

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**PEBD DIFUSOR NAS CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E
FISIOLÓGICAS DE PIMENTEIRO ENXERTADO EM FUNÇÃO DA
DENSIDADE DE PLANTAS**

MIGUEL ANGELO SANDRI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Horticultura).

BOTUCATU - SP

Dezembro - 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**PEBD DIFUSOR NAS CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E
FISIOLÓGICAS DE PIMENTEIRO ENXERTADO EM FUNÇÃO DA
DENSIDADE DE PLANTAS**

MIGUEL ANGELO SANDRI

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Romy Goto

Co-Orientador: Dr. Antonio Ribeiro da Cunha

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Horticultura).

BOTUCATU - SP

Dezembro - 2014

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

S219p Sandri, Miguel Angelo, 1975-
PEBD difusor nas características produtivas e fisiológicas de pimenteiro enxertado em função da densidade de plantas / Miguel Angelo Sandri. - Botucatu : [s.n.], 2014
xii, 71 f. : grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2014
Orientador: Romy Goto
Coorientador: Antonio Ribeiro da Cunha
Inclui bibliografia

1. Pimentão - Cultivo. 2. Plásticos na Agricultura. 3. Enxertia. 4. Estufa (Plantas). 5. Radiação. I. Goto, Romy. II. Cunha, Antonio Ribeiro da. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “PEBD DIFUSOR DE LUZ NAS CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E FISIOLÓGICAS DE PIMENTEIRO ENXERTADO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE PLANTAS”

ALUNO: MIGUEL ANGELO SANDRI

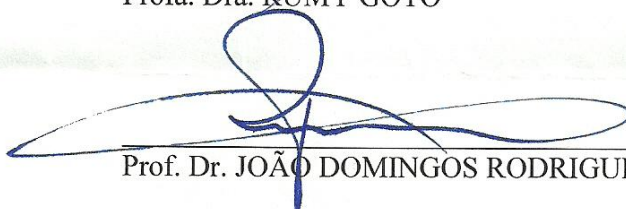
ORIENTADORA: PROFa. DRa. RUMY GOTO

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO RIBEIRO DA CUNHA

Aprovado pela Comissão Examinadora



Prof. Dra. RUMY GOTO



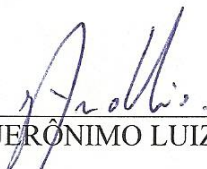
Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES



Prof. Dra. ELIZABETH ORIKA ONO



Prof. Dr. RERISON CATARINO DA HORA



Prof. Dr. JERÔNIMO LUIZ ANDRIOLO

Data da Realização: 16 de dezembro de 2014

OFEREÇO

Aos meus pais, Agostino Sandri e Mirca Santini Sandri, que sempre usaram o exemplo como forma de educação dos seus filhos.

À tia Zélia pelo apoio e carinho.

Aos meus irmãos: Marta, Marcia, Marcos (*in memoriam*) e Mirtes pelo apoio, incentivo e compreensão.

Aos meus sobrinhos João Augusto, Rafaela, Amadeo, Luiza, Arthur e Luiz Fernando pelo carinho.

DEDICO

Dedico este trabalho a todos os agricultores que são a base da nossa sociedade. Sem o agricultor qualquer outro profissional deixaria de existir na sociedade moderna.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FCA de Botucatu e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Horticultura;

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, de uma forma especial ao Campus Bento Gonçalves;

À professora Dra. Romy Goto pela sua dedicação na orientação deste trabalho, pelo estímulo e amizade;

Ao Eng^o Agr^o Dr. Antonio Ribeiro da Cunha pela coorientação, dedicação, disponibilidade e amizade;

A todos os professores da Faculdade de Ciências Agrônômicas, em especial aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Horticultura;

Aos professores Dr. João Domingos Rodrigues e Dra. Elizabeth Orika Ono e seus orientados Ana Cláudia Macedo e Alexandre Mansano pelo apoio e auxílio em avaliações realizadas;

Aos professores Dr. Roberto Lyra Villas Bôas, Dra. Regina Marta Evangelista, Dra. Martha Maria Mischan e Dr. Gilson Volpato pelo auxílio no aspecto nutricional da cultura, nas análises de laboratório, nas análises estatísticas e na redação, respectivamente;

Aos servidores da FCA e de uma forma especial àqueles que auxiliaram diretamente na condução do experimento;

Às empresas Electro Plastic S/A e Sakata Seed Sudamerica Ltda. pelo apoio;

Aos colegas de pós-graduação Edvar Souza da Silva, Ewerton Gasparetto da Silva, Thaís Botamede Spadoni, Adelana Maria Freitas Santos, Luiz Felipe Guedes Baldini, Falkner Santana e aos estagiários Jéssica Danila Silva, Aline Retz e Leonardo Tatsuo Ishisaki pelo auxílio, coleguismo e amizade;

Aos amigos Maria de Jesus Passos de Castro, Pâmela Gomes Nakada-Freitas, Mauro Lúcio Freitas, Patrícia Leite, Manoel Xavier, Camila Abrahão, William Takata e Felipe Vitório de Castro Faria pelo auxílio e amizade.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 OBJETIVO	7
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
5.1 Modificações causadas pelo ambiente protegido.....	8
5.2 Relação entre radiação solar e fotossíntese.....	10
5.3 Influência da radiação solar difusa na fotossíntese das plantas	12
5.4 Benefícios da radiação difusa	13
5.5 Características dos principais materiais usados na cobertura das estufas.....	14
5.6 Exigências climáticas da cultura do pimentão e manejo em cultivo protegido	15
5.7 A enxertia na cultura do pimentão em cultivo protegido.....	16
5.8 Densidade de plantas	17
6 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
6.1 Características gerais do experimento	19
6.2 Análise e preparo do solo.....	19
6.3 Semeadura e transplante	21
6.4 Tratamentos	21
6.5 Irrigação e fertirrigação.....	22
6.6 Condução da cultura	22
6.7 Monitoramento do ambiente	22
6.8 Avaliações realizadas.....	23
7 RESULTADOS	26
7.1 Caracterização dos ambientes	26
7.2 Características das plantas	32
7.3 Dados de produção da primeira floração	35
7.4 Dados de produção total	37

7.5 Distribuição da massa seca em plantas de pimentão	43
7.6 Índice de clorofila (SPAD)	45
7.7 Trocas gasosas	48
7.8 Vitamina C	53
7.9 Relações entre características da planta	54
8 DISCUSSÃO	57
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
10 CONCLUSÃO	67
11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado da análise química de solo com os níveis de macronutrientes nas áreas correspondentes aos ambientes: campo, PEBD difusor de luz e PEBD comum. São Manuel, SP, 2012.	20
Tabela 2. Níveis de micronutrientes nas áreas correspondentes aos ambientes: campo, PEBD difusor de luz e PEBD comum. São Manuel, SP, 2012.	20
Tabela 3. Vitamina C expressa pelo teor de ácido ascórbico em plantas de pimentão nos ambientes campo, PEBD _d e PEBD _c . Botucatu, SP, 2013.....	54

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Radiação solar global durante o experimento nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. A linha tracejada representa o limite trófico ($8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). São Manuel, SP, 2013. 26
- Figura 2.** Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) durante o experimento nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. São Manuel, SP, 2013. 27
- Figura 3.** Radiação solar global (—) e difusa (-----) recebida diariamente nos ambientes campo (A), PEBD_d (B) e PEBD_c (C) de 27/05 à 23/07/2014. São Manuel, SP, 2014. 28
- Figura 4.** Radiação solar global (—) e difusa (-----) nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c em um dia de céu límpido – 27/06/2014 (A, C, E) e em um dia com céu nublado – 07/07/2014 (B, D, F). São Manuel, SP, 2014. 29
- Figura 5.** Temperaturas mínima, média e máxima no período de dezembro de 2012 a julho de 2013 nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. São Manuel, SP, 2013. 30
- Figura 6.** Umidade relativa mínima, média e máxima durante o período de dezembro de 2012 a julho de 2013 nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. São Manuel, SP, 2013. 31
- Figura 7.** Precipitação (mm) no período de dezembro de 2012 a julho de 2013. São Manuel, SP, 2013. 32
- Figura 8.** Altura de plantas durante o seu crescimento nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. São Manuel, SP, 2013. 33
- Figura 9.** Altura da primeira bifurcação (A) e diâmetro do caule a um centímetro acima da região da enxertia (B) em plantas de pimentão no dia 16/03/2013 nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (.....) e PEBD_c (-----). Na figura (B) $y=0,07x + 8,0233$ ($R^2=0,80$) para PEBD_c. *Valores médios para cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013. 33
- Figura 10.** Número de folhas (A) e de frutos (B) por unidade de área de plantas de pimentão no dia 16/03/2013 (1ª colheita) nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (.....) e PEBD_c (-----). Na figura (A) $y=-7,2887x + 552,06$ ($R^2=0,93$) para campo; $y=-6,361x+542,28$ ($R^2=0,94$) para PEBD_d e $y=-6,678x + 544,57$ ($R^2=0,99$) para PEBD_c. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo. São Manuel, SP, 2013. 34
- Figura 11.** Área foliar por planta de pimentão (A) e índice de área foliar (m^2 de folhas m^{-2} de solo) (B) no dia 16/03/2013 nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (.....) e PEBD_c (-----). Na figura (A) $y=47,684x + 2234,7$ ($R^2=0,99$) para PEBD_d e $y=52,647x + 1535,6$ ($R^2=0,99$) para PEBD_c. Na figura (B) $y=-0,0147x + 1,3167$ ($R^2=0,65$) para PEBD_d e $y=-0,01x + 1,0333$ ($R^2=0,69$) para PEBD_c. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013. 35
- Figura 12.** Superfície foliar específica (SFE) em folhas de pimentão e área foliar média de cada folha no dia 16/03/2013 nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos

ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na Figura (A) $y=0,0578x^2 - 4,9097x + 302,91$ ($R^2=0,84$) para PEBD_c. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013..... 35

Figura 13. Número de frutos (A) e massa de frutos (B) de pimentão por unidade de área das 12 primeiras semanas (colheita de 13/03/13 à 29/05/13) nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na figura (A) $y=0,0145x^2 - 1,2597x + 38,157$ ($R^2=0,99$) para PEBD_c. Na figura (B) $y=-0,0284x + 4,3266$ ($R^2=0,80$) para PEBD_d e $y=-0,402x + 4,1252$ ($R^2=0,78$) para PEBD_c. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013..... 36

Figura 14. Peso médio de frutos de pimentão das 12 primeiras semanas (colheita de 13/03/13 à 29/05/13) nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013..... 37

Figura 15. Número de frutos por unidade de área (m^2), classificados por comprimento e diâmetro (entre parênteses) em centímetros, nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na Figura (B) $y=0,0137x - 0,2617$ ($R^2=0,68$) para PEBD_c. Na Figura (E) $y=-0,0513x + 3,4867$ ($R^2=0,66$) para o ambiente campo. Na figura (F) $y=-0,218x + 16,14$ ($R^2=0,49$) para PEBD_c e $y=-0,1767 + 12,097$ ($R^2=0,67$) para PEBD_d. Na Figura (G) $y=-0,0049x^2 + 0,3607x - 5,03$ ($R^2=0,66$) para PEBD_d. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013..... 38

Figura 16. Massa de frutos por unidade de área ($g m^{-2}$), classificados por comprimento e diâmetro (entre parênteses) em centímetros, nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na Figura (F) $y=-41,295x + 3161,7$ ($R^2=0,47$) para PEBD_c e $y=-42,174x + 2804,2$ ($R^2=0,69$) para PEBD_d. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013..... 40

Figura 17. Massa média de frutos ($g \text{ fruto}^{-1}$), classificados por comprimento e diâmetro (entre parênteses) em centímetros, nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na Figura (F) $y=-0,374x + 235,86$ ($R^2=0,94$) para PEBD_d e na figura (G) $y=-1,7533x + 261,69$ ($R^2=0,98$) para o ambiente campo. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013..... 41

Figura 18. Número total de frutos por unidade de área (A), massa total de frutos por unidade de área (B), massa média de frutos (C) e espessura da parede dos frutos (D) nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: a campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Os dados de espessura da parede do fruto foram obtidos das

colheitas realizadas nos dias 13/03/13, 20/03/13 e 03/04/13. Na figura (A) $y=0,0484x^2 - 3,8159x + 93,409$ ($R^2=0,72$) para $PEBD_c$ e na figura (B) $y=-0,058x + 6,6733$ ($R^2=0,65$) para $PEBD_d$. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013. 43

Figura 19. Massa seca de folhas (A), de caule (B), de frutos (C) e total (D) por unidade de área, realizada no dia 16/03/2013, nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); $PEBD_d$ (·····) e $PEBD_c$ (-----). Na Figura (A) $y= -0,3413x + 44,41$ ($R^2=0,64$) para $PEBD_c$ e $y= -0,507x + 50,065$ ($R^2=0,61$) para $PEBD_d$. Na Figura (B) $y= -0,6047x + 60$ ($R^2=0,76$) para $PEBD_c$ e $y= -0,8677x + 69,755$ ($R^2=0,69$) para $PEBD_d$. Na Figura (C) $y= -2,3423x + 229,22$ ($R^2=0,63$) para $PEBD_c$, $y= -1,73x + 203,88$ ($R^2=0,53$) para $PEBD_d$ e $y= -1,5153x + 151,26$ ($R^2=0,59$) para campo. Na Figura (D) $y= -3,2883x + 333,63$ ($R^2=0,68$) para $PEBD_c$, $y= -3,1047x + 323,7$ ($R^2=0,64$) para $PEBD_d$ e $y= -2,1693x + 219,45$ ($R^2=0,56$) para campo. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013. 44

Figura 20. Fração da massa seca de folhas (A), de caule (B) e de frutos (C), avaliada no dia 16/03/2013, nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); $PEBD_d$ (·····) e $PEBD_c$ (-----). *Valores médios de cada ambiente. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013..... 45

Figura 21. Índice de clorofila (SPAD) obtido em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); $PEBD_d$ (·····) e $PEBD_c$ (-----). Na Figura (A) $y= 0,192x + 49,187$ ($R^2=0,56$) para $PEBD_d$. Na Figura (B) $y=0,143x + 50,352$ ($R^2=0,69$) para $PEBD_c$ e $y=0,175x + 48,562$ ($R^2=0,89$) para $PEBD_d$. Na Figura (C) $y= -0,0133x^2 + 1,0853x + 38,497$ ($R^2=0,83$) para $PEBD_d$ e $y=0,1243x + 63,605$ ($R^2=0,81$) para o ambiente campo. Na figura (D) $y=0,0897x + 69,205$ ($R^2=0,78$) para o ambiente campo. Na figura (E) $y= -0,0194x^2 + 1,5049x + 35,851$ ($R^2=0,83$) para $PEBD_c$. Na Figura (F) $y=0,077x + 60,398$ ($R^2=0,86$) para $PEBD_c$. Na figura (G) $y= -0,1643x + 64,158$ ($R^2=0,63$) para $PEBD_d$. *Valores médios de cada ambiente. ** Valores médios em cada espaçamento e ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013. 47

Figura 22. Taxa de assimilação de CO_2 (A) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); $PEBD_d$ (·····) e $PEBD_c$ (-----). Na figura (A) $y=0,025x^2 - 1,5708x + 37,308$ ($R^2=0,87$) para $PEBD_c$. Na figura (D) $y=0,012x^2 - 1,0429x + 33,476$ ($R^2=0,62$) para $PEBD_d$ e $y=0,2597x + 7,6783$ ($R^2=0,70$) para o ambiente campo. *Valores médios de cada ambiente. ** Valores médios em cada espaçamento e ambiente. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013..... 48

Figura 23. Taxa transpiratória (E) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); $PEBD_d$ (·····) e $PEBD_c$ (-----). Na figura (C) $y=0,0077x^2 - 0,566x + 17,077$ ($R^2=0,61$) para $PEBD_c$. *Valores médios de cada

- ambiente. ** Valores médios em cada espaçamento e ambiente. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013. 49
- Figura 24.** Condutância estomática (g_s) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na Figura (C) $y=0,0006x^2 - 0,0227x + 0,6263$ ($R^2=0,82$) para o ambiente PEBD_d. Na Figura (D) $y= -0,0003x^2 + 0,0246x - 0,3114$ ($R^2=0,65$) para o ambiente PEBD_c. *Valores médios de cada ambiente. ** Valores médios em cada espaçamento e ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013. 50
- Figura 25.** Concentração interna de CO₂ na folha (C_i) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). * Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013..... 51
- Figura 26.** Eficiência no uso da água (EUA) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); difusor (·····) e PEBD (-----). Na figura (C) $y=0,025x + 1,565$ ($R^2=0,61$) para o ambiente PEBD_c. * Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013. 52
- Figura 27.** Eficiência de carboxilação (A/C_i) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). *Valores médios de cada ambiente. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013. 53
- Figura 28.** Relação entre a superfície foliar específica e o índice de clorofila (SPAD) em folhas de pimentão..... 54
- Figura 29.** Relação entre área foliar e número de frutos por planta (A), diâmetro do caule (B), matéria fresca de frutos (C) e matéria seca de frutos (D) em plantas de pimentão realizada no dia 16/03/2013 por ocasião da primeira colheita. 55
- Figura 30.** Relação entre a radiação solar global (sete dias anteriores à leitura) e a taxa de assimilação de CO₂ (A), entre o produto da radiação solar global e a temperatura média (sete dias anteriores à leitura) e a taxa transpiratória (B), entre o produto da radiação solar global e a temperatura média (sete dias anteriores à leitura) e a condutância estomática (C) e entre a radiação solar global (três dias anteriores à leitura) e a eficiência e uso da água (D) em plantas de pimentão..... 56

PEBD DIFUSOR NAS CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E FISIOLÓGICAS DE PIMENTEIRO ENXERTADO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE PLANTAS.

Botucatu, 2013. 71 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura). Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Autor: MIGUEL ANGELO SANDRI

Orientadora: RUMY GOTO

Co-Orientador: ANTONIO RIBEIRO DA CUNHA

1 RESUMO

As condições ambientais são fundamentais para se produzir hortaliças com qualidade e com o uso do cultivo em ambiente protegido, passou-se a manejar o ambiente em favor da planta. Desde então, muitos produtores, no mundo todo, passaram a utilizar esta tecnologia, que possibilita a produção com maior qualidade e produtividade, o que tem sido atribuído em parte à maior quantidade de radiação solar difusa que ocorre neste ambiente. O polietileno de baixa densidade (PEBD), principal material utilizado na cobertura, transforma parte da radiação solar direta em difusa ao transmiti-la para o interior do ambiente. Esta radiação é considerada mais eficiente. Visando-se explorar melhor este benefício, a indústria desenvolveu o plástico difusor de luz, que tem como principal característica transformar a radiação solar direta em difusa ao transmiti-la para o interior do ambiente. No entanto, há poucos estudos com relação ao uso deste material, principalmente, quanto à transformação da radiação direta em radiação difusa e à densidade de plantas a ser utilizada. O objetivo deste trabalho foi avaliar algumas características fisiológicas e a produção de plantas de pimentão enxertado sob o plástico difusor de luz e em diferentes densidades de planta. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental de Pesquisa e Produção (FEPP) da UNESP/Botucatu em São Manuel – SP. Plantas de pimentão do híbrido Melina foram enxertadas sobre o porta-enxerto AF-8253 e foram transplantadas em três ambientes (PEBD comum (PEBD_c), PEBD difusor de luz (PEBD_d) e a campo) e três espaçamentos de plantas (1,50 m entre linhas e 20; 35 e 50 cm entre plantas). Os valores de transmissividade à radiação solar

global foram 56,0 e 73,3% para os ambientes PEBD difusor de luz e PEBD comum, respectivamente. Houve pequena redução na transmissividade à radiação fotossinteticamente ativa, comparada à global, com valores de 50,1 e 71,1% para os ambientes PEBD difusor de luz e PEBD comum, respectivamente. De acordo com os valores medidos após o término do experimento, enquanto no ambiente campo a fração difusa correspondeu a aproximadamente 25,8%, no ambiente PEBD comum foi de 55,3% e no ambiente PEBD difusor de luz foi de 96,5%. Os maiores valores de produção foram obtidos no ambiente PEBD comum e PEBD difusor de luz no espaçamento de 20 cm diferindo do ambiente campo. A espessura da parede dos frutos e a massa média de frutos foram maiores no ambiente PEBD difusor. Os valores do índice de clorofila (SPAD) foram maiores no ambiente campo, seguido pelo ambiente PEBD comum e foram inferiores no ambiente PEBD difusor de luz o que se deve, provavelmente, à intensidade de radiação solar recebida nestes ambientes a qual modificou a superfície foliar específica que foi menor no ambiente campo, intermediária no ambiente PEBD comum e maior no ambiente PEBD difusor. Com relação às trocas gasosas não foi observada diferença entre os ambientes e espaçamentos.

Palavras-chave: polietileno de baixa densidade (PEBD), *Capsicum annuum*, radiação solar difusa, PEBD difusor de luz, cultivo protegido, enxertia

LDPE LIGHT-DIFFUSER IN THE PRODUCTIVE AND PHISIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF GRAFTED SWEET PEPPER ACCORDING TO PLANT DENSITY. Botucatu, 2013. 71 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura). Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Author: MIGUEL ANGELO SANDRI

Adviser: RUMY GOTO

Co-adviser: ANTONIO RIBEIRO DA CUNHA

2 SUMMARY

Environmental conditions are fundamental to produce vegetables with quality. The use of protected cultivation, environment management has favored plants. Since then many growers worldwide have been utilizing this technology that enable production with better quality and yield which is partly due to the increase in diffuse solar radiation inside this environment. Low density polyethylene (LDPE), the main material utilized as cover, makes part of the direct solar radiation diffuse within the protected environment. This radiation is considered more efficient. Aiming to explore this benefit better, diffuse light plastic has been developed to transform great part of direct solar radiation into diffuse within a greenhouse. However, there are few studies related the use of this material, mainly regarding the transformation of direct solar radiation into diffuse, and regarding plant densities. The aim of this study was to evaluate some physiological characteristics of grafted sweet pepper plants inside light-diffuser plastic at different plant densities. The experiment was carried out at “Fazenda Experimental São Manuel” of FCA/UNESP in Botucatu-SP. Sweet pepper plants of Melina hybrid grafted on AF-8253 rootstock were utilized. Treatments consisted of three environments: one covered with common LDPE, another covered with light-diffuser LDPE, and the third one was an uncovered field production, and three spacings (150 cm between rows, and 20, 35 and 50 cm between plants). Values of global solar radiation transmissibility were 56.0 and 73.3% in light-diffuser LDPE and common LDPE, respectively. There was a small reduction in the transmissibility of photosynthetically active radiation compared to global radiation.

The values were 50.1 and 71.1% for light-diffuser LDPE and common LDPE, respectively. Values measured after the end of the experiment were close to 25.8% of diffuse radiation in the field, 55.3% in LDPE common and 96.5% in light-diffuser LDPE. Higher production values were obtained inside common LDPE and light-diffuser LDPE in 20-cm spacing that differ from field. The fruit wall thickness and the average fruit weight were higher in the diffuser LDPE environment. The values of chlorophyll index (SPAD) were higher in the field environment, followed by the common LDPE environment, and lower in the diffuser LDPE environment, probably due to the intensity of the solar radiation received inside these environments which modified the specific leaf area. It was lower in the field, intermediary in the common LDPE and higher in the LDPE diffuser environment. Regarding to the gas exchange, no differences were observed between environments and spacing.

Keywords: low density polyethylene (LDPE), *Capsicum annuum*, diffuse radiation, light-diffuser LDPE, protected cultivation, graft

3 INTRODUÇÃO

Um dos principais objetivos dos produtores de hortaliças para conseguir elevada produção com qualidade é fazer com que as condições ambientais se aproximem ao máximo àquelas consideradas ideais para cada cultura. Muitos produtores passaram então a utilizar tecnologias que vão ao encontro deste objetivo. Dentre estas, destaca-se a produção em ambiente protegido (GOTO & TIVELLI, 1998). Com o uso desta tecnologia, pela primeira vez na história, o produtor passou a modificar o ambiente em favor da planta, diminuindo, desta forma, as adversidades do clima (ANDRIOLO, 1999). Com isto, a expressão do potencial produtivo da cultura foi favorecida, visto que, em cultivo protegido, além da qualidade, a produção é maior que em ambientes que não utilizam esta tecnologia (CUNHA & ESCOBEDO, 2003). Muitas pesquisas têm sido feitas e muitos avanços têm sido obtidos quanto a utilização do ambiente protegido na produção de hortaliças e flores no mundo todo, principalmente, com relação aos materiais usados na cobertura, que passaram a ser desenvolvidos com características que visam favorecer cada vez mais a produção e a qualidade. Dentre estes materiais, os chamados difusores de luz vêm sendo apontados como promissores (DUECK et al., 2012; LI et al., 2014).

