UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

BALANÇO DE RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS EM AMBIENTE PROTEGIDO E AVALIAÇÃO DE MODELOS DE ESTIMATIVA

MARCO ANTÔNIO LUNARDI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Irrigação e Drenagem

BOTUCATU-SP
Fevereiro - 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

BALANÇO DE RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS EM AMBIENTE PROTEGIDO E AVALIAÇÃO DE MODELOS DE ESTIMATIVA

MARCO ANTÔNIO LUNARDI

Orientador: Prof. Dr. João Francisco Escobedo

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Irrigação e Drenagem

BOTUCATU-SP
Novembro – 2002

Seja nosso trabalho arte, ciência ou o mister social cotidiano, a única real diferença está na forma pela qual exploramos nossa experiência; permanece a mesma a necessidade de explorar. Esta a razão pela qual, no fundo, a sociedade de cientistas é mais importante do que suas descobertas. O que a ciência tem para ensinar-nos não são as técnicas, mas seu espírito:

A irresistível necessidade de explorar.

JACOB BRONOWSKI

À minha esposa,

Dalva,

por seu amor, estímulo e determinação, e

à minha filha,

Vivian,

pela força de sua presença e esforço na compreensão,

Dedico!

Ao **Prof. Dr. João Francisco Escobedo**,

pela orientação, dedicação e principalmente pela confiança,

Agradeço!

À **FAPESP**,

Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo,

pelo incentivo concedido através de bolsa e reserva técnica

(Processo 98/15085-0),

Ofereço!

SUMÁRIO

Página

LISTA DE QUADROS VII
LISTA DE FIGURAS IX
1 RESUMO 01
2 SUMMARY 03
3 INTRODUÇÃO 05
4 REVISÃO DE LITERATURA 07
4.1 Saldo de energia disponível (Rn) 07
4.2 Ambiente protegido 11
4.3 Cultura do pimentão 14
5 METERIAL E MÉTODOS 21
5.1 Local do experimento 21
5.2 Características climáticas da região 21
5.3 Caracterização do solo 22
5.4 Cultura 23
5.5 Área experimental 24
5.6 Monitoramento dos elementos meteorológicos 25
5.7 Condução do experimento 26
5.8 Análise de produção da cultura 27
5.9 Determinação dos modelos de estimativa do saldo de ondas longas (BOL) 28
5.9.1 Equações de estimativa da emissão de energia de ondas longas pela atmosfera (E_a) 30
5.9.2 Equações de estimativa da emissão de energia de ondas longas pela superfície (E_s) 31
5.9.3 Determinação do saldo de energia de ondas longas para dias sem nuvens 32

SUMÁRIO

Página

5.9.4 Determinação dos modelos de estimativa do saldo de energia de ondas longas para dias nublados e para dias sem nuvens 32
5.9.5 Avaliação do desempenho dos modelos de estimativa do saldo de energia de ondas longas..... 33
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 34
6.1 Condições meteorológicas do período analisado..... 34
6.1.1 Velocidade do vento (V_2) 35
6.1.2 Umidade do ar..... 36
6.1.3 Temperatura do ar (T_a) 38
6.1.4 Temperatura do solo (T_s)..... 39
6.1.5 Saldo de energia de ondas curtas (BOC)..... 41
6.1.6 Saldo de energia de ondas longas (BOL)..... 44
6.1.7 Fluxo de calor no solo (G) 47
6.2 Determinação dos modelos de estimativa de emissão de energia de ondas longas pelo ar (E_a) 50
6.3 Determinação dos modelos de estimativa de emissão de energia de ondas longas pela superfície do solo (E_s)..... 53
6.4 Saldo de energia de ondas longas (BOL)..... 56
6.5 Avaliação do desempenho dos modelos gerados para estimativa do saldo de energia de ondas longas..... 58
6.6 Análise de produção da cultura do pimentão..... 64
7 CONCLUSÕES 66
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 68

LISTA DE QUADROS

Quadro **Página**

1 Característica química do solo 22

2 Característica física do solo 23

3 Dados meteorológicos médios do período e as normais climatológicas da região 35

4 Dados de velocidade do vento 36

5 Dados de umidade relativa, pressão máxima de vapor, pressão parcial de vapor e evapotranspiração da cultura 37

6 Efeito da condição de nebulosidade sobre os dados de temperatura do ar 38

7 Temperatura média do solo (T_s), a 10 e 20 cm, no ambiente protegido e no campo no dia mais frio e mais quente do período 41

8 Valores médios diários da radiação global, saldo de energia, radiação refletida, saldo de energia de ondas curtas, radiação difusa, radiação direta e transmissividade, na condição de cultivo protegido e no campo 42

9 Valores médios diários da radiação global, radiação refletida, radiação difusa e radiação direta, na condição de cultivo protegido e no campo, para dias limpos e nublados 43

10 Saldo de radiação de ondas longas (BOL), emissão de energia pela superfície do solo (E_s) e emissão de energia pelo ar (E_a) 45

11 Valores de temperatura média do ar em três alturas, nos dois ambientes, obtidos com termopares cobre-constantan 46

12 Valores médios do fluxo de calor no solo 47

13 Equações propostas para a estimativa da emissão de energia de ondas longas (E_a),no campo, como função da pressão parcial de vapor (e_a), da temperatura do ar (T_a) e da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa}) 50

14 Equações propostas para a estimativa da emissão de energia de ondas longas (E_a) no ambiente protegido, como função da pressão parcial de vapor (e_a) e da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa})..... 52

LISTA DE QUADROS

Quadro **Página**

15 Equações propostas para a estimativa da emissão de energia de ondas longas pela superfície, E_s, na condição de campo, como função da pressão parcial de vapor (e_a), da temperatura do ar (T_a) e da média entre temperatura do solo e ar (T_{sa})..... 54

16 Equações propostas para a estimativa da emissão de energia de ondas longas (E_s), no ambiente protegido, como função da pressão parcial de vapor (e_a) e da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa})..... 55

17 Equações propostas para a estimativa do saldo de energia de ondas longas (BOL) no campo, como função da pressão parcial de vapor (e_a), da temperatura do ar (T_a) e da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa})..... 56

18 Equações propostas para a estimativa do saldo de energia de ondas longas (BOL) no campo, como função da pressão parcial de vapor (e_a), da temperatura do ar (T_a), da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa})..... 57

19 Equações propostas para a estimativa do saldo de energia de ondas longas (BOL) no ambiente protegido, como função da pressão parcial de vapor (e_a), da temperatura do ar (T_a), da média ponderada entre temperatura do solo e ar (T_{sa})..... 58

20 Dados médios por fruto de pimentão Elisa, obtidos em 9 colheitas: quantidade, massa, comprimento e diâmetro, espessura, produção e produtividade..... 64

21 Dados médios da classificação dos frutos, de pimentão Elisa, obtidos em 9 colheitas, por grupo, sub-grupo, classe, sub-classe e categoria..... 65

LISTA DE FIGURAS

Figura **Página**

1 Foto da área experimental, ambiente protegido, no dia 26/08/2003 24

2 Foto da área experimental, ambiente externo, no dia 26/08/2003..... 25

3 Comportamento da temperatura do ar e do solo, ao longo do ciclo..... 40

4 Média semanal da temperatura do solo (T_s) a 10 cm e do Índice de Área Foliar (IAF) no ambiente externo 40

5 Comportamento diário do fluxo de calor no solo (G) e da radiação global incidente (Rg)..... 48

6 Média semanal do fluxo de calor no solo (G) e da radiação global incidente (Rg), para ambiente protegido 48

7 Média semanal do fluxo de calor no solo (G) e da radiação global incidente, para ambiente externo..... 49

8 Correlação entre a energia disponível medida (Rn) no campo e a energia disponível estimada, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação BOL 1 59

9 Correlação entre a energia disponível medida (Rn) no campo e a energia disponível estimada, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação BOL 2 59

10 Correlação entre a energia disponível medida (Rn) no campo e a energia disponível estimada, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação BOL 3 60

11 Correlação entre a energia disponível medida no ambiente protegido e a energia disponível estimada, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação BOL 4 61

12 Correlação entre a energia disponível medida no ambiente protegido e a energia disponível estimada, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação BOL 5 61

13 Correlação entre a energia disponível medida (Rn) no campo e a energia disponível estimada, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação BOLBrunt 62

14 Correlação entre a energia disponível medida (Rn) no ambiente protegido e a energia disponível estimada, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação BOLBrunt 63

1 RESUMO

Este experimento foi conduzido, dentro e fora de ambiente protegido, durante o período de 21/04 a 03/11/2000, na área experimental do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu, São Paulo (latitude 22° 51' S, longitude 48° 26' W e altitude de 786 m). O objetivo foi avaliar o efeito do Polietileno de Baixa Densidade com 150 μm de espessura, difusor de luz (PEBD150d), no saldo de energia de ondas longas, assim como no desenvolvimento do pimentão vermelho (*Capsicum annuum* L.) híbrido Elisa e indicadores de produção da cultura.

Os modelos de estimativa do saldo de ondas longas foram obtidos por meio de regressão linear entre os valores medidos deste parâmetro climático, pressão de vapor e temperatura do ar e solo.

Os resultados mostraram que em condições de ambiente protegido houve aumento de produção da cultura, em relação ao ocorrido no campo, e significante diferença na transmissividade da energia líquida pela cobertura. Houve redução do fluxo de calor no solo, velocidade do vento, número de horas de insolação, consumo de água, radiação

direta e refletida. Contrariamente, a radiação solar difusa teve aumento de 158 %, confirmando o alto efeito difusor do PEBD150d.

Os testes dos modelos de estimativa obtidos mostraram alto coeficiente de determinação ($r^2 > 0,90$), tanto para o ambiente protegido como no campo.

THE LONG WAVE RADIATION BALANCE IN A PROTECTED ENVIROMENT AND EVALUATION OF YOUR'S ESTIMATING MODELS. Botucatu, 2002. 93p. Tese (Doutorado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARCO ANTÔNIO LUNARDI

Adviser: JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO

2 SUMMARY

This experiment was carried out under field and protected environment conditions in the experimental area of the Natural Resources Department of the Faculty of Agricultural Sciences – UNESP, Campus of Botucatu, São Paulo State, Brazil, from April 21st to November 3rd, 2000. The objective was to assess the effect of the light diffuser polyethylene with 150 µm thickness (PEBD150d), on the long wave radiation estimate, as well as on growth and yield index of the hybrid Elisa of red pepper (*Capsicum annuum* L.).

The long wave radiation models was obtained by linear regression of measured values of this climatic parameter and water vapor pressure, air and soil temperature.

The results showed that the protected environmental condition provided gains of yield in relation to field and significant difference in the long wave transmission though the coverage. There was reduction of the heat flux from soil, wind speed, number of hours of sunshine, water consumption, reflected and direct radiation. The diffuse solar radiation had an increment of 158 %, confirming the higher diffuse effect of PEBD150d.

The tests of the estimating models obtained for long wave presented high determination coefficient for both environmental conditions ($r^2 > 0.90$).

Keywords: Long wave radiation, net radiation, protected environment, *Capsicum annuum*, pepper crop.

3 INTRODUÇÃO

A utilização de ambientes protegidos com cobertura plástica, tem se expandido nos últimos anos por ser uma alternativa de cultivo na entressafra, garantindo maior lucro ao produtor. Mas, ao mesmo tempo em que seu emprego possibilita o desenvolvimento de espécies de interesse econômico, devido à ausência do efeito de temperaturas extremas e de granizo, as alterações causadas no microclima, levam a mudanças no ciclo da cultura e na ocorrência de pragas e doenças.

Devido à ausência de especificações, quanto à composição, durabilidade e propriedades óticas, os diversos materiais destinados à cobertura de ambiente protegido, nem sempre proporcionam aos usuários os rendimentos esperados. Para garantir sua eficiência, deve-se levar em consideração a finalidade da cobertura, as exigências da cultura a ser explorada e as novas práticas de manejo a serem adotadas.

Dentre estes materiais o Polietileno de Baixa Densidade, difusor de luz, tem-se destacado por aumentar a porcentagem de energia solar difusa, característica bastante desejável por ser essa componente a mais efetiva para a fotossíntese.

O efeito da espessura do polietileno de baixa densidade (PEBD) sobre a transmissividade da radiação solar e seus efeitos sobre a produção de culturas agrícolas, tem sido muito estudado, assim como sua alteração ótica com o tempo. Todavia, devido à ausência de sensores de medida, não existem informações sobre o efeito da cobertura na absorção e emissão da energia de ondas longas, associadas ao aumento de produção.

Sendo o pimentão uma das olerícolas mais cultivadas em ambientes protegidos no Brasil, apresentando nessa forma de cultivo maior produção total e porcentagem de frutos comerciais. Neste trabalho, objetivou-se desenvolver e testar modelos de estimativa do saldo de energia de ondas longas dentro e fora de ambiente protegido, utilizando PEBD difusor de luz com 150 μm de espessura, avaliando seu efeito sobre os diversos elementos de clima e desenvolvimento do pimentão híbrido Elisa.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Saldo de energia disponível (Rn)

O saldo de energia disponível (Rn) aos processos físicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre é a somatória entre o balanço de ondas curtas (BOC) e o balanço de ondas longas (BOL). Sua medida tem aplicação direta para a quantificação do potencial energético de uma região, planejamento racional do uso da água e do solo e determinação da evapotranspiração (Cunha et al., 1996; Alves & Pereira, 1998; Galvani et al., 1999; Netto et al., 1999).

Ao longo do dia o saldo de energia (Rn) tende a ser positivo, pois, os fluxos incidentes são superiores às frações refletidas e emitidas e durante a noite geralmente são negativos, pois a energia emitida pela superfície é maior que a emissão atmosférica (Geiger, 1961, Monteith, 1973, Pezzopane et al., 1995). Rn é utilizada essencialmente nos processos de aquecimento do ar e solo (calor sensível, H), evapotranspiração das plantas (calor latente, LE) e fotossíntese. Em condição de umidade ideal para a transpiração das plantas, a

relação entre o fluxo de calor sensível e latente (H/LE), conhecido como razão de Bowen (β) é pequeno e praticamente constante.

Chang (1977) relata que nas regiões tropicais e nas latitudes médias o Rn contribui com 80 a 90% para o fluxo de calor latente. Pedro Júnior & Villa Nova (1981), trabalhando com cultura de soja, encontraram valores da ordem de 72% para o fluxo de calor latente, 13% para o fluxo de calor sensível e 15% para o fluxo de calor no solo. Cunha et al. (1996) observaram que o fluxo de calor latente de evaporação supera o fluxo de calor sensível, aumentando a diferença entre ambos com o desenvolvimento da cultura. Segundo os mesmos autores, o fluxo de calor no solo acompanha a disponibilidade de energia sendo inversamente proporcional ao índice de área foliar, o mesmo observado por (Alves & Pereira, 1998). Stanhill et al. (1966) observaram que o total diário do saldo de radiação (Rn) correspondeu a 58% da radiação global (Rg), para a água, 25% para desertos e de 50% para superfícies vegetadas, concluindo que tais valores aumentam com a diminuição da latitude devido a um menor coeficiente de reflexão.

Em muitos locais, devido à indisponibilidade dos instrumentos de medida, o valor de BOC é obtido por meio da sua estimativa com base na energia solar teoricamente disponível acima da atmosfera (Qo) e da razão de insolação (n/N). Ângström (1924) foi o primeiro pesquisador a propor uma equação para sua estimativa, sendo seguido por outros pesquisadores que buscavam determinar os coeficientes específicos para cada condição climática estudada, surgindo diferenças quanto ao intervalo de tempo considerado para obtenção dos valores médios. Tubelis & Nascimento (1976) utilizaram dados de Qo do 15º dia de cada mês, propondo uma equação para Botucatu, SP. Cury & Catâneo (1994), no mesmo local, empregaram valores médios diários por estação do ano. Cury & Laperuta (1998)

adotaram a média obtida de valores horários. Cury-lunardi et al (1997) comparando o desempenho dessas equações observaram que o modelo desenvolvido por Tubelis & Nascimento (1976) apresentou maior precisão, devido à melhor atenuação dos erros, em função do autor ter considerado maior intervalo de tempo para obtenção dos valores médios.

Penman ao discutir os erros na obtenção do saldo de energia disponível (Rn), observou que eles são maiores quando a radiação global é medida e a energia de ondas longas é estimada, do que se ambas forem estimadas, devido a seus erros absolutos serem na mesma direção (Tanner & Pelton, 1960).

