

## **BIOFÍSICA AMBIENTAL, UMA VISÃO MODERNA E AUXILIAR DA ECOLOGIA**

*Fernando Antonio Camargo Torre\**

### **RESUMO**

O microambiente é extremamente importante ao considerarmos a troca de energia com o ecossistema, mas as descrições do microclima são freqüentemente complicadas porque o ecossistema o influencia e porque os microclimas são extremamente variáveis a pequenas distâncias. Instrumentos especializados são necessários para medir variáveis ambientais relevantes. As variáveis de interesse podem ser temperatura, umidade atmosférica, densidade radiante do fluxo de energia, vento e condutividade térmica do substrato.

Nós nos preocuparemos primeiramente com um estudo das seguintes variáveis ambientais: temperatura, umidade, vento e fluxo de energia radiante. Nós discutiremos então como estas variáveis influenciam o ecossistema de interesse (Serra do Japi) e como certamente mudanças nele afetarão toda a economia dos municípios vizinhos.

**Palavras-chave:** microambiente, ecossistema, Serra do Japi, temperatura, umidade, vento e fluxo de energia radiante.

### **ABSTRACT**

The micro-environment is extremely important when considering the exchange of energy within the ecosystem, but the descriptions of the microclimate are frequently complicated because of the ecosystem influence and because of the microclimates being extremely changeable in small distances. Specialized instruments are necessary to measure relevant environmental variables such as temperature, atmospheric humidity, radiant density of flux energy, wind and thermal conductivity of the substrate.

First, we will be concerned about a study of the following environmental variables: temperature, humidity, wind and radiation. Then, we will consider how these variables influence the ecosystem of our interest (Serra do Japi) and how changes in it will certainly affect all the economy of the nearby cities.

**Key words:** micro-environment, ecosystem, Serra do Japi, temperature, atmospheric humidity, radiant density of flux energy, wind and thermal conductivity of the substrate.

### **INTRODUÇÃO**

Este trabalho destina-se àqueles que desejam desenvolver uma concepção científica sobre problemas ambientais e aplicar esta compreensão para uma ação apropriada em suas vidas e carreiras. Auxilia a desenvolver um conhecimento científico fundamental dos princípios físicos do ecossistema e ajuda a desenvolver um

---

\* Mestrado (UNICAMP) em Física, Bacharelado (UNICAMP) e Licenciatura (UNICAMP). Professor de Física, Biofísica, Informática em Educação (Graduação), Bioinformática e Bioestatística (Pós-graduação) no UNIANCHIETA.

Email: factorre@terra.com.br

vocabulário científico preciso para o uso na descrição e na análise, bem como a desenvolver a disciplina do pensar sobre temas ligados ao contexto. Ajuda também a avaliar decisões políticas, desenvolve um pensar crítico e reflexivo sobre ecossistemas, sua cadeia organizacional e nosso lugar dentro deles. Pretende desenvolver uma comunidade consciente e com ferramentas de discussão coerentes e com embasamento científico.

### OBJETO DO ESTUDO

A Serra do Japi é o principal atributo ambiental do município de Jundiá. Foi transformado em Área de Proteção Ambiental (APA) pelo poder legislativo do Estado de São Paulo. Situada a oeste do Planalto Atlântico com cerca de 350 Km<sup>2</sup>, abrange porções do território de Jundiá e de alguns municípios vizinhos (Cabreúva, Cajamar e Pirapora do Bom Jesus), caracterizada por elevações de topos relativamente aplainados e encostas bastantes íngremes, com altitudes variando entre 700 e 1291 metros (PAGE&VIGOUREUX, 1974) e pertencente a um conjunto montanhoso conhecido por serra de São Roque.