São vários os elementos do clima modificados por um ambiente protegido. Dentre estes, a radiação solar é considerada a mais importante, pois ela é a fonte de energia para todo processo produtivo da planta, sendo que, valores muito baixos ou muito altos prejudicam ou mesmo comprometem a produção. No entanto, as modificações causadas pela cobertura do ambiente protegido não são apenas quantitativas. No Brasil, o principal material utilizado para cobertura de ambientes protegidos é o polietileno de baixa densidade (PEBD). Este material modifica a radiação solar

qualitativamente também, transformando parte da radiação solar direta, que é unidirecional, em radiação solar difusa, que é multidirecional, embora não tenha sido desenvolvido para este objetivo (FARIAS et al., 1993; BURIOL et al., 1995). A radiação difusa é considerada mais eficiente e tem sido apontada como uma das responsáveis pela maior produção em cultivo protegido (HEMMING et al., 2008b).

Com relação ao ambiente, em dias ensolarados há predomínio de radiação solar direta. Nesta condição e, principalmente, quando o índice de área foliar é elevado, as folhas superiores do dossel, interceptam a maior parte da radiação solar, podendo inclusive terem sua fotossíntese prejudicada pelo excesso de luminosidade (HEMMING et al., 2008b). Já as folhas das camadas inferiores ficam sombreadas, recebendo uma quantidade muito pequena de radiação solar e contribuindo muito pouco com a fotossíntese da cultura. Numa condição de elevada radiação solar difusa as camadas intermediárias do dossel recebem maior quantidade de luz ocorrendo aumento na fotossíntese (LI et al., 2014). Segundo este mesmo autor, o ideal é que haja homogeneidade na distribuição da luz no dossel da cultura, tanto vertical quanto horizontal, evitando a saturação na parte superior do dossel e aumentando a fotossíntese nas camadas inferiores. A indústria, nos últimos anos, passou então a desenvolver e a testar materiais de cobertura como o PEBD difusor de luz, que transformam grande parte da radiação solar direta em difusa.

Se a radiação difusa distribui-se de forma mais homogênea, favorecendo as camadas inferiores do dossel vegetativo, então, pode-se inferir que utilizando-se o PEBD difusor de luz pode-se aumentar a densidade de plantio, através da utilização de menores espaçamentos entre plantas, visando obter ganhos de produtividade sem diminuir, ou mesmo com ganhos, na qualidade do produto. Em cultivo protegido com cobertura de PEBD comum no sul do Brasil, Streck et al. (1998) e Schwambach et al. (2002) obtiveram ganhos de produtividade para as culturas do tomate e do pepino, respectivamente, utilizando maiores densidades de plantas. No entanto, são poucas as pesquisas feitas envolvendo o uso do plástico difusor de luz em diferentes densidades de plantio.

Por tratar-se de uma tecnologia relativamente recente, faz-se necessária também a caracterização do PEBD difusor de luz, bem como a avaliação da utilização de menores espaçamentos entre plantas, a fim de que se possa recomendar com segurança o uso desta tecnologia na cultura do pimentão enxertado.

4 OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo avaliar o uso do polietileno de baixa densidade difusor de luz na produção e fisiologia do pimentão enxertado em diferentes espaçamentos.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Modificações causadas pelo ambiente protegido

O cultivo em ambiente protegido é uma técnica utilizada em grande escala em muitos países da Europa, Israel e Japão. No Brasil, a sua expansão ocorreu na década de 90 (SGANZERLA, 1997). As principais vantagens desse sistema de produção são a regularidade na produção e a oferta de produtos com maior qualidade, além do maior controle sobre a produção e a redução no uso de defensivos, devido à menor incidência de algumas doenças e pragas (ANDRIOLO, 1999). No Brasil, as informações geradas pela pesquisa dizem respeito, principalmente, ao uso do polietileno de baixa densidade comum, sendo poucas as informações quanto à utilização do polietileno difusor de luz.

O principal elemento meteorológico a variar em cultivo protegido é a radiação solar, sendo seus valores sempre inferiores ao ambiente externo devido à reflexão e absorção de parte da luminosidade pela cobertura. Os valores de transmissividade dependem das características do material de cobertura e sofrem variações ao longo do dia, sendo menores no início da manhã e máximos próximo ao meio dia (BURIOL et al., 1995). Segundo Farias et al. (1993), durante o decorrer do dia a maior transmissividade da cobertura plástica à radiação solar global ocorre das 14 às 16 horas. Já os menores valores ocorrem nos horários próximos ao nascer e pôr-do-sol, com 52% e 77% de transmissividade, respectivamente, com leituras às 8 e 17 horas. A transmissividade da cobertura varia também em função do ângulo de incidência da radiação solar.

Os materiais de cobertura comumente usados pelos produtores brasileiros absorvem e refletem em média 30% da radiação solar incidente, ou seja, a transmissividade da cobertura é de aproximadamente 70% (BURIOL et al., 1995; CAMACHO et al., 1995; SOUSA, 2002; CUNHA & ESCOBEDO, 2003; HORA 2006;). Esta característica poderia ser considerada desfavorável ao desenvolvimento das culturas, no entanto, não é o que se observa na prática, pois, a produtividade em cultivo protegido é superior àquela obtida no cultivo a campo (CUNHA & ESCOBEDO, 2003). Uma das razões para este desempenho está na fração difusa da radiação solar. A radiação difusa em cultivo protegido utilizando-se PEBD comum é superior àquela obtida a campo. Em dias com céu límpido, 45% da radiação solar global interna ao ambiente protegido com PEBD comum corresponde à radiação difusa, segundo Farias et al. (1993). Já a campo é de apenas 24%, evidenciando o efeito dispersante da cobertura. O fato de que significativa parte da radiação solar é transmitida na forma de radiação difusa, mostra o efeito do plástico modificando a radiação solar.

Outra variável que sofre mudanças é a temperatura do ar. Para que uma cultura consiga se desenvolver e expressar o seu potencial máximo produtivo é necessário que a temperatura esteja dentro da faixa ideal. Temperaturas abaixo ou acima àquelas consideradas ótimas reduzem a produtividade e quando atingem valores extremos podem ocorrer danos irreversíveis como abortamento de frutos, danos por frio e paralisação do crescimento, entre outros (GOTO & TIVELLI, 1998).

Em cultivo protegido o manejo deve ser feito buscando-se manter a temperatura próxima àquela considerada ideal para cada espécie. Quando os ambientes são parcialmente modificados as maiores mudanças de temperaturas ocorrem no período mais quente do dia afetando as temperaturas máximas. Cunha & Escobedo (2003), estudando as modificações que ocorrem em cultivo protegido, demonstraram que a temperatura máxima diária é superior ao ambiente externo, enquanto que a temperatura média difere muito pouco entre o ambiente protegido e o ambiente externo. Buriol et al. (1993) constataram que o efeito do ambiente protegido sobre as temperaturas mínimas é pequeno e que se deve, principalmente, às trocas de energia entre o ambiente externo e interno.

A umidade relativa do ar, que influencia na transpiração das culturas, também é modificada com o uso de ambientes protegidos. Os valores de umidade relativa do ar são muito variáveis e, geralmente, inversos à temperatura do ar, sendo

menores durante o dia e maiores à noite (CUNHA, 2001). Em períodos do ano de baixa umidade do ar, muitos produtores utilizam nebulização ou microaspersão de água no ambiente a fim de elevar a umidade do ar e diminuir a temperatura mantendo-as próximas daquelas recomendadas para a cultura.

O manejo do ambiente protegido deve sempre ir ao encontro às exigências de cada cultura para que esta possa expressar o seu potencial produtivo. A cultura do pimentão é exigente em temperatura, umidade e luminosidade, logo, o cultivo da mesma em ambiente protegido interfere no seu crescimento e desenvolvimento.

5.2 Relação entre radiação solar e fotossíntese

Dentre os elementos do ambiente modificados em cultivo protegido deve-se destacar a radiação solar, pois a obtenção de elevados rendimentos neste sistema de cultivo está relacionada a níveis adequados de luminosidade. Em condições ideais de cultivo, a fotossíntese de uma cultura depende diretamente da radiação solar, da concentração de CO₂ do ambiente, sendo influenciada pela temperatura e pelo déficit de saturação do ar (ANDRIOLO, 1999). De toda radiação solar que chega à superfície terrestre, somente aquela que está dentro do chamado espectro visível (400 - 700 nanômetros), mais especificamente a luz azul e vermelha, são utilizadas no processo fotossintético. Esta é conhecida como radiação fotossinteticamente ativa e representa aproximadamente 50% da radiação solar global.

A curva de resposta da fotossíntese à radiação solar fotossinteticamente ativa em uma folha da planta é do tipo exponencial com maior eficiência fotossintética na fase inicial, a qual vai diminuindo com o aumento da luminosidade até atingir a saturação, onde a fotossíntese mantém-se constante mesmo sob elevados valores de radiação solar (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Em uma planta, a eficiência fotossintética depende, entre outros fatores, da capacidade da planta em interceptar a radiação solar e após converter em fotoassimilados. Para um dossel vegetativo, a interceptação da radiação solar pode ser estimada através da lei de Beer-Lambert, que segue um modelo tipo exponencial (MONSI & SAEKI, 2005), onde o topo da cultura recebe a maior radiação incidente a qual decresce exponencialmente com o acúmulo de área foliar.

A taxa fotossintética está também relacionada à intensidade luminosa. Valores de radiação solar abaixo ou acima da faixa ideal para cada cultura diminuem o processo fotossintético e a produtividade das culturas. Para hortaliças de verão e em ambientes sem calefação, considera-se como limite trófico o valor de $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, que corresponde à radiação solar abaixo da qual a planta não consegue produzir assimilados suficientes para manter suas estruturas vivas (FAO, 2002). Se essa limitação ocorrer por dias seguidos, a planta pode entrar em senescência passando a priorizar a translocação de assimilados para os frutos como forma de perpetuar a espécie (ANDRIOLO, 2000).

Valores de radiação solar acima de $20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ também diminuem a fotossíntese, o que se deve a um efeito combinado entre radiação solar e temperatura que atuam elevando a respiração e a fotorespiração da planta, entre outros processos fisiológicos (ANDRIOLO, 2000). Em termos práticos, quando se trabalha em ambientes parcialmente modificados consegue-se manejar apenas o excesso de radiação nos períodos mais quentes do ano, através do uso de telas de sombreamento, prática comum entre os produtores durante o período de verão e que atua também na redução da temperatura.

Esta relação entre a radiação solar e o crescimento de uma planta, no entanto, não se deve somente à intensidade de luminosidade, mas também à sua geometria. Neste aspecto, a radiação solar pode apresentar-se de duas formas: a primeira delas é conhecida como radiação solar direta e ocorre em dias de céu límpido e a sua principal característica é ser unidirecional; a segunda é conhecida como radiação solar difusa, tem como principal característica ser multidirecional e ocorre, principalmente, em dias nublados. A principal diferença entre a radiação solar direta e difusa está na sua capacidade de penetração no dossel da cultura com vantagens para a radiação difusa que consegue iluminar melhor as camadas inferiores de folhas das plantas e aumentar a fotossíntese de toda a planta (RODERICK et al., 2001; LI et al., 2014).

A fotossíntese na cultura passa então a depender, não apenas da intensidade de radiação solar incidente, mas também da sua capacidade de penetração no dossel vegetativo. Pettersen et al. (2010) demonstraram que quando as camadas inferiores de um dossel vegetativo de plantas de pepino recebem maior luminosidade ocorre aumento na fotossíntese líquida e na capacidade fotossintética com aumento de 11% na produtividade.

Do ponto de vista de uma cultura tutorada, como o pimentão, a radiação difusa pode ser mais eficiente que a radiação direta, pois ocorre maior homogeneidade na sua distribuição e, conseqüentemente, maior é a taxa fotossintética na planta.

5.3 Influência da radiação solar difusa na fotossíntese das plantas

Medições de radiação solar difusa são feitas em proporções bem menores que a radiação solar global e informações quanto a sua relação com a fotossíntese das culturas são mais escassas ainda (KANNIAH et al., 2012). Os estudos encontrados, no entanto, indicam a maior eficiência desta radiação (MERCADO et al., 2009). Em florestas caducifólias, constatou-se que o aumento na radiação solar difusa, causado pela grande quantidade de aerossóis despejados na atmosfera, após a erupção do vulcão Pinatubo em 1991 nas Filipinas, aumentou a fotossíntese em 23% e 8% nos anos de 1992 e 1993, respectivamente, em dias de céu límpido, contribuindo temporariamente para uma diminuição na taxa de crescimento do dióxido de carbono atmosférico através do aumento no dreno de carbono na superfície terrestre (GU et al., 2003).

No cultivo em ambiente protegido a fração difusa é maior trazendo benefícios às hortaliças. Diante disso, a indústria vem desenvolvendo materiais para cobertura com maior poder dispersivo da radiação solar. Dentre estes, o PEBD difusor de luz, transforma grande parte de radiação solar direta em difusa. Na prática, o que se observa, é a maior eficiência da radiação solar difusa, medida através do uso e eficiência da luz (GU et al., 2003). A explicação para esta maior eficiência pode ser observada quando são comparadas duas folhas que recebem metade da radiação solar, a outras duas nas quais a primeira recebe a radiação solar integral e a segunda fica sombreada. Na situação onde uma folha recebe toda radiação solar e a outra está sombreada, ocorre a saturação por luz em uma folha (folha iluminada) e a outra tem sua fotossíntese limitada pela pouca luminosidade recebida devido ao sombreamento. Já na outra situação, onde duas folhas recebem metade da radiação solar, isto não ocorre, pois ambas as folhas recebem luz na faixa não saturante aumentando assim a eficiência fotossintética (GU et al., 2003). Isto ocorre porque a resposta da fotossíntese à radiação solar não é do tipo linear e sim exponencial.

O que se observa, num dossel vegetativo, é que as folhas superiores do mesmo, atingem a saturação com valores elevados de radiação solar direta, enquanto as folhas inferiores (sombreadas) tem sua fotossíntese limitada devido à menor luminosidade recebida (KANNIAH et al., 2012).

Na atmosfera terrestre tem-se observado nos últimos anos redução na radiação solar devido, principalmente, à emissão de gases poluentes. No entanto, esta redução tem sido acompanhada por um aumento na radiação solar difusa que aumenta a produção das culturas devido ao maior uso e eficiência da luz, também conhecido como efeito da fertilização difusa (MERCADO et al., 2009; KANNIAH et al., 2012).

5.4 Benefícios da radiação difusa

A radiação solar difusa atua na planta através de um aumento na fotossíntese da planta toda (JONGSCHAAP et al., 2006), proporcionando maior produção (DUECK et al., 2012). Segundo estes mesmos autores, em tomate, a planta transfere maior quantidade de fotoassimilados para os frutos, favorecendo assim a fração generativa, sendo que, a principal razão pelo aumento da produção é a massa individual dos frutos que é maior quando se utiliza na cobertura materiais que são difusores de luz. Em pimentão, a produção pode ser potencialmente aumentada em 5-6% durante os meses de verão devido ao uso de materiais de cobertura difusores de luz (HEMMING et al., 2006).

Estes aumentos na produção estão relacionados à distribuição da luz no dossel da cultura, tanto horizontalmente, quanto verticalmente e se devem também, aos ganhos obtidos devido a maior atividade fotossintética na parte intermediária do dossel e do maior índice de área foliar (LI et al., 2014). Os benefícios ocorrem devido a uma redução no efeito da saturação das folhas superiores e aumento na taxa fotossintética nas camadas inferiores do dossel (JONGSCHAAP et al., 2006). Em pepino, a luz difusa é melhor absorvida nas camadas intermediárias de folhas do dossel, o que resulta em maior fotossíntese (HEMMING et al., 2008b).

Outro benefício observado é que em ambientes com cobertura de materiais difusores ocorre redução na temperatura da folha, principalmente,

na parte superior do dossel, proporcionando condições apropriadas para a fotossíntese (HEMMING et al., 2008b).

Com relação à época do ano, Jongschaap et al. (2006) constataram que em regiões com maior latitude os benefícios de materiais de cobertura com propriedades difusivas na fotossíntese ocorrem, principalmente, no verão. Quando a produção ocorre no decorrer do ano todo, os ganhos em produção podem chegar a 11% (DUECK et al., 2012). Na produção de rosas, a utilização de materiais de cobertura difusores e com revestimento anti-reflexão teve influência positiva na produção com aumento de 5,2% no número de flores e 6,1% na massa fresca (VICTORIA et al., 2012).

Segundo Hemming (2008a), em elevados níveis de radiação solar, ambientes protegidos cobertos com materiais com propriedades difusoras resultam em melhor distribuição da luz, menor temperatura da cultura, redução na transpiração e no aumento da fotossíntese e crescimento.

5.5 Características dos principais materiais usados na cobertura das estufas

Existe no mercado uma diversidade muito grande de materiais que podem ser usados na cobertura das estufas (BAEZA & LÓPEZ, 2012). As coberturas térmicas de estufas são filmes plásticos que bloqueiam a radiação infravermelha, reduzindo o risco de danos por frio quando a estufa não é aquecida. Os filmes chamados fluorescentes modificam a qualidade da radiação solar e seu espectro de distribuição no ultravioleta e no espectro visível, absorvendo menos radiação útil à planta e reemitindo em outro comprimento de onda útil para fotossíntese (azul e vermelho), que podem aumentar a produtividade e a qualidade. Os materiais foto-seletivos de radiação UV atuam pelo bloqueio na transmissão da radiação UV (280 – 400 nm) no interior da estufa, reduzindo a incidência de insetos vetores como pulgões, mosca branca e tripses.

Segundo Shahak (2008), telas pretas reduzem a quantidade de luz nas plantas, mas não afeta a qualidade da luz, não modificando o espectro de absorção nem a difusividade do material. Telas transparentes dispersam a luz transmitida através delas, mas não alteram a composição do espectro.

Shahak (2008) coloca ainda as regiões do espectro que são absorvidas e transmitidas por cada tipo de tela. A tela azul absorve nas faixas do ultravioleta, amarelo, vermelho e vermelho distante, transmitindo nas faixas do azul e do

verde. A tela vermelha absorve nas faixas do ultravioleta, azul e verde, e transmitem nas faixas do vermelho e do vermelho distante. A tela amarela absorve nas faixas do ultravioleta e azul, e transmitem nas faixas do verde, amarelo, vermelho e vermelho distante. A tela branca absorve na faixa do ultravioleta, e transmite nas faixas do azul, verde, amarelo, vermelho e vermelho distante. A tela de cor perola tem o mesmo comportamento da tela branca. As telas de cor cinza e preta atuam absorvendo todas as faixas do espectro.

A vantagem do uso do polietileno de baixa densidade difusor de luz como material de cobertura em comparação à outros materiais, é que este transforma a radiação solar direta em radiação difusa sem alterar o espectro visível. Segundo Healy et al. (1998) o uso e eficiência da radiação aumenta quando a componente difusa da radiação incidente é aumentada. A radiação difusa consegue penetrar melhor no dossel, iluminando as camadas de folhas inferiores e aumentando a fotossíntese (Li et al., 2014).

5.6 Exigências climáticas da cultura do pimentão e manejo em cultivo protegido

Originário das regiões tropicais e temperadas da América, o pimentão (*Capsicum annuum*) pertence à família botânica Solanaceae. Fazem parte do gênero *Capsicum*, além dos pimentões, as pimentas, compreendendo mais de 20 espécies que apresentam grande diversidade genética (REIFSCHNEIDER, 2000). O *Capsicum annuum* consiste numa das principais culturas produzidas em ambiente protegido e por ser de origem tropical não tolera frio e geadas (GOTO & TIVELLI, 1998).

Devido às suas exigências, principalmente em temperatura, essa cultura adaptou-se bem ao cultivo em ambiente protegido (GOTO & TIVELLI, 1998). Segundo Almeida (2006), as temperaturas ótimas na fase vegetativa ficam na faixa de 20 a 25°C durante o dia e 16 a 18°C durante a noite. Na floração, a temperatura ótima é 25°C, com mínima de 18°C e máxima de 35°C. Abaixo de 10°C ocorrem danos por frio e para a germinação a temperatura ótima é 25°C. É também uma cultura exigente em intensidade luminosa.

O ciclo da cultura pode variar entre os produtores, dependendo, principalmente, do manejo adotado e das condições climáticas. O período compreendido entre o transplante e a colheita é de 80 a 100 dias, dependendo das

condições climáticas e do material utilizado. Da antese até a colheita de frutos imaturos são necessárias de 2 a 3 semanas, momento em que o fruto inicia a maturação fisiológica. Para a colheita de frutos maduros são necessárias mais quatro semanas. Na região Sudeste do Brasil, muitos produtores utilizam a técnica da enxertia sobre porta-enxerto resistente a doenças e/ou pragas e com isso têm obtido maior longevidade da cultura, estendendo o período de colheita por 12 meses ou mais, o que não é possível de ser feito quando o cultivo é feito a campo e sem enxertia (GOTO, 2003).

O pimentão possui hábito de crescimento indeterminado, ou seja, após o início da floração e frutificação a planta continua crescendo e desenvolvendo. Em função dessa característica há a necessidade de adubação contínua durante o seu ciclo. No entanto, deve-se ter cuidado com o excesso de nutrientes, pois as plantas de pimentão não toleram a salinidade do solo (ALMEIDA, 2006). O nível crítico, que corresponde à máxima salinidade do solo sem quebra na produção é de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$.

A cultura é conduzida no sistema tutorado e segundo Tivelli (1999) podem ser utilizados os sistemas de fila simples em “V” ou em espaldeira simples, ou ainda, o sistema de filas duplas conduzindo-se as plantas em espaldeira dupla. Recomenda-se como práticas culturais a retirada das brotações abaixo da primeira bifurcação e a retirada da primeira flor. Estas práticas têm por objetivo proporcionar melhor desenvolvimento inicial da cultura antes de fixar os primeiros frutos que são drenos para a planta.

Por ser uma cultura tutorada e podendo atingir elevados valores de índice de área foliar (IAF), o pimentão pode beneficiar-se com a utilização do PEED difusor de luz na cobertura dos ambientes protegidos.

5.7 A enxertia na cultura do pimentão em cultivo protegido

Outra técnica utilizada na produção de pimentão em cultivo protegido e que tem trazido benefícios ao produtor é a enxertia. A enxertia em hortaliças originou-se no Japão e na Coréia. Há relatos de sua prática no Japão desde 1921 e seu uso está relacionado, principalmente, ao controle de patógenos de solo (GOTO et al., 2003). Segundo estes mesmos autores, as principais vantagens da enxertia em hortaliças são: resistência a patógenos de solo e nematóides, maior absorção de nutrientes, resistência à

falta de água, resistência à salinidade do solo e melhor desenvolvimento da cultura em baixas temperaturas.

Esta técnica é muito empregada em países como Japão, Holanda e Espanha, sendo usada, principalmente, em cucurbitáceas e solanáceas (GOTO et al., 2003). No Brasil, é crescente o uso de mudas enxertadas em culturas como o pimentão pelos produtores que utilizam ambiente protegido.

Como principais benefícios estão os ganhos em produtividade e qualidade, devido, principalmente, à maior longevidade da cultura, dada sua maior resistência aos patógenos de solo. Em cultivo protegido, o uso do solo é intensivo com cultivos sucessivos, sendo inviável ao produtor a rotação de culturas ou de áreas. A enxertia tornou-se então uma boa estratégia e trouxe maior segurança aos produtores.

Na cultura do pimentão, o desenvolvimento de uma planta enxertada difere ao de uma planta não enxertada, indicando a necessidade de manejo diferenciado. No entanto, são poucos os estudos que buscam caracterizar o desempenho dessa cultura em ambiente protegido, especialmente, utilizando o PEBD difusor de luz, bem como, as interações entre diferentes ambientes e densidades de plantas.

