

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**RADIAÇÕES E FRAÇÕES SOLARES UV, PAR, IV EM ESTUFA DE
POLIETILENO: EVOLUÇÃO ANUAL MÉDIA MENSAL DIÁRIA E
EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA**

ENZO DAL PAI

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Maio – 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**RADIAÇÕES E FRAÇÕES SOLARES UV, PAR, IV EM ESTUFA DE
POLIETILENO: EVOLUÇÃO ANUAL MÉDIA MENSAL DIÁRIA E
EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA**

ENZO DAL PAI

Orientador: Prof. Dr. João Francisco Escobedo

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia – Área de Concentração em Energia
na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Maio de 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

D149r Dal Pai, Enzo, 1982-
Radiações e frações solares UV, PAR, IV em estufa de polietileno: evolução anual média mensal diária e equações de estimativa / Enzo Dal Pai. - Botucatu : [s.n.], 2010. xii, 69 f. : il., grafs., tabs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2010
Orientador: João Francisco Escobedo
Inclui bibliografia.

1. Radiação espectral solar. 2. Equação de estimativa. 3. Ambiente protegido. 4. Equação de Ångström. I. Escobedo, João Francisco. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

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

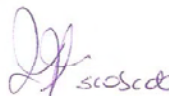
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "RADIAÇÕES E FRAÇÕES SOLARES UV, PAR E IV EM ESTUFAS DE
POLIETILENO: EVOLUÇÃO ANUAL MÉDIA MENSAL DIÁRIA E
EQUAÇÃO DE ESTIMATIVA"

ALUNO: ENZO DAL PAI

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO

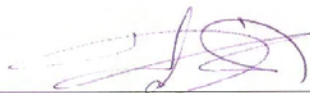
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO



PROF. DR. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI



PROF. DR. DINIVAL MARTINS

Data da Realização: 07 de maio de 2010.

Dedico este trabalho

Aos meus pais, Vitalino (*in memoriam*)
e Francisca, que sempre me apoiaram e
sempre estiveram do meu lado.

Aos meus irmãos Alexandre e
Emílio, pela camaradagem e
companheirismo em vários
momentos de minha vida.

A todos meus amigos que me
acompanham, me apoiam e que
sem os quais a vida se
tornaria vaga.

Agradecimentos

A Deus por tudo que estou vivendo e pelo bom andamento durante todo o curso de mestrado.

Ao curso de Pós-graduação em Agronomia/Energia na Agricultura da FCA/UNESP pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho.

Ao orientador e amigo Prof. Dr. João Francisco Escobedo, pela oportunidade, incentivo, participação e apoio na realização deste trabalho e em minha formação profissional.

Ao amigo Prof. Dr. Eduardo Nardini Gomes, pelos vários ensinamentos também pela grande amizade.

Ao Grupo de Radiometria Solar “Escobedo’s Rangers”, amigos e colegas de curso, por terem me acompanhado e me ajudado por todos esses anos.

Às funcionárias da seção de pós-graduação, pela atenção e competência nos serviços prestados.

À minha namorada Jamile por estar do meu lado durante essa difícil fase da vida.

Ao Sr. Romeu por ajudar a mim e à família a se manter unida.

Ao CNPQ pelo auxílio financeiro.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	4
1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1 Radiações Solares UV, PAR e IV na superfície terrestre.....	9
2.2 Radiações Solares UV, PAR e IV na superfície terrestre.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Descrição da Estufa.....	15
3.2 Clima.....	17
3.3 Instrumentação e medidas.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 Evolução anual das radiações externas Global, Extraterrestre, K_t , UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX}	22
4.1.1 Evolução anual das radiações Global (G^{EX}), Extraterrestre (I_o) e índice de claridade K_t	22
4.1.2 Estimativa das radiações UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} externa a partir de G^{EX}	26
4.2 Evolução das Radiações e Frações Solares UV, PAR e IV da Global G^{IN} , na Estufa.....	29
4.2.1 Evolução anual das radiações G, UV, PAR, IV dentro da estufa de polietileno.....	29
4.2.2 Transmissividade média mensal das radiações $G(\tau_G)$, $UV(\tau_{UV})$, $PAR(\tau_{PAR})$ e $IV(\tau_{IV})$ na estufa de polietileno.....	33
4.2.3 Evolução anual das Frações média mensal K_{UV} , K_{PAR} e K_{IV} na estufa de polietileno.....	36
4.3 Equações de estimativa das radiações UV, PAR, IV em função da radiação global.....	40

4.3.1 Equações de estimativa das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da global interna H_G^{IN}	40
4.3.2 Equações de estimativa das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da radiação global externa H_G^{EX}	46
4.4 Equações de estimativa das radiações UV, PAR e IV em função da razão de insolação(n / N).....	51
4.4.1 Evolução anual do número de horas de brilho solar dentro e fora da estufa de polietileno.....	51
4.4.2 Equação de Angstron na estufa de polietileno.....	54
5 CONCLUSÕES.....	58
6 REFERÊNCIAS.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Principais características operacionais dos sensores.....	20
2 Coeficiente angular a das equações mensais linear ($Y = aX$) UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} em função de G^{EX} , propostos por (Escobedo <i>et al.</i> , 2008).....	21
3 Valores das radiações global externa G^{EX} e topo da atmosfera I_0 , em MJ/m^2 e índice de claridade K_t , entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.....	23
4 Precipitação acumulada mensal e nebulosidade externa entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.....	26
5 Valores estimados das radiações UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} a partir de G^{EX} , entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu, propostos por (Escobedo <i>et al.</i> , 2008).....	27
6 Valor da radiação G^{IN} , UV^{IN} , PAR^{IN} e IV^{IN} , em energia (MJ/m^2) entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.....	30
7 Transmissividade média mensal na cobertura de polietileno para as radiações G , UV , PAR e IV entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.....	33
8 Valores das frações solares K_{UV}^{IN} , K_{PAR}^{IN} e K_{IV}^{IN} na estufa de polietileno entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.....	37
9 Equações das irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função de H_G^{IN} anual e sazonais.....	42
10 Equações das irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função irradiação H_G^{EX} anual e sazonal.....	48
11 Evolução anual do número de horas de brilho solar acumulado mensal , entre março de 2008 a fevereiro de 2009 em Botucatu.....	51
12 Equações de estimativas anual para as radiações UV , PAR e IV dentro da estufa.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 a) Estufa vista de fora; b) Dimensões da estufa.	16
2 a,b,c,d) Series Climáticas da temperatura(a), Umidade(a), Nebulosidade(b), Precipitação(c) do período de 1970 a 2000 em Botucatu; d) Serie de 10 anos do período de 1998 a 2007 da concentração de aerossóis em Botucatu.....	18
3 a) Disposição dos equipamentos no interior da estufa; b) Equipamentos para medição das radiações ultravioleta e infravermelha, em detalhe.....	19
4 a) Evolução média mensal das radiações no topo da atmosfera I_0 e global externa G^{EX} , entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.; b)Evolução média mensal do índice de claridade K_t no mesmo período.....	24
5 A evolução das radiações G^{EX} UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} médias mensais estimadas entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.....	28
6 a) Evolução anual das radiações Global, UV, PAR e UV dentro da estufa entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu; b) Evolução anual das radiações UV dentro da estufa em outra escala no mesmo período.....	31
7 Umidade relativa período experimental entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.....	32
8 Transmissividade da estufa da radiação global média mensal entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.....	34
9 Transmissividade na estufa das radiações UV, PAR e IV média mensal entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.....	35
10 a) Evolução anual das Frações K_{UV}^{IN} , K_{PAR}^{IN} e K_{IV}^{IN} dentro da estufa entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu; b) Evolução anual da fração K_{uv}^{IN} dentro da estufa em outra escala no mesmo período.....	38

11 a,b,c,) Relações entre as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função de H_G^{IN} ..	41
12 Estimativas das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} , em função da radiação global H_G^{IN} , calculadas com os modelos anual e sazonal.....	45
13 a,b,c) Relações entre as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da irradiação H_G^{EX}	47
14 Estimativas das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} , em função da radiação global H_G^{EX} , calculadas com os modelos anual e sazonal.....	50
15 a) Evolução anual do número de horas de brilho solar entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu, b) Evolução anual da razão de insolação, dentro e fora da estufa de polietileno no mesmo período.....	53
16 Relação entre a razão de insolação $(n / N)^{IN}$ dentro e fora da $(n / N)^{EX}$ da estufa de polietileno.....	54
17 Relação entre a razão de insolação $(n / N)^{IN}$ dentro da estufa e do índice Kt.....	55

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

SÍMBOLO OU SIGLA	DESCRIÇÃO
G	Radiação solar global
UV	Radiação ultravioleta
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa (photosynthetically active radiation)
IV	Radiação infravermelha
G^{IN}	Radiação solar global interna
G^{EX}	Radiação solar global externa
UV^{IN}	Radiação solar ultravioleta interna
PAR^{IN}	Radiação solar fotossinteticamente ativa (photosynthetically active radiation) interna
IV^{IN}	Radiação solar infravermelha interna
UV^{EX}	Radiação solar ultravioleta externa
PAR^{EX}	Radiação solar fotossinteticamente ativa (photosynthetically active radiation) externa
IV^{EX}	Radiação solar ultravioleta externa
I_{GLOBAL}	Irradiância global
I_{UV}	Irradiância ultravioleta
I_{PAR}	Irradiância fotossinteticamente ativa
I_{IV}	Irradiância infravermelha
I_0	Irradiância de topo ou extraterrestre
K_t	Transmissividade atmosférica da radiação solar global

K_d	fração da radiação difusa pela radiação global
τ	Transmissividade da global pelo plástico
τ_{UV}	Transmissividade da radiação UV pelo plástico
τ_{PAR}	Transmissividade da radiação PAR pelo plástico
τ_{IV}	Transmissividade da radiação IV pelo plástico
K_{UV}	fração ultravioleta da radiação solar global
K_{PAR}	fração fotossinteticamente ativa da radiação solar global
K_{IV}	fração infravermelha da radiação solar global
H_G	Radiação global
H_G^{IN}	Radiação solar global interna diária
H_G^{EX}	Radiação solar global externa diária
H_d	Radiação difusa
H_{UV}^{IN}	Radiação solar ultravioleta diária interna
H_{PAR}^{IN}	Radiação solar fotossinteticamente ativa diária interna
H_{IV}^{IN}	Radiação solar infravermelha diária interna
H_{UV}^{EX}	Radiação solar ultravioleta diária externa
H_{UV}^{EX}	Radiação solar ultravioleta diária externa
H_{UV}^{EX}	Radiação solar ultravioleta diária externa
n	insolação (número de horas de brilho solar)
(n / N)	razão de insolação
$(n / N)^{IN}$	razão de insolação interna
$(n / N)^{EX}$	razão de insolação externa

Resumo

O trabalho descreve o estudo das radiações global(G), ultravioleta (UV), fotossinteticamente ativa (PAR), infravermelha (IV) e da insolação, em uma estufa de polietileno, medidas no período de março de 2008 a fevereiro de 2009 em Botucatu, São Paulo, Brasil. Foram analisados no presente estudo: 1- a evolução anual das radiações e frações solares UV/G, PAR/G e IV/G média mensal; 2- as equações de estimativa para as radiações UV, PAR e IV dentro da estufa em função das radiações global interna e global externa ; 3- evolução anual da insolação média mensal e a equação de estimativa Ångström para as radiações G, UV, PAR e IV dentro da estufa, em função da razão de insolação interna e externa.

A evolução anual das radiações G, UV, PAR e IV médias mensais diárias dentro e fora da estufa, mostrou que além do dia e local, dependem do clima, cobertura do céu, presença de vapor entre outros. As radiações foram maiores no verão-primavera e menores no outono-inverno. Os valores médios total dentro e fora da estufa foram: $G^{IN} = 13,1 \text{ MJ/m}^2$, $UV^{IN} = 0,34 \text{ MJ/m}^2$, $PAR^{IN} = 6,70 \text{ MJ/m}^2$ e $IV^{IN} = 6,15 \text{ MJ/m}^2$, $G^{EX} = 17,14 \text{ MJ/m}^2$, $UV^{EX} = 0,72 \text{ MJ/m}^2$, $PAR^{EX} = 8,38 \text{ MJ/m}^2$ e $IV^{EX} = 8,04 \text{ MJ/m}^2$. Os valores médios total, das frações em percentagem, dentro e fora da estufa foram: $UV^{IN} / G^{IN} = 2,6\%$; $PAR^{IN} / G^{IN} = 50,6\%$, $IV^{IN} / G^{IN} = 47,1\%$, $UV^{EX} / G^{EX} = 4,18\%$, $PAR^{EX} / G^{EX} = 48,9\%$ e $IV^{EX} / G^{EX} = 46,9\%$ respectivamente.

As equações de estimativa, anual e sazonal, obtidas para as irradiações H_{uv} , H_{par} e H_{iv} em função da radiação H^{IN} e H^{EX} são lineares, tipo $Y = aX$, onde coeficiente angular quantifica percentualmente a fração espectral: anual $H_{UV}^{IN} / H_G^{IN} = 2,6\%$; $H_{PAR}^{IN} / H_G^{IN} = 50,8\%$ e $H_{IV}^{IN} / H_G^{IN} = 46,7\%$, enquanto que a sazonal: Primavera $H_{UV}^{IN} / H_G^{IN} = 2,5\%$; $H_{PAR}^{IN} / H_G^{IN} = 51,7\%$ e $H_{IV}^{IN} / H_G^{IN} = 45,7\%$; Verão: $H_{UV}^{IN} / H_G^{IN} = 2,7\%$; $H_{PAR}^{IN} / H_G^{IN} = 51,8\%$ e $H_{IV}^{IN} / H_G^{IN} = 45,4\%$, Outono: $H_{UV}^{IN} / H_G^{IN} = 2,5\%$; $H_{PAR}^{IN} / H_G^{IN} = 49,0\%$ e $H_{IV}^{IN} / H_G^{IN} = 48,3\%$ e Inverno: $H_{UV}^{IN} / H_G^{IN} = 2,3\%$; $H_{PAR}^{IN} / H_G^{IN} = 48,3\%$ e $H_{IV}^{IN} / H_G^{IN} = 49,8\%$. Os elevados coeficiente de determinação superiores a $R^2 = 0,9700$ mostram que as radiações UV, PAR e IV, estão bem correlacionadas com as radiações H^{IN} .

Similarmente, as equações de estimativa, anual e sazonal, obtidas para as irradiações H_{uv} , H_{par} e H_{iv} em função da radiação H^{EX} são lineares, tipo $Y = aX$, onde coeficiente angular quantifica percentualmente a fração espectral: anual $H_{UV}^{IN} / H_G^{EX} = 1,9\%$; $H_{PAR}^{IN} / H_G^{EX} = 38,8\%$; $H_{IV}^{IN} / H_G^{EX} = 35,7\%$ respectivamente, enquanto que, as frações sazonal: Primavera $H_{UV}^{IN} / H_G^{EX} = 1,95\%$; $H_{PAR}^{IN} / H_G^{EX} = 39,3\%$ e $H_{IV}^{IN} / H_G^{EX} = 34,8\%$; verão $H_{UV}^{IN} / H_G^{EX} = 2,1\%$, $H_{PAR}^{IN} / H_G^{EX} = 39,9\%$, e $H_{IV}^{IN} / H_G^{EX} = 35,0\%$; outono $H_{UV}^{IN} / H_G^{EX} = 1,98\%$, $H_{PAR}^{IN} / H_G^{EX} = 37,4\%$ e $H_{IV}^{IN} / H_G^{EX} = 37,4\%$, e inverno $H_{UV}^{IN} / H_G^{EX} = 1,75\%$, $H_{PAR}^{IN} / H_G^{EX} = 36,0\%$ e $H_{IV}^{IN} / H_G^{EX} = 36,9\%$. Os elevados coeficientes de determinação superiores a $R^2 = 0,9300$ mostram que as radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} , também estão bem correlacionadas com a radiação H^{EX} .

A evolução anual da insolação acumulada mensal dentro da estufa é similar e inferior a de fora da estufa. A relação (n^{IN} / n^{EX}) é sazonal e variou de 65,0% em janeiro a 82,0% em setembro, com média anual de 76,0%. Similarmente, a relação $(n / N)^{IN} /$

$(n/N)^{EX}$ variou de 65,0% em janeiro a 82,0% em setembro, com média anual de 75,0%. A equação de Ångström para H_G^{IN} em função $(n/N)^{IN}$ e $(n/N)^{EX}$ obtida por regressão linear $H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,35 (n/N)^{IN}$ e $H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,28 (n/N)^{EX}$ com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9104$ $R^2 = 0,8543$ respectivamente, permitem estimar a radiação global dentro da estufa com elevada correlação. As equações de Ångström espectral em função de $(n/N)^{EX}$ dentro da estufa: $H_G^{IN} / H_0 = [0,0058 + 0,0068 (n/N)^{EX}]$; $H_G^{IN} / H_0 = [0,117 + 0,137 (n/N)^{EX}]$; $H_G^{IN} / H_0 = [0,107 + 0,126 (n/N)^{EX}]$ com coeficiente de determinação R^2 iguais a 0,9172; 0,9326 e 0,9275 respectivamente, estimam as radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} a partir da $(n/N)^{EX}$ com correlação elevada, no geral, melhor em sequência para as radiações PAR, IV e UV.

Palavras-chave: radiação espectral solar, equação de estimativa, ambiente protegido, equação de Ångström.

SPECTRAL RADIATIONS UV, PAR AND NIR INSIDE POLYETHYLENE GREENHOUSE

Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ENZO DAL PAI

Adviser: JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO

SUMMARY

This study describes the study of the global radiation(G), ultraviolet (UV), photosynthetically active radiation (PAR), infrared radiation (IV) and insolation, inside a greenhouse of polyethylene, measures in the period of March 2008 to February of 2009 in Botucatu, São Paulo, Brazil. They had been analyzed in the present study: 1 – annual, monthly and average evolution of the radiations UV/G, PAR/G and IV/G; 2 - equations of estimate for radiations UV, PAR and IV inside of the greenhouse in function of the radiations global internal and global external; 3 - annual evolution of the monthly average insolation and Ångström equation of estimate for radiations G, UV, PAR and IV inside of the greenhouse, in function of the reason of internal and external insolation.

The annual evolution of radiations G, UV, PAR and IV daily monthly averages inside and outside of the greenhouse, showed that beyond the day and place, they depend on the climate, the radiations had been bigger in the summer-spring and minors in the autumn-winter. The average values total inside and outside of the greenhouse had been: $G^{IN} = 13,1 \text{ MJ/m}^2$, $UV^{IN} = 0,34 \text{ MJ/m}^2$, $PAR^{IN} = 6,70 \text{ MJ/m}^2$ and $IV^{IN} = 6,15 \text{ MJ/m}^2$, $G^{EX} = 17,14 \text{ MJ/m}^2$, $UV^{EX} = 0,72 \text{ MJ/m}^2$, $PAR^{EX} = 8,38 \text{ MJ/m}^2$ and $IV^{EX} = 8.04 \text{ MJ/m}^2$. The average values total, of the fractions in percentage, inside and outside of the greenhouse had been: $UV^{IN}/G^{IN} = 2,6\%$; $PAR^{IN}/G^{IN} = 50,6\%$, $IV^{IN}/G^{IN} = 47,1\%$, $UV^{EX}/G^{EX} = 4,18\%$, $PAR^{EX}/G^{EX} = 48,9\%$ and $IV^{EX}/G^{EX} = 46,9\%$ respectively.

The equations of estimate, annual and sazonal, gotten for the irradiances H_{uv} , H_{par} and H_{iv} in function of radiation H^{IN} and H^{EX} are linear, type $Y = aX$, where angular coefficient it quantifies the spectral fraction percentile: annual $H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} = 2,6\%$; $H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} = 50,8\%$ and $H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} = 46,7\%$, whereas the sazonal: Spring $H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} =$

2,5%; $H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} = 51,7\%$ and $H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} = 45,7\%$; Summer: $H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} = 2,7\%$; $H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} = 51,8\%$ and $H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} = 45,4\%$, Autumn: $H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} = 2,5\%$; $H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} = 49,0\%$ and $H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} = 48,3\%$ and Winter: $H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} = 2,3\%$; $H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} = 48,3\%$ and $H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} = 49,8\%$. Raised the coefficient of determination superior the $R^2 = 0,9700$ shows that radiations UV, PAR and IV, well are correlated with radiations H^{IN} .