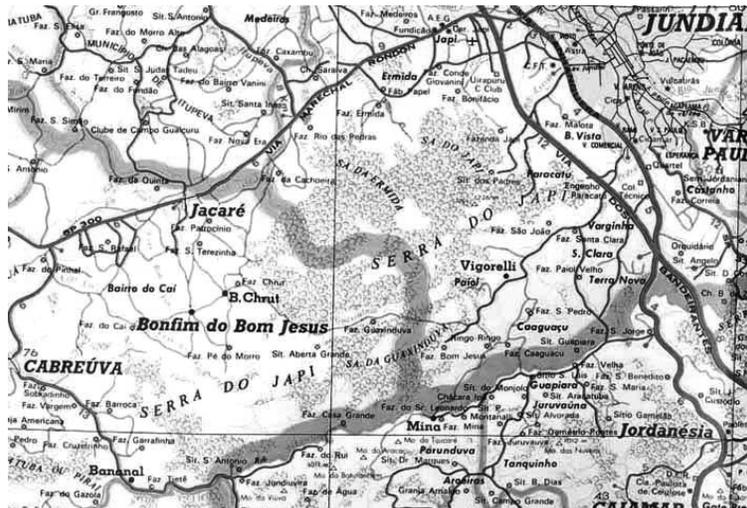


Figura 1 – Mapa da região da Serra do Japi. (obtida dos mapas da Prefeitura de Jundiá)

Em 08 de março de 1983, através da resolução nº 11, o Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico (CONDEPHAAT) da Secretaria de Estado da Cultura efetuou o tombamento da Serra do Japi. Esta legislação

preservacionista disciplina usos e atividades dentro de 191,652Km<sup>2</sup> da Serra, dos quais 47,76% estão em Jundiaí, 41,16% em Cabreúva, 10,49% em Pirapora do Bom Jesus e 0,61% em Cajamar. O tombamento é considerado um marco na luta pela preservação ambiental do Japi. Em 1992, foi declarada pela UNESCO como “reserva de biosfera de Mata Atlântica”.

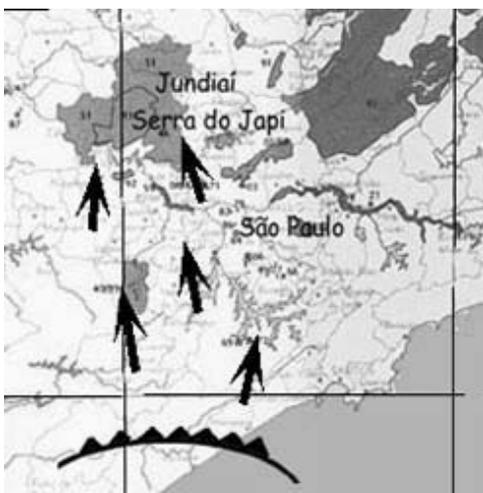


Figura 2 – Sistema de ventos predominantes na Serra do Japi. (obtida em [www.japi.org.br](http://www.japi.org.br))

A Serra do Japi apresenta-se como uma barreira aos ventos que saem do mar rumo ao planalto paulista, produzindo assim uma significativa diferença entre os índices de precipitação pluviométrica em suas faces sul e noroeste. O índice médio é 1900mm na face sul e 1367mm na face noroeste, correspondendo a 226 dias de chuva ao sul contra 95 a noroeste.

As temperaturas médias anuais estão entre 15,7° C e 19,2°C, nas partes mais alta e mais baixa respectivamente. O mês mais frio é julho (médias de 11,8°C e 15,3°C) e o mais quente, janeiro (18,4°C e 22°C). A influência da altitude sobre a temperatura e a pequena amplitude térmica, provavelmente em decorrência da alta umidade relativa do ar mantida pela vegetação local, podem ser observadas na Serra. Não existem, ainda, informações pluviométricas colhidas na própria Serra mas a precipitação anual medida na estação climatológica mais próxima é de 1400mm, concentrando-se de outubro a março, sendo que no inverno há um período de estiagem bem caracterizado.