5.8 Densidade de plantas

A interceptação da radiação solar pelas folhas de uma planta consiste no primeiro passo do processo fotossintético. A unidade usada como referência numa cultura é o IAF, que corresponde a área de folhas contida em um metro quadrado de solo. O IAF ótimo de uma cultura sofre influência de características intrínsecas da espécie, como por exemplo, a arquitetura da planta e a disposição das folhas. Em ambientes com a mesma intensidade de radiação, mas variando radiação direta e difusa, sob radiação difusa há aumento no IAF (LI et al., 2014). Como há uma diminuição do autossombreamento com o uso de materiais de cobertura difusores de luz o IAF ótimo para cada cultura deve aumentar.

Segundo Andriolo (1999), a interceptação da radiação solar pelas folhas de uma cultura tutorada ocorre segundo modelo tipo exponencial. A maior parte da radiação solar é interceptada pelas folhas superiores, ocorrendo decréscimo exponencial na quantidade de radiação com o acúmulo de área foliar no interior do dossel

da cultura. Este mesmo autor coloca ainda que em cultivos muito adensados as folhas inferiores podem funcionar como drenos da planta, além de servir de fonte de inóculo para doenças.

Para o tomateiro, o valor de IAF ótimo está determinado. Nesta cultura, a interceptação da radiação não responde ao aumento de área foliar quando o IAF ultrapassa o valor de aproximadamente 3,5 (ANDRIOLO, 1999). Do ponto de vista aplicado, esta informação dá suporte à prática do desfolhamento nessa cultura. Já o pimentão, apresenta eficiência fotossintética menor que o tomateiro e em função disso, deve-se ter cuidado antes de recomendar-se o desfolhamento.

Um fator que interfere diretamente no IAF da cultura é a densidade de plantas. A densidade ideal é aquela necessária para atingir o IAF ótimo, pois, nesta condição, consegue-se interceptar o máximo de radiação útil à fotossíntese (ANDRIOLO, 1999). Quando se utiliza o PEBD difusor de luz, as propriedades da radiação solar mudam, pois a fração difusa é maior. Existe, portanto, a necessidade de estudos mais aprofundados a fim de orientar os produtores de pimentão com relação ao manejo adequado da cultura em cultivo protegido quando são utilizados materiais de cobertura que aumentam a fração difusa da radiação solar.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Características gerais do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental de Pesquisa e Produção (FEPP) da UNESP/Botucatu em São Manuel – SP, com coordenadas geográficas de 22°46'33'' de latitude sul e 48°34'07'' de longitude oeste. As plantas de pimentão foram conduzidas em três ambientes: um a campo e outros dois em cultivo protegido. A instalação dos plásticos nas estruturas ocorreu no mês de outubro de 2012. As estruturas eram feitas em aço galvanizado com dimensões de 7 x 25 m, cobertura em arco e sentido da cumeeira norte-sul. A cobertura plástica foi feita com PEBD de 150 micras de espessura sendo que uma das estruturas foi utilizado plástico comum e na outra plástico difusor de luz com aditivo anti-virus. A campo o ensaio foi montado com as mesmas dimensões utilizadas nos abrigos.

Os níveis de infestação de pragas e incidência de doenças foram verificados e assim que foi constatada a presença na cultura, os tratamentos fitossanitários foram iniciados para o controle.

6.2 Análise e preparo do solo

Foram coletadas 15 subamostras de solo na profundidade de 20 cm em cada área, homogeneizadas, colocadas para secar e após foram encaminhadas para laboratório para realização de análise química da sua fertilidade. Os resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Resultado da análise química de solo com os níveis de macronutrientes nas áreas correspondentes aos ambientes: campo, PEBD difusor de luz e PEBD comum. São Manuel, SP, 2012.

Amostra	pH	M.O. CaCl ₂ g/dm ³	P _{resina} mg/dm ³	Al ³⁺ -----mmol _c /dm ³ -----	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
Campo	6,2	13	77	---	10	1,4	31	11	43	53	81
Difusor	6,1	27	45	---	11	1,7	30	7	39	51	77
PEBD	6,5	13	101	---	9	2,1	42	8	51	61	85

PEBD: polietileno de baixa densidade

Tabela 2. Níveis de micronutrientes nas áreas correspondentes aos ambientes: campo, PEBD difusor de luz e PEBD comum. São Manuel, SP, 2012.

Amostra	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
	-----mg/dm ³ -----				
Campo	0,26	0,9	13	10,5	4,8
Difusor	0,28	1,2	19	17,1	5,5
PEBD	0,27	1,2	14	9,9	7,0

PEBD: polietileno de baixa densidade

A fim de equilibrar a fertilidade nas três áreas do experimento realizou-se adubação de correção do solo nas áreas a campo e PEBD difusor de luz, onde a fertilidade estava mais baixa, buscando igualar ao ambiente PEBD comum. Foram aplicados antes do preparo do solo 5,50 e 12,82 kg de P₂O₅ nas áreas PEBD difusor de luz e a campo, respectivamente. O solo foi adubado também com potássio, sendo utilizados 0,75 e 1,31 kg de K₂O, respectivamente, nas áreas PEBD difusor de luz e a campo. As fontes utilizadas para suprir a necessidade de adubação do solo foram superfostato simples e cloreto de potássio. Aplicou-se também adubação orgânica utilizando-se provaso® na quantidade de 3 kg m⁻². O provaso® é um adubo orgânico produzido a partir do esterco de galinha. Trata-se de um fertilizante orgânico composto bioestabilizado. Rico em matéria orgânica, desenvolvido para reestruturação do solo para diversas culturas.

O preparo do solo consistiu-se no revolvimento do mesmo através do uso de uma enxada rotativa, sendo confeccionadas leiras de 50 cm de largura e 15 cm de altura no sentido longitudinal da estufa, distanciadas 1,5 m entre elas, totalizando cinco leiras por ambiente.

Foi instalado *mulching* de 50 micras de espessura e de coloração preta sobre cada leira, a fim de manter a umidade do solo e evitar o crescimento de plantas daninhas.

6.3 Semeadura e transplante

Foi utilizado o híbrido Melina enxertado sobre o porta-enxerto AF-8253. As mudas foram produzidas na empresa Sakata Seed Sudamerica Ltda., no município de Bragança Paulista - SP, sendo a semeadura do porta-enxerto realizada no dia 05/10/12, e a do híbrido Melina, usado como enxerto, no dia 16/10/12, ambas em bandejas de plástico de 162 células contendo substrato comercial. A enxertia, pelo método de fenda-cheia, foi realizada no dia 07/12/12. Após, as plantas foram colocadas em câmara úmida e com o passar dos dias foram aclimatadas até retornarem à estufa de produção de mudas. No dia 26/12/12 as mudas foram transplantadas na área do experimento nos espaçamentos definidos, conforme os tratamentos.

6.4 Tratamentos

Os tratamentos foram formados por três ambientes (campo, PEBD comum (PEBD_c) e PEBD difusor de luz (PEBD_d)) e três densidades de plantas (1,50 m entre linhas e 0,20; 0,35 e 0,50 m entre plantas, correspondendo respectivamente às densidades de 33.333, 19.047 e 13.333 plantas ha⁻¹). O PEBD_c possuía 150 micras de espessura e o PEBD_d possuía 150 micras de espessura e além de ser difusor tinha a característica de ser antivírus.

Em cada ambiente foram implantadas cinco linhas de cultivos com espaçamento de 1,5 m entre as mesmas no sentido longitudinal da estufa. No campo, também procedeu-se desta forma. Foram consideradas úteis apenas as três linhas centrais, sendo que, cada parcela correspondeu a uma linha de seis metros de comprimento. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, num fatorial de 3x3, com quatro repetições por ambiente. O bloco foi formado por três linhas centrais de seis metros de comprimento localizadas uma ao lado da outra.

6.5 Irrigação e fertirrigação

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento com espaçamento de 20 cm entre os emissores. Foram instaladas duas mangueiras de gotejamento, uma em cada lado da linha de cultivo a dez centímetros de distância das plantas. Durante o desenvolvimento da cultura foram feitas fertirrigações semanais de acordo com a curva de absorção apresentada por Trani et al. (2011), sendo os nutrientes injetados através do sistema de injeção de nutrientes Venturi. Foi medida a condutividade elétrica (EC) da solução do solo utilizando-se extratores a vácuo na profundidade de 20 cm e seus valores serviram para decidir a necessidade de realizar-se fertirrigação. Considerou-se o limite superior de $1,5 \text{ mS cm}^{-1}$ e o inferior de $0,5 \text{ mS cm}^{-1}$. A injeção de nutrientes iniciava-se logo após a pressurização do sistema por um período de 15 minutos. Após deixava-se irrigando por 11 minutos a fim de fazer-se a limpeza das mangueiras de gotejamento de resíduos de nutrientes.

Durante os 206 dias de ciclo da cultura foram aplicados via fertirrigação: 50,5 kg de sulfato de potássio, 51,7 kg de nitrato de cálcio, 9,5 kg de nitrato de amônio, 27,2 kg de MAP, 43,9 kg de sulfato de magnésio, 8,8 kg de sulfato de zinco e 6,3 kg de ácido bórico. A quantidade de nutrientes gasta no ciclo foi 13,8 kg de N, 7,1 kg de P, 20,9 kg de K, 9,8 kg de Ca, 4,2 kg de Mg, 0,97 kg de Zn e 1,1 kg de B.

6.6 Condução da cultura

As plantas foram conduzidas em linha simples no sistema em “V”. A condução foi feita através de fitilhos colocados no sentido horizontal e as hastes das plantas foram presas a estes com o auxílio de alceador. As brotações inferiores à primeira bifurcação do caule foram eliminadas, bem como o primeiro botão floral, a fim de proporcionar melhor desenvolvimento inicial da cultura e maior produção final.

6.7 Monitoramento do ambiente

Durante o desenvolvimento da cultura foram feitas medições de radiação solar global, radiação fotossinteticamente ativa, temperatura do ar e umidade relativa do ar nos diferentes ambientes. Essas medidas foram feitas por meio de sensores instalados a 2 m de altura e ligados a um *datalogger* modelo CR23X (Campbell Scientific,

Inc.). Os dados foram medidos a cada cinco segundos, sendo registrada a média dos valores a cada 10 minutos, sendo armazenados em módulo externo. A cada 15 dias os dados eram descarregados em microcomputador.

De 27/05 à 23/07/2014 foram feitas medidas de radiação solar difusa. Para fazer estas medidas foram utilizados seis sensores de radiação solar global – dois em cada ambiente. Um dos sensores mediu a radiação solar global incidente e o outro foi sombreado por um anel de sombreamento com 6 cm de largura e 60 cm de diâmetro em cada ambiente avaliado. O anel foi inclinado na direção norte no ângulo da latitude local. Semanalmente o sensor era ajustado para permanecer no centro da sombra movimentando-se a base do mesmo. O modelo de estrutura utilizada no experimento é semelhante à descrita por Melo (1993).

Como o anel sombreia também parte da radiação solar difusa, foi necessária a utilização de um fator de correção. Neste trabalho utilizou-se o fator de correção sugerido por Drummond (1956) apud Melo (1993).

6.8 Avaliações realizadas

Por ocasião da primeira colheita foram feitas medidas de massa fresca e seca total de folhas, caule e frutos, área foliar, altura da primeira bifurcação, diâmetro do caule, número de frutos e folhas. A área foliar foi medida com o auxílio do equipamento area meter. Calculou-se a superfície foliar específica (SFE) dividindo-se a massa seca de folhas pela respectiva área foliar. Calculou-se ainda as frações da matéria seca de caule, folhas e frutos. Para determinação da matéria seca, as amostras foram colocadas em estufa de secagem à temperatura de 60 °C até atingir massa constante. Foram feitas a cada 15 dias medidas de altura de plantas. Quando os frutos apresentaram 50 a 60% da sua superfície madura foram colhidos, classificados, contados e pesados.

A classificação dos frutos foi realizada conforme o proposto pelo Instituto Brasileiro de Qualidade em Horticultura de acordo com o grupo, subgrupo, classe, subclasse, defeitos graves, defeitos leves (PIMENTÃO, 2010). O híbrido Melina é classificado quanto ao grupo em retangular e quanto ao subgrupo em vermelho. A classificação usada para classe foi de acordo com o comprimento dos frutos, sendo esta: 4 (4<6 cm); 6 (6<8 cm); 8 (8<10 cm); 10 (10<12 cm); 12 (12<15 cm); 15 (15<18 cm); 18 (18<21 cm); 21 (21<24 cm) e 24 (24<27 cm). Quanto à subclasse os frutos foram

classificados de acordo com o seu diâmetro: 4 (4<6 cm); 6 (6<8 cm); 8 (8<10 cm) e 10 (10<12 cm). Como o número de frutos com defeitos foi desprezível, os dados dos mesmos não são apresentados.

Durante o desenvolvimento da cultura foram feitas quatro medições da taxa assimilatória de CO₂ através do aparelho IRGA (LI-COR, modelo LI-6400) com leituras em dias de céu límpido, no período da manhã das 09h00min às 11h00min. As medidas foram feitas em uma planta útil de cada parcela, tendo-se o cuidado de amostrar folhas totalmente expandidas e no mesmo estágio de desenvolvimento. O IRGA (Infra Red Gas Analyser) é um equipamento de sistema aberto de fotossíntese, possuindo analisador de CO₂ e vapor d'água por radiação infravermelha.

Foram avaliadas: taxa de assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol vapor d'água m}^{-2}\text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO₂ na folha (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}\text{ar}$). O programa de análise de dados do equipamento calculou estas variáveis utilizando a equação geral de trocas gasosas de Von Caemmerer e Farquhar (1981).

Seguiu-se a descrição de Zhang et al. (2001) para calcular a eficiência do uso da água (EUA , $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) a qual foi determinada pela relação entre a taxa de assimilação de CO₂ e a taxa de transpiração (A/E). Para o cálculo da eficiência instantânea de carboxilação da enzima ribulose 1,5-difosfato carboxilase (Rubisco) foi estabelecida uma relação da taxa de assimilação de CO₂ e a concentração interna de CO₂ na folha (A/C_i).

Quando as plantas estavam em pleno estágio reprodutivo, selecionou-se 120 folhas em diferentes plantas no espaçamento de 35 cm entre plantas, das quais foram feitas quatro leituras do índice SPAD (Soil Plant Analysis Development) de cada folha, medidas através do aparelho clorofilômetro da Minolta, e registrou-se a média das leituras. As mesmas folhas foram retiradas das plantas e levadas ao laboratório, onde foi realizada medida de área foliar e matéria seca de cada folha individualmente. Posteriormente calculou-se a SFE. Foi estabelecida uma relação entre os valores do índice SPAD e da superfície foliar específica.

Foi realizada também a determinação de vitamina C expressa em miligramas de ácido ascórbico por 100 mg de amostra, seguindo-se a metodologia de Brasil (2005). Para esta análise foram coletadas amostras de dois frutos de pimentão, estando os frutos no ponto de colheita (50% do fruto de coloração vermelha).

Os dados de produção, representados pela soma das colheitas, foram divididos em duas partes. Na primeira consideraram-se os frutos colhidos até a 12ª semana, que correspondeu à primeira floração e na segunda, os dados totais de produção. Realizou-se esta análise diferenciada porque após a primeira fixação e crescimento dos frutos houve inibição dos meristemas apicais nas plantas e aborto de flores, sendo que, a planta retomou seu crescimento e passou a fixar mais frutos somente após a colheita de boa parte dos frutos da primeira floração. Observou-se claramente nas plantas duas fases: uma primeira que correspondeu às 12 primeiras semanas de colheita (29/05/2013), e a segunda fase, com 7 semanas após este período, num total de 19 semanas de colheita.

Realizou-se a análise conjunta do experimento e verificou-se a interação entre os fatores analisados. Aplicou-se o teste de Levene a fim de verificar-se a homogeneidade da variância. Para o fator ambiente realizou-se o teste Tukey a 5% de probabilidade. Já para o fator densidade foi feita análise de regressão quando houve significância.

7 RESULTADOS

7.1 Caracterização dos ambientes

Durante o experimento os valores de radiação solar global sofreram variação de acordo com as condições ambientais, sendo obtidos os valores médios diários de 15,5; 8,7 e 11,4 MJ m⁻² dia⁻¹ para os ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c, respectivamente (Figura 1). O total de radiação solar global recebida foi de 3.159,3; 1.768,5 e 2.317,2 MJ m⁻² ciclo⁻¹, respectivamente, para os ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. A transmissividade média à radiação solar global foi de 56,0% para o PEBD_d e 73,3% para o PEBD_c.

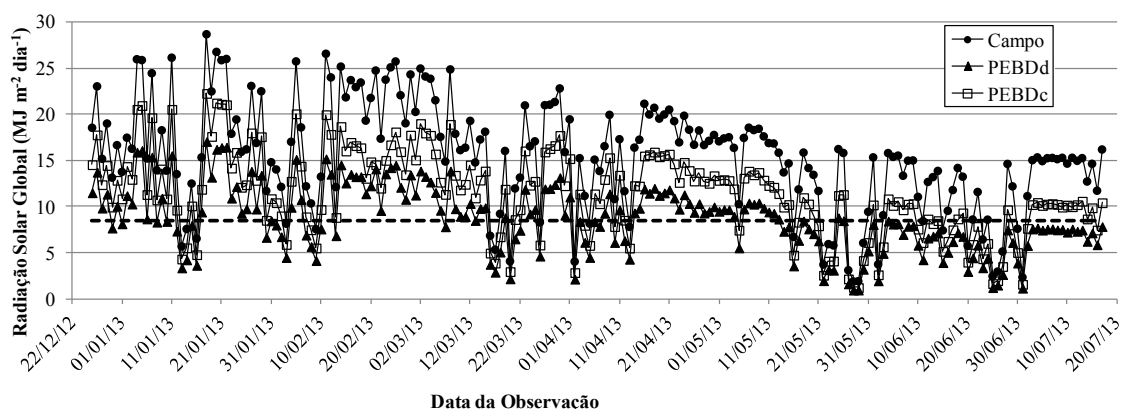


Figura 1. Radiação solar global durante o experimento nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. A linha tracejada representa o limite trófico (8,4 MJ m⁻² dia⁻¹). São Manuel, SP, 2013.

No ambiente campo apenas 14,2% dos dias ficaram com radiação solar abaixo do limite trófico, enquanto nos ambientes PEBD_d e PEBD_c, 47,1% e

23,0 % dos dias, respectivamente, tiveram radiação solar abaixo do limite trófico (Figura 1).

Referente à radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) os valores médios diários obtidos foram de 7,2; 3,6 e 5,1 MJ m⁻² dia⁻¹ para os ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c, respectivamente (Figura 2). Durante o período experimental, o total obtido nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c, foi 1.467,0; 735,7 e 1.042,4 MJ m⁻² ciclo⁻¹, respectivamente. A transmissividade média à PAR do PEBD_d foi de 50,1% e do PEBD_c foi de 71,1%.

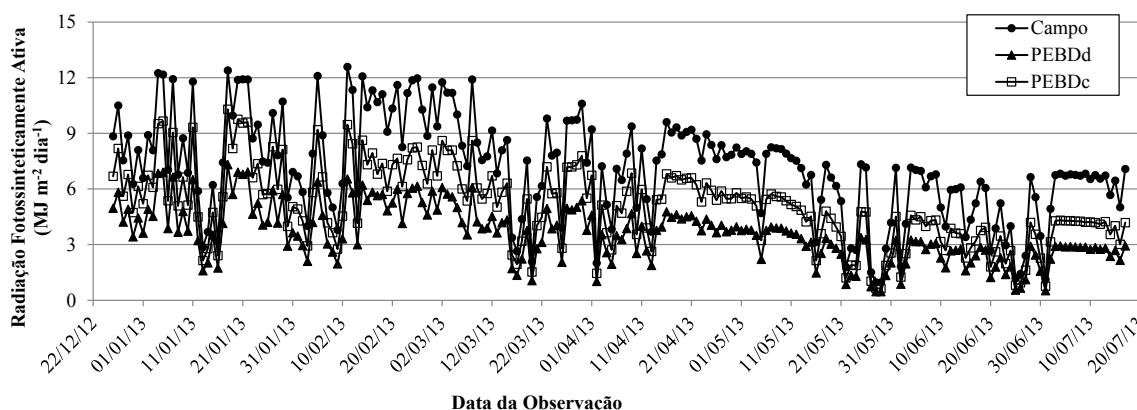


Figura 2. Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) durante o experimento nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. São Manuel, SP, 2013.

Na Figura 3 são apresentados os valores de radiação solar difusa obtidos em cada ambiente de 27/05 à 23/07/14. No ambiente campo a radiação solar difusa correspondeu a 28,2% da radiação solar global externa. Já no ambiente PEBD_d a radiação difusa representou 96,5% da radiação solar global interna a este ambiente, enquanto no ambiente PEBD_c 55,3% da radiação solar global interna correspondeu à radiação difusa.

Com relação ao total de radiação solar global externa, nos ambientes PEBD_d, PEBD_c e campo a radiação solar difusa correspondeu, respectivamente, à 43,8%, 38,0% e 28,2% (Figura 3).

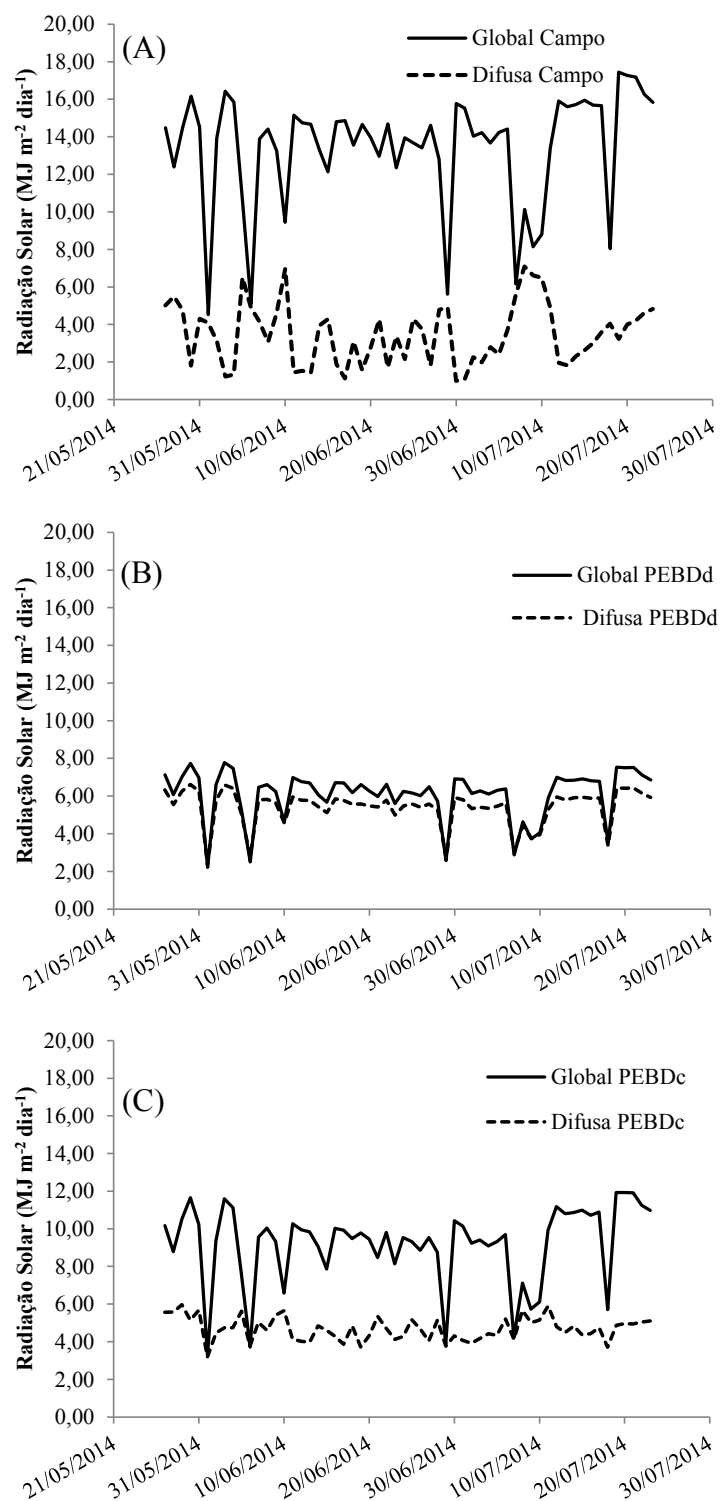


Figura 3. Radiação solar global (—) e difusa (-----) recebida diariamente nos ambientes campo (A), PEBD_d (B) e PEBD_c (C) de 27/05 à 23/07/2014. São Manuel, SP, 2014.

