e altos prédios etc., Figura 3, que concorrem para uma acentuada caracterização do microclima local; mesmo assim, as observações foram aí realizadas

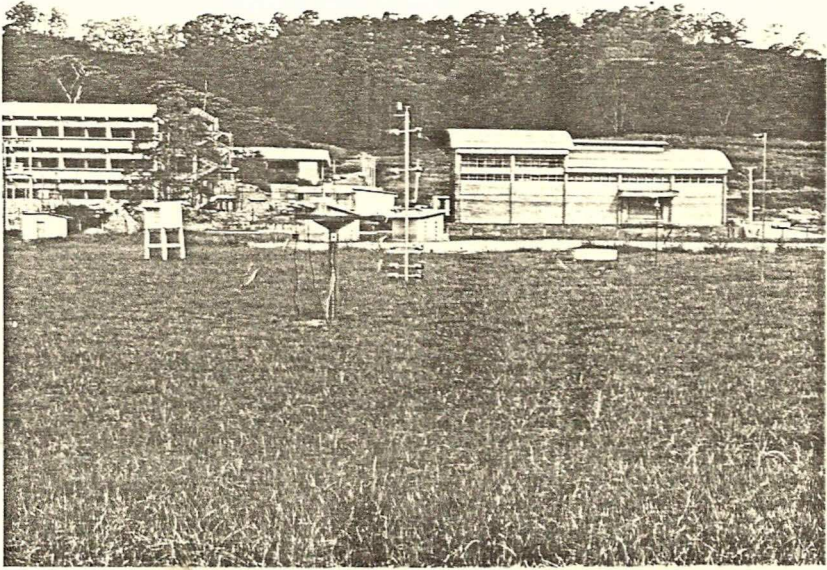


FIGURA 3 - Vista geral da área de observação e disposição dos instrumentos.

por ser a área mais utilizada em experimentos e pesquisas de secagem e armazenamento de grãos e, este trabalho, visa, dentre outros objetivos, fornecer subsídios para aquelas atividades.

3.2. Instalação dos instrumentos

Com relação à área utilizada, os instrumentos foram localizados da seguinte maneira:

3.2.1. Radiação

Para obtenção do saldo de radiação, da radiação refletida e da radiação incidente, foi construído um círculo de madeira de 0,3 m de diâmetro, acoplado a um suporte, por intermédio de rolamento, que lhe permitiu girar em torno do seu centro, de modo que o saldo-radiômetro e os piranômetros situaram-se a 1,5 m de altura, em relação à superfície do solo, Figura 4 .

Para medir o saldo de radiação, utilizou-se um saldo-radiômetro, modelo T CN- 188-01, cuja constante de calibração é de $0,448 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}/\text{m V}$. Por não contar com um milivoltímetro disponível, durante as observações, a saída do saldo-radiômetro foi obtida por meio do termômetro digital, modelo 2175-A, cuja sensibilidade é de $0,2^{\circ}\text{C}$. Persistiu, pois, a necessidade de obter-se uma relação entre as saídas em temperatura e em $\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Utilizando-se de um potenciômetro "Speedomax H", realizaram-se, em laboratório, medições simultâneas de saídas em m V e em graus celsius. Com o uso da constante de calibração do referido saldo-radiômetro, con

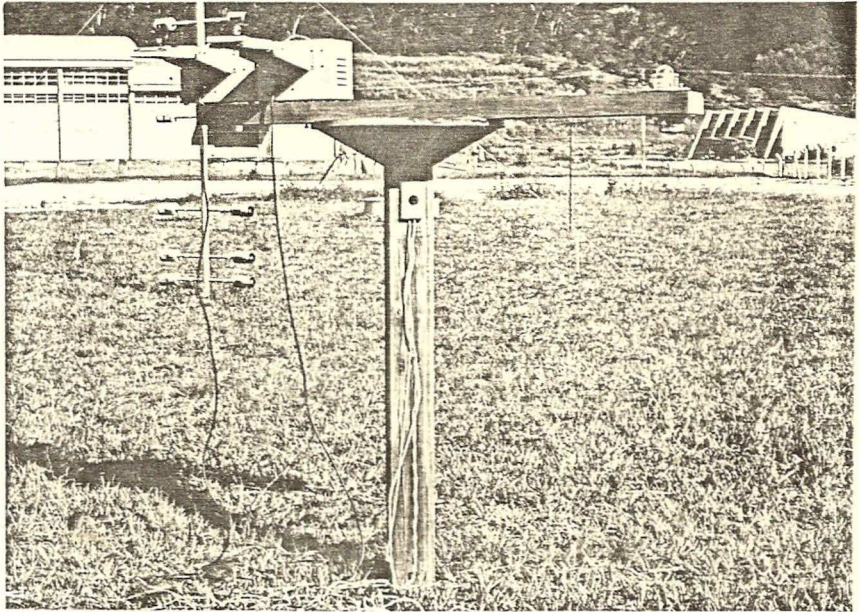


FIGURA 4 - Saldo-radiômetros e piranômetros.

verteram-se as medições em m V para $\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Finalmente ajustou-se uma reta pelo processo dos mínimos quadrados, obtendo-se a equação a seguir:

$$Y (\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}) = 0,0193 X (^{\circ}\text{C}) - 0,5055$$

cujo coeficiente de regressão é de 0,99. Os valores observados do saldo de radiação, X, em $^{\circ}\text{C}$, foram introduzidos na equação acima, obtendo-se os respectivos valores em $\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, Y.

Para medir a radiação refletida, utilizou-se de um piranômetro EPPLEY, cuja constante de calibração é de $7,42 \text{ mV/cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$; e para medir a radiação incidente, um piranômetro EPPLEY de constante de calibração igual a $7,08 \text{ mV/cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Os valores de ambas as componentes foram registrados através de um registrador "Speedomax H", de um só ponto. As leituras da radiação refletida foram feitas a intervalos contínuos de 15 minutos, mediante o acoplamento instantâneo do piranômetro invertido ao registrador, enquanto a radiação incidente foi registrada continuamente, excetuando apenas os instantes de leituras da componente refletida.

3.2.2. Perfis de temperatura

Para medir os perfis de temperatura do ar, bulbos seco e úmido, constituíram-se termopares de cobre -constantan 24 AWG, os quais foram instalados, em abrigos de tubo PVC 4", idealizados para o caso, Figura 5a . Como se vê nesta Figura, para o caso do bulbo úmido, a junção foi envolvida por um pavo de algodão, que se achava mergulhado em um recipiente de

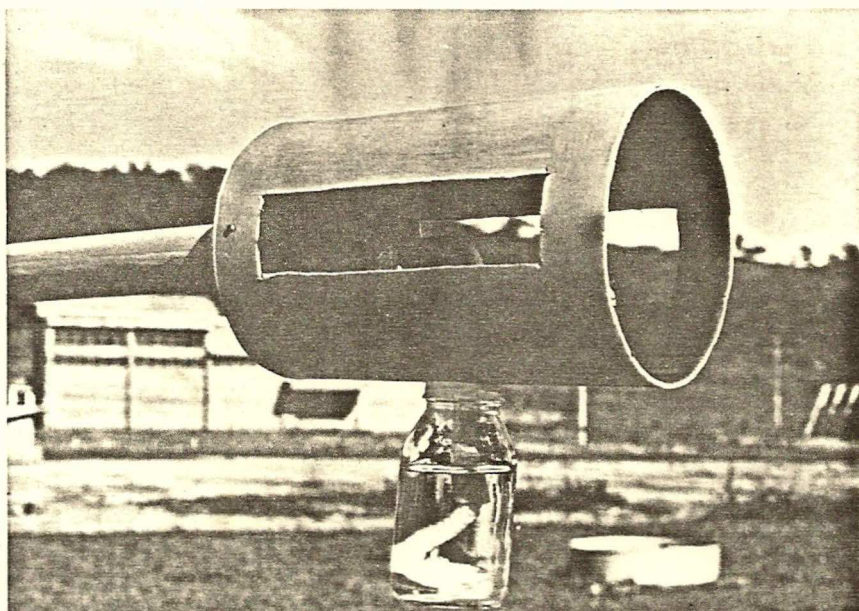


FIGURA 5a - Detalhe do abrigo termométrico e do Sistema de Umedecimento.

de água destilada. Para o bulbo seco, o sensor achava-se protegido apenas contra a incidência solar direta. Para instalação dos abrigos, construiu-se, nas oficinas da UFV, uma torre metálica de 4 m de altura, de cano de ferro galvanizado de 2", com cruzetas de 3/4", que sustentavam os abrigos termométricos localizados a 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2 m, a partir da superfície, Figura 5b . O conjunto de termopares foram inseridos em um conduíte de borracha, desde o mastro até o abrigo, onde se situava uma chave giratória de 24 canais , devidamente ligada ao termômetro digital, modelo 2175-A.

3.2.3. Perfis de temperatura do solo

Para obtenção da temperatura do solo, utilizaram - se sensores e ligações semelhantes aos de perfis de temperatura do ar. As junções dos pares termoelétricos foram localizados a 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; 0,30; 0,50 e 1,0 m de profundidade.

As junções de todos os termopares utilizados, nesta pesquisa, foram fundidas utilizando-se de um arco-voltaico. Em seguida os mesmos foram testados em laboratório, mediante temperaturas controladas, variando entre o ponto de fusão do gelo e o de ebulição da água.

3.2.4. Perfil de velocidade do vento

O perfil de velocidade do vento foi obtido por meio de uma torre, modelo WTRS 106-C.W.T. 952 C, da "C.W. Thornthwaite Associates", acoplada a um contador do mesmo fabricante. Esse sistema consta de um mastro de seis níveis, cujos anemômetros são constituídos de três conchas, que forne-

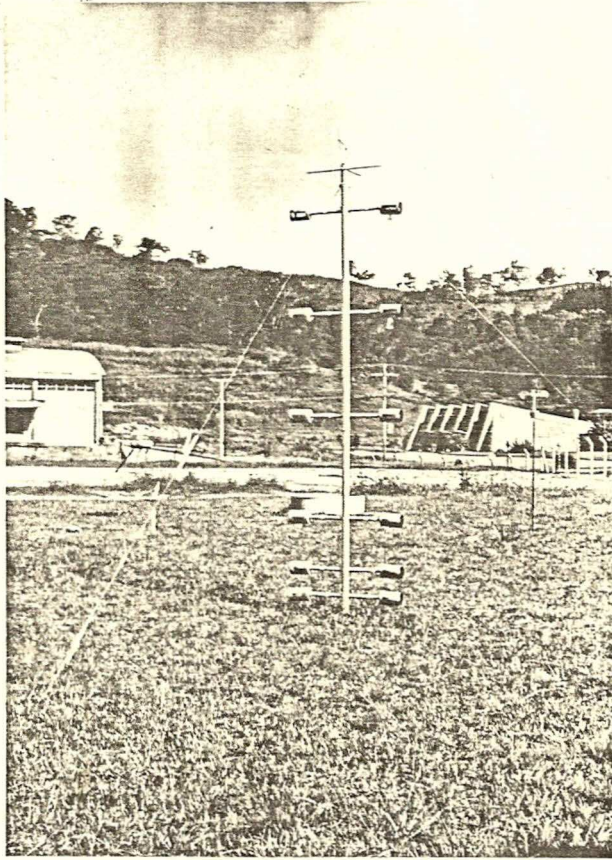


FIGURA 5b - Vista frontal da Torre de Temperatura,
bulbos Seco e Úmido.

cem medidas de velocidades, Figura 6a .O sistema funciona com lâmpadas que impressionam, a cada giro, fotocélulas colocados nos braços dos anemômetros, Figura 6b . Esse sistema fornece um sinal que é levado ao contador por um cabo especial. A sensibilidade do sistema é de $0,1 \text{ m s}^{-1}$.

Inicialmente, pretendiam-se realizar medições nos 6 níveis disponíveis, ou seja: 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 2,4 e 3,2m. Entretanto, apesar de todo esforço técnico realizado, apenas 3 níveis operaram adequadamente, ou seja: 0,4; 1,6 e 3,2 m.

Conseqüentemente, todos os parâmetros dependentes das medições dos perfis do vento foram estimados apenas para as camadas 0,4-1,6 e 1,6-3,2 m.

3.2.5. Dados complementares

Com o objetivo de complementar as observações realizadas, obtiveram-se também:

a) Perfil de umidade do solo

Para obtenção do perfil de umidade do solo foi utilizado o processo gravimétrico. Tal processo consistiu em se obterem amostras de solo, em diferentes profundidades, colocá-las em recipientes fechados e pesá-las (peso úmido). Realizada essa etapa, as amostras foram colocadas em estufa, com temperatura em torno de 110°C , até se obter o peso constante (peso seco). A umidade obtida por esse processo denomina-se de "umidade gravimétrica".

b) Direção do vento

A direção do vento foi obtida por meio de um catavento de palheta, construído de alumínio, localizado a 4 m de altura.

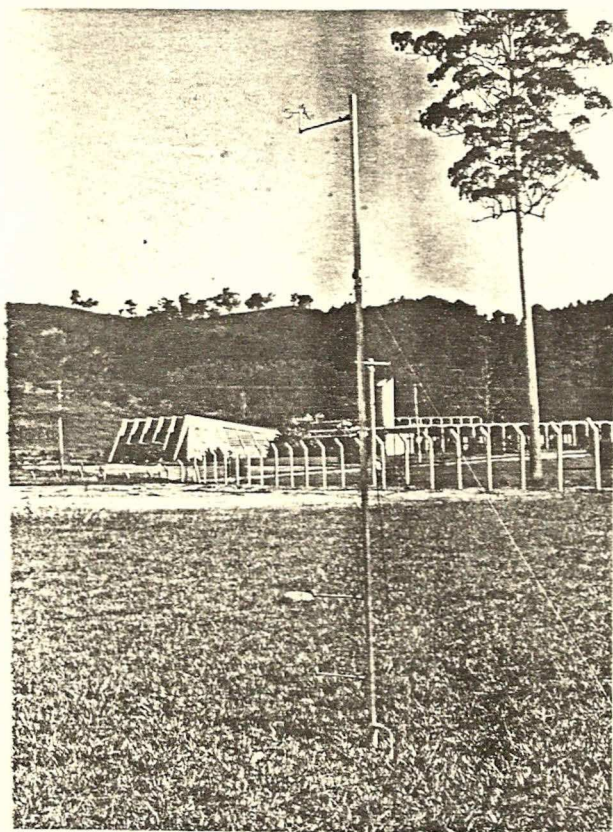


FIGURA 6a - Vista Lateral da Torre de Vento.

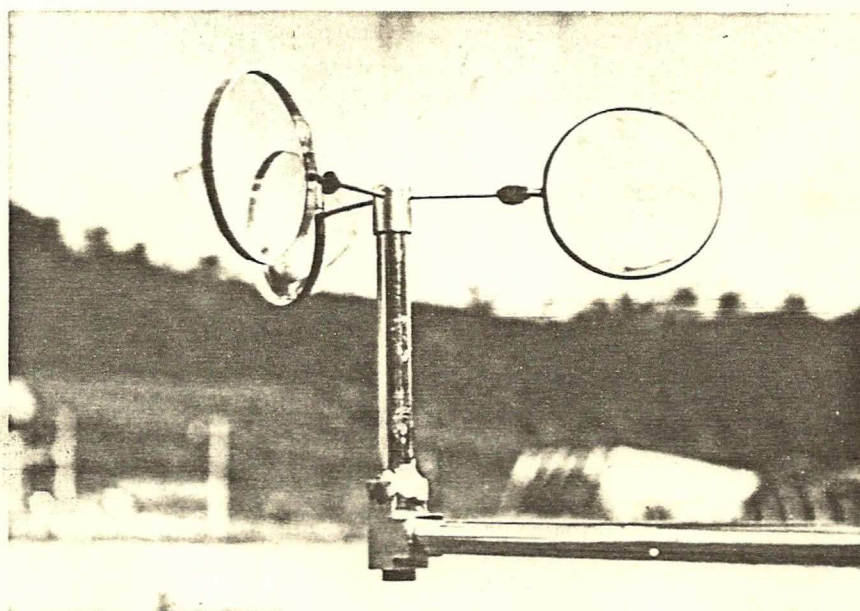


FIGURA 6b - Detalhe de um dos anemômetros.

3.2.6. Frequência das observações

Para todos os dados micrometeorológicos, as leituras foram obtidas em intervalos subsequentes de 15 minutos, cobrindo-se um período de 24 horas, do dia 17 de abril de 1982, a partir das 10 horas, ao dia 18 até às 10 horas; a seguir, nos seguintes intervalos: 13 às 15 horas e 17 às 19 horas do dia 18 e de 6 às 10 horas do dia 19, do mesmo mês e ano.

3.3. Cálculos

Todos os cálculos realizados a partir dos dados observados tais como perfis de temperatura do ar, perfis de velocidade do vento, saldo de radiação, radiação incidente e refletida, temperatura do solo e dados complementares, foram feitos para intervalos de 15 em 15 minutos.

3.3.1. Parâmetro de estabilidade - Número de Richardson, Ri

A fim de verificar a estabilidade atmosférica nas camadas inferiores, utilizou-se o número de Richardson, pelo fato de o mesmo ser facilmente determinado através dos perfis de vento e temperatura e por estar diretamente ligado às equações básicas e aos outros parâmetros de estabilidade. Assim, utilizou-se a equação 20 na forma:

$$Ri = \frac{g}{T} \frac{\Delta T / \Delta z}{(\Delta u / \Delta z)^2} \quad \text{eq. 95}$$

em que $\Delta T = T_2 - T_1$, $\Delta u = u_2 - u_1$, onde os índices expressam os níveis considerados, T é a temperatura referente à média geométrica entre os mesmos. Substituindo os valores para as

camadas 0,4-1,6m e 1,6-3,2m, obtiveram-se para as respectivas camadas:

$$Ri = 11,76 \frac{\Delta T}{T (\Delta u)^2} \quad \text{eq. 96}$$

$$Ri = 15,68 \frac{\Delta T}{T (\Delta u)^2} \quad \text{eq. 97}$$

sendo a temperatura em $^{\circ}\text{C}$ e o vento em m s^{-1} .

3.3.2. Velocidade de fricção, u_*

A velocidade de fricção foi determinada através da equação 27, proposta por KAO (14), utilizando-se de 3 níveis (0,4; 1,6 e 3,2 m) e por meio da equação do perfil logarítmico do vento, para as camadas 0,4-1,6 m e 1,6-3,2 m, isto é:

$$u_* = K \left(\frac{(u_2 - u_1)(z_3 - z_2) - (u_3 - u_2)(z_2 - z_1)}{(z_3 - z_2) \ln(z_2/z_1) - (z_2 - z_1) \ln(z_3/z_2)} \right)$$

$$u_* = K \frac{(u_2 - u_1)}{\ln(z_2/z_1)}$$

as quais, simplificadas para os cálculos, tornaram-se as seguintes:

$$u_* = 0,289 \left((u_2 - u_1) 1,6 - (u_3 - u_2) 1,2 \right) (\text{m.s}^{-1}) \quad \text{eq. 98}$$

$$u_* = 0,289 (u_2 - u_1) (\text{m.s}^{-1}) \quad \text{eq. 99}$$

$$u_* = 0,577 (u_3 - u_2) \quad (\text{m s}^{-1}) \quad \text{eq. 100}$$

Nas equações 98, 99 e 100 os índices 1, 2 e 3 correspondem, respectivamente, aos níveis 0,4; 1,6 e 3,2 m.

3.3.3. Funções adimensionais

A fim de determinarem os fluxos adimensionais de momentum, ϕ_M , de calor sensível, ϕ_H , de calor latente, ϕ_W , tornou-se necessário usar a velocidade de fricção, a escala de temperatura, T_* , e a escala de pressão de vapor, E_* . As escalas de temperatura e pressão de vapor foram obtidas das equações 37 e 38, modificadas para:

$$T_* = \frac{\bar{H}}{\rho C_p u_*} \quad \text{eq. 101}$$

$$E_* = \frac{P}{L \rho 0,622} \frac{\bar{LE}}{u_*} \quad \text{eq. 102}$$

onde:

$$\begin{aligned} \rho &= 1,225 \text{ kg m}^{-3} \\ C_p &= 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \\ P &= 93814 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2} \\ L &= 2,45 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1} \end{aligned}$$

com tais valores, as equações 101 e 102 foram simplificadas para:

$$T_* = 0,000816 \frac{\bar{H}}{u_*} \quad (^\circ\text{C}) \quad \text{eq. 103}$$

$$E_* = 0,0503 \frac{\overline{LE}}{u_*} \quad (\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}) \quad \text{eq. 104}$$

Para obtenção do fluxo de calor sensível, H, utilizou-se da equação 89, obtida através da parametrização de HALSTEAD e CLAYTON (9), isto é:

$$H = \rho C_P \frac{r^2}{Re} \frac{K_T}{v} \frac{(T_{2z} - T_z)(u_{2z} - u_z)}{(\ln 2)^2}$$

substituindo-se os valores das constantes, a saber:

$$\begin{aligned} \rho &= 1,225 \text{ kg m}^{-3} \\ C_P &= 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \\ r &= 4,65 \\ Re &= 135 \\ K_T &= 0,21 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \\ v &= 0,15 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \\ (\ln 2)^2 &= 0,48 \end{aligned}$$

então,

$$H = 572,19 (T_{2z} - T_z)(u_{2z} - u_z) \quad (\text{W m}^{-2}) \quad \text{eq. 105}$$

O fluxo de calor latente, LE, foi calculado a partir da equação 94, também obtida através da parametrização de HALSTEAD e CLAYTON, ou seja:

$$LE = \frac{L}{3} \frac{D}{v} \frac{M_v}{R_* T_a} (e_{2z} - e_z)(u_{2z} - u_z)$$

em que UR é a umidade relativa (%).

Os fluxos adimensionais de momentum, de calor sensível e de calor latente foram calculados diretamente das equações 32, 33 e 34, respectivamente, para a camada 1,6 - 3,2m, ou seja:

$$\phi_M = \frac{Kz}{u_*} \frac{\Delta u}{\Delta z}$$

$$\phi_H = \frac{Kz}{T_*} \frac{\Delta T}{\Delta z}$$

$$\phi_W = \frac{Kz}{E_*} \frac{\Delta e}{\Delta z}$$

Substituindo-se os valores:

$$K = 0,4$$

$$z = \sqrt{1,6 \times 3,2} = 2,26$$

$$\Delta z = 1,6$$

obtiveram-se:

$$\phi_M = 0,5657 \frac{\Delta u}{u_*} \quad \text{eq. 107}$$

$$\phi_H = 0,5657 \frac{\Delta T}{T_*} \quad \text{eq. 108}$$

$$\phi_W = 0,5657 \frac{\Delta e}{E_*} \quad \text{eq. 109}$$

As razões entre os fluxos adimensionais foram obtidas das equações 42, 43 e 44 isto é:

$$\alpha_1 = \frac{\phi_M}{\phi_H}$$

$$\alpha_2 = \frac{\phi_W}{\phi_H}$$

$$\alpha_3 = \frac{\phi_M}{\phi_W}$$

3.3.4. Coeficientes de difusividade turbulenta

Com a finalidade de verificar os resultados obtidos pelas equações 42, 43 e 44, os parâmetros α_1 , α_2 e α_3 foram também determinados em função dos coeficientes de difusividade de turbulenta de momentum, K_M , calor sensível, K_H , e vapor de água, K_W , como segue:

$$\alpha_1 = \frac{K_H}{K_M}$$

$$\alpha_2 = \frac{K_H}{K_W}$$

$$\alpha_3 = \frac{K_W}{K_M}$$

em que, K_M , K_H e K_W são dados pelas expressões:

$$K_M = K^2 z^2 \frac{\Delta u}{\Delta z} \quad \text{eq. 110}$$

$$K_H = \frac{H}{\rho C_p} \frac{\Delta z}{\Delta T} \quad \text{eq. 111}$$

$$K_W = \frac{P \Delta z}{\rho L 0,622} \frac{LE}{\Delta e} \quad \text{eq. 112}$$

substituindo-se os valores das constantes,

$$K = 0,4$$

$$z^2 = z_1 \cdot z_2$$

$$\Delta z = 1,6$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg m}^{-3}$$

$$C_p = 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$P = 93814 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

$$L = 2,45 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

têm-se:

$$K_M = 0,512 \Delta u \quad (\text{m}^2 \text{ s}^{-1}) \quad \text{eq. 113}$$

$$K_H = 0,00131 \frac{H}{\Delta T} \quad (\text{m}^2 \text{ s}^{-1}) \quad \text{eq. 114}$$

$$K_W = 0,0804 \frac{LE}{\Delta e} \quad (\text{m}^2 \text{ s}^{-1}) \quad \text{eq. 115}$$

3.3.5. Balanço de energia

Para realizar o balanço de energia, tornou-se necessário conhecer os fluxos saldo de radiação, calor sensível, calor latente e calor para o interior do solo. O fluxo saldo de radiação foi medido, como descrito na seção 3.2.1. Os fluxos de calor sensível e de calor latente foram determinados atra

vés da parametrização de HALSTEAD e CLAYTON (9), como discutido anteriormente.