Similarly, the equations of estimate, annual and sazonal, gotten for the irradiances H_{uv} , H_{par} and H_{iv} in function of radiation H^{EX} are linear, type $Y = aX$, where angular coefficient it quantifies the spectral fraction percentile: annual $H_{UV}^{IN}/H_G^{EX} = 1,9\%$; $H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} = 38,8\%$; $H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} = 35,7\%$ respectively, whereas, the fractions sazonal: Spring $H_{UV}^{IN}/H_G^{EX} = 1,95\%$; $H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} = 39,3\%$ and $H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} = 34,8\%$; summer $H_{UV}^{IN}/H_G^{EX} = 2,1\%$, $H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} = 39,9\%$, and $H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} = 35,0\%$; autumn $H_{UV}^{IN}/H_G^{EX} = 1,98\%$, $H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} = 37,4\%$ e $H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} = 37,4\%$, and winter $H_{UV}^{IN}/H_G^{EX} = 1,75\%$, $H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} = 36,0\%$ e $H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} = 36,9\%$. The raised superior coefficients of determination the $R^2 = 0,9300$ show that radiations H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} and H_{IV}^{IN} , also well are correlated with radiation H^{EX} .

The annual evolution of the monthly accumulated insolation inside of the greenhouse is similar and inferior of it are of the greenhouse. The relation (n^{IN}/n^{EX}) is sazonal and varied of 65,0% in January 82,0% in September, with annual average of 76,0%. Similarly, relation $(n/N)^{IN} / (n/N)^{EX}$ varied of 65,0% in January 82,0% in September, with annual average of 75,0%. The equation of Ångström for H_G^{IN} in function $(n/N)^{IN}$ e $(n/N)^{EX}$ gotten for linear regression $H_G^{IN}/H_0 = 0,23 + 0,35 (n/N)^{IN}$ e $H_G^{IN}/H_0 = 0,23 + 0,28 (n/N)^{EX}$ ones with coefficient of determination $R^2 = 0,9104$ and $R^2 = 0,8543$ respectively, allow inside esteem the global radiation of the greenhouse with raised correlation. The equations of spectral Ångström in function of $(n/N)^{EX}$ inside of the greenhouse: $H_G^{IN}/H_0 = [0,0058 + 0,0068 (n/N)^{EX}]$; $H_G^{IN}/H_0 = [0,117 + 0,137 (n/N)^{EX}]$; $H_G^{IN}/H_0 = [0,107 + 0,126 (n/N)^{EX}]$ with coefficient of R^2 determination equal the 0,9172; 0,9326 and 0,9275 respectively, esteem radiations H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} and H_{IV}^{IN} from $(n/N)^{EX}$ ones with raised correlation, in the generality, better in sequence for the radiations PAR, IV and UV.

Keywords: solar spectral radiation, estimative equations, polyethylene greenhouses, Ångström's equation

1. Introdução

A vantagem da utilização de estufas ou ambiente protegido com polietileno na agricultura consiste no aumento de produção de hortaliças e flores, principalmente nos períodos de entressafra, permitindo maior regularização de oferta e melhor qualidade dos produtos. A estufa permite ainda obtenção de produtos de alta qualidade, precocidade de culturas, possibilidade de utilização de menor consumo de mão-de-obra, aumento de produtividade e menor índice de lixiviação de alguns nutrientes do solo. Através do manejo correto deste micro ambiente, o produtor pode alcançar aumento significativo do rendimento e produtividade das culturas. A literatura tem mostrado que países que dependiam

de volumosas importações passaram a ocupar lugares de destaque tanto na produção agrícola interna quanto na exportação.

Os principais fatores já conhecidos, que favorecem o melhor desenvolvimento da cultura em meio protegido são: diminuição de efeitos adversos como baixa temperatura na geada, fortes ventos que normalmente provocam danos às plantas, não só fisiológicos como mecânicos; diminuição de pragas; obtenção de temperatura ideal que permita maior velocidade de crescimento, e o aumento da fração da radiação difusa da global ($K_d = H_d/H_G$), que é considerada a componente mais eficiente na fotossíntese por atingir área foliar mais homogeneamente. Existem evidências que as alterações das frações espectrais da radiação global dentro da estufa de polietileno, devido a interação das radiações UV, PAR e IV, por absorção, espalhamento e reflexão, podem também ser um fator que favorece no aumento de produção.

Estudos com a radiação solar espectral ultravioleta (0,29 a 0,385 μ m), fotossintética ativa -PAR (0,385-0,7 μ m) e infravermelha-IV (0,7 – 3,0 μ m), em estufas de polietileno são restritos a poucos trabalhos divulgados na literatura, a mais extensiva com a radiação PAR, pois compreende a faixa de comprimento de onda capaz de ativar o processo de fotossíntese. Com a radiação solar UV são poucos trabalhos conhecidos na literatura, para uma base de dados temporal considerável para uma análise sazonal, mesmo que a radiação UV tenha uma importância biológica. Os efeitos específicos da UV causados nas plantas por na faixa entre 0,40 μ m e 0,32 μ m são nocivos na formação do vegetal, resultando em plantas mais baixas e com folhas mais espessas; na faixa entre 0,32 μ m e 0,28 μ m, é considerado intervalo prejudicial à maioria das plantas, e abaixo de 0,28 μ m, exercem efeitos letais, matando rapidamente as plantas. A maioria dos trabalhos divulgados na literatura, sobre a radiação ultravioleta na superfície terrestre, trata da determinação da fração da radiação ultravioleta em relação à radiação global, bem como do efeito do clima e sua relação com a nebulosidade, vapor de água e os componentes atmosféricos como o ozônio e aerossóis. Com a radiação solar IV são raríssimas as informações sobre series de medidas na superfície terrestre ou estufa de polietileno. O que é conhecido na literatura em publicações recentes, é que esta banda espectral situa-se aproximadamente na faixa de 47,0% da radiação global e depende fortemente do vapor de água da atmosfera local.

Considerando a ausência de informações sobre as radiações espectrais dentro de estufa e a importância atual dos ambientes protegidos na produção agrícola, esse trabalho teve por objetivo efetuar medidas dessas radiações dentro de estufa de polietileno, para analisar a sazonalidade das radiações e frações em função das variações climáticas local, e obter por meio de regressão linear, as equações de estimativa para as radiações UV, PAR e IV interna a partir da radiação global interna e externa.

2. Revisão de Literatura

2.1. Radiações Solar UV, PAR e IV na superfície terrestre

Radiação solar é um termo genérico para toda a energia que provem do Sol e atinge o planeta Terra. Essa energia que vem do sol é a principal controladora do clima, formando ventos, chuvas, aquecendo superfícies e causando outros fenômenos meteorológicos. Sabe-se que a radiação solar é grande responsável pelo crescimento e desenvolvimento das plantas, em processos como fotossíntese, transpiração, fotoperiodismo, formação e crescimento de tecidos, floração, entre outros (McCree, 1972; Gates, 1976; Carmeño, 1990; Beckmann *et al.*, 2006; Kittas *et al.*, 2006).

A radiação solar total incidente sobre uma superfície é a soma de três bandas espectrais diferenciadas: ultravioleta-UV (0,29 a 0,385 μ m), fotossintética-PAR (0,385-0,7 μ m) e infravermelha-IV (0,7 – 3,0 μ m):

-Irradiâncias UV tem sua importância biológica (Caldwell, 1971; Klein, 1978). Muitas espécies vegetais de interesse econômico e apresentam redução de crescimento e taxa fotossintética após longas exposições dessa radiação. Entretanto o modo de ação da radiação UV sobre organismos vegetais ainda não é bem compreendido, fato este devido à diferença de abordagem dos trabalhos na área. Alguns trabalhos são feitos em condições de campo, enquanto outros são feitos com lâmpadas artificiais. Há diferenças nos comprimentos de ondas, já que lâmpadas comerciais germicidas apresentam comprimento de onda único, enquanto experiências em campo são feitas com toda a banda do UV (Pearson *et al.*, 1995). O interesse no estudo da radiação UV também está ligado a outros interesses, como detecção na mudança da quantidade de radiação que chega à superfície de Terra, crescente conscientização pública sobre os perigos potenciais da radiação ultravioleta, estabelecimento de uma climatologia básica sobre a radiação UV. O conhecimento a cerca da distribuição desta radiação, tanto no tempo como no espaço, assegura apoio às diversas áreas de pesquisa, como: desenvolvimento de ambientes modificados (Rao, 1984; Herrmann *et al.*, 1997; Lingakumar *et al.*, 1999; Hao *et al.*, 2000); fotodegradação de plásticos, de corantes, de pinturas e de fibras naturais e sintéticas (Andrady *et al.*, 1989; Kelly e White, 1997); foto decomposição de águas residuais e de contaminantes industriais mediante o uso de concentradores solares (Sommer *et al.*, 1996; Jiménez *et al.*, 2000; Blatchley Iii *et al.*, 2008); foto bronzeamento e formação do câncer de pele e de cataratas (Gies, 1998; Roy *et al.*, 1998; De Gruijl, 1999; Parisi e Wong, 2000).

-A radiação PAR influencia o crescimento das plantas, pois é necessária para a realização da fotossíntese, processo básico para o crescimento e desenvolvimento das plantas (McCree, 1972), enquanto que o total de energia(radiação global) é o principal fator que afeta a transpiração (Gates, 1976). A radiação fotossinteticamente ativa (RFA ou do inglês PAR) é a responsável pela reação de fotossíntese por ser de um espectro que as plantas conseguem assimilar e por este motivo, é a fração da radiação global mais estudada. É essencial em diversos tipos de pesquisas, trabalhos e aplicações relacionadas à fisiologia vegetal

e áreas agronômicas (Alvalá e Silva, 2000), como: modelagem de fotossíntese (Alados-Arboledas *et al.*, 2000), rendimento ou produtividade de culturas (Galvani e Escobedo, 2000), caracterização de crescimento e morfologia de plantas (Hatfield e Carlson, 1979; Carter e Klinker, 1992; Ackerly e Bazzaz, 1995), estimativa da interação e competição entre plantas (Cannel e Grace, 1993), entre outros. Além disso, o estudo da radiação fotossinteticamente ativa e de sua variação contribui para que pesquisadores e agricultores aperfeiçoem seu sistema de produção e investimento tecnológico para aumentar a eficiência agrícola e produtividade.

-A radiação IV na faixa de 0,7 – 3,0 μ m é chamada de infravermelho próximo e é comumente abordada pelo termo NIR, do inglês, *Near InfraRed*. Embora não tenha grande absorção pelas plantas tem sua importância por interagir com o ambiente e provocar aumento na temperatura do ar. Também tem importância por interagir e ser absorvida por água ou vapor d'água da atmosfera (Hemming *et al.*, 2006). Pelo fato de que a radiação infravermelha sofrer grande interação com a atmosfera, principalmente absorção, é um importante fator causador do efeito estufa (Ludlam, 1980; Vogelmann *et al.*, 1998). Seu comportamento é pouco estudado, embora apresente grande importância climática.

O conhecimento das radiações solares UV, PAR e IV por meio de série (diurna ou anual) temporal, ou modelos de estimativa, é importante, porque permitem terem-se os valores das radiações horárias nos meses e anos, ou das radiações medias mensais diárias a partir do tempo sem necessidade de medida externa, ou ter seus valores estimados por meio de uma medida simples.

As radiações UV, PAR e IV vêm sendo investigadas por meio de observações experimentais em muitos países. A radiação UV por ser a mais energética das três componentes e ter um grande numero de aplicações, vem sendo mais extensivamente estudada que as radiações PAR e a IV. Os resultados mostram que a correlação linear entre a radiação UV e a radiação G, é altamente dependente da nebulosidade, vapor d'água e aerossóis, enquanto a correlação entre a PAR e G depende moderadamente da nebulosidade e vapor d'água. A componente IV foi muito pouco estudada em relação à radiação global G, porem é conhecido que as radiações IV e G dependem fortemente do vapor d'água na atmosfera.

Com as radiações G e UV, horária ou diária, a correlação entre ambas já foi estudada em intervalos de tempo mensais em diferentes climas por diversos pesquisadores como: (Al-Arudi, 1990) no Kuwait, (Robaa, 2004) para uma região urbana e poluída no Cairo -

Egito , (Canãda *et al.*, 2003) em Valencia e Córdoba, (Martínez-Lozano *et al.*, 1994) em Valencia, (Jacovides *et al.*, 2006) para Athalassa em Cyprus (Ogunjobi e Kim, 2004) e em Kwangju, Coréia do Sul. Os resultados mostram que a radiação solar UV total constitui uma fração média entre 2.0 % a 9.5% da radiação solar global G. São valores semelhantes aos encontrados nos trabalhos realizados no Brasil. Escobedo *et al.* (2008) encontraram valores de UV/G de 4,0% a 4,8% em Botucatu-SP.

Com as radiações G e PAR, horária e diária, a correlação com agrupamentos anual dos dados, com nuvens e sem nuvens, ou sazonalmente por estações do ano, em locais com diferentes climas, foi estudada por diversos pesquisadores, como mostram os trabalhos de Jacovides *et al.*, (2004) e Jacovides *et al.* (2007) para Athalassa em Cyprus e Athenas na Grécia, respectivamente; de Finch *et al.* (2004) para Lusaka na Zambia; de Blackburn e Proctor (1983) em Guelph Ontário Canadá; de Rao (1984) para Corvalis em Oregon no Estados Unidos; de Papaioannou *et al.* (1996) para Athenas na Grécia; de Stigter e Musabilha (1982) em Llorim na Nigéria. Os resultados mostram que a fração media PAR representa uma fração entre 40,8% a 63,1% da radiação solar global G. Pesquisadores brasileiros encontraram valores semelhantes, como Galvain e Dechandt (2003), Alvalá e Silva (2000) e Escobedo *et al.* (2008).

Os menores valores das frações UV/G e PAR/G podem ser atribuídos ao espalhamento e absorção por partículas sólidas ou aerossóis (poeira, poluição do ar) na atmosfera que reduzem mais acentualmente a radiação UV e moderadamente a radiação PAR, que a radiação G. Já os maiores valores das frações UV/G e PAR/G é devido à presença de nuvens e vapor d'água na atmosfera que absorvem mais a radiação IV que as radiações UV e PAR.

Com as radiações G e IV, existem poucas informações sobre observações simultâneas das duas radiações na superfície terrestre Escobedo *et al.* (2006a), Escobedo *et al.* (2006b) e Escobedo *et al.* (2007). A divulgação mais recente, realizada em Botucatu no Brasil, a fração média IV/G foi analisada em função do índice de claridade Kt, para uma base de dados de cinco anos agrupadas em quatro intervalos de cobertura de céu (Escobedo *et al.*, 2009). Os resultados mostraram que a radiação IV constitui uma fração média entre 44,0% na cobertura de céu aberto a 51,5% na cobertura de céu nublado, da radiação global G. Os menores valores das frações média IV/G ocorrem na cobertura de céu nebulosa e é devido a

forte absorção de radiação IV pelo vapor d'água na atmosfera, enquanto que, os maiores valores das frações IV/G ocorrem na cobertura de céu aberto, onde a absorção radiação IV pelo vapor d'água na atmosfera é baixa, e porque matérias particulados como aerossóis e poluição do ar, espalham e absorvem muito pouco a radiação IV. Para valores médios com agrupamentos de dados num único intervalo de tempo, a fração IV constitui o percentual 46,9% e 51,0% da radiação global, como mostram os trabalhos de Zhang *et al.* (2000) em Lhasa na China e Bolsenga (1967) em Thule na Groenlândia.

2.2 Radiações Solares UV, PAR e IV em estufas de polietileno

Embora o Brasil tenha grande potencial agrícola e estar apresentando grande desenvolvimento tecnológico nessa área, ainda não possui estudos sobre as radiações solares G, UV, PAR e IV, medidas simultaneamente em estufas ou meio protegido. Apenas as universidades e centros de pesquisa que dispõem de equipamentos para o monitoramento de algumas dessas radiações solares, como a global e a PAR. Dentre alguns trabalhos disponíveis: Frisina e Escobedo (1999); Aguiar e Silva *et al.* (2000), Escobedo *et al.* (2007); Dal Pai e Escobedo (2009); Sentelhas *et al.* (1997); Sentelhas *et al.* (1999) e Kittas *et al.* (1999).

Em 2009, Dal Pai e Escobedo (2009) verificaram o comportamento das frações das radiações UV, PAR e IV pela global no interior de um ambiente protegido. Para a fração PAR foi encontrado o valor de 50,6%, enquanto para as frações UV e IV são de 2,6% e 47,1%, respectivamente.

A transmitância de um filme plástico é a relação da radiação global interna pela radiação global externa (G^{IN} / G^{EX}). Também se podem expressar as transmitâncias espectrais: UV^{IN}/UV^{EX} ; PAR^{IN}/PAR^{EX} ; IV^{IN}/IV^{EX} . Seu conhecimento é importante para se avaliar seus benefícios potenciais, pois se tem conhecimento de que pequenas diferenças na transmitância de um material à radiação solar podem ter efeito significativo no crescimento e desenvolvimento das plantas (Kittas *et al.*, 1999). Cockshull *et al.* (1992) constataram que o aumento de 1% da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) proporcionou aumento de aproximadamente 1% nos rendimentos do tomateiro.

A transmitância da cobertura de uma estufa é dependente de vários fatores, como orientação geográfica da estufa (Assis, 1998), condensação de vapor d'água no interior da estufa (Robledo e Martin, 1988; Pollet e Pieters, 1999); ângulo de incidência (Buriol *et al.*, 1995), tipo de material usado na cobertura (Sentelhas *et al.*, 1999), entre outros.

Na maioria dos trabalhos é encontrada uma transmitância da global entre os valores de 70 a 90% (Sentelhas *et al.*, 1997; Souza *et al.*, 2004; Buriol *et al.*, 1995; Beckmann *et al.*, 2006). A transmitância da radiação PAR também já foi pesquisada, tendo sido encontrados valores semelhantes aos valores da global (Pollet e Pieters, 1999; Steidle Neto *et al.*, 2008).

Apesar do rápido crescimento da utilização de ambientes protegidos no Brasil para diversos fins, o conhecimento sobre o comportamento da radiação solar no interior destes microecossistemas ainda é bastante limitado, tornando-se necessários estudos microclimáticos em casas de vegetação para que se tenham mais informações científicas e práticas ao manejo correto destes microecossistemas.

3. Material e Métodos

3.1. Descrição da Estufa.

O experimento foi realizado na Estação de Radiometria Solar de Botucatu-SP, Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrárias de Botucatu – Campus Lageado, da UNESP no período de 01/03/2008 a 28/03/2009.

A figura 1 mostra uma fotografia da estufa utilizada no trabalho, com área de 35m², tipo túnel alto sem ventilação (áreas laterais fechadas com polietileno), com cobertura de polietileno (100µm). Suas dimensões: 24m de comprimento, 7m de largura, 2m de pé direito e 1,7 m de altura da concavidade, e orientação Norte-Sul.

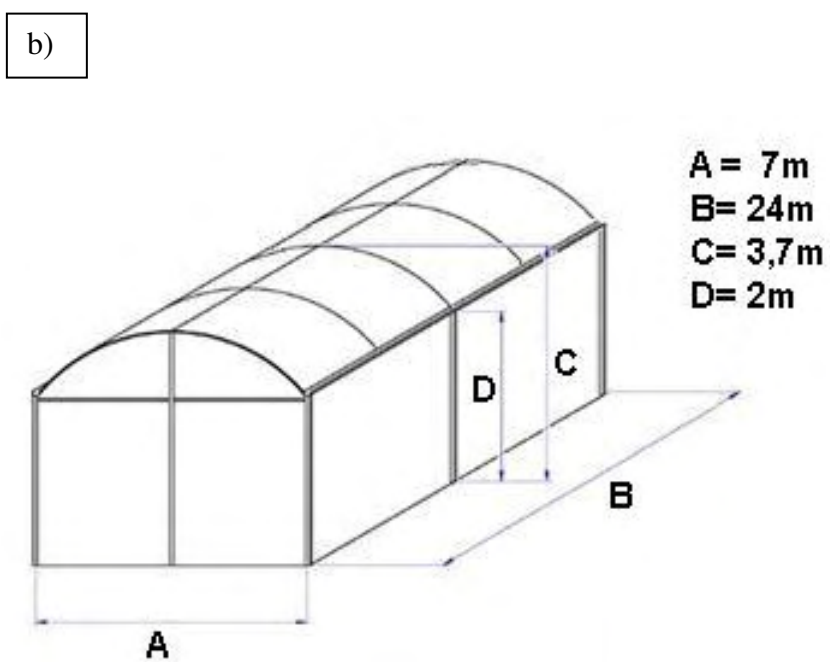


Figura 1: a) Estufa vista de fora; b) Dimensões da estufa.