A diferença na radiação solar difusa causada pelo PEBD_d em dias de céu límpido ou nublado pode ser observado na Figura 4. Em dias de céu nublado, praticamente não há diferença entre a radiação solar global e a radiação solar difusa no

interior de cada ambiente. Já em dias de céu límpido pode-se observar diferença maior no ambiente campo, menor no ambiente $PEBD_c$ e muito pequena no ambiente $PEBD_d$.

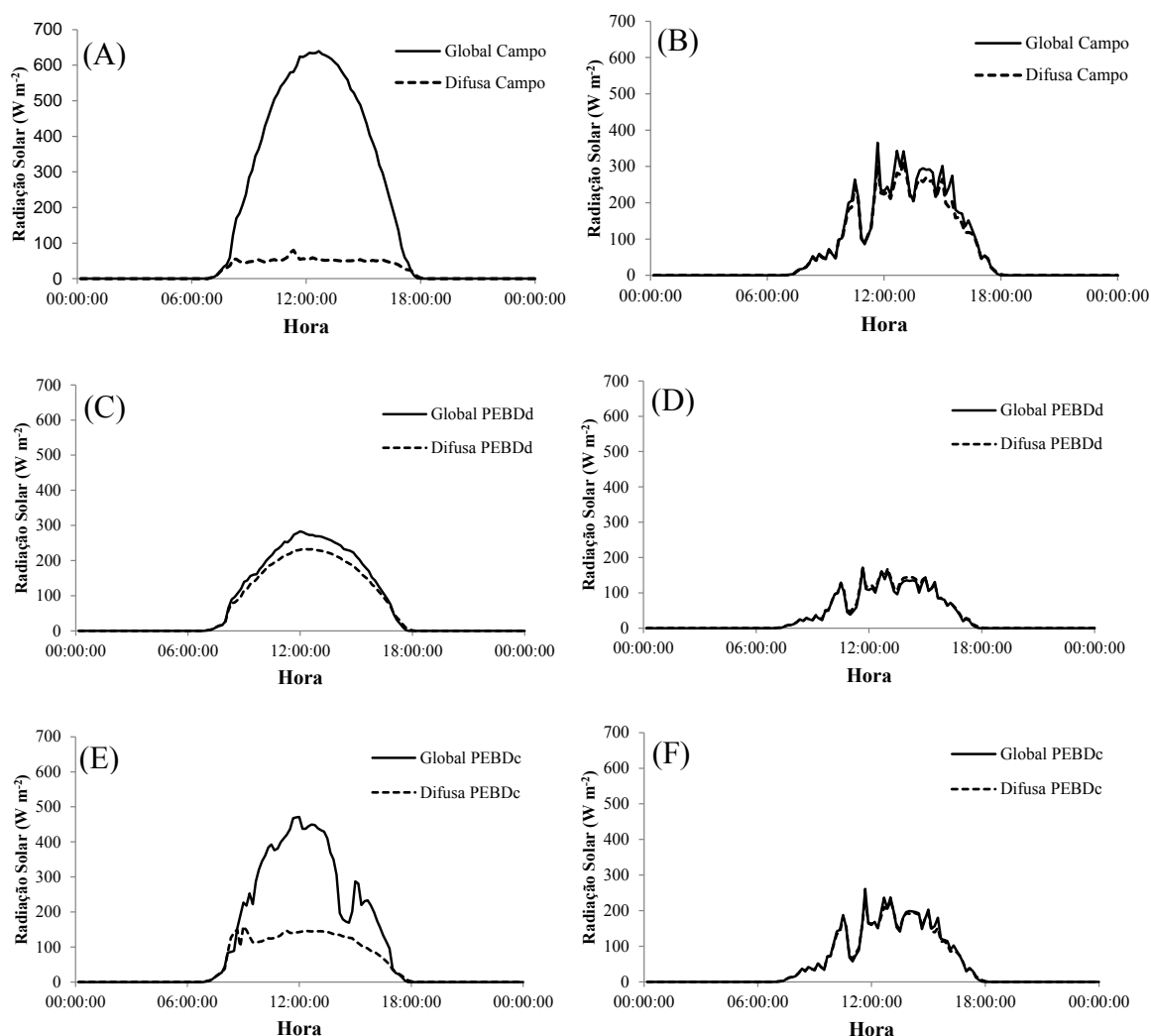


Figura 4. Radiação solar global (—) e difusa (----) nos ambientes campo, $PEBD_d$ e $PEBD_c$ em um dia de céu límpido – 27/06/2014 (A, C, E) e em um dia com céu nublado – 07/07/2014 (B, D, F). São Manuel, SP, 2014.

As temperaturas médias diárias obtidas nos ambientes campo, $PEBD_d$ e $PEBD_c$ foram, respectivamente, 20,0; 21,6 e 21,4°C (Figura 5). A média das temperaturas mínimas diárias foi 16,0; 16,4 e 16,3 °C, para os ambientes a campo, $PEBD_d$ e $PEBD_c$, respectivamente. Já para a temperatura máxima, as médias diárias obtidas foram 26,0; 30,5 e 30,3°C para os ambientes campo, $PEBD_d$ e $PEBD_c$.

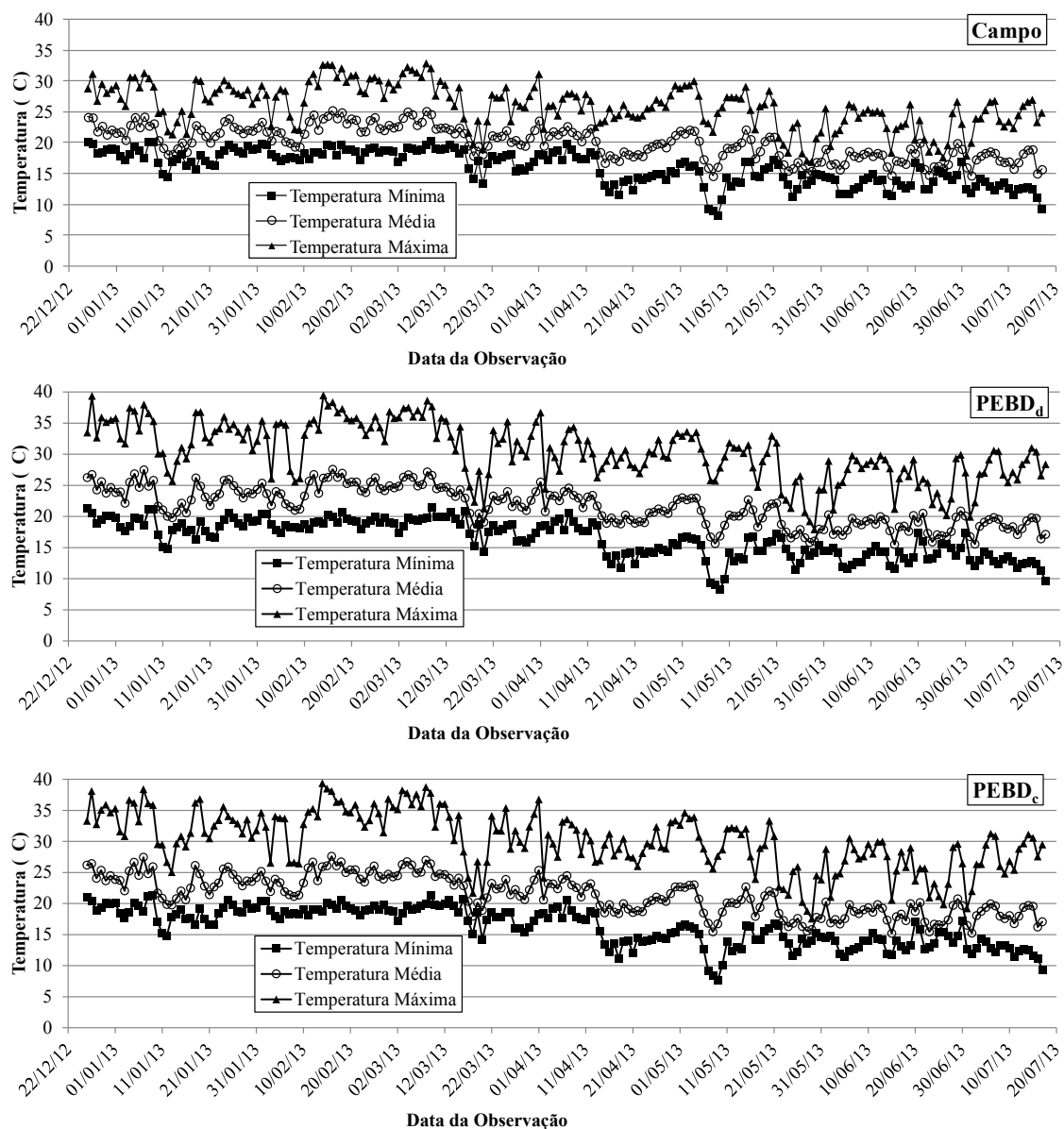


Figura 5. Temperaturas mínima, média e máxima no período de dezembro de 2012 a julho de 2013 nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. São Manuel, SP, 2013.

A umidade relativa do ar média diária foi de 84,2; 81,6 e 81,3% para os ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c, respectivamente (Figura 6). Os valores mínimos diários foram em média 50,9; 50,2 e 49,7%, respectivamente para os ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. A umidade relativa do ar máxima diária foi em média 97,8; 98,3 e 98,4%, respectivamente, para os ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c.

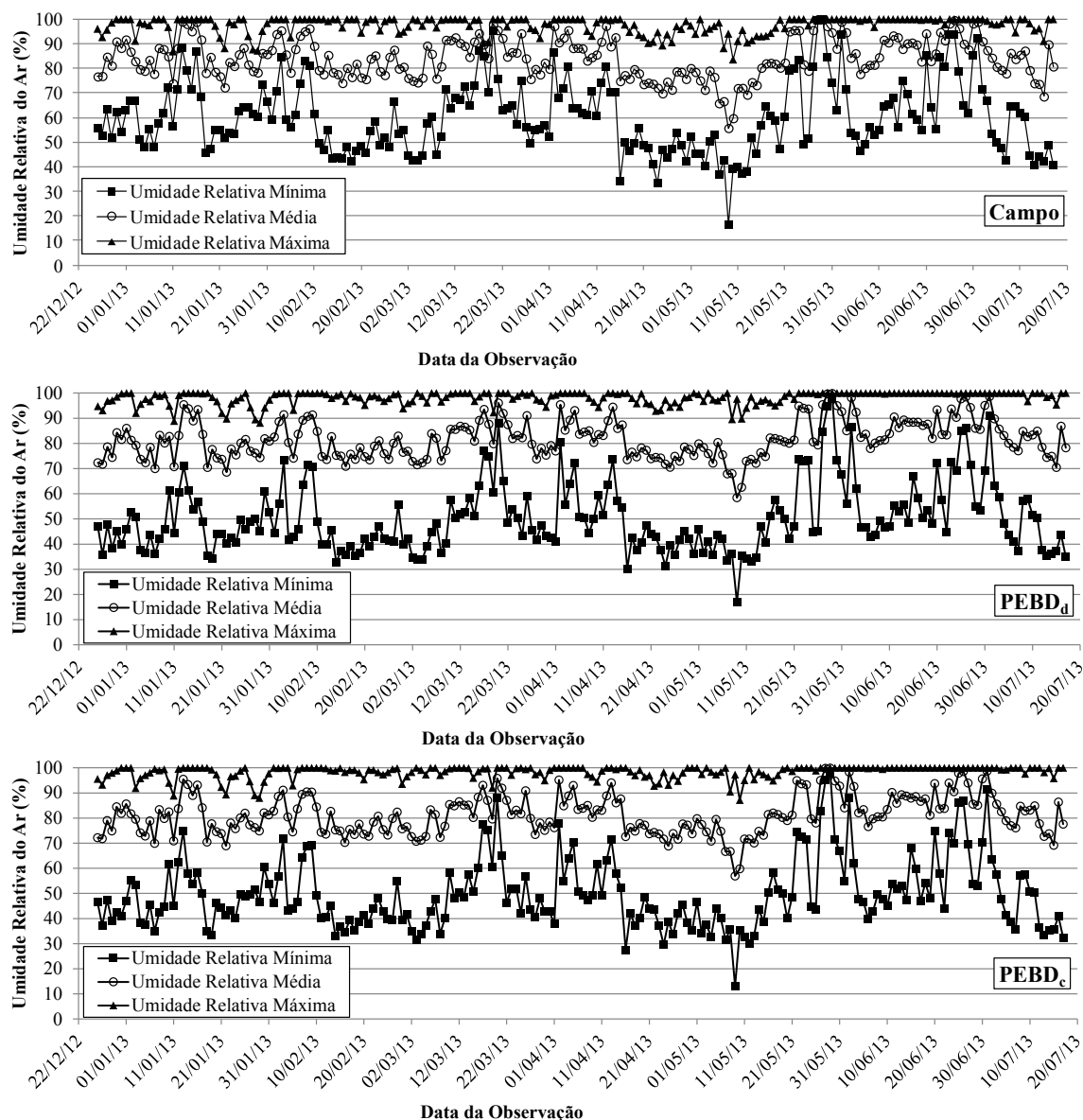


Figura 6. Umidade relativa mínima, média e máxima durante o período de dezembro de 2012 a julho de 2013 nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. São Manuel, SP, 2013.

Os valores de precipitação são apresentados na Figura 7. Durante o período de realização do experimento, as chuvas acumularam um total de 1.320,2 mm, salientando-se que no dia 16/01/2013 a precipitação ocorrida foi de 188,2 mm, valor de grande intensidade e que ocorreu em poucas horas, o que pode ter prejudicado as plantas em condição de campo.

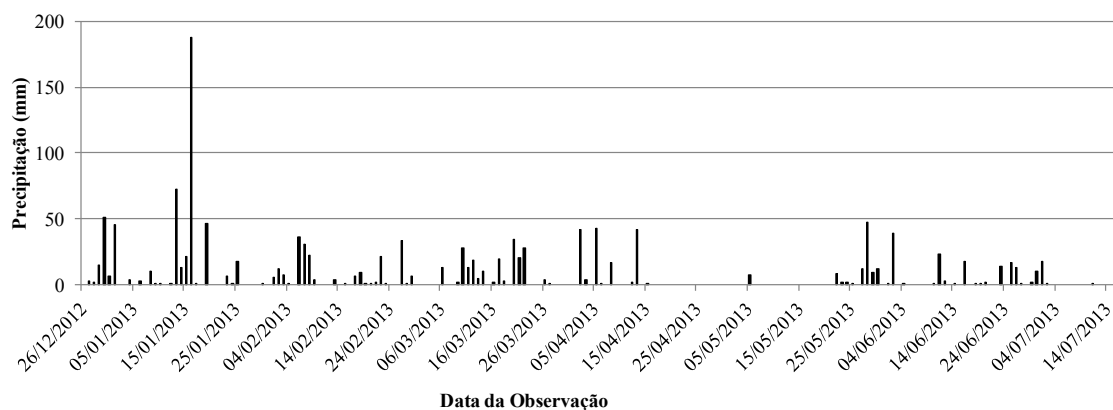


Figura 7. Precipitação (mm) no período de dezembro de 2012 a julho de 2013. São Manuel, SP, 2013.

7.2 Características das plantas

Observou-se diferença com relação à altura de plantas durante o experimento quando se comparou o ambiente campo com os ambientes PEBD_d e PEBD_c (Figura 8). As plantas conduzidas no ambiente campo apresentaram menor altura durante todo o período experimental não sendo observada diferença significativa entre as densidades de plantas. Após o dia 06/03/13 observou-se redução na altura de plantas em todos os tratamentos. Este fato ocorreu devido à grande carga de frutos obtidos da primeira floração que inibiu o desenvolvimento das brotações, sendo que, os frutos que ficaram no ápice das brotações, à medida que cresceram, começaram a pesar e como não havia brotos novos para sustentar a ponta desses ramos a massa dos frutos acabou diminuindo a altura de plantas. Os frutos se comportaram como um dreno forte com menor disponibilidade de carboidrato para o crescimento da planta. Posteriormente as plantas retomaram o seu crescimento e a altura de plantas aumentou.

Para a característica altura da primeira bifurcação, segundo análise da variância, não houve interação entre ambiente e espaçamento (Figura 9A). O valor médio obtido no ambiente campo foi menor e diferiu dos ambientes PEBD_d e PEBD_c.

Com relação ao diâmetro do caule, não houve interação entre ambiente e espaçamento. Os menores valores foram obtidos no ambiente campo que diferiu do ambiente PEBD_d e PEBD_c (Figura 9B). Observou-se aumento linear no diâmetro do caule passando-se do espaçamento de 20 para 50 cm entre plantas no ambiente PEBD_c.

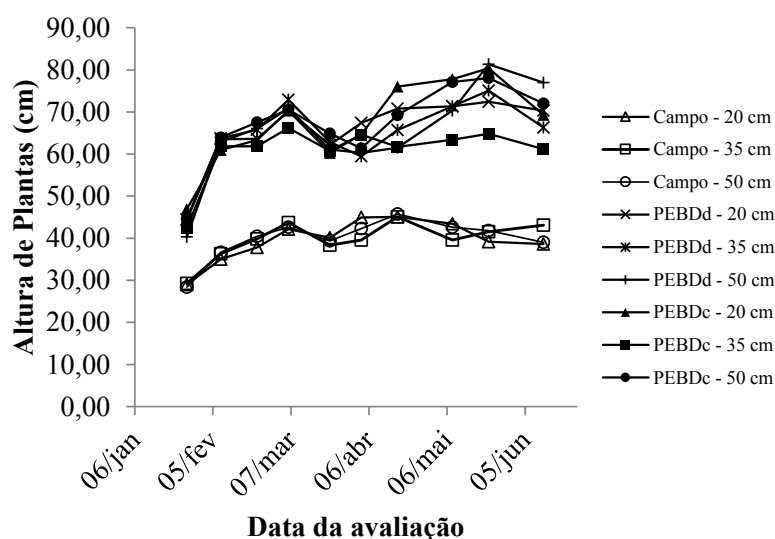


Figura 8. Altura de plantas durante o seu crescimento nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. São Manuel, SP, 2013.

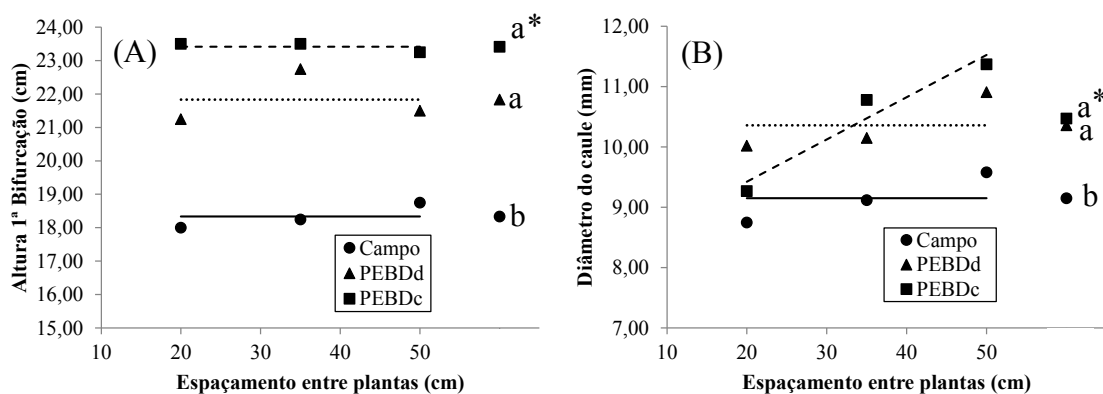


Figura 9. Altura da primeira bifurcação (A) e diâmetro do caule a um centímetro acima da região da enxertia (B) em plantas de pimentão no dia 16/03/2013 nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na figura (B) $y=0,07x + 8,0233$ ($R^2=0,80$) para PEBD_c. *Valores médios para cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013.

No dia 16/03/2013, 80 dias após o transplante, realizou-se avaliação para determinar a distribuição da matéria seca, momento em que também avaliou-se o número de folhas e frutos por unidade de área (Figura 10A). Não houve interação entre ambiente e espaçamento entre plantas para estas características. O número de folhas por unidade de área diminuiu linearmente com o aumento do espaçamento entre plantas nos três ambientes sem diferir entre os ambientes (Figura 10). Com relação ao número de frutos por unidade de área, os maiores valores foram obtidos no ambiente

PEBD_d seguido pelo ambiente PEBD_c do qual não diferiu. Os menores valores foram obtidos no ambiente campo que diferiu dos demais (Figura 10B).

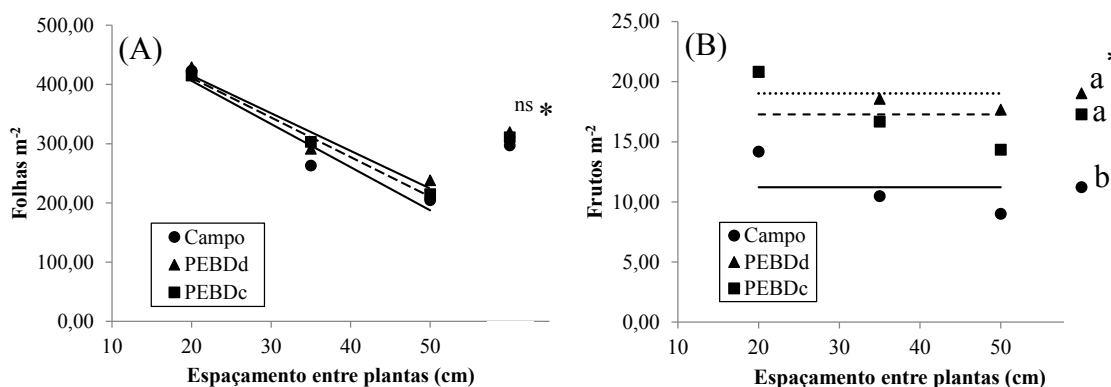


Figura 10. Número de folhas (A) e de frutos (B) por unidade de área de plantas de pimentão no dia 16/03/2013 (1^a colheita) nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na figura (A) $y = -7,2887x + 552,06$ ($R^2 = 0,93$) para campo; $y = -6,361x + 542,28$ ($R^2 = 0,94$) para PEBD_d e $y = -6,678x + 544,57$ ($R^2 = 0,99$) para PEBD_c. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} = não significativo. São Manuel, SP, 2013.

A interação entre ambiente e espaçamento para a característica área foliar por planta obtida no dia 16/03/2013 não foi significativa (Figura 11A). Para esta característica, os valores de área foliar foram maiores nos ambientes PEBD_d e PEBD_c que diferiram do ambiente campo. A área foliar por planta aumentou linearmente com o aumento do espaçamento entre plantas, nos ambientes PEBD_d e PEBD_c, atingindo um máximo de 4.586,34 cm² no espaçamento de 50 cm no ambiente PEBD_d.

Para o IAF a interação entre ambientes e espaçamentos também não foi significativa. Houve diferença entre os ambientes estudados com relação aos valores de IAF, que foram maiores no ambiente PEBD_d, intermediários no ambiente PEBD_c e inferiores no ambiente campo (Figura 11B). Os valores de IAF diminuiram linearmente com o aumento do espaçamento entre plantas nos ambientes PEBD_d e PEBD_c. O maior valor obtido foi de 1,05 no ambiente PEBD_d e no espaçamento de 20 cm entre plantas.

Os valores de superfície foliar específica (cm² g de folha⁻¹) são apresentados na Figura 12A. Não houve interação entre ambiente e espaçamento para esta característica. O maior valor médio foi obtido no ambiente PEBD_d, seguido pelo PEBD_c e pelo ambiente campo, sendo que diferiram entre si. Para o ambiente PEBD ajustou-se uma equação quadrática, sendo o maior valor obtido no espaçamento de 20 cm.

Os valores de área foliar em cm^2 folha⁻¹ foram maiores nos ambientes PEBD_d e PEBD_c e diferiram do ambiente campo onde foram obtidos os menores valores (Figura 12B).