Conhecidos os fluxos saldo de radiação, calor sensível e calor latente, tornou-se possível conhecer o fluxo de calor no solo, utilizando-se da equação 62, isto é:

$$G = R_n - H - LE \quad (\text{W m}^{-2})$$

Conhecido o fluxo de calor para o interior do solo e utilizando-se de dados de perfis de temperatura do solo, foi possível estimar a condutividade térmica do solo para a camada compreendida entre 0,02 e 0,05 m, baseando-se na equação 52, como segue,

$$\lambda = - G \frac{\Delta z}{\Delta T} \quad (\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$$

e algumas outras considerações relativas ao fluxo de calor no interior do solo, como será discutido no capítulo 4.

3.3.6. Parâmetros derivados

Foram também determinados alguns coeficientes, como:

a) Razão de Bowen, β :

Esta razão foi determinada por meio da equação 65, na forma:

$$\beta_1 = \frac{C_p P}{0,622 L} \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad \text{eq. 116}$$

substituindo-se os valores,

$$\begin{aligned}
 C_p &= 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \\
 P &= 93814 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2} \\
 L &= 2,45 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}
 \end{aligned}$$

a equação foi simplificada para

$$\beta_1 = 61,6 \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad \text{eq. 117}$$

Para uma melhor verificação dos resultados obtidos pela equação 117, a razão de Bowen foi também determinada em função do quociente entre o fluxo de calor sensível e calor latente, ou seja:

$$\beta_2 = \frac{H}{LE}$$

b) Albedo da superfície, α :

Para o cálculo do albedo da superfície, tornou-se necessário medir a radiação refletida pela superfície, ϵ_r , e a radiação solar incidente, ϵ_i . Assim,

$$\alpha = \frac{\epsilon_r}{\epsilon_i}$$

a radiação total refletida foi obtida de medidas feitas pelo piranômetro EPPLEY, ligado ao registrador Speedomax H. Como o registrador não estava calibrado com o piranômetro, converteram-se, inicialmente, os valores obtidos para mV, usando-se a constante de outro piranômetro, com o qual o registra

dor achava-se calibrado.

A radiação total incidente foi obtida diretamente, como descrito na seção 3.2.1.

Todos os resultados, obtidos por meio da metodologia apresentada, serão, a seguir, apresentados e discutidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme metodologia apresentada na secção 3, foram coletados dados de temperatura do ar, bulbos seco e úmido, velocidade do vento, saldo de radiação, radiação incidente, radiação refletida, temperaturas do solo e dados complementares, para os dias selecionados. Os valores médios horários, obtidos a partir dos dados originais e respectivas figuras, encontram-se no Apêndice A. Todos os dados observados e calculados, a intervalos de 15 minutos, acham-se contidos no Apêndice B. A partir desses valores, obtiveram-se os parâmetros derivados, seguindo-se da respectiva análise, ou seja:

4.1. Parâmetro de estabilidade - número de Richardson

Em termos gerais, o número de Richardson representa fisicamente a relação entre forças convectivas e forças mecânicas. Esse parâmetro de estabilidade é frequentemente usado na literatura devido à relativa simplicidade das medidas exigidas para a sua determinação (21). Segundo SHAW (22), o número de Richardson tem uma variação muito grande; entretan -

to, dentro de um certo intervalo de estabilidade, varia aproximadamente de 0,04 até um valor máximo em torno de 0,21 quando a atmosfera torna-se muito estável. Não existe tal limite em condições instáveis. Townsend, citado por KAO (14), encontrou um intervalo de -0,5 a +0,5. Outros pesquisadores encontraram diferentes intervalos de variação, tornando-se, portanto, difícil estabelecer um valor exato do número crítico de Richardson.

Os resultados obtidos para o número de Richardson encontram-se no Quadro 1 e podem ser melhor visualizados na Figura 7. Encontrou-se um valor médio diário em torno de -0,43, o que caracteriza, em média, uma atmosfera instável, verificando-se a presença da turbulência e sua alta difusividade; conseqüentemente, para certos valores de fluxos, a grandeza dos gradientes é menor, ou seja, em condições de instabilidade, tem-se uma diminuição gradual da temperatura com a altura, situação freqüente durante o dia, quando a superfície é aquecida pela radiação solar.

Para condições de estabilidade, encontrou-se um valor médio de 0,16, que se acha de acordo com o esperado. Para essas condições, os valores dos fluxos e coeficientes de transportes são reduzidos e os gradientes aumentam, significando que existe uma inversão na atmosfera, ou seja, o ar nos níveis mais elevados acha-se mais aquecido que junto à superfície, sendo tal situação mais freqüente durante a noite.

Em casos extremos, quando $Ri > 1,0$ tem-se impossibilidade de movimentos turbulentos espontâneos, e quando $Ri < -1,0$, a convecção livre predomina sobre convecção forçada, como mecanismo dominante de transferência, provocando

QUADRO 1 - Valores horários do número de Richardson (Ri), velocidade de fricção segundo KAO e em função do perfil logarítmico do vento, para as camadas de 0,4 - 1,6 a 1,6 - 3,2 m.

Dias	Horas	Ri		Velocidade de Fricção ($m s^{-1}$)	
				Perfil Logarítmico do Vento	
		0,4 a 1,6m	0,4; 1,6; 3,2m	0,4 a 1,6m	1,6 a 3,2m
17/04/82	10:00	-0,98	0,31	0,24	0,14
	11:00	-1,00	0,32	0,23	0,08
	12:00	-1,30	0,29	0,22	0,10
	13:00	-0,70	0,29	0,21	0,08
	14:00	-0,62	0,31	0,25	0,16
	15:00	-0,39	0,33	0,26	0,14
	16:00	-0,23	0,32	0,25	0,15
	17:00	-0,10	0,31	0,24	0,13
	18:00	-0,03	0,41	0,26	0,01
	19:00	-0,07	0,34	0,21	0,00
	20:00	0,00	0,20	0,16	0,09
	21:00	0,37	0,12	0,09	0,05
	22:00	0,05	0,15	0,10	0,01
	23:00	-1,17	0,27	0,16	-0,01
24:00	-1,50	0,08	0,08	0,05	
18/04/82	01:00	0,18	0,26	0,18	0,05
	02:00	0,00	0,31	0,25	0,16
	03:00	-0,07	0,26	0,21	0,13

Continua...

QUADRO 1 - Continuação

Dias	Horas	Ri	Velocidade de Fricção ($m s^{-1}$)		
		0,4 a 1,6m	KA0	Perfil Logarítmico do Vento	
			0,4; 1,6; 3,2m	0,4 a 1,6m	1,6 a 3,2m
18/04/82	04:00	-0,03	0,25	0,20	0,13
	05:00	0,02	0,12	0,15	0,19
	06:00	-0,16	0,21	0,17	0,09
	07:00	-0,30	0,02	0,12	0,19
	08:00	-0,85	0,19	0,19	0,19
	09:00	-0,97	0,30	0,23	0,12
	10:00	-0,97	0,29	0,24	0,16
	13:00	-2,34	-0,06	0,14	0,48
	14:00	-0,89	0,32	0,25	0,14
	15:00	-0,73	0,36	0,28	0,16
17:00	0,28	0,05	0,16	0,33	
18:00	0,35	0,19	0,14	0,07	
19:00	0,06	0,22	0,19	0,09	
19/04/82	06:00	0,56	-0,49	-0,10	0,56
	07:00	-0,08	-0,62	-0,07	0,73
	08:00	-0,53	0,28	0,25	0,20
	09:00	-0,77	0,33	0,25	0,13

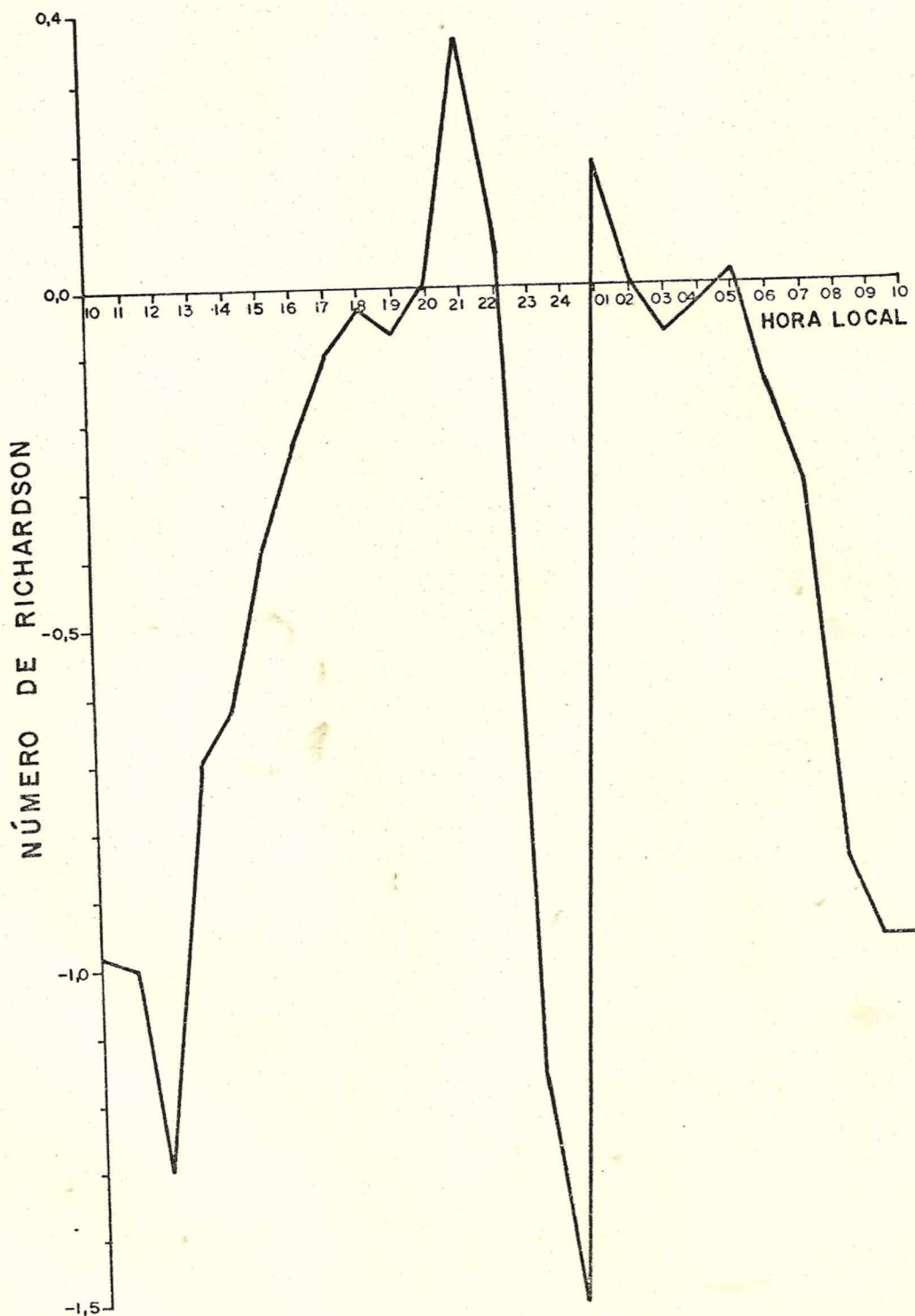


FIGURA 7. Valor do número de RICHARDSON (Ri) para a camada compreendida entre 0,4 e 1,6 m.

crescente variação turbulenta, como consequência do forte gradiente vertical negativo de temperatura, (12).

4.2. Velocidade de fricção

Na figura 8 observa-se a marcha diária da velocidade friccional, cujos valores encontram-se no Quadro 1. Excetuando-se os valores superestimados pelo método de KAO (14), nota-se que a velocidade de fricção é maior próximo à superfície, provavelmente devido ao maior efeito da rugosidade.

4.3. Funções adimensionais

Os resultados relativos à função adimensional de momentum podem ser vistos no Quadro 2 e Figura 9. Nesta Figura, os dados estimados por meio da equação 107 foram plotados juntamente com a função proposta por BUSINGER *et alii* (3). Como se vê, para condições instáveis, os resultados diferem ligeiramente da função, enquanto, para condições neutras e proximidades, o ajuste pode ser considerado muito bom. Para condições estáveis, entretanto, a literatura reconhece a necessidade de mais estudos, para fins comparativos (1). O desvio verificado para o ramo instável talvez se justifique diante das condições físicas em que as medidas foram executadas, tendo em vista as irregularidades que circundam aquele sítio; constituindo-se, provavelmente, em um sumidouro de momentum, aumentando, conseqüentemente, os valores da respectiva função adimensional. Há que se destacar o fato de os valores do número de Richardson serem relativos à camada entre 0,4 e 1,6 m, enquanto os referentes à função adimensional correspondem à camada entre 1,6 e 3,2 m.

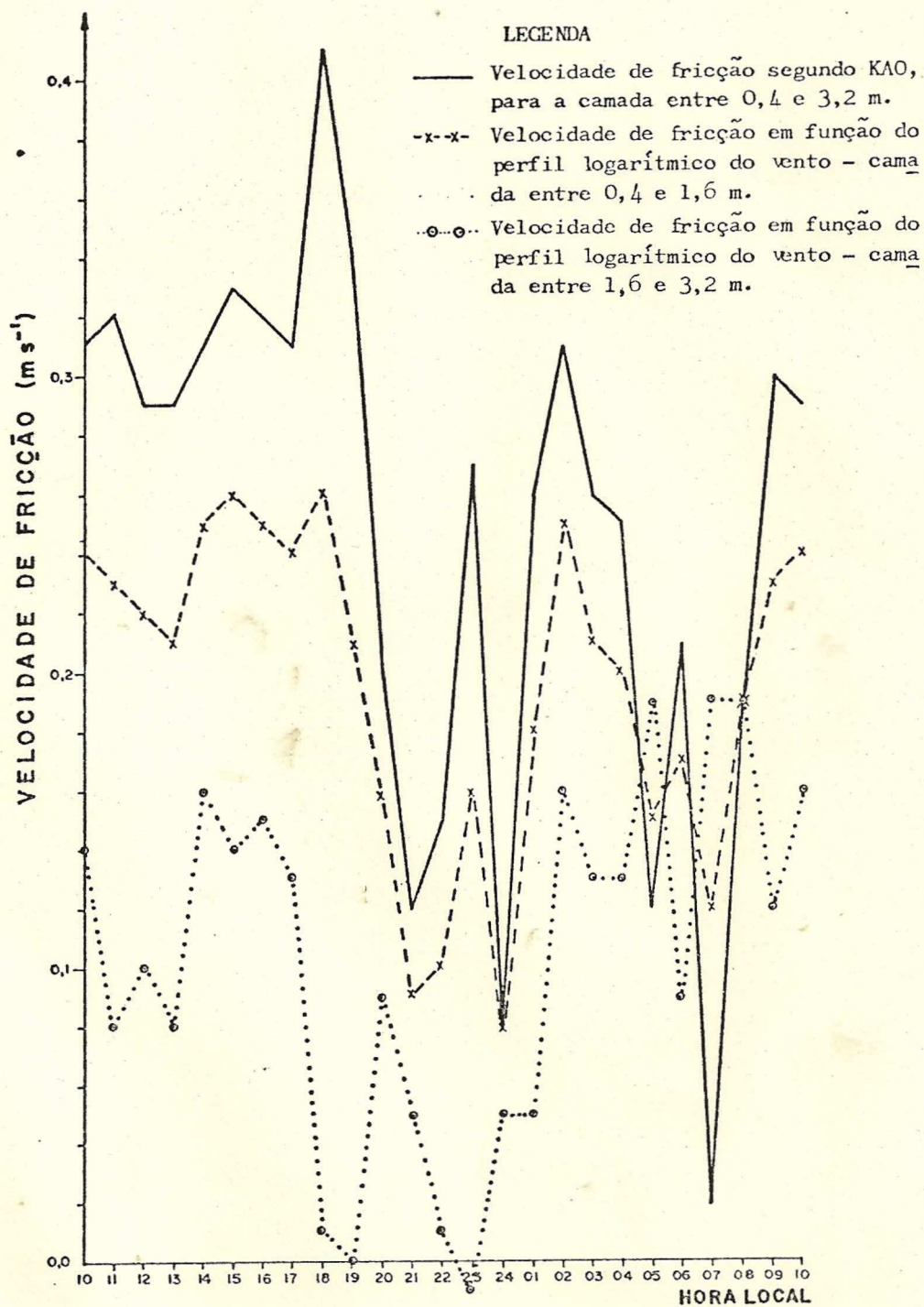


FIGURA 8. Valores da velocidade de fricção segundo KAO, e em função do perfil logarítmico do vento, estimados para os dias 17 e 18 de abril de 1982.

QUADRO 2 - Valores horários dos fluxos adimensionais de momentum (ϕ_M), calor sensível (ϕ_H) e vapor de água (ϕ_W) e as razões entre eles.

Dias	Horas	ϕ_M	ϕ_H	ϕ_W	$\alpha_1 = \phi_M / \phi_H$	$\alpha_2 = \phi_W / \phi_H$	$\alpha_3 = \phi_M / \phi_W$
17/04/82	10:00	0,97	0,72	0,65	1,35	0,90	1,49
	11:00	0,99	0,69	0,64	1,44	0,93	1,55
	12:00	1,02	0,67	0,62	1,52	0,93	1,65
	13:00	0,99	0,70	0,64	1,41	0,91	1,55
	14:00	0,99	0,70	0,64	1,41	0,91	1,55
	15:00	0,97	0,75	0,65	1,29	0,87	1,49
	16:00	0,98	0,71	0,65	1,38	0,92	1,51
	17:00	0,96	0,71	0,66	1,35	0,93	1,46
	18:00	1,13	0,62	0,56	1,82	0,90	2,02
	19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20:00	1,01	0,68	0,63	1,49	0,93	1,60
	21:00	0,91	0,78	0,70	1,17	0,90	1,30
	22:00	1,13	0,59	0,56	1,92	0,95	2,02
	23:00	1,13	0,62	0,56	1,82	0,90	2,02
24:00	0,91	0,78	0,70	1,17	0,90	1,30	
18/04/82	01:00	0,91	0,75	0,70	1,21	0,93	1,30
	02:00	0,99	0,71	0,64	1,39	0,90	1,55
	03:00	0,96	0,72	0,66	1,33	0,92	1,46

Continua...

QUADRO 2 - Continuação

Dias	Horas	ϕ_M	ϕ_H	ϕ_W	$\alpha_1 = \phi'_M / \phi_H$	$\alpha_2 = \phi'_W / \phi_H$	$\alpha_3 = \phi'_M / \phi_W$
18/04/82	04:00	0,96	0,72	0,66	1,33	0,92	1,46
	05:00	0,95	0,72	0,66	1,32	0,92	1,44
	06:00	1,01	0,72	0,63	1,40	0,91	1,60
	07:00	0,98	0,75	0,63	1,31	0,57	2,28
	08:00	0,95	0,75	0,66	1,27	0,88	1,44
	09:00	0,94	0,72	0,67	1,31	0,93	1,40
	10:00	0,96	0,73	0,66	1,32	0,90	1,46
	13:00	0,98	0,68	0,65	1,46	0,96	1,52
	14:00	0,97	0,71	0,65	1,37	0,92	1,49
	15:00	0,95	0,68	0,66	1,40	0,97	1,44
	17:00	0,99	0,71	0,64	1,39	0,90	1,55
	18:00	0,97	0,75	0,65	1,29	0,87	1,49
19:00	1,01	0,71	0,63	1,42	0,89	1,60	
19/04/82	06:00	0,98	0,69	0,65	1,42	0,94	1,51
	07:00	0,98	0,66	0,60	1,48	0,91	1,63
	08:00	0,96	0,72	0,66	1,33	0,92	1,45
	09:00	0,96	0,71	0,66	1,35	0,93	1,45

⊙ Valores estimados
 x---x $\phi_M = (1 - 15\xi)^{-1/4}$ BUSINGER et alii (3)

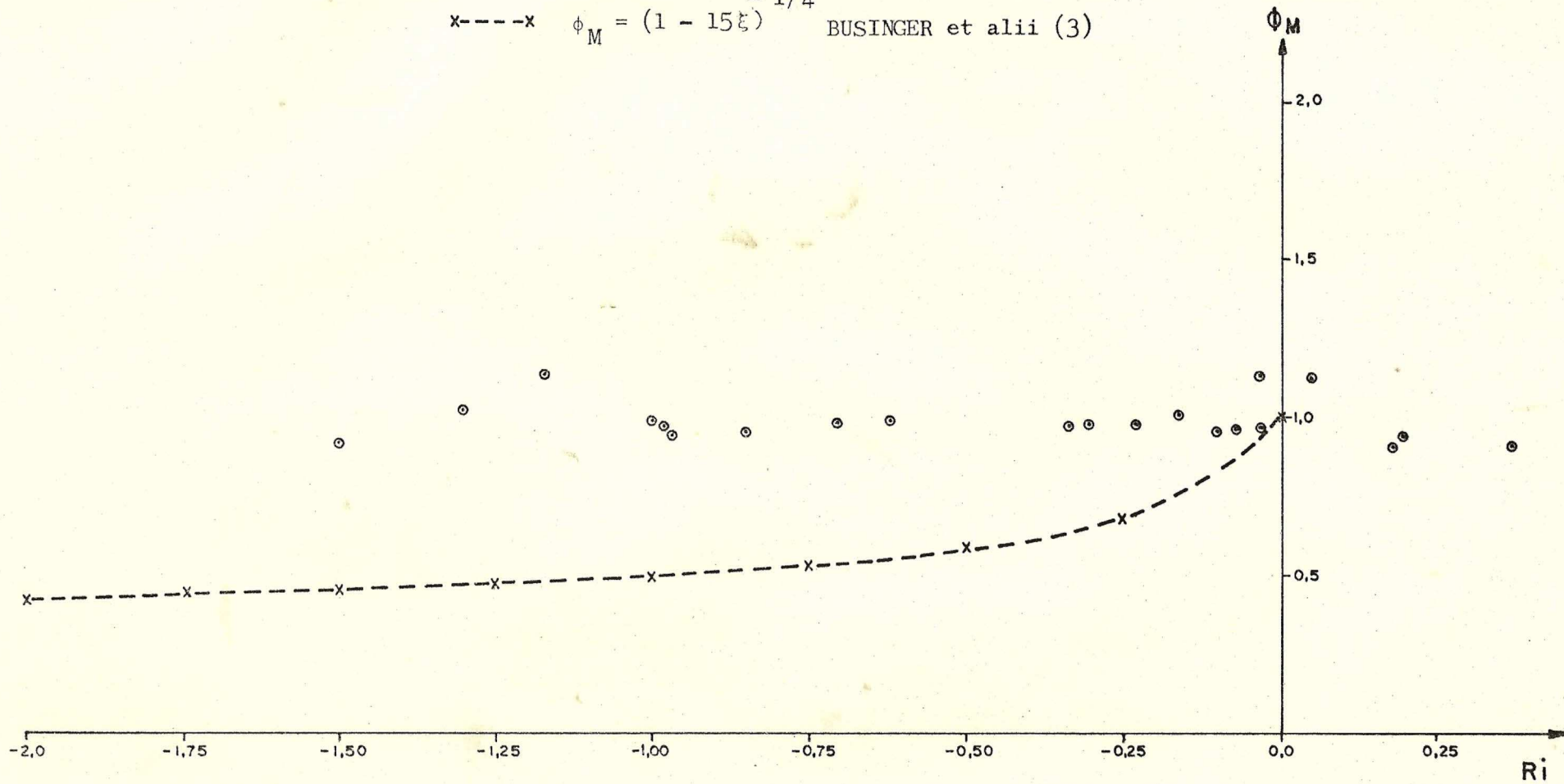


FIGURA 9. Fluxo Adimensional de momentum (ϕ_M), em função do número de RICHARDSON (Ri).