Sendo o coeficiente de reflexão (r) dado pela relação entre o fluxo incidente e refletido da energia de ondas curtas, podendo variar com o ângulo de elevação solar, tipo e condição do solo, tipo e quantidade de irradiância, seu valor também deve ser determinado para as condições experimentais (Leitão et al., 1990). Em superfícies naturais com densa cobertura de vegetação, o (r) pode variar de 0,10 a 0,25 (Budiko, 1974), sendo os menores valores quando o sol está próximo ao zênite e os maiores à medida que ele se aproxima do horizonte.

Em Botucatu, SP, Souza (1996), concluiu que o coeficiente de reflexão para a cultura do feijão vagem variou de 0,10 a 0,16, quando cultivado em campo e de 0,20 a 0,25 em ambiente protegido.

O saldo de energia de ondas longas (BOL) é composto pela somatória da energia emitida pela superfície (E_s) e a energia emitida pelo ar (E_a). Segundo Azevedo et al. (1989), este termo é o mais difícil de se determinar, sendo a equação de estimativa mais utilizada representada através da pressão de vapor, conforme proposto por Angström (1924) e Brunt (1932).

Para se entender o seu emprego, em todas as condições de nebulosidade, Conrad (1944) incluiu um termo multiplicador que varia com a fração de nebulosidade (m) assumindo completa relação entre este e a razão de insolação (n/N). Embora a equação proposta por Brunt (1932) tenha bom desempenho, suas constantes não se aplicam a todas as condições, conforme Jensen (1974). Segundo Monteith & Szeicz (1961), ela só é válida para valores médios de emissão atmosférica, super estimando para períodos menores que um dia. Wright & Jensen (1972) consideraram que suas constantes devem ser obtidas por estação do ano. Monteith & Szeicz (1962) observaram super estimativa à noite e sub estimativa durante o dia, considerando essa variação, função do gradiente de temperatura da superfície (T_s).

Outras equações, como a de Swibank (1963), foram desenvolvidas para representar o saldo de energia de ondas longas utilizando diferentes elementos de clima. Esse autor considerou exagerado atribuir o efeito da pressão de vapor na emissão de ondas longas pela superfície, mostrando que somente com dados de temperatura do ar se poderia estabelecer uma equação precisa. Wright & Jensen (1972) propuseram uma equação tendo com variáveis independentes a pressão de vapor e a temperatura média do ar. Brutsaert (1975) propôs que a emissão atmosférica (E_a) poderia ser estimada por uma equação tendo a razão entre a pressão de vapor e temperatura do ar como varáveis independentes.

Ao desenvolver sua equação, Brunt (1932) derivou analiticamente a emissividade atmosférica da atmosfera padrão. Fucks & Tanner (1966), assim como Smith (1991), consideraram a emissividade da superfície igual a 0,98. Idso & Jackson (1969) sugerem uma equação para obtenção da emissividade líquida com dados médios de temperatura do ar.

4.2 Ambiente protegido

Pode-se definir como ambiente protegido uma estrutura coberta artificialmente com materiais transparentes, que tem como objetivo proteger as culturas dos agentes meteorológicos (Cermeño, 1990).

Dentre os fenômenos meteorológicos adversos que são evitados com o seu emprego destacam-se as geadas, granizo, excesso de chuva, elevada intensidade de radiação solar durante o dia e queda brusca de temperatura durante a noite. Além desses efeitos diretos essa forma de cultivo evita a lixiviação do solo, diminuindo custos com fertilizantes e defensivos (Melo, 1997).

Durante a entressafra com o objetivo de obter maior produtividade, melhor qualidade e alta eficiência no uso da água, muitos agricultores têm optado por essa forma de cultivo, embora apresente algumas desvantagens como alto custo de instalação e manutenção (Stanghellini, 1993). O efeito da cobertura plástica sobre os elementos de clima varia com o tipo e espessura do material; inclinação, orientação, tamanho, forma e altura da estrutura. Algumas dessas características se modificam com o tempo, aumentando sua opacidade, alterando a energia disponível e outras variáveis climáticas em seu interior (Farias, 1992).

Durante o verão, ao longo do dia, valores elevados de temperatura e umidade do ar ocasionam doenças nas plantas e no solo difíceis de serem tratadas, em ambiente protegido, em função da uniformidade genética podem ocorrer aumento da incidência de pragas, insetos e ácaros por falta de inimigos naturais (Van den Bos, 1983)

Camacho et al. (1995) observaram que o maior efeito da cobertura de polietileno (100 μm) sobre a temperatura do ar ocorreu em seus valores máximos e mínimos, encontrando valores inferiores entre os meses de junho e outubro. Buriol et al. (1993), constataram que as temperaturas mínimas em condições de ambiente protegido foram, em média 1,2 °C superiores às verificadas em condição de campo.

Faria Jr. (1997) observou que no verão os valores de temperatura máxima foram de 3 a 5 °C mais elevadas no ambiente protegido, sendo as diferenças com relação às temperaturas mínimas de 0,3 ^{o}C. Observaram ainda, valores de umidade relativa superiores nessa condição.

Herter & Reisser JR (1987), estudando o microclima de ambiente protegido, modelo capela, constataram que a temperatura mínima apresentou aumento de 0,1 a 0,8 ^{o}C, e a temperatura máxima de 4,0 a 4,3 ^{o}C. Os mesmos autores estudando perfis horizontais de temperatura verificaram valores decrescentes da parte central para as laterais, enquanto que, nos perfis verticais os menores valores foram encontrados junto ao solo.

De acordo com sua coloração, opacidade ou transparência, os filmes plásticos se comportam diferentemente quanto à absorção, reflexão e transmissão das radiações de onda curta e longa (Robledo de Pedro & Vicente, 1988). Kurata (1990) observou que a densidade de fluxo da radiação solar global no interior de ambientes protegidos é menor que a verificada no campo, devido à maior reflexão e menor absorção da energia incidente. Grodzky et al. (1991) observaram que o polietileno transmite 60% da radiação solar incidente, embora o desenvolvimento das plantas não seja afetado. Farias et al. (1993) observaram que a transmissividade da cobertura à radiação solar varia com o ângulo de sua incidência, sendo seu valor em média 83% da radiação solar próximo das 12 horas, 93% entre as 14 e 16 horas e de

52 a 77% entre as 7 e 17,5 horas, respectivamente. Borsatto et al. (1999), trabalhando com filmes de PVC transparente, obtiveram uma atenuação de 35% para radiação global, 40% para a radiação fotossinteticamente ativa e 30% na luminosidade.

Frisina (1998), observou que em ambiente protegido cultivado com alface a transmissão média da energia incidente foi de 79,59%, sendo que o coeficiente de reflexão da cultura aumentou de 0,12 a 0,27 durante o ciclo, devido ao aumento da área foliar. Assis (1998), analisando ambientes protegidos com cobertura plástica de 100µm, nas orientações N-S e L-O, obteve de 55 a 77% de transmissividade para a orientação N-S e entre 66 a 78% para L-O. A razão entre a radiação difusa e a global variou de 23 a 48% para a condição externa, e de 44 a 68% no ambiente protegido com orientação N-S e de 51 a 76% na orientação L-O.

Baille & Baille (1990) consideraram que o ambiente protegido tem alta transmissividade da radiação solar durante o período do inverno e homogeneidade de distribuição da luminosidade em seu interior. Faria Jr. (1997), estudando a transmissividade do polietileno em ambiente protegido do tipo arco e capela, encontraram para a radiação global (Rg), em dias de céu encoberto, valores de 79,7 e 81,2%, respectivamente.

Giacomelli et al. (1988), em ambiente protegido, tipo arco, coberto com filme duplo de polietileno, observaram que a transmissividade foi de 64,7% para a energia disponível (Rn) e 67,1% para a radiação fotossintéticamente ativa (RFA).

A reflexão da energia de ondas curtas pela cobertura plástica varia com o tempo de utilização, deposição de poeira, ângulo de incidência da radiação solar, inclinação e forma da cobertura e orientação geográfica (Montero et al., 1985). Tanaka & Genta (1982), concluíram que quanto mais a incidência da radiação solar for perpendicular à superfície da

cobertura, menor será a reflexão.

No ambiente protegido os valores diurnos do saldo de radiação tendem a ser menores devido à absorção e reflexão da cobertura de polietileno, ocorrendo menores perdas de energia a noite. Embora sua transmissividade seja grande, de 80%, segundo Robledo de Pedro & Vicente (1988), essa redução nas perdas, promovida pelo polietileno de baixa densidade, são significativas (Buriol et al., 1993).

Segundo Bakker (1990) e Cokshull (1990) no interior desse ambiente, o consumo de água é menor, principalmente pela atenuação na densidade de fluxo da radiação solar incidente e no perfil aerodinâmico, resultando em menor velocidade de renovação do ar junto às plantas com aumento da umidade do ar. A diminuição da transpiração das plantas provoca baixa produtividade devido a deficiências nutricionais, exigindo uma estratégia apropriada para o controle da irrigação e aumento no movimento do ar interno (Jolliet & Bailey, 1992).

A irrigação em ambiente protegido requer o conhecimento da necessidade hídrica da cultura e o manejo adequado de irrigação (Farias, 1992).

4.3 Cultura do pimentão

O pimentão (*capsicum annuum* L.) é uma dicotiledônia da família Solanácea, sendo no gênero *Capsicum* a espécie mais cultivada. É uma cultura anual de relativa adaptação às condições climáticas sendo caracterizada pela necessidade de emprego intensivo de insumos e mão de obra, exigindo o planejamento de produção e tecnologias adequadas, a fim de se obter um fruto de qualidade (Klosowski, 2001).

A planta caracteriza-se por uma intensa vegetação arbustiva em climas tropicais e subtropicais, atingindo de 0,50 a 0,80 m de altura com hastes flexíveis e folhas ovais, dispostas alternadamente. Tem flores solitárias nas axilas que são hermafroditas e autogâmicas com pedicelos pendentes. O fruto é carnoso, indeiscente, de polpa firme e formato cônico apresentando-se com coloração verde, marfim ou roxa quando estão imaturos e amarelos ou vermelhos depois da maturação (Silvério & Gallerani, 1992).

È uma cultura de crescimento lento, levando em média de 3 a 4 meses do plantio até a primeira colheita. A produtividade é variável com o clima, número de colheitas e manejo adotado, podendo ser de 10 a 15 ton ha^{-1} de fruto fresco quando irrigado e até 20 a 25 ton ha^{-1} em condições favoráveis (Filgueira, 1982).

No Brasil, o Distrito Federal é um importante produtor e fornecedor de pimentão, alcançando em média 12.000 ton/ano, das quais 6.500 ton são produzidas em ambientes protegidos e o restante a campo (Klozowski, 2001).

Considerada uma espécie termófila, é cultivada em locais com diferentes regimes térmicos, existindo divergências quanto à faixa ideal de temperaturas para o seu cultivo: Camargo (1984) considera entre 18,3 e 26,5 °C, Doorenbos & Kassam (2000) de 18,0 a 27,0 °C, Sonnenberg (1981) de 20,0 a 30,0 °C e Pádua et al. (1984) de 16,0 a 30,0 °C.

É favorecida pela termoperiodicidade diária com altas temperaturas durante o dia e temperaturas mais amenas durante a noite que, segundo Doorenbos & Kassam (2000), devem ser da ordem de 6,0 °C inferiores durante a noite. Para Sganzerla (1995) a diferença ideal é de 5,5 °C e para Filgueira (1982) de 6,0 a 8,0 °C, embora todos os autores concordem que há variações em cada estádio.

Durante o ciclo a cultura apresenta variações na sensibilidade ao frio, não havendo na literatura unanimidade sobre o estádio de menor resistência. Melo (1997), considera o desenvolvimento vegetativo, Pereira (1990) a formação de mudas e frutificação. Filgueira (1982) relata que a germinação e formação de mudas são os estádios mais sensíveis, sendo a temperatura ideal de 26,0 a 30,0 °C. Camargo (1984) considera 27,0 °C e Pádua et al. (1984) recomenda que no estádio de florescimento as temperaturas noturnas devem estar entre 18,0 e 20,0 °C e na frutificação entre 15,0 e 17,5 °C.

Embora se comporte como planta de dias curtos, ou seja, o florescimento se inicia mais cedo e é mais abundante em dias curtos, Sonnenberg (1981) e Pádua et al. (1984), consideram que o pimentão não é afetado pelo fotoperíodo. O crescimento das plantas é pouco influenciado pelos tratamentos que visam aumentar a intensidade de luz (Schoch, 1972).

Baer & Smeets (1978) consideram que condições de alta umidade relativa promovem maior crescimento da cultura e aumento dos internódios. Sganzerla (1995) cita que os valores ideais devem estar entre 50 e 70 %, sendo que valores maiores podem ocasionar o aparecimento de doenças.

Entre as culturas com importância econômica, o pimentão é a olerícola mais cultivada em ambiente protegido no Estado de São Paulo (34,2 %). Em 1990, essa cultura atingiu 1,4 % da produção nacional de hortaliças, ocupando uma área de 5.470 ha (Camargo Filho & Mazzei, 1994).

A produção média, em ambiente protegido, chega a 40 $ton.ha^{-1}$ enquanto que, ao ar livre, alcança 20 $ton.ha^{-1}$ para cultivo associado (Pedro & Vicente, 1988).

Já segundo Cermeño (1990), a produção é de 80 a 150 ton.ha^{-1} no cultivo protegido, e de 40 a 60 ton.ha^{-1} ao ar livre, em cultivo de verão.

Para se alcançar a máxima produção é necessário o conhecimento das necessidades hídricas das plantas e o manejo adequado da irrigação, sendo as necessidades hídricas totais do pimentão da ordem de 600 a 900mm e até 1250mm para períodos longos de crescimento e várias colheitas, com um consumo diário de 2,5 a 5,0 mm, Boswell & Thorne citados por (Caixeta, 1984).

As precipitações devem ser bem distribuídas durante o período de crescimento, havendo queda de flores com chuvas intensas durante o período de floração, na frutificação queda de frutos e durante a maturação, sua podridão (Pádua et al., 1984).

O objetivo da irrigação é fornecer água suficiente para o crescimento da cultura evitando o estresse hídrico durante o crescimento das plantas. No período inicial da cultura, até o início do florescimento, as irrigações poderão ser menos freqüentes, visando estimular o desenvolvimento radicular, de modo a tornar a cultura mais eficiente na extração de água e nutrientes do solo. Segundo Klosowiski (2001), o excesso de água no solo, diminui o número de raízes, o rendimento e a produção de matéria seca do pimentão. Pereira (1995) encontrou valores de potencial matricial entre -11 a -32 kPa como ideais para a cultura. Cochran (1936) mostrou que a umidade do solo e aplicação de N foram fatores essenciais para o desenvolvimento reprodutivo da cultura.

O método de irrigação por gotejamento se adapta bem à cultura do pimentão por exigir pouca mão-de-obra, máxima economia de água e maior eficiência dos tratos culturais (Teodoro et al, 1993), independendo da freqüência adotada (VanDerwerken & Wilcox-Lee, 1988).

Estudando o efeito da aplicação de três lâminas diárias e três turnos de rega por gotejamento, Caixeta (1984), verificou que a produção do pimentão e o número total de frutos normais foram maiores com o aumento da quantidade de água aplicada, ocorrendo o inverso com o aumento do turno de rega.

Teodoro et al. (1993), trabalhando na região de Piracicaba em Latossolo Roxo, série Luiz de Queiroz, verificaram que a lamina de irrigação para repor 30 % da água disponível, representou aumento na produção, melhor qualidade dos frutos e maior desenvolvimento vegetativo do pimentão.

Castilla et al. (1990), estudando a evapotranspiração do pimentão cultivado em estufa plástica sem aquecimento, concluíram que a evaporação do tanque Classe A, instalado no interior da estufa e o coeficiente de cultura proposto por Doorenbos & Kassam (2000), estimaram bem a necessidade de água da cultura até os 100 dias.

A evapotranspiração é um processo controlado principalmente pela disponibilidade de energia, demanda atmosférica, suprimento de água do solo e resistência da planta ao fluxo de vapor (Gardner, 1965; Pereira et al., 1997).

Existem diversos métodos de estimativa da evapotranspiração, sendo a escolha dependente da disponibilidade de dados e de sua precisão. De acordo com o princípio, podem ser classificados como empíricos, aerodinâmicos, do balanço de energia, combinados e da correlação dos turbilhões (Pereira et al., 1997).

O método de Penman (1948), considerado um dos mais precisos, combina em sua equação os termos energético e aerodinâmico. O sucesso desse método é devido a sua base física e a possibilidade de medidas em apenas um nível acima da cultura (Thom & Olivier, 1977).