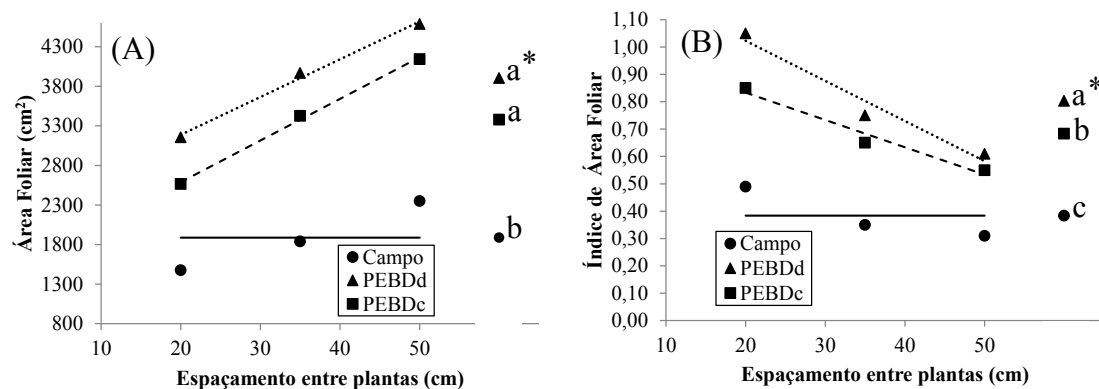


Figura 11. Área foliar por planta de pimentão (A) e índice de área foliar (m^2 de folhas m^{-2} de solo) (B) no dia 16/03/2013 nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na figura (A) $y=47,684x + 2234,7$ ($R^2=0,99$) para PEBD_d e $y=52,647x + 1535,6$ ($R^2=0,99$) para PEBD_c. Na figura (B) $y=-0,0147x + 1,3167$ ($R^2=0,65$) para PEBD_d e $y=-0,01x + 1,0333$ ($R^2=0,69$) para PEBD_c. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013.

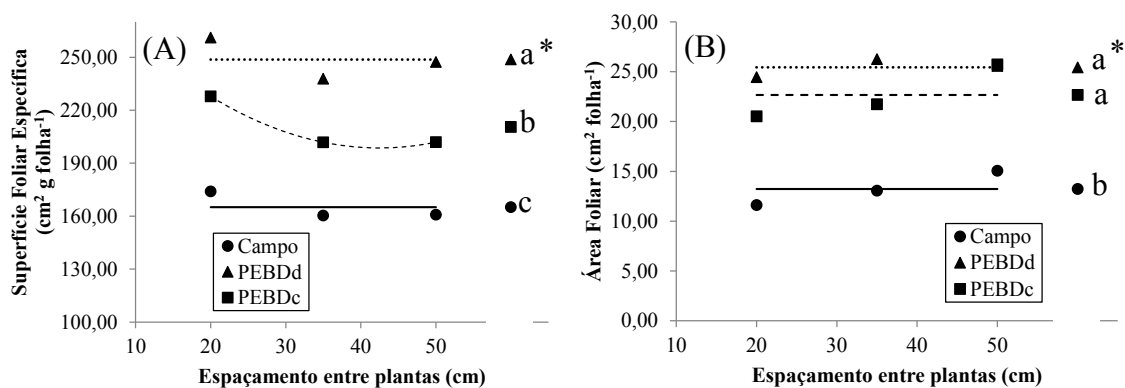


Figura 12. Superfície foliar específica (SFE) em folhas de pimentão e área foliar média de cada folha no dia 16/03/2013 nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na Figura (A) $y=0,0578x^2 - 4,9097x + 302,91$ ($R^2=0,84$) para PEBD_c. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013.

7.3 Dados de produção da primeira floração

A interação entre ambiente e espaçamento não foi significativa para a característica número de frutos por unidade de área. O número de

frutos por unidade de área foi maior no ambiente $PEBD_d$, seguido do ambiente $PEBD_c$, os quais diferiram significativamente do ambiente campo (Figura 13A). Referente ao espaçamento entre plantas, o maior valor foi obtido no espaçamento de 20 cm no ambiente $PEBD_c$, diminuindo de forma quadrática até os espaçamentos de 35 e 50 cm.

Com relação à produtividade, não houve interação entre ambiente e espaçamento. A produção por unidade de área foi maior no ambiente $PEBD_d$, seguido pelo ambiente $PEBD_c$, não diferindo entre si, diferindo somente do ambiente campo onde foram obtidos os menores valores (Figura 13B). Os maiores valores foram obtidos no espaçamento de 20 cm e nos ambientes $PEBD_d$ e $PEBD_c$. A massa de frutos por unidade de área diminuiu de forma linear com o aumento do espaçamento entre plantas para os ambientes $PEBD_d$ e $PEBD_c$, sendo que, o ambiente $PEBD_d$ destacou-se nas três densidades avaliadas e os menores valores foram obtidos no ambiente campo.

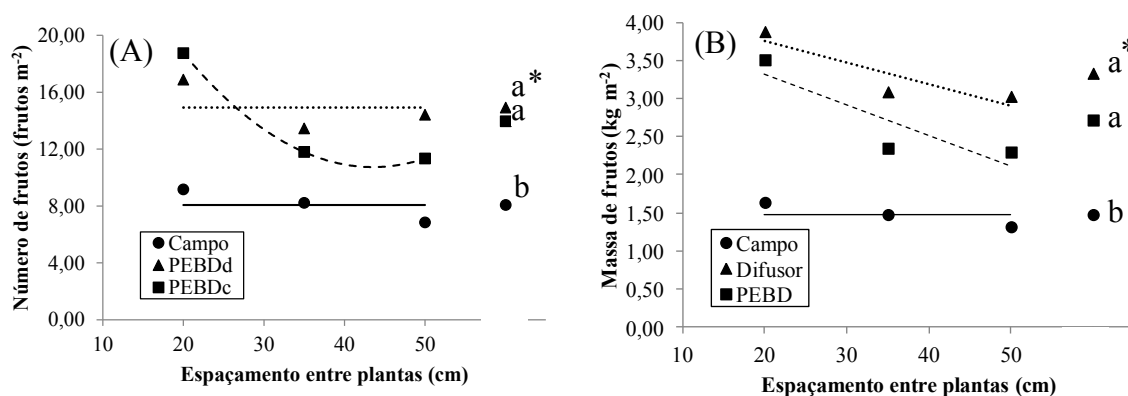


Figura 13. Número de frutos (A) e massa de frutos (B) de pimentão por unidade de área das 12 primeiras semanas (colheita de 13/03/13 à 29/05/13) nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); $PEBD_d$ (·····) e $PEBD_c$ (-----). Na figura (A) $y = 0,0145x^2 - 1,2597x + 38,157$ ($R^2 = 0,99$) para $PEBD_c$. Na figura (B) $y = -0,0284x + 4,3266$ ($R^2 = 0,80$) para $PEBD_d$ e $y = -0,402x + 4,1252$ ($R^2 = 0,78$) para $PEBD_c$. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013.

Para a característica massa média de frutos não houve interação entre ambiente e espaçamento. Os maiores valores foram obtidos no ambiente $PEBD_d$ o qual diferiu dos ambientes $PEBD_c$ e campo (Figura 14). A maior massa média de frutos obtida foi no espaçamento de 35 cm e no ambiente $PEBD_d$ correspondendo a 236,59 gramas por fruto. O ambiente $PEBD_d$ destacou-se nas três densidades avaliadas diferindo dos demais.

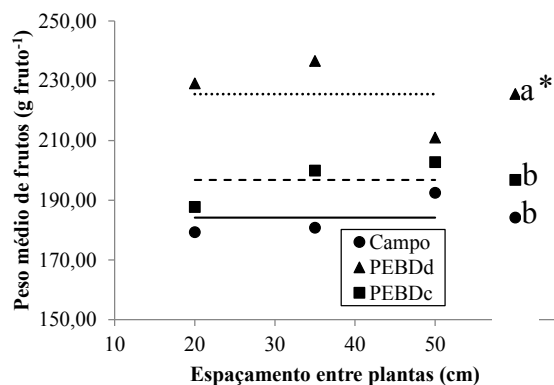


Figura 14. Peso médio de frutos de pimentão das 12 primeiras semanas (colheita de 13/03/13 à 29/05/13) nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013.

7.4 Dados de produção total

Para a característica número de frutos por unidade de área na classe 8-10 cm de comprimento por 6-8 cm de diâmetro e na classe 15-18 cm de comprimento por 6-8 cm de diâmetro houve interação entre ambiente e espaçamento (Figura 15). Para as demais classes não houve interação. O maior número de frutos por unidade de área foi obtido na classe 12-15 cm de comprimento por 8-10 cm de diâmetro. Nesta classe o maior número de frutos foi obtido no ambiente PEBD_c, seguido pelo ambiente PEBD_d. Observou-se ainda, redução linear no número de frutos com o aumento do espaçamento, sendo os maiores valores obtidos no espaçamento de 20 cm entre plantas. Os menores valores foram obtidos no ambiente campo. A classe de frutos de 15-18 cm de comprimento por 8-10 cm de diâmetro também apresentou elevado número de frutos por

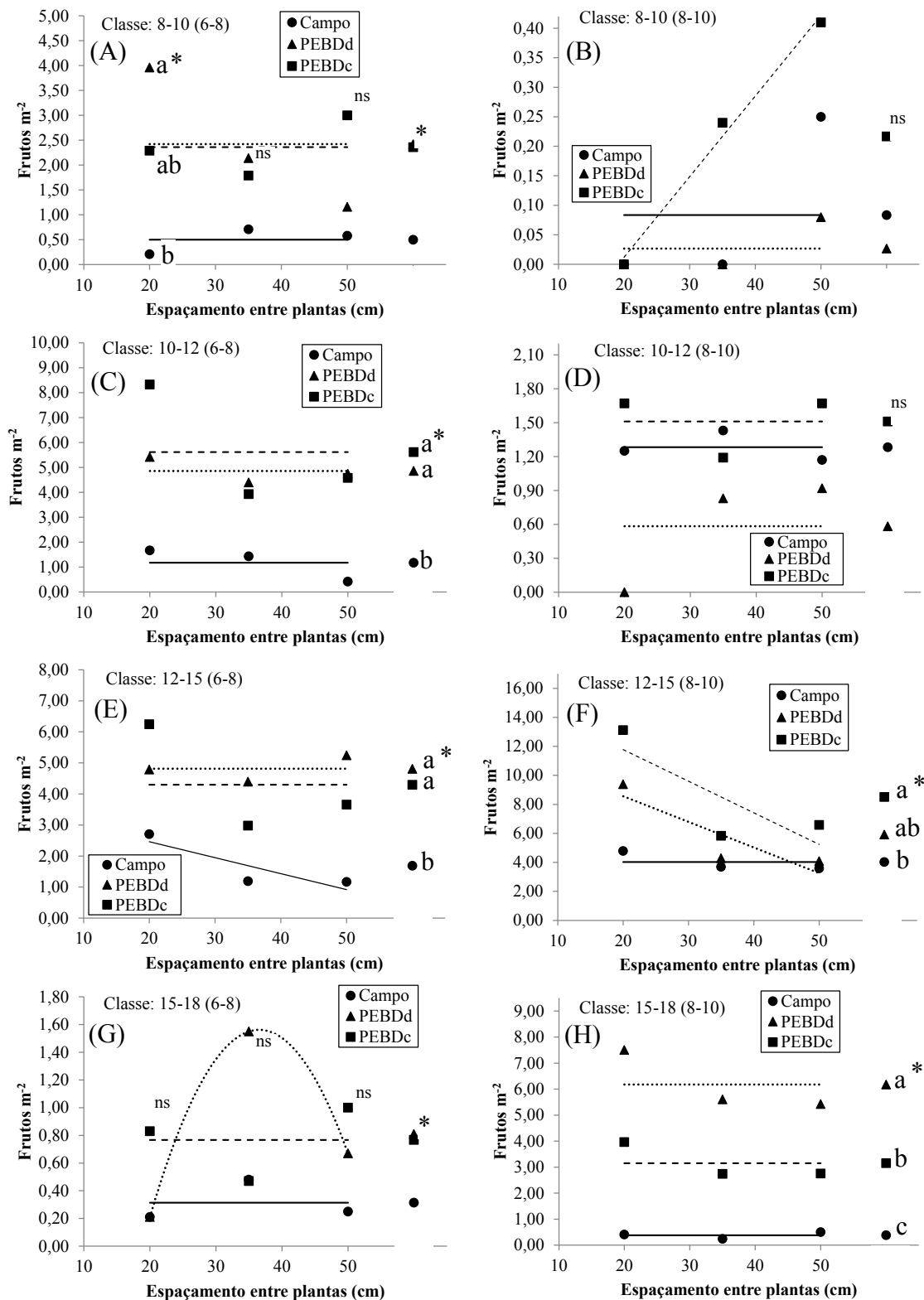


Figura 15. Número de frutos por unidade de área (m²), classificados por comprimento e diâmetro (entre parênteses) em centímetros, nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na Figura (B) $y=0,0137x - 0,2617$ ($R^2=0,68$) para PEBD_c. Na Figura (E) $y=-0,0513x + 3,4867$ ($R^2=0,66$) para o ambiente campo. Na figura (F) $y=-0,218x + 16,14$ ($R^2=0,49$) para PEBD_c e $y=-0,1767x + 12,097$ ($R^2=0,67$) para PEBD_d. Na Figura (G) $y=-0,0049x^2 + 0,3607x - 5,03$

($R^2=0,66$) para $PEBD_d$. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

unidade de área, destacando-se o ambiente $PEBD_d$, que produziu em média o dobro de frutos que o ambiente $PEBD_c$, em todos os espaçamentos avaliados. As classes 8-10 cm de comprimento por 6-8 cm de diâmetro, 10-12 cm de comprimento por 6-8 cm de diâmetro e 12-15 cm de comprimento por 6-8 cm de diâmetro, também apresentaram significativo número de frutos por unidade de área. Nestas classes destacaram-se os ambientes $PEBD_d$ e $PEBD_c$. No ambiente campo foram obtidos os menores valores.

Para a característica produtividade, os maiores valores foram obtidos na classe 12-15 cm de comprimento por 8-10 cm de diâmetro, destacando-se os ambientes $PEBD_c$ e $PEBD_d$, sendo os maiores valores obtidos no espaçamento de 20 cm entre plantas que diminuiu linearmente com o aumento do espaçamento (Figura 16). Não foi observada interação para nenhuma das classes avaliadas. Na classe 15-18 cm de comprimento por 8-10 cm de diâmetro obteve-se também elevada produção, com destaque para o ambiente $PEBD_d$ que produziu aproximadamente o dobro que o ambiente $PEBD_c$, do qual diferiu. Os menores valores foram obtidos no ambiente campo. As classes 10-12 cm de comprimento por 6-8 cm de diâmetro e 12-15 cm de comprimento por 6-8 cm de largura, também apresentaram elevada produção de frutos com destaque para os ambientes $PEBD_c$ e $PEBD_d$, que tiveram as maiores produções.

Com relação à massa média de frutos não foi observada interação nas classes avaliadas (Figura 17). O ambiente difusor destacou-se nas classes 10-12 cm de comprimento por 8-10 cm de diâmetro, 12-15 cm de comprimento por 8-10 cm de diâmetro e 15-18 cm de comprimento por 8-10 cm de diâmetro, nas quais obteve-se os maiores valores. A maior massa de frutos foi obtida na classe 15-18 cm de comprimento por 8-10 cm de largura e no ambiente difusor de luz, cujo valor médio foi 264,3 gramas por fruto. Nas classes 8-10 cm de comprimento por 6-8 cm de diâmetro, 8-10 cm de comprimento por 8-10 cm de diâmetro e 10-12 cm de comprimento por 6-8 cm de diâmetro

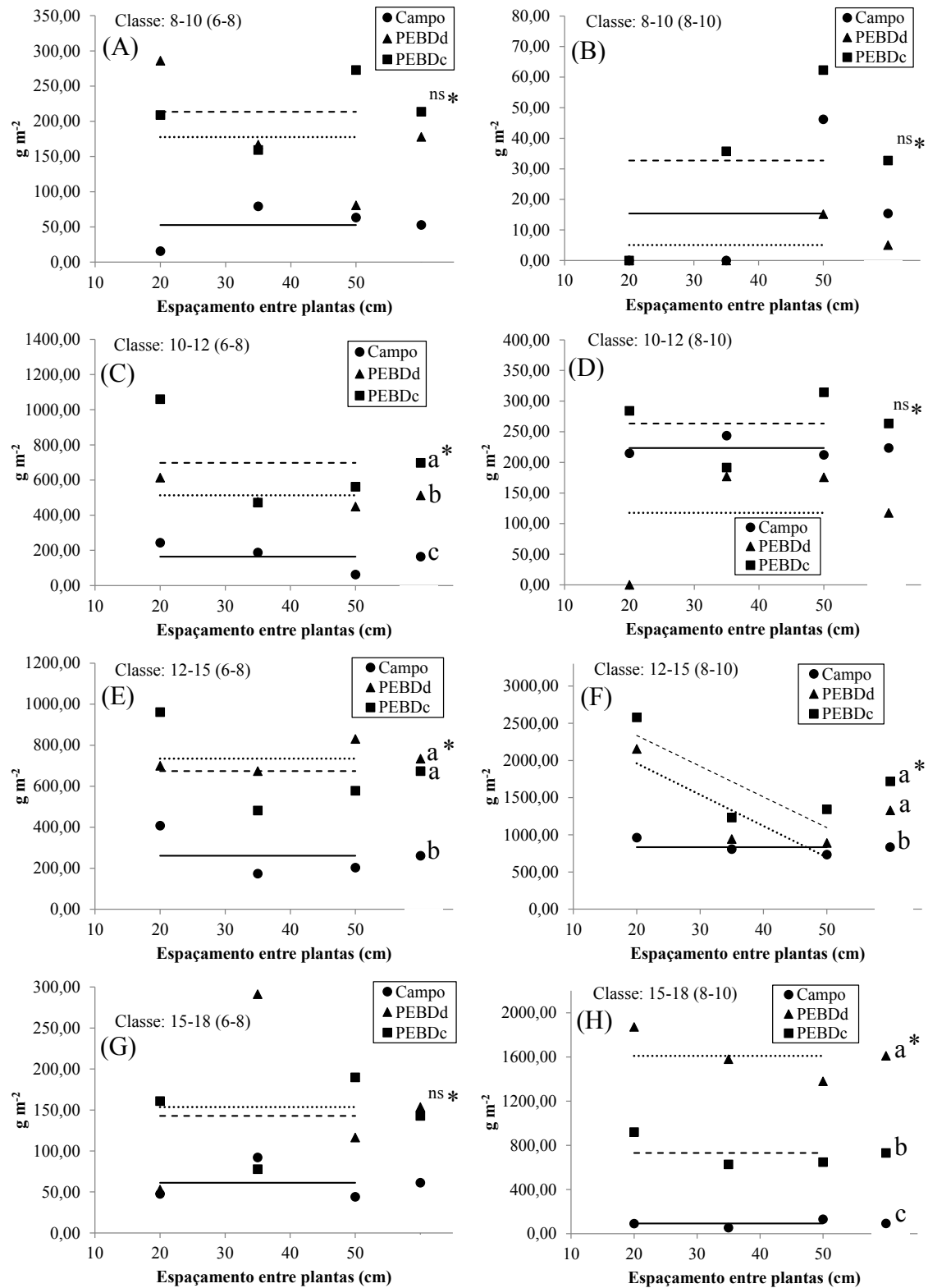


Figura 16. Massa de frutos por unidade de área (g m^{-2}), classificados por comprimento e diâmetro (entre parênteses) em centímetros, nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na Figura (F) $y = -41,295x + 3161,7$ ($R^2 = 0,47$) para PEBD_c e $y = -42,174x + 2804,2$ ($R^2 = 0,69$) para PEBD_d. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna

diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

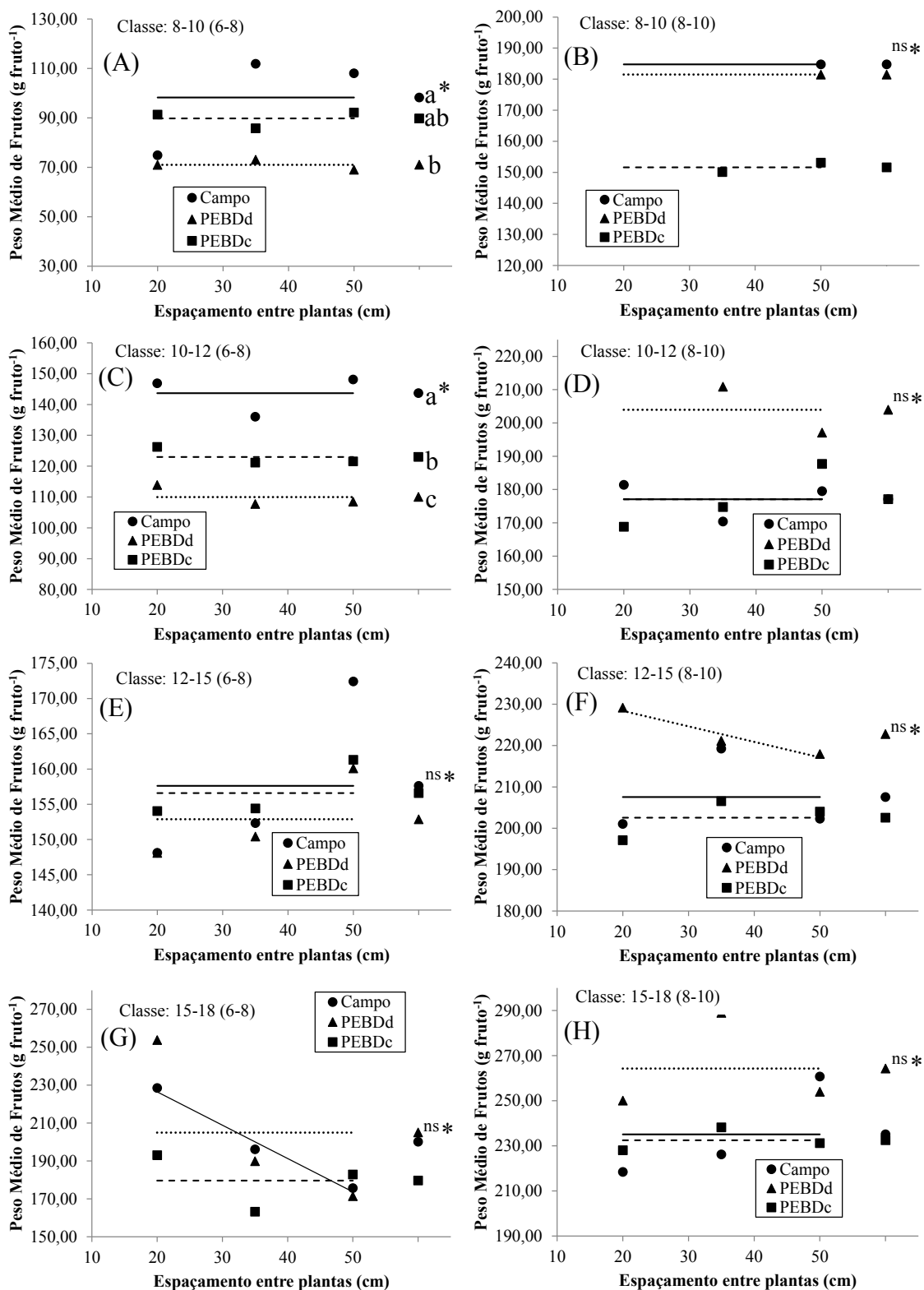


Figura 17. Massa média de frutos (g fruto⁻¹), classificados por comprimento e diâmetro (entre parênteses) em centímetros, nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na Figura (F) $y = -0,374x + 235,86$ ($R^2 = 0,94$) para PEBD_d e na figura (G) $y = -1,7533x + 261,69$ ($R^2 = 0,98$) para o

ambiente campo. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

a maior massa média de frutos foi obtida no ambiente campo.

Para a característica número total de frutos por unidade de área, não houve interação entre ambiente e espaçamento. O maior número de frutos foi obtido no ambiente PEBD_c, no espaçamento de 20 cm entre plantas com 36,46 frutos m⁻², o qual não diferiu significativamente do ambiente PEBD_d para o mesmo espaçamento no qual se obteve 31,25 frutos m⁻² (Figura 18A). Os menores valores foram obtidos no ambiente campo. A produção de frutos teve comportamento similar ao número de frutos, com maiores valores para os ambientes PEBD_c e PEBD_d no espaçamento de 20 cm entre plantas, que diferiram significativamente do ambiente campo (Figura 18B). Para esta característica não houve interação entre ambiente e espaçamento. A maior massa média de frutos foi obtida no ambiente PEBD_d (183,06 g fruto⁻¹), seguido pelo ambiente campo (181,26 g fruto⁻¹) e PEBD_c (169,74 g fruto⁻¹), mas sem diferir (Figura 18C). Não houve interação entre ambiente e espaçamento para esta característica. Para a característica espessura da parede do fruto não foi observada interação. O maior valor foi obtido no ambiente PEBD_d (5,52 mm), sem diferir do ambiente PEBD_c (5,19 mm), mas diferindo do ambiente campo (5,09 mm) (Figura 18D).