O fluxo adimensional de calor sensível, visto no Quadro 2 e na Figura 10, comporta-se de forma semelhante ao de momentum, ou seja, apresenta valores ligeiramente maiores que os de BUSINGER *et alii* (3), particularmente no setor instável, enquanto ajusta-se bem, próximo e junto ao caso neutro. Os valores superestimados podem ser justificados pela transformação de calor sensível em calor latente, além da absorção pelos elementos físicos circunvizinhos. As camadas atmosféricas analisadas são também idênticas àquelas discutidas para o fluxo de momentum.

Quanto ao fluxo adimensional de vapor de água, Quadro 2 e Figura 11, utilizou-se, para fins de comparação, a mesma função proposta por BUSINGER *et alii* (3), para fluxo de calor sensível. Os resultados das comparações são praticamente os mesmos. A presença de um mecanismo de advecção bem configurado talvez justifique, pelo menos em parte, tais resultados, considerando-se o papel relevante que desempenha sobre o gradiente de pressão de vapor. Tal mecanismo será melhor discutido no item 4.5.

4.4 Coeficientes de difusividades turbulentas

Os coeficientes de difusividades turbulentas de momentum, calor sensível e vapor de água acham-se no Quadro 3, juntamente com as respectivas razões. Quanto aos valores dos coeficientes, verifica-se que se acham dentro do esperado, em ordem de grandeza, embora deva ser destacada uma relativa incerteza, considerando-se a complexidade do assunto. A razão entre os coeficientes de transporte de calor sensível e momentum é apresentada na Figura 12. Como se nota, a partir da

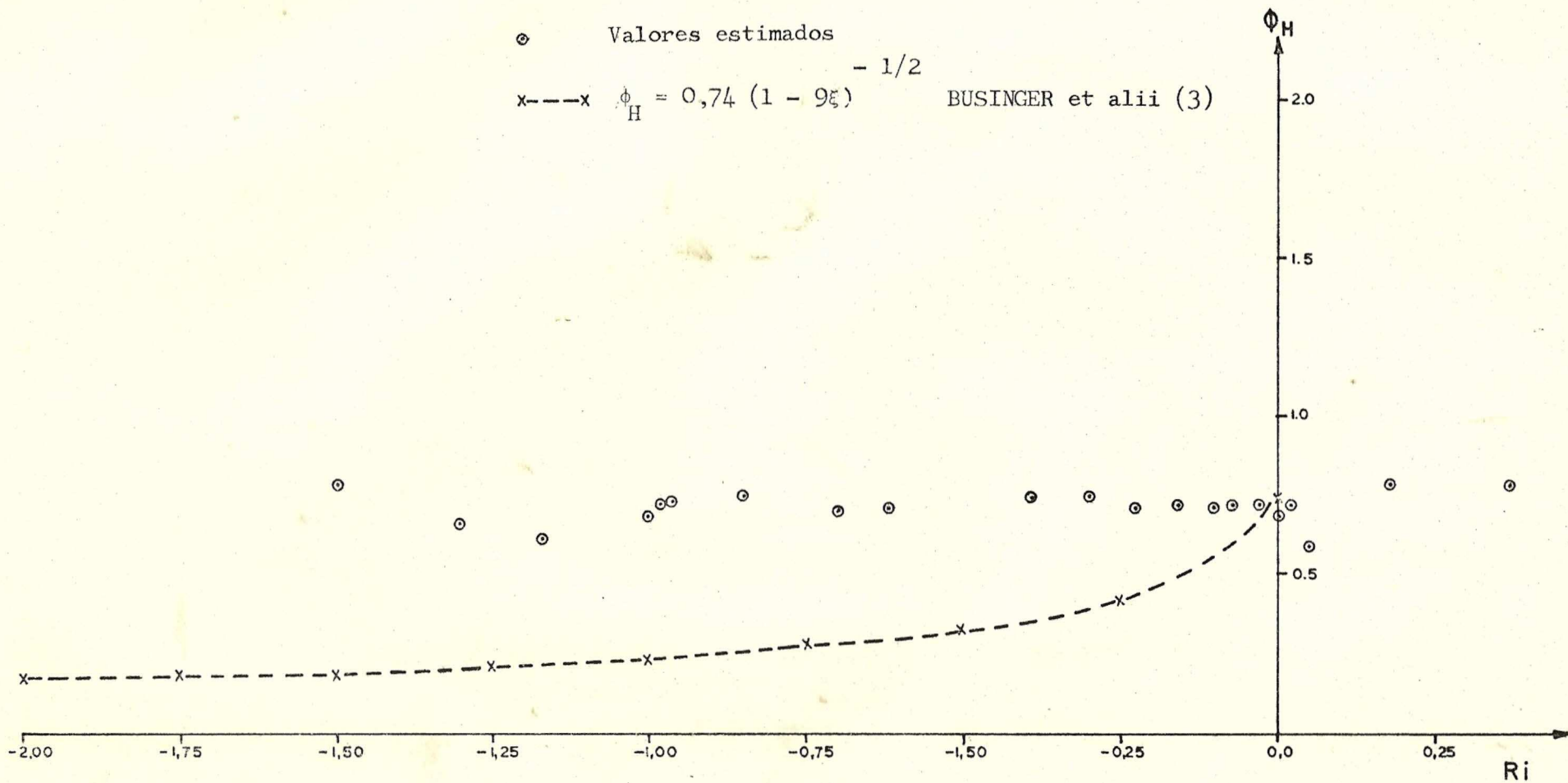


FIGURA 10. Fluxo adimensional de calor sensível(ϕ_H), em função do número de RICHARDSON (Ri).

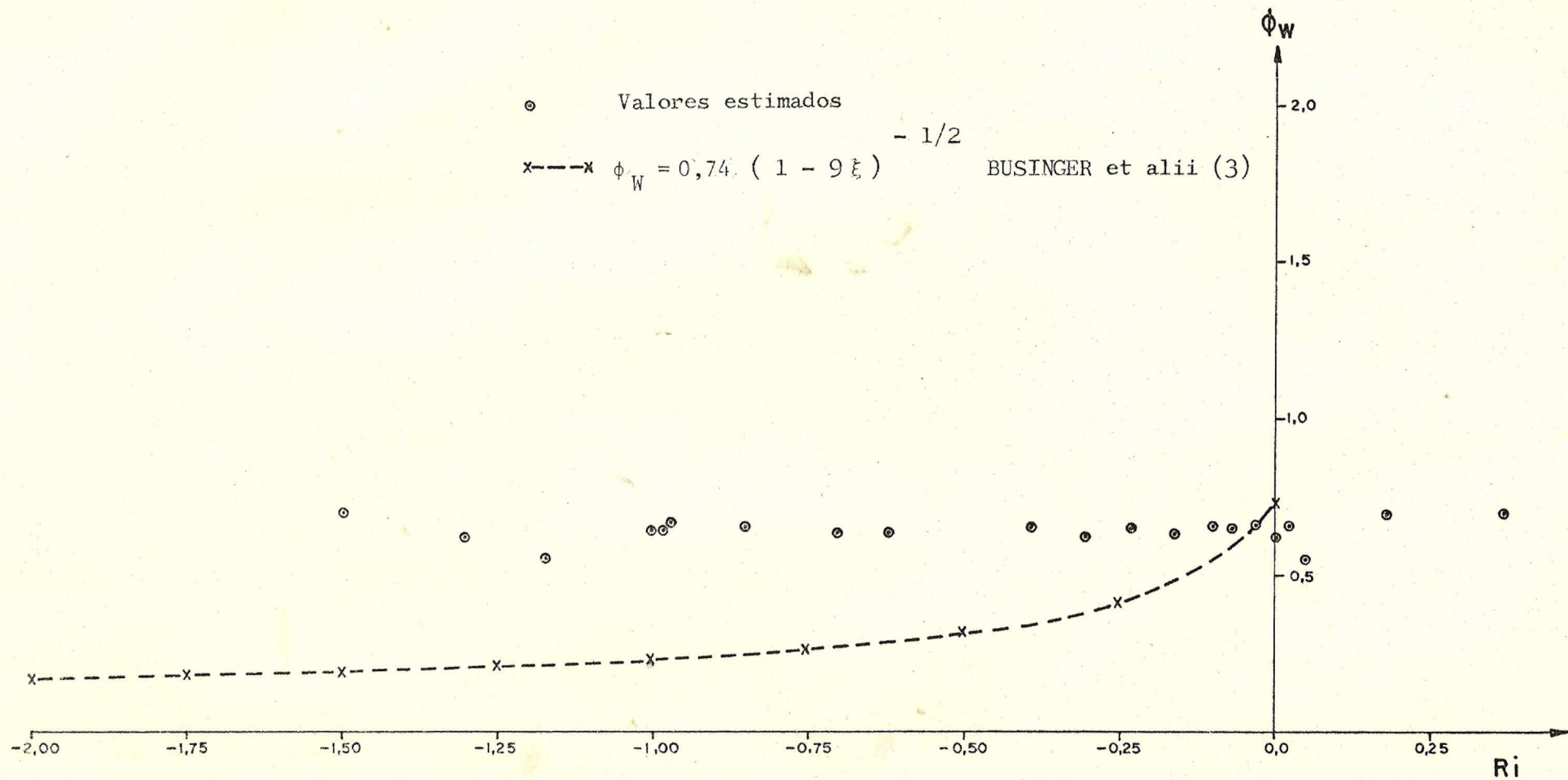


FIGURA 11. Fluxo adimensional de vapor de água (ϕ_W), em função do número de RICHARDSON (Ri).

QUADRO 3 - Valores horários dos coeficientes de difusividade turbulenta de momentum (K_M), calor sensível (K_H) e vapor de água (K_W) e as razões entre os coeficientes.

Dias	Horas	$K_M(m^2s^{-1})$	$K_H(m^2s^{-1})$	$K_W(m^2s^{-1})$	$\alpha_1=K_H/K_M$	$\alpha_2=K_H/K_W$	$\alpha_3=K_W/K_M$
17/04/82	10:00	0,12	0,18	0,19	1,50	0,95	1,58
	11:00	0,07	0,11	0,11	1,57	1,00	1,57
	12:00	0,09	0,14	0,15	1,56	0,93	1,67
	13:00	0,07	0,11	0,11	1,57	1,00	1,57
	14:00	0,14	0,21	0,23	1,50	0,91	1,64
	15:00	0,12	0,18	0,19	1,50	0,95	1,58
	16:00	0,13	0,19	0,21	1,46	0,91	1,62
	17:00	0,11	0,16	0,18	1,46	0,89	1,64
	18:00	0,01	0,02	0,02	2,00	1,00	2,00
	19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20:00	0,08	0,12	0,13	1,50	0,92	1,63
	21:00	0,04	0,06	0,07	1,50	0,86	1,75
	22:00	0,01	0,02	0,02	2,00	1,00	2,00
	23:00	-0,01	-0,02	0,02	-2,00	-1,00	-2,00
24:00	0,04	0,06	0,07	1,50	0,86	1,75	
18/04/82	01:00	0,04	0,06	0,07	1,50	0,86	1,75
	02:00	0,14	0,21	0,23	1,50	0,91	1,64
	03:00	0,11	0,16	0,18	1,46	0,89	1,64

Continua...

QUADRO 3 - Continuação

Dias	Horas	$K_M(m^2s^{-1})$	$K_H(m^2s^{-1})$	$K_W(m^2s^{-1})$	$\alpha_1=K_H/K_M$	$\alpha_2=K_H/K_W$	$\alpha_3=K_W/K_M$
18/04/82	04:00	0,11	0,16	0,18	1,46	0,89	1,64
	05:00	0,16	0,24	0,26	1,50	0,92	1,63
	06:00	0,08	0,12	0,13	1,50	0,92	1,63
	07:00	0,26	0,37	0,40	1,42	0,93	1,54
	08:00	0,16	0,24	0,26	1,50	0,92	1,63
	09:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	10:00	0,14	0,20	0,22	1,43	0,91	1,57
	13:00	0,42	0,62	0,67	1,48	0,92	1,60
	14:00	0,12	0,18	0,19	1,50	0,95	1,58
	15:00	0,14	0,20	0,22	1,43	0,91	1,57
	17:00	0,30	0,43	0,47	1,43	0,91	1,57
	18:00	0,06	0,09	0,10	1,50	0,90	1,67
	19:00	0,08	0,12	0,22	1,50	0,55	2,65
19/04/82	06:00	0,50	0,73	0,78	1,46	0,94	1,56
	07:00	0,70	1,02	1,10	1,46	0,93	1,57
	08:00	0,17	0,25	0,27	1,47	0,93	1,59
	09:00	0,11	0,16	0,18	1,45	0,89	1,64

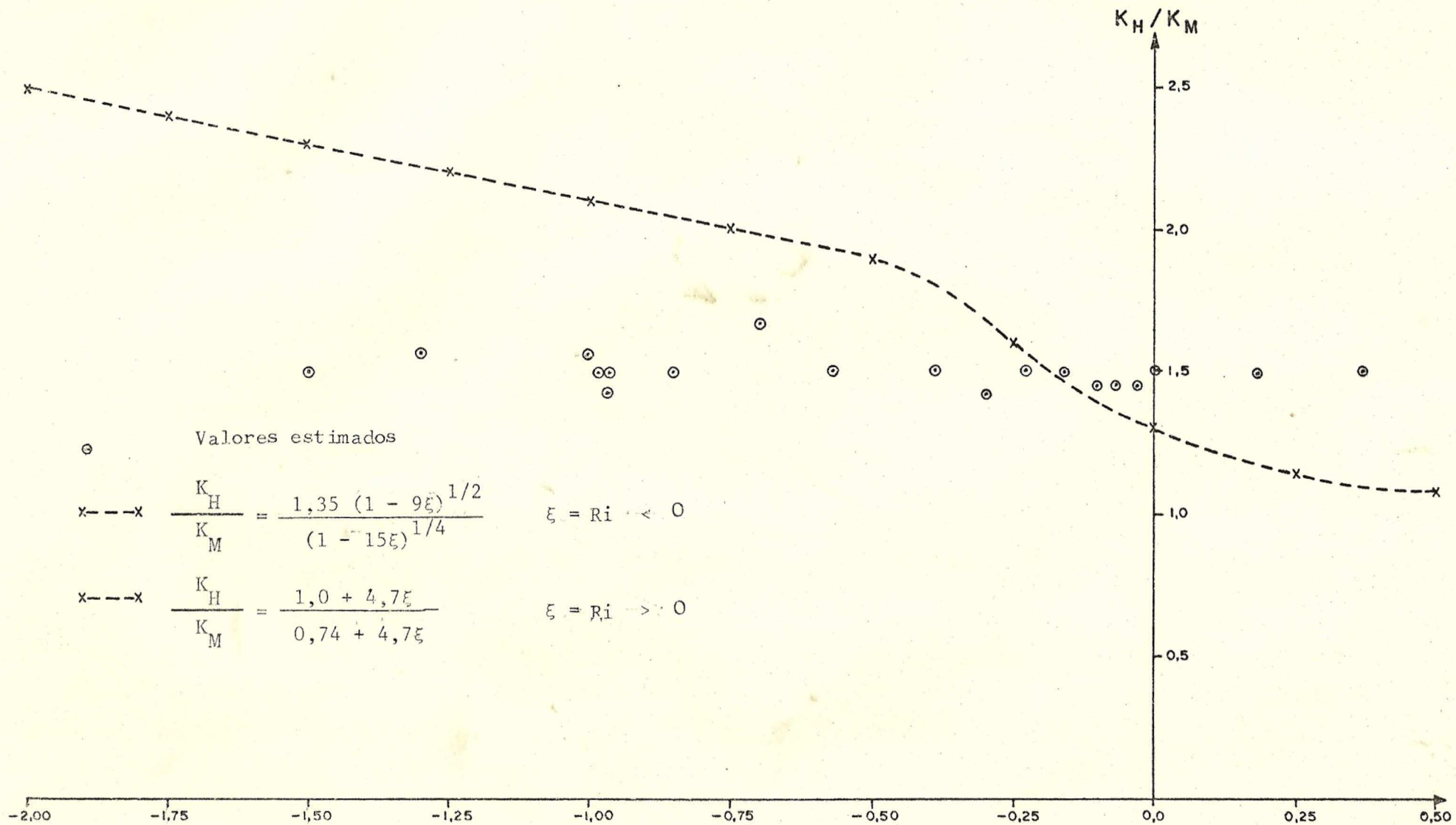


FIGURA 12. Dependência da razão entre os coeficientes do calor sensível (K_H) e momento (K_M) com a estabilidade Ri

neutralidade, no ramo instável, os resultados aqui propostos crescem em menor intensidade que aqueles correspondentes à função proposta por BUSINGER *et alii* (3). O caso estável comporta-se aproximadamente constante, discordando também daquele autor. Entretanto, para condições neutras, o próprio autor sugere, em trabalhos anteriores, que a razão $K_H/K_M = 1,35$. ANDRÉ (1) encontrou $K_H/K_M = 1,6$ e, nesta pesquisa, encontrou-se 1,5.

A razão entre o coeficiente de transporte de vapor de água e momentum, K_W/K_M , Quadro 3, apresenta valores médios em torno de 1,6; ANDRÉ (1) encontrou, para esta mesma razão, 1,08, em condições neutras.

Finalmente, a razão entre os coeficientes de transporte de calor sensível e vapor de água, K_H/K_W , apresenta valores aproximadamente constantes em torno de 1,0, enquanto ANDRÉ (1) encontrou 2,0.

Para as razões entre os coeficientes de transporte, utilizaram-se valores estimados para a camada de 1,6 a 3,2 m, enquanto o número de Richardson foi considerado para camada de 0,4 a 1,6 m.

4.5. Balanço de Energia

Conforme a metodologia apresentada na secção 3.3.5. , o balanço de energia foi calculado utilizando-se do fluxo saldo de radiação, fluxo de calor sensível, fluxo de calor latente e fluxo de calor para o interior do solo. O fluxo saldo de radiação foi obtido diretamente, enquanto que os fluxos de calor sensível e calor latente foram determinados através da parametrização de HALSTEAD e CLAYTON (9). Conhecidos

os fluxos saldo de radiação, calor sensível e calor latente, tornou-se possível calcular o fluxo de calor para o interior do solo, utilizando-se do balanço de energia, como se vê no Quadro 4 e Figura 13.

De modo geral, o fluxo de calor no solo associa-se mais ao saldo de radiação, ou seja, durante o dia o saldo positivo é quase inteiramente absorvido pelo solo, enquanto à noite a maior perda da radiação pela superfície é oriunda do calor que flui do interior do solo para a atmosfera. Os fluxos de calor latente e sensível acham-se, em geral, defasados entre si, sugerindo o predomínio de um mecanismo de trocas advectivas, isto é, a advecção de ar, relativamente quente e seco, proveniente das superfícies mais aquecidas (asfalto, edificação, etc), induz fluxos de calor sensível positivos e de calor latente negativos, enquanto a advecção de ar mais frio e úmido, proveniente das superfícies líquidas (lagos), provoca inversão de sinais para ambos os fluxos, comparados àqueles em condições de advecção quente. Esse mecanismo pode ser visualizado por meio da Figura 14.

Para estimar a condutividade térmica do solo, utilizou-se da equação 52, do fluxo de calor para o interior do solo e do gradiente de temperatura na camada compreendida pelos níveis 0,02 e 0,05 m. Em tais circunstâncias, o fluxo de calor deveria corresponder ao nível de 3,5 cm de profundidade. A partir do valor conhecido, para Viçosa, da difusividade térmica do solo, segundo VIANELLO e outros (27), igual a $1,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, e valendo-se do conceito de profundidade de amortecimento expresso pelo mesmo autor, verificou-se que, para o ciclo diário, o fluxo de calor a 3,5 cm reduziu-se de

QUADRO 4 - Valores horários dos fluxos saldo de radiação (R_n), calor sensível (H), calor latente (LE) e calor do solo (G), além da razão de Bowen (β), para a camada compreendida entre 1,6 e 3,2 m.

Dias	Horas	R_n (Wm^{-2})	H (Wm^{-2})	LE (Wm^{-2})	G (Wm^{-2})	$\beta = \gamma \Delta T / \Delta e$	$\beta = H / LE$
17/04/82	10:00	391,5	- 38,45	- 9,17	439,12	4,54	4,19
	11:00	575,4	-105,74	44,74	636,40	-2,56	-2,36
	12:00	721,8	- 98,87	84,66	736,01	-1,26	-1,17
	13:00	307,9	- 46,46	5,91	348,45	-8,51	-7,86
	14:00	209,0	- 25,63	-181,78	416,41	0,15	0,14
	15:00	142,1	5,49	-214,19	350,80	-0,03	-0,03
	16:00	33,5	14,88	-181,34	199,96	-0,09	-0,08
	17:00	- 62,7	25,18	-157,42	69,54	-0,17	-0,16
	18:00	-101,7	2,75	- 12,18	- 92,27	-0,24	-0,23
	19:00	- 98,9	0,00	0,00	- 98,90	0,27	0,00
	20:00	- 82,2	- 21,97	131,86	-192,09	-0,18	-0,17
	21:00	-172,8	- 8,24	- 4,02	-160,54	2,22	2,05
	22:00	-188,1	- 2,54	0,92	-186,50	-2,95	-2,74
	23:00	-206,2	2,75	- 2,89	-206,06	-1,03	-0,95
24:00	-150,5	- 10,07	- 16,08	-124,35	0,68	0,63	
18/04/82	01:00	-195,1	- 7,32	21,55	-209,33	-0,37	-0,34
	02:00	-168,6	- 32,04	123,25	-259,81	-0,28	-0,26
	03:00	-161,6	- 47,84	101,71	-215,47	-0,51	-0,47

Continua...