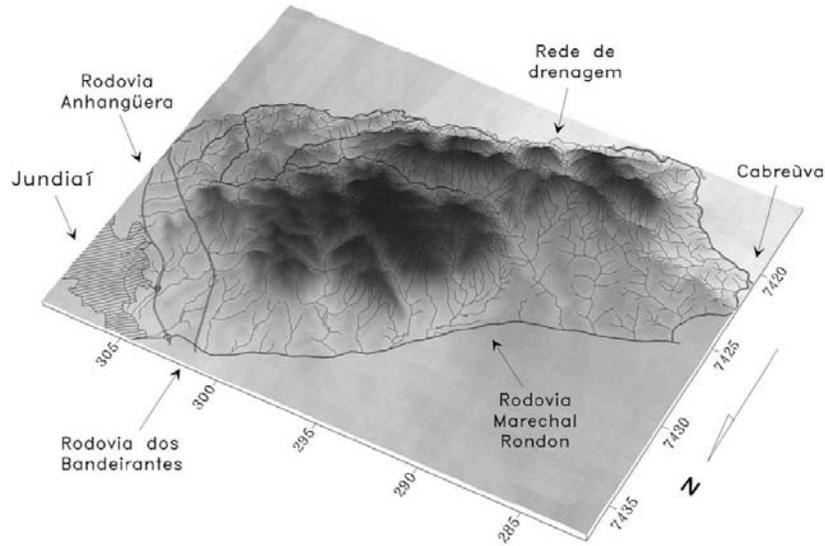


Figura 3 – Visão 3D da região da Serra (NEVES, M. A; EBERT, H.D.; MORALES, N. -2000- Modelo digital do terreno da região de Jundiaí/SP).

$$\vec{Q} = -k \frac{dT}{dz}$$

### DINÂMICA DA TEMPERATURA NO SOLO

Um modelo matemático da temperatura do solo precisa incluir tanto a condução do calor entre as várias camadas deste como sua capacidade em armazenar calor (BAVER; GARDNER; GARDNER, 1972).

Usaremos a Lei de Fourier para descrever a densidade do fluxo de calor entre  $z$  e  $z + \Delta z$  (com isto caracterizamos uma “fatia” muito fina de solo):

$$\text{onde } \begin{cases} k \text{ é a condutividade térmica do solo} \\ dT / dz \text{ é o gradiente de temperatura} \end{cases} \quad (1)$$

$$\dot{Q}_S = -\rho_S c_S \Delta z \frac{dT}{dt} \quad \text{onde} \quad \begin{cases} \rho_S & \text{densidade do solo} \\ c_S & \text{calor específico do solo} \\ t & \text{é o tempo} \end{cases} \quad (2)$$

a taxa de armazenamento de calor é igual a diferença entre o fluxo que entra em  $z$  e sai de  $(z + \Delta z)$  (Fig. 4); através das equações (1) e (2) temos:

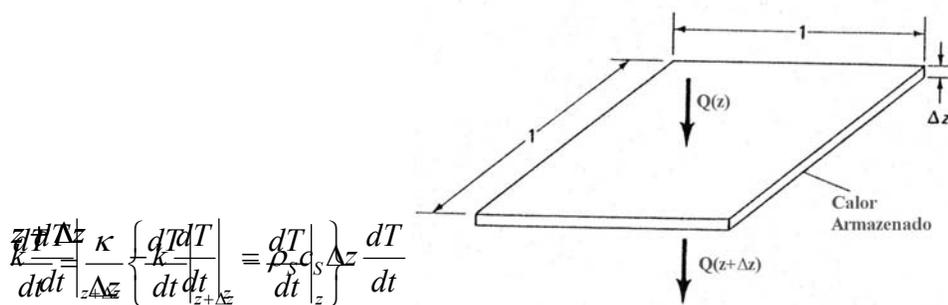


Figura 4 – Fina fatia de solo com área unitária que armazena calor graças ao fluxo entre  $z$  e  $(z + \Delta z)$

reagrupando os termos

$$\text{onde } \kappa = \frac{k}{\rho_S c_S} \quad (3)$$

assumindo que o solo é uniforme e infinitamente profundo e que a temperatura da superfície (GEIGER, 1965) seja dada por:

$$T(0, t) = \bar{T} + A(0) \text{sen}(\omega t) \quad (4)$$

com  $\begin{cases} \bar{T} \text{ é a temperatura média da superfície} \\ A(0) \text{ é a amplitude de flutuação de temperatura na superfície} \\ \omega = 2\pi / \tau \text{ é frequência angular de oscilação} \end{cases}$

integrando finalmente a equação (4) chegamos a:

$$T(z,t) = \bar{T} + A(0)e^{-z/D} \text{sen}(\omega t - z/D) \quad (5)$$

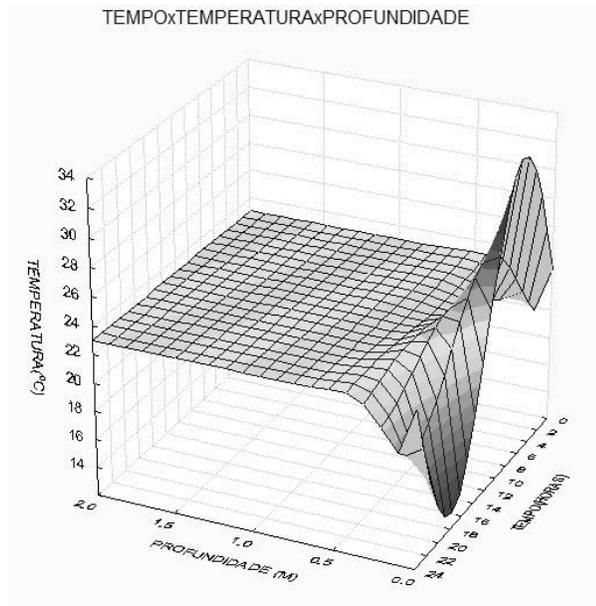
sendo  $D = \left(\frac{2\kappa}{\omega}\right)^{1/2}$  a profundidade de amortecimento (6)

Com os dados de temperatura, computados durante 24 horas, com um termômetro digital Salvterm acoplado a um "TandD Wireless Temperature Data Logger" para acumular dados, em um ponto de vegetação nativa, plotamos o gráfico abaixo:

Profundidade (m)	Tempo (horas)	Temperatura (°C)
0,00	13	23,00
0,20	16	21,28
0,40	19	20,73
0,60	22	18,02
0,80	1	17,01
1,00	4	15,00
1,20	7	14,50
1,40	10	14,00
1,60	13	14,00
1,80	16	14,00
2,00	19	14,00

Tabela 1 – A tabela mostra na primeira coluna os diversos níveis de profundidade estudados ao longo de 24 horas e a devida oscilação de temperatura nos referidos níveis. Com estes dados plotamos o gráfico abaixo onde claramente observa-se, observando-se seus eixos, a curva média originada que coincide com a equa-

ção experimental.



$$W = \bar{w} + u'$$

Figura 5 – Observe o caráter senoidal e o forte amortecimento da temperatura com a profundidade, conforme predito teoricamente.

### INFLUÊNCIA DO VENTO

Vamos dividir a velocidade do vento em três componentes em um sistema retangular, orientado de modo que o eixo  $x$  apontará na direção da velocidade média do vento (escolhido para ser mais conveniente). Assim a velocidade do vento na direção  $x$  é descrita como:  $u = \bar{u} + u'$ , onde  $\bar{u}$  é a velocidade média do vento e  $u'$  é a flutuação em torno do valor médio. A velocidade lateral do vento (perpendicular a  $\bar{u}$ ) será dada por  $v$ . Como o sistema de coordenadas é orientado na direção de  $\bar{u}$ , por definição podemos dizer que  $\bar{v}$  será zero, assim  $v = v'$ . A velocidade vertical será denotada por  $w$  e de maneira similar vamos definir que  $w = \bar{w} + w'$ .

Faremos uma analogia de todos os processos ocorridos na atmosfera turbulenta com o processo de difusão em um gás, de tal modo que mediremos as flutuações

de temperatura, velocidade do vento horizontal e vertical para chegarmos às relações que medirão o fluxo de calor atmosférico, momento ou massa.

O que nos conduz então as seguintes equações de fluxo:

$$(7)$$

$$H = \rho c_p \overline{w'T'} \quad (8)$$

$$E = \overline{\rho'_v w'} \quad (9)$$

onde  $\left\{ \begin{array}{l} \tau \text{ é o fluxo de momento para a superfície} \\ H \text{ é o fluxo de calor} \\ E \text{ é o fluxo de vapor de água} \end{array} \right.$