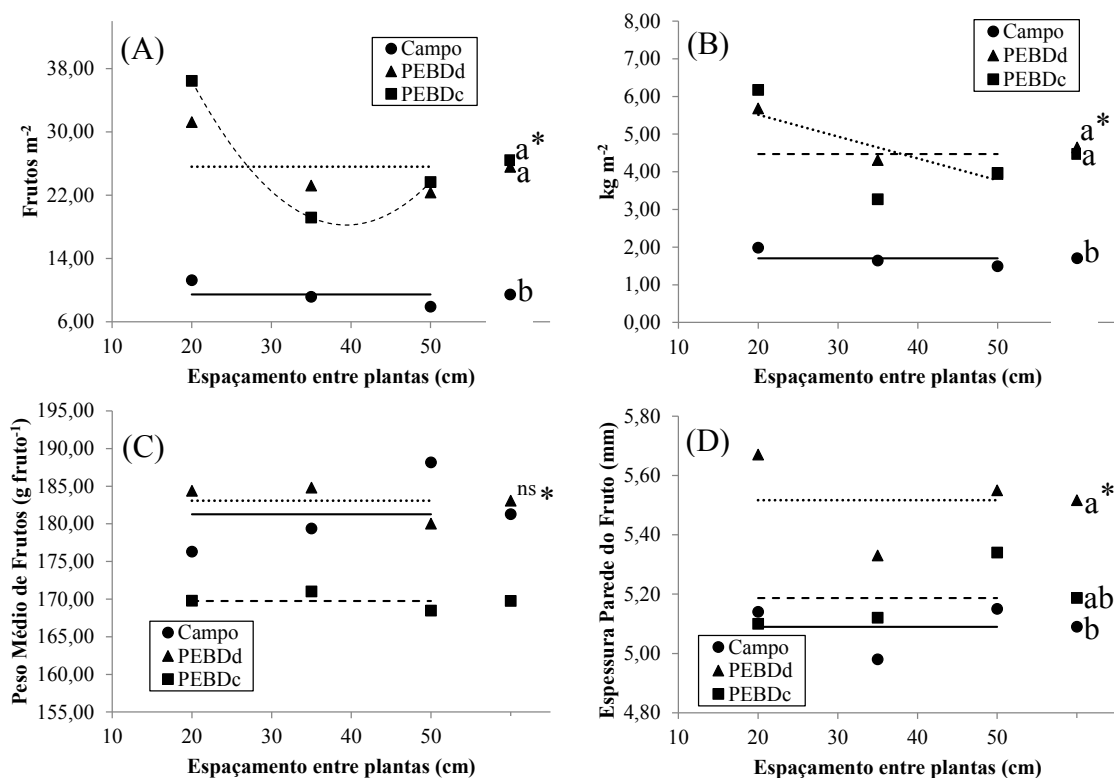


Figura 18. Número total de frutos por unidade de área (A), massa total de frutos por unidade de área (B), massa média de frutos (C) e espessura da parede dos frutos (D) nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: a campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Os dados de espessura da parede do fruto foram obtidos das colheitas realizadas nos dias 13/03/13, 20/03/13 e 03/04/13. Na figura (A) $y=0,0484x^2 - 3,8159x + 93,409$ ($R^2=0,72$) para PEBD_c e na figura (B) $y=-0,058x + 6,6733$ ($R^2=0,65$) para PEBD_d. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

7.5 Distribuição da massa seca em plantas de pimentão

No momento da primeira colheita (16/03/2013), as plantas de pimentão nos ambientes PEBD_d e PEBD_c produziram maior quantidade de massa seca de folhas, caule, frutos e massa seca total por unidade de área, quando comparadas ao ambiente campo (Figura 19). Para as características avaliadas, os maiores valores foram obtidos no espaçamento de 20 cm entre plantas, havendo redução linear com o aumento do espaçamento. Os maiores valores de massa seca total foram 274,20 g m⁻² (PEBD_c) e 258,82 g m⁻² (PEBD_d) no espaçamento de 20 cm entre plantas (Figura 19D). Não foi observada interação entre ambiente e espaçamento para nenhuma das características avaliadas.

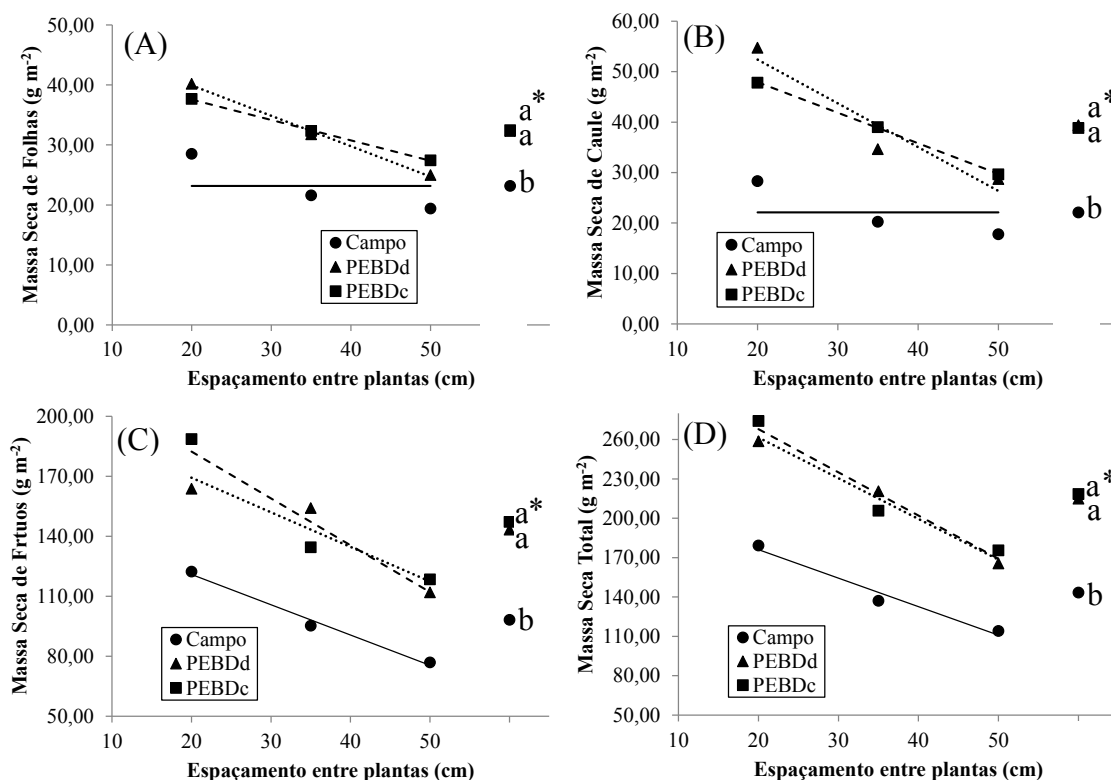


Figura 19. Massa seca de folhas (A), de caule (B), de frutos (C) e total (D) por unidade de área, realizada no dia 16/03/2013, nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na Figura (A) $y = -0,3413x + 44,41$ ($R^2=0,64$) para PEBD_c e $y = -0,507x + 50,065$ ($R^2=0,61$) para PEBD_d. Na Figura (B) $y = -0,6047x + 60$ ($R^2=0,76$) para PEBD_c e $y = -0,8677x + 69,755$ ($R^2=0,69$) para PEBD_d. Na Figura (C) $y = -2,3423x + 229,22$ ($R^2=0,63$) para PEBD_c, $y = -1,73x + 203,88$ ($R^2=0,53$) para PEBD_d e $y = -1,5153x + 151,26$ ($R^2=0,59$) para campo. Na Figura (D) $y = -3,2883x + 333,63$ ($R^2=0,68$) para PEBD_c, $y = -3,1047x + 323,7$ ($R^2=0,64$) para PEBD_d e $y = -2,1693x + 219,45$ ($R^2=0,56$) para campo. *Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. São Manuel, SP, 2013.

Não houve interação entre ambiente e espaçamento para as características de frações da massa seca de folhas, caule e frutos, que representa a percentagem da massa seca alocada para folhas, caule ou frutos, respectivamente. Os maiores valores na fração de folhas foram obtidos no ambiente campo, no entanto, sem diferir dos ambientes PEBD_d e PEBD_c (Figura 20). O ambiente campo apresentou menor fração de caule, diferindo significativamente dos demais. Já para a fração frutos no ambiente campo obteve-se valores um pouco acima dos ambientes PEBD_d e PEBD_c, mas sem diferir.

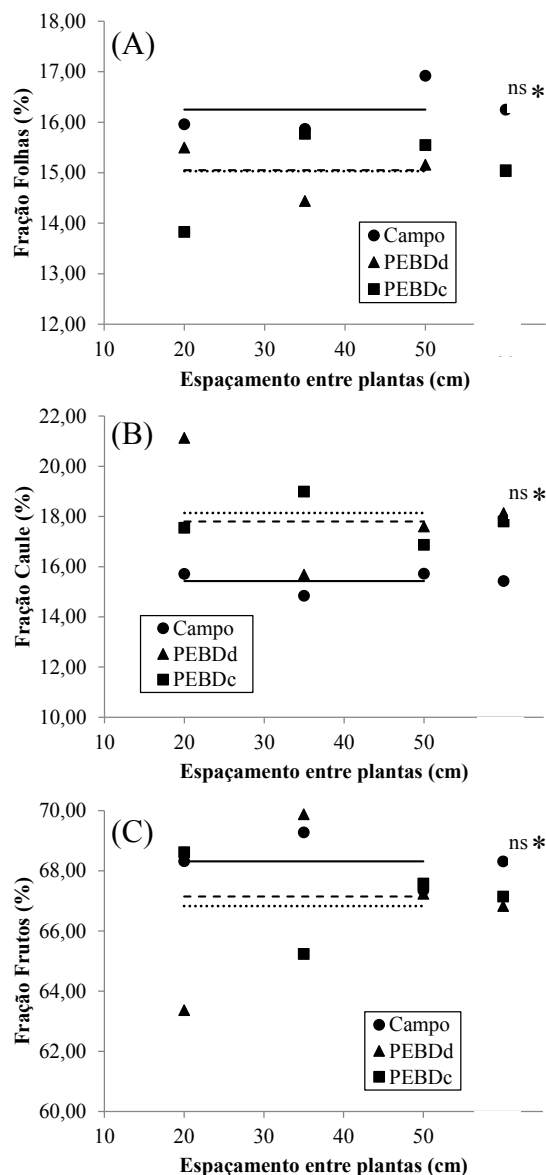


Figura 20. Fração da massa seca de folhas (A), de caule (B) e de frutos (C), avaliada no dia 16/03/2013, nos espaçamentos de 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). *Valores médios de cada ambiente. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

7.6 Índice de clorofila (SPAD)

Durante a realização do experimento foram realizadas medições do índice de clorofila através do índice SPAD. Para esta característica observou-se interação entre ambiente e espaçamento nas avaliações realizadas nos dias 06/05/2013 e 15/05/2013. Para as demais datas não houve interação. Nas duas primeiras avaliações, realizadas nos dias 27/01 e 11/02/2013, praticamente não houve diferença nos valores de

índice SPAD entre os tratamentos (Figura 21). Os valores de índice SPAD observados nestas datas foram os menores e variaram entre 50 e 60. A partir da terceira avaliação, os valores de índice SPAD aumentaram e passou-se a observar clara diferença entre os tratamentos. Os maiores valores foram observados no ambiente campo, seguido pelo ambiente PEBD_c e PEBD_d.

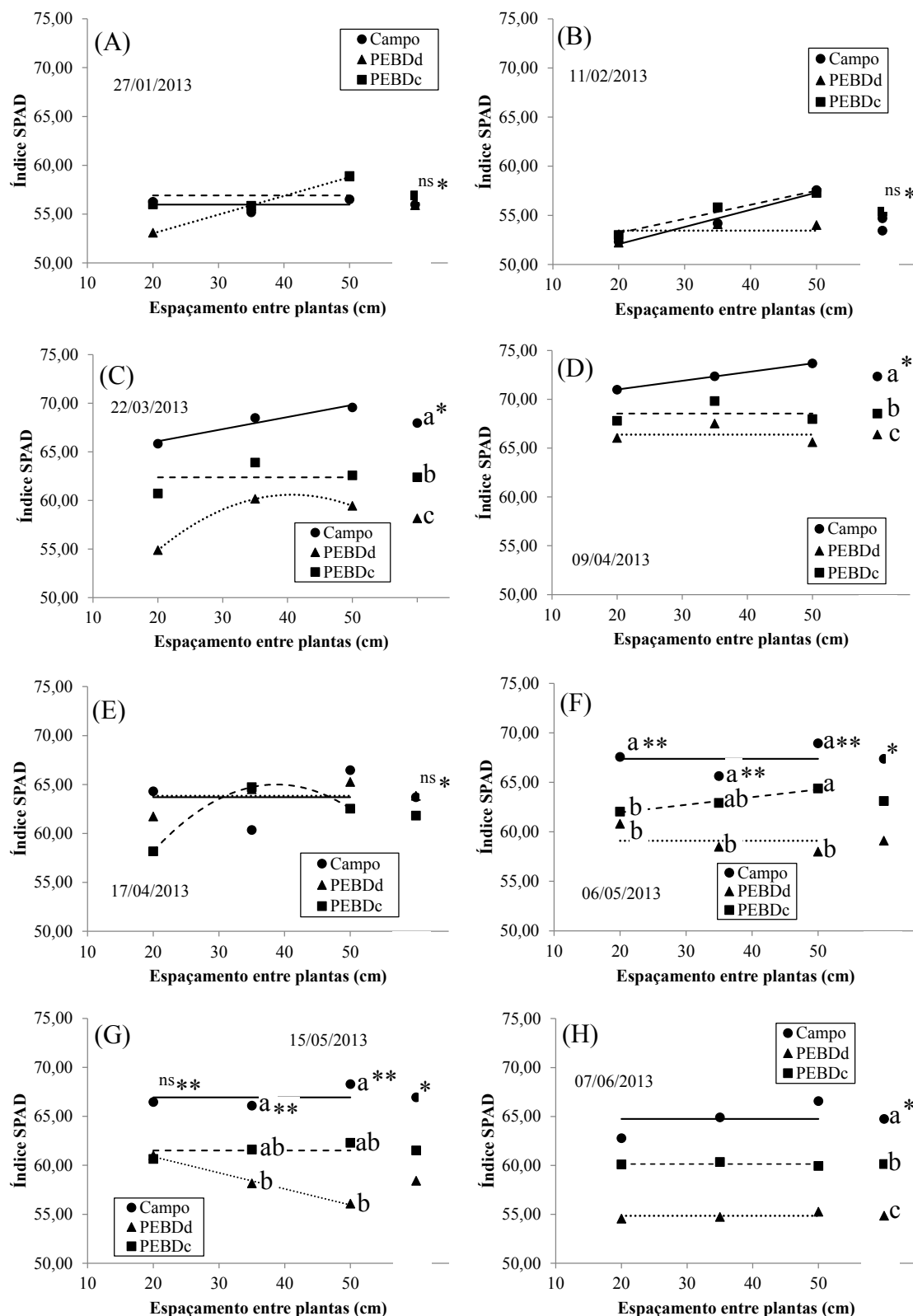


Figura 21. Índice de clorofila (SPAD) obtido em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na Figura (A) $y = 0,192x + 49,187$ ($R^2=0,56$) para PEBD_d. Na Figura (B) $y = 0,143x + 50,352$ ($R^2=0,69$) para PEBD_c e $y = 0,175x + 48,562$ ($R^2=0,89$) para PEBD_d. Na Figura (C) $y = -0,0133x^2 + 1,0853x + 38,497$ ($R^2=0,83$) para PEBD_d e $y = 0,1243x + 63,605$ ($R^2=0,81$) para

o ambiente campo. Na figura (D) $y=0,0897x + 69,205$ ($R^2=0,78$) para o ambiente campo. Na figura (E) $y= -0,0194x^2 + 1,5049x + 35,851$ ($R^2=0,83$) para PEBD_c. Na Figura (F) $y=0,077x + 60,398$ ($R^2=0,86$) para PEBD_c. Na figura (G) $y= -0,1643x + 64,158$ ($R^2=0,63$) para PEBD_d. *Valores médios de cada ambiente. ** Valores médios em cada espaçamento e ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

7.7 Trocas gasosas

Durante o experimento foram realizadas quatro medidas da taxa de assimilação de CO₂. Nas medidas realizadas nos dias 16/02/13 e 11/06/13 houve interação entre ambiente e espaçamento, enquanto que nas demais medidas não houve interação. Os valores de taxa de assimilação de CO₂ diferiram muito pouco, não havendo diferença significativa entre os ambientes (Figura 22).

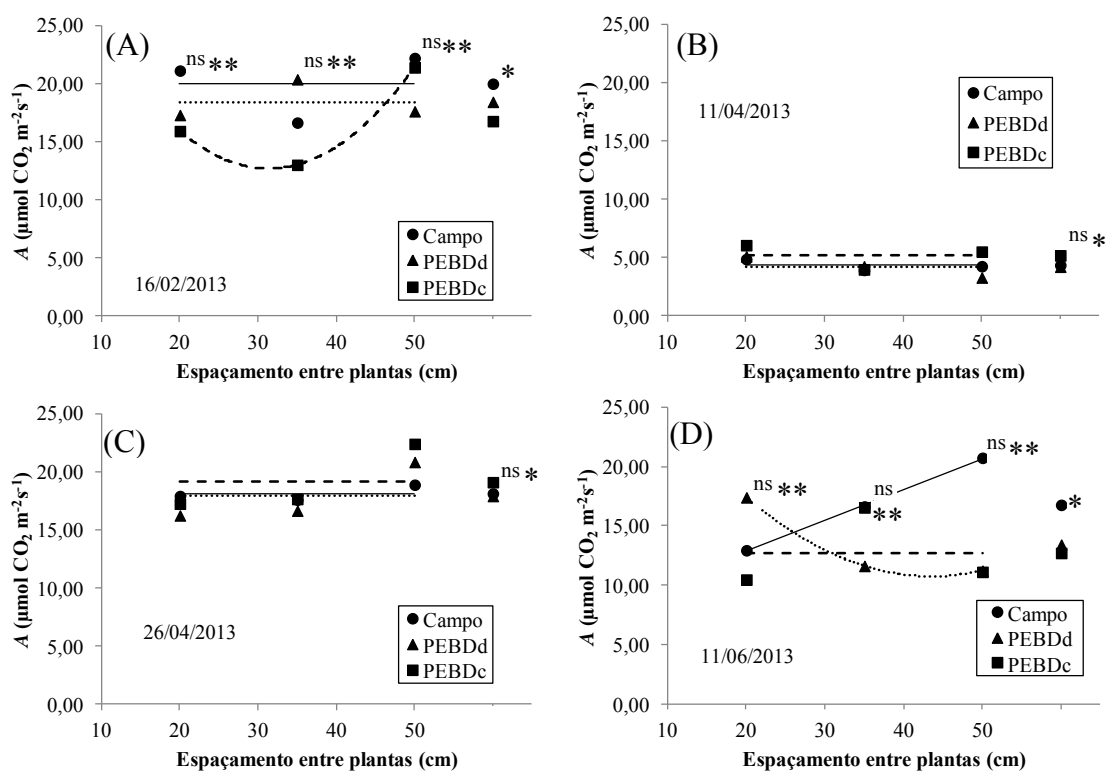


Figura 22. Taxa de assimilação de CO₂ (A) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (----). Na figura (A) $y=0,025x^2 - 1,5708x + 37,308$ ($R^2=0,87$) para PEBD_c. Na figura (D) $y=0,012x^2 - 1,0429x + 33,476$ ($R^2=0,62$) para PEBD_d e $y=0,2597x + 7,6783$ ($R^2=0,70$) para o ambiente campo. *Valores médios de cada ambiente. ** Valores médios em cada espaçamento e ambiente. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

As medidas de taxa transpiratória também não diferiram entre os ambientes nas quatro medições realizadas (Figura 23). Os maiores valores foram obtidos nos dias 16/02 e 26/04/13. Na avaliação realizada no dia 11/04/13 houve interação entre ambiente e espaçamento, enquanto que nas demais datas não houve interação.

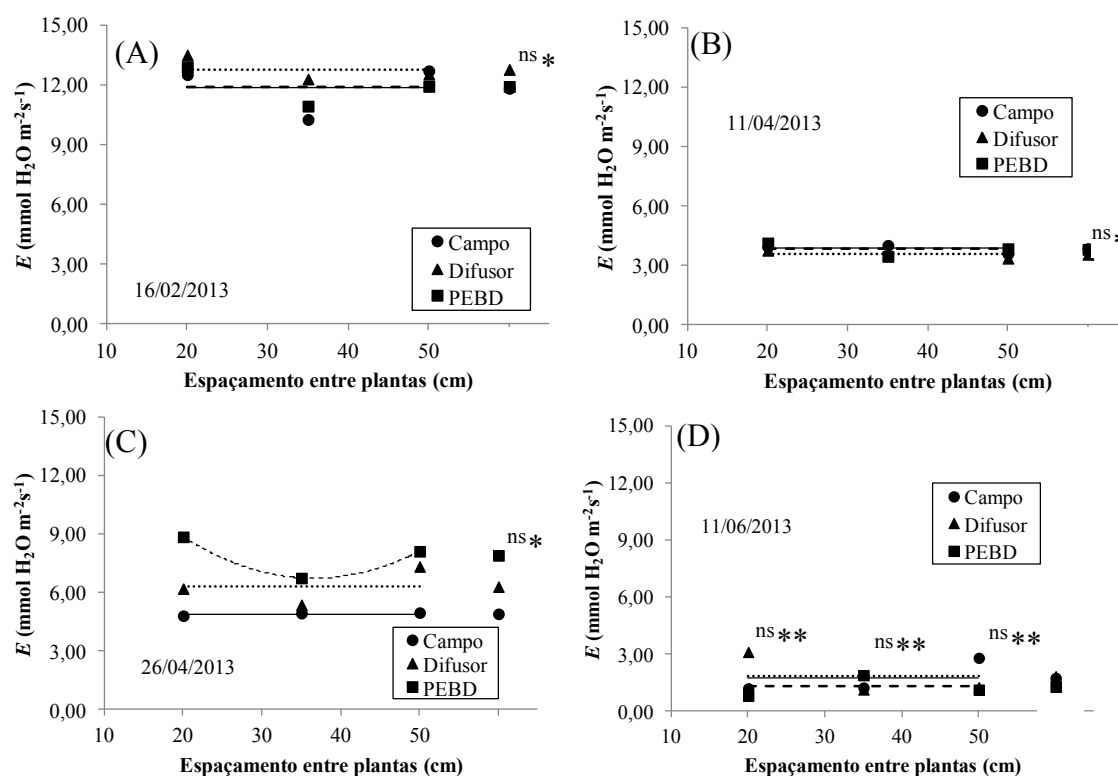


Figura 23. Taxa transpiratória (E) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). Na figura (C) $y = 0,0077x^2 - 0,566x + 17,077$ ($R^2 = 0,61$) para PEBD_c. *Valores médios de cada ambiente. ** Valores médios em cada espaçamento e ambiente. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

Os maiores valores de condutância estomática foram obtidos nos dias 16/02 e 26/04/13 e os menores valores nos dias 11/04 e 11/06/13 (Figura 24). Para esta característica houve diferença significativa entre os ambientes na avaliação realizada no dia 16/02/13, sendo os maiores valores obtidos no ambiente PEBD_c, seguido pelo ambiente PEBD_d e campo. Nas demais avaliações realizadas não foram observadas diferenças entre os ambientes. Nas avaliações realizadas nos dias 16/02 e 11/04/13 não houve interação entre ambiente e espaçamento. Já nas avaliações realizadas nos dias 26/04 e 11/06/13 houve interação.