Smith et al. (1991) consideram o método de Penman modificado por Monteith, padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), propondo como norma sua utilização. Sua estimativa refere-se a perda de água de uma cultura hipotética, cobrindo totalmente o solo, sem restrições hídricas, com 0,12 metros de altura, albedo de 0,23 e resistência ao transporte de vapor d'água igual a 69 $s.m^{-1}$.

As medidas de evapotranspiração podem ser obtidas por equipamentos denominados lisímetros ou evapotranspirômetros, sendo grandes recipientes impermeáveis, contendo um certo volume de solo, onde se pode estudar de forma mais controlada as condições do sistema solo, água e planta, que no perfil natural do solo (Hill & Allen, 1991).

Embora os lisímetros de pesagem sejam considerados mais precisos, o alto custo de instalação e manutenção dos mesmos levou os pesquisadores brasileiros a optarem por equipamentos mais baratos. Os lisímetros de nível freático têm custo de implantação relativamente baixo, sendo de fácil operação e manutenção, tendo sido empregados com êxito para determinação da evapotranspiração de diversas culturas, como: feijão (Souza & Silva, 1985), batata (Encarnação, 1987), repolho (Cury & Villa Nova, 1989), soja (Azevedo et al., 1989), alface (Bastos, 1994), crisântemo (Wrege, 1995) e abóbora italiana (Klosowski et al., 1999).

O movimento ascendente de água no solo dos lisímetros pode ser lento em condições de alta evaporação e quando a cultura não cobre totalmente o solo, resultando em valores de evapotranspiração menores que o real (Aboukhaled et al., 1986). Nestes casos é necessário se efetuar irrigação superficial para compensar o erro (Robelin, 1962; Aboukhaled et al., 1969 e Puech & Hernandez, 1973).

Slatyer & McIlroy (1961), citados por Cury-Lunardi et al. (1997), fazendo considerações sobre a utilização de lisímetros na determinação da evapotranspiração potencial e da evapotranspiração de referência, comentam que estes equipamentos se apresentam como os mais indicados, desde que se considere uma área de bordadura com mesmas condições de manejo.

Cury-Lunardi (2000) encontrou diferenças de precisão na medida da ETo, em função do teor de umidade da superfície do solo nos lisímetros. Com a superfície seca, embora com umidade suficiente na profundidade de desenvolvimento radicular, o autor observou que a evaporação é praticamente interrompida, sendo os valores medidos essencialmente transpiração das plantas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Recursos Naturais - Setor Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, situado na latitude de 22º 51' S, longitude de 48º 26' W e altitude 786 m.

5.2 Caracterização climática da região

Segundo a classificação proposta por KÖEPPEN, o clima do município de Botucatu é do tipo Cwa, clima temperado quente com chuvas no verão e seca no inverno, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22ºC, total médio anual de precipitação pluvial 1533 mm e temperatura média anual 20,5ºC (Cunha, et al.,1999).

5.3 Caracterização do solo

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico, A moderado, textura média (Embrapa, 1999). A caracterização físico-química do solo foi realizada pelo Laboratório de fertilidade do solo, UNESP – Botucatu.

Para análise química foram adotadas duas profundidades de amostragem, referentes às camadas de 0 a 15 e de 15 a 30 cm, cujos resultados são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Característica química do solo

Ambiente	Camada cm	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V (%)
		$mmol_c/dm^3$						
Protegido	00-15	22	3,7	135	40	178	201	89
	15-30	29	3,4	23	12	39	68	57
Campo	00-15	20	2,3	84	32	118	139	85
	15-30	33	1,4	13	6	21	53	39

Continuação...

Ambiente	Camada Cm	PH $CaCl_2$	M.O. g/dm^3	P_{resina}	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
				mg/dm^3					
Protegido	00-15	5,9	39	654	1,38	13,3	58	20,2	19,9
	15-30	4,9	11	57	0,32	2,9	16	3,2	1,3
Campo	00-15	6,1	26	615	0,62	7,6	33	12,6	12,2
	15-30	4,7	16	21	0,28	2,9	46	6,3	1,0

Para a análise física foram coletadas amostras em três profundidades, representando as camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60cm, segundo EMBRAPA (1997), conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Característica física do solo.

Ambiente	Camada (cm)	Análise granulométrica (%)		
		Argila	Silte	Areia
Protegido	00-20	29,3	10,6	60,1
	20-40	31,3	7,5	61,1
	40-60	28,4	10,2	61,4
Campo	00-20	22,4	13,8	63,8
	20-40	26,0	8,4	65,5
	40-60	26,0	8,4	65,5

Não se observa, de maneira geral, uniformidade nos resultados (Quadros 1 e 2) dando idéia que a adubação do cultivo anterior teve algumas falhas de homogeneidade na aplicação ou a amostragem pode ter apresentado contaminação com o próprio adubo existente no solo, influenciando os teores de forma diferente.

5.4 Cultura

A cultura estudada foi o pimentão, híbrido Elisa, com frutos de coloração verde antes da maturação e vermelho quando maduro, de formato retangular, apresentando as seguintes dimensões: comprimento entre 13 e 15 cm e diâmetro entre 8 e 10 cm. A sua escolha justifica-se pelo fato do mesmo apresentar elevado valor comercial, permitindo uma relação custo benefício favorável para o seu cultivo em ambiente protegido. Além disso, possui resistência ao Vírus do Mosaico do Fumo, Vírus Y da Batata, Vírus do Tabaco e tolerância a Mancha Negra.

5.5 Área experimental

O pimentão foi cultivado em ambiente protegido e no campo, ambos com uma área de 280 m^2 e mesmas dimensões.

O ambiente protegido do tipo arco, foi orientado no sentido NNW-SSE, tendo 40,0 m de comprimento, 7,0 m de largura, pé direito de 2,2 m e altura máxima de 4,0 m. A cobertura foi feita com polietileno de baixa densidade, difusor de luz, com 150 μm de espessura, tendo nas laterais sombrite com 50% de redução da radiação solar.

Nas duas condições foram preparados três canteiros de 36 m de comprimento e 1 m de largura, distante 1 m entre si, tendo cada um uma linha de plantas espaçadas em 0,30 m, sendo, portanto 120 plantas/canteiro, totalizando 720 plantas na área total do experimento.



Figura 1 – Foto da área experimental, ambiente protegido, no dia 26/08/2000.



Figura 2 – Foto da área experimental, ambiente não protegido, no dia 26/08/2000.

5.6 Monitoramento dos elementos meteorológicos

Os dados meteorológicos dentro e fora do ambiente protegido, foram obtidos através de uma estação meteorológica automática, utilizando-se um Datalogger 21X fabricado por Campbell Scientific Inc, sendo as médias de cada 5 minutos, armazenadas em um módulo de memória externo, modelo SM192. A cada 7 dias esses valores foram transferidos para um microcomputador, gerando-se as curvas diárias de cada um dos elementos medidos, abaixo relacionados com os respectivos sensores:

- temperatura e umidade relativa do ar, psicrômetros HMP35-U (-35 a +50ºC e 0 a 100%);
- velocidade (0 a 60 $m.s^{-1}$) e direção do vento (0 a 360º), mod. 03001-U, tipo "Wind Monitor";
- temperatura do solo (-35ºC a +50ºC), termistor modelo 107B-L50;
- umidade do solo, termistor modelo 257;

- radiação solar global e refletida, emissão atmosférica e terrestre, saldo radiômetro Kipp-Zonen;
- radiação difusa, piranômetros Rebs com anel de sombreamento;
- fluxo de calor no solo, fluxímetros modelo HFT-3 (REBS).
- Temperatura em bulbo seco e úmido, em três níveis, com termopares cobre-constatan.

5.7 Condução do experimento

A semeadura foi feita no dia 09 de março de 2000, em bandejas de poliestireno expandido tendo como substrato uma mistura composta de 150 litros de terra peneirada, 50 litros de húmus, 50 litros de casca de arroz carbonizada, 50 litros de esterco de curral curtido e 1,5 kg de adubo 04-14-08.

O preparo do solo foi efetuado manualmente nos dias 03 e 04 de abril sendo incorporado por m^2, até a profundidade de 30 cm, 3 litros de composto orgânico humificado, 3 kg de esterco bovino decomposto, 15 g de termofosfato Yoorim B+Zn, 15 g de superfosfato simples e 10 g de cloreto de potássio.

O transplantio foi realizado no dia 21 de abril, 43 dias após a semeadura, com uma planta por cova. Utilizou-se tutoramento das plantas no decorrer do seu crescimento, sendo eliminadas primeira florada e hastes laterais, visando garantir um maior tamanho dos frutos e precocidade da colheita.

A adubação de cobertura foi realizada a cada 10 dias, iniciando-se 22 dias apos o transplante e encerrando-se em 19 de outubro, totalizando 17 aplicações de 1,7 g de nitrato de potássio e 2,5 g de nitrocálcio por planta.

A primeira colheita dos frutos foi efetuada em 28 de agosto e as seguintes a cada semana até 01 de novembro, num total de 9 até o final do ciclo. Para isto, marcou-se 6 plantas da área experimental e semanalmente eram colhidos os frutos que atingiam 60% de coloração vermelha.

O controle de pragas e doenças foi realizado através de aplicações dos produtos indicados pelo Departamento de Defesa Fitossanitária, da FCA.

Praga/Doença	Nome científico	Produto	Dosagem
Podridão raiz	*Phytophthora capsici*	Ridomil + Mancozeb	3 g l^{-1}
Vaquinha	*Diabrotica speciosa*	Malathion	0,35 ml l^{-1}
	Myzus persicae		
Pulgão	*Neocurtilla*	Malathion	0,35 ml l^{-1}
Paquinha	*hexadactyla*	Isca a base de Malathion	
Tripes	*Frankliniella schulzei*	Stron	1 ml l^{-1}
Ácaro branco	*Polyphagotarsonemus latus*	Vertimec	0,3 ml l^{-1}
Oidiopis sicula	*Leveillula taurica*	Tilt	0,5 ml l^{-1}

5.8 Análise de produção da cultura

Foram marcadas aleatoriamente 28 plantas de cada ambiente, sendo retiradas duas plantas em intervalos de 15 dias para a seguinte observação: altura da planta (AP), número de folhas (NF), índice de área foliar (IAF) e matéria seca da planta (MST).

Também foram marcadas mais 6 plantas em cada ambiente, sendo realizadas as seguintes análises:

- número, comprimento e diâmetro dos frutos e espessura da polpa.

- massa fresca dos frutos: obtida por meio da pesagem individual dos mesmos, imediatamente após a colheita em balança eletrônica com precisão de 0,01 g.
- massa seca dos frutos: determinada após a secagem dos mesmos, até peso constante, em estufa ventilada à temperatura de 60-80ºC.
- massa média dos frutos: obtida somando-se a massa fresca e dividindo-se pelo número total de frutos.
- produção por planta (kg/planta): determinada através da multiplicação do número médio de frutos por planta pela massa média dos frutos (g) e multiplicando-se por 1000.
- produtividade (kg/m^2): obtida multiplicando-se a produção por planta (Kg/planta) pelo número de plantas cultivadas em $1m^2$ (3,4).
- classificação de pimentão: os frutos foram classificados segundo o padrão Hort & Frut (São Paulo, 1998).

5.9 Determinação dos modelos de estimativa do saldo de Radiação de ondas longas (BOL):

Segundo a lei de Stefan-Boltzman o total de energia de ondas longas, emitida por um corpo negro, na unidade de tempo e de área, é dado por:

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \qquad (01)$$

em que, ε é a emissividade do corpo, σ é a constante de Stefan-Boltzman igual a $4{,}903\ 10^{-9}$ MJ $m^{-2}\ K^{-4}\ d^{-1}$ e T^4 é a temperatura absoluta do corpo emissor à quarta potência em ^oK.

Considerando que a emissão de energia de ondas longas poderia ser expressa em função de variáveis climáticas (vc) como Temperatura do ar, Temperatura do solo, Pressão parcial de vapor, etc... Teríamos:

$$E / \sigma T^4 = a + bf(vc) = \varepsilon \qquad (02)$$

Baseando-se na proposta de Angström (1920) e na lei de Stefan-Boltzman, Brunt (1932) propôs uma equação de estimativa do saldo de energia de ondas longas (BOL) acima de uma superfície, para dias sem nuvens, dado por:

$$BOL = -E_s + E_a \qquad (03)$$

onde E_a é a emissão atmosférica, função da temperatura do ar (T_a) e E_s é a emissão de ondas longas pela superfície, função da temperatura da superfície do solo (T_s), ou seja:

$$BOL = -\varepsilon_s \sigma T_s^4 + \varepsilon_a \sigma T_a^4 \qquad (04)$$

De forma generalizada, temos:

$$BOL = \sigma T^4 (a + bf(vc))$$

Ajustando esta equação, para dias com nuvens, por meio da relação com o número de horas de insolação (n) e o Fotoperíodo (N), segundo Brunt (1932) e Geiger (1961), obtemos a equação geral do saldo de energia de ondas longas, para qualquer condição atmosférica:

$$BOL = \sigma T^4 (a + bf(vc))(c + d(n / N)) \qquad (05)$$

Com base nesta proposta foram desenvolvidos os modelos descritos a seguir.

5.9.1 Equações de estimativa da emissão de energia de ondas longas pela atmosfera (E_a)

As equações de estimativa da energia de ondas longas, emitida pela atmosfera, foram determinadas admitindo-se duas hipóteses: que a emissão do ar (E_a) seria igual à de um corpo à temperatura média do ar (T_a), medida a 2,0 m de altura por psicrômetro, ou também, como a de um corpo com temperatura (T_{sa}) obtida pela média ponderada entre as temperaturas médias do ar e do solo (T_{s10}), medida a 10 cm de profundidade, ou seja:

$$T_{sa} = \left(\frac{T_a + T_{s10}}{2} \right) \tag{06}$$

portanto:

$$E_a = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \tag{07}$$

$$E_a = \varepsilon_a \sigma T_{sa}^4 \tag{08}$$

onde: E_a é a emissão atmosférica em MJ m^{-2} d^{-1}, σ a constante de Stefan-Boltzman igual a 4,903 10^{-9} MJ m^{-2} $°K^{-4}$ d^{-1} e ε_a a emissividade do ar.

A seguir procedeu-se às análises de regressão entre os valores medidos de E_a e pressão parcial de vapor (e_a), obtida através da relação:

$$E_a / \sigma T^4 = a + b f(e_a) \tag{09}$$

sendo:

$$e_a = \frac{UR . e_s}{100} \tag{10}$$

nesta, e_s é a pressão saturante de vapor, calculada pela equação de Tetens (1930):

$$e_s = 0{,}610810^{\frac{7{,}5T}{237{,}3+T}} \quad (11)$$

onde: T é temperatura obtida a 2,0 m de altura com psicrômetros em °K e UR a umidade relativa à 2,0 m de altura, medida no miniabrigo termométrico, em %.

5.9.2 Equações de estimativa da emissão de energia de ondas longas pela superfície (E_s)

Para determinação das equações de emissão de energia de ondas longas pela superfície, procedeu-se de duas maneiras:

- Estabelecendo-se a relação entre os valores medidos da emissão da superfície (E_s) e da emissão atmosférica (E_a), de forma que o balanço de energia de ondas longas pudesse ser representado, somente através da equação de estimativa de E_a:

$$E_s = f(E_a) = kE_a \quad (12)$$

$$BOL = -kE_a + E_a \quad (13)$$

- Determinando, través de regressão linear, a relação entre o valor medido de E_s, como variável dependente, e como variáveis independentes a pressão parcial de vapor (e_a), temperatura média do ar (T_a) e temperatura média do solo e do ar (T_{sa}):

$$E_s = \varepsilon_s \sigma T^4 \quad (14)$$

5.9.3 Determinação do saldo de energia de ondas longas para dias sem nuvens (BOL).

Com os modelos de estimativa de emissão de energia pela atmosfera (E_a) e pela superfície (E_s), foram determinadas as equações de estimativa do saldo de energia de ondas longas para dias sem nuvens, conforme equação (4), ou seja:

$$BOL = -E_s + E_a$$

5.9.4 Determinação dos modelos de estimativa do saldo de energia de ondas longas para dias nublados e para dias sem nuvens

O efeito da nebulosidade, sobre os modelos de BOL gerados, foi obtido por aproximação incluindo-se um termo multiplicador que varia com a fração da cobertura do céu, aproximando-se da unidade quando n/N tende a 1,0, conforme Penman (1948) e Conrad (1944), citados por Fitzpatrick & Stern (1965), ou seja:

$$\frac{m}{10} = 1 - \frac{n}{N} \qquad (15)$$

onde m é a fração de cobertura do céu com nuvens, em décimos e n/N a razão de insolação. Foram considerados dias limpos aqueles com $m \leq 0,1$.