Embora o mecanismo de transporte entre moléculas e o transporte turbulento do vento não sejam iguais, podemos usar uma aproximação matemática similar. Para isto vamos definir  $k$  como um coeficiente de transporte, assim as equações (7), (8) e (9) serão reescritas da seguinte maneira, fornecendo-nos as equações dos estados estacionários:

$$\tau = -\rho \overline{u'w'}$$

$$\tau = k_M \rho \frac{d\bar{u}}{dz} \quad (10)$$

$$H = -k_H \rho c_p \frac{d\bar{T}}{dz} \quad (11)$$

$$E = -k_v \frac{d\bar{\rho}_v}{dz} \quad (12)$$

$$\text{onde } \begin{cases} k_M \text{ é a viscosidade do torvelinho} \\ k_H \text{ é difusividade térmica do torvelinho} \\ k_v \text{ é a difusividade do vapor em torvelinho} \end{cases}$$

Neste formato, estas equações não são muito úteis, pois não temos como dar valores para os coeficientes  $k$ . Sabemos, empiricamente, e também pelo fato de estarmos considerando uma atmosfera turbulenta, que os valores dos coeficientes  $k$  aumentam com a altura em relação à superfície, velocidade do vento, rugosidade e aquecimento da superfície.

Como a fricção do vento no topo da vegetação ocasiona uma turbulência maior, vamos definir uma velocidade de fricção deste vento, pois esta turbulência acarreta influência tanto na temperatura como na umidade relativa do ar, uma vez a que umidade é retirada da floresta e conduzida na direção do vento, modificando a umidade relativa do ar a distâncias consideráveis.

$$u^* = \left( \frac{\tau}{\rho} \right)^{1/2} \quad (13)$$

$K_M = ku^* (z + z_M - d)$  Vamos assumir que  $K$  é caracterizado pelas propriedades da superfície de troca ( $z = d$ ) e tem uma dependência linear com  $z$ ; escreveremos as funções de rugosidade (do ecossistema) em relação a estes parâmetros citados:

$$(14)$$

$$K_H = ku^* (z + z_H - d) \quad (15)$$

$$K_v = ku^* (z + z_v - d) \quad (16)$$

Assim, as funções de rugosidade são dependentes da superfície de troca e  $k$  é a constante de Von Karman (geralmente assume o valor  $k = 0,4$ )

Se substituirmos a equação (14) na equação (10) e a equação resultante for integrada em função da superfície de troca e uma altura arbitrária ( $z + z_M - d$ ),

chegamos a uma equação que descreve  $\bar{u}$  em função da altura:

$$\bar{u} = \frac{u^*}{k} \ln\left(\frac{z + z_M - d}{z_M}\right) \quad (17)$$

As outras equações de perfil, de maneira análoga, podem ser escritas como:

$$\bar{T} = T_0 - \frac{H}{\rho c_p k u^*} \ln\left(\frac{z + z_H - d}{z_H}\right) \quad (18)$$

e

$$\bar{\rho}_v = \rho_{v_0} - \frac{E}{k u^*} \ln\left(\frac{z + z_v - d}{z_v}\right) \quad (19)$$

$T_0$  e  $\rho_{v_0}$  são os valores médios da temperatura na superfície e densidade de vapor na superfície de troca (LAWRENCE; OCHS; CLIFFORD, 1970). A constante  $d$  deve ser entendida como a distância de uma altura arbitrária tomada como zero até uma altura média para computarmos o calor, vapor ou momento de troca de energia.

Se tivermos uma vegetação esparsa, podemos assumir  $d = 0$ ; no nosso caso, como temos uma vegetação extremamente densa e com copas de árvores de diferentes altura (LAWRENCE; CLIFFORD, 1972), provocando uma maior turbulência, empiricamente (GEIGER, 1965) chega-se à seguinte relação para uma altura média da vegetação:

$$d = 0,72h \quad (20)$$

O parâmetro de aspereza depende da forma, altura e espaçamento dos elementos; novamente empiricamente chega-se a (GEIGER, 1965):

$$z_M = 0,25h \quad (21)$$

$z_M$

Para nossa pesquisa vamos assumir, novamente por dados empíricos, que os parâmetros de aspereza para as outras equações serão:

$$z_H = z_V = 0,3z_M \quad (22)$$

Com os dados obtidos in loco, construímos os gráficos abaixo, que novamente mostram que a teoria está consistente, pois o desvio dos mesmos em relação ao teórico é muito pequeno. A tabela contém dados obtidos na própria Serra do Japi.