QUADRO 4 - Continuação

Dias	Horas	$R_n (Wm^{-2})$	$H(Wm^{-2})$	$LE(Wm^{-2})$	$G(Wm^{-2})$	$\beta = \gamma \Delta T / \Delta e$	$\beta = H / LE$
18/04/82	04:00	-178,4	- 52,87	97,28	-222,81	-0,59	-0,54
	05:00	-177,0	- 69,58	170,45	-277,87	-0,44	-0,41
	06:00	-132,4	- 20,14	43,09	-155,35	-0,51	-0,47
	07:00	- 73,9	- 22,89	- 72,36	21,35	0,34	0,32
	08:00	93,4	- 21,97	- 17,37	132,74	1,37	1,26
	09:00	189,5	- 64,09	53,47	200,12	-1,30	-1,20
	10:00	412,8	- 77,25	-132,96	623,01	0,63	0,58
	13:00	360,0	85,49	-750,74	1.025,25	-0,12	-0,11
	14:00	483,5	- 60,42	- 70,91	614,83	0,92	0,85
	15:00	320,5	- 9,27	-161,18	490,92	0,06	0,06
	17:00	-106,8	66,37	-396,37	223,20	-0,18	-0,17
	18:00	-169,98	5,49	- 35,22	-140,25	-0,17	-0,16
	19:00	-188,10	- 9,16	92,14	-271,08	-0,11	-0,10
19/04/82	06:00	-225,3	-149,86	428,93	-504,37	-0,38	-0,35
	07:00	- 23,7	-217,89	139,41	- 54,78	-1,69	-1,56
	08:00	-287,0	- 54,47	62,87	278,60	-0,94	-0,87
	09:00	273,5	- 62,94	37,59	298,85	-1,81	-1,67

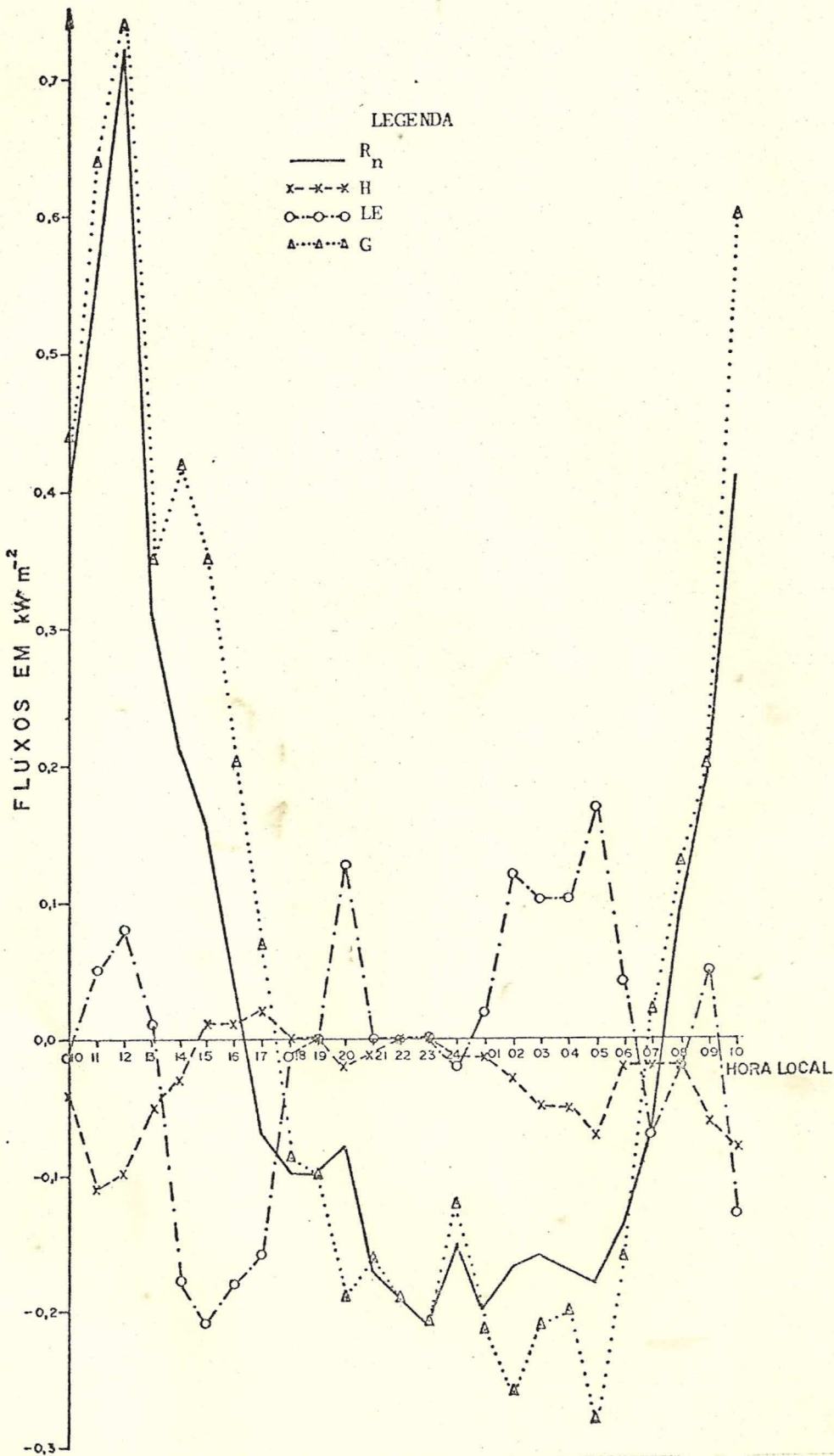


FIGURA 13. Valores dos fluxos, saldo de radiação (R_n), calor sensível (H), calor latente (LE), para a camada compreendida entre 1,6 e 3,2 m, e calor do solo (G).

51% de seu valor à superfície. Considerando tal redução, estimou-se, finalmente, a condutividade térmica para a camada em consideração, alcançando-se um valor médio de $5,96 \times 10^{-3} \text{ cal cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ s}^{-1}$, valor este característico para solos argilosos úmidos segundo GEIGER (7). A compatibilidade desse resultado com as condições físicas em que a pesquisa se desenvolveu parece ser bom indicador da validade dos resultados apresentados, pois, como se destacou anteriormente, o fluxo de calor à superfície do solo foi estimado por resíduo, em cuja formulação, praticamente, todos os parâmetros discutidos achavam-se envolvidos. Evidentemente, isso não exclui a incerteza envolvida nas medições, motivada pelo uso de equipamentos menos adequados, falhas humanas, etc.

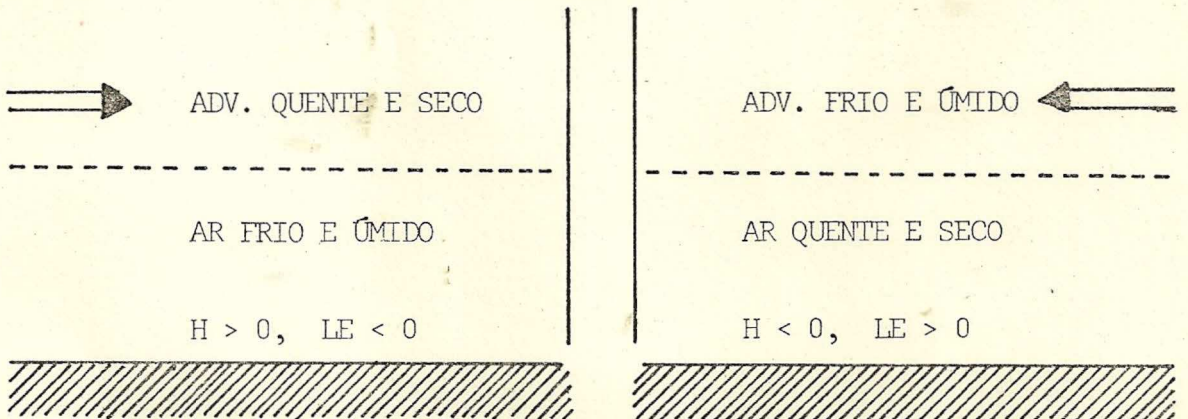


FIGURA 14- Provável mecanismo responsável pela inversão de sinais entre os fluxos de calor sensível e calor latente.

4.6. Parâmetros derivados

Foram também determinados alguns coeficientes como:

a) Razão de Bowen:

As estimativas da Razão de Bowen acham-se contidas no Quadro 4 e Figura 15, verificando-se excelente concordância

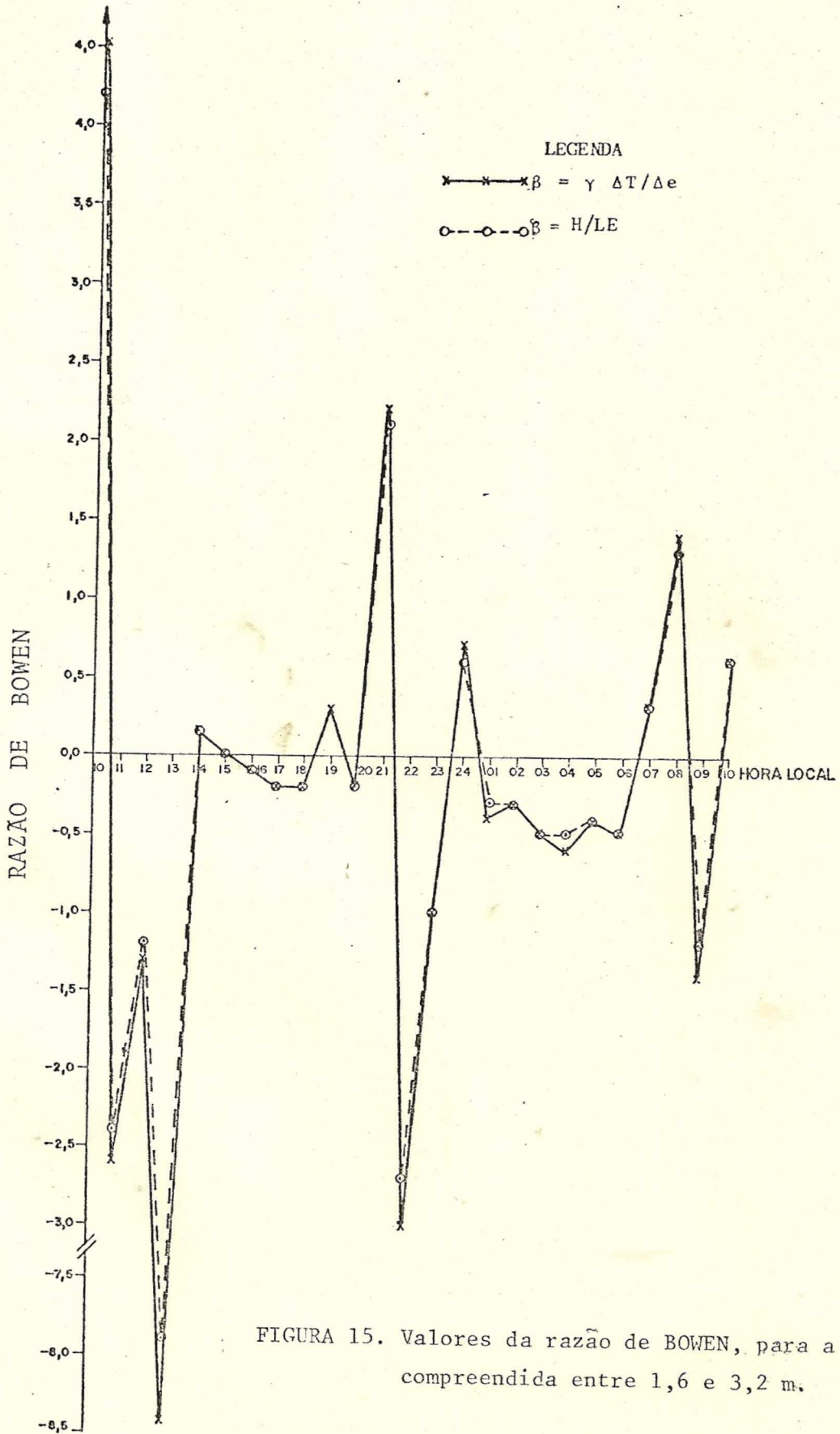


FIGURA 15. Valores da razão de BOWEN, para a camada compreendida entre 1,6 e 3,2 m.

entre os valores obtidos a partir da razão de fluxos e da razão de gradientes, cujos valores médios são, respectivamente, $-0,41$ e $-0,43$. Nota-se que o sinal negativo caracteriza essas médias, o que se justifica em vista da ocorrência de sinais contrários nos fluxos, como se vê na Figura 13. Em condições normais, tal fato não seria esperado, especialmente durante o dia (23). Também aqui os mecanismos advectivos parecem determinantes. Os valores elevados, da razão de Bowen, tanto positivos, quanto negativos, expressam o predomínio do calor sensível em relação ao calor latente, embora ambos tenham apresentado valores baixos, comparados aos demais termos do balanço. As condições físicas em que o experimento se realizou desempenharam, claramente, importante papel nos valores e sinais dos fluxos.

b) Albedo da superfície

O albedo da superfície gramada foi estimado como descrito na seção 3.3.6, Figura 16. Encontrou-se um valor médio de 24%, tomando-se por base os valores instantâneos. Essa média acha-se em concordância com os valores apresentados por ROBINSON (20), que cita valores em torno de 26% para grama verde, alta e bem desenvolvida. Como, no presente trabalho, a superfície era constituída de grama baixa e úmida, entende-se que os valores encontrados são representativos.

Outra característica, visualizada na Figura 16, é a ocorrência de altos valores do albedo próximo ao nascer e pôr-do-sol, o que é facilmente justificável considerando-se a variação do ângulo de incidência solar ao longo do dia; pela manhã e à tarde a elevação do sol é mínima, o que implica

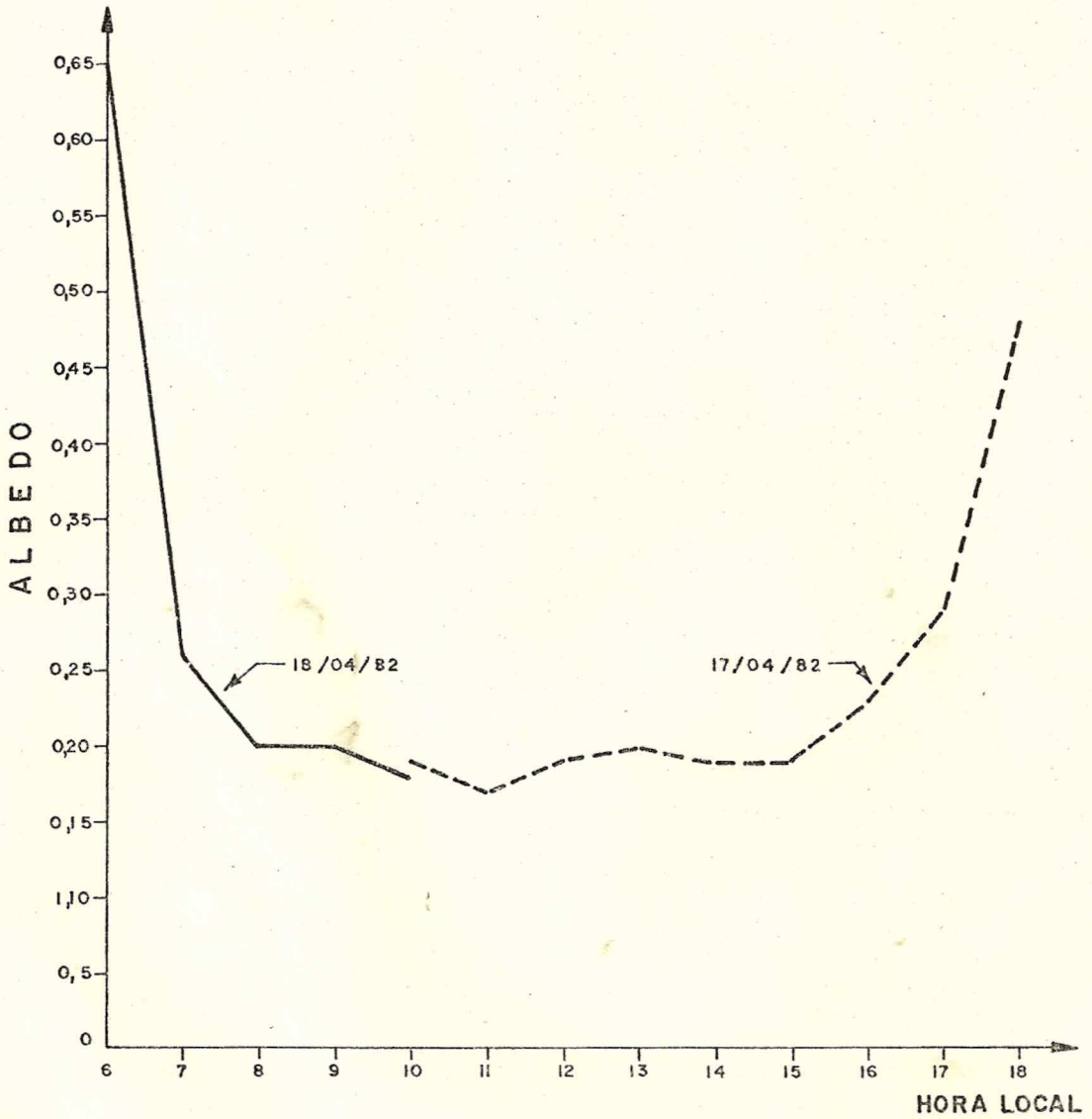


FIGURA 16. Variação diária do albedo, observados em Viçosa - MG, de 17 a 18 de abril de 1982.

numa alta reflexão, resultando, obviamente, no crescimento do albedo. A descontinuidade observada na Figura 16 tornou-se necessária, a fim de conciliar a configuração gráfica mais indicada, para melhor entendimento do assunto e as condições em que as medições se realizaram.

5. CONCLUSÃO

Apesar das limitações dos equipamentos usados e das condições físicas não corresponderem àquelas consideradas ideais, para fins de estudos micrometeorológicos, os resultados encontrados sugerem que as medições efetuadas foram razoavelmente boas, uma vez que, de modo geral, concordam bem com resultados semelhantes encontrados por outros autores.

O valor médio diário do número de Richardson, $-0,43$, caracterizou o predomínio de uma atmosfera instável. Nos raros períodos estáveis, o valor médio do número de Richardson situou-se em $0,16$, o que combina com valores esperados e sugeridos pela literatura.

Para a velocidade de fricção, excetuando-se os valores superestimados pelo método proposto por KAO (14), os demais comportam-se como o esperado, em ordem de grandeza e em perfil vertical, refletindo o papel da rugosidade da superfície.

As funções adimensionais de calor sensível, calor latente e momentum apresentaram-se com valores ligeiramente su

periores àqueles propostos por BUSINGER *et alii* (3), especialmente no ramo instável. Entretanto, concordaram bem com o mesmo autor para condições neutras. A concordância com os resultados encontrados por ANDRÉ (1) foi muito boa para condições instáveis e estáveis.

Também as razões entre os coeficientes de difusividade turbulenta foram razoavelmente concordantes com os autores anteriormente citados.

O balanço de energia mostrou uma relação mais direta entre o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo. Para os fluxos de calor sensível e latente, evidenciou-se a presença de um mecanismo advectivo predominante, justificando a defasagem entre esses dois fluxos. As condições físicas locais parecem confirmar tal mecanismo.

A condutividade térmica do solo foi estimada para a camada entre 0,02 e 0,05 m, a partir do fluxo de calor no solo e do gradiente de temperatura medido para aquela camada. Encontrou-se um valor igual a $5,96 \times 10^{-3} \text{ cal cm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ s}^{-1}$, o que corresponde, segundo GEIGER (7), aos solos argilosos úmidos. Esse tipo de solo foi o mesmo do local do experimento. Como o fluxo de calor no solo foi estimado por resíduo, pode-se concluir que os resultados encontrados são, pelo menos, razoáveis, apesar das limitações deste estudo.

A razão de Bowen evidenciou o predomínio do calor sensível sobre o latente. Em média essa razão apresentou resultados não esperados, tendo em vista o sinal negativo; entretanto, isso se justifica considerando-se a defasagem entre os fluxos de calor sensível e latente.

O albedo medido apresentou valores elevados próximo ao

nascer e pôr-do-sol, com uma média diária de 24%. Tais cifras expressam bem as condições da superfície, a que se refere a grama baixa e úmida.

Para melhor caracterizar micrometeorologicamente o local estudado, sugere-se para pesquisas futuras:

1- realizar medições mais detalhadamente planejadas e executadas, mediante o uso de sensores mais precisos, maior frequência de observações, maior número de parâmetros etc;

2- de posse de dados qualitativos e quantitativamente melhores, estimar todos os parâmetros derivados, visando confirmar ou corrigir os resultados aqui apresentados;

3- outros parâmetros, como os específicos para condições estáveis, necessitam maior representatividade, pois os resultados aqui discutidos são totalmente insuficientes;

4- particularmente, o balanço de energia necessita ser mais bem conhecido, em especial para condições atmosféricas diversificadas;

5- o comportamento térmico do solo, incluindo o estudo da onda de calor e dos fluxos, em diferentes profundidades e para o ciclo diário, exige estudos específicos, através dos quais as propriedades térmicas do solo serão estimados com mais rigor;

6- os perfis verticais, tanto de temperatura, quanto do vento deverão ser atenciosamente pesquisados, tendo em vista o papel que desempenham nos fluxos;

7- também os fluxos de calor latente deverão merecer ênfase, por serem extremamente importantes nas atividades de secagem e armazenamento de produtos agrícolas.

6. LITERATURA CITADA

1. ANDRÉ, R.G.B. *Um estudo dos transportes verticais de momentum, calor sensível e vapor d'água sobre superfície vegetada nos trópicos*. São José dos Campos, INPE, 1980. 112 p. (Tese de Doutorado).
2. BUSINGER, J.A. The need for boundary-layer measurements and their significance for solving atmospheric problems. *Atmospheric Technology*, (7): 2-6, 1975.
3. BUSINGER, J.A.; WYNGAARD, J.C.; IZUMI, Y. & BRADELEY, B. E.F. Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. *Journal of Atmospheric Science*, 2(28): 181-189, 1971.
4. BUSINGER, J.A. Turbulent transfer in the atmospheric surface layer. IN: Haugen, D.A., ed. *Workshop on micrometeorology*. Boston, American Meteorological Society, 1973. 392 p.
5. FLEAGLE, R.G. & BUSINGER, J.A. *An introduction to atmospheric physics*. 6 ed. New York, Academic Press, 1974. 346 p.
6. FRANCY, R.J. & GARRATI, J.R. Interpretation of flux-profile observations at ITCE (1976). *Journal of Applied Meteorology*, 8(20): 603-617, 1981.
7. GEIGER, R. *The climate near the ground*. 4th. ed. Cambridge, Harvard University Press, 1973. 611 p.
8. HALSTEAD, M.H. The fluxes of momentum, heat, and water vapor in micrometeorology. *Publication in Climatology*, 7(7): 326-361, 1954.
9. HALSTEAD, M.H. & CLAYTON, W.H. Evaluation of the fluxes of sensible and latent heat from measurement of wind,

- temperature and dew point profiles. *Geophysical Research papers*, 59: 97-122, 1958.
10. HALTINER, G.J. & MARTIN, F.L. *Dynamical and physical meteorology*. New York, Mc Graw - Hill Book Co., 1957. 470 p.
 11. HESS, S.L. *Introduction to theoretical meteorology*. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1959. 362 p.
 12. ISRAEL. *Curso internacional de meteorologia agrícola para post-graduados*. Ministério de Relaciones Exteriores. 1980. SP (Notas de aulas).
 13. KAIMAL, J.C. Sensors and techniques for direct measurement of turbulent fluxes and profiles in the atmospheric surface layer. *Atmospheric Technology*, (7): 7 -14, 1957.
 14. KAO, S.K. Turbulent transfer in the boundary layer of a stratified fluid. *Journal of Meteorology*. 16(5): 497-509, 1959.
 15. LEE, R. *Forest microclimatology*. Columbia, University Press, 1978. 310 p.
 16. NIELS, E.B. On the mechanics of atmospheric turbulence. In: Haugen, D.A., ed. *Workshop on Micrometeorology*. Boston, American Meteorological Society. 1973. 392 p.
 17. OBUKHOV, A.M. Turbulence in an atmosphere with a non-uniform temperature. *Boundary Layer Meteorology*, (2): 7-29, 1971.
 18. PLATE, E.J. *Aerodynamical characteristics of atmospheric boundary layers*. Illinois, Argonne National Laboratory. 1971. 193 p.
 19. PRIESTLEY, C.H.B. *Turbulent transfer in the lower atmosphere*. Chicago, The University of Chicago Press, 1959. 130 p.
 20. ROBINSON, N. *Solar energy*. Amsterdam, Elsevier Publishing Company, 1966. 347 p.
 21. ROSENBERG, N.J. *Microclimate: the biological environment*. New York, John Wiley & Sons, 1974. 315 p.
 22. SHAW, R.H. *Micrometeorology*. Purdue University, 1977. 136 p. (Class Notes).
 23. SELLERS, W.D. *Physical climatology*. Chicago, The University of Chicago Press. 1965. 272 p.
 24. SUTTON, O.G. *Micrometeorology*. New York, Mc Graw - Hill Book Co., 1953. 333 p.