Para a obtenção dos modelos de estimativa do saldo de energia de ondas longas para dias nublados, procedeu-se a correlação entre $\frac{BOL}{(Ea - Es)}$, como variável dependente e n/N como variável independente, da forma:

$$\frac{BOL}{(Ea - Es)} = c + d\,\frac{n}{N} \qquad (16)$$

sendo: BOL o balanço de energia de ondas longas medido, E_s e E_a as equações de estimativa da emissão da superfície e atmosférica obtidas, n o número de horas de insolação medido e N o fotoperíodo.

5.9.5 Avaliação do desempenho dos modelos de estimativa do saldo de energia de ondas longas

Avaliou-se o desempenho dos modelos no período de 21 de abril a 03 de novembro do ano anterior ao do presente estudo, analisando-se o coeficiente angular (b) e de determinação (r^2), com o emprego da análise de regressão linear entre os valores medidos, de saldo de energia disponível (Rn) e saldo de ondas curtas (BOC), e estimados com as equações propostas para o saldo de ondas longas (BOL).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Condições meteorológicas do período analisado

Analisando-se o Quadro 03 onde se encontram os dados médios do período analisado e das normais climatológicas históricas da região, observa-se que a temperatura média do ar na área externa foi maior que a normal da região. Esse fato pode ser devido à forma de obtenção dos dados, tendo em vista que as temperaturas normais são obtidas na estação meteorológica com termômetros de máxima e de mínima, e os dados da área experimental através de psicrômetros.

As condições impostas á área experimental, como a cobertura parcial do solo pela vegetação e a presença do ambiente protegido, também podem ocasionar diferenças na absorção e reflexão da energia solar incidente e no saldo de energia de onda longa, provocando maiores amplitudes térmicas pelo maior aquecimento do solo durante o dia e aumento das perdas de energia durante a noite. Outro fator pode ser o tamanho reduzido da

área experimental, se comparado com a estação meteorológica, estando mais exposto às condições advectivas.

Quadro 3 - Dados meteorológicos médios e as normais climatológicas da região, do período estudado, sendo $T_{máx}$ a temperatura máxima em ^{o}C, $T_{mín}$ a temperatura mínima em ^{o}C, ΔT a diferença entre temperatura máxima e mínima, T_a a temperatura média do ar em ^{o}C, UR a umidade relativa média do ar em %, Rg a radiação solar global em $MJ.m^{-2}.d^{-1}$, n o número de horas de insolação em horas; ETo a evapotranspiração de referência em mm, V_2 a velocidade média do vento a 2 metros de altura em $m.s^{-1}$.

Dados meteorológicos	Normais	Médios do período
$T_{máx}$	23,9	25,5
$T_{mín}$	14,2	14,9
ΔT	9,7	10,6
T_a	18,6	19,7
UR	68,8	63,5
Rg	15,0	17,5
n	7,6	8,2
Eto	3,5	3,0
V_2	1,65	1,32

6.1.1 Velocidade do vento (V_2)

A velocidade média do vento a 2 m de altura foi 0,08 ms^{-1} no ambiente protegido e 1,32 ms^{-1} no campo, ou seja, no ambiente protegido a velocidade foi 94% menor do que no campo, permitindo um maior conforto térmico, menos problemas fitossanitários e um melhor desenvolvimento das plantas, conforme Quadro 4. A velocidade máxima ocorreu no mês de agosto, sendo o valor no campo 3,45 m s^{-1} e no ambiente protegido 0,18 m s^{-1}. Os ventos fortes provocaram estresse mecânico nas plantas do campo, deixando-as suscetíveis ao ataque de pragas e doenças, causando diminuição na qualidade dos frutos e na produtividade. O mesmo foi observado por Cunha (2001), sendo que no seu período de estudo, os ventos

fortes estavam associados a baixos valores de temperatura do ar, tornando o efeito ainda mais prejudicial.

Galvani (2001) também associou a maior produção do pepino, durante o inverno, à redução da velocidade do vento. Observou variações na circulação de ar dentro da estufa com o período de cultivo, sendo maior no outono-inverno que na primavera-verão, em função do menor índice de área foliar.

Farias (1992) considerou que o efeito da cobertura na redução da velocidade do vento varia com o tempo no qual a mesma permanece aberta, o número e tamanho das aberturas, orientação e forma do abrigo. Para Sade (1994), a velocidade média do vento dentro de ambiente protegido deve ser de 1,0 m s^{-1}. Cermeño (1990) comenta que em determinadas condições podem ocorrer prejuízos na produção, devido à redução na circulação de ar no ambiente protegido, sendo necessário o uso de exaustores e ventiladores. Klosowski (2001) considera que as aberturas no ambiente protegido devem ser de 10 % da superfície coberta, a fim de permitir uma troca de 20 a 25 vezes em volume de ar nesse ambiente, conforme recomendado por Sade (1994).

Quadro 4 – Dados de velocidade média do vento, V_2 e de velocidade máxima, $V_{máx}$, em $m.s^{-1}$.

Dados médios do período	Condição de campo	Ambiente protegido
V_2	1,32	0,07
$V_{máx}$	3,45	0,18

6.1.2 Umidade do ar

Como se pôde observar, no Quadro 5, a umidade relativa média do ar, no período de estudo, foi de 63,5 % no campo e 62,0 % no ambiente protegido. Esse valor, 2,4 % menor no ambiente protegido, não significa que havia menor conteúdo de vapor d'água. Ele

é devido à forma de cálculo da umidade relativa, efetuado com a relação entre pressão de vapor d'água e a pressão máxima ou de saturação. Com o aumento da temperatura do ar ocorre uma diminuição no valor dessa relação, apesar do conteúdo de vapor d'água ser maior.

Quadro 5 – Dados de umidade relativa, UR, em %, pressão máxima de vapor, e_s, e pressão parcial de vapor, e_a, em KPa e evapotranspiração da cultura, ETc, em mm.

Dados médios do período	Condição de campo	Ambiente protegido
UR	63,5	62,0
e_s	2,35	2,51
e_a	1,47	1,53
ETc	2,05	1,67

Analisando-se os valores da pressão parcial de vapor, forma muito mais adequada para demonstrar a condição de umidade atmosférica, observa-se que seu valor foi de 1,53 KPa no ambiente protegido e de 1,47 KPa no campo, ou seja, 4,1 % maior dentro do ambiente protegido. Camacho (1995), na região de Pelotas e Fernandes (1996) em Piracicaba, cultivando crisântemo, obtiveram valores semelhantes ao do presente trabalho. Cunha (2001), estudando a mesma cultura, observou valores de pressão parcial de vapor 0,39 % maior no ambiente protegido, atribuindo esse fato à menor ventilação nessa condição. Sganzerla (1995) constatou que o pimentão requer uma umidade relativa entre 50 e 70 %, podendo ocorrer o aparecimento de doenças criptogâmicas em condições de maior umidade.

A maior disponibilidade de vapor d'água dentro do ambiente protegido favoreceu o aumento de produção, a eficiência no uso da água, ocorrendo menor evapotranspiração, conforme Quadro 5, estando de acordo com os resultados obtidos por Baer & Smeets (1978).

6.1.3 Temperatura do ar (T_a)

Conforme Quadro 6, devido ao efeito da cobertura na absorção e reflexão da energia incidente e no aumento do conteúdo de vapor d'água, houve aumento das temperaturas média e máxima em 12,2 % e 14,9 %, respectivamente. O mesmo foi observado por Braga (2000), Castilla et al. (1990) e Farias et al. (1993). Como durante o dia a superfície da cobertura encontra-se mais aquecida que o ar externo, à mesma altura, a maior transferência de calor por condução para as camadas de ar mais próximas, também pode ser uma das causas do aumento nos valores de temperatura no ambiente protegido. O mesmo não ocorreu durante à noite no ambiente protegido, sendo a média das temperaturas mínimas 0,7 % menor do que no campo. Braga (2000) e Herter & Reisser Jr. (1987), empregando o mesmo material de cobertura, também observaram que a temperatura mínima interna foi menor, constatando inversão térmica. Em outro trabalho, Buriol et al. (1993), encontraram temperaturas mínimas superiores em condição de ambiente protegido.

Quadro 6- Efeito da condição de nebulosidade sobre os dados de temperatura média do ar, T_a, em °C, temperatura mínima, $T_{mín}$ em °C, temperatura máxima, $T_{máx}$ em °C.

Dados	Ambiente	Período		
		Total	Limpo	Nublado
T_a	Protegido	22,08	22,45	22,01
	Campo	19,74	19,98	19,72
$T_{mín}$	Protegido	14,84	14,70	15,03
	Campo	14,94	14,90	15,08
$T_{máx}$	Protegido	29,33	30,20	28,99
	Campo	25,45	26,02	25,24

A condição de nebulosidade também teve efeito positivo na temperatura do ar, sendo maior sobre as máximas do que sobre as mínimas. Conforme

Quadro 6, em dias limpos a média de seus valores máximos foi 4,18 °C (16 %) superior no ambiente protegido e em dias nublados 3,75 °C.

6.1.4 Temperatura do solo (T_S)

As temperaturas do ar e do solo, Figura 3, tiveram ao longo do dia o mesmo comportamento, com uma certa defasagem dos valores mínimos e máximos da temperatura do solo, sendo sua relação dependente do fenômeno de radiação e turbulência, que foram muito afetados pela cobertura plástica. Observa-se que das 18:45 horas até as 11:00 horas a temperatura a 20 cm foi maior que a 10 cm, ocorrendo o inverso no restante do período.

Do início do ciclo até o dia 20 de julho, dia mais frio do período, a temperatura do solo a 10cm decresceu, conforme pode ser observado na Figura 4, aumentando de acordo com o índice de área foliar até o final do ciclo, provavelmente devido ao aumento de armazenamento de calor no meio (inverno/primavera).

O Quadro 7 mostra os valores da temperatura do solo (T_s) em ambas condições experimentais, nas profundidades de 10 e 20 cm, nos dias com maior e menor valor de temperatura do ar e no período total. Observa-se que a temperatura média a 10 cm, nas duas condições, foi maior do que a 20 cm no ambiente protegido, sendo que seu valor para período total foi 17 % maior do que no campo. Não só a menor ventilação no meio, mas também o maior fluxo de calor das camadas mais inferiores do solo para a superfície podem ter provocado esse aumento.

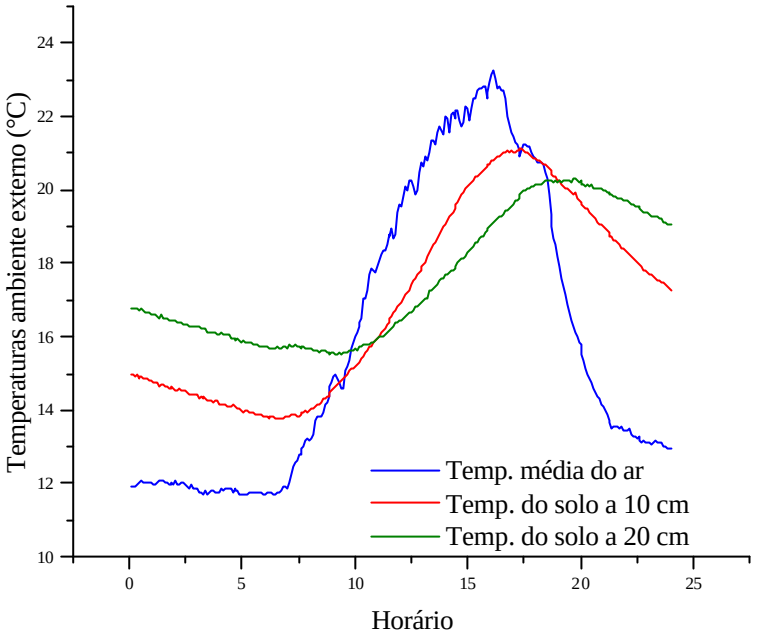


Figura 3 – Comportamento da temperatura do ar e do solo, ao longo do dia.

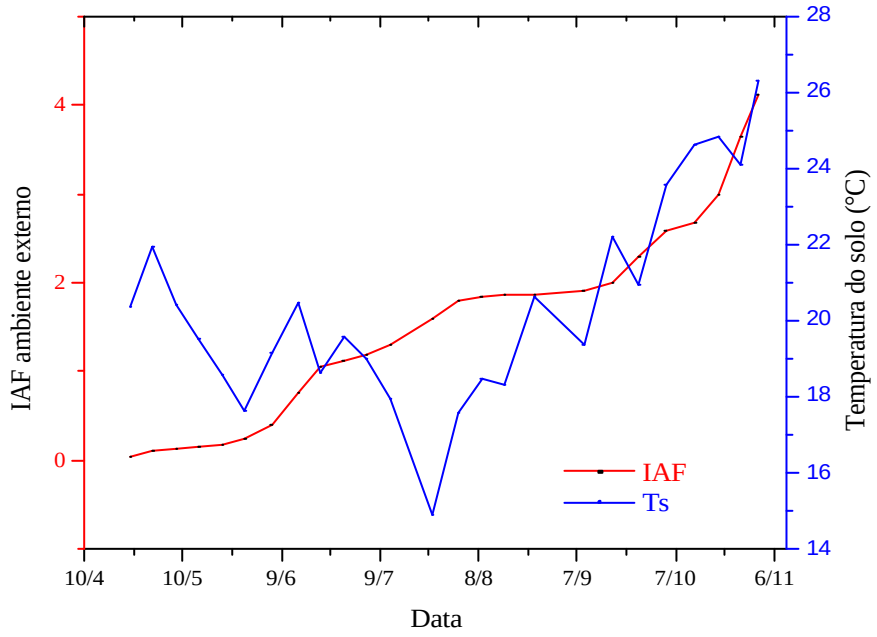


Figura 4 – Média semanal da temperatura do solo (T_s) a 10 cm e do Índice de Área Foliar (IAF) no ambiente externo.

Quadro 7 – Temperatura média do solo (T_s), a 10 e 20 cm, no ambiente protegido e no campo no dia mais frio e mais quente do período:

Dia	Temperatura média do solo a:			
	10 cm		20 cm	
	Protegido	Campo	Protegido	Campo
Mais frio	15,26	12,56	14,78	13,62
Mais quente	25,65	24,48	24,69	25,08
Período total	22,50	19,29	21,93	20,24

Embora durante o dia a temperatura da superfície do solo aumente continuamente com a absorção da radiação solar global (Rg), sua menor disponibilidade no ambiente protegido, não causou diminuição dos valores da temperatura do solo. No dia mais frio esse efeito foi ainda maior, conforme pode ser visto no Quadro 7, sendo a temperatura média do solo, a 10 cm, na área protegida 21 % maior do que na área externa e a 20 cm, 8%.

6.1.5 Saldo de energia de ondas curtas (BOC)

O saldo de energia de ondas curtas (BOC) no interior do ambiente protegido foi 11,2 MJ $m^{-2}dia^{-1}$, equivalente a 73% do ocorrido no campo, devido á redução da radiação global (Rg) nesse ambiente em 29%, conforme Quadro 8. Frizina (1998) utilizando o plástico de 100 µm, na mesma área, observou uma redução de 20,4% e Cunha (2001) empregando o plástico de 120 µm redução de 29,9%, ambos trabalharam com PEBD não difusor. Os valores médios do saldo de energia (Rn) ao longo do ciclo da cultura foram 6,43 $MJ.m^{-2}.d^{-1}$ para o ambiente protegido e 8,33 $MJ.m^{-2}.d^{-1}$ para a condição de campo. Esses valores representaram 57,2 % do saldo de ondas curtas no ambiente protegido e 54,4 % no campo. Essa diferença se deve ao efeito da cobertura de polietileno, na transmissão e reflexão da radiação solar incidente. Cunha (2001), obteve valores de 0,66 e 0,61 para a razão entre Rn

e Rg, para ambiente protegido e campo, respectivamente. Galvani (2001) atribuiu essa diferença à re-emissão da cobertura decorrente da radiação refletida pela superfície. Souza (1996) comenta que a relação entre $BOC_{protegido}/BOC_{campo}$ foi igual a 87 % para o polietileno de baixa densidade (PEBD) com 150 μm e 77 % para o P120.

Quadro 8 – Valores médios diários da radiação global, saldo de energia, radiação refletida, saldo de energia de ondas curtas, radiação difusa e radiação direta, em $MJ.m^{-2}.d^{-1}$ e transmissividade em %, na condição de cultivo protegido e no campo.