Altura (m)	V do Vento (m/s)
0,30	0,28
0,50	0,66
0,80	0,84
1,30	1,10
1,50	1,18
1,80	1,24
2,00	1,30

Tabela 2 – Dados obtidos na Serra do Japi. Para diferentes alturas, mediu-se a velocidade do vento com um anemômetro Digital Lutron AM-4201.

Com os dados da tabela devidamente agrupados e calculados de acordo com as equações (13), (17), (20) e (21), chegamos a:

$$u = 1,30m/s$$

$$u^* = 0,16m/s$$

$$h = 0,30m$$

$$d = 0,72h = 21,60cm$$

$$z_M = 0,25h = 7,50cm$$

$$\text{equação teórica: } \bar{u} = 0,40 \ln \left( \frac{z - 14,10}{7,50} \right)$$

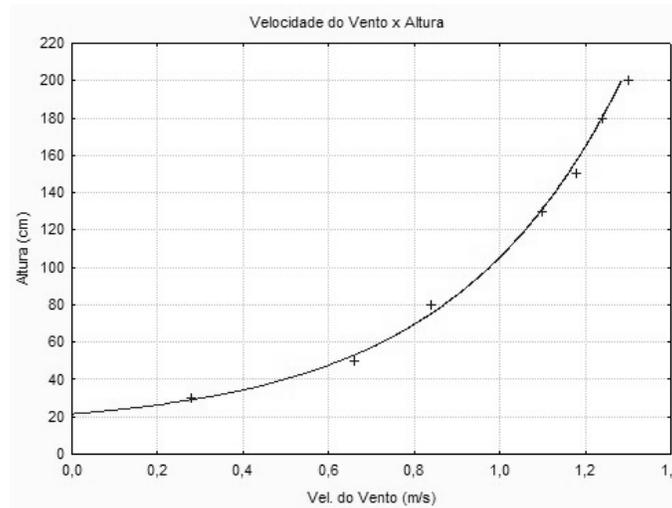


Figura 6 – Linha contínua plotada através da equação (17) teórica e os pontos são medições do vento no local.

### MATERIAS E MÉTODOS

Os seguintes locais foram alvo de estudo nesta primeira fase da pesquisa e desenvolvimento de uma teoria do microclima local.

· P1: BICA, área de borda.

S 23° 14' 21,4''

W 46° 56' 05,0''

Altitude: 1050m ± 150m

Barômetro: 896Pa

· P2: TRILHA, área fechada.

S 23° 14' 23,0''

W 46° 56' 12,6''

Altitude: 1050m

Barômetro: 891Pa

· P3: ESTRADA, área de borda.

S 23° 14' 00,7''

W 46° 56' 20,7''

Altitude: 1186m ± 21m

Barômetro: 880Pa

· P4: OBSERVATÓRIO, campo aberto.

S 23° 13' 54,1''

W 46° 56' 25,3''

Altitude: 1209m ± 24m

Barômetro: 880Pa

±0,5%

Equipamento utilizado:

Cada instrumento, adequadamente manipulado, serviu para uma aquisição de dados. Com o anemômetro mediu-se a velocidade do vento em várias alturas (camadas). Com o termômetro digital medimos não só a temperatura ambiente, mas a de solo também. Tanto o psicometro como o higrômetro serviram para a medição da umidade.

· Termômetro Digital Salvterm 1200K

Alcance da medição: -50°C a 1300°C

Precisão: ±0,3% na leitura de 1°C na faixa de -50°C a 1300°C

na leitura de 1°C na faixa de 1000°C a 1300°C

Fundo: 0,1°C

· TandD Wireless Temperature Data Logger

**Measurement Channel:** 1 internal sensor for temperature

**Internal Temperature Sensor Range:** -40 to +80°C

**Measurement Display Resolution:** 0.1 °C

**Measurement Accuracy:** Avg. ±0.5°C

**Memory:** 16,000 Readings x 1 Channel

**Recording Interval:** 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30 seconds / 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 60

minutes (Total of 15 choices)