3.2 Clima

O experimento foi realizado na Fazenda experimental Lageado, Botucatu-FCA/UNESP, juntamente à estação de Radiometria Solar do Departamento de Recursos Ambientais (latitude 22°50'47,4" Sul e longitude 48°25'54,14". O dia mais longo (solstício de verão) tem 13,4 horas em dezembro, e o mais curto (solstício de inverno) tem 10,6 horas em junho.

Na Figura 2 a, b, c e d são mostradas as series climáticas do período de 30 anos da temperatura, umidade relativa, nebulosidade e precipitação, do período de 1970 a 2000 em Botucatu. A evolução anual da temperatura e umidade relativa media mensal segue a variação astronômica da declinação solar. A temperatura é mais elevada quando o Sol declina mais próximo da latitude local, onde os valores da radiação são maiores, e menores valores quando declina no hemisfério norte mais distante da latitude local. Os meses de fevereiro e julho são o mais quente e mais frio do ano, respectivamente, com temperaturas médias de 23,2C⁰ e 17,1C⁰, enquanto que fevereiro e agosto são os meses mais e o menos úmidos, com umidade relativa de 78,2% e 61,80% respectivamente.

A nebulosidade (Figura 2b), calculada pela expressão $f = 1 - n/N$, expressa a fração do número de horas em que o sol fica encoberto por nuvens no dia, onde n/N é a razão de insolação, n é o número de horas de brilho solar e N é o fotoperíodo. A evolução anual da nebulosidade, na grande maioria dos meses, segue as series climáticas da temperatura e umidade relativa. É mais elevada nos meses de janeiro ($f=0,61$) e menor em agosto ($f=0,27$). A exceção ocorre nos meses de maio e junho, nos quais a temperatura e umidade relativa decrescem, e a nebulosidade permanece constante em maio com relação a abril, e aumenta em junho comparado a maio. Essa singularidade existe por conta de entradas das frentes frias vindas do sul e sudeste do país, que arrastam grandes quantidades de massas de ar frio, para a região nordeste no outono, nos meses de abril e maio. Contrastando com a nebulosidade, os meses de maior e menor número de horas de brilho solar ocorrem em agosto e fevereiro com totais de 229h e 175,28h, respectivamente.

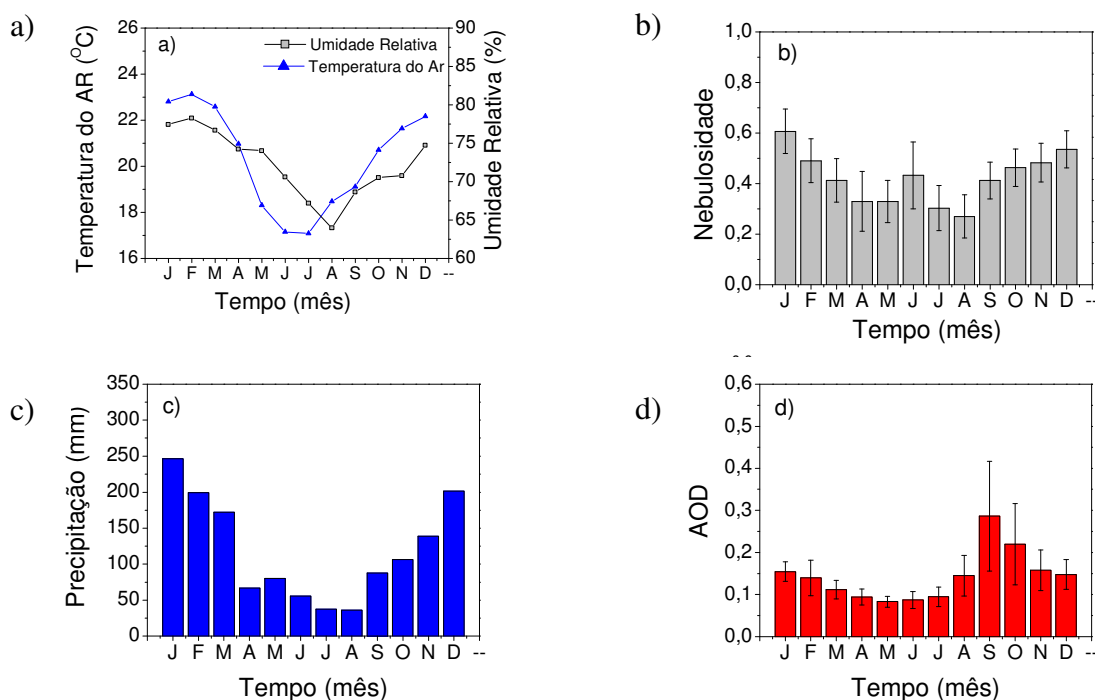


Figura 2: Series Climáticas da temperatura e umidade relativa (a), nebulosidade(b), precipitação (c) do período de 1970 a 2000 em Botucatu; d) serie de 10 anos do período de 1998 a 2007 da concentração de aerossóis em Botucatu.

A evolução anual da precipitação segue a evolução da nebulosidade (Figura 2c). É constituída de dois períodos distintos: chuvoso e seco, onde o limite entre os períodos é o valor da precipitação de 100mm, aproximadamente. No período chuvoso, de outubro a março (estações primavera e verão) a precipitação é predominantemente de natureza convectiva, originada do processo de convecção livre. No período seco, de abril a setembro (estações outono e inverno), a precipitação é predominantemente do tipo frontal, originada do encontro das massas frias e secas vindas da região sul com as massas quentes e úmidas, da região sudeste. A maior altura pluviométrica media mensal ocorre no mês de janeiro com total de 260,7mm e a mínima em agosto com 38,2mm.

A cidade de Botucatu com 130 mil habitantes (IBGE, 2010) não possui grandes indústrias poluidoras, mas esta inserida em uma região rural de cultivo da cultura da cana de açúcar e produção de álcool. Nos meses do período da seca e início do período chuvoso, de julho a novembro, a atmosfera local apresenta elevada concentração de materiais

particulados proveniente das queimadas da cana-de-açúcar e das usinas que produzem o álcool e açúcar localizadas num raio de 100 Km do centro da cidade.

A evolução anual das médias mensais diárias da AOD (profundidade ótica de aerossóis) obtidas pelo satélite AQUA-MIR do período de 1998 a 2007 (Figura 2d), mostra que a partir do início das queimadas da cana de açúcar em julho, a concentração de aerossóis mensal aumenta consideravelmente passando por um valor máximo de $AOD=0,35$ em setembro, o que é equivalente à concentração PM_{10} de $70,0 \mu g.m^{-3}$ (Codato, 2008). Nos meses de outubro a dezembro, com a entrada do período chuvoso, a concentração de aerossóis decresce gradativamente, aos valores da ordem de $AOD=0,16$ ou $20,0 \mu g.m^{-3}$. Nos meses do ano seguinte, de janeiro até junho, a concentração de aerossóis continua a decrescer até atingir, no mês de maio, o menor nível de concentração PM_{10} , antes de iniciar o novo ciclo.

3.3 Instrumentação e medidas.

Na Figura 3 são mostrados os equipamentos de medição das irradiâncias global, UV e IV na estufa de polietileno.

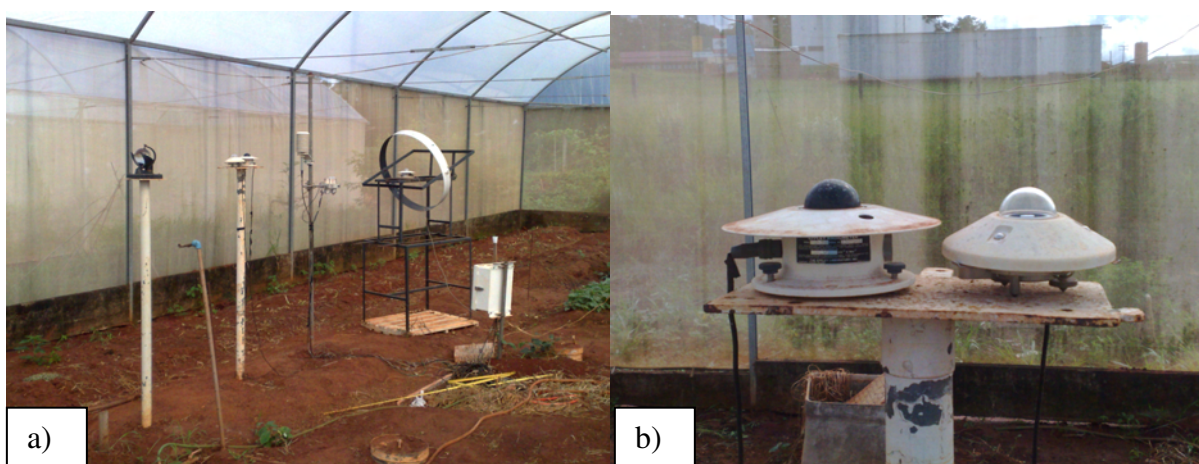


Figura 3: a) Disposição dos equipamentos no interior da estufa; b) Equipamentos para medição das radiações ultravioleta e infravermelha, em detalhe.

Para a medida da irradiância global interna foi utilizado um piranômetro CM3; para UV um radiômetro CUV-3 da Kipp-Zonen e para a irradiância infravermelha um piranômetro Eppley PSP com uma cúpula seletiva de transmissão na faixa espectral de 0,695 a 2.8 μm . A radiação global externa G^{EX} é medida rotineiramente na estação de radiometria solar por um piranômetro Eppley PSP. A irradiância PAR foi obtida do método indireto, que consiste em se obter a irradiância PAR por diferença entre a irradiância global e a soma das irradiâncias UV e IV ($I_{\text{PAR}} = I_{\text{Global}} - (I_{\text{UV}} + I_{\text{IV}})$).

Todos os equipamentos foram instalados na região central da estufa para evitar possíveis interferências espaciais e multireflexões. As características operacionais referentes ao fator de calibração, intervalo espectral, tempo de resposta, linearidade, resposta ao co-seno e à temperatura dos detectores da radiação global interna e externa na estufa (CM3, Eppley PSP), radiômetro ultravioleta (CUV-3 da Kipp & Zonen) e do piranômetro infravermelho da (Eppley) estão apresentados na Tabela 1:

Tabela 1) Principais características operacionais dos sensores:

	Global G^{EX}	Global G^{IN}	Ultravioleta	Infravermelho
Marca	Eppley	Kipp & Zonen	Kipp & Zonen	Eppley
Fator de Calibração	$\pm 8,12 \mu\text{V/Wm}^{-2}$	$\pm 10,06 \mu\text{V/Wm}^{-2}$	$290 \mu\text{V/Wm}^{-2}$	$\pm 8,12 \mu\text{V/Wm}^{-2}$
Range Espectral	305-2800nm	305-2800nm	290-400nm	695-2800nm
Tempo de resposta	2s	18s	5ms	2s
	$\pm 1\%$	$< 2,5\%$		$\pm 1\%$
Linearidade	(de 0 a 700W/m^2)	(de 0 a 1000W/m^2)	$< 1\%$	(de 0 a 700W/m^2)
Co-seno	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$< \pm 10\%$	$\pm 5\%$
Resposta à temperatura	$\pm 1\%$ de -20°C a 40°C	$< \pm 2\text{K}$	$< \pm 0,1/\text{K}$	$\pm 1\%$ de -20°C a 40°C

O número de horas de brilho solar (n) foi medido por um heliógrafo de marca - Campbell Strokes e a razão de insolação (r) calculada pela relação n/N , onde N é o fotoperíodo. A temperatura e a umidade relativa do ar foram medidas através de um sensor HMP45C da marca Campbell Scientific Inc, tendo este sensor como princípio de funcionamento um termistor para medida da temperatura e um higrômetro capacitivo para a medida da umidade relativa.

Na aquisição dos dados foi utilizado um datalogger da marca Campbell CR21X, operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 5 minutos ou 300 segundos.

No processamento dos dados, as irradiâncias do infravermelho foram multiplicadas por um fator de correção igual a 0,92 para o efeito de transmissão da cúpula no elemento sensível, conforme sugestão do fabricante.

As radiações externas a estufas UV, PAR e IV pelo foram estimadas pelo modelo proposto por (Escobedo *et al.*, 2008) Esses modelos consistem de equações lineares como mostram a Tabela 2:

Tabela 2) Coeficiente angular **a** das equações mensais lineares ($Y = aX$) UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} em função de G^{EX} , propostos por (Escobedo *et al.*, 2008):

Meses	UV^{EX} / G^{EX}	R^2	PAR^{EX} / G^{EX}	R^2	IV^{EX} / G^{EX}	R^2
Jan	0,044	0,995	0,497	0,999	0,459	0,999
Fev	0,043	0,993	0,512	0,986	0,444	0,982
Mar	0,042	0,990	0,493	0,993	0,464	0,993
Abr	0,041	0,983	0,489	0,998	0,470	0,998
Mai	0,040	0,992	0,487	0,999	0,473	0,999
Jun	0,038	0,989	0,485	0,998	0,476	0,998
Jul	0,038	0,987	0,483	0,998	0,479	0,998
Ago	0,039	0,980	0,476	0,998	0,485	0,998
Set	0,040	0,969	0,477	0,998	0,483	0,997
Out	0,041	0,990	0,484	0,999	0,475	0,999
Nov	0,043	0,992	0,494	0,999	0,463	0,999
Dez	0,044	0,995	0,498	0,998	0,458	0,998

Os dados de radiação passaram por um controle de qualidade, com eliminação de valores discrepantes e horários antes do nascer e após o por do sol. Os dados de irradiância, em W/m^2 , foram integrados na partição diária, tendo como unidade o MJ/m^2 dia. Sendo assim, todos os valores de radiação representam valores diários de energia incidente sobre a superfície.

4. Resultados e discussão.

4.1 Evolução anual das radiações externas Global, Extraterrestre, K_t , UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX}

4.1.1 Evolução anual das radiações Global, Extraterrestre e índice de claridade K_t .

Na Tabela 3 e a Figura 4a e b é mostrada a evolução anual das radiações extraterrestre (I_0), global G^{EX} e o índice de claridade (transmissividade) K_t médias mensais diárias em Botucatu, no período entre março de 2008 a fevereiro de 2009. O índice de claridade

da atmosfera K_t foi calculado pela relação entre as radiações I_0 e G^{EX} ($K_t = G^{EX} / I_0$), o qual define a transmissividade atmosférica da radiação global, durante o período experimental.

Por meio da Figura 4a, bem como pelos valores apresentados na Tabela 3, fica evidente que as radiações I_0 e G^{EX} apresentam variações sazonais ao longo do ano: os valores médios mensais das radiações são mais elevados no período chuvoso, verão e primavera, e menos elevados, no outono e inverno, no período da seca.

A sazonalidade é devido à variação astronômica do sol (declinação do sol), latitude (local), e principalmente, devido às variações climáticas das nuvens e vapor d'água, características de cada mês, ou estação do ano. No verão e primavera, a energia da radiação é mais elevada, porque o sol declina no hemisfério sul mais próximo da latitude local ($-23,51^\circ$) que quando declina no hemisfério norte, durante o outono e inverno.

Tabela 3) Valores das radiações global externa G^{EX} e topo da atmosfera I_0 , em MJ/m^2 e índice de claridade K_t , entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.

Meses	I_0 (MJ/m^2)	G^{EX} (MJ/m^2)	K_t
Janeiro	42,32	$16,77 \pm 7,29$	0,40
Fevereiro	40,25	$18,31 \pm 6,25$	0,45
Março	35,08	$19,99 \pm 4,04$	0,57
Abril	29,97	$14,11 \pm 4,83$	0,47
Maio	25,10	$13,55 \pm 3,64$	0,54
Junho	22,73	$12,15 \pm 3,09$	0,53
Julho	22,74	$14,28 \pm 4,13$	0,63
Agosto	27,51	$14,85 \pm 4,53$	0,54
Setembro	33,15	$18,02 \pm 5,38$	0,54
Outubro	38,18	$18,68 \pm 5,11$	0,49
Novembro	41,40	$21,78 \pm 5,63$	0,53
Dezembro	42,72	$22,55 \pm 4,20$	0,53
Média anual	34,18	$17,21 \pm 5,96$	0,50

As variações climáticas influenciam nos valores de G^{EX} por meio das variações do vapor d'água, nuvens e aerossóis na atmosfera, característicos de cada mês do ano. Os parâmetros meteorológicos responsáveis, na atenuação da radiação global, por absorção e espalhamento na atmosfera, mais acentuadamente foram vapor de água e nuvens, os quais são mais elevados no período úmido no verão e primavera. Os aerossóis atenuam a radiação global

no período da seca, nas estações do inverno e outono, com menos intensidade que as nuvens e vapor de água, no verão e primavera.

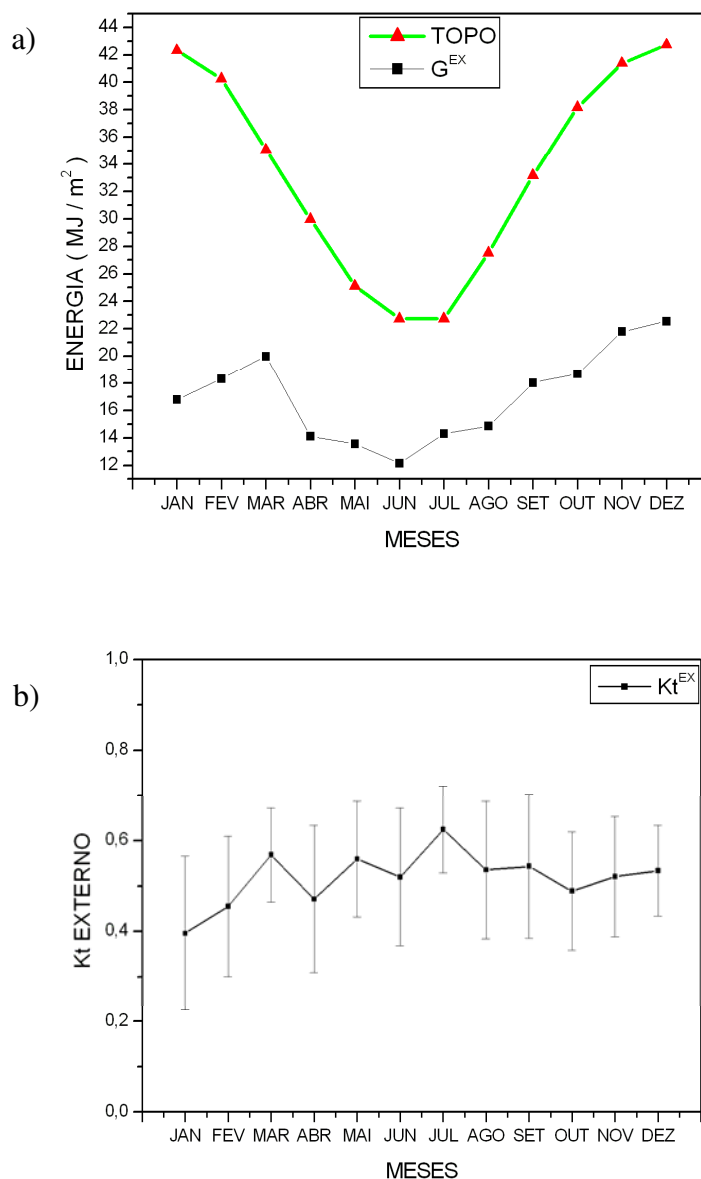


Figura 4: a) Evolução média mensal das radiações no topo da atmosfera I_0 e global externa G^{EX} , entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.; b) Evolução média mensal do índice de claridade K_t no mesmo período.