Componentes	Campo	Protegido
Radiação global (Rg)	17,46	12,46
Saldo de energia (Rn)	8,33	6,43
Radiação refletida (Rr)	2,14	1,23
Saldo de energia de ondas curtas (BOC)	15,32	11,24
Radiação difusa (Rd)	4,62	7,32
Radiação direta (RD)	12,84	5,14
Transmissividade	-	71,00

Considerando que os plásticos não difusores como os de 100 μm têm, no primeiro ano de uso, em torno 80 a 90% da transmissividade inicial, encontrando-se variações de 65 a 89%, conforme Kai et al. (1999) e Faria Jr (1997), o valor obtido de 71 % está dentro do intervalo admissível e da especificação do fabricante. Neville & Carrijo, (1999), empregando o mesmo plástico, observaram variação de 5% de transmissividade após dois anos de uso.

O ângulo de incidência da radiação solar, dentre outros fatores, varia com a época do ano e orientação do ambiente protegido (Montero et al., 1985). Assis & Escobedo (1996), utilizando o P120, verificaram que no ambiente protegido com orientação leste-oeste a transmissividade foi de 75 %, enquanto que para a orientação norte-sul os autores encontraram um valor de 72 %, muito próximo ao do presente trabalho.

Embora a transmissividade da radiação global seja semelhante entre os trabalhos citados, os plásticos podem diferir quanto á seletividade de transmissão e reflexão das componentes da radiação solar global incidente (Rg). Sendo esta, composta pela radiação direta mais a radiação difusa, observa-se que a transmissividade média da componente direta, dentro do ambiente protegido, foi de 40% e da componente difusa 158 %, sendo a proporção delas, com relação à radiação global interna, respectivamente 41% e 59%.

No Quadro 9, nota-se que a transmissividade da componente direta sofreu pouco o efeito da condição de nebulosidade dentro da estufa, sendo de 40% em dias limpos e 42% em dias nublados, diferindo pouco do valor médio do período. Quanto à radiação difusa, observa-se uma penetração maior em dias limpos, 273%, que em dias nublados, 129%, evidenciando as características difusoras do material utilizado. Esta característica permite uma maior contribuição da radiação fotossintéticamente ativa, conforme observado por Martinez Garcia (1978).

Quadro 9 - Valores médios diários da radiação global, radiação refletida, radiação difusa e radiação direta, em $MJ.m^{-2}.d^{-1}$, na condição de cultivo protegido e campo, para dias limpos e nublados.

Componentes	Ambiente	Período		
		Total	Limpo	Nublado
Radiação solar global (Rg)	Protegido	12,46	13,77	11,72
	Campo	17,46	19,33	16,41
Radiação solar direta(RD)	Protegido	5,14	6,53	4,39
	Campo	12,84	16,68	10,74
Radiação solar difusa (Rd)	Protegido	7,32	7,24	7,33
	Campo	4,62	2,65	5,67
Radiação solar refletida (Rr)	Protegido	1,23	1,32	1,17
	Campo	2,14	2,37	2,01

No campo, a proporção da radiação direta e difusa, com relação à radiação global, durante todo o período analisado, mostrou maior porcentagem da componente

direta com 74%, contra 26% da difusa. Em dias sem nuvens a proporção foi 86% para a direta e 14% para a difusa e em dias nublados 65% e 35% respectivamente.

A razão da radiação solar refletida com a global, ou albedo, foi 12% no campo e 10% no ambiente protegido, sendo a relação entre elas de 55,7%. Os menores valores no ambiente protegido foram devidos à menor disponibilidade da componente direta, conforme observado por Assis & Escobedo (1996). Monteith & Szeicz (1961), encontraram valores semelhantes de albedo quando o solo não estava completamente coberto pela vegetação, como no presente estudo.

6.1.6 Saldo de energia de ondas longas (BOL)

A superfície da terra se aquece continuamente durante o dia, sendo sua emissão de energia para a atmosfera proporcional à temperatura da superfície. Embora, por conveniência, se faça uma distinção entre luz e calor, esses processos de transferência são concomitantes, resultando em calor. Todavia, em contraste ao fenômeno de condução, o fenômeno de radiação não requer um gradiente térmico, não ocorrendo armazenamento de calor no espaço percorrido por essa energia (Brunt, 1932).

Conforme Quadro 10, o saldo de energia de ondas longas (BOL), no ambiente protegido foi 4,81 MJ m^{-2} d^{-1} ou 69,0 % do registrado no campo, 7,00 MJ m^{-2} d^{-1}, estando de acordo com a proposta de Brunt (1932) para uma condição de céu encoberto, com nuvens densas e de baixa altitude. Galvani (2001), empregando a equação proposta por Brunt (1932) encontrou para ambiente protegido com plástico de 120µm, 2,18 MJ m^{-2} d^{-1} e no campo 4,23 MJ m^{-2} d^{-1}.

Quadro 10 – Saldo de radiação de ondas longas (BOL), emissão de energia pela superfície do solo (E_s) e emissão de energia pelo ar (E_a), todos em $MJ.m^{-2}.d^{-1}$.

Média	Emissão do solo		Emissão do ar		BOL	
	Protegido	Campo	Protegido	Campo	Protegido	Campo
Noturna	18,90	18,66	16,90	15,72	2,00	2,94
Diurna	16,58	16,45	13,77	12,39	2,81	4,06
24 horas	35,48	35,11	30,67	28,11	4,81	7,00

Como o BOL é formado pela emissão de energia pela superfície (E_s) e a emissão do ar (E_a), as variações dessas componentes nos dois ambientes, são suficientes para afirmar que a cobertura plástica exerceu forte influência em seus valores.

A absorção da energia de ondas longas pela atmosfera ocorre devido à presença do vapor d'água, este é dependente da temperatura do ar, como os maiores valores desses fatores ocorreram no ambiente protegido, observa-se que a emissão de energia pelo ar (E_a) foi 9% maior que a ocorrida no campo, apresentando como valor médio, 30,67 $MJ.m^{-2}\ d^{-1}$, contra 28,11 $MJ.m^{-2}\ d^{-1}$ obtidos no campo. Outro fator importante foi a re-emissão da superfície do polietileno, conforme observado por Cunha (2001).

Durante a noite a emissão de energia pelo ar foi 22,7 % maior do que a ocorrida no período diurno, para o ambiente protegido, e 26,9 % para o campo. A relação de E_a, entre os dois ambientes, revelou que no ambiente protegido foi 7,5 % maior durante a noite e 11,1 % maior durante o dia.

A terra se aquece durante o dia, através da energia incidente, emitindo energia de ondas longas em função de sua temperatura. Embora tenha ocorrido redução na disponibilidade de energia no interior do ambiente protegido, a temperatura do solo foi maior do que no campo e os valores de emissão da superfície (E_S) foram praticamente iguais nas

duas condições: 35,48 MJ m^{-2} d^{-1} no ambiente protegido e 35,11 MJ m^{-2} d^{-1} no campo.

Observou-se, também, que a emissão da superfície do solo foi proporcional à emissão do ar no ambiente protegido, demonstrando que a re-emissão de energia pela superfície do polietileno, pode ser o fator de maior influência nos valores de (E_a).

Considerando que a terra emite ondas longas como um corpo negro, à sua temperatura, e que a emissão atmosférica é sempre menor, deve existir um gradiente negativo de temperatura em altura. Como a emissão da superfície (E_s) foi, praticamente, igual nos dois ambientes e a emissão do ar (E_a) maior no ambiente protegido, nota-se, conforme Quadro 11, que a cobertura de polietileno influenciou esse aumento, em decorrência da inversão provocada no gradiente de temperatura do ar com a altura.

Quadro 11 – Valores de temperatura média do ar em três alturas, nos dois ambientes, obtidos com termopares cobre-constantan:

Altura (m)	Temperatura média do ar (°C):							
	Período total		Outono		Inverno		Primavera	
	proteg	campo	proteg	campo	proteg	campo	proteg	campo
1,0	20,47	19,68	19,53	18,72	19,08	18,45	22,21	21,27
1,5	20,43	19,68	19,69	18,76	19,08	18,48	22,03	21,23
2,0	20,51	19,59	19,72	18,60	19,15	18,34	22,14	21,20
? (1,0? 2,0)	+0,04	-0,09	+0,19	-0,12	+0,07	-0,11	-0,07	-0,07

Admitindo-se que o total de ondas longas emitidas pela atmosfera é de 25% a 75% da emissão da superfície, conforme Brunt (1932), a presença da cobertura de polietileno modificou seriamente o fluxo de energia em seu interior para o período diurno, pois a relação entre E_a e E_s no ambiente protegido foi de 83,1 % e no campo 75,3 %, valor próximo ao limite máximo da faixa admitida.

Conforme Quadro 10, a emissão da superfície no ambiente protegido

foi 14% maior no período noturno do que no diurno e para a condição de campo 13,4% maior, demonstrando que o polietileno não atuou como material efetivo no controle das perdas noturnas de energia.

6.1.7 Fluxo de calor no solo (G)

A determinação do fluxo de calor no solo é importante por representar um acréscimo ou redução de energia no meio, podendo contribuir nos fluxos de calor sensível e calor latente. Sendo determinado em função da temperatura e condutividade térmica do solo, é representado com valor negativo quando o fluxo de energia é para baixo ou na direção do interior do solo e positivo quando é para a atmosfera.

Os valores médios observados do fluxo de calor no solo (G), Quadro 12, mostram que em qualquer condição de nebulosidade, os valores médios no campo foram maiores que no ambiente protegido, demonstrando por seu valor positivo, transferência de energia do solo para a atmosfera, principalmente nos dias nublados, quando havia menor disponibilidade de energia solar. No ambiente protegido, o fluxo foi principalmente na direção do solo, demonstrando haver bastante influência do armazenamento de calor nesse meio.

Quadro 12- Valores médios do fluxo de calor no solo, G, em $MJ.m^{-2}$

Componente	Ambiente	Período		
		Total	Limpo	Nublado
Fluxo de calor no solo (G)	Protegido	-0,07	-0,11	-0,06
	Campo	0,71	0,63	0,73

A dependência de G com radiação global nos dois ambientes pode ser vista nas Figuras 3 e 4.

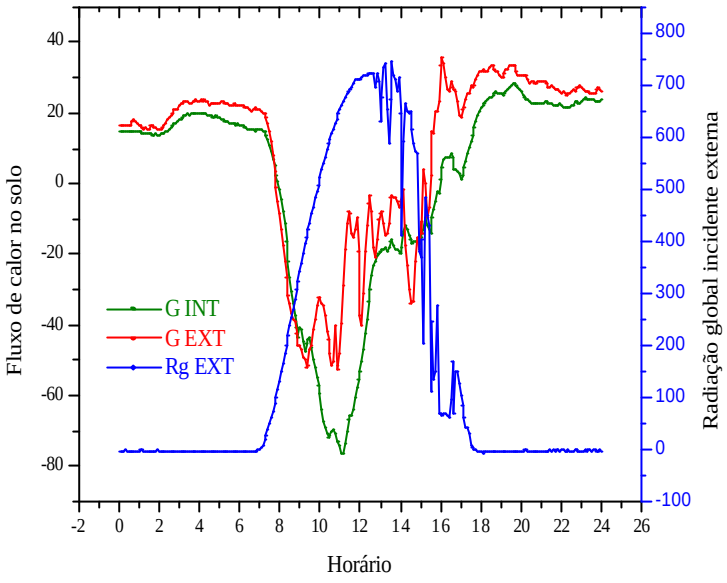


Figura 5 – Comportamento diário do fluxo de calor no solo (MJ m^{-2}) no ambiente protegido (G INT) e no campo (G EXT) e da radiação global incidente (Rg) em MJ m^{-2}.

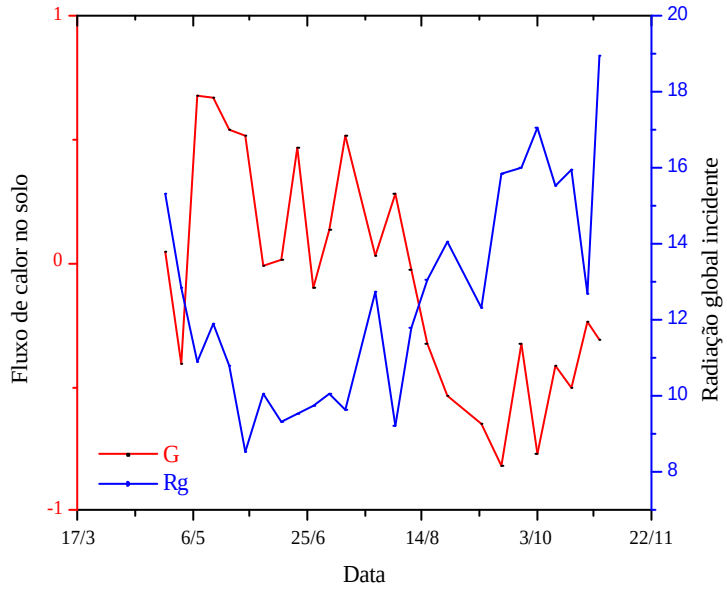


Figura 6 – Média semanal do fluxo de calor no solo (G) e da radiação global incidente (Rg), para ambiente protegido, em MJ m^{-2} d^{-1}.

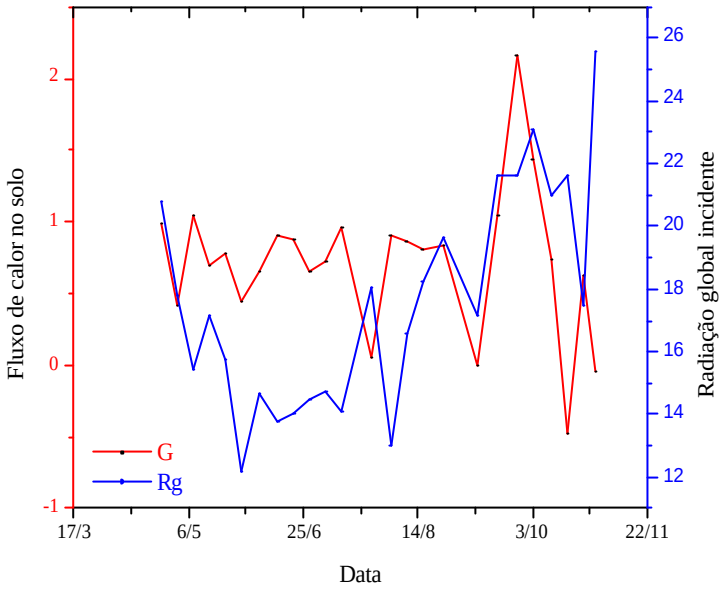


Figura 7 – Média semanal do fluxo de calor no solo (G) e da radiação global incidente, para ambiente externo, em MJ m^{-2} d^{-1}.

Observa-se que no campo os valores de fluxo de calor no solo oscilam na mesma direção da radiação global até setembro, período este, no qual as temperaturas médias foram menores. A partir daí, com o aumento do índice de área foliar e aumento da temperatura do ar, seus valores têm comportamento mais semelhantes à Rg, apresentando, contudo, dias com grandes oscilações. Galvani (2001), estudando a cultura do pepino, em ambiente protegido, observou relação inversa entre G e o índice de área foliar.

No ambiente protegido o fluxo de calor no solo é negativo até o dia 14 de agosto, havendo, portanto, fluxo de calor da superfície para as camadas mais profundas, embora seus valores oscilassem com a radiação global incidente. A partir dessa data ele se inverte, sendo o fluxo do solo para a superfície, coincidindo com o período de aumento da temperatura do ar (inverno / primavera).

6.2 Determinação dos modelos de estimativa de emissão de energia de ondas longas pelo ar (E_a)

Quando Brunt (1932) propôs sua equação de estimativa, para emissão de ondas longas pela atmosfera, considerou que a mesma poderia ser representada pela pressão parcial de vapor (e_a). Naquela época, o autor mostrou que as constantes da equação poderiam variar com a localização e por diferentes causas instrumentais.

A energia de ondas longas, emitida e absorvida pela atmosfera, é devido ao vapor d'água, sendo função da temperatura do ar. As equações propostas para sua estimativa, em condições de campo, foram obtidas por meio de regressão linear entre os valores medidos de E_a, como variável dependente, e como variável independente a pressão parcial de vapor (e_a), a temperatura do ar (T_a) e a média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa}), conforme Quadro 13:

Quadro 13- Equações propostas para a estimativa da emissão de energia de ondas longas (E_a), no campo, em MJ m^{-2} d^{-1}, como função da pressão parcial de vapor (e_a), da temperatura do ar (T_a) e da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa}). Onde s é a constante de Stefan-Boltzman, igual a 4,9 10^{-9} MJ m^{-2} K^{-4} d^{-1} e r^2 o coeficiente de determinação.