25. TANNER, C.B. Evaporation of water from plants and Soils. In: Kozlowski, T. T., ed. *Water deficit and plant growth*. New York, Academic Press, 1968. p. 73 - 106.
26. TENNEKES, H. & LUMLEY, J.L. *A first course in turbulence*. Cambridge, M.I.T. Press. 1972. 300 p.
27. VIANELLO, R.L.; RAO, T.V.R.; NOGUEIRA, J.M. *Comportamento Térmico do Solo de Viçosa-MG*. São José dos Campos, INPE, 1971. 21 p.
28. WEBB, E.K. Aerial Microclimate. IN: American Meteorological Society, ed. *Meteorological Monographs. Agricultural-Meteorology*. Boston, American Meteorological Society. 1965. 188 p.

APENDICE A

Valores médios horários, calculados a partir dos dados originais e respectivas figuras.

QUADRO A.1 - Dados horários de temperatura do ar, a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 19 de abril de 1982.

Dias	Horas	Temperatura do Ar (Bulbo Seco) (°C)			Temperatura do Ar (Bulbo Úmido) (°C)		
		0,4 m	1,6 m	3,2 m	0,4 m	1,6 m	3,2 m
17/04/82	10:00	22,10	20,84	20,56	17,72	17,42	17,24
	11:00	24,70	23,42	22,10	19,10	18,62	18,30
	12:00	25,16	23,64	22,68	18,90	18,44	18,20
	13:00	23,28	22,50	21,92	17,84	17,80	17,52
	14:00	21,80	20,92	20,76	16,88	16,92	16,60
	15:00	21,34	20,76	20,80	17,34	17,28	16,92
	16:00	20,38	20,08	20,18	17,22	17,20	16,90
	17:00	20,04	19,92	20,12	17,48	17,52	17,28
	18:00	19,72	19,68	19,92	17,56	17,64	17,42
	19:00	19,00	18,96	18,88	17,16	17,48	17,36
	20:00	18,36	18,36	18,12	16,60	17,08	17,04
	21:00	16,56	16,58	16,40	15,86	16,52	16,40
	22:00	16,18	16,16	15,94	15,58	16,14	15,94
	23:00	15,56	15,54	15,30	14,74	15,54	15,30
24:00	15,67	15,52	15,30	14,97	15,52	15,30	
18/04/82	01:00	16,34	16,38	16,22	15,40	16,04	16,20
	02:00	17,48	17,48	17,28	16,18	16,58	16,72
	03:00	17,56	17,50	17,12	16,26	16,74	16,82

Continua...

QUADRO A.1 - Continuação

Dias	Horas	Temperatura do Ar (Bulbo Seco) (°C)			Temperatura do Ar (Bulbo Úmido) (°C)		
		0,4 m	1,6 m	3,2 m	0,4 m	1,6 m	3,2 m
18/04/82	04:00	17,28	17,26	16,84	15,96	16,56	16,62
	05:00	17,32	17,32	16,94	16,04	16,60	16,72
	06:00	17,90	17,86	17,64	16,66	16,96	17,00
	07:00	18,92	18,90	18,82	17,68	17,68	17,58
	08:00	19,98	19,44	19,32	18,18	17,92	17,84
	09:00	21,08	20,00	19,44	18,28	17,88	17,80
	10:00	22,50	21,25	20,75	18,55	18,25	17,90
	13:00	22,20	21,12	21,30	17,20	16,87	16,67
	14:00	23,08	21,72	21,28	17,72	17,36	17,08
	15:00	22,40	21,13	21,07	17,47	17,00	16,73
	17:00	18,80	18,93	19,13	15,93	16,20	16,00
	18:00	16,00	16,12	16,20	15,20	15,80	15,68
19:00	15,30	15,40	15,30	13,73	15,00	15,27	
19/04/82	06:00	19,90	20,00	19,73	18,80	18,80	18,87
	07:00	20,72	20,68	20,40	19,04	19,04	19,00
	08:00	20,76	20,12	19,84	18,32	18,20	18,20
	09:00	20,05	19,10	18,60	17,90	17,40	17,25

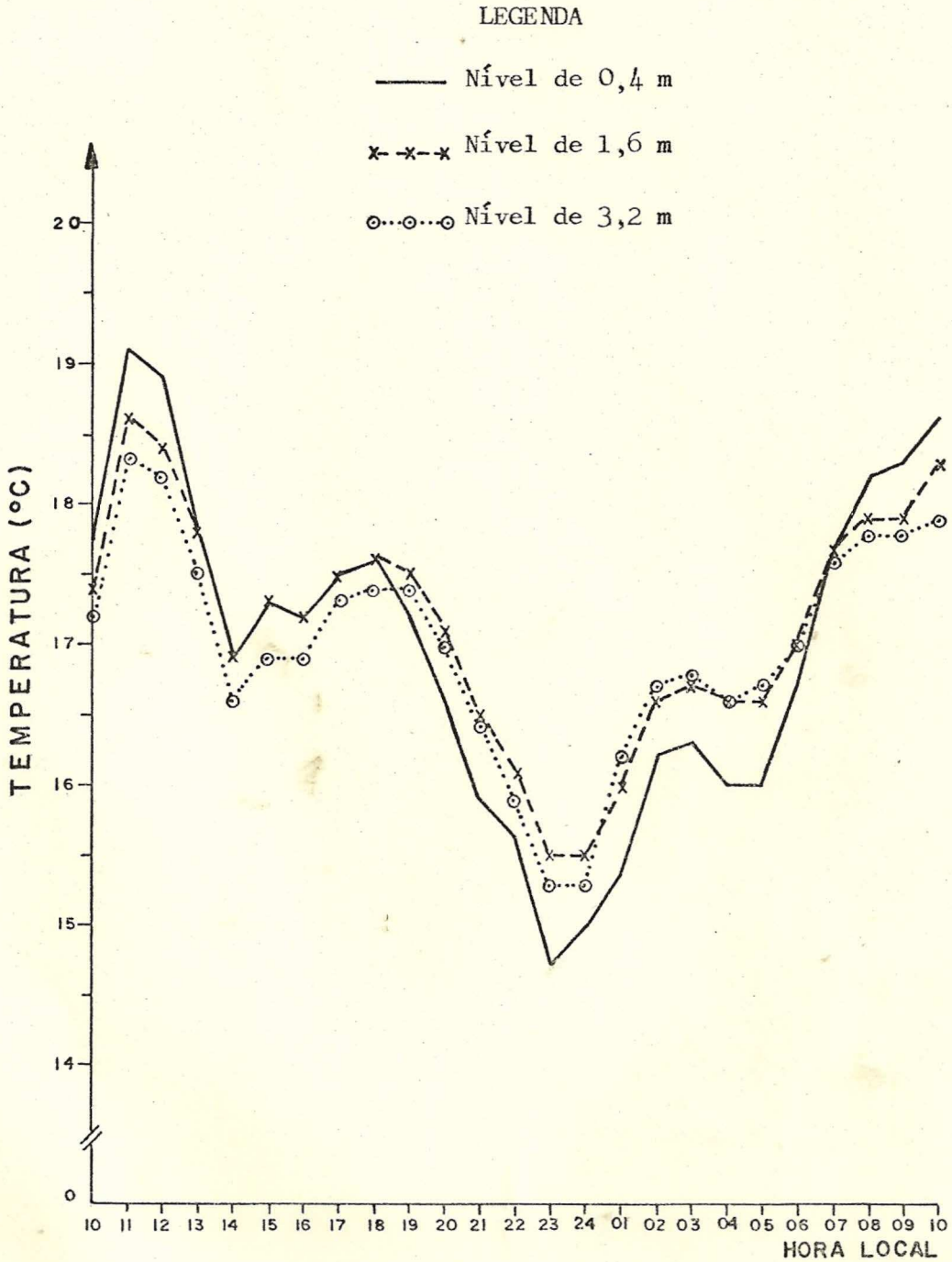


FIGURA A2. Variação diária da temperatura do bulbo úmido, a diferentes níveis, observados em Viçosa - MG, de 17 a 18 de abril de 1982.

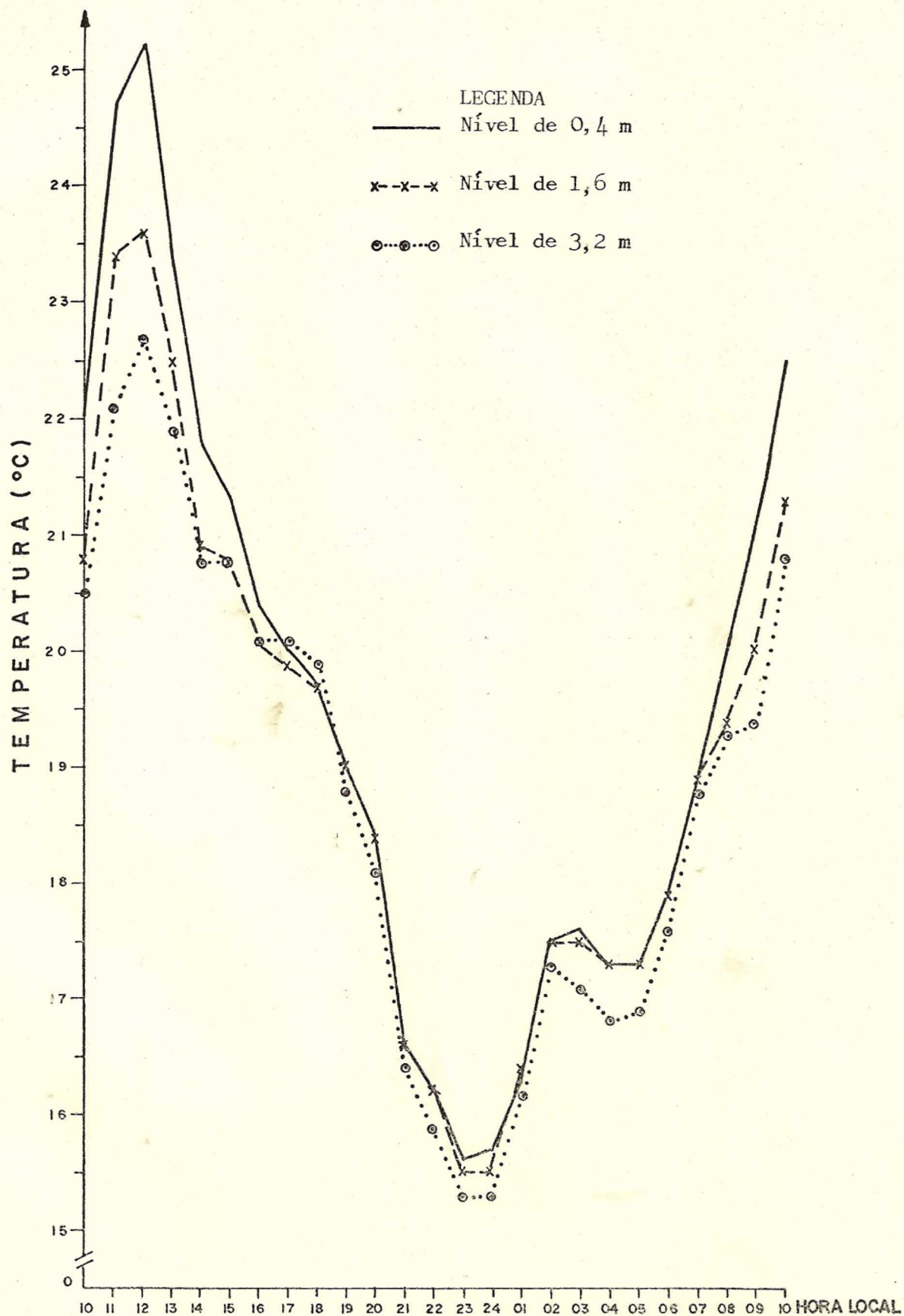


FIGURA A1. Variação diária da temperatura do ar, a diferentes níveis, observados em Viçosa - MG, de 17 a 18 de abril de 1982.

QUADRO A.2 - Continuação

Dias	Horas	Velocidade do Vento (m s^{-1})			Umidade Relativa (%)		
		0,4 m	1,6 m	3,2 m	0,4 m	1,6 m	3,2 m
18/04/82	04:00	0,42	1,12	1,34	86,8	93,0	97,8
	05:00	0,30	0,80	1,12	87,2	92,8	97,8
	06:00	0,32	0,90	1,06	87,6	91,0	93,6
	07:00	0,64	1,06	1,56	87,8	88,0	87,8
	08:00	1,00	1,64	1,96	83,0	85,2	85,6
	09:00	1,08	1,88	2,08	75,4	80,2	84,2
	10:00	1,32	2,15	2,42	67,5	74,0	74,5
	13:00	0,87	1,37	2,20	58,7	62,7	62,3
	14:00	1,64	2,52	2,76	56,6	63,0	63,6
	15:00	1,83	2,80	3,07	59,0	64,3	62,3
	17:00	0,33	0,89	1,45	73,3	75,0	71,0
	18:00	0,02	0,52	0,64	91,2	96,8	94,8
19:00	0,10	0,77	0,93	93,0	95,7	99,3	
19/04/82	06:00	0,53	0,20	1,17	89,3	88,7	92,0
	07:00	0,68	0,36	1,72	85,2	85,6	87,6
	08:00	0,96	1,82	2,16	78,0	82,2	84,6
	09:00	1,25	2,13	2,35	79,8	83,3	86,8

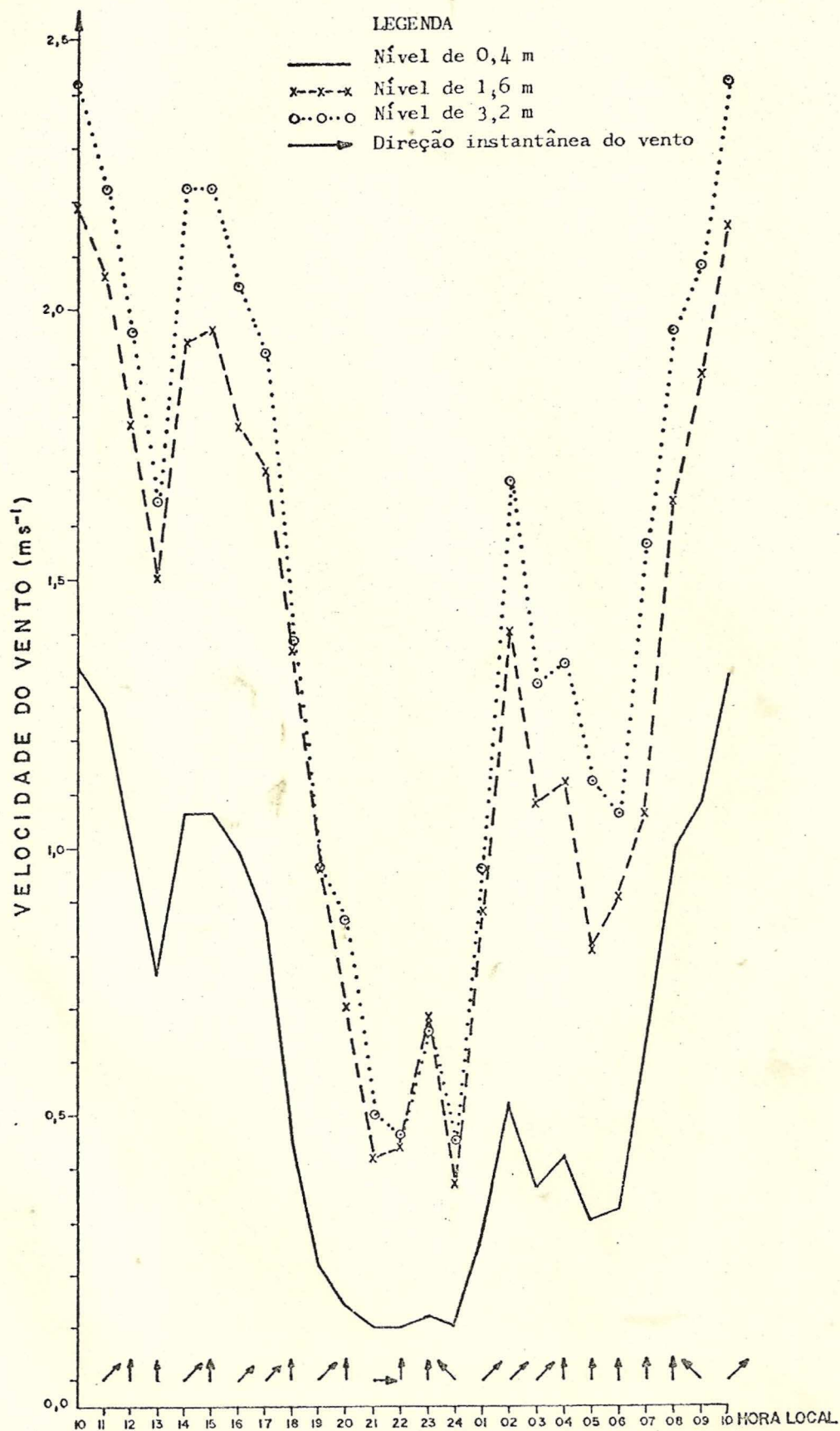


FIGURA A3. Variação diária da velocidade do vento, a diferentes níveis, observados em Viçosa - MG, de 17 a 18 de abril de 1982.

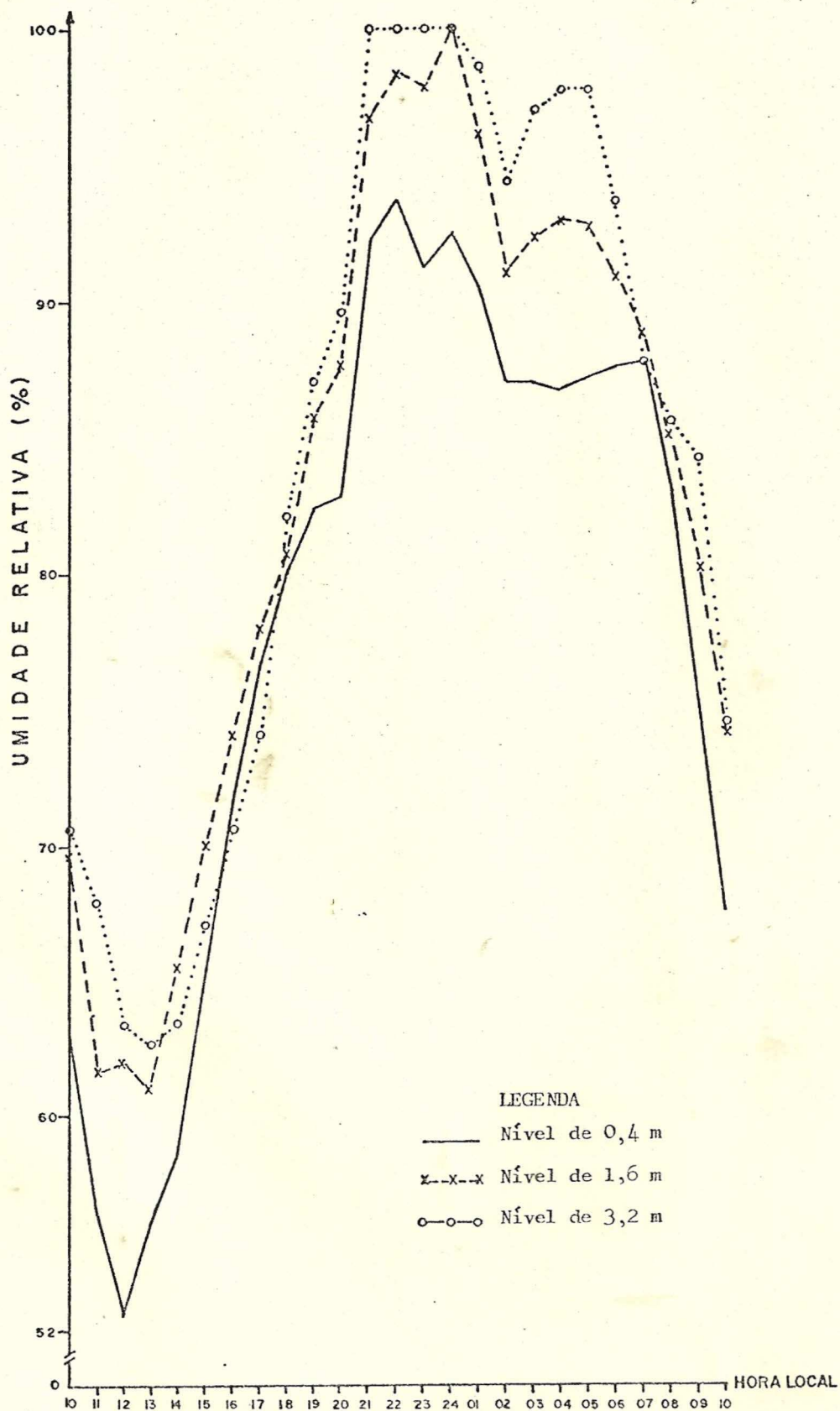


FIGURA A4. Variação diária da umidade relativa, a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 18 de abril de 1982.

QUADRO A.3 - Dados horários de temperatura do solo, a diferentes profundidades, observados em Viçosa-MG, de 17 a 19 de abril de 1982.

Dias	Horas	Temperatura do Solo (°C)						
		0,02 m	0,05 m	0,1 m	0,2 m	0,3 m	0,5 m	1,0 m
17/04/82	10:00	24,64	23,08	23,90	23,20	23,58	23,84	22,74
	11:00	27,48	23,98	23,62	23,00	23,40	23,62	22,88
	12:00	28,88	24,52	22,58	22,16	22,42	22,66	22,56
	13:00	27,88	24,80	22,04	21,80	21,84	22,12	22,68
	14:00	25,28	24,28	21,72	21,68	21,56	21,70	22,80
	15:00	24,48	24,04	22,04	22,12	21,80	21,96	23,16
	16:00	23,76	23,88	22,28	22,56	22,14	22,24	23,36
	17:00	23,16	23,84	22,72	23,08	22,68	22,66	23,68
	18:00	22,60	23,64	23,00	23,32	22,92	22,88	23,74
	19:00	21,88	23,12	22,80	23,16	22,80	22,76	23,36
	20:00	21,66	22,78	22,94	23,24	22,96	22,82	23,18
	21:00	20,52	22,26	22,68	22,94	22,74	22,58	22,76
	22:00	20,14	22,20	23,08	23,20	23,06	22,96	22,84
	23:00	19,04	21,18	22,54	22,48	22,50	22,46	21,82
24:00	19,43	21,48	23,15	22,98	23,08	23,05	22,33	
18/04/82	01:00	19,74	21,84	23,76	23,44	23,64	23,68	22,74
	02:00	20,10	22,10	24,16	23,70	24,02	24,14	22,94
	03:00	20,22	21,98	24,16	23,58	23,96	24,10	22,74

Continua...

QUADRO A.3 - Continuação

Dias	Horas	Temperatura do Solo (°C)						
		0,02 m	0,05 m	0,1 m	0,2 m	0,3 m	0,5 m	1,0 m
18/04/82	04:00	19,82	21,72	24,12	23,40	23,80	24,02	22,58
	05:00	19,78	21,62	24,16	23,38	23,84	24,06	22,48
	06:00	20,30	21,78	24,36	23,46	24,00	24,28	22,56
	07:00	21,48	22,46	24,92	23,88	24,42	24,74	23,00
	08:00	22,80	22,94	25,06	24,00	24,48	24,84	23,12
	09:00	23,96	23,00	24,60	23,60	24,16	24,52	22,92
	10:00	26,30	23,25	23,85	22,95	23,55	23,85	22,50
	13:00	26,00	23,30	21,60	21,07	21,13	21,50	21,87
	14:00	27,52	24,32	22,28	21,80	21,76	22,08	22,60
	15:00	26,67	24,47	22,07	21,67	21,60	21,87	22,73
	17:00	21,73	23,00	21,60	21,73	21,27	21,40	22,60
	18:00	21,16	22,64	21,48	21,76	21,32	21,32	22,60
	19:00	21,40	22,53	22,13	22,40	21,93	22,00	22,87
19/04/82	06:00	22,13	23,40	26,47	25,27	25,93	26,33	24,13
	07:00	22,76	23,72	26,60	25,32	25,92	26,32	24,32
	08:00	22,44	22,72	25,36	24,16	24,76	25,20	23,28
	09:00	23,00	21,90	24,05	22,80	23,40	23,85	22,00

APÉNDICE B

Dados observados e calculados, a intervalos de 15 minutos.