A radiação global média mensal variou de $12,15 \text{ MJ/m}^2$ em junho a $22,55 \text{ MJ/m}^2$ em dezembro, com um valor médio de $17,21 \text{ MJ/m}^2$. O resultado da evolução mensal da radiação global expressa a dependência astronômica e geográfica e principalmente, das variações climáticas típicas de cada mês do ano. A evolução anual da radiação global G^{EX} acompanhou sazonalmente as variações da radiação do topo I_0 da atmosfera de março a dezembro. A exceção ocorreu nos meses de janeiro a fevereiro, onde o efeito da nebulosidade e precipitação, ou nuvens e vapor de água, foram muito intensos e reduziram desproporcionalmente, a radiação global G^{EX} na superfície terrestre, nos dois meses (Tabela 4).

A radiação global obtida quando comparada com o valor da serie de 10 anos da radiação global (Inácio, 2009), foi próxima do valor esperado, porem em alguns meses houve uma diminuição nos valores médios, devido a eventos climáticos atípicos, como a forte precipitação em janeiro e Fevereiro de 2009, e a entrada de frentes frias que aumentaram a nebulosidade, em abril de 2008. Nos meses de janeiro e fevereiro de 2009 os valores obtidos de $16,8 \text{ MJ/m}^2$ e $18,3 \text{ MJ/m}^2$ foram abaixo do normal, quando comparados com os valores da serie de 10 anos da radiação global que é de $19,0 \text{ MJ/m}^2$ e $19,6 \text{ MJ/m}^2$, respectivamente. Houve uma redução dos níveis de energia da radiação global de 11,6% no mês de janeiro, e 6,6% em fevereiro, em relação a media climática de 10 anos. Os baixos valores do índice de claridade K_t , 39,3% e 45,5%, nestes dois meses foram os menores do ano, e muito abaixo do valor esperado 45,0% e 49,0%, respectivamente. Em abril, que é caracteristicamente um mês com céu aberto com valor de $17,7 \pm 1,50 \text{ MJ/m}^2$ para a radiação global media mensal e transmissão atmosférica de $K_t = 59,0\%$, o valor de energia obtido igual a $14,11 \pm 4,83 \text{ MJ/m}^2$ e transmissão atmosférica de $K_t = 47,0\%$, foi também abaixo do esperado.

Tabela 4) Precipitação acumulada mensal e nebulosidade entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.

Meses	Precipitação acumulada	Nebulosidade
Jan	331,6	0,671
Fev	141,6	0,577
Mar	60,9	0,412
Abr	102,8	0,435
Mai	115,7	0,365
Jun	30,8	0,404
Jul	0,0	0,153
Ago	104,1	0,354
Set	29,9	0,318
Out	153,8	0,526
Nov	69,3	0,427
Dez	137,0	0,431

Na Figura 4b é mostrada a evolução anual do índice de claridade Kt para cada mês. O valor médio mensal de Kt apresenta variações sazonais decorrentes da sazonalidade da medida da radiação global na superfície terrestre. No geral, os valores de Kt são menores nos meses do verão e primavera, em função da forte absorção e espalhamento da radiação global por nuvens e vapor de água na atmosfera, e mais elevados nos meses outono e inverno, período seco e sem nuvens. O menor Kt ocorreu em janeiro com 39,6% e o maior Kt em julho com 62,7%. O valor médio de Kt anual foi de 50,0%. Esse valor permitiu classificar a cobertura de céu durante o período experimental, como sendo de parcialmente nublado com dominância para céu difuso.

4.1.2 Estimativa das radiações UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} externa a partir de G^{EX} .

As radiações médias mensais UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} no meio exterior da estufa foram estimadas a partir da radiação global G^{EX} , pelas equações de estimativas das radiações UV, PAR e IV a partir da radiação global G, para Botucatu proposta por Escobedo *et al.* (2008). As equações de estimativas, tipo linear $Y = aX$, são mostradas na Tabela 2 com seus

respectivos coeficientes de determinação R^2 , onde a é o coeficiente angular, e representa a fração média das radiações UV, PAR e IV da radiação global G^{EX} .

Na Tabela 5 e a Figura 5 é mostrada a evolução mensal das irradiações UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} médias mensais estimadas em MJ/m^2 . Os elevados coeficientes de determinação da Tabela 2 mostram que os valores de UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} foram estimadas com ótima correlação a partir da radiação global G^{EX} .

Similarmente à evolução da radiação global G^{EX} , a evolução anual das radiações UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} apresenta variações sazonais ao longo do ano: os valores médios mensais normalmente são mais elevados no verão e primavera, e menos elevados no outono e inverno.

Tabela 5) Valores estimados das radiações UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} a partir de G^{EX} , entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu, propostos por (Escobedo *et al.*, 2008)

Meses	$G^{EX} (MJ/m^2)$	$UV^{EX} (MJ/m^2)$	$PAR^{EX} (MJ/m^2)$	$IV^{EX} (MJ/m^2)$
Jan	$16,77 \pm 7,29$	$0,70 \pm 0,31$	$8,20 \pm 3,57$	$7,87 \pm 3,42$
Fev	$18,31 \pm 6,25$	$0,77 \pm 0,26$	$8,96 \pm 3,06$	$8,59 \pm 2,93$
Mar	$19,99 \pm 4,04$	$0,84 \pm 0,17$	$9,78 \pm 1,97$	$9,38 \pm 1,89$
Abr	$14,11 \pm 4,83$	$0,59 \pm 0,2$	$6,9 \pm 2,37$	$6,62 \pm 2,27$
Mai	$13,55 \pm 3,64$	$0,57 \pm 0,15$	$6,63 \pm 1,78$	$6,36 \pm 1,71$
Jun	$12,15 \pm 3,09$	$0,51 \pm 0,13$	$5,94 \pm 1,51$	$5,7 \pm 1,45$
Jul	$14,28 \pm 4,13$	$0,60 \pm 0,17$	$6,98 \pm 2,02$	$6,7 \pm 1,94$
Ago	$14,85 \pm 4,53$	$0,62 \pm 0,19$	$7,26 \pm 2,22$	$6,97 \pm 2,13$
Set	$18,02 \pm 5,38$	$0,76 \pm 0,23$	$8,81 \pm 2,64$	$8,45 \pm 2,53$
Out	$18,68 \pm 5,11$	$0,78 \pm 0,21$	$9,14 \pm 2,5$	$8,77 \pm 2,4$
Nov	$21,78 \pm 5,63$	$0,91 \pm 0,24$	$10,56 \pm ,75$	$10,13 \pm ,64$
Dez	$22,55 \pm 4,20$	$0,96 \pm 0,18$	$11,14 \pm ,07$	$10,69 \pm ,99$
Média	$17,21 \pm 5,96$	$0,72 \pm 0,25$	$8,42 \pm 2,91$	$8,07 \pm 2,80$

Como já mencionado, a sazonalidade observada nos valores das radiações UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} mais elevados no verão que no inverno, é devido à declinação solar, latitude e as variações climáticas características de cada mês ou estação do ano.

As radiações médias mensais UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} acompanharam a tendência da evolução anual da G^{EX} . Do ponto de vista climático, os parâmetros meteorológicos responsáveis pela atenuação por absorção e espalhamento da radiação global e, portanto, das

radiações médias mensais UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} , foram as nuvens e vapor de água na atmosfera, que são maiores no verão que no inverno.

É evidente que do ponto de vista espectral, a maior parte da energia de G^{EX} tem origem das energias das radiações PAR^{EX} e IV^{EX} , seguida da radiação UV^{EX} . O fato da escala estar adequada aos níveis das radiações G^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} , as quais são muito maiores que a radiação UV, visualmente, a evolução UV^{EX} , aparenta ser constante. No entanto, quando o fundo de escala é adaptado para a baixa energia, a evolução UV^{EX} variacionalmente similar às evoluções das PAR^{EX} e IV^{EX} . No Brasil, poucos autores têm se dedicado ao estudo climatológico da radiação ultravioleta (Assunção e Barbieri, 1997; Assunção *et al.*, 2000).

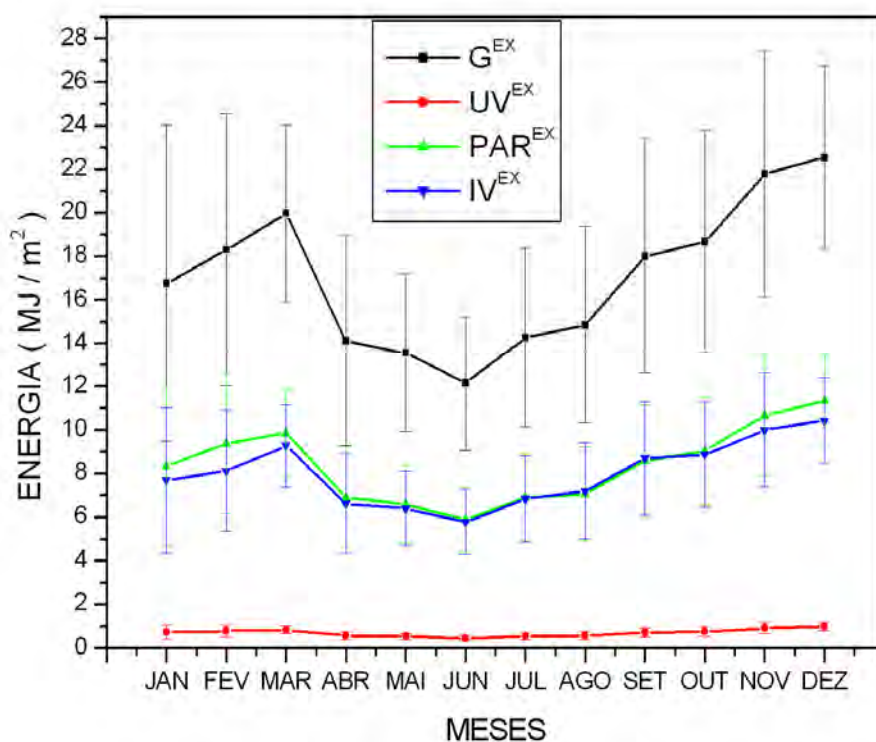


Figura 5: A evolução das radiações G^{EX} , UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} médias mensais estimadas entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.

A comparação entre as evoluções das radiações PAR^{EX} e IV^{EX} mostra que, os valores da radiação PAR^{EX} foram superiores aos valores IV^{EX} nos meses do período úmido, meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro. Isso acontece devido a absorção do IV pelo vapor de água. No período seco, de céu aberto e com aerossóis,

nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, a radiação PAR^{EX} é mais absorvida que a IV^{EX} , e nestas condições a radiação IV^{EX} , que não é absorvida pelos aerossóis, igualou-se a PAR^{EX} .

Esses resultados variacionais são consistentes e estão de acordo com resultados de vários pesquisadores que tem mostrado que as radiações UV^{EX} e PAR^{EX} são muito menos absorvida no período úmido, por nuvens e vapor de água, que IV^{EX} na atmosfera, enquanto que, na atmosfera seca, sem nuvens e com aerossóis, radiações UV^{EX} e PAR^{EX} são muito mais absorvida, que a radiação IV^{EX} (Alvalá e Silva, 2000; Galvain e Dechandt, 2003; Escobedo *et al.*, 2008).

4.2 Evolução das Radiações UV, PAR e IV e suas frações relativas a Global G^{IN} na Estufa.

4.2.1 Evolução anual das radiações G, UV, PAR, IV dentro da estufa de polietileno.

Na Tabela 6 e a Figura 6 é mostrada a evolução das radiações G^{IN} , UV^{IN} , PAR^{IN} e IV^{IN} médias mensais diárias dentro da estufa. A evolução das radiações dentro é similar a fora da estufa, exceto os valores das radiações G^{IN} , UV^{IN} , PAR^{IN} e IV^{IN} os quais são inferiores aos do meio exterior.

Tabela 6) Valor da radiação G^{IN} , UV^{IN} , PAR^{IN} e IV^{IN} , em energia (MJ/m^2) entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu..

Meses	$G^{IN} (MJ/m^2)$	$UV^{IN} (MJ/m^2)$	$PAR^{IN} (MJ/m^2)$	$IV^{IN} (MJ/m^2)$
Jan	$12,85 \pm 5,64$	$0,36 \pm 0,12$	$6,74 \pm 2,93$	$5,74 \pm 2,58$
Fev	$14,20 \pm 4,95$	$0,38 \pm 0,11$	$7,41 \pm 2,57$	$6,37 \pm 2,27$
Mar	$15,42 \pm 3,00$	$0,42 \pm 0,07$	$8,01 \pm 1,40$	$7,39 \pm 1,56$
Abr	$10,99 \pm 3,85$	$0,30 \pm 0,08$	$5,59 \pm 1,87$	$5,27 \pm 1,90$
Mai	$10,11 \pm 1,91$	$0,24 \pm 0,05$	$4,80 \pm 1,16$	$5,06 \pm 1,43$
Jun	$9,00 \pm 2,14$	$0,22 \pm 0,04$	$4,24 \pm 0,88$	$4,54 \pm 1,23$
Jul	$10,18 \pm 2,78$	$0,20 \pm 0,10$	$3,92 \pm 2,09$	$5,42 \pm 1,55$
Ago	$10,90 \pm 3,34$	$0,25 \pm 0,06$	$5,22 \pm 1,54$	$5,41 \pm 1,74$
Set	$13,83 \pm 4,29$	$0,33 \pm 0,09$	$7,06 \pm 2,18$	$6,59 \pm 2,10$
Out	$14,33 \pm 3,99$	$0,36 \pm 0,08$	$7,30 \pm 1,99$	$6,66 \pm 1,91$
Nov	$16,45 \pm 4,32$	$0,42 \pm 0,09$	$8,56 \pm 2,26$	$7,45 \pm 1,96$
Dez	$17,14 \pm 3,15$	$0,44 \pm 0,07$	$8,91 \pm 1,64$	$7,78 \pm 1,44$
Média	$13,09 \pm 4,63$	$0,34 \pm 0,11$	$6,68 \pm 2,47$	$6,15 \pm 2,11$

É evidente que a redução das radiações G^{IN} , UV^{IN} , PAR^{IN} e IV^{IN} deve-se a atenuação dessas radiações por absorção e reflexão na cobertura do polietileno. As variações sazonais, das radiações ao longo do ano, foram praticamente iguais do meio exterior a estufa, mostradas na Figura 6, as quais foram mais elevadas no verão e primavera, e menos elevados no outono e inverno. Similarmente as radiações do meio exterior, as causas podem ser atribuídas não somente a variação da declinação solar e da latitude local, e principalmente, o vapor de água e aerossóis, dentro da estufa.

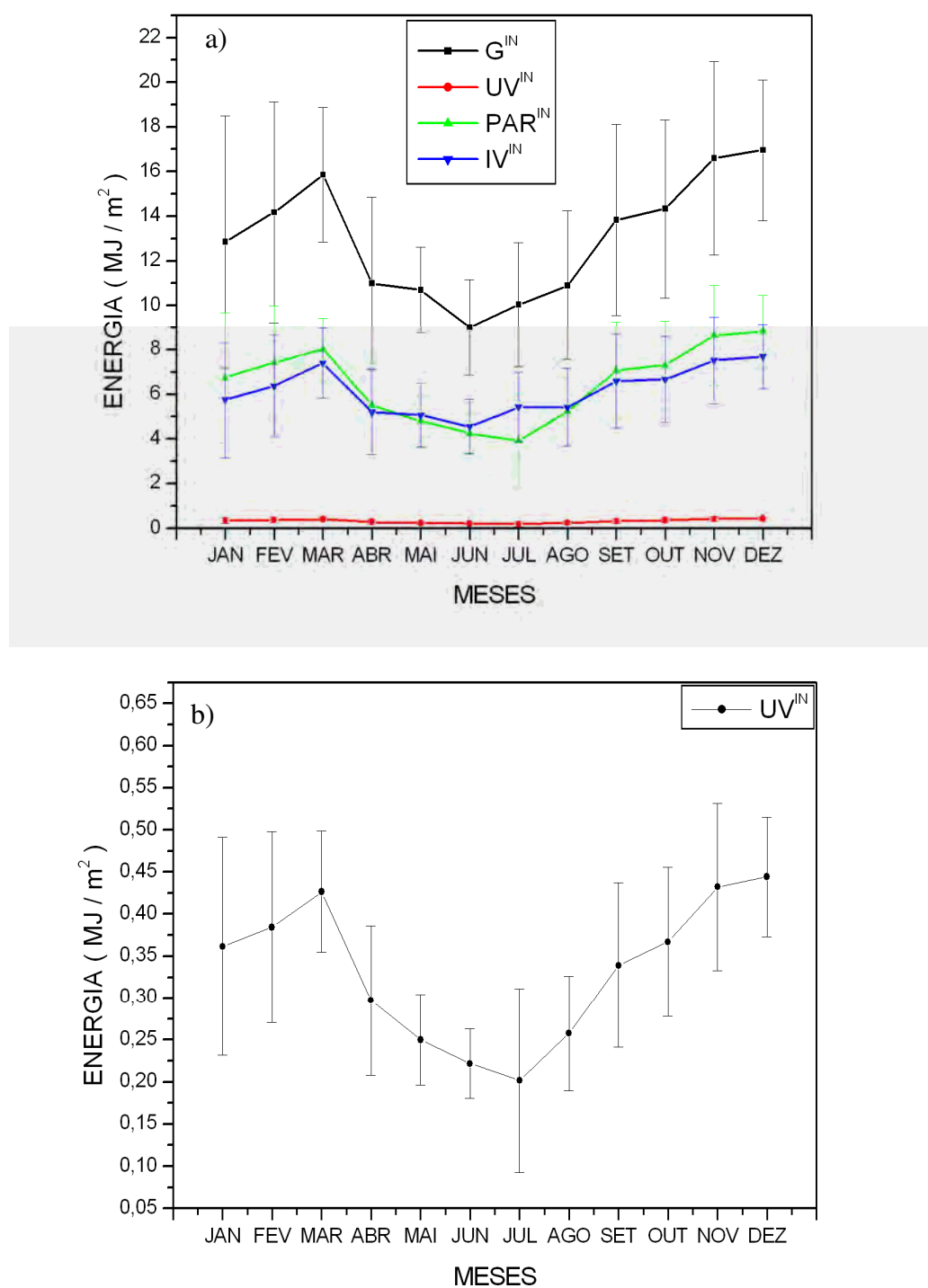


Figura 6: a) Evolução anual das radiações Global, UV, PAR e UV dentro da estufa entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu; b) Evolução anual das radiações UV dentro da estufa em outra escala no mesmo período.

No mês de julho, a umidade foi bem abaixo em relação aos demais meses e esse componente meteorológico foi responsável pela alternância entre as radiações PAR e IV como mostra a evolução anual da umidade média mensal (Figura 7).

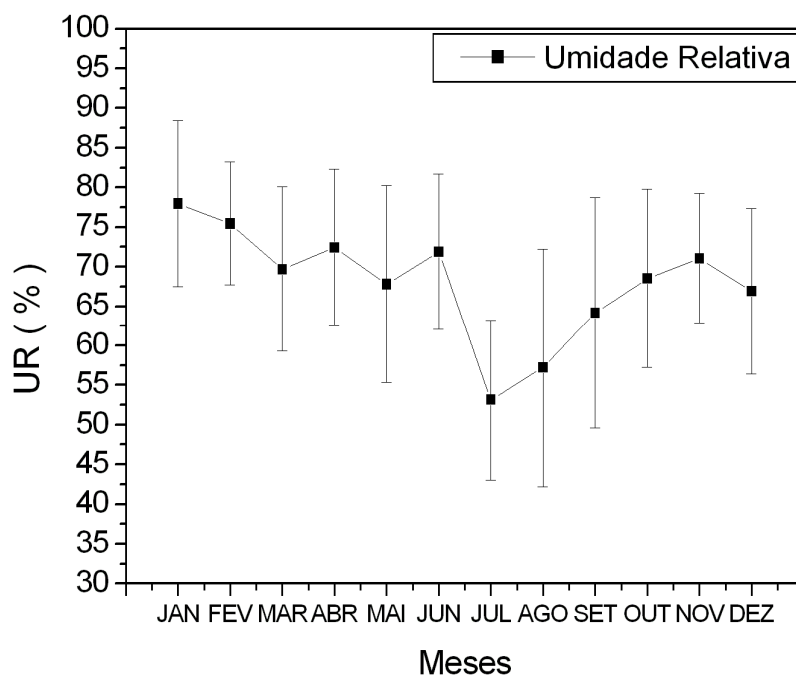


Figura 7: Umidade relativa período experimental entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.