Variáveis climáticas	Unidades	Equação de regressão	r^2
T_{sa}	°K	$E_a = \sigma T_a^4 (-2,36 + 0,01 T_{sa})$	0,74
T_a	°K	$E_a = \sigma T_a^4 (-1,78 + 0,01 T_a)$	0,70
e_a	KPa	$E_a = \sigma T_a^4 (0,41 + 0,29\sqrt{e_a})$	0,82

Os valores de emissão de energia de ondas longas foram submetidos à análise de variância, mostrando que eles não diferiam entre si ao nível de 1% de probabilidade. Observa-se que a equação que apresentou o maior coeficiente de determinação, tem a pressão parcial de vapor como variável independente.

A média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa}), como variável independente, mostrou melhor correlação com a emissão atmosférica do que a temperatura do ar. Isto parece indicar que a irregularidade de distribuição da temperatura do ar com a altura e a sua variação ao longo do dia, em função da advecção, dificulta sua relação com a emissão de ondas longas.

Swibank (1963) considerou exagerado atribuir o efeito da pressão parcial de vapor na emissão atmosférica, adotando a temperatura do ar como variável independente.

Brunt (1932), ao propor sua equação de E_a encontrou, para os coeficientes a e b, os valores de 0,66 e -0,14, respectivamente, sendo e_a dado em KPa e E_a em MJ m^{-2} d^{-1}. Allen et al. (1989) comenta que essas constantes representam bem as condições atmosféricas médias, podendo variar, contudo, nos seguintes limites: coeficiente a, de 0,34 a 0,44, e coeficiente b de 0,14 a 0,25. Através do Quadro 13 observa-se que o coeficiente a da equação em função da pressão de parcial de vapor, está dentro do limite citado e o coeficiente b, pouco acima.

Monteith (1961) obteve, para os coeficientes a e b, valores de 0,53 e 0,065, respectivamente, sendo e_a em mb. Empregando a equação, o autor observou que a

mesma superestima durante o dia e subestima durante a noite, tendo, portanto, uma variação consistente com a variação diurna do gradiente de temperatura da superfície do solo.

Monteith e Szeicz (1962), observaram que no início da manhã e no final da tarde, quando o gradiente de temperatura é pequeno, a equação obtida por ele em 1961, representava bem os valores medidos de E_a, sendo nessas horas a emissão da superfície igual à de um corpo negro, à sua temperatura.

No ambiente protegido, as equações de regressão para emissão de ondas longas pelo ar, com melhor resposta, foram as que tinham como variável independente a temperatura (T_{sa}) e pressão parcial de vapor (e_a), conforme Quadro 14.

Quadro 14 - Equações propostas para a estimativa da emissão de energia de ondas longas (E_a) no ambiente protegido, em MJ m^{-2} d^{-1}, como função da pressão parcial de vapor (e_a) e da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa}). Onde s é a constante de Stefan-Boltzman, igual a 4,9 10^{-9} MJ m^{-2} K^{-4} d^{-1} e r^2 o coeficiente de determinação.

Variáveis climáticas	Unidades	Equação de regressão	r^2
T_{sa}	°K	$E_a = \sigma T_a^4 (-1{,}15 + 0{,}01 T_{sa})$	0,55
e_a	KPa	$E_a = \sigma T_a^4 (0{,}73 + 0{,}06 e_a)$	0,64

Observa-se que devido às alterações no regime de temperatura do ar e teor de vapor d'água, causados pela presença da cobertura, as equações originadas no ambiente protegido, foram bem diferentes das obtidas no campo.

Devido à característica difusora do plástico empregado na cobertura, houve alterações na absorção e reflexão da radiação incidente e no gradiente de temperatura do ar que, quando adotado como variável independente, apresentou baixo coeficiente de determinação.

Pode-se notar, também, que se admitiu a emissão do ar em função da temperatura T_{sa}, tendo em vista que ao se adotar em função de T_a, o coeficiente de determinação foi ainda mais baixo. Devido à baixa circulação de ar e à interferência da cobertura, houve um aumento no armazenamento de calor e nos valores médios e máximos de temperatura do ar. Em conseqüência destes fatos, a emissão do ar, no ambiente protegido, sofreu mais a interferência da temperatura do solo do que no campo.

Como a emissão de energia de ondas longas pelo ar é divido ao vapor d'água e este dependente da temperatura do ar (T_a), a não representação de E_a, através dos valores de T_a, demonstra que o gradiente de temperatura, na maior parte do tempo, não esteve em equilíbrio, devido ao efeito de adição de calor.

A equação de E_a, em função da pressão parcial de vapor (e_a) apresentou coeficiente de determinação menor do que a equação obtida com essa mesma variável na condição de campo.

6.3 Determinação dos modelos de estimativa de emissão de energia de ondas longas pela superfície do solo (E_s)

Apesar da temperatura do ar e do solo terem o mesmo comportamento durante o dia, com um certo atraso nas temperaturas máxima e mínima do ar, admitiu-se que a emissão da superfície também poderia ser representada através da pressão parcial de vapor, tendo em vista sua relação com a temperatura do ar.

A superfície do solo se aquece através da absorção da radiação solar, sendo a emissão de energia para o ar, função de sua temperatura. A energia que ela recebe do ar é função da temperatura do ar e do seu conteúdo de vapor d'água. Sendo assim, o saldo de energia de ondas longas é função da temperatura e das condições atmosféricas, existindo uma relação entre E_s e E_a. Nas condições de estudo essa relação (E_s=1,31 E_a), foi empregada juntamente com as equações propostas para estimativa de E_a, a fim de se obter os modelos de emissão de energia pela superfície (E_s), para as condições de campo, conforme quadro 15:

Quadro 15 - Equações propostas para a estimativa da emissão de energia de ondas longas pela superfície, E_s, na condição de campo, em MJ m^{-2} d^{-1}, como função da pressão parcial de vapor (e_a), da temperatura do ar (T_a) e da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa}). Onde s é a constante de Stefan-Boltzman, igual a 4,9 10^{-9} MJ m^{-2} K^{-4} d^{-1} e r^2 o coeficiente de determinação

Variáveis climáticas	Unidades	Equação de regressão	r^2
T_{sa}	°K	$E_s = \sigma T_a^4 (-3,09 + 0,013 T_{sa})$	0,92
T_a	°K	$E_s = \sigma T_a^4 (-2,33 + 0,013 T_a)$	0,87
e_a	KPa	$E_s = \sigma T_a^4 (0,54 + 0,38\sqrt{e_a})$	0,92

Observa-se que as equações com as variáveis independentes T_{sa} e e_a foram as que melhor representaram a emissão de energia de ondas longas pela superfície, no campo.

A tentativa de se estabelecer equações de estimativa da emissão de ondas longas, pela superfície do solo (E_s) através da sua relação com a emissão do ar (E_a),

para o ambiente protegido, conforme feito anteriormente, não resultou em equações que representassem bem E_s.

Para determinação dos modelos de estimativa de E_s, a partir de regressão linear no ambiente protegido, tomou-se como variável independente, a pressão parcial de vapor e a temperatura média T_{sa}. Conforme Quadro 16, observa-se que T_{sa} foi a variável que melhor representou E_s, provavelmente devido à profundidade de medida de T_s, 10cm, e a pouca ventilação no ambiente.

Quadro 16 - Equações propostas para a estimativa da emissão de energia de ondas longas (E_s), no ambiente protegido, em MJ m^{-2} d^{-1}, como função da pressão parcial de vapor (e_a) e da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa}). Onde s é a constante de Stefan-Boltzman, igual a 4,9 10^{-9} MJ m^{-2} K^{-4} d^{-1} e r^2 o coeficiente de determinação

Variáveis climáticas	Unidades	Equação de regressão	r^2
T_{sa}	°K	$E_s = \sigma T_{sa}^4 (-0,76 + 0,01 T_{sa})$	0,77
e_a	KPa	$E_s = \sigma T_a^4 (0,93 + 0,03 e_a)$	0,45

A temperatura do solo é função da radiação solar que ela absorve e de como sua emissão de energia para o ar, é compensada pelo ganho de energia das camadas de ar acima dela e das camadas mais profundas do solo.

A 10 cm de profundidade, ponto de medida da temperatura do solo (T_s), a interação entre as moléculas é menor do que na superfície ou no ar, devido a menor amplitude de oscilação dos átomos e a alta velocidade das trocas de calor, ocorrendo trocas somente entre as moléculas imediatamente próximas. Dessa forma, a emissão de calor da

superfície tem sua melhor representação, quando se toma um valor médio de temperatura entre esse ponto e a do ar, ou seja, T_{sa}.

6.4 Saldo de energia de ondas longas (BOL)

O saldo de energia de ondas longas para dias sem nuvens (BOL), foi obtido pela subtração das equações de emissão da superfície e do ar, propostas nos Quadros 13, 14, 15 e16. Os modelos obtidos, para as condições de campo, encontram-se no Quadro 17.

Quadro 17 - Equações propostas para a estimativa do saldo de energia de ondas longas (BOL) no campo, em MJ m^{-2} d^{-1}, como função da pressão parcial de vapor (e_a), da temperatura do ar (T_a) e da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa}). Onde s é a constante de Stefan-Boltzman, igual a 4,9 10^{-9} MJ m^{-2} K^{-4} d^{-1}.

Variáveis climáticas	Unidades	Equação de regressão
T_{sa}	°K	$BOL_1 = \sigma T_a^4 (0{,}73 - 0{,}003\, T_{sa})$
T_a	°K	$BOL_2 = \sigma T_a^4 (0{,}55 + 0{,}003 T_a)$
e_a	KPa	$BOL_3 = \sigma T_a^4 (-0{,}13 - 0{,}09\sqrt{e_a})$

O efeito da nebulosidade sobre a determinação do saldo de energia de ondas longas tem sido obtido por aproximação, incluindo um termo multiplicador que varia com a fração de cobertura do céu e se aproxima da unidade quando n/N tende a 1,0. Penman (1948) e Conrad (1944), citado por Fitzpatrick & Stern (1965), assumiram completa relação entre a fração de cobertura do céu em décimos (m) e a duração relativa de brilho solar (n), conforme proposto no presente trabalho.

Para se determinar as constantes apropriadas, no período analisado, adotou-se a relação entre BOL medido e BOL estimado, através das equações do Quadro 17, como variável dependente, obtendo-se equações de estimativa do saldo de energia de ondas longas para qualquer condição de nebulosidade, conforme Quadro 18, para as condições de campo.

Fitzpatrick & Stern (1965), encontraram maior precisão na estimativa de BOL em função de e_a, com os coeficientes c e d iguais a 0,3 e 0,7.

Quadro 18 - Equações propostas para a estimativa do saldo de energia de ondas longas (BOL) no campo, em MJ m^{-2} d^{-1}, como função da pressão parcial de vapor (e_a), da temperatura do ar (T_a), da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa}) e da razão de insolação (n/N). Onde s é a constante de Stefan-Boltzman, igual a 4,9 10^{-9} MJ m^{-2} K^{-4} d^{-1} e r^2 o coeficiente de determinação

Variáveis climáticas	Equação de regressão	r^2
T_{sa} (°K)	$BOL_1 = \sigma T_a^4 (0,73 - 0,003 T_{sa})(0,56 + 1,02 n/N)$	0,67
T_a (°K)	$BOL_2 = \sigma T_a^4 (0,55 - 0,003 T_a)(0,25 + 0,46 n/N)$	0,71
e_a (KPa)	$BOL_3 = \sigma T_a^4 (-0,13 - 0,09\sqrt{e_a})(0,33 + 0,68 n/N)$	0,69

O efeito das nuvens no decréscimo de BOL depende do seu tipo e altura, tendo influência marcante a densidade das nuvens baixas (Anderson, 1952). Desde que esses efeitos não podem ser incluídos nos modelos, já desenvolvidos para outras localidades, Penman (1948) considerou que para minimizar os erros, tais estimativas devem ser feitas em períodos semanais ou maiores. Para o ambiente protegido, os modelos obtidos se encontram no Quadro 19.

Quadro 19 - Equações propostas para a estimativa do saldo de energia de ondas longas (BOL) para ambiente protegido, em MJ m^{-2} d^{-1}, como função da pressão parcial de vapor (e_a), da temperatura do ar (T_a), da média ponderada entre temperatura do solo e do ar (T_{sa}) e da razão de insolação (n/N). Onde s é a constante de Stefan-Boltzman, igual a 4,9 10^{-9} MJ m^{-2} K^{-4} d^{-1} e r^2 o coeficientede determinação.

Variáveis climáticas	Equação de regressão	r^2
T_{sa} (°K)	$BOL_4 = \sigma T_{sa}^4 (-0,39 T_{sa})(0,15 + 0,25 n/N)$	0,68
e_a (KPa)	$BOL_5 = \sigma T_a^4 (-0,20 + 0,03 e_a)(0,41 + 0,59 n/N)$	0,67

Observa-se que as duas equações apresentaram coeficientes de determinação praticamente iguais, sendo que, a equação em função de e_a, apresentou coeficiente de determinação um pouco menor que o obtido em condições de campo.

6.5 Avaliação do desempenho dos modelos gerados para estimativa do saldo de energia de ondas longas

A avaliação do desempenho dos modelos gerados foi realizada, empregando-se dados do período de 21 de abril a 03 de novembro de 1999, através de regressão linear, comparando-se os valores de energia disponível, Rn, medida nesse período com os valores de Rn, tendo-se obtido os valores de BOL com as equações propostas.

Na condição de campo as equações de BOL utilizadas, representadas pela temperatura média do solo e ar (T_{sa}), temperatura do ar (T_a) e pela pressão parcial de vapor (e_a) apresentaram coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,92, 0,91 e 0,90, respectivamente, conforme figuras 8, 9 e 10.

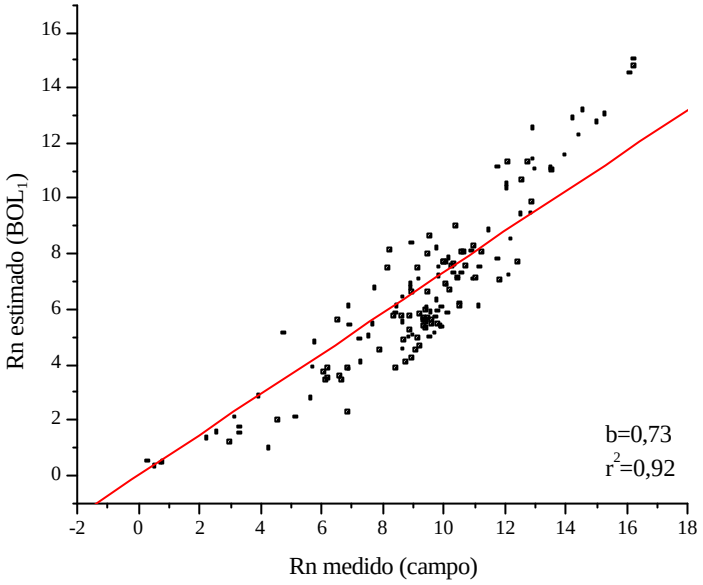


Figura 8 – Correlação entre energia disponível medida (Rn) no campo e energia disponível estimada, em MJ m^{-2} d^{-1}, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação:

$$BOL_1 = \sigma T_a^4 (0{,}73 - 0{,}003 T_{sa})(0{,}56 + 1{,}02\, n/N).$$

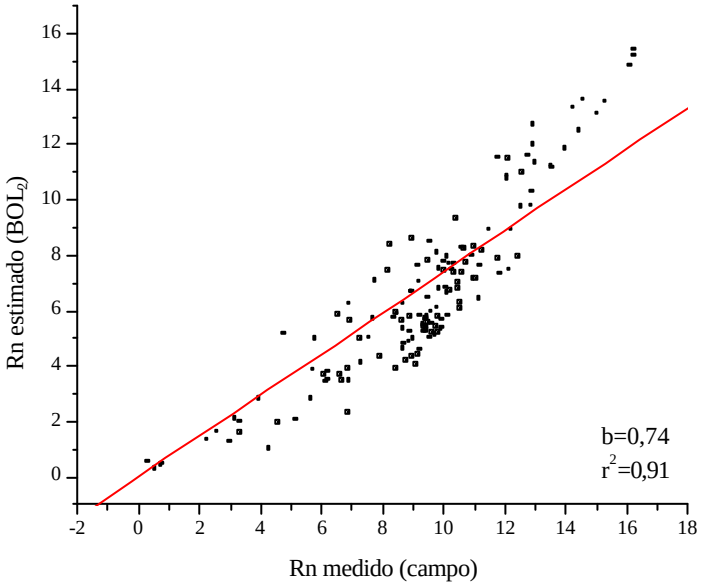


Figura 9 – Correlação entre energia disponível medida (Rn) no campo e energia disponível estimada, em MJ m^{-2} d^{-1}, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação:

$$BOL_2 = \sigma T_a^4 (0{,}55 - 0{,}003 T_a)(0{,}25 + 0{,}46 n/N).$$

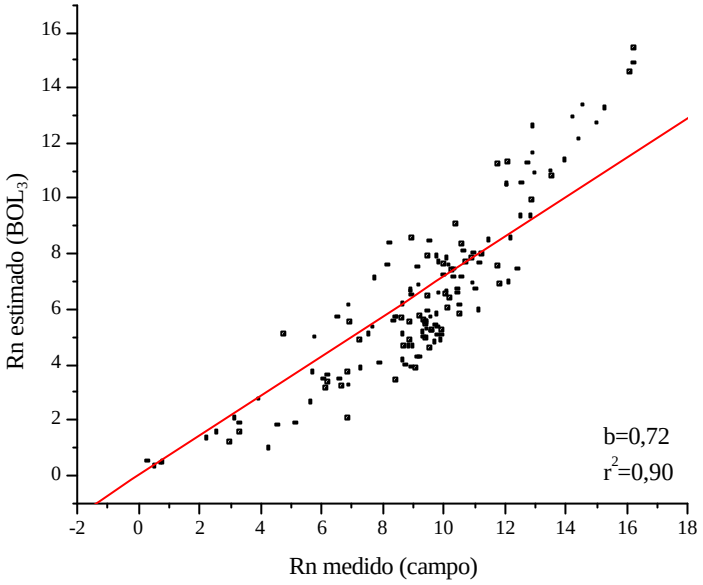


Figura 10 – Correlação entre energia disponível medida (Rn) no campo e energia disponível estimada, em MJ m^{-2} d^{-1}, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação:

$$BOL_3 = \sigma T_a^4 \left(-0{,}13 - 0{,}09\sqrt{e_a}\right)\left(0{,}33 + 0{,}68\, n/N\right)$$

No ambiente protegido, as equações representadas pela temperatura média do solo e ar (T_{sa}) e pela pressão parcial de vapor (ea) apresentaram um r^2 igual a 0,98 e 0,98, conforme figuras 11 e 12.