DRO B.1 - Dados instantâneos de temperatura do ar, a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 19 de abril de 1982.

s	Horas	Temperatura do Ar (Bulbo Seco) (°C)						Temperatura do Ar (Bulbo Úmido) (°C)					
		0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m	0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m
	9:30	21,8	21,4	21,2	20,4	20,2	19,8	18,3	17,0	16,7	16,6	16,6	16,6
	9:45	21,9	22,0	21,0	20,3	20,7	20,3	18,6	17,7	17,5	17,4	17,5	17,2
	10:00	22,4	21,5	21,3	20,5	20,3	20,2	18,2	18,0	17,8	17,7	17,7	17,4
	10:15	22,2	21,8	21,7	20,7	21,0	20,5	18,6	17,6	17,4	17,4	17,5	17,2
	10:30	23,5	23,8	23,3	22,3	22,2	22,0	19,2	18,3	18,1	18,0	18,0	17,8
	10:45	26,7	25,7	25,0	24,5	23,7	23,0	20,8	19,9	19,6	19,6	19,4	19,2
	11:00	24,1	23,0	23,2	22,2	21,2	20,4	19,6	18,4	18,2	18,3	18,3	17,9
	11:15	26,6	26,2	25,6	24,9	24,3	23,5	19,6	20,7	19,7	19,2	19,2	19,0
	11:30	26,2	24,8	24,4	23,2	22,4	21,6	19,0	18,2	17,8	18,0	17,8	17,6
	11:45	26,4	25,0	25,0	23,8	23,2	22,6	20,0	19,7	18,7	18,6	18,8	18,6
	12:00	26,2	25,0	23,5	23,2	22,5	22,4	18,8	19,0	18,5	18,4	18,2	18,2
	12:15	26,3	26,4	26,4	24,8	24,5	24,4	19,2	18,8	18,6	18,6	18,6	18,4
	12:30	25,0	24,6	24,0	23,2	23,0	22,4	19,0	18,8	18,6	18,6	18,6	18,2
	12:45	23,8	23,4	23,6	22,7	22,2	21,8	18,0	18,0	17,8	17,8	18,0	17,6
	13:00	23,8	22,8	22,8	22,0	21,8	21,8	18,0	18,0	17,8	17,6	17,8	17,2
	13:15	23,6	23,0	23,2	23,0	22,6	22,2	17,8	17,4	17,6	18,0	18,2	17,8
	13:30	23,8	22,6	22,6	21,6	21,4	21,4	17,2	17,0	17,0	17,0	17,0	16,8
	13:45	22,8	21,8	21,6	20,8	21,0	20,6	17,0	16,8	16,8	16,8	16,8	16,4
	14:00	22,0	21,4	21,0	20,6	20,4	20,4	16,6	16,6	16,6	16,6	16,8	16,4
	14:15	21,6	21,0	20,8	20,4	20,2	20,2	16,8	16,8	16,8	17,0	17,0	16,6
	14:30	22,8	22,2	21,8	21,2	21,2	21,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	16,8

Continua...

DRO B.1 - Continuação

s	Horas	Temperatura do Ar (Bulbo Seco) (°C)						Temperatura do Ar (Bulbo Úmido) (°C)					
		0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m	0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m
	14:45	21,8	21,4	21,2	20,8	20,6	20,8	17,2	17,2	17,0	17,0	17,2	16,8
	15:00	20,8	20,6	20,6	20,4	20,4	20,6	16,8	17,2	17,2	17,2	17,2	16,8
	15:15	21,8	21,8	21,6	21,2	21,2	21,2	18,0	17,8	17,8	17,8	17,8	17,4
	15:30	21,0	20,7	20,4	20,2	20,2	20,2	17,2	17,3	17,2	17,2	17,2	16,8
	15:45	20,8	20,4	20,4	20,2	20,0	20,2	17,2	17,0	17,0	17,0	17,0	16,7
	16:00	20,8	20,6	20,4	20,2	20,2	20,3	17,4	17,2	17,2	17,2	17,4	17,0
	16:15	20,4	20,2	20,2	20,0	20,0	20,2	17,4	17,4	17,4	17,4	17,3	17,0
	16:30	20,2	20,0	19,8	19,8	20,0	20,0	17,4	17,2	17,2	17,2	17,2	17,0
	16:45	20,2	20,0	20,0	19,8	20,0	20,0	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,2
	17:00	20,2	20,2	20,0	20,0	20,2	20,2	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,4
	17:15	20,2	20,0	20,0	20,0	20,0	20,2	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,4
	17:30	20,0	20,0	20,0	20,0	20,2	20,2	17,6	17,6	17,8	17,8	17,7	17,4
	17:45	19,6	19,6	19,6	19,6	19,8	20,0	17,4	17,6	17,6	17,6	17,6	17,4
	18:00	19,8	19,8	19,6	19,6	19,8	19,8	17,4	17,6	17,6	17,8	17,6	17,5
	18:15	19,8	19,8	19,6	19,8	19,8	20,0	17,4	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
	18:30	19,4	19,4	19,4	19,4	19,6	19,6	17,2	17,4	17,4	17,4	17,4	17,2
	18:45	19,4	19,4	19,4	19,4	19,2	19,2	17,2	17,4	17,6	17,6	17,8	17,6
	19:00	19,0	19,2	19,0	19,0	18,8	18,8	16,8	17,2	17,4	17,6	17,6	17,4
	19:15	18,4	18,4	18,4	18,4	18,2	18,2	16,6	17,0	17,2	17,6	17,6	17,4
	19:30	18,6	18,6	18,6	18,6	18,4	18,6	16,6	16,8	17,0	17,2	17,2	17,2
	19:45	18,6	18,8	18,6	18,8	18,6	18,6	16,6	16,8	17,0	17,2	17,2	17,2
	20:00	18,0	18,2	18,2	18,2	18,0	18,0	16,2	16,3	16,6	16,8	16,8	16,8

Continua...

DRO B.1 - Continuação

s	Horas	Temperatura do Ar (Bulbo Seco)(°C)						Temperatura do Ar(Bulbo Úmido)(°C)					
		0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m	0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m
	20:15	18,2	18,4	18,4	18,4	18,1	18,0	16,6	16,7	17,0	17,2	17,3	17,2
	20:30	17,7	17,8	17,6	17,8	17,6	17,4	16,6	16,4	16,6	17,0	17,0	16,8
	20:45	16,8	16,9	16,9	16,9	16,7	16,6	15,5	15,8	16,1	16,6	16,6	16,6
	21:00	15,6	15,8	15,8	15,8	15,6	15,6	15,1	15,4	15,7	15,8	15,6	15,6
	21:15	16,5	16,6	16,5	16,6	16,6	16,6	15,7	16,1	16,5	16,6	16,6	16,6
	21:30	15,7	15,7	15,6	15,8	15,8	15,8	15,6	15,6	15,6	15,8	15,8	15,8
	21:45	15,8	16,0	16,0	16,0	15,8	15,8	15,0	15,2	15,6	16,0	15,8	15,8
	22:00	16,3	16,6	16,6	16,6	16,3	16,2	15,4	15,7	16,0	16,3	16,3	16,2
	22:15	15,7	16,0	15,9	15,8	15,6	15,7	15,2	15,6	15,8	15,8	15,6	15,7
	22:30	16,4	16,6	16,6	16,6	16,2	16,2	15,2	15,8	16,1	16,5	16,2	16,2
	22:45	16,2	16,5	16,5	16,6	16,5	16,5	15,3	15,7	16,0	16,3	16,4	16,5
	23:00	15,8	16,0	16,1	16,1	15,8	15,8	13,5	14,6	15,2	15,8	15,8	15,8
	23:15	14,0	14,2	14,2	14,2	14,0	14,3	13,8	13,6	13,9	14,2	14,0	14,3
	23:30	14,5	14,5	14,2	14,2	13,8	13,7	14,3	14,0	14,2	14,2	13,8	13,7
	23:45	Falta de carga no terminal digital											
	24:00	16,0	16,2	16,2	16,1	15,9	16,0	15,2	15,4	15,7	16,0	15,9	16,0
	00:15	16,0	16,2	16,1	16,0	15,8	15,8	15,2	15,2	15,6	16,0	15,8	15,8
	00:30	15,6	15,8	15,8	15,8	15,6	15,7	14,8	15,3	15,6	15,8	15,6	15,7
	00:45	15,7	16,0	16,2	16,1	16,0	16,0	14,9	15,3	15,6	16,0	16,0	16,0
	01:00	16,2	16,3	16,3	16,4	16,2	16,2	15,6	15,3	15,6	15,9	16,0	16,0
	01:15	16,6	16,8	16,8	16,8	16,6	16,6	15,9	15,6	15,9	16,2	16,3	16,4
	01:30	16,5	16,8	16,9	16,8	16,7	16,6	15,8	15,5	15,8	16,1	16,2	16,3

Continua...

DRO B.1 - Continuação

Horas	Temperatura do Ar (Bulbo Seco) (°C)						Temperatura do Ar (Bulbo Úmido) (°C)					
	0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m	0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m
01:45	17,1	17,1	17,2	17,2	16,9	16,9	16,2	15,8	16,1	16,3	16,5	16,5
02:00	17,8	17,9	17,9	18,0	17,9	17,9	16,7	16,6	16,7	16,8	16,9	16,9
02:15	17,6	17,8	17,8	17,7	17,6	17,4	16,4	16,5	16,6	16,8	16,9	16,9
02:30	17,6	17,8	17,8	17,7	17,6	17,6	16,6	16,5	16,7	16,9	17,0	17,0
02:45	17,7	17,8	17,8	17,7	17,5	17,2	16,6	16,4	16,6	16,8	16,9	17,0
03:00	17,6	17,6	17,7	17,7	17,5	17,2	16,6	16,4	16,6	16,8	16,9	16,9
03:15	16,8	17,0	17,0	17,0	16,6	16,6	15,8	16,0	16,2	16,6	16,6	16,6
03:30	17,6	17,6	17,5	17,4	17,2	17,0	16,0	16,0	16,3	16,6	16,6	16,6
03:45	17,2	17,4	17,4	17,4	17,2	17,0	15,9	16,0	16,2	16,6	16,6	16,6
04:00	17,0	17,2	17,2	17,2	17,0	16,8	15,8	15,8	16,1	16,4	16,5	16,6
04:15	16,8	17,0	17,0	17,1	16,8	16,6	16,0	16,0	16,3	16,6	16,6	16,6
04:30	17,2	17,2	17,2	17,2	16,8	16,8	16,3	16,0	16,3	16,6	16,6	16,7
04:45	17,5	17,6	17,6	17,6	17,4	17,3	16,6	16,4	16,6	16,8	16,9	17,0
05:00	17,6	17,8	17,8	17,7	17,4	17,2	16,4	16,2	16,6	16,8	16,8	16,8
05:15	16,8	17,2	17,2	17,3	17,1	16,8	15,7	15,8	16,2	16,4	16,5	16,6
05:30	16,7	16,8	16,8	16,8	16,6	16,6	15,6	15,8	16,0	16,4	16,5	16,5
05:45	18,0	18,0	18,0	17,8	17,6	17,6	16,6	16,6	16,7	17,0	17,0	17,0
06:00	18,3	18,4	18,4	18,4	18,1	18,0	16,8	16,8	16,9	17,1	17,2	17,2
06:15	18,0	18,1	18,1	18,1	18,0	18,0	17,0	16,9	17,0	17,0	17,1	17,1
06:30	18,3	18,2	18,2	18,2	18,2	18,0	17,3	17,2	17,2	17,3	17,4	17,2
06:45	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,2	17,4	17,3	17,3	17,3	17,3	17,2
07:00	19,0	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,6

Continua...

DRO B.1 - Continuação

Horas	Temperatura do Ar (Bulbo Seco) (°C)						Temperatura do Ar (Bulbo Úmido) (°C)					
	0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m	0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m
07:15	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	18,0	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
07:30	20,0	19,9	19,8	19,8	19,8	19,8	18,4	18,3	18,2	18,2	18,2	18,1
07:45	19,6	19,6	19,2	19,2	19,2	19,2	18,7	18,3	18,2	18,0	18,0	17,8
08:00	20,3	20,2	19,7	19,4	19,4	19,4	18,6	18,5	18,3	18,2	18,2	18,1
08:15	20,4	20,2	20,0	19,6	19,6	19,4	18,6	18,0	17,8	17,6	17,8	17,6
08:30	20,2	20,0	19,8	19,2	19,0	18,8	18,4	17,8	17,8	17,6	17,8	17,6
08:45	20,4	20,0	19,6	19,4	19,2	19,2	18,6	18,0	17,8	17,8	17,8	17,6
09:00	21,0	20,4	19,8	19,4	19,0	18,8	18,2	18,0	17,8	17,6	17,8	17,6
09:15	24,2	23,2	23,2	21,8	21,6	21,2	20,0	19,2	18,8	18,8	18,8	18,6
09:30	22,6	21,8	21,2	20,2	19,4	19,2	17,8	18,4	18,0	17,6	17,8	17,6
09:45	23,8	22,6	21,8	21,2	22,5	21,6	19,8	18,8	18,6	18,6	18,6	18,2
10:00	25,6	24,2	24,0	22,2	22,4	21,6	20,0	18,6	18,4	18,2	18,2	17,8
10:15	23,6	21,4	21,0	21,4	20,8	20,6	17,6	18,4	18,4	18,6	18,6	18,0
13:00	21,0	20,6	20,0	20,0	20,0	20,2	15,6	16,0	15,8	15,8	16,1	15,6
13:15	23,7	24,6	23,5	23,1	23,7	23,5	18,4	18,6	18,0	18,0	18,4	17,8
13:30	22,8	21,4	20,8	20,4	20,2	20,2	17,2	17,0	16,8	16,8	17,0	16,6
13:45	23,4	22,4	22,2	21,8	21,4	21,4	17,2	17,4	17,2	17,2	17,6	17,0
14:00	26,2	25,0	24,6	23,2	22,6	21,8	19,6	18,6	18,6	18,4	18,6	18,0
14:15	24,4	23,4	22,0	21,6	21,0	21,0	17,8	17,8	17,6	17,4	17,4	17,0
14:30	24,8	23,2	22,6	21,6	21,0	22,0	18,2	17,8	17,4	17,0	17,2	16,8
14:45	23,3	22,6	22,2	21,4	20,8	20,4	17,8	17,6	17,2	17,2	17,2	16,8
15:00	21,8	21,4	21,4	20,4	20,2	20,8	16,6	17,0	16,8	16,8	16,8	16,6

Continua...

DRO B.1 - Continuação

s	Horas	Temperatura do Ar (Bulbo Seco) (°C)						Temperatura do Ar (Bulbo Úmido) (°C)					
		0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m	0,2m	0,4m	0,8m	1,6m	2,4m	3,2m
	17:00	19,6	19,6	19,8	19,8	19,8	20,0	15,6	16,2	16,2	16,2	16,6	16,0
	17:15	19,2	19,4	19,2	19,4	19,4	19,6	15,2	15,8	15,8	16,0	16,0	15,8
	17:30	17,4	17,4	17,6	17,6	17,6	17,8	14,8	15,8	16,0	16,4	16,4	16,2
	17:45	15,6	15,8	16,0	16,0	16,0	16,2	13,8	15,2	15,4	16,0	16,0	15,8
	18:00	15,8	16,0	16,2	16,2	16,0	16,2	14,4	15,2	15,6	15,8	15,8	15,6
	18:15	15,2	15,6	15,6	15,6	15,4	15,6	13,6	15,2	15,4	15,6	15,4	15,6
	18:30	14,8	15,2	15,2	15,2	15,0	15,2	13,4	14,6	15,0	15,2	15,0	15,2
	18:45	15,4	15,6	15,4	15,6	15,4	15,6	13,8	12,0	14,8	15,0	15,4	15,4
	19:00	15,2	15,2	15,4	15,4	15,4	15,2	14,2	14,6	14,4	14,8	15,0	15,2
	06:00	18,2	18,4	18,6	18,4	18,4	18,2	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4
	06:15	20,2	20,4	20,4	20,4	20,6	20,4	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
	06:30	21,0	21,0	21,2	21,2	21,2	20,6	20,0	19,8	19,8	19,8	20,0	20,0
	06:45	20,4	20,4	20,6	20,6	20,4	20,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
	07:00	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,6	18,8	18,8	18,6	18,8	18,8	18,6
	07:15	19,8	19,6	19,6	19,6	19,4	19,2	18,4	18,2	18,2	18,2	18,2	18,0
	07:30	23,0	22,8	22,6	22,2	22,6	22,4	20,0	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
	07:45	20,4	20,0	20,0	19,6	19,4	19,2	18,2	18,0	17,8	18,0	18,0	18,0
	08:00	20,8	20,8	20,8	20,2	19,8	19,4	19,4	18,6	18,6	18,6	18,6	18,4
	08:15	20,6	20,2	19,8	19,4	19,2	19,4	18,4	18,0	18,0	17,8	18,0	18,0
	08:30	20,2	20,0	19,8	19,2	19,0	18,8	18,0	17,8	17,6	17,4	17,6	17,4
	08:45	20,6	19,8	19,4	19,0	18,6	18,0	18,4	17,8	17,8	17,2	17,4	17,0
	09:00	20,8	20,0	19,8	19,0	18,8	18,8	18,2	17,8	17,6	17,4	17,4	17,2
	09:15	21,4	20,4	19,6	19,2	19,0	18,8	18,8	18,2	17,8	17,6	17,8	17,4

QUADRO B.2 - Dados instantâneos de velocidade do vento e umidade relativa, a diferentes níveis, observados em Viçosa-MG, de 17 a 19 de abril de 1982.

Dias	Horas	Velocidade do Vento ($m s^{-1}$)			Umidade Relativa (%)		
		0,4m	1,6m	3,2m	0,4m	1,6m	3,2m
17/04/82	9:30	1,2	2,0	2,3	62	66	71
	9:45	1,5	2,4	2,6	64	74	73
	10:00	1,4	2,1	2,3	69	75	74
	10:15	1,3	2,2	2,4	64	70	71
	10:30	1,3	2,2	2,5	56	64	64
	10:45	1,3	2,1	2,3	56	62	69
	11:00	1,5	2,3	2,3	62	67	77
	11:15	1,3	2,1	2,2	59	57	63
	11:30	0,9	1,6	1,7	50	58	66
	11:45	1,4	2,2	2,5	59	59	67
	12:00	1,4	2,3	2,5	54	61	65
	12:15	0,7	1,4	1,6	45	53	54
	12:30	0,7	1,4	1,5	55	63	65
	12:45	1,2	2,0	2,2	57	59	64
	13:00	0,6	1,3	1,4	60	63	61
	13:15	0,5	1,1	1,2	54	59	63
	13:30	0,8	1,7	1,9	54	61	60
	13:45	1,2	2,1	2,4	57	65	63
	14:00	1,3	2,2	2,5	59	65	64
	14:15	0,7	1,5	1,8	63	70	68

Continua...

QUADRO B.2 - Continuação

Dias	Horas	Velocidade do Vento (m s^{-1})			Umidade Relativa (%)		
		0,4m	1,6m	3,2m	0,4m	1,6m	3,2m
17/04/82	14:30	1,3	2,2	2,5	59	66	62
	14:45	1,4	2,4	2,7	64	67	65
	15:00	1,0	1,8	2,0	70	72	66
	15:15	0,8	1,7	1,9	65	70	67
	15:30	0,8	1,7	1,9	69	73	69
	15:45	1,2	2,0	2,3	70	71	69
	16:00	0,7	1,5	1,7	70	73	71
	16:15	0,7	1,7	2,0	74	76	71
	16:30	1,1	2,0	2,3	75	77	73
	16:45	1,2	2,1	2,3	76	78	75
	17:00	0,7	1,5	1,7	76	78	74
	17:15	0,9	1,1	2,0	78	78	74
	17:30	0,4	1,8	1,3	78	79	74
	17:45	0,3	1,0	1,1	81	81	76
	18:00	0,6	1,5	1,7	80	83	79
	18:15	0,7	1,6	1,8	80	80	78
	18:30	0,3	0,9	1,0	81	81	78
	18:45	0,3	1,0	1,3	81	83	84
	19:00	0,3	0,9	1,1	81	86	86
	19:15	0,1	1,3	0,6	86	92	92
19:30	0,1	0,7	0,8	83	87	87	
19:45	0,2	1,0	1,2	81	85	87	
20:00	0,2	0,8	0,9	81	86	88	

Continua...

QUADRO B.2 - Continuação

Dias	Horas	Velocidade do Vento (m s^{-1})			Umidade Relativa (%)		
		0,4m	1,6m	3,2m	0,4m	1,6m	3,2m
17/04/82	20:15	0,1	0,6	0,8	83	88	92
	20:30	0,1	0,4	0,6	86	92	94
	20:45	0,1	0,6	0,7	85	92	94
	21:00	0,1	0,3	0,3	96	100	100
	21:15	0,1	0,5	0,7	95	100	100
	21:30	0,1	0,3	0,2	99	100	100
	21:45	0,1	0,5	0,5	91	100	100
	22:00	0,1	0,5	0,5	91	97	100
	22:15	0,1	0,4	0,5	96	100	100
	22:30	0,1	0,5	0,6	92	95	100
	22:45	0,2	1,4	0,9	92	97	100
	23:00	0,1	0,6	0,7	85	97	100
	23:15	0,1	0,6	0,7	93	100	100
	23:30	0,1	0,3	0,4	94	100	100
	23:45	-	-	-	-	-	-
	24:00	0,1	0,5	0,5	92	99	100
18/04/82	00:15	0,1	0,5	0,6	89	100	100
	00:30	0,1	0,2	0,3	95	100	100
	00:45	0,1	0,4	0,5	93	99	100
	01:00	0,2	1,1	0,8	90	95	98
	01:15	0,5	1,4	1,7	88	94	98
	01:30	0,4	1,3	1,5	87	93	97
	01:45	0,7	1,5	1,8	87	91	96

Continua...

QUADRO B.2 - Continuação

Dias	Horas	Velocidade do Vento ($m s^{-1}$)			Umidade Relativa (%)		
		0,4m	1,6m	3,2m	0,4m	1,6m	3,2m
18/04/82	02:00	0,6	1,6	1,9	87	88	90
	02:15	0,6	1,4	1,7	87	91	95
	02:30	0,3	1,2	1,5	87	92	94
	02:45	0,3	1,2	1,5	86	91	98
	03:00	0,5	1,4	1,6	88	91	97
	03:15	0,1	0,3	0,4	90	96	100
	03:30	0,6	1,3	1,5	84	92	96
	03:45	0,5	1,3	1,5	86	92	96
	04:00	0,4	1,2	1,4	86	92	98
	04:15	0,3	1,0	1,2	90	95	100
	04:30	0,3	0,8	1,1	88	94	99
	04:45	0,5	1,1	1,6	88	92	97
	05:00	0,4	1,0	1,4	84	91	96
	05:15	0,2	0,7	0,9	86	91	98
	05:30	0,1	0,4	0,6	90	96	99
	05:45	0,3	0,7	1,0	86	92	94
	06:00	0,4	1,1	1,2	84	87	92
	06:15	0,3	1,1	1,2	88	89	91
	06:30	0,5	1,2	1,3	90	91	92
	06:45	0,5	0,9	1,5	89	89	90
07:00	0,7	0,8	1,7	89	89	87	
07:15	0,6	1,3	1,5	86	86	86	
07:30	0,9	1,1	1,8	85	85	84	

Continua...