No período úmido, a PAR é pouco e a IV é muito absorvida pelo vapor de água, e nestas condições ambientais, a PAR é superior a IV, como pode ser observado nos meses de setembro a abril. No período seco, baixa umidade e com aerossóis, a PAR é mais absorvida e espalhada que a IV, e nestas condições, a IV é igual ou superior a PAR, como pode ser observado nos meses de maio a agosto.

O efeito da ausência do vapor de água e presença de aerossóis, dentro da estufa no mês de julho, pode ser observada na evolução anual da radiação UV da Figura 6b cujo valor foi o menor do ano. O vapor de água não oferece nenhuma resistência na transmissão da

radiação UV, no entanto, os aerossóis são os principais componentes atenuadores da UV por absorção e espalhamento.

4.2.2 Transmissividade média mensal das radiações $G(\tau_G)$, $UV(\tau_{UV})$, $PAR(\tau_{PAR})$ e $IV(\tau_{IV})$ na estufa de polietileno.

Na Tabela 7 e as Figuras 8 e 9 é mostrada a transmissividade do plástico para as radiações G, UV, PAR e IV média mensal. A transmissividade para a radiação global foi calculada por meio da relação entre as radiações global interna(G^{IN}) e a global externa(G^{EX}) diárias, ou ainda $\tau_G = G^{IN} / G^{EX}$. Similarmente, a transmissividade para as radiações UV, PAR e IV foram calculadas como $\tau_{UV} = UV^{IN} / UV^{EX}$, $\tau_{PAR} = PAR^{IN} / PAR^{EX}$ e $\tau_{IV} = IV^{IN} / IV^{EX}$.

Tabela 7) Transmissividade média mensal da cobertura de polietileno para as radiações G, UV, PAR e IV entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.

Meses	G^{IN} / G^{EX}	UV^{IN} / UV^{EX}	PAR^{IN} / PAR^{EX}	IV^{IN} / IV^{EX}
Jan	$0,765 \pm 0,02$	$0,532 \pm 0,05$	$0,823 \pm 0,02$	$0,724 \pm 0,03$
Fev	$0,771 \pm 0,01$	$0,512 \pm 0,04$	$0,828 \pm 0,01$	$0,735 \pm 0,02$
Mar	$0,794 \pm 0,03$	$0,511 \pm 0,03$	$0,825 \pm 0,05$	$0,787 \pm 0,02$
Abr	$0,778 \pm 0,02$	$0,509 \pm 0,04$	$0,801 \pm 0,04$	$0,778 \pm 0,03$
Mai	$0,750 \pm 0,02$	$0,452 \pm 0,05$	$0,734 \pm 0,05$	$0,793 \pm 0,02$
Jun	$0,747 \pm 0,03$	$0,453 \pm 0,06$	$0,732 \pm 0,06$	$0,790 \pm 0,03$
Jul	$0,712 \pm 0,05$	$0,387 \pm 0,03$	$0,651 \pm 0,06$	$0,817 \pm 0,06$
Ago	$0,734 \pm 0,02$	$0,422 \pm 0,04$	$0,725 \pm 0,04$	$0,771 \pm 0,03$
Set	$0,766 \pm 0,01$	$0,445 \pm 0,03$	$0,788 \pm 0,02$	$0,774 \pm 0,03$
Out	$0,768 \pm 0,01$	$0,473 \pm 0,03$	$0,800 \pm 0,02$	$0,761 \pm 0,02$
Nov	$0,760 \pm 0,02$	$0,479 \pm 0,02$	$0,810 \pm 0,02$	$0,733 \pm 0,02$
Dez	$0,753 \pm 0,01$	$0,471 \pm 0,02$	$0,800 \pm 0,01$	$0,728 \pm 0,01$
Média	$0,758 \pm 0,02$	$0,470 \pm 0,04$	$0,776 \pm 0,05$	$0,767 \pm 0,03$

A evolução anual da transmissividade do polietileno à radiação global média mensal também apresentou variações sazonais, com valores entre 79,4% em março a

71,2% em Julho, com valor médio total de 75,6%. Normalmente, a redução da radiação global neste tipo de polietileno (100um) é da ordem entre 20,0% a 30,0% dependendo do tempo de uso, qualidade e até da sujeira acumulada no polietileno. Esse resultado foi considerado normal quando comparado com os obtidos por outros pesquisadores: (Sentelhas *et al.*, 1997); (Souza *et al.*, 2004); (Buriol *et al.*, 1995) (Beckmann *et al.*, 2006) (Pollet e Pieters, 1999) (Steidle Neto *et al.*, 2008), que encontraram transmitâncias ao redor de 70 a 90 %.

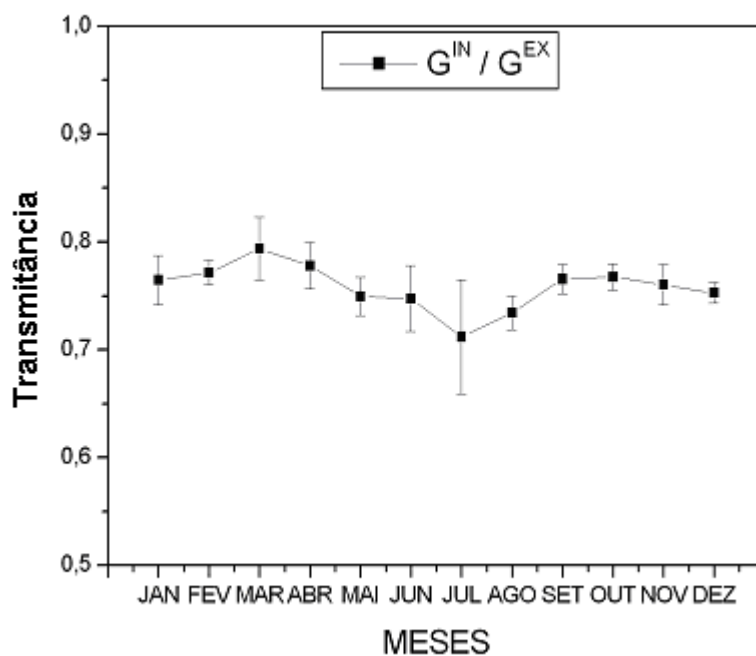


Figura 8: Transmissividade da estufa à radiação global média mensal entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.

No geral, para a radiação global, os valores da transmissividade foram mais elevados nos meses do verão e primavera, comparados aos valores mensais do outono e inverno. A diferença na transmissividade sazonal é provavelmente devido à variação do ângulo de incidência da radiação na cobertura de polietileno, em função da declinação solar. Quando a declinação solar é negativa (sol declinando no hemisfério sul) nas estações de verão e primavera, têm-se os menores ângulos de incidências (menores reflexões) e maiores transmissões no polietileno, caso dos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro. E quando a declinação é positiva (sol declinando no hemisfério norte) nas estações inverno e

outono, têm-se os maiores ângulos de incidências (maiores reflexões) e menores transmissões no polietileno, casos dos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro.

Na Figura 9 é mostrado que a evolução anual da transmissividade das radiações UV(τ_{UV}) e PAR(τ_{PAR}) acompanharam sazonalmente a evolução anual da transmissividade da radiação G(τ_G), enquanto que, a evolução anual da transmissividade da radiação IV (τ_{IV}) é inversa as das radiações G, UV e PAR.

Os valores de τ_{UV} e τ_{PAR} são mais elevados no período úmido e menos elevados no período seco, enquanto que, os valores de τ_{IV} são menos elevados no período úmido e mais elevados no período seco. A transmissividade à UV variou de 53,2% em janeiro a 38,7% em julho, com média total de 47,0%; a transmissividade da radiação PAR variou de 82,8% em fevereiro a 65,1% em julho, com média total de 77,6% e a transmissividade à radiação IV τ_{IV} variou de 72,4% em janeiro a 81,7% em julho, com média total de 76,7%

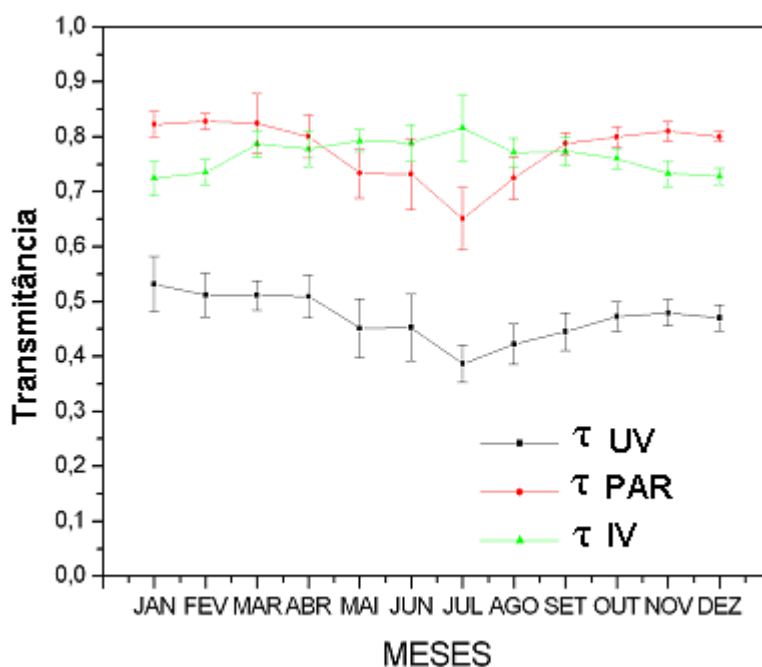


Figura 9: Transmissividade da estufa às radiações UV, PAR e IV média mensal entre março de 2008 a fevereiro de 2009 em Botucatu.

A sazonalidade mostrada na Figura 9 nas três evoluções com τ_{IV} contraria a τ_{UV} e τ_{PAR} , indica que, além do ângulo de incidência, a constituição do polietileno e

o vapor d'água do meio interno , estão afetando diferentemente a transmissão das radiações UV, PAR da IV , na cobertura de polietileno.

Os resultados mostram por similaridade como outros resultados obtidos por (Escobedo *et al.*, 2008) que a cobertura de polietileno e o vapor d'água se comportam como uma atmosfera contendo vapor de água e aerossóis: nos meses úmidos do período chuvoso, o vapor de água absorve muito mais a radiação IV que as radiações UV e a PAR, razão pela qual neste período, a IV apresenta menor valor, enquanto que, a UV e PAR, valores mais elevados. Nos meses de baixa umidade e alta concentração de aerossóis, período da seca, a baixa concentração do vapor de água e elevada de aerossóis, absorve muito pouco a radiação IV, e absorve e espalha muito as radiações UV e a PAR, razão pela qual neste período, a IV apresenta valor mais elevado, enquanto que, a UV e PAR menos elevados .

4.2.3 Evolução anual das Frações média mensal K_{UV} , K_{PAR} e K_{IV} na estufa de polietileno.

Na Tabela 8 e a Figura 10 é mostrada a evolução temporal das frações ultravioleta, fotossintética ativa e infravermelha da radiação global calculadas por: $K_{uv}^{IN} = UV^{IN}/G^{IN}$, $K_{par}^{IN} = PAR^{IN}/G^{IN}$ e $K_{iv}^{IN} = IV^{IN}/G^{IN}$ médias mensais , respectivamente, dentro da estufa.

A normalização das irradiações UV^{IN} , PAR^{IN} e IV^{IN} pela irradiação G^{IN} , eliminou a dependência da declinação solar e latitude, respectivamente, do dia e local. Portanto, as variações sazonais nos valores das frações observadas na Figura 10 são resultantes das variações climáticas como nuvens, vapor d'água e aerossóis na atmosfera, bem como das variações do vapor d'água, aerossóis, dentro da estufa.

Tabela 8) Valores das frações K_{UV}^{IN} , K_{PAR}^{IN} e K_{IV}^{IN} na estufa de polietileno entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu.

Meses	K_{UV}^{IN}	K_{PAR}^{IN}	K_{IV}^{IN}
Jan	$0,029 \pm 0,003$	$0,527 \pm 0,008$	$0,444 \pm 0,010$
Fev	$0,028 \pm 0,002$	$0,524 \pm 0,010$	$0,448 \pm 0,011$
Mar	$0,027 \pm 0,001$	$0,508 \pm 0,018$	$0,465 \pm 0,017$
Abr	$0,028 \pm 0,002$	$0,504 \pm 0,017$	$0,469 \pm 0,019$
Mai	$0,025 \pm 0,002$	$0,479 \pm 0,019$	$0,496 \pm 0,022$
Jun	$0,025 \pm 0,003$	$0,476 \pm 0,023$	$0,499 \pm 0,025$
Jul	$0,023 \pm 0,001$	$0,446 \pm 0,009$	$0,538 \pm 0,019$
Ago	$0,024 \pm 0,002$	$0,483 \pm 0,019$	$0,493 \pm 0,019$
Set	$0,024 \pm 0,002$	$0,501 \pm 0,011$	$0,474 \pm 0,012$
Out	$0,026 \pm 0,002$	$0,510 \pm 0,009$	$0,464 \pm 0,010$
Nov	$0,026 \pm 0,001$	$0,521 \pm 0,005$	$0,453 \pm 0,005$
Dez	$0,026 \pm 0,001$	$0,520 \pm 0,005$	$0,454 \pm 0,005$
Média	$0,026 \pm 0,002$	$0,506 \pm 0,023$	$0,471 \pm 0,029$

Os valores médios mensais das frações K_{UV}^{IN} , K_{PAR}^{IN} e K_{IV}^{IN} , variaram em cada mês em função da nebulosidade ou da frequência do numero de dias com $Kt < 0,55$ (cobertura de céu nublado e parcialmente nublado com dominância para céu difuso), e da umidade relativa (Figura 7). Quanto maior o numero de dias com $Kt < 0,55$ e maiores valores de umidade relativa, maiores foram os valores médios K_{UV}^{IN} e K_{PAR}^{IN} , e menores foram os valores médios da fração e K_{IV}^{IN} :

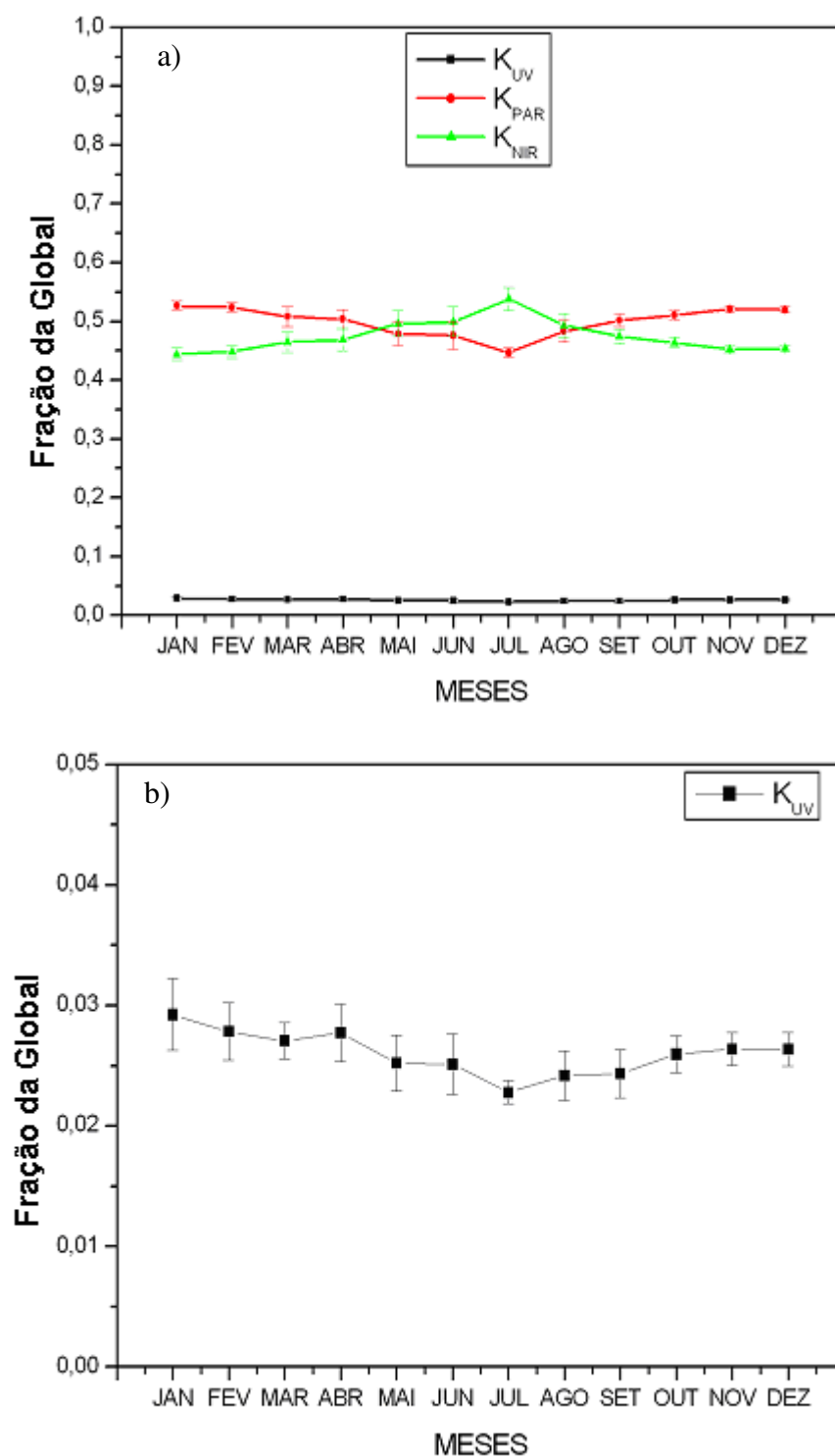


Figura 10: a) Evolução anual das Frações K_{UV}^{IN} , K_{PAR}^{IN} e K_{IV}^{IN} dentro da estufa entre março de 2008 a fevereiro de 2009 em Botucatu; b) Evolução anual da fração K_{uv}^{IN} dentro da estufa em outra escala no mesmo período.

O valor de $K_{UV}^{IN} = 2,2\%$ foi mais elevado em janeiro, mês mais nebuloso e úmido, com maiores percentuais de dias (68,5%) com $K_t < 0,55$ e umidade relativa diária de 81,2. %. O valor de $K_{UV}^{IN} = 2,3\%$ foi menor nos meses mais claros e secos, como julho e agosto, com percentuais de dias (21,5%) com $K_t < 0,55$ e umidade relativa de 72,7 % e 70,3%, respectivamente. O valor de $K_{PAR}^{IN} = 52,7\%$ foi mais elevado no mês de janeiro, para 51,8% de dias com $K_t < 0,55$ e umidade relativa de 84,0%, e $K_{PAR}^{IN} = 44,6\%$ menos elevado no mês mais seco em julho para 21,5% de dias com $K_t < 0,55$ e umidade relativa de 72,7%. O valor médio $K_{IV}^{IN} = 44,0\%$ foi menos elevado nos meses mais nebuloso e úmido, janeiro, com maiores percentuais de dias (68,5%) com $K_t < 0,55$ e umidade relativa diária de 81,2% respectivamente. O valor de $K_{IV}^{IN} = 53,8\%$ mais elevado no mês mais seco em julho 21,5% de dias com $K_t < 0,55$ e umidade relativa de 70,3%.

Comparando os valores dos coeficientes angulares médios mensais com valor anual mostrado na Tabela 8 nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, o valor de UV^{IN} anual subestima os mensais em até - 11,5%. Nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, o anual superestima aos mensais em até 11,5%. Nos meses de outubro, novembro e dezembro, o valor para UV^{IN} anual é igual aos mensais.

O valor PAR^{IN} anual subestima os mensais em janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro em até -4,1%. Nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, o valor PAR^{IN} anual superestima as mensais em até 5,7%.

O valor IV^{IN} anual superestima os valores mensais de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro em até 5,7%. Nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, o valor anual IV^{IN} subestima as equações IV^{IN} mensais em até -14,2%.