Utilizando-se a equação proposta por Brunt (1932), Figuras 13 e 14, obteve-se um r^2 de 0,91 para a condição de campo e 0,98 para ambiente protegido, mostrando que as equações de estimativas desenvolvidas para ambas condições experimentais, podem ser empregadas na estimativa de BOL.

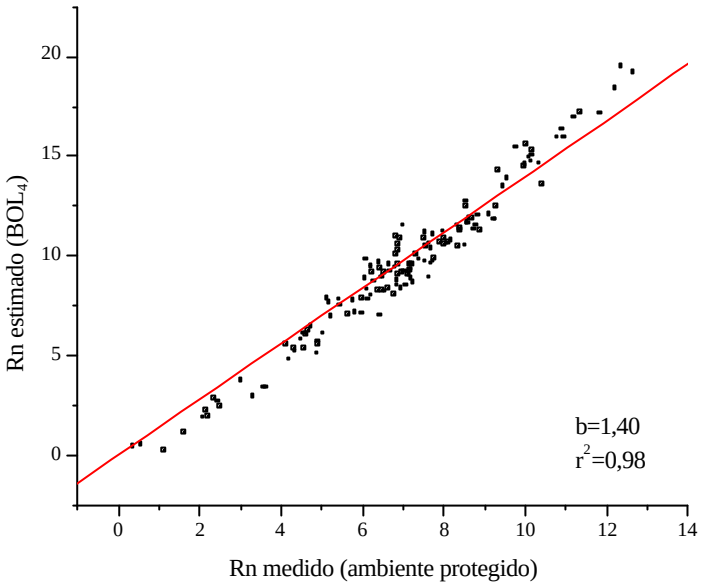


Figura 11 - Correlação entre energia disponível medida (Rn) no ambiente protegido e energia disponível estimada, em MJ m^{-2} d^{-1}, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação: $BOL_4 = \sigma T_{sa}^4 (-0,39\, T_{sa})(0,15 + 0,25\, n/N)$

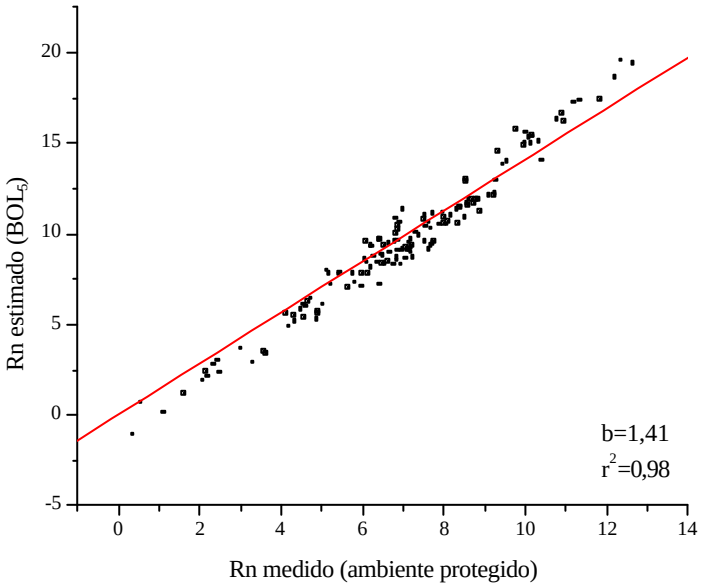


Figura 12 - Correlação entre energia disponível medida (Rn) no ambiente protegido e a energia disponível estimada, em MJ m^{-2} d^{-1}, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação: $BOL_5 = \sigma T_a^4 (-0,20 + 0,03 e_a)(0,41 + 0,59\, n/N)$

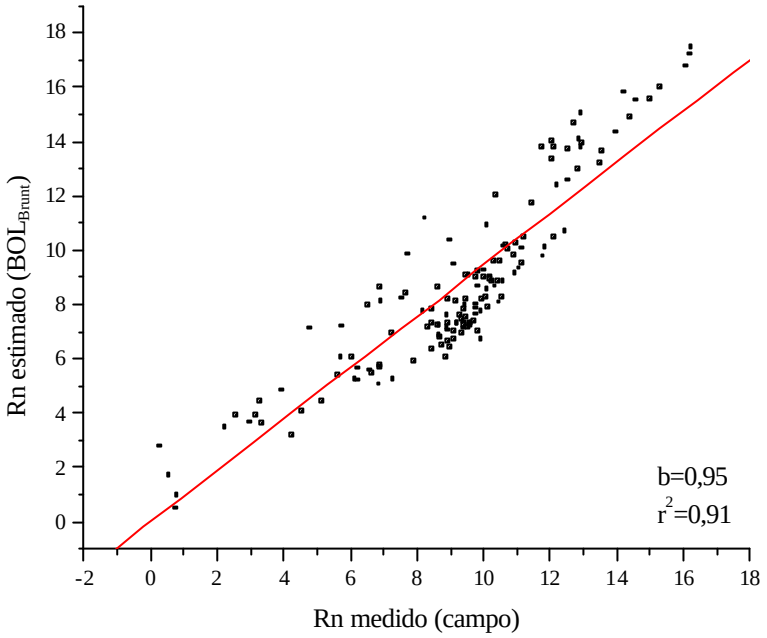


Figura 13 – Correlação entre energia disponível medida (Rn) no campo e a energia disponível estimada, em MJ m^{-2} d^{-1}, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação:

$$BOL_{Brunt} = \sigma\left(\frac{T_{Máx} + T_{Mín}}{2}\right)^4 \left(0{,}34 - 0{,}14\sqrt{e_a}\right)\left(0{,}1 + 0{,}9\frac{n}{N}\right)$$

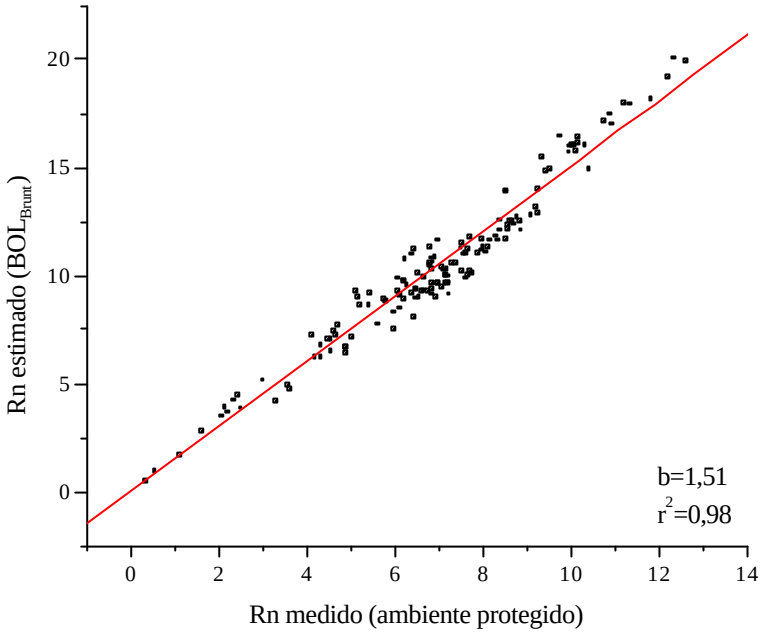


Figura 14 – Correlação entre energia disponível medida (Rn) no ambiente protegido e energia disponível estimada, em MJ m^{-2} d^{-1}, sendo o saldo de ondas longas obtido pela equação:

$$BOL_{Brunt} = \sigma\left(\frac{T_{Máx} + T_{Mín}}{2}\right)^4 \left(0{,}34 - 0{,}14\sqrt{e_a}\right)\left(0{,}1 + 0{,}9\frac{n}{N}\right)$$

6.6 Análise de produção da cultura do pimentão

Para a análise de produção foram acompanhadas 6 plantas em cada ambiente durante todo o ciclo. Os dados obtidos são apresentados no Quadro 20.

Quadro 20 – Dados médios por fruto de pimentão Elisa, obtidos em 9 colheitas: quantidade por planta, massa (g), comprimento e diâmetro (cm), espessura (mm), produção (Kg por planta) e produtividade (Kg m^{-2})

Componentes	Ambiente		P/C (%)
	Protegido (P)	Campo (C)	
Quantidade por planta	15,95	9,2	173,4
Massa	158,96	147,73	107,6
Comprimento	10,69	9,82	108,9
Diâmetro	6,74	6,57	102,6
Espessura	6,40	5,75	111,3
Produção	2,57	1,22	210,7
Produtividade	8,56	4,07	210,3

Observa-se, no Quadro 20, que no ambiente protegido todos os indicadores de produção foram significativamente maiores, principalmente a quantidade de frutos por planta (73,4 %) e a produtividade (110,3 %), demonstrando que as condições foram ideais para o cultivo.

Os valores médios de comprimento e diâmetro dos frutos, 8,9 e 2,6 % maiores no ambiente protegido, quando associados à identificação visual do formato, coloração e defeitos, permitiram classificar a sua categoria de qualidade, conforme Quadro 21 (São Paulo, 1998).

Quadro 21 – Dados médios da classificação dos frutos, de pimentão Elisa, obtidos em 9 colheitas, por grupo, sub-grupo, classe, sub-classe e categoria.

Componentes			Ambiente	
			Protegido (P)	Campo (C)
Grupo (%)		Retangular	63,2	55,7
		Quadrado	21,3	10,6
		Cônico	10,3	2,4
Sub-grupo			Vermelho	Vermelho
Classe (função do comprimento)			9,8	9,0
Sub-classe (função do diâmetro)			5,6	5,7
Defeitos (%)	Graves	Murcho	0,0	1,0
		Queimado	0,0	2,4
		Dano não cicatrizado	0,0	0,0
	Leves	Dano cicatrizado	4,2	27,17
		defeituoso	1,0	0,0
Categoria			Extra	III

Observa-se que a cultura no ambiente protegido produziu frutos com melhor qualidade, apresentando frutos maiores, na sua maioria de formato retangular e sem defeitos graves.

7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

1. O polietileno de baixa densidade difusor de luz, com 150 μm de espessura, provocou alterações nos diversos elementos de clima que foram favoráveis ao desenvolvimento da cultura do pimentão.
2. O efeito difusor do polietileno foi comprovado por meio do aumento no fluxo da energia solar difusa em 158 %, contribuindo no aumento da eficiência fotossintética das plantas.
3. No ambiente protegido ocorreu aumento da altura das plantas, do índice de área foliar, número, tamanho e qualidade dos frutos, possibilitando a obtenção de maior produtividade.
4. A cobertura plástica teve efeito na redução do fluxo de calor no solo, velocidade do vento, número de horas de insolação, consumo de água da cultura e energia líquida disponível.

5. Os modelos de estimativa do saldo de energia de ondas longas (BOL) refletiram os acréscimos nos valores de temperatura do ar e do solo e na umidade do ar, dentro do ambiente protegido.
6. Entre os modelos para cálculo de BOL, os que apresentaram maiores coeficientes de determinação para ambos ambientes experimentais, foram os gerados a partir da temperatura obtida com a média aritmética da temperatura do solo e do ar (T_{sa}).
7. O efeito da nebulosidade sobre os modelos gerados do saldo de energia de ondas longas (BOL), foi mais bem representado pela equação obtida em função da pressão parcial de vapor, com coeficiente de determinação de 0,88 na condição de campo. Dentro do ambiente protegido, o efeito da nebulosidade foi igual para as equações obtidas a partir de e_a e T_{sa}, sendo o coeficiente de determinação de 0,68.
8. O teste dos modelos gerados mostrou que os mesmos podem ser considerados tão precisos quanto o proposto por Brunt (1932), com alto coeficiente de determinação (r^2), sendo que:
   - Na condição de campo as equações de BOL, representadas pela temperatura média do solo e ar (T_{sa}) e pela temperatura do ar (T_a), apresentaram r^2 igual a 0,92 e 0,91, respectivamente, e a equação proposta por Brunt (1932) o valor 0,91.
   - No ambiente protegido, as equações representadas pela temperatura média do solo e ar (T_{sa}), pressão parcial de vapor (ea) e a proposta por Brunt (1932), apresentaram um mesmo valor para r^2, igual a 0,98.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A., ALFARO, J.F., SMITH, M. *Los lisímetros.* FAO Estudio Riego y Drenaje Paper 392, Roma, 60p., 1986.

ABOUKHALED, A., SARRAF, S., VINK, N. Evapotranspiration in the Central Bekaa with reference to the irrigation of potatoes and onions. Liban: IRA, Magon Série Sci. n.26, 28p., 1969.

ALLEN, R.G., JENSEN, M.E., WRIGHT, J., BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal*, v.81, p. 650-62,1989.

ALVES, I., PEREIRA, L.S. Aerodynamic and surface resistances of complete cover crops: How good is the "Big Leaf"? *Transactions of the ASAE*, v.41, n.2, p.345-51, 1998.

ANDERSON, E.R. Energy-budget studies of water-loss investigations. *U. S. Navy Eletronics Lab*, v.1, n.229, p.92, 1952.

ANGSTROM, A. *Geography Annais*, n.2, 1920. 253p.

ANGSTROM, A. Solar and terrestrial radiation. *Q .Journal Royal Meteorology Society.* n.50, p.121-26, 1924.

ASSIS, S.V. *Radiação solar em estufas de polietileno, nas orientações norte-sul e leste-oeste.* Botucatu, 1998. 81p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista.

ASSIS. S.V., ESCOBEDO, J.F. Radiação solar global e difusa em estufas de orientação Leste–Oeste e Norte–Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, 1996, Campos do Jordão. *Anais...* Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1996. p.536-40.

AZEVEDO, P.V., LEITÃO, M.M.V.B.R., SOUZA, I.F., MACIEL, G.F. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. *Revista. Brasileira de Meteorologia,* v.5, p.403-10, 1990.

AZEVEDO, P.V., COSTA, J.P.R., LEITÃO, M.M.V.B.R. Medidas e estimativas da evapotranspiração numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, 1989, Maceió. *Anais...* Maceió: INPE, 1989. p.134-42.

BAER, J., SMEETS, L. Effect of relative humidity on fruit set and seed set in pepper (*Capsicum annum* L.). *Hortic. Abstracts*, v.48, n. 8, p. 645, 1978.

BAILLE, M., BAILLE, A.L.J.C. Some comparative results on evapotranspiration of greenhouse ornamental crops, using lysimeter, greenhouse H_2O balance and LVDT sensors. *Acta Horticulture,* Wageningen, n.304, p.199-208, 1990.