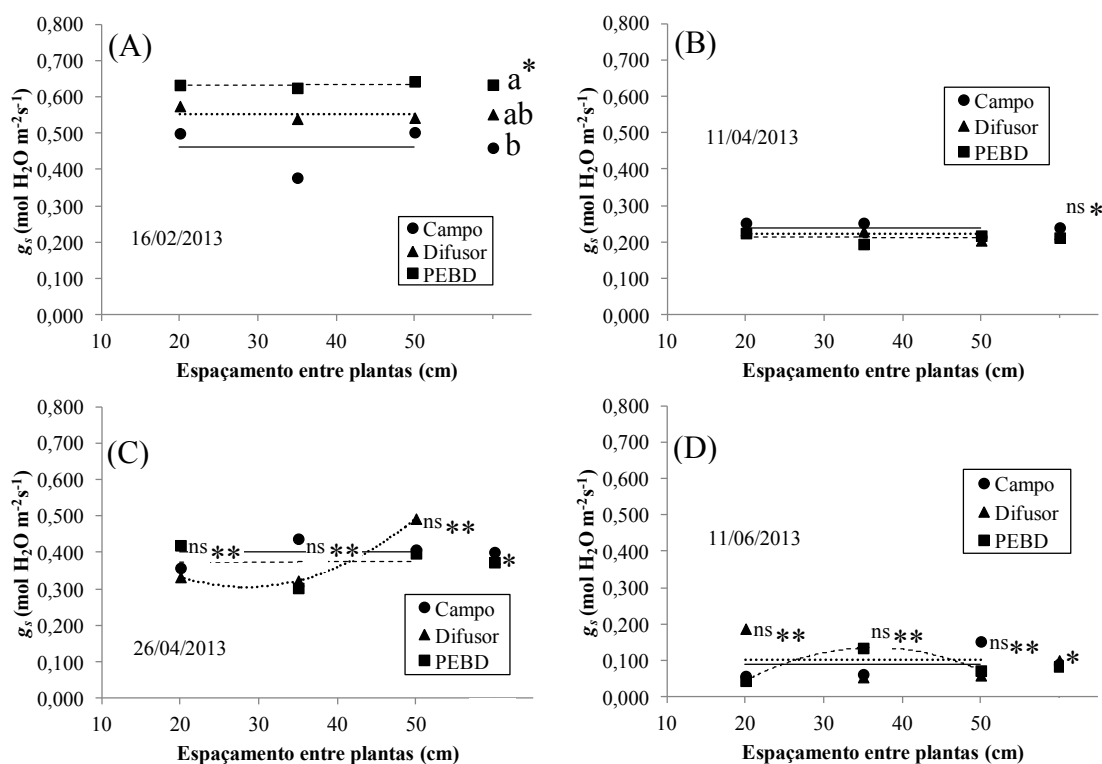


Figura 24. Condutância estomática (g_s) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (.....) e PEBD_c (-----). Na Figura (C) $y=0,0006x^2 - 0,0227x + 0,6263$ ($R^2=0,82$) para o ambiente PEBD_d. Na Figura (D) $y= -0,0003x^2 + 0,0246x - 0,3114$ ($R^2=0,65$) para o ambiente PEBD_c. *Valores médios de cada ambiente. ** Valores médios em cada espaçamento e ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

Os valores da concentração interna de CO₂ obtidos em folhas de pimentão foram maiores nos dias 11/04 e 26/04/13 e menores nos dias 16/02 e 26/04/13 (Figura 25). Para esta característica não se conseguiu caracterizar uma tendência entre os ambientes nas avaliações realizadas. Não houve interação entre ambiente e espaçamento.

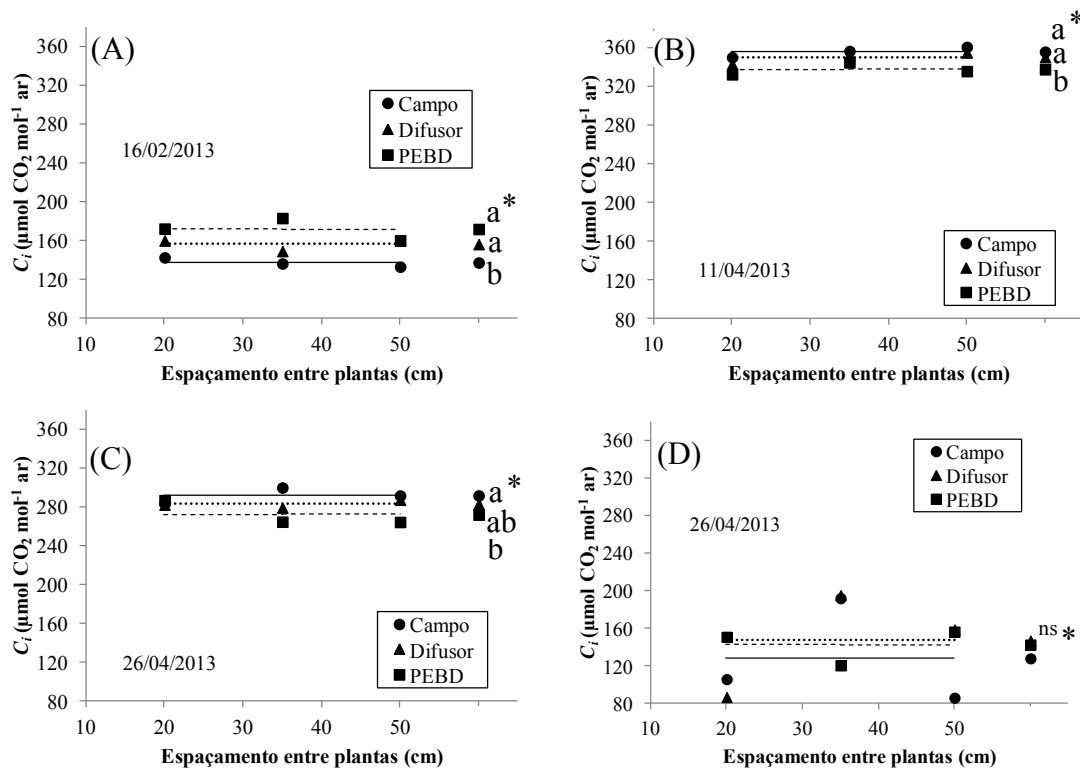


Figura 25. Concentração interna de CO₂ na folha (C_i) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (-----). * Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

Com relação à eficiência no uso da água, houve diferença entre os ambientes apenas para a avaliação realizada no dia 26/04/13. Nesta data, os maiores valores foram obtidos no ambiente campo que diferiu dos ambientes PEBD_d e PEBD_c (Figura 26). Para as demais avaliações feitas não foi observada diferença. Não houve interação entre ambiente e espaçamento para nenhuma das medições realizadas.

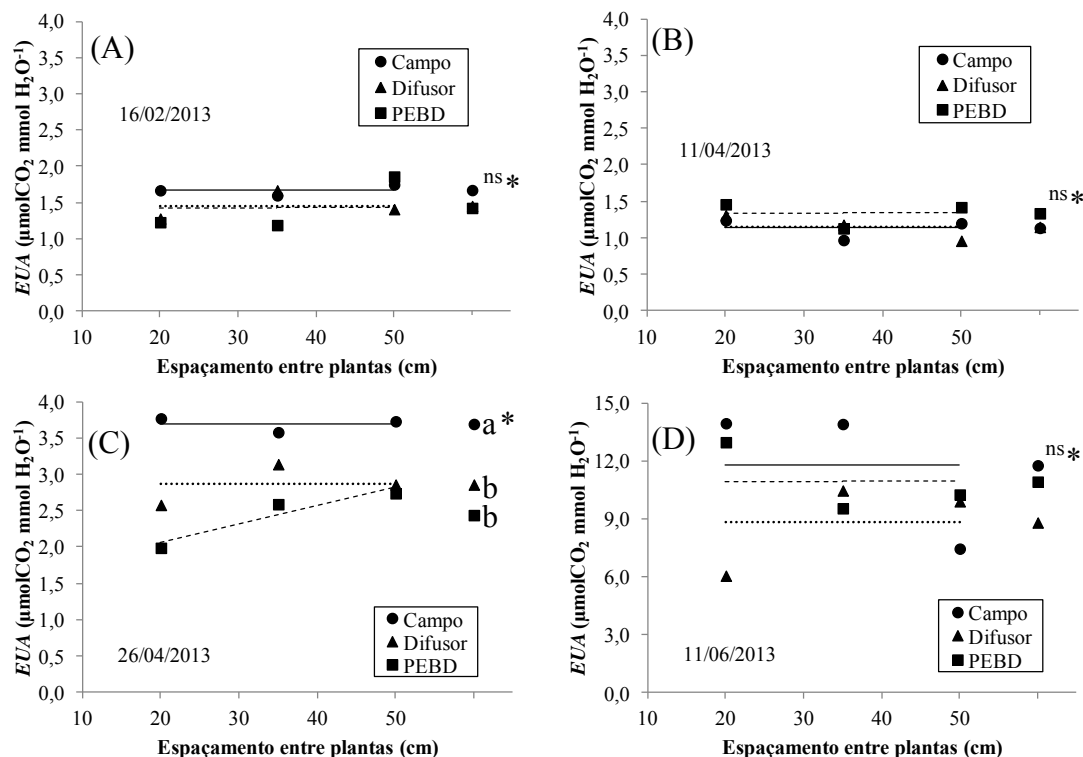


Figura 26. Eficiência no uso da água (*EUA*) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); difusor (·····) e PEBD (----). Na figura (C) $y=0,025x + 1,565$ ($R^2=0,61$) para o ambiente PEBD_c. * Valores médios de cada ambiente. Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

Para os três ambientes e espaçamentos avaliados, os valores de eficiência de carboxilação (A/C_i), obtidos nas quatro medições realizadas, não diferiram significativamente (Figura 27). Os maiores valores foram obtidos nos dias 16/02 e 11/06/13 e os menores na avaliação realizada no dia 11/04/13. Não houve interação entre ambiente e espaçamento para esta característica.

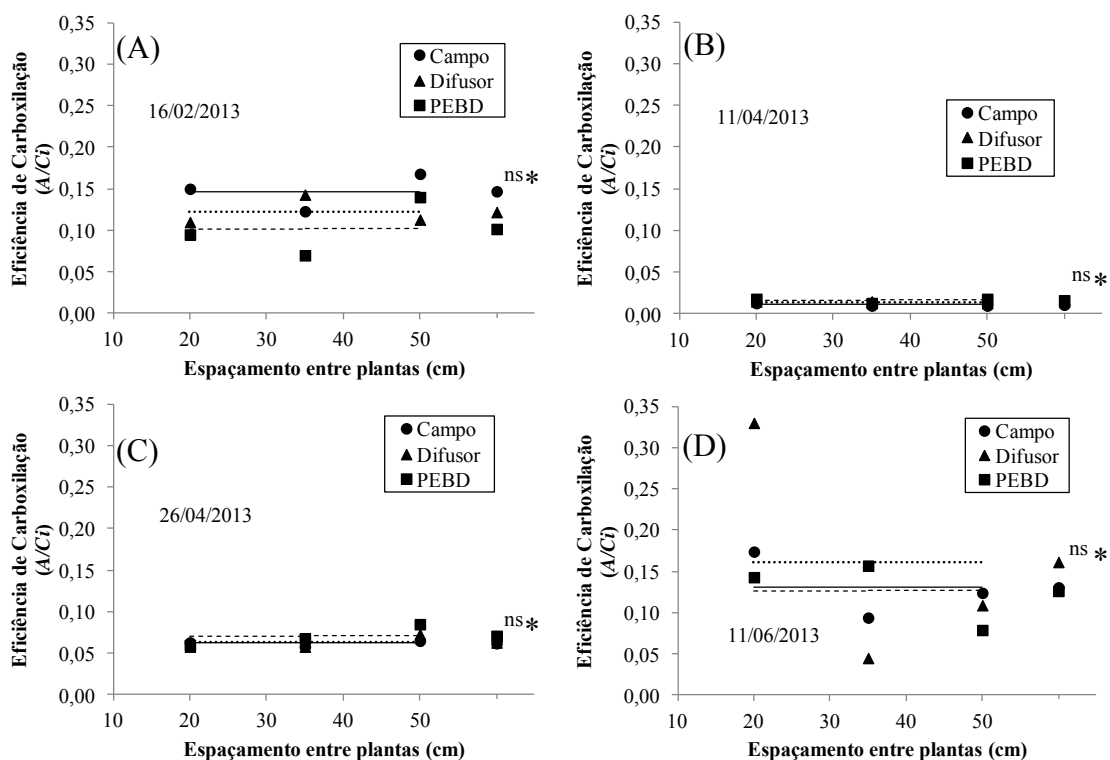


Figura 27. Eficiência de carboxilação (A/C_i) obtida em diferentes dias nos espaçamentos: 20, 35 e 50 cm entre plantas e nos ambientes: campo (—); PEBD_d (·····) e PEBD_c (----). *Valores médios de cada ambiente. ^{ns}= não significativo para a coluna correspondente. São Manuel, SP, 2013.

7.8 Vitamina C

Avaliou-se também a vitamina C presente nos frutos de pimentão maduros, expressa através do teor de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico por 100g de amostra). Os maiores valores foram obtidos no ambiente a campo, que diferiu dos ambientes PEBD_d e PEBD_c (Tabela 3).

Tabela 3. Vitamina C expressa pelo teor de ácido ascórbico em plantas de pimentão nos ambientes campo, PEBD_d e PEBD_c. Botucatu, SP, 2013.

Ambiente	Ácido ascórbico (mg/100g)
Campo	186,30 a
PEBD _d	128,02 b
PEBD _c	139,15 b
CV (%)	10,55

* Médias não seguidas pela mesma letra na coluna, em cada data, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

7.9 Relações entre características da planta

Durante a realização do experimento, quando as plantas encontravam-se na fase reprodutiva, foram coletadas folhas das quais foram medidos o índice SPAD e a superfície foliar específica (SFE). Os dados foram correlacionados e são apresentados na Figura 28. Obteve-se correlação entre a superfície foliar específica e o índice SPAD, sendo os valores de SFE maiores na estufa coberta com plástico difusor de luz, que recebeu menor quantidade de radiação solar, enquanto que os valores de SFE foram intermediários no ambiente coberto com PEBD comum e menores no cultivo a campo, que recebeu maior quantidade de radiação solar. Para um aumento de 100 unidades de SFE o índice SPAD sofre redução de 15,1 unidades. Ao utilizar-se as leituras do clorofilômetro, deve-se levar em consideração também os valores da SFE a qual sofre influência do ambiente, especialmente da quantidade de radiação solar recebida.

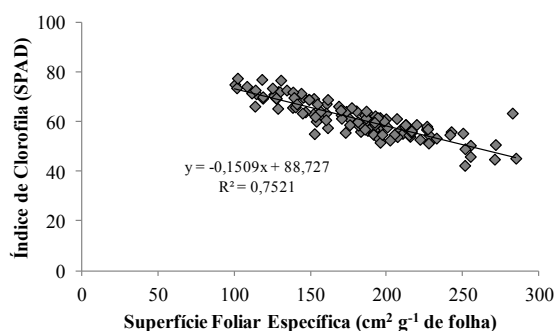


Figura 28. Relação entre a superfície foliar específica e o índice de clorofila (SPAD) em folhas de pimentão. São Manuel, SP, 2013.

Foram estabelecidas relações entre a área foliar e características da planta por ocasião da primeira colheita realizada no dia 16/03/2013 (Figura 29). Observou-se boa correlação entre a área foliar e o número de frutos por planta (Figura 29A). Para esta característica constatou-se que a cada 1.000 cm² de área foliar a planta fixa 2,6 frutos. Conseguiu-se estabelecer também, correlação entre área foliar e

diâmetro de caule, sendo que, o aumento de 1.000 cm² de área foliar aumenta o diâmetro do caule em 0,8 mm (Figura 29B). A melhor correlação foi obtida entre a área foliar e matéria fresca de frutos por planta (Figura 29C), onde observou-se que o aumento de 1.000 cm² de área foliar proporciona um aumento de 349,2g de matéria fresca de frutos por planta. Observou-se ainda correlação entre a área foliar e a matéria seca de frutos, sendo que, o aumento de 1.000 cm² de área foliar proporcionou a produção de 15,2 g de matéria seca de frutos (Figura 29D).

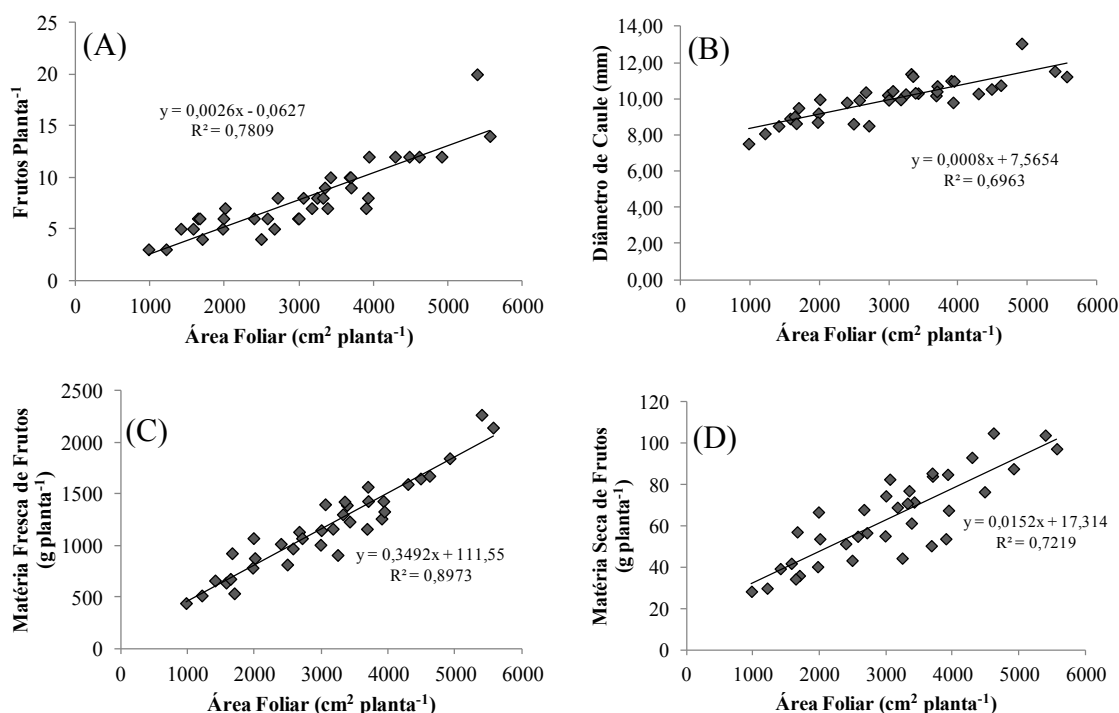


Figura 29. Relação entre área foliar e número de frutos por planta (A), diâmetro do caule (B), matéria fresca de frutos (C) e matéria seca de frutos (D) em plantas de pimentão realizada no dia 16/03/2013 por ocasião da primeira colheita. São Manuel, SP, 2013.

Buscando-se explicar as diferenças encontradas nos valores de trocas gasosas observadas em cada avaliação, correlacionou-se as características avaliadas com os valores de radiação global e temperatura dos três e dos sete dias que antecederam cada avaliação. As correlações foram feitas entre taxa de assimilação de CO₂, taxa transpiratória, concentração interna de CO₂, condutância estomática, eficiência no uso da água e eficiência de carboxilação, e a radiação solar global, temperatura média, máxima e o produto da radiação solar global e temperatura média.

As melhores correlações são apresentadas na Figura 30. Houve correlação entre o valor médio dos sete dias de radiação solar global que antecedeu a leitura da taxa de assimilação de CO₂ e esta, entre o produto dos valores médios de

radiação global e temperatura média dos sete dias que antecederam a leitura da taxa transpiratória e condutância estomática. Houve também correlação entre a eficiência e uso da água e o valor médio de radiação solar dos três dias que antecederam a leitura. Para as demais características não houve interação.

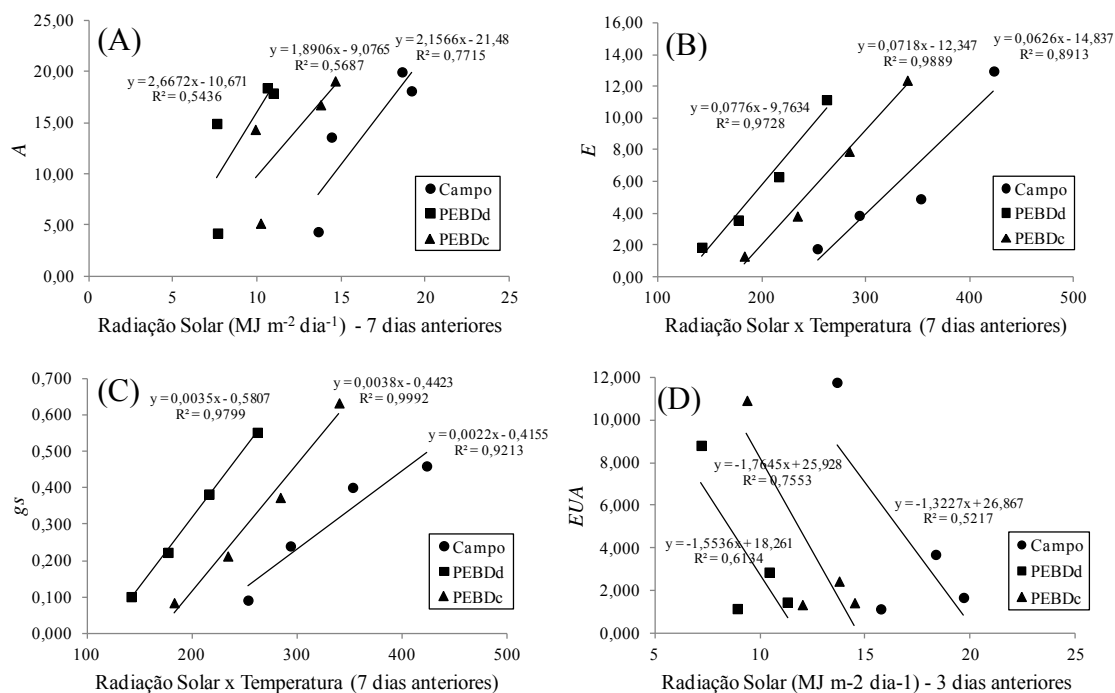


Figura 30. Relação entre a radiação solar global (sete dias anteriores à leitura) e a taxa de assimilação de CO₂ (A), entre o produto da radiação solar global e a temperatura média (sete dias anteriores à leitura) e a taxa transpiratória (B), entre o produto da radiação solar global e a temperatura média (sete dias anteriores à leitura) e a condutância estomática (C) e entre a radiação solar global (três dias anteriores à leitura) e a eficiência e uso da água (D) em plantas de pimentão. São Manuel, SP, 2013.

8 DISCUSSÃO

A radiação solar é o principal elemento do ambiente que é modificado pelo cultivo protegido. O limite mínimo de radiação para a produção de hortaliças de verão que produzem frutos e que não usam aquecimento é conhecido como limite trófico e consiste na quantidade de radiação solar abaixo da qual a planta não consegue manter as suas estruturas vivas por muito tempo (ANDRIOLO, 1999). Entre os ambientes avaliados o campo foi onde houve o menor número de dias com radiação abaixo do limite trófico (14,2%), enquanto no ambiente PEBD_c foi de 23,0%. No ambiente PEBD_d 47,1% dos dias tiveram radiação solar abaixo do limite trófico, os quais ocorreram, principalmente, da metade para o final do experimento. No entanto, a fração difusa da radiação solar, que é considerada mais eficiente, foi maior no PEBD_d e PEBD_c, correspondendo a 96,5 e 55,3% da radiação incidente no interior de cada ambiente. O pimentão é uma cultura exigente em luminosidade, logo os dias com radiação solar abaixo do limite trófico prejudicaram o desenvolvimento da cultura, especialmente no ambiente PEBD_d no final do ciclo. Quando se observa a produção da primeira floração (Figura 13), ou seja, das 12 primeiras semanas de colheita, o ambiente PEBD_d destaca-se dos demais nos três espaçamentos avaliados, no entanto, ao final do ciclo esta tendência não é observada. Isto se deve, provavelmente, aos baixos valores de radiação solar sob o ambiente PEBD_d, especialmente, a partir de 15/05/2014. Como a produção foi maior sob cultivo protegido a cultura beneficiou-se das características deste sistema de cultivo, como observado por Cunha & Escobedo (2003), entre elas a maior quantidade de radiação solar difusa (BURIOL et al., 1995).

