

USO DE TELA TERMORREFLETORA EM AMBIENTES PROTEGIDOS PARA CULTIVO DO TOMATEIRO

Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n2p180-191/2015>

DIEGO L. FERRARI¹, PAULO A. M. LEAL²

RESUMO: O emprego de telas termorrefletoras, como forma de limitar o aumento da temperatura do ar em ambientes protegidos, deve ser manejado, a fim de evitar a redução excessiva da radiação solar, dada sua importância sobre o desenvolvimento e a produção de hortaliças como o tomateiro. Nesse contexto, os objetivos do trabalho foram comparar os microclimas entre ambientes protegidos cultivados com tomateiro, sendo um coberto somente com polietileno de baixa densidade (PEBD) reforçado e outro coberto com PEBD reforçado associado a uma tela termorrefletora aluminizada retrátil, sob condições de manejo, e avaliar sua adequação às condições climáticas recomendadas à cultura do tomateiro pela bibliografia consultada. O experimento foi conduzido no município de Rio das Pedras-SP, entre 1º-08-11 e 21-01-12. A tela termorrefletora foi empregada somente em dias de céu límpido, entre as 11h e as 16h. Foram coletados dados de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global (Qs) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no interior de ambos os ambientes protegidos, e dados de temperatura do ar no ambiente externo. O emprego da tela termorrefletora aluminizada reduziu significativamente os valores médios de Qs, RFA e a temperatura do ar, ao passo que elevou os valores de umidade relativa do ar. O microclima do ambiente com tela adaptou-se melhor às condições climáticas consideradas adequadas pela bibliografia para o cultivo do tomateiro.

PALAVRAS-CHAVE: tela termorrefletora; manejo; tomateiro.

USE OF THERMOREFLECTIVE SCREENS ON GREENHOUSES FOR TOMATO PRODUCTION

ABSTRACT: The use of thermoreflective screens in order to limit air temperature rising in greenhouses must be based on appropriate management to avoid excessive reduction of solar radiation, due to its importance for horticultural crops development and production such as tomato. Hence, this study aims to compare the microclimates of two greenhouses cultivated with tomato and evaluate their suitability to climatic recommendations for tomato crop provided by the consulted bibliography. For this purpose two different structures were assessed: a greenhouse covered only with reinforced low-density polyethylene (LDPE) and a greenhouse covered with reinforced LDPE and retractable thermoreflective screen under management conditions. The experiment was carried out in Rio das Pedras-SP during 08/01/11 to 01/21/12. The thermoreflective screen was used only on sunny days, between 11:00 and 16:00. Air temperature and relative humidity, global radiation and photosynthetically active radiation inside both greenhouses and air temperature of external environment data were collected. The thermoreflective screen significantly reduced the mean values of global solar radiation, photosynthetically active radiation and air temperature, while increased air relative humidity. The microclimate of the greenhouse with thermoreflective screen is best suited to the climatic conditions considered appropriated by the bibliography recommendations for tomato cultivation.

KEYWORDS: thermoreflective screen; management; tomato.

¹ Engº Agrícola, Mestre, Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP, Fone: (19) 98244-3760, diegoluisferrari@hotmail.com

² Engº Agrícola, Prof. Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP, pamleal@feagri.unicamp.br
Recebido pelo Conselho Editorial em: 21-10-2013
Aprovado pelo Conselho Editorial em: 19-9-2014

INTRODUÇÃO

O cultivo de hortaliças, em ambiente protegido, continua em expansão no Brasil (ANDRADE et al., 2011), devido às vantagens desse tipo de cultivo, dentre as quais se destacam a viabilização da produção nos períodos de entressafra, aumento da produtividade e rentabilidade da atividade agrícola e maior proteção contra as adversidades dos fenômenos meteorológicos como o excesso de chuvas, chuva de granizo, ventos fortes, excesso de radiação, entre outros (VÁSQUEZ et al., 2005; ANDRADE et al., 2011; ANDRIOLO, 2002; REIS et al., 2012).

No caso da cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), o cultivo em ambientes protegidos aumentou nos últimos anos, especialmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, com o propósito de melhorar a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas, e também em razão de oferecer regularidade na produção (REIS et al., 2013). O Estado de São Paulo tem importante participação na produção de tomate em nível nacional, com produção de 827 mil toneladas em 2011, com o Estado de Goiás sendo o maior produtor (IBGE, 2013).

A barreira física interposta entre o dossel da cultura e a atmosfera, normalmente feita com PEBD, ocasiona alteração do microclima dos ambientes protegidos, condicionada às propriedades físicas dos materiais de fechamento da estrutura, condições de renovação do ar, forma, dimensões e orientação do ambiente, cobertura vegetal, clima local, possibilidades de evaporação do solo e condensação no filme plástico da cobertura (CASTILLA, 2005).

O microclima de ambientes protegidos naturalmente ventilados, em função dos fatores geográficos e das características construtivas das estruturas, pode apresentar-se desfavorável ao cultivo de hortaliças, devido à ocorrência de temperaturas que, principalmente no verão, podem ultrapassar 40° C, associadas a baixos valores de umidade relativa.