QUADRO B.2 - Continuação

Dias	Horas	Velocidade do Vento ($m s^{-1}$)			Umidade Relativa (%)		
		0,4m	1,6m	3,2m	0,4m	1,6m	3,2m
18/04/82	07:45	1,0	1,7	2,0	88	88	86
	08:00	1,1	1,9	2,1	84	88	87
	08:15	0,9	1,7	1,9	79	81	83
	08:30	1,1	1,8	2,0	79	84	88
	08:45	0,9	1,7	1,9	81	84	84
	09:00	1,1	2,0	2,1	78	83	88
	09:15	0,9	1,6	1,8	68	74	77
	09:30	1,4	2,3	2,6	71	76	84
	09:45	1,3	2,1	2,3	68	77	71
	10:00	1,3	2,1	2,4	57	67	67
	10:15	1,3	2,1	2,4	74	76	76
	13:00	-	-	-	60	62	60
	13:15	1,1	1,8	1,9	54	58	59
	13:30	1,5	2,3	2,5	62	68	68
	13:45	1,5	2,3	2,6	58	61	62
	14:00	1,7	2,6	2,9	52	61	67
	14:15	1,8	2,7	2,9	55	64	65
	14:30	1,7	2,7	2,9	56	61	56
	14:45	2,0	2,9	3,2	59	64	68
	15:00	1,8	2,8	3,1	62	68	63
17:00	0,6	-	-	69	68	64	
17:15	0,4	1,4	1,6	67	69	65	

Continua...

QUADRO B.2 - Continuação

Dias	Horas	Velocidade do Vento ($m s^{-1}$)			Umidade Relativa (%)		
		0,4m	1,6m	3,2m	0,4m	1,6m	3,2m
18/04/82	17:30	-	1,2	1,3	84	88	84
	17:45	-	0,3	0,5	93	100	96
	18:00	-	0,4	0,5	91	96	94
	18:15	-	0,3	0,4	95	100	100
	18:30	0,1	0,4	0,5	93	100	100
	18:45	0,1	0,7	0,9	93	93	98
	19:00	0,3	1,2	1,4	93	94	100
19/04/82	06:00	-	-	-	90	90	92
	06:15	0,7	0,5	1,5	89	89	89
	06:30	0,9	0,1	2,0	89	87	95
	06:45	0,6	-	1,6	89	88	91
	07:00	0,8	0,1	1,8	91	91	91
	07:15	0,7	0,6	1,8	87	87	88
	07:30	0,4	1,0	1,4	70	75	73
	07:45	1,0	1,9	2,3	81	85	88
	08:00	1,0	1,9	2,3	81	85	90
	08:15	1,2	2,1	2,3	79	84	86
	08:30	1,2	2,2	2,5	79	82	86
	08:45	1,2	2,0	2,2	81	83	90
	09:00	1,2	2,0	2,2	79	84	85
09:15	1,4	2,3	2,5	80	84	86	

QUADRO B.3 - Dados instantâneos de temperatura do solo, a diferentes profundidades, observados em Viçosa-MG, de 17 a 19 de abril de 1982.

Dias	Horas	Temperatura do Solo (°C)						
		0,02m	0,05m	0,1m	0,2m	0,3m	0,5m	1m
17/04/82	09:30	23,8	22,7	22,6	23,2	23,6	23,9	24,0
	09:45	24,5	23,0	22,8	23,3	23,7	24,0	24,1
	10:00	24,6	23,0	22,6	23,2	23,6	23,8	23,8
	10:15	24,7	23,2	22,7	23,0	23,4	23,7	23,8
	10:30	25,6	23,5	23,0	23,2	23,6	23,8	23,8
	10:45	28,0	24,6	23,8	24,0	24,4	24,6	24,6
	11:00	27,4	24,0	22,8	23,0	23,4	23,7	23,7
	11:15	28,4	24,2	22,8	22,8	23,2	23,4	23,4
	11:30	28,0	23,6	22,0	22,0	22,4	22,6	22,6
	11:45	29,6	25,2	23,4	23,2	23,5	23,7	23,6
	12:00	28,8	24,0	22,0	21,6	21,8	22,0	21,8
	12:15	29,4	25,2	23,0	22,4	22,6	22,8	22,8
	12:30	28,6	24,6	22,4	21,6	21,8	22,2	22,1
	12:45	29,2	25,4	23,2	22,4	22,4	22,8	22,6
	13:00	28,2	25,0	22,8	22,0	22,0	22,2	22,2
	13:15	27,2	24,4	22,4	21,4	21,4	21,6	21,6
	13:30	26,2	24,6	22,6	21,6	21,6	21,8	21,7
	13:45	25,8	24,4	22,8	21,6	21,6	21,6	21,8
	14:00	25,0	24,2	22,6	21,4	21,4	21,5	21,5
	14:15	24,6	24,0	22,8	21,6	21,4	21,6	21,6
14:30	24,8	24,2	23,2	22,2	21,8	22,0	22,0	
14:45	24,8	24,4	23,2	22,2	21,8	22,0	22,2	

Continua...

QUADRO B.3 - Continuação

Dias	Horas	Temperatura do Solo (°C)						
		0,02m	0,05m	0,1m	0,2m	0,3m	0,5m	1m
17/04/82	15:00	24,2	23,8	23,0	21,8	21,6	21,6	21,8
	15:15	24,4	24,0	23,2	22,2	22,0	22,2	22,2
	15:30	24,2	23,8	23,2	22,2	21,8	22,0	22,0
	15:45	23,8	23,8	23,2	22,4	22,0	22,2	22,2
	16:00	23,8	24,0	23,4	22,6	22,2	22,2	22,4
	16:15	23,6	24,0	23,6	22,8	22,3	22,4	22,4
	16:30	23,4	23,8	23,4	22,8	22,4	22,4	22,4
	16:45	23,2	23,8	23,6	23,0	22,6	22,5	22,6
	17:00	23,2	24,0	23,8	23,0	22,6	22,6	22,8
	17:15	23,0	23,8	23,8	23,2	22,8	22,8	22,8
	17:30	23,0	23,8	23,8	23,4	23,0	23,0	23,0
	17:45	22,8	23,8	23,8	23,2	22,8	22,8	23,0
	18:00	22,6	23,6	23,7	23,4	23,0	22,8	23,0
	18:15	22,4	23,6	23,8	23,4	23,0	23,0	23,0
	18:30	22,2	23,4	23,6	23,2	22,8	22,8	22,8
	18:45	22,2	23,4	23,6	23,4	23,2	23,0	23,2
	19:00	21,8	23,0	23,2	23,0	22,6	22,6	22,6
	19:15	21,6	22,8	23,2	23,0	22,6	22,6	22,6
	19:30	21,6	23,0	23,2	23,2	22,8	22,8	22,8
	19:45	21,6	23,0	23,4	23,4	23,2	23,0	23,2
20:00	21,1	22,7	23,1	23,2	22,8	22,7	22,8	
20:15	21,0	22,6	23,2	23,2	23,0	22,8	22,9	

Continua...

QUADRO B.3 - Continuação

Dias	Horas	Temperatura do Solo (°C)						
		0,02m	0,05m	0,1m	0,2m	0,3m	0,5m	1m
17/04/82	20:30	21,0	22,6	23,0	23,2	23,0	22,8	23,0
	20:45	20,6	22,2	22,7	22,8	22,6	22,4	22,4
	21:00	20,1	21,8	22,4	22,5	22,3	22,2	22,2
	21:15	20,7	22,5	23,0	23,2	23,0	22,8	22,9
	21:30	20,2	22,2	22,7	23,0	22,8	22,7	22,9
	21:45	20,2	22,2	22,8	23,2	23,0	22,8	22,9
	22:00	20,2	22,3	23,0	23,4	23,3	23,2	23,4
	22:15	20,0	22,1	22,8	23,1	23,0	22,9	23,0
	22:30	20,1	22,2	22,9	23,3	23,2	23,2	23,2
	22:45	19,9	22,0	22,8	23,2	23,2	23,2	23,2
	23:00	18,5	20,6	21,3	21,8	21,8	21,7	21,8
	23:15	18,1	20,3	21,2	21,8	21,9	21,8	22,0
	23:30	18,6	20,8	21,6	22,3	22,4	22,4	22,5
	23:45	Falta de carga no termômetro digital						
	24:00	19,8	21,8	22,7	23,3	23,4	23,4	23,5
18/04/82	00:15	19,7	21,7	22,5	23,2	23,3	23,2	23,3
	00:30	19,6	21,6	22,5	23,1	23,2	23,2	23,3
	00:45	19,7	21,8	22,6	23,3	23,5	23,5	23,6
	01:00	19,7	21,9	22,8	23,5	23,7	23,7	23,8
	01:15	20,0	22,1	23,0	23,7	24,0	24,1	24,2
	01:30	19,7	21,8	22,8	23,6	23,8	23,9	23,9
	01:45	20,0	22,1	22,9	23,7	23,9	24,1	24,1

Continua...

QUADRO B.3 - Continuação

Dias	Horas	Temperatura do Solo (°C)						
		0,02m	0,05m	0,1m	0,2m	0,3m	0,5m	1m
18/04/82	07:30	22,2	22,8	23,2	24,2	24,6	25,0	25,6
	07:45	22,6	23,0	23,3	24,2	24,6	25,0	25,2
	08:00	23,0	23,1	23,3	24,2	24,6	25,0	25,1
	08:15	23,0	22,8	22,8	23,6	24,2	24,6	24,6
	08:30	23,2	23,0	23,0	23,8	24,4	24,6	24,8
	08:45	23,2	22,8	22,8	23,6	24,2	24,6	24,6
	09:00	23,4	22,8	22,8	23,2	23,8	24,4	24,6
	09:15	25,2	23,8	23,6	24,4	24,8	25,2	25,2
	09:30	24,8	22,6	22,4	23,0	23,6	23,8	23,8
	09:45	26,4	23,6	22,8	23,4	24,2	24,6	24,6
	10:00	27,2	23,8	23,0	23,4	24,0	24,4	24,4
	10:15	26,8	23,0	21,8	22,0	22,4	22,6	22,6
	13:00	24,6	22,5	21,0	20,2	20,2	20,7	20,8
	13:15	27,2	23,8	22,4	21,6	21,8	22,2	22,2
	13:30	26,2	23,6	22,2	21,4	21,4	21,6	21,8
	13:45	27,4	24,0	22,4	21,6	21,4	21,8	22,0
	14:00	28,6	25,0	23,2	22,4	22,4	22,8	23,0
	14:15	27,8	24,6	22,6	22,0	22,0	22,2	22,4
	14:30	27,6	24,4	22,6	21,6	21,6	22,0	22,2
	14:45	26,6	24,6	22,8	21,8	21,6	21,8	22,0
15:00	25,8	24,4	22,8	21,6	21,6	21,8	22,0	
17:00	22,2	23,2	22,8	21,8	21,4	21,6	21,6	

Continua...

QUADRO B.3 - Continuação

Dias	Horas	Temperatura do Solo (°C)						
		0,02m	0,05m	0,1m	0,2m	0,3m	0,5m	1m
	02:00	20,3	22,2	23,1	23,8	24,2	24,3	24,4
	02:15	20,2	22,2	23,0	23,7	24,1	24,2	24,2
	02:30	20,3	22,2	22,9	23,7	24,1	24,2	24,2
	02:45	20,2	22,1	22,8	23,6	24,1	24,2	24,2
	03:00	20,2	22,0	22,8	23,6	24,0	24,2	24,2
	03:15	20,2	21,8	22,6	23,4	23,7	23,8	24,0
	03:30	20,2	21,8	22,6	23,6	23,9	24,1	24,2
	03:45	19,8	21,8	22,6	23,4	23,8	24,0	24,1
	04:00	19,6	21,6	22,5	23,3	23,7	23,9	23,9
	04:15	19,7	21,7	22,6	23,3	23,8	24,0	24,2
	04:30	19,8	21,7	22,6	23,4	23,8	24,1	24,2
	04:45	20,1	21,9	22,8	23,6	24,1	24,3	24,4
	05:00	20,0	21,8	22,6	23,6	24,1	24,3	24,3
	05:15	19,5	21,4	22,2	23,2	23,6	23,8	24,0
	05:30	19,5	21,3	22,2	23,1	23,6	23,8	23,9
	05:45	20,2	21,8	22,6	23,6	24,1	24,4	24,4
	06:00	20,6	22,0	22,7	23,6	24,2	24,4	24,5
	06:15	20,4	21,7	22,5	23,4	23,9	24,2	24,4
	06:30	20,8	22,1	22,8	23,6	24,2	24,6	24,6
	06:45	21,0	22,2	22,8	23,6	24,2	24,6	24,6
	07:00	21,6	22,5	23,0	23,9	24,5	24,7	24,8
	07:15	21,8	22,7	23,2	24,1	24,6	24,8	25,0

18/04/82

Continua...

QUADRO B.3 - Continuação

Dias	Horas	Temperatura do Solo (°C)						
		0,02m	0,05m	0,1m	0,2m	0,3m	0,5m	1m
18/04/82	17:15	21,8	23,2	22,6	21,8	21,4	21,4	21,8
	17:30	21,2	22,6	22,4	21,6	21,0	21,2	21,4
	17:45	20,8	22,6	22,2	21,2	20,8	20,8	21,0
	18:00	21,2	23,0	23,0	22,2	21,8	21,6	21,8
	18:15	20,6	22,6	22,8	21,8	21,4	21,4	21,6
	18:30	22,0	22,4	22,6	22,0	21,6	21,6	21,6
	18:45	22,0	22,6	23,0	22,6	22,0	22,0	22,2
	19:00	20,2	22,6	23,0	22,6	22,2	22,4	22,6
19/04/82	06:00	20,6	22,2	22,8	23,8	24,6	25,0	25,0
	06:15	22,6	23,6	24,6	25,8	26,4	26,8	27,0
	06:30	23,2	24,4	25,0	26,2	23,8	27,2	27,4
	06:45	22,6	23,8	24,4	25,4	26,0	26,4	26,8
	07:00	22,6	23,6	24,2	25,2	25,8	26,2	26,4
	07:15	22,2	23,0	23,6	24,6	25,2	25,6	26,0
	07:30	23,2	23,8	24,4	25,2	25,8	26,2	26,4
	07:45	22,0	22,6	23,2	24,2	24,8	25,4	25,4
	08:00	22,6	23,0	23,6	24,6	25,2	25,6	25,8
	08:15	22,2	22,2	22,8	23,6	24,2	24,6	24,8
	08:30	22,2	22,0	22,4	23,2	23,8	24,2	24,4
	08:45	22,8	21,6	21,8	22,6	23,2	23,6	23,8
	09:00	23,2	21,8	21,8	22,6	23,2	23,6	23,8
09:15	23,8	22,2	22,0	22,8	23,4	24,0	24,2	

QUADRO B.4 - Valores dos fluxos saldo de radiação (R_n), calor sensível (H), calor latente (LE) e calor do solo (G), além da razão de Bowen (β), para a camada compreendida entre 1,6 a 3,2 m.

Dias	Horas	$R_n(Wm^{-2})$	$H(Wm^{-2})$	$LE(Wm^{-2})$	$G(Wm^{-2})$	$\beta=\gamma\Delta T/\Delta e$	$\beta=H/LE$
	09:30	278,7	-102,99	241,2	140,49	-0,46	-0,43
	09:45	376,2	0,0	- 48,24	424,44	0,0	0,0
	10:00	285,6	- 34,33	- 94,47	414,40	0,39	0,36
	10:15	306,5	- 22,89	6,03	323,36	-4,10	-3,80
	10:30	710,6	- 51,50	- 93,47	855,57	0,60	0,55
	10:45	745,4	-171,66	66,33	850,73	-2,80	-2,59
	11:00	564,3	0,0	0,0	564,30	-2,09	0,0
	11:15	132,4	- 80,11	51,26	161,25	-1,69	-1,56
	11:30	724,5	- 91,55	53,27	762,78	-1,86	-1,72
	11:45	884,8	-205,99	295,47	795,32	-0,75	-0,70
	12:00	829,0	- 91,55	52,26	868,29	-1,89	-1,75
	12:15	877,8	- 45,78	- 16,08	939,66	3,08	2,85
	12:30	292,6	- 45,78	65,33	273,05	-0,76	-0,70
	12:45	313,5	-102,99	88,44	328,05	-1,26	-1,17
	13:00	411,0	- 11,44	- 72,36	494,80	0,17	0,16
	13:15	243,8	- 45,78	29,15	260,43	-1,70	-1,57
	13:30	278,7	- 22,89	- 90,45	392,04	0,27	0,25
	13:45	236,9	- 34,33	-205,02	476,25	0,18	0,17
	14:00	174,2	- 34,33	-129,65	338,18	0,29	0,26
	14:15	153,3	- 34,33	-202,01	389,64	0,18	0,17
	14:30	202,0	0,0	-301,50	503,50	0,0	0,0
	14:45	167,2	0,0	-150,75	317,95	0,0	0,0

Continua...

QUADRO B.4 - Continuação

Dias	Horas	$R_n (Wm^{-2})$	$H (Wm^{-2})$	$LE (Wm^{-2})$	$G (Wm^{-2})$	$\beta = \gamma \Delta T / \Delta e$	$\beta = H / LE$
	15:00	76,6	22,89	-249,24	302,95	-0,09	-0,09
	15:15	146,3	0,0	-150,75	297,05	0,0	0,0
	15:30	118,4	0,0	-190,95	309,35	0,0	0,0
	15:45	48,8	0,0	-144,72	193,52	0,0	0,0
	16:00	34,8	11,44	-74,37	97,73	-0,17	-0,15
	16:15	0,1	34,33	-289,44	255,21	-0,13	-0,12
	16:30	-34,8	34,33	-214,07	144,94	-0,17	-0,16
	16:45	-55,7	22,89	-96,48	17,89	-0,26	-0,24
	17:00	-62,7	22,89	-142,71	57,12	-0,17	-0,16
	17:15	-69,7	102,99	-642,20	469,51	-0,17	-0,16
	17:30	-90,6	-57,22	477,38	510,76	-0,13	-0,12
	17:45	-104,5	22,89	-70,35	57,04	-0,35	-0,33
	18:00	-104,5	22,89	-138,69	11,30	-0,18	-0,17
	18:15	-104,5	22,89	-48,24	-79,15	-0,51	-0,47
	18:30	-104,5	11,44	-45,23	-70,71	-0,27	-0,25
	18:45	-104,5	-34,33	0,0	-70,17	0,0	0,0
	19:00	-97,5	-22,89	-46,23	-28,38	0,54	0,50
	19:15	-104,5	80,11	-168,84	-15,77	-0,51	-0,47
	19:30	-83,6	0,0	0,0	-83,60	0,0	0,0
	19:45	-104,5	-22,89	40,2	-121,81	-0,62	-0,57
	20:00	-83,6	-11,44	361,8	-433,96	-0,03	-0,03
	20:15	-	-45,78	74,37	-28,59	-0,67	-0,62

17/04/82

Continua...

QUADRO B.4 - Continuação

Dias	Horas	$R_n(\text{Wm}^{-2})$	$H(\text{Wm}^{-2})$	$LE(\text{Wm}^{-2})$	$G(\text{Wm}^{-2})$	$\beta=\gamma\Delta T/\Delta e$	$\beta=H/LE$
17/04/82	20:30	-139,3	- 45,78	- 14,07	- 79,45	3,52	3,25
	20:45	-167,2	- 17,17	5,03	-155,06	-3,69	-3,41
	21:00	-188,1	0,0	0,0	-188,10	0,54	0,0
	21:15	-181,1	0,0	0,0	-188,10	0,0	0,0
	21:30	-188,1	0,0	0,0	-188,10	0,0	0,0
	21:45	-174,2	0,0	0,0	-174,2	0,54	0,0
	22:00	-188,1	0,0	0,0	-188,10	-2,46	0,0
	22:15	-195,1	- 5,72	- 11,06	-178,32	0,56	0,52
	22:30	-195,1	- 22,89	47,24	-219,45	-0,52	-0,48
	22:45	-195,1	28,61	-226,13	- 2,42	-0,14	-0,13
	23:00	-216,0	- 17,17	22,11	-220,94	-0,84	-0,78
	23:15	-216,0	5,72	10,05	-231,77	0,62	0,57
	23:30	-209,0	- 28,61	- 52,26	-128,13	0,59	0,55
	23:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	24:00	-160,2	0,0	0,0	-160,2	-1,03	0,0
18/04/82	00:15	-188,1	- 11,44	- 23,12	-153,54	0,54	0,49
	00:30	-195,1	- 5,72	- 11,06	-178,32	0,54	0,52
	00:45	-202,0	- 5,72	6,03	-202,31	-1,03	-0,95
	01:00	-195,1	34,33	- 99,50	-129,93	-0,37	-0,35
	01:15	-195,1	- 34,33	159,80	-320,57	-0,23	-0,21
	01:30	-188,1	- 22,89	106,53	-271,74	-0,23	-0,21
	01:45	-167,2	- 51,50	186,93	-302,63	-0,30	-0,27

Continua...

QUADRO B.4 - Continuação

Dias	Horas	$R_n (Wm^{-2})$	$H (Wm^{-2})$	$LE (Wm^{-2})$	$G (Wm^{-2})$	$\beta = \gamma \Delta T / \Delta e$	$\beta = H / LE$
	02:00	-167,2	- 17,17	90,45	-240,48	-0,10	-0,19
	02:15	-174,2	- 51,50	135,68	-258,38	-0,41	-0,37
	02:30	-146,3	- 17,17	87,44	-216,57	-0,21	-0,20
	02:45	-153,3	- 85,83	241,20	-308,67	-0,39	-0,36
	03:00	-153,3	- 57,22	120,60	-216,68	-0,51	-0,47
	03:15	-174,2	- 22,89	29,15	-180,46	-0,85	-0,79
	03:30	-181,1	- 45,78	64,32	-199,64	-0,77	-0,71
	03:45	-195,1	- 45,78	64,32	-213,64	-0,77	-0,71
	04:00	-195,1	- 45,78	140,7	-290,02	-0,35	-0,33
	04:15	-174,2	- 57,22	74,37	-191,35	-0,83	-0,77
	04:30	-146,3	- 68,66	147,74	-225,38	-0,50	-0,46
	04:45	-181,1	- 85,83	321,60	-416,87	-0,29	-0,27
	05:00	-195,1	-114,44	164,82	-245,48	-0,75	-0,69
	05:15	-195,1	- 57,22	156,78	-294,66	-0,40	-0,36
	05:30	-167,2	- 22,89	66,33	-210,64	-0,37	-0,35
	05:45	-125,4	- 34,33	51,26	-142,33	-0,73	-0,67
	06:00	-125,4	- 22,89	58,29	-160,80	-0,43	-0,39
	06:15	-125,4	- 5,72	29,15	-148,83	-0,21	-0,20
	06:30	-118,4	- 11,44	- 3,02	-103,94	4,11	3,79
	06:45	- 90,6	- 68,66	- 12,06	- 9,88	6,06	5,69
	07:00	- 69,7	0,0	-397,98	328,28	0,0	0,0
	07:15	- 48,8	0,0	0,0	- 48,8	0,0	0,0

18/04/82

Continua...

QUADRO B.4 - Continuação

Dias	Horas	$R_n (Wm^{-2})$	$H (Wm^{-2})$	$LE (Wm^{-2})$	$G (Wm^{-2})$	$\beta = \gamma \Delta T / \Delta e$	$\beta = H / LE$
	07:30	- 41,8	0,0	-161,81	120,01	0,0	0,0
	07:45	83,6	0,0	-135,68	219,28	0,0	0,0
	08:00	62,7	0,0	- 44,22	106,92	0,0	0,0
	08:15	115,5	- 22,89	44,22	90,17	-0,56	-0,52
	08:30	250,8	- 45,78	82,41	214,17	-0,59	-0,56
	08:45	132,4	- 22,89	- 48,24	203,53	0,51	0,47
	09:00	160,2	- 34,33	40,20	154,33	-0,92	-0,85
	09:15	292,6	- 68,66	12,06	349,20	-6,16	-5,69
	09:30	111,5	-171,66	211,05	72,11	-0,88	-0,81
	09:45	522,5	45,78	-217,08	693,38	-0,23	-0,21
	10:00	278,7	-102,99	-195,98	577,67	0,57	0,53
	10:15	738,5	-137,33	-280,40	1.156,23	0,53	0,49
	13:00	271,7	0,0	0,0	217,70	-0,41	0,0
	13:15	362,3	22,89	-221,1	560,51	-0,11	-0,10
	13:30	445,9	- 22,89	- 40,2	508,99	0,62	0,57
	13:45	376,2	- 68,66	- 39,2	484,06	1,90	1,75
	14:00	501,6	-240,32	45,23	696,69	-5,75	-5,31
	14:15	592,2	- 68,66	- 70,75	731,21	1,06	0,98
	14:30	501,6	45,78	-188,94	644,76	-0,26	-0,24
	14:45	425,0	-171,66	- 3,02	599,68	61,62	56,84
	15:00	34,8	68,66	-250,25	216,39	-0,30	-0,27
	17:00	- 76,6	0,0	0,0	- 76,60	-0,17	0,0

Continua...