**Water Resistance:** IP67 (full immersion)

**Recording Mode:** Endless (Overwrite oldest data when capacity is full) / One-time (Stop recording when capacity is full)

**Interface:** Optical Communication @ 2,400 bps (Between unit and TR-50C)

**LCD Display Items:** Current Readings / Recording Settings / Battery Life Warning / Over Measurement Range Warning / Amount of Recorded Data

**Power:** Lithium Battery (LS14250(SAFT)) x 1 or AC Adaptor (sold separately)

**Battery Life:** Approx. 6 months (Battery life depends on measurement environment, recording interval and battery performance)

**Dimension:** H62 mm x W47 mm x D19 mm (excluding protrusions / antenna length 20mm)

**Wireless Method:** FCC Part15 Section249 / IC RSS-210

**Interface:** RTR-57C for wireless communication RTR-57C or TR-50C for optical communication

**Communication Speed:** When downloading data (Wireless) about 2,000 readings per minute [Collection of a full unit of data= about 420 seconds (optical communication= about 160 seconds)]

**Transmission Distance:** Up to 100 meters (may vary with conditions)

**Unit Temp. Resistance:** -40 to 80°C

· Anemômetro Digital Lutron AM-4201

±5%

· Termômetro de Mercúrio Incoterm

Escala: - 10°C a 110°C

Fundo: 1°C

· Termo-higrômetro com fio sintético TFA Dostmann GmbH

Escala: 0 a 100% UR

Precisão: UR

Fundo: 1% UR

· Psicometro

Equipado com dois termômetros de mercúrio Incoterm

Escala: - 10°C a 50°C

Fundo: 0,2° C

## CONCLUSÃO

A pesquisa, não obstante ainda muito no início, nos permite observar que a importância da Serra do Japi para a região é fundamental.

Embora seja uma área de proteção ambiental é visível que as bordas estão paulatinamente sendo invadidas, há inúmeros pontos de desmatamento clandestino e condomínios de alto padrão sendo implantados.

Não temos dados suficientes ainda para afirmar muita coisa, mas, pela observação tanto da mata quanto da cidade, podemos prever que o regime de ventos na região será mudado (conseqüentemente a temperatura e umidade), caso ocorra um desmatamento pronunciado (velocidade do vento na cidade e mata, mesmo dia

e hora:  $v_M = 8m/s$ . Como a mata retém umidade por muito mais tempo, como constatamos, do que a região urbana, e as copas das árvores favorecem uma mistura turbulenta desta umidade com os ventos predominantes na região, podemos imaginar que o vento que chegará nas cidades da região será muito mais seco e quente do que atualmente (umidade do ar, na cidade e mata: 30% e 70%).

O efeito cascata na mudança do microclima da região será catastrófico para a economia agrícola dos municípios limítrofes. Estimamos uma mudança da ordem de aproximadamente 10% a 15% (dados no próximo artigo) nos parâmetros pesquisados (temperatura → aumentará, umidade relativa do ar diminuirá e velocidade dos ventos → aumentará).

Estamos tentando sensibilizar algumas prefeituras da região, na esperança de que administração e pesquisa sejam companheiras e possam se ajudar. Tarefa árdua como pudemos sentir até o presente momento.

$$\vec{v}_C = 12m/s$$

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PAGE, C. H.; VIGOUREUX P. The International System of Units. Nat. Bur. Stand. Spec. Publ. 330 U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C., 1974.

SEEGER, R. J. *Benjamin Franklin, New World Physicist*. New York: Pergamon Press, 1973.

BAVER, L. D., GARDNER W. H.; GARDNER W. R. *Soil Physics*. 4th Ed. New York: Wiley, 1972

GEIGER, R. *The Climate Near the Ground*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1965.

LAWRENCE, R. S.; OCHS G. R.; CLIFFORD S. F. Measurements of atmospheric turbulence relevant to optical propagation. J. Opt. Soc. Am., 1970. 60:826-830.

\_\_\_\_\_. Use of scintillations to measure average wind across a light beam. *App!. Optics*, 1972. 11:239-243.

VAN WIJK, W. R. (Ed.). *Physics of the Plant Environment*. New York: Wiley, 1963.