4.3. Equações de estimativa das radiações UV, PAR, IV em função da radiação global.

4.3.1 Equações de estimativa das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da global interna H_G^{IN} .

Na Figura (11 a, b e c) é mostrado que as relações das irradiações diárias ultravioleta interna UV (H_{UV}^{IN}), fotossinteticamente ativa interna PAR (H_{PAR}^{IN}) e infravermelha IV interna (H_{IV}^{IN}) em função da irradiação global interna G (H_G^{IN}) são lineares. As equações de estimativas para o agrupamento dos dados anual (modelo 1) e agrupamento sazonal ou estações do ano (modelo 2) são apresentadas na Tabela 9, juntamente com os respectivos coeficientes de determinação R^2 .

Os coeficientes de determinação para as três relações da H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função de H_G^{IN} superiores a 0,9774 mostram que as irradiações estão muito bem correlacionadas com a irradiação global dentro da estufa. O ajuste foi melhor na sequência para as radiações: PAR, IV e UV.

O resultado das correlações é similar ao ajuste obtido por (Escobedo *et al.*, 2008) para as mesmas relações dessas radiações fora da estufa de polietileno. Os valores dos coeficientes de determinação nas relações expressam a dependência que as radiações UV, PAR e IV possuem das condições da cobertura de céu, mais especificamente da presença de nuvens, vapor de água e aerossóis na atmosfera.

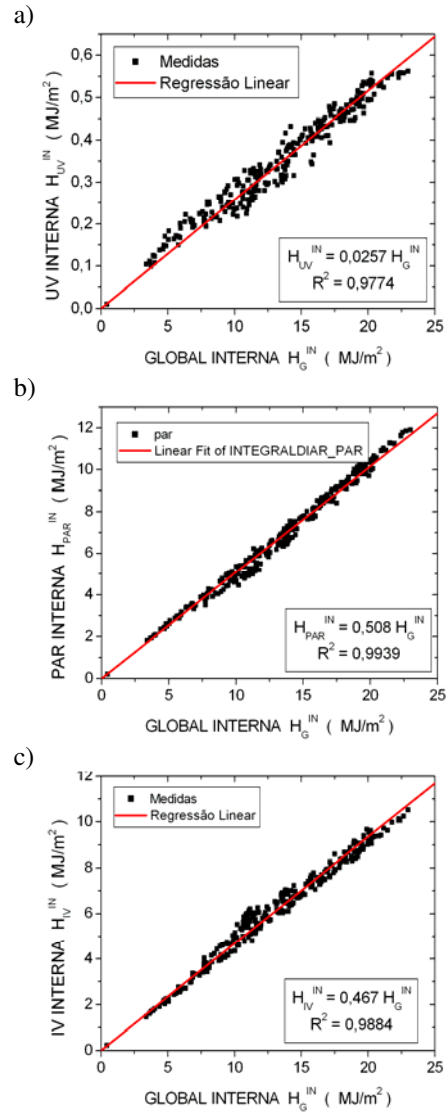


Figura 11: a, b e c) Relações entre as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função de H_G^{IN} .

Segundo (Escobedo *et al.*, 2008) o efeito das nuvens, vapor d'água e aerossóis, é muito mais intenso para a radiação UV que para as radiações PAR e IV, razão pela qual, a amplitude de variação ou dispersão da fração UV/G na Figura 11a foi superior as das frações PAR/G e IV/G nas Figuras 11b e 11c respectivamente. A atmosfera com nuvens e vapor d'água (período úmido) elevam os valores das frações UV/G e PAR/G, e diminui o valor da fração IV/G, enquanto que, a atmosfera seca, sem nuvens e com aerossóis (período da seca),

diminui os valores das frações UV/G e PAR/G, e aumenta o valor da fração IV/G. Para mesmos valores de G, quanto maior a diferença sazonal das concentrações de nuvens, vapor de água e aerossóis, entre as duas coberturas de céu, maior é a amplitude de variação das frações, e conseqüentemente, maior é a dispersão das correlações mostradas na Figura 11.

Tabela 9) Equações das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função de H_G^{IN} anual e sazonais.

		Global interna	
		Equação	R ²
Modelo 1	Anual	$H_{UV}^{IN} = 0,025 H_G^{IN}$	0,9774
		$H_{PAR}^{IN} = 0,508 H_G^{IN}$	0,9939
		$H_{IV}^{IN} = 0,467 H_G^{IN}$	0,9884
Modelo 2	Primavera	$H_{UV}^{IN} = 0,025 H_G^{IN}$	0,9903
		$H_{PAR}^{IN} = 0,517 H_G^{IN}$	0,9980
		$H_{IV}^{IN} = 0,457 H_G^{IN}$	0,9972
	Verão	$H_{UV}^{IN} = 0,027 H_G^{IN}$	0,9920
		$H_{PAR}^{IN} = 0,518 H_G^{IN}$	0,9971
		$H_{IV}^{IN} = 0,454 H_G^{IN}$	0,9966
	Outono	$H_{UV}^{IN} = 0,025 H_G^{IN}$	0,9673
		$H_{PAR}^{IN} = 0,490 H_G^{IN}$	0,9899
		$H_{IV}^{IN} = 0,483 H_G^{IN}$	0,9874
	Inverno	$H_{UV}^{IN} = 0,023 H_G^{IN}$	0,9888
		$H_{PAR}^{IN} = 0,483 H_G^{IN}$	0,9953
		$H_{IV}^{IN} = 0,498 H_G^{IN}$	0,9891

Como as equações de estimativas lineares do modelo 1 (Tabela 9) passam pela origem, os coeficientes angulares representam as frações média de H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} de H_G^{IN} ou $H_{UV}/H_G^{IN} = 0,025$; $H_{PAR}/H_G^{IN} = 0,508$; $H_{IV}/H_G^{IN} = 0,467$. Os percentuais da irradiação ultravioleta UV na global é igual $H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} = 2,5\%$; a irradiação fotossinteticamente ativa PAR da global é $H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} = 50,8\%$ e a irradiação infravermelha IV da global é $H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} = 46,7\%$. Para efeitos de comparação, não foi encontrado na literatura especializada resultados dessas três radiações, medida simultaneamente, dentro da estufa de polietileno. A grande maioria dos resultados em estufa de polietileno é com a radiação PAR como mostram os trabalhos de (Frisina *et al.*, 2000); (Aguar E Silva *et al.*, 2000), (Escobedo *et*

al., 2008); (Dal Pai e Escobedo, 2009); (Sentelhas *et al.*, 1997); (Sentelhas *et al.*, 1999), (Kittas *et al.*, 1999), onde os percentuais da PAR variaram de 45 a 54%.

No entanto, fora da estufa em Botucatu, as frações UV, PAR e IV de G, encontradas por (Escobedo *et al.*, 2008) foram: $H_{UV}^{EX}/H_G^{EX} = 4,2\%$; $H_{PAR}^{EX}/H_G^{EX} = 49,8\%$ e $H_{IV}^{EX}/H_G^{EX} = 46,7\%$. A comparação dos valores das frações, dentro e fora da estufa, mostram que a cobertura de polietileno praticamente não alterou a fração IV, a fração IV/G foi igual dentro e fora da estufa. A fração PAR da global dentro da estufa cresceu de 1,0% , e a fração UV da global diminuiu de 4,2% para 2,5%, ou seja, o polietileno reduziu a fração UV/G de 1,7% ou 40,7% do total incidente na cobertura de polietileno.

Na Tabela 9 são mostradas as equações sazonais entre as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} obtidas em função de H_G^{IN} , no verão, outono, inverno e primavera, bem como, os coeficientes de determinação R^2 . O coeficiente de determinação R^2 das equações de estimativa são elevados e mostram que as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} estão muito bem correlacionadas com a irradiação H_G^{IN} nas quatro estações do ano.

No geral, entre as estações, o coeficiente de determinação R^2 foi mais elevado para primavera, verão, outono e inverno. As frações H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} e H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} são decrescentes e H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} é crescente na sequência nas estações com maior numero de dias de cobertura de céu com nuvens e umidade mais elevada, ou seja, no verão, primavera, outono e inverno. A fração H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} é maior para as estações na sequência, verão com 2,7%, primavera com 2,5%, outono com 2,5% e inverno com 2,3%; a fração H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} foi maior no verão com 51,8%, primavera com 51,7% , outono com 49,0% e inverno com 48,3%; e a fração H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} foi maior no inverno com 49,8%, outono com 48,3%, primavera com 45,7% e verão com 45,4%.

Na Figura 12 são mostradas as estimativas das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} , para mesmos valores da radiação global H_G^{IN} calculadas com os modelos anual e sazonal da Tabela 9.

Para as estimativas da irradiação H_{UV}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais no inverno em 8,0% e subestima no verão em -8,0%, em todo intervalo de variação de H_G^{IN} . Na primavera e outono, a equação anual estima H_{UV}^{IN} igualmente as estimativas das equações sazonais, em todo intervalo de variação de H_G^{IN} .

Para as estimativas da irradiação H_{PAR}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais no outono e no inverno em 2,0% e 5,0%, respectivamente, e subestima na primavera e verão em -1,8% e -2,0%, em todo intervalo de variação de H_G^{IN} . Para as estimativas da irradiação H_{IV}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais na primavera e verão em 2,1% e 2,8%, respectivamente, e subestima no outono e inverno em -3,5% e -6,7%, em todo intervalo de variação de H_G^{IN} .

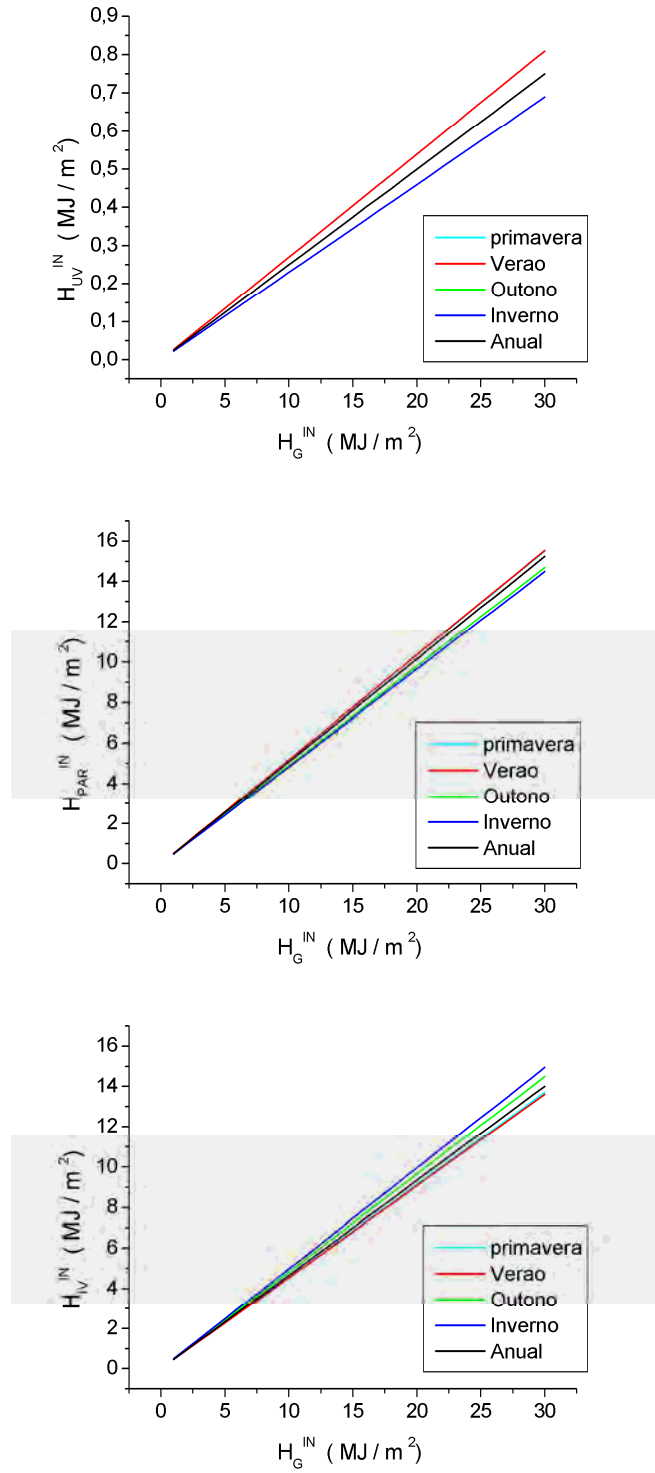


Figura 12: Estimativas das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} , em função da radiação global H_G^{IN} , calculadas com os modelos anual e sazonal.

4.3.2 Equações de estimativa das irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da radiação global externa H_G^{EX} .

Nas Figuras 13 a, 13 b e 13 c são mostradas as relações das irradiações diárias H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da irradiação global externa H_G^{EX} . Essa relação é importante porque permite estimar as radiações diárias UV, PAR e IV dentro da estufa a partir da radiação global diária G externa. A relação entre as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} com a radiação H_G^{EX} é linear, para o agrupamento anual (modelo 1) e agrupamento sazonal (modelo 2). Na Tabela 10, são apresentadas as equações juntamente com os respectivos coeficientes de determinação R^2 .

O coeficiente angular das equações de estimativas para as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} dentro da estufa a partir da radiação global externa H_G^{EX} , tanto para o modelo 1 como para o modelo 2, são menores que os das equações de estimativas para H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} a partir da global interna H_G^{IN} . A razão deste decréscimo está na atenuação na cobertura de polietileno que reduziu a radiação global em aproximadamente 76,0% ao ser transmitida na estufa como é mostrada na Tabela 7.

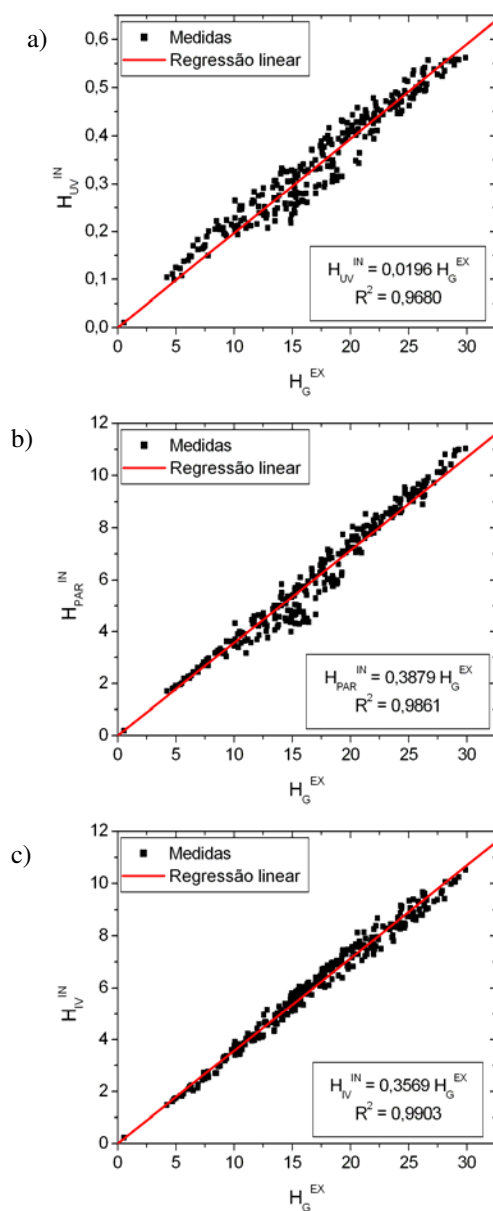


Figura 13: a, b e c) Relações entre as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da irradiação H_G^{EX} ;

Na Tabela 10 são mostradas as equações sazonais entre as radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} obtidas em função de H_G^{EX} , no verão, outono, inverno e primavera, bem como, os coeficientes de determinação R^2 . Os coeficientes de determinação R^2 das equações de estimativas H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função da radiação global externa H_G^{EX} , no geral foram inferiores as das equações de estimativas em função de H_G^{IN} .

Tabela 10) Equações das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} em função radiação H_G^{EX} anual e sazonal

		Global Externa	
		Equação	R ²
Modelo 1	Anual	$H_{UV}^{IN} = 0,0190 H_G^{EX}$	0,9680
		$H_{PAR}^{IN} = 0,3879 H_G^{EX}$	0,9861
		$H_{IV}^{IN} = 0,3569 H_G^{EX}$	0,9903
Modelo 2	Primavera	$H_{UV}^{IN} = 0,0195 H_G^{EX}$	0,9925
		$H_{PAR}^{IN} = 0,3933 H_G^{EX}$	0,9981
		$H_{IV}^{IN} = 0,3476 H_G^{EX}$	0,9925
	Verão	$H_{UV}^{IN} = 0,0208 H_G^{EX}$	0,9936
		$H_{PAR}^{IN} = 0,3991 H_G^{EX}$	0,9933
		$H_{IV}^{IN} = 0,3497 H_G^{EX}$	0,9962
	Outono	$H_{UV}^{IN} = 0,0198 H_G^{EX}$	0,9318
		$H_{PAR}^{IN} = 0,3783 H_G^{EX}$	0,9625
		$H_{IV}^{IN} = 0,3740 H_G^{EX}$	0,9971
	Inverno	$H_{UV}^{IN} = 0,0175 H_G^{EX}$	0,9802
		$H_{PAR}^{IN} = 0,3605 H_G^{EX}$	0,9820
		$H_{IV}^{IN} = 0,3688 H_G^{EX}$	0,9985

Essa singularidade ocorreu porque as radiações das correlações ($H_{UV}^{IN} \times H_G^{EX}$), ($H_{PAR}^{IN} \times H_G^{EX}$) e ($H_{IV}^{IN} \times H_G^{EX}$) são de meios diferentes, sendo as radiações internas estão sujeitas às reflexões e multireflexões dentro da estufa e acabam sendo medidas de forma aleatória pelos radiômetros. Assim para um mesmo valor da radiação global externa pode haver muitos valores da radiação global interna, aumentando a dispersão e diminuindo a correlação entre as duas radiações na regressão linear.

Na Tabela 10 é mostrado ainda que as irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} estão muito bem correlacionadas com a irradiação H_G^{EX} nas quatro estações do ano, com melhores resultados para as radiações PAR, IV e UV. No geral, entre as estações, o coeficiente de determinação R^2 foi mais elevado para primavera, verão, outono e inverno. As frações H_{UV}/H_G^{EX} e H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} são decrescentes e H_{IV}/H_G^{EX} é crescente, na sequência das estações que possua maior numero de dias de cobertura de céu com nuvens e umidade mais elevada, ou seja, no verão, primavera, outono e inverno. De acordo com a Tabela 10 a fração H_{UV}^{IN}/H_G^{EX}

é maior para as estações na sequência verão com 2,1%, primavera com 1,95%, outono com 1,98% e inverno com 1,75%; a fração H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} foi maior para as estações na sequência verão com 39,9%, primavera com 39,3% , outono com 37,4% e inverno com 36,0%; e a fração H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} foi maior para as estações na sequência inverno com 36,9%, outono com 37,4%, primavera com 34,8% e verão com 35,0%.

Na Figura 14 são mostradas as estimativas das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} , para mesmos valores da radiação global H_G^{EX} , calculadas com os modelos anual e sazonal, da Tabela 10.

Para as estimativas da irradiação H_{UV}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais no inverno em 8,0% e no outono em 3,70% e subestima no verão em -9,5%, e 2,0% na primavera, em todo intervalo de variação de H_G^{EX} .

Para as estimativas da irradiação H_{PAR}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais no outono e no inverno em 2,5% e 7,0%, respectivamente, e subestima na primavera e verão em -1,5% e -3,0%, em todo intervalo de variação de H_G^{EX} .

Para as estimativas da irradiação H_{IV}^{IN} , a equação anual superestima as equações sazonais na primavera e verão em 2,5% e 2,0%, respectivamente, e subestima no outono e inverno em -4,8% e -3,5%, em todo intervalo de variação de H_G^{EX} .