BAKKER, J.C. Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes. *Journal Horticulture Science*. v. 65, p. 323-331, 1990.

BASTOS, G.A. *Determinação dos coeficientes de cultura da alface (Lactuca sativa L.).* Botucatu, 1994. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

BORSATTO, R.C., SENTELHAS, P.C., MINAMI, K. Avaliação da influência da coloração da cobertura plástica (PVC) na incidência da radiação solar no interior de estufas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, ENCONTRO LATINO AMERICANO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. *Anais*... Florianópolis, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. (Editado em CD-ROM).

BRAGA, M.B. *Manejo da irrigação e orientação geográfica de estufas na produção do pimentão (Capsicum annum L.).* Botucatu, 2000. 89p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

BRUNT, D. Notes on radiation in the atmosphere. *Quart. Journal Royal Meteorology Soc.*, n.58, p.389-148, 1932.

BRUTSAERT, W. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. *Water Resourch res*.p.11-742, 1975.

BUDIKO, G. A. *Climate and life.* New York: Academic Press, 1974.507p.

BURIOL, G.A., SCHNEIDER, F.M., STEFANEL, V., ANDRIOLO, J.L., MEDEIROS, S.L.P. Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.43-9, 1993.

BURIOL, G.A., STRECK, N.A., PETRY, C., et al. Transmissividade à radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. *Ciência. Rural*, v.25, n.1, p.1-4, 1995.

CAIXETA, T.J. Irrigação nas culturas de pimentão e pimenta. *Inf. Agropecu*., v.10, n.113, p.35-7, 1984.

CAMACHO, M.J., ASSIS, F.N., MARTINS, S.R., MENDEZ, M.E.G. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.3, p.19-24, 1995.

CAMARGO, L.S. *As hortaliças e seu cultivo*. 2ed. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 448p.

CAMARGO FILHO, W.P., MAZZEI, A.R. Hortaliças prioritárias no planejamento da produção orientada: estacionalidade da produção e dos preços. *Informe Econômico*, v.24, p.9-54, 1994.

CASTILLA, N., ELIAS, F., FERERES, E. Evapotranspiracion de cultivos hortícolas en invernadero en Almeria. *Investi. Agrar.: Prod. y Prot. Veg.*, v. 5, n.1, p. 117-25, 1990.

CERMEÑO, Z.S. Controle de atmosfera da estufa. In:_____. *Estufas:* instalações e maneio. Lisboa: Litexa, 1990. cap.11, p.283-301.

CHANG, J. *Climate and agriculture: an ecological survey*. Chicago: Aldine, 1977. 304p.

COCHRAN, H.L. Some factors influencing growth and fruit-setting in the pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Cornel Agr. Expt. Sta*. Memo 190. 1936.

COCKSHULL, K. Humidity and transpiration. The Grower, *Horticulture Now Supplemnt*), England, v. 113, n. 3, p. 5-7, 1990.

CONRAD, V. *Methods in Climatology*. Massachusetts, Harvard University Press, 1944, 288p.

CUNHA, A.R. *Parâmetros agrometeorológicos de cultura de pimentão (Capsicun annum* L.*) em ambiente protegido e de campo.* Botucatu, 2001. 128p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A., MATZENAVER, R. Balanço de energia em cultura de milho. ***Rev. Brasileira de Agrometeorologia.,*** v. 4, n.1, p.1-14, 1996.

CUNHA, A.R., KLOSOWSKI, E.S.,GALVANI, E., ESCOBEDO, J.F., MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, Botucatu. *Anais*... Botucatu: FCA-UNESP, 1999. p. 487-91

CURY-LUNARDI, D.M. Efeito da condição de umidade da superfície do solo na evapotranspiração de referência medida e estimada. Botucatu, 2000. 103p. Tese (Livre Docência, Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

CURY-LUNARDI, D.M.; CATANEO, A. Comparação entre a radiação global estimada nos períodos primavera- verão e outono- inverno para Botucatu, SP. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 8, 2, 1994 Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SBM, 1994, 366-68.

CURY-LUNARDI, D.M.; LAPERUTA FILHO, J. Modelos horários para a estimativa da radiação global para todos os meses do ano para Botucatu, SP. *Revista energia na Agricultura*,v.12, n.3, 1998.

CURYLUNARDI, D.M., LAPERUTA FILHO, J., KROLL, L.B. Comparação entre valores de evapotranspiração estimada pelo método Penman-FAO e medidos com lisímetros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. *Anais*... Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.704-6.

CURY, D.M., VILLA NOVA, N.A. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *Científica, São Paulo*, v. 17, 109-19, 1989.

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 2000. 221p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLO. *Manual de método de análise do solo*. CNPS, Rio de Janeiro, 1997.212p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLO. *Sistema brasileiro de classificação de solos.* CNPS, Rio de Janeiro, 1999, 412p.

ENCARNAÇÃO, C.R.F. *Exigências hídricas e coeficientes culturais de batata (Solanum tuberosum L.).* Piracicaba, 1987. 62p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

FARIA JUNIOR, M.J.A. *Avaliação de diferentes arquiteturas de estufas, coberturas do solo com filme plástico, em híbridos de pimentão* (*Capsicum annuum* L.). Jaboticabal, 1997. 102p. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista.

FARIAS, J.R.B. Manejo da irrigação associado ao uso de coberturas plásticas. In: BERGAMASCHI, H. *Agrometeorologia aplicada á irrigação*. Porto Alegre: Ed. Universidade, 1992. 125p.

FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S.R., BERLATO, M.A. Efeito da cobertura plástica sobre a radiação solar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.1, n.1. p.31-36. 1993.

FERNANDES, A.L.T. *Uso de estação agrometeorológica automática para o controle da irrigação de uma cultura de crisântemo em estufa*. Piracicaba, 1996, 91p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FILGUEIRA, F.A.R. *Manual de olericultura*: cultura e comercialização de hortaliças. 2.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982. v.2, 587p.

FITZPATRICK, E.A., STERN, W.R. Components of the radiation balance of irrigated plots in a dry monsoonal environment. *J. Appl. Meteorol.* v.4, p.649, 1965.

FRISINA, V.A. *Otimização de um albedômetro e sua aplicação no balanço de radiação e energia em cultura de alface (Lactuca sativa, L.) dentro e fora de estufa de polietileno.* Botucatu, 1998. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

FUCHS, M., TANNER, C.B. Infrared thermometry of vegetation. *Journal Agronomy*. n.58, p.597, 1966.

FUCHS, M., TANNER, C.B. Error analysis of Bowen ratios measured by differential psychrometry. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.7, n.4, p.329-34, 1970.

GALVANI, E. *Avaliação agrometeorológica do cultivo de pepino (Cucumis sativus* L.*) em ambiente protegido e a campo, em ciclos de outono-inverno e primavera-verão.* Botucatu, 2001. 124p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

GALVANI, E., ESCOBEDO, J.F., AGUIAR E SILVA, M.A., KLOSOWSKI, E.S. Balanço de energia em cultura de pepino (*Cucumis sativus* L.) em meio protegido por polietileno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. *CD*... Florianópolis: EPAGRI, 1999.

GARDNER, W.R. Water content. *Methods of Soil Analysis*. Am. Soc. Agr. Monograph, n.9, p. 87-127, 1965.

GEIGER, R. *Manual de microclimatologia:* o clima da camada de ar junto ao solo. Lisboa: 3ª edição, Fundação Calouste Gulbenkian, 1961. 556p.

GIACOMELLI, G.A., TING, K.C., PANIGRAHI, S. Solar PAR vs. solar total radiation transmission in a greenhouse. *Transactions of the Am. Soc. Agric. Eng*, v.31, p.1540-3, 1988.

GRODZKY, L., BRENNER, N.L., SCOTTI, C. A.Estudo do ambiente em estufas plásticas, na região de Curitiba, PR. *Horticultura Brasileira*. v.9, p.55, 1991.

HERTER, F.G., REISSER JUNIOR, C. Balanço térmico em estufas plásticas, RS. *Horticultura Brasileira*, v.5, n.1, p.60, 1987.

HILL, R.W., ALLEN, L.N. Water table lysimeter data interpretation. In: ALLEN, R.G., HOWELL, T.A., PRUITT, W.O., WALTER, I.A., JENSEN, M.E. *Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements*. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 254-63.

IDSO S. B., JACKSON R. D. Thermalradiation from the atmosphere. *J. Geophis. Res.* 74:5397-5403, 1969.

JENSEN, M.E. *Consumptive use of water and irrigation requirements*. ASAE.1974. 227p.

JOLLIET, O., BAILEY, B. The effect of climate on tomato irrigation in greenhouses: measurements and models comparison. *Agriculture Forestry Meteorology*, Amsterdam, v.58, p. 43-62, 1992.

KAI, E.S., SILVA, I.J.O., PIEDADE, S.M.S. Avaliação de diferentes filmes plásticos para a cobertura de estufas quanto a passagem de luminosidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis. *CD-ROM*... Florianópolis: Epagri, 1999.

KLOSOWSKI, E. S. Determinação do consumo de água em cultura de pimentão (*Capsicum annum* l.) em ambiente protegido. Botucatu, 2001. 83 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

KLOSOWSKI. E.S., CURY-LUNARDI, D.M., SANDANIELO, A. Determinação do consumo de água e do coeficiente de cultura da abóbora na Região de Botucatu, SP. *Ver. Bras. Eng. Agric. e Ambiental*, v.3, p.409-12, 1999.

KURATA, K. Role of reflection in light transmissivity of greenhouses. *Agriculture Forestry. Meteorology*. n.52, p. 319-31, 1990.

LEITÃO, M.M.V.R., AZEVEDO, P.V., COSTA, J.P.R. Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, 1990, Salvador. *Anais...* Salvador: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1990, p.27-32.

MELO, A.M.T. *Análise genética de caracteres de fruto em híbridos de pimentão*. Piracicaba, 1997. 112p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

MONTEITH, J.L. *Principles of environmental physics*. London: Edward Arnold, 1973. 241p.

MONTEITH, J.L., SZEICZ, G. The radiation balance of bare soil and vegetation. *Q. Journal Royal Meteorological Society*, v.7, p.159-70, 1961.

MONTEITH, J.L., SZEICZ, G. Radioactive temperature in the heat balance of natural surface. *Q.J.R. Meteorological Society*, v.88, p.496-507, 1962.

MONTERO, J.L., CASTILLA, N. GUTIERREZ DE RAVÉ, E., BRETONES, F. Climate under plastic in the Almeria. *Acta Horticulture*, Wageningen, v. 170, p.227-34, 1985.

NETTO, A.J., AZEVEDO, P.V., SILVA, B.B., SOARES, J.M., CASTRO TEIXEIRA, A.H. Balanço de energia sobre um cultivo de videira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis. *CD*... Florianópolis: Epagri, 1999. p.2297-304.

NEVILLE, V.B.R., CARRIJO, O.A. Estufa, material de cobertura e cortinamento, durabilidade e transparencia à radiação solar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. CD… Florianópolis: Epagri, 1999.

PÁDUA, J.G., CASALI, V.W.D., PINTO, C.M.F. Efeitos climáticos sobre pimentão e pimenta. *Inf. Agropecu*., v.10, n.113, p.11-3, 1984.

PEDRO, F.R., VICENTE, L.M.M. *Aplicación de los plásticos en la agricultura*. 2ed., Madrid: Mundi-Prensa, 1988. 573p.

PEDRO JUNIOR, M.J., VILLA NOVA, N.A. Balanço de energia em soja (*Glycine max* L. Merr) Turrialba, v. 31, n.4, p309-12, 1981.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of Royal Society*, London, v.193, p.120-145, 1948.

PEREIRA, A.L. *Cultura do pimentão.* Fortaleza: Departamento Nacional de Obras contra as Secas, 1990, 48p.

PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, E.C. *Avaliação do crescimento e produtividade de pimentão amarelo (Capsicum annuum* L.*) sob diferentes potenciais matriciais de água no solo e em condições de casa de vegetação*. Botucatu, 1995. 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

PEZZOPANE, J.E.M., PEDRO JÚNIOR, M.J., ORTOLANI, A.A., MEYER, N. Radiação líquida e temperatura de folha no interior de estufa com cobertura plástica, durante o período noturno. *Rev. Brasileira de Agrometeorologia.*, v.3, p.1-4, 1995.

PUECH, J., HERNANDEZ, M. Différentes cultures et étude de qualques facteurs influençant les rythmes de consommations. *Ann. Agron*., Paris, v.24, p.437-55, 1973.

ROBELIN, E. Evaporation réelle des différents couverts végétaux bien alimentés en eau et ETP. Determination Experimentale. *Ann. Agron*., Paris, v.13b, p.493-522, 1962.

ROBLEDO DE PEDRO, F., VICENTE, L.M. *Aplicación de los plasticos en la agricultura*. 2ª ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1988. 573p.

SADE, A. *Curso de plasticultura e fertirrigação*. Piracicaba: Departamento de Horticultura, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1994. 351p. (Mimeografado).

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Programa paulista para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. *Classificação de pimentão*. São Paulo, 1998. "não pág." (folheto)

SCHOCH, P.G. Effects of shading on structural characteristics of the leaf and yield of fruit in *Capsicum annum* L. *J. Am. Soc. Hortic. Sci*., v.97, n.4, p.446-64, 1972.

SGANZERLA, E. *Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com os plásticos*. 5ª ed. Guaíba: Agropecuária, 1995. 342p.

SIVIERO, P., GALLERANI, M. *La cultivazione del pepperone.* Verona: Edizioni L'Informatore Agrio, 1992. 217p.

SLATYER, R.O., McILROY, I.C. *Pratical climatology.* Melborne: CSIRO, 1961. 340p.

SMITH, M. Report on the expert consulation on revision of FAO methodologies for crop water requiriments. Rome: FAO. 1991, 42p.

SONNENBERG, P.E. *Olericultura especial: 2ª parte*. 2ed. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1981, 143p.

SOUZA, J.L. *Saldo radiômetro com termopilha de filme fino e aplicação no balanço de radiação e energia em cultivo de feijão vagem (phaseolus vulgaris l.) em casa de vegetação com cobertura de polietileno*. Botucatu, 1996.172p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

SOUZA, J. L., SILVA, M. A. V. Evapotranspiração da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vuilgaris* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, 1985, Londrina. *Anais*... Londrina: IAPAR, 1985. p.24-32.

STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouses with special reference to Mediterranean conditions. *Acta Horticulture*. Wageningen, v. 335, p. 295-304, 1993.

STANHILL, G., HOFSTEDE, G.J., KALMA, J.D. Radiation balance of natural and agricultural vegetation. *Q.J.R. Meteorological Society*, v.92, p.128-40, 1966.

SWIBANK, W.C. Long wave radiation from clear skies. *Quart. Journal Royal Meteorology Soc.*, n.89, p.339-348, 1932.

TANAKA, M., GENTA, H. *Control del medio ambiente bajo invernadero y tunel plastico.* Salto: Uruguay - Estación Experimental de Citricultura, 1982. 61p.

TANNER, C.B.; PELTON, W.L. Potential Evapotranspiration Estimates by Approxímate Energy Balance Method of Penman. *Journal of Geophysical Research*, v. 65, n.10 p. 3391-413, 1960.

TEODORO, R.E.F., OLIVEIRA A.S., MINAMI, K. Efeitos da irrigação por gotejamento na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em casa-de-vegetação. *Sci. Agric., Piracicaba*, v. 50, n.2, p.237-43, 1993.

TETENS, O. Uber einige meteorologische. *Z. Geophys*. n.6, p.297-309, 1930.

THOM, A.S., OLIVIER, H.R. On Penman's equation for estimating regional evaporation. *Quart. Journal Royal Meteorology Soc.* n.103, p.345, 1997.

TUBELIS, A, NASCIMENTO, F.J.L. *Meteorologia Descritiva*: Fundamentos e Aplicações Brasileiras, Editora Nobel,1976. 374p.

VAN DEN BOS, J. The isolation effect of greenhouses on arthropod pests and its significance for intergrated pest management. Wageningen: Pudoc, 1983. 92p.

VANDERWERKEN, J.E., WILCOX-LEE, D. Influence of plastic mulch and type and frequency of irrigation on growth and yield of bell pepper. *Horticulture Science,* v.20, p.985-8, 1988.

WREGE, M.S. *Determinação do coeficiente de cultivo da cultura do crisântemo (Chrysanthemun morifolium Ramat. var. Polaris amarelo).* Botucatu, 1995. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

WRIGHT, J.L., JENSEN, M.E. Peach water requirements of crops in southern Idaho. Journal Irrigation and drenage division, ASCE, p. 96-193,1972