Embora os valores de produção obtidos nos ambientes PEBD_d e PEBD_c tenham sido maiores que no ambiente campo, não foi observada diferença

entre os tratamentos com relação à taxa de assimilação de CO_2 (Figura 22). Brodersen et al. (2008) compararam a fotossíntese de folhas iluminadas em dois ambientes, um deles recebendo radiação solar direta e o outro recebendo radiação solar difusa na mesma intensidade luminosa e constataram que a fotossíntese foi 10-15% maior nas folhas das plantas que receberam radiação direta. Logo, a maior produção obtida não se deve a um aumento na fotossíntese da folha, mas provavelmente ao aumento na fotossíntese da planta toda. Segundo Gu et al. (2003), o aumento na fotossíntese do dossel pode ser observado quando comparamos duas folhas em situações diferentes. Na primeira, uma das folhas recebe grande quantidade de radiação solar e a outra folha fica sombreada. Neste caso, ocorre saturação por luz da folha que recebe grande quantidade de radiação solar e a folha sombreada tem seu potencial fotossintético diminuído por receber luz em baixa quantidade, tendo-se assim, uma situação de baixa atividade fotossintética. Na segunda situação, as duas folhas são iluminadas com 50% da radiação solar. Neste caso, a soma da fotossíntese produzida pelas duas folhas é maior que a soma da fotossíntese onde uma folha recebe grande quantidade de radiação solar e a outra fica sombreada. Desta forma, os ganhos em produção obtidos em cultivo protegido e sob plástico PEBD_d devem-se ao aumento na fotossíntese do dossel, já que não ocorre aumento na fotossíntese da folha isoladamente quando a planta recebe radiação difusa.

Li et al. (2014) compararam ambientes com a mesma intensidade luminosa sob diferentes frações da radiação difusa e seu efeito na fotossíntese e desenvolvimento da planta toda. Constataram que há melhor distribuição na radiação solar horizontalmente e verticalmente, bem como aumento na taxa fotossintética e índice de área foliar, que levam ao aumento na fotossíntese da planta toda e, conseqüentemente, na produção. Segundo Jongschaap et al. (2006), há redução na saturação das folhas superiores e incremento na fotossíntese das camadas inferiores do dossel da cultura sob radiação difusa.

O processo fotossintético inicia com a interceptação da radiação solar pelas folhas. Neste trabalho os valores de IAF no momento em que foi realizada a determinação da massa seca ainda estavam baixos, um pouco acima de 1,0, sabe-se que na sequência os mesmos aumentaram, no entanto, não foram feitas outras avaliações. Entre os espaçamentos os maiores valores foram obtidos com 20 cm entre plantas (Figura 11). Talvez esta seja uma das razões para explicar a maior produção obtida neste espaçamento. Entre os ambientes, os valores de IAF foram maiores no PEBD_d. LI et

al. (2014) obtiveram maiores valores de IAF em plantas que receberam maior quantidade de radiação solar difusa. No entanto, para estes autores, a intensidade de radiação era igual ao ambiente não sombreado.

O pimentão é conduzido de forma tutorada, ocorrendo com esta cultura uma situação semelhante ao que foi relatado anteriormente. Em um dia de céu límpido, no qual os valores de radiação solar são elevados, grande parte desta radiação é direta (BURIOL et al., 1995). Esta radiação é interceptada pelas folhas superiores, sendo comum ocorrer saturação por luz (MERCADO et al., 2009). Nesta situação, o CO₂ passa a limitar a fotossíntese e a folha passa a dissipar o excesso de energia luminosa (TAIZ & ZEIGER, 2013). Já as folhas inferiores, ficam sombreadas e acabam recebendo uma quantidade pequena de radiação solar e, conseqüentemente, realizam pouca fotossíntese (RODERICK et al., 2001; MERCADO et al., 2009). Em alguns casos as folhas sombreadas podem funcionar inclusive como um dreno na planta, o que justifica a prática do desfolhamento para algumas culturas (ANDRIOLO, 1999).

Quando o pimentão é produzido em ambiente protegido, as plantas são favorecidas, pois a quantidade de radiação solar difusa é maior nesse ambiente (BURIOL et al., 1995; CABRERA et al., 2009). Esta radiação distribui-se de forma mais homogênea na planta, sendo que, as camadas de folhas inferiores recebem maior quantidade de radiação solar comparada à condição de campo e, conseqüentemente, a fotossíntese da planta toda é aumentada (KANNIAH et al., 2012, LI et al., 2014). Segundo Pettersen et al. (2010), a suplementação de luz nas camadas inferiores de um dossel de pepino aumenta a fotossíntese líquida, a capacidade fotossintética e a produtividade.

Com a utilização do plástico difusor de luz, a eficiência fotossintética da planta pode aumentar (MERCADO et al., 2009). Neste experimento, os valores de produção da primeira floração foram maiores no ambiente PEBD_d, seguido pelo ambiente PEBD_c e a campo observou-se os menores valores. Esses dados são um indicativo de que houve maior eficiência fotossintética no ambiente PEBD_d, visto que as plantas sob PEBD_d receberam a menor quantidade de radiação solar. Os maiores valores de radiação solar foram obtidos até aproximadamente a 12^a semana de colheita (Figura 1). Plantas sob cobertura de materiais que transformam a radiação solar direta em difusa têm seu desempenho destacado nos meses de verão, quando há maior intensidade luminosa (JONGSCHAAP et al., 2006).

Observando-se os valores de matéria seca (Figura 19) pode-se constatar que mesmo recendo uma quantidade menor de radiação solar o ambiente PEBD_d produziu a mesma quantidade de matéria seca que o ambiente PEBD_c por ocasião da primeira colheita e ambos foram superiores ao ambiente campo. Isto é um indicativo de que houve maior eficiência na conversão da radiação solar em matéria seca. Entre os ambientes PEBD_d e PEBD_c a produção de matéria seca não diferiu, o que se deve, provavelmente, ao maior uso e eficiência da luz, ou seja, mesmo recebendo a menor quantidade de radiação solar a planta conseguiu converter mais eficientemente esta radiação em massa seca. Um dos fatores responsáveis por este fato é a quantidade de radiação difusa recebida pela cultura. Dentre os benefícios deste tipo de radiação estão a melhor distribuição da radiação solar (LI et al., 2014) e a temperatura da folha que é menor em ambientes com elevada quantidade de radiação solar difusa (HEMMING et al., 2008b), podendo os valores serem de 3 à 5 °C menores (LI et al., 2014). Estes mesmos autores observaram que quando as folhas das plantas são expostas ao máximo de radiação solar no horário do meio dia, foi observada redução na eficiência máxima do fotossistema II comparado ao período de menor luminosidade no horário da manhã, sugerindo a ocorrência de fotoinibição quando há excesso de luminosidade.

Outro indicativo de que a eficiência fotossintética foi maior no ambiente PEBD_d, são os valores de massa média de frutos obtidos nas colheitas da primeira floração (Figura 14) e da espessura da parede dos frutos (Figura 18), que foram maiores neste ambiente. Na cultura do tomate, Dueck et al. (2012) também observaram aumento na massa individual de frutos em ambientes com maior proporção de radiação solar difusa no ambiente. Segundo estes mesmos autores, a planta transfere maior quantidade de fotoassimilados para os frutos em ambientes com maior quantidade de radiação difusa favorecendo a fração generativa. Como o ambiente PEBD_d recebeu a menor quantidade de radiação solar global e PAR, isso indica que houve melhor aproveitamento da luz pelas plantas, no entanto, sem haver diferenças na distribuição de fotoassimilados (Figura 20).

O pimentão é uma cultura que apresenta baixa eficiência fotossintética, ou seja, a planta necessita de grande quantidade de folhas para uma boa produção, não sendo recomendado o desfolhamento excessivo. Observou-se neste estudo, relação linear crescente entre a área foliar e o número de frutos por planta, diâmetro de caule, massa fresca e seca de frutos, sendo a melhor relação obtida entre a área foliar e a

massa fresca de frutos. Constatou-se que o aumento de 1.000 cm² de área foliar proporciona aumento de 349,2 g de massa fresca de frutos por planta no momento da primeira colheita. Os dados de produção estão coerentes também com os valores de IAF, sendo que, os maiores valores foram obtidos no ambiente PEBD_d seguido por PEBD_c e campo, no qual foram obtidos os menores valores (Figura 11). Estes maiores valores obtidos no ambiente PEBD_d devem-se à expansão foliar, já que não houve diferença no número de folhas por unidade de área (Figura 10).

A expansão foliar está relacionada, entre outros fatores, à quantidade de radiação solar recebida pela cultura. Folhas crescidas em ambientes com menor luminosidade tendem a expandir mais (TAIZ & ZEIGER, 2013). Neste experimento, o ambiente PEBD_d recebeu 56,0% da radiação global e foi onde obteve-se os maiores valores de IAF. Já com relação à radiação PAR, o ambiente PEBD_d recebeu 50,1% e o PEBD_c recebeu 71,1%. Provavelmente, os valores de radiação solar contribuíram para a expansão foliar.

Os valores de radiação no ambiente PEBD_d e no PEBD_c influenciaram também na superfície foliar específica (SFE). A SFE é obtida dividindo-se a área foliar (cm²) pela matéria seca de folhas (g). Obtém-se desta forma, a área foliar necessária para compor um grama de massa seca de folhas. Quanto maior o valor de SFE menos espessa é a folha, ou seja, maior é a área foliar necessária para compor um grama de massa seca de folhas. Observou-se neste estudo que a SFE foi menor no ambiente campo, diferindo do ambiente PEBD_c que diferiram do ambiente PEBD_d, onde foram obtidos os maiores valores (Figura 12). Sandri et al. (2003), trabalhando com a cultura do tomateiro, obtiveram os maiores valores de SFE quando o cultivo foi feito em ambiente com sombreamento. Observa-se, desta forma, haver relação entre os valores de SFE e a incidência de radiação solar. Li et al. (2014), trabalhando com ambientes com a mesma intensidade luminosa, obtiveram valores de SFE menores em plantas sob radiação difusa, diferente do presente estudo onde a radiação sofreu variações entre os ambientes. Os valores encontrados neste trabalho foram o oposto, provavelmente devido as diferentes intensidades luminosas.

O fato de se obter os maiores valores de SFE no ambiente PEBD_d é um indicativo de que neste ambiente a planta comportou-se de forma similar a uma folha crescida em ambiente sombreado. Plantas crescidas em ambiente sombreado, além de expandirem suas folhas, apresentam menor espessura de folhas que plantas

crecidas a pleno sol (TAIZ & ZEIGER, 2013). O ambiente PEBD_d, no caso, não era sombreado, mas transmitiu pouco mais da metade da radiação solar do ambiente campo. A folha expandiu-se e ficou menos espessa, o que é característico em plantas que crescem em ambiente com baixa luminosidade. Outro aspecto a considerar é que plantas com maiores valores de SFE podem ter exportado mais nutrientes para os frutos.

As variações nos valores de SFE acabaram influenciando nas leituras de clorofila obtidas através do índice SPAD (Figura 28). Estabeleceu-se então, relação entre a SFE e o índice SPAD durante o experimento e constatou-se que os maiores valores do índice SPAD foram obtidos no ambiente campo, o qual apresentou os menores valores de SFE, ou seja, onde a folha era mais espessa. No ambiente PEBD_c, os valores de SFE e índice SPAD foram intermediários. Já no ambiente PEBD_d, no qual os valores de SFE foram maiores, o índice SPAD apresentou os menores valores. A relação obtida foi do tipo linear, representada pela equação $y: 88,727 - 0,1509x$, $R^2: 0,75$, onde y representa índice SPAD e x os valores da SFE. Observa-se, desta forma, boa relação em que o índice SPAD varia com a superfície foliar específica. Constata-se, desta forma, que o ambiente pode modificar os valores de superfície foliar específica que influencia nos valores do índice SPAD. Ao utilizar-se as leituras do clorofilômetro, como por exemplo, para a estimativa do teor de nitrogênio em uma planta, deve-se levar em consideração também os valores da superfície foliar específica que sofre influência do ambiente, especialmente da quantidade de radiação solar recebida.

Os valores de clorofila obtidos através da leitura do índice SPAD são usados, principalmente, como referência para o monitoramento e recomendação da adubação nitrogenada (GODOY et al., 2003; FONTES & ARAUJO, 2007). Os dados aqui obtidos servem de alerta, pois estão demonstrando que a SFE, que influencia nos valores do índice SPAD, varia de acordo com o ambiente. Todas as plantas deste experimento receberam a mesma adubação nitrogenada, logo, na utilização do índice SPAD para recomendação da adubação nitrogenada, deve-se levar em consideração também a SFE. A relação obtida neste estudo foi a seguinte: para um aumento de 100 unidades de SFE o índice SPAD sofre redução de 15,1 unidades. Logo, quando uma recomendação de adubação nitrogenada, baseada no índice SPAD, é feita para um cultivo a campo, por exemplo, as referências não devem ser as mesmas que para um cultivo em ambiente protegido. Além disso, podem variar também de acordo com a transmissividade e

as características do plástico de cobertura do ambiente protegido (PEBD_c e PEBD_d, por exemplo).

Com relação à cobertura plástica ainda, observou-se que o plástico difusor de luz reduz drasticamente a radiação solar e que o incremento na difusa é de apenas 5,8% comparado ao plástico comum. Isto pode explicar o fato de não ter havido diferença na produção entre os ambientes. Outro aspecto a considerar é que não houve diferença entre os ambientes na umidade relativa do ar. Poderia haver benefício para o plástico difusor numa condição de baixa umidade relativa do ar.

Referente aos espaçamentos utilizados, os maiores valores de produção foram obtidos quando as plantas foram cultivadas a 20 cm de distância. O espaçamento comumente utilizado pelos produtores é de 30 – 40 cm entre plantas. Isto significa que menores espaçamentos podem ser utilizados em cultivo protegido tanto utilizando o PEBD difusor quanto o PEBD comum. Streck et al. (1998) e Schwambach et al. (2002), trabalhando, respectivamente, com tomate e pepino, também encontraram maiores produções em espaçamentos menores que aqueles que até então eram recomendados para estas culturas.

Já com relação ao teor de vitamina C, expressa através do ácido ascórbico, observou-se os maiores valores no campo, semelhante ao resultado obtido por Buczkowska & Michalojc (2012), que também obtiveram maiores valores no ambiente campo comparada à estufa e relatam que a radiação solar durante a maturação teve influência positiva no teor de vitamina C. Neste estudo, os maiores valores foram obtidos no ambiente campo indicando que aqui também houve influência da radiação solar no teor de vitamina C.

Um dos cuidados que se deve ter com relação ao uso do PEBD difusor de luz está relacionado ao limite trófico. Como o PEBD difusor de luz reduz a radiação solar em 44% deve-se fazer um estudo prévio a fim de evitar a utilização deste tipo de material em locais ou épocas do ano onde a radiação é limitante. Uma alternativa seria utilizar estes materiais de cobertura de forma removível no lugar de telas de sombreamento em períodos mais quentes e de maior disponibilidade de radiação solar, por exemplo.

Hemming et al. (2008a) citam que vários materiais podem ser usados para a cobertura como filmes plásticos, vidraças e revestimentos temporários com o objetivo de transformar a radiação solar direta em difusa. A viabilidade dependerá do custo

de cada um desses materiais. Segundo Kempkes et al. (2012), os materiais que transformam a radiação solar direta em difusa implicam em perdas na transmissividade que podem ser evitadas utilizando-se materiais de revestimento que diminuem a reflexão da radiação solar incidente. Colocam ainda que, entre estes materiais, recentemente apenas tornou-se disponível a cobertura de vidro que transforma a radiação solar direta em difusa com a mesma transmissividade que a cobertura de vidro não difusora. Segundo Baeza & López (2012), a chave dos avanços nesta área está relacionada às propriedades ópticas dos materiais de cobertura.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação à utilização de materiais de cobertura que possuem características de difundir a radiação solar como o PEBD difusor de luz pode-se considerar que:

- É preciso dar atenção aos valores de radiação solar de cada local, pois o PEBD difusor de luz reduz a mesma em 44%, fazendo-se necessário um estudo prévio a fim de verificar se os valores no interior dos ambientes protegidos não ficam abaixo do limite trófico, especialmente, naqueles meses do ano com menor disponibilidade de luminosidade;

- Devem ser feitas pesquisas a fim de desenvolver futuramente materiais com maior transmissividade, mantendo as características de difundir a radiação solar;

- Embora 96,50% da radiação solar interna ao ambiente coberto com PEBD_d seja difusa, considerando-se o total, este ambiente recebeu apenas 5,8% a mais que o ambiente PEBD_c;

- A utilização da cobertura com PEBD_d proporciona ganhos com relação aos ambientes campo e PEBD_c, especialmente, na massa média de frutos nas primeiras colheitas e na espessura da parede do fruto de pimentão;

- Os dados referentes ao índice de clorofila (SPAD) são maiores no ambiente campo, seguidos pelo ambiente PEBD_c e são menores no ambiente PEBD_d;

- Deve-se, ao utilizar as leituras do clorofilômetro para estimar o teor de nitrogênio em uma planta, levar em consideração os valores de superfície

foliar específica que é influenciada pelo ambiente, principalmente, pela quantidade de radiação solar recebida;

- Os valores de vitamina C expressos através do teor de ácido ascórbico são maiores no ambiente campo.

10 CONCLUSÃO

Visando-se elevar a produção e a qualidade em hortaliças como o pimentão em cultivo protegido, pode-se fazer o uso de tecnologias como o uso do PEBD difusor de luz utilizando-se menores espaçamentos em condições de radiação solar não limitante.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D. **Manual de culturas hortícolas**. Volume II. Editora Presença: Lisboa, 2006. 325 p.
- ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.
- ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, suplemento, p.26-33, 2000.
- BAEZA, E.; LÓPEZ, J. C. Light transmission through greenhouse covers. **Acta Horticulturae**, n. 956, p.425-440, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Instrução Normativa nº 24 de 8 de setembro de 2005. **Aprova o Manual Operacional de Bebidas e Vinagres**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 20 set. 2005, Seção 1, pt. 11.
<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 12 out. 2013.
- BRODERSEN, C. R. et al. A new paradigm in leaf-level photosynthesis: direct and diffuse lights are not equal. **Plant, Cell and Environment**, n. 31, p. 159–164, 2008.
- BUCZKOWSKA, H.; MICHALOJC, Z. Comparison of qualitative traits, biological value, chemical compounds of sweet pepper fruit. **Journal of Elementology**, v. 17, Ed. 3, p. 367-377, 2012.
- BURIOL, G. A. et al. Modificações na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 43-49, 1993.
- BURIOL, G. A. et al. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n.1, p. 1-4, 1995.
- CABRERA, F.J. et al. Effects of cover diffusive properties on the components of greenhouse solar radiation. **Biosystems Engineering**. n. 103, p. 344 – 356, 2009.

- CAMACHO, M. J. et al. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 19-24, 1995.
- CUNHA, A. R. **Parâmetros agrometeorológicos de cultura de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em ambientes protegido e campo**. Botucatu: UNESP, 2001. 128p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2001.
- CUNHA, A. R.; ESCOBEDO, J. F. Alterações micrometeorológicas causadas pela estufa plástica e seus efeitos no crescimento e produção da cultura de pimentão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 15-27, 2003.
- DUECK, T. A. et al. Influence of Diffuse Glass on the Growth and Production of Tomato. Influence of diffuse glass on the growth and production of tomato. **Acta Horticulturae**, n. 956, p. 75–82, 2012.
- FAO. **El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo**. Roma, 2002. 318 p. (FAO Producción y Protección Vegetal Estudio FAO, 90).
- FARIAS, J. R. B. et al. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 31-36, 1993.
- FONTES, P. C. R.; ARAUJO, C. **Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa: UFV, 2007. 148 p.
- GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 1049-1056, 2003.
- GOTO, R.; TIVELLI, S. W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: UNESP, 1998. 317 p.
- GOTO, R.; SANTOS, H. S.; CAÑIZARES, A. L. **Enxertia em hortaliças**. São Paulo: UNESP, 2003. 85 p.
- GU, L. et al. Response of a Deciduous Forest to the Mount Pinatubo Eruption: Enhanced Photosynthesis. **Science**. n. 299, p. 2035-2038, 2003.
- HEALY, K. D. et al. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. **Aust. J. Agric. Res.** n. 49, p. 665-672, 1998.
- HEMMING, S. et al. Filtering Natural Light by the Greenhouse Covering Using Model Simulations – More Production and Better Plant Quality by Diffuse Light? **Acta Horticulturae**. n. 711. p. 105-110, 2006.
- HEMMING, S. et al. Diffuse Greenhouse Covering Materials – Material Technology, Measurements and Evaluation of Optical Properties. **Acta Horticulturae**. n. 797, p. 469-475, 2008a.

HEMMING, S. et al. The Effect of Diffuse Light on Crops. **Acta Horticulturae**. n. 801, p. 1293-1300. 2008b.

HORA, R. C. **Avaliação de pepineiro enxertado em diferentes ambientes**. Botucatu, 2006. 68p. (Tese doutorado) UNESP.

JONGSCHAAP, R. E. E., et al. Simulating Seasonal Patterns of Increased Greenhouse Crop Production by Conversion of Direct Radiation into Diffuse Radiation. **Acta Horticulturae**. 718, p. 315-322, 2006.

KANNIAH, K. D. et al. Control of atmospheric particles on diffuse radiation and terrestrial plant productivity: A review. **Progress in Physical Geography**. 36(2), p. 209-237. 2012.

KEMPKES, F. L. K. et al. Enhancement of crop photosynthesis by diffuse light: quantifying the contributing factors. **Acta Horticulturae**. 952, p. 255 – 262, 2012.

LI, T. et al. Enhancement of crop photosynthesis by diffuse light: quantifying the contributing factors. **Annals of Botany**. n. 114, p. 145–156, 2014.

MELO, J. M. D. **Desenvolvimento de um sistema para medir simultaneamente radiações global, difusa e direta**. Botucatu, 1993. 130 p. (Tese doutorado) UNESP.

MERCADO, L. M. et al. Impact of changes in diffuse radiation on the global land carbon sink. **Nature**. v. 458, p. 1014-1018, 2009.

MONSI, M.; SAEKI, T. On the Factor Light in Plant Communities and its Importance for Matter Production. **Annals of Botany**. n. 95, p. 549–567, 2005.

PETTERSEN, R. I.; TORRE, S.; GISLERØD, H. R. Effects of intracanopy lighting on photosynthetic characteristics in cucumber. **Scientia Horticulturae**. 125, p.77-81, 2010.

PIMENTÃO. São Roque: Hortibrasil, [2010?] Disponível em:
<<http://www.hortibrasil.org.br/jnw/classificação/pimentão/pimentão.html>> Acesso em: 25 out. 2014.

RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. (Boletim Técnico, 100).

REIFSCHNEIDER, F. J. B. **Capsicum: Pimentas e pimentões no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. 113p.

RODERICK, M. L. et al. On the direct effect of clouds and atmospheric particles on the productivity and structure of vegetation. **Oecologia**. 129, p. 21-30, 2001.

SANDRI, M. A. et al. Effect of shading on tomato plants grow under greenhouse. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 642-645, 2003.

SCHVAMBACH, J. L. et al. Produção e distribuição da matéria seca do pepino para conserva em diferentes populações de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.35-41, 2002.

SGANZERLA, E. **Nova Agricultura: a fascinante arte de cultivar com os plásticos**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 342p.

SHAHAK, Y. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. **Acta Horticulturae**. n. 770, p. 161-168. 2008.

SOUSA, J. W. **Efeito da cobertura de polietileno difusor de luz em ambiente protegido cultivado com pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. Botucatu, 2002. 113 p. (Tese doutorado) UNESP.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TIVELLI, S. W. **Sistemas de cultivo na cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.) vermelho em ambiente protegido**. Botucatu, 1999. 157 p. (Tese doutorado) UNESP.

TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; CARRIJO, O. A. Fertirrigação em hortaliças. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, n. 196, 2011, 51 p.

VICTORIA, N. G. et al. Effect of a Diffuse Glass Greenhouse Cover on Rose Production and Quality. **Acta Horticulturae**. n. 952, p.241-248. 2012.