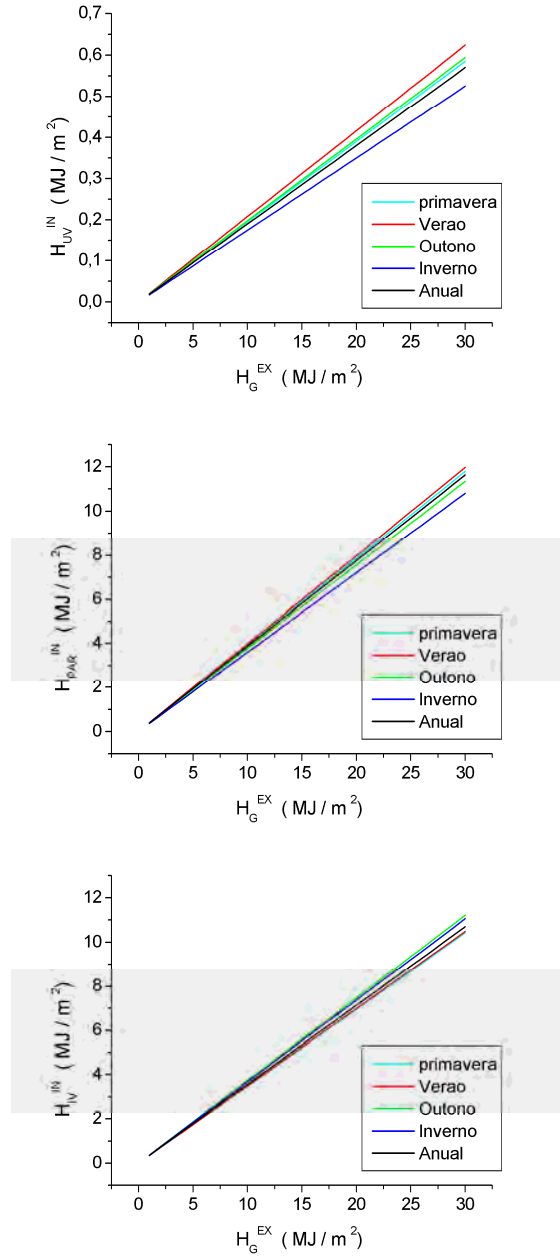


Figura 14: Estimativas das radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} , em função da radiação global H_G^{EX} , calculadas com os modelos anual e sazonal.

4. 4 Equações de estimativa das radiações UV, PAR e IV em função da razão de insolação(n / N).

Os valores das frações solares $K_{uv} = UV/G$, $K_{par} = PAR/G$ e $K_{iv} = IV/G$ na superfície terrestre, como visto anteriormente, depende consideravelmente das variações climáticas, principalmente, da nebulosidade, das concentrações de vapor de água e aerossóis da atmosfera. Desta forma, seria interessante no momento desse desenvolvimento, estudar as relações entre as radiações espectrais UV, PAR e IV com a nebulosidade e obter as equações de estimativas das radiações UV, PAR e IV dentro da estufa em função da razão de insolação (n / N) dentro e fora da estufa, usando o modelo de Ångström.

4.4.1. Evolução anual do número de horas de brilho solar dentro e fora da estufa de polietileno.

A Tabela 11 mostra a evolução anual do número de horas de brilho solar acumulado mensal e razão de insolação (n / N) dentro e fora da estufa de polietileno nos meses do ano.

Tabela 11) Evolução anual do número de horas de brilho solar acumulado mensal , entre março de 2008 a fevereiro de 2009 em Botucatu.

Meses	Insolação ^{IN}	(n / N) ^{IN}	Insolação ^{EX}	(n / N) ^{EX}
Jan	87,5	0,213	135,2	0,329
Fev	131,4	0,368	151,0	0,423
Mar	169,5	0,500	199,4	0,588
Abr	152,7	0,445	187,4	0,565
Mai	145,7	0,432	183,4	0,579
Jun	131,9	0,414	164,7	0,596
Jul	210,1	0,631	282,2	0,847
Ago	170,2	0,486	225,7	0,646
Set	200,1	0,562	243,1	0,682
Out	135,2	0,346	185,1	0,474
Nov	147,7	0,374	225,9	0,553
Dez	161,0	0,384	236,1	0,552

A evolução do numero de horas de brilho solar externo mostrado na Tabela 11 não acompanhou em todos aos meses do ano, os valores do numero de horas de brilho solar da serie climática da insolação em Botucatu (Figura 2b). A comparação das duas evoluções, série climática e a série da Tabela 11, mostra que em vários meses, o brilho solar foi acima e outros abaixo do esperado ou normal.

A exemplo, nos meses de janeiro e fevereiro, o numero de horas de brilho solar foi muito abaixo do normal: janeiro (135,2h contra 185h da serie climática) e fevereiro (151h contra 175h da serie climática) respectivamente. A causa do decréscimo foi à precipitação e nebulosidade atípica dos dois meses no ano de 2009(Tabela 4).

Nos meses de abril, maio, junho e outubro, o número de horas de brilho solar foi também abaixo do normal: abril (187h contra 217,0h), maio (183h contra 211h), junho(165h contra 196h) e outubro(185h contra 211h). Nos três primeiros meses, a entrada das frentes frias vindas do sul do país, na entrada do outono, é o fator responsável, pois essas massas de ar frio arrastam para atmosfera local grande quantidade de nuvens, diminuindo a insolação desses meses, enquanto que, em outubro, a causa foi a nebulosidade e precipitação. Nos meses de julho, setembro e dezembro, o numero de horas de brilho solar foi muito acima dos valores da serie climática: julho (282h contra 227h), setembro (243h contra 191h) e dezembro (236h contra 188h).

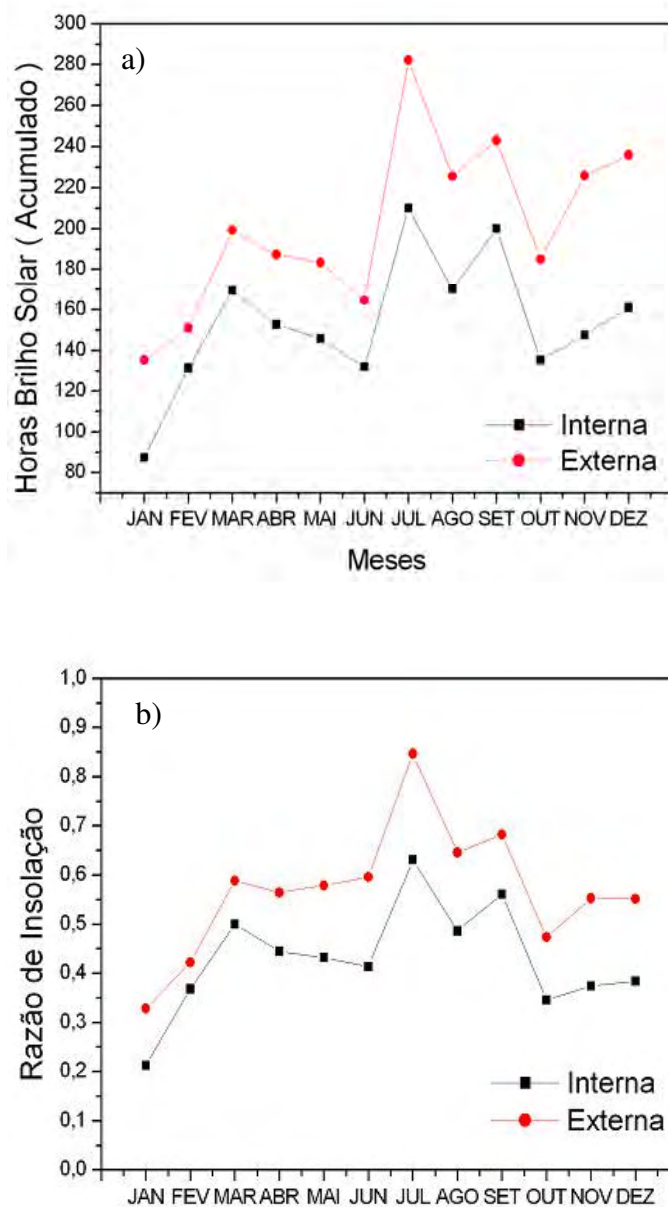


Figura 15: **a)** Evolução anual do número de horas de brilho solar entre março a dezembro de 2008 e de janeiro a fevereiro de 2009 em Botucatu, **b)** Evolução anual da razão de insolação, dentro e fora da estufa de polietileno no mesmo período.

Em relação ao número de horas de brilho solar dentro e fora da estufa de polietileno, a Figura 15a mostra que a evolução anual da insolação dentro é similar a de fora da estufa, apenas com valores inferiores aos valores externos a estufa. A redução da insolação na cobertura de polietileno não é proporcional para todos os meses do ano, a relação ($n^{\text{IN}} / n^{\text{EX}}$)

variou de 65,0% em janeiro a 82,0% em setembro, com média anual de 76,0%, valor esse, exatamente igual a transmissão da radiação global na cobertura de polietileno.

Similarmente, a Figura (15b) mostra que a evolução anual da razão de insolação (n/N) dentro também é similar a de fora da estufa, com valores inferiores aos externos da estufa. A redução da razão de insolação (n/N) na cobertura de polietileno também não é igual em todos os meses do ano. A relação $(n/N)^{IN} / (n/N)^{EX}$ variou de 65,0% em janeiro a 82,0% em setembro, com média anual de 75,0%.

4.4.2 Equação de Ångström na estufa de polietileno.

A Figura 16 mostra a relação entre a razão de insolação $(n/N)^{IN}$ dentro e a razão de insolação $(n/N)^{EX}$ fora da estufa de polietileno para o agrupamento total dos dados.

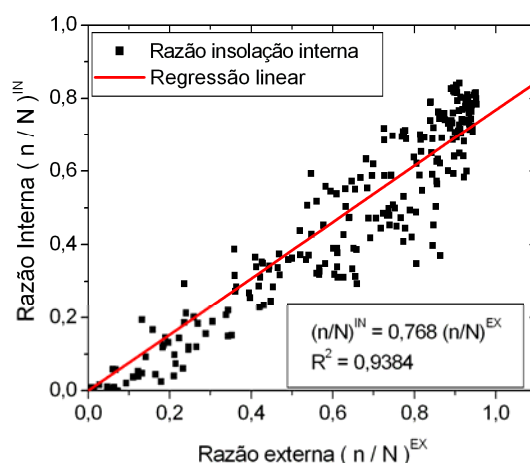


Figura 16: Relação entre a razão de insolação $(n/N)^{IN}$ dentro e fora da $(n/N)^{EX}$ da estufa de polietileno.

A relação entre as razões de insolação é linear e com elevado nível de correlação. A equação de regressão linear obtida passando pela origem ajustada na distribuição dos pontos experimentais foi:

a)

$$(n/N)^{IN} = 0,768 (n/N)^{EX} \quad \text{com coeficiente de determinação } R^2 = 0,9384$$

O coeficiente de determinação $R^2 = 0,9384$, mostra que a razão de insolação $(n / N)^{IN}$ dentro e a razão de insolação $(n / N)^{EX}$ fora da estufa de polietileno estão bem correlacionadas. O resultado obtido para a razão de insolação interna igual a 76,8% da externa, esta em concordância com o resultado obtido para a transmissão da radiação global na estufa de polietileno que foi em média de 76,0%.

A Figura 17 mostra a relação entre $Kt^{IN} = H_G^{IN} / H_0$ e a razão de insolação $(n / N)^{IN}$ dentro da estufa de polietileno. A equação de Ångström na estufa de polietileno obtida por regressão linear com coeficiente de determinação R^2 igual a 0,9104 foi:

$$H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,35 (n / N)^{IN}$$

O coeficiente de determinação R^2 igual a 0,9104 mostra que a radiação global está muito bem correlacionada com o número de horas de brilho dentro da estufa pela equação de Ångström.

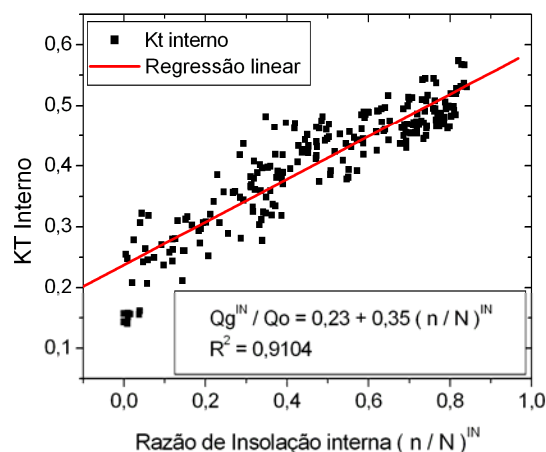


Figura 17: Relação entre a razão de insolação $(n / N)^{IN}$ dentro da estufa e do índice Kt.

O coeficiente de intercepto $a = 0,23$ representa a transmissividade mínima, enquanto que, a soma dos coeficientes de intercepto e angular: $0,23 + 0,35 = 0,58$ representa a transmissividade máxima da radiação global dentro da estufa.

A comparação da equação de **Ångström** dentro da estufa com a equação obtida para o meio exterior da estufa para uma base de dados de 10 anos medida no período de 1996 a 2005 (Escobedo *et al.*, 2007), mostra que os coeficientes de Ångström **a** e **b** da equação dentro da estufa são inferiores aos da equação fora da estufa.

$$H_G^{EX} / H_0 = 0,26 + 0,47 (n / N)^{EX} \quad R^2 = 0,98375$$

A transmissividade mínima foi reduzida de 0,26 para 0,23 enquanto que a transmissividade máxima de 0,73 para 0,58 numa redução percentual de 11,5% e 20,5% respectivamente. O efeito da cobertura de polietileno na redução da radiação global e na transformação da radiação direta na difusa foi predominante na variação do valor do coeficiente angular que diminuiu de 0,47 para 0,35 com decréscimo de 25,5%.

Expressando a razão de insolação dentro e fora da estufa $(n / N)^{IN} = 0,76 (n / N)^{EX}$ na equação de **Ångström** dentro da estufa $H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,35 (n / N)^{IN}$ temos:

$$H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + (0,35 \times 0,76) (n / N)^{EX}$$

ou

$$H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,28 (n / N)^{EX}$$

A equação de Ångström permite estimar a radiação global interna H_G^{IN} / H_0 a partir da razão de insolação $(n / N)^{EX}$ medida externamente a estufa, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,8543$. O uso da equação vai ser importante nos estudos em estufas de polietileno, que normalmente, não possuem instrumentos sofisticados de medidas da radiação solar de custos

elevados, podendo utilizar o heliógrafo, aparelho simples e bastante comum, nos postos meteorológicos.

Expressando as equações de estimativas para as radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} dentro da estufa (Tabela 9) em função da razão de insolação externa na equação de Ångström, por meio a radiação global interna H_G^{IN} , obtemos as equações apresentadas da tabela 12, com os respectivos coeficientes de determinação R^2 . As equações de Ångström estimam as radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} a partir da $(n / N)^{EX}$ para o agrupamento de dados anual.

Tabela 12) Equações de estimativas anual para as radiações UV, PAR e IV dentro da estufa.

Equação		Coeficiente de Determinação (R^2)
Anual	$H_{UV}^{IN} = H_0 [0,0058 + 0,0068 (n/N)^{EX}]$	0,917192
	$H_{PAR}^{IN} = H_0 [0,117 + 0,137 (n/N)^{EX}]$	0,932676
	$H_{IV}^{IN} = H_0 [0,107 + 0,126 (n/N)^{EX}]$	0,927515

O coeficiente de determinação R^2 variando entre 0,9172 e 0,9326 das equações de estimativa, mostra que as radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} estão bem correlacionadas com a razão de insolação externa $(n / N)^{EX}$. Em relação às radiações a correlação no geral foi um pouco melhor ajustada em seqüência para as radiações PAR, IV e UV.

5 – Conclusões

Dos resultados discutidos sobre a evolução anual das radiações média mensal PAR, IV e UV, neste trabalho, concluímos que:

A transmissividade atmosférica à radiação global (Kt), apresentou variações sazonais em função das variações atmosféricas (nebulosidade, vapor d'água e aerossóis), características de cada mês ou estação do ano. No geral, o valor de Kt foi menor no período chuvoso, verão e primavera, onde a concentração de nuvens e vapor de água, é mais elevada no ano, e maior no outono e inverno, no período da seca, onde a concentração de nuvens e vapor de água é menor do ano. O menor Kt ocorreu em janeiro com 39,6% e o maior Kt em julho com 62,7%. O valor médio de Kt foi de 50,0%.

A evolução anual da radiação global média mensal G^{EX} mostrou que os valores variaram de 12,15 MJ/m² em junho a 22,55 MJ/m² em dezembro, com um valor médio total de 17,21 MJ/m². A sazonalidade foi devido à variação astronômica da declinação solar, latitude, e principalmente, as variações climáticas. Como consequência, a radiação global interna G^{IN} e as radiações espectrais dentro e fora da estufas, passaram pelos mesmos efeitos climáticos e acompanharam as variações da radiação G^{EX} .

As radiações médias mensais UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} foram estimadas no meio externo a estufa em a partir da radiação global G^{EX} , por equações do tipo linear $Y = aX$ com ótima correlação. A evolução anual das radiações UV^{EX} , PAR^{EX} e IV^{EX} apresentou variações sazonais ao longo do ano, similarmente a evolução da radiação global G^{EX} , com valores mais elevados no verão e primavera, e menos elevados no outono e inverno.

A evolução anual das radiações G^{IN} , UV^{IN} , PAR^{IN} e IV^{IN} médias mensais dentro é similar as de fora da estufa, a menos se serem inferiores devido à atenuação das radiações na cobertura, por absorção e reflexão, na cobertura do polietileno. A sazonalidade das radiações ao longo do ano, foram praticamente iguais do meio exterior a estufa, com valores médios mensais das radiações G^{IN} , UV^{IN} , PAR^{IN} e IV^{IN} mais elevados no verão e primavera, e menos elevados no outono e inverno.

A transmissividade da radiação global média mensal apresentou variações sazonais, com valores entre 79,4% em março a 71,2% em Julho, com valor médio total de 75,6%. Os valores foram poucos mais elevados nos meses do verão e primavera, comparados aos valores mensais do outono e inverno. As transmissividade das radiações UV e PAR acompanharam a sazonalidade da radiação global enquanto que, a transmissividade da radiação IV foi inversa das radiações G, UV e PAR. As transmissividade UV e PAR foram mais elevados no período úmido e menores no período seco, enquanto que, a IV foi menor no período úmido e maior no período seco. A transmissão da radiação UV variou de 53,2% em janeiro a 38,7% em julho, com média total de 47,0%; a transmissão da radiação PAR variou de 82,8% em fevereiro a 65,1% em julho, com média total de 77,6% e a transmissão da radiação IV variou de 72,4% em janeiro a 81, 7% em julho, com média total de 76,7%.

Os valores médios mensais das frações K_{UV}^{IN} , K_{PAR}^{IN} E K_{IV}^{IN} dentro de estufa, variaram em cada mês do ano em função da nebulosidade e da umidade relativa dentro da estufa. Quanto maior o numero de dias com cobertura $K_t < 0,55$ e a umidade relativa, maiores

foram os valores médios K_{UV}^{IN} e K_{PAR}^{IN} , e menor da fração K_{IV}^{IN} . O valor de $K_{UV} = 2,9\%$ foi mais elevado em janeiro, mês mais nebuloso e úmido, enquanto que, $K_{UV}^{IN} = 2,3\%$ foi menor, nos meses mais claros e secos, como julho e agosto. O valor de $K_{PAR}^{IN} = 52,7\%$ foi maior mês de janeiro mês mais nebuloso e úmido, e $K_{PAR}^{IN} = 44,6\%$ menor no mês mais seco em julho. O valor médio $K_{IV}^{IN} = 44,0\%$ foi menor nos meses mais nebuloso e úmido em janeiro e maior no mês mais seco em julho com $K_{IV}^{IN} = 53,8\%$. As frações médias obtidas K_{UV}^{IN} , K_{PAR}^{IN} e K_{IV}^{IN} dentro de estufas de polietileno iguais a $K_{UV}^{IN} = 2,5\%$ e $K_{PAR}^{IN} = 50,8\%$ diferiram das frações fora da estufa. A fração UV/G diminuiu de 4,2 % para 2,5% , ou seja, a fração UV/G foi reduzida em 40,4 % ou transmitida em 59,5%. A fração PAR/G aumentou de 48,9% para 50,8%, ou seja, transmitida em 103,4%. A fração $K_{IV}^{IN} = 46,7\%$ foi transmitida em 100%.