18/04/82

QUADRO B.4 - Continuação

Dias	Horas	$R_n (Wm^{-2})$	$H (Wm^{-2})$	$LE (Wm^{-2})$	$G (Wm^{-2})$	$\beta = \gamma \Delta T / \Delta e$	$\beta = H / LE$
18/04/82	17:15	-104,5	22,89	- 142,71	- 15,32	- 0,17	- 0,16
	17:30	-139,3	11,44	- 59,30	- 91,44	- 0,20	- 0,19
	17:45	-167,2	22,89	- 100,50	- 89,59	- 0,25	- 0,23
	18:00	-167,2	0,0	- 37,19	- 130,01	0,0	0,0
	18:15	-188,1	0,0	0,0	- 188,10	0,0	0,0
	18:30	-188,1	0,0	0,0	- 188,10	0,0	0,0
	18:45	-188,1	0,0	178,89	- 366,99	0,0	0,0
	19:00	-188,1	- 22,89	166,83	- 332,04	- 0,15	0,14
19/04/82	06:00	-181,1	0,0	0,0	- 181,10	- 0,68	0,0
	06:15	-257,8	0,0	0,0	- 257,80	0,0	0,0
	06:30	-236,9	-652,30	2.176,83	-1.761,43	- 0,32	- 0,30
	06:45	-104,5	-366,20	305,52	- 43,82	- 1,30	- 1,20
	07:00	- 90,6	-194,54	- 444,21	- 548,15	0,47	0,44
	07:15	115,5	-274,65	- 313,56	699,71	0,95	0,88
	07:30	202,0	45,78	- 120,6	276,82	- 0,41	- 0,38
	07:45	355,3	- 91,55	80,4	366,45	- 1,23	- 1,14
	08:00	313,5	-183,10	60,3	436,30	- 3,29	- 3,04
	08:15	348,3	0,0	90,45	257,85	0,0	0,0
	08:30	216,0	- 68,66	126,63	158,03	- 0,59	- 0,54
	08:45	285,6	-114,44	66,33	333,71	- 1,87	- 1,73
	09:00	250,8	- 22,89	- 2,01	275,70	12,32	11,39
09:15	341,4	- 45,78	- 6,03	393,21	4,11	7,59	

QUADRO B.5 - Valores do número de Richardson (Ri), velocidade de fricção segundo KAO e em função do perfil logarítmico do vento, para as camadas de 0,4; 1,6 e 3,2 m.

Dias	Horas	Ri		Velocidade de Fricção (m s^{-1})	
		0,4 a 1,6 m	KAO	0,4 a 1,6 m	1,6 a 3,2 m
	09:30	-0,89	0,27	0,23	0,17
	09:45	-1,17	0,35	0,26	0,12
	10:00	-1,14	0,25	0,20	0,12
	10:15	-0,75	0,35	0,26	0,12
	10:30	-0,95	0,31	0,26	0,17
	10:45	-0,88	0,30	0,23	0,12
	11:00	-0,65	0,37	0,23	0,0
	11:15	-0,94	0,34	0,23	0,06
	11:30	-1,60	0,29	0,20	0,06
	11:45	-0,90	0,27	0,23	0,17
	12:00	-1,08	0,35	0,26	0,12
	12:15	-1,50	0,25	0,20	0,12
	12:30	-1,41	0,29	0,20	0,06
	12:45	-0,56	0,30	0,23	0,12
	13:00	-0,86	0,29	0,20	0,06
	13:15	0,0	0,24	0,17	0,06
	13:30	-0,66	0,35	0,26	0,12
	13:45	-0,68	0,31	0,26	0,17
	14:00	-0,55	0,31	0,26	0,17
	14:15	-0,53	0,27	0,23	0,17
	14:30	-0,67	0,31	0,26	0,17
	14:45	0,33	0,36	0,29	0,17

17/04/82

Continua...

QUADRO B.5 - Continuação

Dias	Horas	Ri	Velocidade de Fricção ($m s^{-1}$)		
		0,4 a 1,6 m	KAO	0,4 a 1,6 m	1,6 a 3,2 m
17/04/82	15:00	-0,18	0,30	0,23	0,12
	15:15	-0,41	0,35	0,26	0,12
	15:30	-0,36	0,35	0,26	0,12
	15:45	-0,18	0,27	0,23	0,17
	16:00	-0,36	0,30	0,23	0,12
	16:15	-0,12	0,36	0,29	0,17
	16:30	-0,15	0,31	0,26	0,17
	16:45	-0,15	0,35	0,26	0,12
	17:00	-0,18	0,30	0,26	0,12
	17:15	0,0	-0,22	0,23	0,52
	17:30	0,0	0,82	0,06	0,29
	17:45	0,0	0,29	0,40	0,06
	18:00	-0,15	0,35	0,20	0,12
	18:15	0,0	0,35	0,26	0,12
	18:30	0,0	0,24	0,26	0,06
	18:45	0,0	0,22	0,17	0,17
	19:00	-0,34	0,21	0,20	0,12
	19:15	0,0	0,80	0,17	-0,40
	19:30	0,0	0,24	0,35	0,12
	19:45	0,0	0,30	0,17	0,12
20:00	0,0	0,24	0,23	0,06	
20:15	0,0	0,16	0,17	0,12	

Continua...

QUADRO B.5 - Continuação

Dias	Horas	Ri	Velocidade de Fricção (m s ⁻¹)		
		0,4 a 1,6 m	KA0	0,4 a 1,6 m	1,6 a 3,2 m
17/04/82	20:30	0,0	0,07	0,14	0,12
	20:45	0,0	0,20	0,09	0,06
	21:00	0,0	0,09	0,14	0,0
	21:15	0,0	0,12	0,06	0,12
	21:30	1,87	0,13	0,12	-0,06
	21:45	0,0	0,19	0,06	0,0
	22:00	0,0	0,19	0,12	0,0
	22:15	-1,64	0,10	0,12	0,06
	22:30	0,0	0,15	0,09	0,06
	22:45	0,05	0,73	0,12	-0,29
	23:00	0,29	0,20	0,35	0,06
	23:15	0,0	0,20	0,14	0,06
	23:30	-6,15	0,06	0,14	0,06
	23:45	0,0	0,0	0,06	0,0
	24:00	-0,46	0,19	0,12	0,0
18/04/82	00:15	-0,91	0,15	0,12	0,06
	00:30	0,0	0,01	0,03	0,06
	00:45	0,81	0,10	0,09	0,06
	01:00	0,09	0,52	0,26	-0,17
	01:15	0,0	0,31	0,26	0,17
	01:30	0,0	0,35	0,26	0,12
	01:45	0,11	0,27	0,23	0,17

Continua...

QUADRO B.5 - Continuação

Dias	Horas	Ri	Velocidade de Fricção ($m s^{-1}$)		
		0,4 a 1,6 m	KAO	0,4 a 1,6 m	1,6 a 3,2 m
	02:00	0,07	0,36	0,23	0,17
	02:15	-0,10	0,27	0,23	0,17
	02:30	-0,08	0,31	0,26	0,17
	02:45	-0,08	0,31	0,26	0,17
	03:00	0,08	0,35	0,26	0,12
	03:15	0,0	0,06	0,06	0,06
	03:30	-0,27	0,25	0,20	0,12
	03:45	0,0	0,30	0,23	0,12
	04:00	0,0	0,30	0,23	0,12
	04:15	0,14	0,25	0,20	0,12
	04:30	0,0	0,13	0,14	0,17
	04:45	0,0	0,10	0,17	0,29
	05:00	-0,18	0,14	0,17	0,23
	05:15	0,27	0,16	0,14	0,12
	05:30	0,0	0,07	0,09	0,12
	05:45	-0,82	0,08	0,12	0,17
	06:00	0,0	0,29	0,20	0,06
	06:15	0,0	0,34	0,23	0,06
	06:30	0,0	0,29	0,20	0,35
	06:45	0,0	-0,02	0,12	0,52
	07:00	0,0	-0,27	0,03	0,12
	07:15	0,0	0,25	0,23	0,40

18/04/82

Continua...

QUADRO B.5 - Continuação

Dias	Horas	Ri		Velocidade de Fricção (m s ⁻¹)	
		0,4 a 1,6 m	KA0	0,4 a 1,6 m	1,6 a 3,2 m
18/04/82	07:30	-1,48	-0,15	0,06	0,17
	07:45	-0,50	0,22	0,20	0,12
	08:00	-0,74	0,30	0,23	0,12
	08:15	-0,55	0,30	0,23	0,12
	08:30	-0,98	0,25	0,20	0,12
	08:45	-0,56	0,30	0,23	0,06
	09:00	-0,73	0,38	0,26	0,12
	09:15	-1,49	0,25	0,20	0,17
	09:30	-1,11	0,31	0,26	0,12
	09:45	-1,18	0,30	0,23	0,12
	10:00	-1,58	0,27	0,23	0,17
	10:15	0,0	0,27	0,23	0,17
	13:00	-4,90	0,0	0,0	0,0
	13:15	-1,51	0,29	0,20	0,06
	13:30	-0,88	0,30	0,23	0,12
	13:45	-0,50	0,27	0,23	0,17
	14:00	-1,08	0,31	0,26	0,17
	14:15	-1,16	0,35	0,26	0,12
	14:30	-0,84	0,39	0,29	0,12
	14:45	-0,79	0,31	0,26	0,17
15:00	-0,56	0,36	0,29	0,17	
17:00	1,63	0,0	-0,17	0,0	

Continua...

QUADRO B.5 - Continuação

Dias	Horas	Ri	Velocidade de Fricção (m s ⁻¹)		
		0,4 a 1,6 m	KA0	0,4 a 1,6 m	1,6 a 3,2 m
18/04/82	17:15	0,0	0,30	0,29	0,12
	17:30	0,21	0,34	0,35	0,06
	17:45	1,64	0,07	0,09	0,12
	18:00	0,91	0,15	0,12	0,06
	18:15	0,0	0,10	0,09	0,06
	18:30	0,0	0,10	0,09	0,06
	18:45	0,0	0,21	0,17	0,12
	19:00	0,19	0,35	0,26	0,12
19/04/82	06:00	0,0	0,0	0,0	0,0
	06:15	0,0	-0,44	-0,06	0,29
	06:30	0,17	-1,03	-0,23	1,10
	06:45	0,32	-0,83	-0,17	0,92
	07:00	0,0	-0,91	-0,20	0,98
	07:15	0,0	-0,46	-0,03	0,69
	07:30	-0,87	0,14	0,17	0,23
	07:45	-0,29	0,28	0,26	0,23
	08:00	-0,43	0,28	0,26	0,23
	08:15	-0,59	0,35	0,26	0,12
	08:30	-0,48	0,36	0,29	0,17
	08:45	-0,76	0,30	0,23	0,12
	09:00	-0,94	0,30	0,23	0,12
09:15	-0,88	0,35	0,26	0,12	

QUADRO B.6 - Valores dos fluxos adimensionais de momentum (ϕ_M), calor sensível (ϕ_H), e vapor de água (ϕ_W) e as razões entre eles.

Dias	Horas	ϕ_M	ϕ_H	ϕ_W	$\alpha_1 = \phi_M / \phi_H$	$\alpha_2 = \phi_W / \phi_H$	$\alpha_3 = \phi_M / \phi_W$
17/04/82	09:30	1,00	0,69	0,63	1,45	0,91	1,59
	09:45	0,94	0,00	0,67	0,0	0,0	1,40
	10:00	0,94	0,74	0,67	1,27	0,91	1,40
	10:15	0,94	0,71	0,67	1,32	0,91	1,40
	10:30	1,00	0,68	0,63	1,47	0,93	1,59
	10:45	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	11:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	11:15	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	11:30	0,94	0,72	0,67	1,31	0,93	1,40
	11:45	1,00	0,69	0,63	1,45	0,91	1,59
	12:00	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	12:15	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	12:30	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	12:45	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	13:00	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	13:15	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	13:30	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	13:45	1,00	0,71	0,63	1,41	0,89	1,59
	14:00	1,00	0,71	0,63	1,41	0,89	1,59
	14:15	1,00	0,71	0,63	1,41	0,89	1,59
14:30	1,00	0,0	0,63	0,0	0,0	1,59	
14:45	1,00	0,0	0,63	0,0	0,0	1,59	

Continua...

QUADRO B.6 - Continuação

Dias	Horas	ϕ_M	ϕ_H	ϕ_W	$\alpha_1 = \phi_M / \phi_H$	$\alpha_2 = \phi_W / \phi_H$	$\alpha_3 = \phi_M / \phi_W$
17/04/82	15:00	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	15:15	0,94	0,0	0,67	0,0	0,0	1,40
	15:30	0,94	0,0	0,67	0,0	0,0	1,40
	15:45	1,00	0,0	0,63	0,0	0,0	1,59
	16:00	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	16:15	1,00	0,71	0,63	1,41	0,89	1,59
	16:30	1,00	0,71	0,63	1,41	0,89	1,59
	16:45	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	17:00	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	17:15	0,98	0,71	0,65	1,38	0,92	1,51
	17:30	0,98	0,71	0,65	1,38	0,92	1,51
	17:45	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	18:00	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	18:15	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	18:30	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	18:45	1,00	0,71	0,0	1,41	0,0	0,0
	19:00	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	19:15	0,99	0,71	0,64	1,39	0,90	1,55
	19:30	0,94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	19:45	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
20:00	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40	
20:15	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40	

Continua...

QUADRO B.6 - Continuação

Dias	Horas	ϕ_M	ϕ_H	ϕ_W	$\alpha_1 = \phi_M / \phi_H$	$\alpha_2 = \phi_W / \phi_H$	$\alpha_3 = \phi_M / \phi_W$
17/04/82	20:30	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	20:45	0,94	0,74	0,67	1,27	0,91	1,40
	21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	21:15	0,94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	21:30	0,94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	21:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	22:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	22:15	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	22:30	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	22:45	0,98	0,71	0,65	1,38	0,92	1,51
	23:00	0,94	0,74	0,67	1,27	0,91	1,40
	23:15	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	23:30	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	23:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	24:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18/04/82	00:15	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	00:30	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	00:45	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	01:00	1,00	0,71	0,63	1,41	0,89	1,59
	01:15	1,00	0,71	0,63	1,41	0,89	1,59
	01:30	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	01:45	1,00	0,68	0,63	1,47	0,93	1,59

Continua...

QUADRO B.6 - Continuação

Dias	Horas	ϕ_M	ϕ_H	ϕ_W	$\alpha_1 = \phi_M / \phi_H$	$\alpha_2 = \phi_W / \phi_H$	$\alpha_3 = \phi_M / \phi_W$
18/04/82	02:00	1,00	0,71	0,63	1,41	0,89	1,59
	02:15	1,00	0,68	0,63	1,47	0,93	1,59
	02:30	1,00	0,71	0,63	1,41	0,89	1,59
	02:45	1,00	0,69	0,63	1,45	0,91	1,59
	03:00	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	03:15	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	03:30	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	03:45	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	04:00	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	04:15	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	04:30	1,00	0,69	0,63	1,45	0,91	1,59
	04:45	0,98	0,71	0,65	1,38	0,92	1,51
	05:00	0,98	0,69	0,64	1,42	0,93	1,53
	05:15	0,94	0,69	0,67	1,36	0,97	1,40
	05:30	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	05:45	1,00	0,71	0,63	1,41	0,89	1,59
	06:00	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	06:15	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	06:30	0,16	3,77	3,95	0,04	1,05	0,04
	06:45	0,65	1,03	0,97	0,63	0,94	0,67
07:00	4,24	0,0	0,15	0,0	0,0	28,27	
07:15	0,28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Continua...

QUADRO B.6 - Continuação

Dias	Horas	ϕ_M	ϕ_H	ϕ_W	$\alpha_1 = \phi_M / \phi_H$	$\alpha_2 = \phi_W / \phi_H$	$\alpha_3 = \phi_M / \phi_W$
18/04/82	07:30	2,33	0,0	0,27	0,0	0,0	8,63
	07:45	1,41	0,0	0,45	0,0	0,0	3,13
	08:00	0,94	0,0	0,67	0,0	0,0	1,40
	08:15	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	08:30	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	08:45	1,89	0,36	0,34	5,25	0,94	5,56
	09:00	0,47	1,48	1,34	0,32	0,91	0,35
	09:15	0,67	1,03	0,95	0,65	0,92	0,71
	09:30	1,41	0,48	0,45	2,94	0,94	3,13
	09:45	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	10:00	1,00	0,69	0,63	1,45	0,91	1,59
	10:15	1,00	0,69	0,63	1,45	0,91	1,59
	13:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	13:15	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	13:30	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	13:45	1,00	0,69	0,63	1,45	0,91	1,59
	14:00	1,00	0,69	0,63	1,45	0,91	1,59
	14:15	0,94	0,72	0,67	1,31	0,93	1,40
	14:30	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	14:45	1,00	0,69	0,64	1,45	0,93	1,56
15:00	1,00	0,69	0,63	1,45	0,91	1,59	
17:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Continua...

QUADRO B.6 - Continuação

Dias	Horas	ϕ_M	ϕ_H	ϕ_W	$\alpha_1 = \phi_M / \phi_H$	$\alpha_2 = \phi_W / \phi_H$	$\alpha_3 = \phi_M / \phi_W$
18/04/82	17:15	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	17:30	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	17:45	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
	18:00	0,94	0,0	0,67	0,0	0,0	1,40
	18:15	0,94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	18:30	0,94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	18:45	0,94	0,0	0,67	0,0	0,0	1,40
	19:00	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
19/04/82	06:00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	06:15	0,98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	06:30	0,98	0,71	0,65	1,38	0,92	1,51
	06:45	0,98	0,71	0,64	1,38	0,90	1,53
	07:00	0,98	0,71	0,65	1,38	0,92	1,51
	07:15	0,98	0,71	0,64	1,38	0,92	1,53
	07:30	0,98	0,71	0,64	1,38	0,92	1,53
	07:45	0,98	0,71	0,64	1,38	0,92	1,53
	08:00	0,98	0,70	0,64	1,40	0,91	1,53
	08:15	0,94	0,0	0,67	0,0	0,0	1,40
	08:30	1,00	0,69	0,63	1,45	0,91	1,59
	08:45	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40
	09:00	0,94	0,71	0,67	1,32	0,94	1,40
09:15	0,94	0,73	0,67	1,29	0,92	1,40	

QUADRO B.7 - Valores dos coeficientes de difusividade turbulenta de momentum (K_M), calor sensível (K_H) e vapor de água (K_W) e as razões entre os coeficientes.

Dias	Horas	$K_M (m^2 s^{-1})$	$K_H (m^2 s^{-1})$	$K_W (m^2 s^{-1})$	$\alpha_1 = K_H / K_M$	$\alpha_2 = K_H / K_W$	$\alpha_3 = K_W / K_M$
	09:30	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	09:45	0,10	0,0	0,16	0,0	0,0	1,60
	10:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	10:15	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	10:30	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	10:45	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	11:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	11:15	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	11:30	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	11:45	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	12:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
17/04/82	12:15	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	12:30	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	12:45	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	13:00	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	13:15	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	13:30	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	13:45	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	14:00	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	14:15	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	14:30	0,15	0,0	0,24	0,0	0,0	1,60
	14:45	0,15	0,0	0,24	0,0	0,0	1,60

Continua...

QUADRO B.7 - Continuação

Dias	Horas	$K_M (m^2 s^{-1})$	$K_H (m^2 s^{-1})$	$K_W (m^2 s^{-1})$	$\alpha_1 = K_H / K_M$	$\alpha_2 = K_H / K_W$	$\alpha_3 = K_W / K_M$
	15:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	15:15	0,10	0,0	0,16	0,0	0,0	1,60
	15:30	0,10	0,0	0,16	0,0	0,0	1,60
	15:45	0,15	0,0	0,24	0,0	0,0	1,60
	16:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	16:15	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	16:30	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	16:45	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	17:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
17/04/82	17:15	0,46	0,67	0,73	1,46	0,92	1,59
	17:30	-0,26	-0,37	-0,40	1,42	0,93	1,54
	17:45	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	18:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	18:15	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	18:30	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	18:45	0,15	0,22	0,0	1,47	0,0	0,0
	19:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	19:15	-0,36	-0,52	-0,57	1,44	0,91	1,58
	19:30	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	19:45	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	20:00	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	20:15	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60

Continua...

QUADRO B.7 - Continuação

Dias	Horas	$K_M(m^2s^{-1})$	$K_H(m^2s^{-1})$	$K_W(m^2s^{-1})$	$\alpha_1=K_H/K_M$	$\alpha_2=K_H/K_W$	$\alpha_3=K_W/K_M$
	02:00	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	02:15	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	02:30	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	02:45	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	03:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	03:15	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	03:30	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	03:45	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	04:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	04:15	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
18/04/82	04:30	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	04:45	0,26	0,37	0,40	1,42	0,93	1,54
	05:00	0,20	0,30	0,32	1,50	0,94	1,60
	05:15	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	05:30	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	05:45	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	06:00	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	06:15	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	06:30	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	06:45	0,31	0,45	0,48	1,45	0,94	1,55
	07:00	0,46	0,0	0,73	0,0	0,0	1,59
	07:15	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Continua...

QUADRO B.7 - Continuação

Dias	Horas	$K_M(m^2s^{-1})$	$K_H(m^2s^{-1})$	$K_W(m^2s^{-1})$	$\alpha_1=K_H/K_M$	$\alpha_2=K_H/K_W$	$\alpha_3=K_W/K_M$
	07:30	0,36	0,0	0,57	0,0	0,0	1,53
	07:45	0,15	0,0	0,24	0,0	0,0	1,60
	08:00	0,10	0,0	0,16	0,0	0,0	1,60
	08:15	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	08:30	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	08:45	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	09:00	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	09:15	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	09:30	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	09:45	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	10:00	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	10:15	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
18/04/82	13:00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	13:15	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	13:30	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	13:45	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	14:00	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	14:15	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	14:30	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	14:45	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	15:00	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	17:00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Continua...

QUADRO B.7 - Continuação

Dias	Horas	$K_M(m^2 s^{-1})$	$K_H(m^2 s^{-1})$	$K_W(m^2 s^{-1})$	$\alpha_1 = K_H/K_M$	$\alpha_2 = K_H/K_W$	$\alpha_3 = K_W/K_M$
18/04/82	17:15	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	17:30	0,05	0,07	0,08	1,40	0,88	1,60
	17:45	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	18:00	0,05	0,0	0,08	0,0	0,0	1,60
	18:15	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	18:30	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	18:45	0,10	0,0	0,16	0,0	0,0	1,60
	19:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
19/04/82	06:00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	06:15	0,26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	06:30	0,97	1,41	1,54	1,45	0,92	1,59
	06:45	0,82	1,19	1,29	1,45	0,92	1,57
	07:00	0,87	1,26	1,37	1,45	0,92	1,57
	07:15	0,61	0,89	0,97	1,46	0,92	1,59
	07:30	0,20	0,30	0,32	1,50	0,94	1,60
	07:45	0,20	0,30	0,32	1,50	0,94	1,60
	08:00	0,20	0,30	0,32	1,50	0,94	1,60
	08:15	0,10	0,0	0,16	0,0	0,0	1,60
	08:30	0,15	0,22	0,24	1,47	0,92	1,60
	08:45	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
	09:00	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60
09:15	0,10	0,15	0,16	1,50	0,94	1,60	