Dos resultados obtidos e discutidos sobre as Equações de Estimativas das Radiações UV, PAR e IV em função das radiações global interna, externa e razão de insolação, neste trabalho, concluímos que:

As correlações anual das irradiações diárias ultravioleta interna (H_{UV}^{IN}), fotossinteticamente ativa interna (H_{PAR}^{IN}) e infravermelha interna (H_{IV}^{IN}) em função da irradiação global interna (H_G^{IN}) são lineares tipo ($Y = a X$), e com elevados coeficiente de determinação R^2 . Nas equações de estimativas os coeficientes angulares representam as frações média de H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} da radiação H_G^{IN} ou seja, $H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} = 0,025$; $H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} = 0,508$; $H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} = 0,467$ respectivamente. Percentualmente, a irradiação ultravioleta UV na global é igual $H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} = 2,5\%$; a irradiação fotossinteticamente ativa PAR da global é $H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} = 50,8\%$ e a irradiação infravermelha IV da global e $H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} = 46,7\%$.

As irradiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} estão bem correlacionadas com a irradiação H_G^{IN} sazonalmente, com melhores resultados em sequência para as radiações PAR, IV e UV. No geral, entre as estações, o coeficiente de determinação R^2 foi mais elevado para primavera, verão, outono e inverno. As frações H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} e H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} são decrescentes e H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} é crescente na sequência das estações verão, primavera, outono e inverno. A fração H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} é maior no verão com 2,7%, primavera com 2,5%, outono com 2,5% e inverno com 2,3%; a fração H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} foi maior no verão com 51,8%, primavera com 51,7% , outono com 49,0% e inverno com 48,3%; e a fração H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} foi maior no inverno com 49,8%, outono com 48,3%, primavera com 45,7% e verão com 45,4%.

As correlações anual das irradiações diárias ultravioleta interna (H_{UV}^{IN}), fotossinteticamente ativa interna (H_{PAR}^{IN}) e infravermelha interna (H_{IV}^{IN}) em função da irradiação global externa (H_G^{EX}) são lineares e com elevados coeficiente de determinação R^2 . Similarmente, os coeficientes angulares representam as frações média de H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} da radiação H_G^{EX} , ou seja, $H_{UV}^{IN}/H_G^{EX} = 0,019$; $H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} = 0,388$; $H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} = 0,357$ respectivamente. Percentualmente, a irradiação ultravioleta UV na global é igual $H_{UV}^{IN}/H_G^{EX} = 1,9\%$; a irradiação fotossinteticamente ativa PAR da global é $H_{PAR}^{IN}/H_G^{EX} = 38,8\%$ e a irradiação infravermelha IV da global é $H_{IV}^{IN}/H_G^{EX} = 35,7\%$.

As irradiações internas H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} estão muito bem correlacionadas com a irradiação H_G^{EX} nas quatro estações do ano, com melhores resultados para as radiações PAR, IV e UV. No geral, entre as estações, o coeficiente de determinação R^2 foi mais elevado para primavera, verão, outono e inverno. As frações H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} e H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} são decrescentes e H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} é crescente no verão, primavera, outono e inverno. A fração H_{UV}^{IN}/H_G^{IN} é maior verão com 2,1%, primavera com 1,95%, outono com 1,98% e inverno com 1,75%; a fração H_{PAR}^{IN}/H_G^{IN} foi maior no verão com 39,9%, primavera com 39,3%, outono com 37,4% e inverno com 36,0%; e a fração H_{IV}^{IN}/H_G^{IN} foi maior no inverno com 36,9%, outono com 37,4%, primavera com 34,8% e verão com 35,0%.

Dos resultados obtidos e discutidos sobre a insolação e equação de Ångström dentro da estufa de polietileno concluímos que:

A evolução anual da insolação média mensal acumulada, dentro é similar a de fora da estufa, apenas com valores inferiores aos de fora da estufa. A razão de insolação na cobertura de polietileno é sazonal, onde a relação (n^{IN}/n^{EX}) variou de 65,0% em janeiro a 82,0% em setembro, com média anual de 76,0%. A transmissão da número de brilho solar de 76,0% é igual à transmissão da 76,0% da radiação global na cobertura de polietileno. Similarmente, a evolução anual da razão de insolação (n/N) média mensal dentro também é similar a de fora da estufa, com valores inferiores aos externos da estufa. A relação (n/N)^{IN} / (n/N)^{EX} variou de 65,0% em janeiro a 82,0% em setembro, com média anual de 75,0%. A relação entre as razões de insolação diárias dentro e fora da estufa é linear e a equação de regressão linear passando pela origem ajustada na distribuição dos pontos experimentais foi: $(n/N)^{IN} = 0,768 (n/N)^{EX}$ com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9384$. O coeficiente de

determinação elevado mostra que a razão de insolação $(n/N)^{IN}$ dentro e a razão de insolação $(n/N)^{EX}$ fora da estufa de polietileno estão bem correlacionadas.

A equação de Ångström na estufa obtida por regressão linear $H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,35 (n/N)^{IN}$ com coeficiente de determinação R^2 igual a 0,9104 permite estimar a radiação global dentro da estufa com elevada correlação.

A equação de Ångström na estufa $H_G^{IN} / H_0 = 0,23 + 0,28 (n/N)^{EX}$ coeficiente de determinação R^2 igual a 0,8543 permite estimar a radiação global interna a partir da razão de insolação externa com boa correlação.

As equações de Ångström espectral em função de $(n/N)^{EX}$ dentro da estufa: $H_G^{IN} / H_0 = [0,0058 + 0,0068 (n/N)^{EX}]$; $H_G^{IN} / H_0 = [0,117 + 0,137 (n/N)^{EX}]$; $H_G^{IN} / H_0 = [0,107 + 0,126 (n/N)^{EX}]$ com coeficiente de determinação R^2 iguais a 0,9172; 0,9326 e 0,9275 respectivamente, estimam as radiações H_{UV}^{IN} , H_{PAR}^{IN} e H_{IV}^{IN} a partir da $(n/N)^{EX}$ com correlação elevada, no geral, melhor em seqüência para as radiações PAR, IV e UV.

AGRADECIMENTOS: Ao CNPQ pelo apoio financeiro.

6. Referências

ACKERLY, D. D.; BAZZAZ, F. A. Seedling crown orientation and interception of diffuse radiation in tropical forest gaps. *Ecology*, v. 76, p. 1134-1146, 1995.

AGUIAR E SILVA, M.; ESCOBEDO, J. F.; GALVAIN, E. Saldo de radiação em ambientes protegidos - modelos de estimativa. *Revista Horticultura Brasileira*, v. 18, p. 189-191, 2000.

AL-ARUDI, S. D. The empirical relationship between global radiation and global ultraviolet (290-385 nm) solar radiation component. *Solar Energy*, v. 45, n. 61-64, p. 61, 1990.

ALADOS-ARBOLEDAS, L.; OLMO, F. J.; ALADOS, I.; PÉREZ, I. Parametric models to estimate photosynthetically active radiation in Spain. *Agric. and For. Meteorol.*, v. 101, p. 187-201, 2000.

ALVALÁ, R. C. D. S.; SILVA, F. W. C. Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa e irradiância de onda curta em área de policultivo na Amazônia. *Congresso Brasileiro de Meteorologia*. v. 11. Rio de Janeiro-Rj, Brasil: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. p. 2453-2462.

ANDRADY, A. C.; TORIKAI, A.; FUEKI, R. C. Photodegradation of rigid PVC formulations, I. Wavelength sensitivity to light-induced yellowing by monochromatic light. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 37, p. 935-946, 1989.

ASSIS, S. V. D. *Radiação solar em estufas de polietileno nas orientações norte-sul e leste-oeste*. 81. Doutorado - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, Brasil, 1998.

ASSUNÇÃO, H. F.; BARBIERI, V. Estimativas da radiação ultravioleta em Piracicaba-SP. *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*. v. 10. Piracicaba-SP, Brasil: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 416-418.

ASSUNÇÃO, H. F.; ESCOBEDO, J. F.; DAL PAI, A.; OLIVEIRA, L. S. Avaliação preliminar da radiação ultravioleta sobre a superfície. *Congresso Ibero-Americano de Energia Solar*. v. 5. São Paulo-SP, Brasil: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, 2000.

BECKMANN, M. Z.; DUARTE, G. R. B.; PAULA, V. A. D.; MENDEZ, M. E. G.; PEIL, R. M. N. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v. 36, p. 86-92, 2006.

BLACKBURN, W. J.; PROCTOR, J. T. A. Estimating photosynthetically active radiation from measured solar irradiance. *Sol. Energy*, v. 31, p. 233-234, 1983.

BLATCHLEY III, E. R.; SHEN, C.; SCHEIBLE, O. K.; ROBINSON, J. P.; RAGHEB, K.; BERGSTROM, D. E.; ROKJER, D. Validation of large-scale, monochromatic UV disinfection systems for drinking water using dyed microspheres. *Water Research*, v. 42, n. 3, p. 677-688, 2008.

BOLSENGA, S. J. Near Infrared Radiation in Northern Greenland. *J. Appl. Meteorol.*, v. 6, p. 449-451, 1967.

BURIOL, G. A.; STRECK, N. A.; PETRY, C.; SCHNEIDER, F. M. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. *Ciência Rural*, v. 25, p. 1-4, 1995.

CALDWELL, M. M. Solar UV irradiance and the growth and development of higher plants. *Photophysiology*, v. 6, p. 131-177, 1971.

CANÁDA, J.; PEDRÓS, G.; BOSCA, J. V. Relationship between UV (290-385 nm) and broadband solar radiation hourly values in Valencia and Córdoba, Spain. *Energy*, v. 28, p. 199-217, 2003.

CANNEL, M. G. R.; GRACE, J. Competition for light: detection, measurement and quantification. *Can. J. For. Res.*, v. 23, p. 1969-1979, 1993.

CARMEÑO, Z. S. *Estufas: instalação e manejo*. Lisboa: Litexa, 1990.355.

CARTER, R. E.; KLINKER, K. Variation in shade tolerance of Douglas fir, western hemlock, and western red cedar in coastal British Columbia. *Ecol. Manage*, v. 55, p. 87-105, 1992.

COCKSHULL, K. E.; GRAVES, C. J.; CAVE, C. R. J. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *of Horticultural Science*, v. 67, n. 1, p. 11-24, 1992.

CODATO, G. *Simulação numérica da evolução diurna do monóxido de carbono na camada limite planetária sobre a RMSP com modelo LES*. 96p. Mestrado - Departamento de Ciencias Atmosféricas, IAG-USP, São Paulo, 2008.

DAL PAI, E.; ESCOBEDO, J. F. Equações de Estimativa das Radiações espectrais UV, PAR e IV diárias em estufas de polietileno. *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*. v. 16. Belo Horizonte-MG, Brasil2009.

DE GRUIJL, F. R. Skin cancer and solar UV radiation. *European Journal of Cancer*, v. 35, n. 14, p. 2003-2009, 1999.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; DAL PAI, A.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Equações de Estimativa diária para as radiações UV, PAR e IV em função da Global para cobertura atmosférica total e discreta. *Congresso Brasileiro de Energia Solar*. v. 1. Fortaleza-CE, Brasil: Sociedade Brasileira de Energia Solar, 2007.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Radiações Solares UV, PAR e IV: I- Estimativa em função da global. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v. 10, p. 79-86, 2006a.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Radiações solares UV, PAR e IV: II-Estimativa das frações em função de Kt. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, v. 10, p. 87-94, 2006b.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Variações Mensais das Frações Solares UV, PAR e IV da radiação Global em Botucatu. *II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES*. Florianópolis-SC, Brasil2008.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, v. 86, n. 3, p. 299-309, 2009.

FINCH, D. A.; BAILEY, W. G.; MCARTHUR, L. J. B.; NASITWITWI, M. Photosynthetically active radiation regimes in a southern African savanna environment. *Agr. Forest. Meteorol.*, v. 122, p. 229-238, 2004.

FRISINA, V. A.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de Radiação e Balanço de Energia da cultura de alface (*Latuca sativa*, L.) em estufa de polietileno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 10, p. 1775-1786, 1999.

FRISINA, V. A.; ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N. Instantaneous estimates of global, diffuse and reflected photosynthetically active radiation (PAR) inside a polyethylene greenhouse. *World Renewable Energy Congress* v. 6. Brighton: Renewables: the energy for the 21st century, 2000. p. 2394-2397.

GALVAIN, E.; DECHANDT, H. C. G. Avaliação Preliminar da Radiação Solar Fotossinteticamente ativa (PAR) na região Metropolitana de São Paulo. *Seminário de Pesquisa em Geografia*. v. 1. São Paulo-SP, Brasil: Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, 2003.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F. Relação entre radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa e a produtividade da cultura de pepino em meio natural e protegido. In: SBM (Ed.). *Congresso Brasileiro de Meteorologia*. v. 11. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.: SBM, 2000. p. 7-10.

GATES, W. L. Modeling the ice-age climate. *Science*, v. 191, p. 1138-1144, 1976.

GIES, P. H. Protection against solar ultraviolet radiation. *Mutation Research*, v. 422, p. 15-22, 1998.

HAO, X.; HALEB, B. A.; ORMRODC, D. P.; PAPADOPOULOS, A. P. Effects of pre-exposure to ultraviolet-B radiation on responses of tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. New Yorker) to ozone in ambient and elevated carbon dioxide. *Environmental Pollution*, v. 110, p. 217-224, 2000.

HATFIELD, J. L.; CARLSON, R. E. Light quality distributions and spectral albedo of three maize canopies. *Agricultural Meteorology*, v. 20, n. 3, p. 215-226, 1979.

HEMMING, S.; KEMPKES, F.; BRAAK, N. V. D.; DUECK, T.; MARISSEN, N. Greenhouse Cooling by NIR-reflection. *Acta Hort.*, v. 719, p. 97-106, 2006.

HERRMANN, H.; HÄDER, D. P.; GUETTI, F. Inhibition of photosynthesis by solar radiation in *Dunaliella salina*: relative efficiencies of UV-B, UV-A and PAR. *Plant, Cell and Environment*, v. 20, p. 359-365, 1997.

IBGE. IBGE Cidades. n. 10/02/20102010.

INÁCIO, T. *Potencial Solar da radiações Global, Difusa e Direta em Botucatu*. 390p. Mestrado - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, Brasil, 2009.

JACOVIDES, C. P.; ASSIMAKOPOULOS, V. D.; TYMVIOS, F. S.; THEOPHILOU, K.; ASIMAKOPOULOS, D. N. Solar global UV (280-380 nm) radiation and its relationship with solar global radiation measured on the island of Cyprus. *Energy*, v. 31, p. 2728-2738, 2006.

JACOVIDES, C. P.; TIMVIOS, F. S.; PAPAIOANNOU, G.; ASIMAKOPOULOS, D.; THEOFILOU, C. M. Ratio of PAR to broadband solar radiation measured in Cyprus. *Agr. Forest. Meteorol.*, v. 121, p. 135-140, 2004.

JACOVIDES, C. P.; TYMVIOS, F. S.; ASSIMAKOPOULOS, V. D.; KALTSOUNIDES, N. A. The dependence of global and diffuse PAR radiation components on sky conditions at Athens, Greece. *Agr. Forest. Meteorol.*, v. 143, p. 277-287, 2007.

JIMÉNEZ, A. E.; ESTRADA, C. A.; COTA, A. D.; ROMÁN, A. Photocatalytic degradation of DBSNa using solar energy. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 60, p. 85-95, 2000.

KELLY, C. T.; WHITE, J. R. Photo-degradation of polyethylene and polypropylene at slow strain-rate. *Polymer Degradation and Stability*, v. 56, p. 367-383, 1997.

KITTAS, C.; BAILLE, A.; GIAGLARAS, P. Influence of Covering Material and Shading on the Spectral Distribution of Light in Greenhouses. *J. Agric. Engng. Res.*, v. 73, p. 341-351, 1999.

KITTAS, C.; TCHAMITCHIAN, M.; KATSOULAS, N.; KARAIKOU, P.; PAPAIOANNOU, C. Effect of two UV-absorbing greenhouse-covering films on growth and yield of an eggplant soilless crop. *Scientia Horticulturae*, v. 110, n. 1, p. 30-37, 2006.

KLEIN, R. M. Plants and near-ultraviolet radiation. *Bot. Rev.*, v. 44, p. 1-127, 1978.

LINGAKUMAR, K.; AMUDHA, P.; KULANDAIVELU, G. Exclusion of solar UV-B (280-315nm) radiation on vegetative growth and photosynthetic activities in *Vigna unguiculata* L. *Plant Science*, v. 148, p. 97-103, 1999.

LUDLAM, F. H. *Clouds and Storms*. Pennsylvania: Pennsylvania State University Press, University Park, PA., 1980,

MARTÍNEZ-LOZANO, J. A.; CASANOVAS, A. J.; UTRILLAS, M. P. Comparison of global UV (290-385nm) and global irradiation measured during the warm season in Valencia, Spain. *International Journal of Climatology*, v. 14, p. 93-102, 1994.

MCCREE, K. J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agric. Meteorol.*, v. 10, p. 443-453, 1972.

OGUNJOBI, K. O.; KIM, Y. J. Ultraviolet (280-400nm) and broadband solar hourly radiation at Kwangju, South Korea: analysis of their correlation with aerosol optical depth and clearness index. *Atmos. Res.*, v. 71, p. 193-214, 2004.

PAPAIIOANNOU, G.; NIKOLIDAKIS, G.; ASIMAKOPOULOS, D.; RETALIS, D. Photosynthetically active radiation in Athens. *Agric. and For. Meteorol.*, v. 81, p. 287-298, 1996.

PARISI, A. V.; WONG, J. C. F. An estimation of biological hazards due to solar radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology*, v. 54, p. 126-130, 2000.

PEARSON, S.; WHELDON, A. E.; HADLEY, P. Radiation Transmission and Fluorescent of nine Greenhouse Cladding Materials. *J. Agric. Engng. Res.*, v. 65, p. 61-70, 1995.

POLLET, I. V.; PIETERS, J. G. Laboratory measurements of PAR transmittance of wet and dry greenhouse cladding materials. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 93, n. 2, p. 149-152, 1999.

RAO, C. R. N. Photosynthetically active radiation: measurements and model computations. *Arch. Meteorol. Geophys. Bioclimatol.*, v. 34, p. 353-364, 1984.

ROBAA, S. M. A study of ultraviolet solar radiation at Cairo urban area, Egypt. *Solar Energy*, v. 77, p. 251-259, 2004.

ROBLEDO, P. F.; MARTIN, V. L. *Aplicación de los plásticos en la agricultura*. Madrid: Mundi-Prensa, 1988,

ROY, S.; JAUH, G. Y.; HEPLER, P. K.; LORD, E. M. Effects of Yariv phenylglycoside on cell wall assembly in the lily pollen tube. *Planta*, v. 193, p. 542-550, 1998.

SENTELHAS, P. C.; BORSATTO, R. S.; MINAMI, K. transmissividade da radiação solar em estufas cobertas com filmes de PVC azul e transparente. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, v. 7, n. 2, p. 157-162, 1999.

SENTELHAS, P. C.; VILLA NOVA, N. A.; ANGELOCCI, L. R. Efeito de diferentes tipos de cobertura em mini-estufas na atenuação da radiação solar e da luminosidade. *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*. v. 10. Piracicaba-SP, Brasil: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia., 1997. p. 479-481.

SOMMER, R.; CABAJ, A.; HAIDER, T. Microbiological effect of reflected UV radiation in devices for water desinfection. *Water Science and Technology*., v. 34, n. 7-8, p. 173-177, 1996.

SOUZA, J. W.; MARTINS, D.; RIBEIRO, A. D. C.; ESCOBEDO, J. F.; LUNARDI, M. A. Efeito do polietileno difusor de luz, sobre a radiação solar global, em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 12, p. 211-217, 2004.

STEIDLE NETO, A. J.; ZOLNIER, S.; MAROUELLI, W. A.; CARRIJO, O. A. Razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global no cultivo do tomateiro em casa-de-vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, p. 626-631, 2008.

STIGTER, C. J.; MUSABILHA, M. M. The conservative ratio of photosynthetically active radiation to total radiation in the tropics. *J. Appl. Ecol.*, v. 19, p. 853-858, 1982.

VOGELMANN, A. M.; RAMANATHAN, V.; CONANT, W. C.; HUNTER, W. E. Observational constraints on non-Lorentzian continuum effects in the near-infrared solar spectrum using ARM ARESE data. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, v. 60, n. 2, p. 231-246, 1998.

ZHANG, X.; ZHANG, Y.; ZHOUB, Y. Measuring and modelling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during april-october. *Agric. Meteorol.*, v. 102, p. 207-212, 2000.