Como alternativa, visando a restringir a elevação excessiva da temperatura do ar em ambientes protegidos, pode-se fazer uso de telas termorrefletoras, que têm por finalidade limitar o acúmulo de carga térmica no ambiente por meio de reflexão de parte da radiação solar incidente (GUISELINI et al., 2010). O uso do sombreamento pode ser considerado, depois da ventilação natural, a ferramenta de controle microclimático mais simples e menos onerosa a ser empregada em ambientes protegidos. No entanto, os autores HAHN (2011) e STANGHELLINI et al. (2011) destacam que essa ferramenta deve ser adequadamente manejada, pois a restrição da radiação solar, além de afetar os componentes do balanço de energia, como os fluxos de calor sensível e latente, pode influenciar no crescimento, desenvolvimento e produção das culturas. GARCÍA et al. (2011) afirmam que o uso de telas de sombreamento fixas possibilita a escolha entre diferentes níveis de transmitância, além de propiciar sombreamento homogêneo, mas destacam que este sistema possui a desvantagem de ser permanente ao longo de todo o dia e restringir a quantidade necessária de radiação fotossinteticamente ativa em determinados cultivos.

A observância dos níveis de radiação que atingem o dossel da cultura não pode ser negligenciada, a fim de evitar que a atividade fotossintética e o desenvolvimento das plantas fiquem comprometidos. FAO (1990) cita, como ponto de compensação fótico das hortaliças, o nível de radiação solar global de 8,4 MJ m⁻² dia⁻¹, valor suficiente para garantir a produção mínima de fotoassimilados necessários à manutenção da planta. O ponto de saturação fótico, que estabelece o nível limite de RFA até o qual ocorre aumento da assimilação de CO₂, também deve ser observado; níveis de RFA abaixo desse limite podem restringir a fotossíntese e, acima, podem promover o aumento excessivo da temperatura da planta, com reflexos negativos sobre a taxa transpiratória e fotossintética. LAKSO et al. (1984) e PAPADOPOULOS & HAO (1997) citaram valores de saturação entre 700 e 1.500 μmol s⁻¹ m⁻², em função do genótipo da cultivar de tomateiro estudado. Portanto, o uso fixo da tela termorrefletora, em determinados casos, pode se tornar prejudicial (STANGHELLINI et al., 2011), de forma que seu manejo adequado deve ser realizado visando a prover condições microclimáticas mais favoráveis ao desenvolvimento da cultura.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi comparar os microclimas entre um ambiente protegido coberto somente com PEBD reforçado e outro coberto com PEBD reforçado, associado a

uma tela termorrefletora aluminizada retrátil, sob condições de manejo baseadas no horário e na condição atmosférica, e avaliar a adequação às condições climáticas recomendadas à cultura do tomateiro pela bibliografia consultada.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi conduzida na Escola Técnica Agrícola “Dr. José Coury” (ETE – Escola Técnica Estadual), localizada no município de Rio das Pedras-SP, com coordenadas geográficas: latitude de 22°51’40” S, longitude de 47°37’22” W e altitude de 674 m. O clima do município, de acordo com a classificação de Köppen, é Cwa (clima tropical de altitude), e apresenta temperatura máxima média e temperatura média do mês mais quente iguais a 29,8 e 24,2 °C, respectivamente (CEPAGRI, 2012).

O experimento foi instalado em dois ambientes protegidos do tipo capela, cultivados com tomateiro. Ambas as estruturas tinham aproximadamente 32 m de largura por 36 m de comprimento, 4 m de pé-direito, altura das cumeeiras de 5,5 m, e apresentavam orientação longitudinal próxima a NNE. O terreno possuía inclinação de 7% na direção longitudinal dos ambientes. O cultivo do tomateiro, tutorado e conduzido com duas hastes, foi realizado em vasos com substrato de fibra de coco, com uma planta por vaso, perfazendo a densidade de plantio de 1,8 planta m⁻². O experimento foi conduzido durante o período de 1º-08-11 a 21-01-12.

As estruturas de cobertura empregadas, denominadas de tensoestruturas (SOL PACK, 2013), diferem dos modelos convencionais por não empregarem arcos ou treliças, sendo sustentadas e travadas com uso de arames e cabos de aço (Figura 1), o que resulta em menor nível de sombreamento devido a elementos estruturais. As estruturas foram cobertas com filme de PEDB reforçado (comercialmente denominado de malha Crystal Laminada), cujo reforço se deve à malha interna de polietileno de alta densidade (PEAD) (Figura 2). O processo de fabricação desse filme consiste em recobrir com PEBD de 150 µm, através de processo de laminação, uma tela convencional trançada de fios transparentes de PEAD com nível de sombreamento igual a 16 %. O uso do filme reforçado deveu-se à característica de travamento das estruturas, suscetíveis a maiores deslocamentos relativos entre seus elementos (como pilares), em situações de ventos, o que causa maiores esforços mecânicos de tração sobre o filme de cobertura.

As laterais foram fechadas por duas telas antiafídeos (6 fios por centímetro), sendo a primeira instalada na posição vertical, e a segunda, com inclinação de aproximadamente 60° em relação ao terreno, e segundo o fabricante (SOL PACK, 2013), esta tipologia visa a minimizar a entrada de insetos e melhorar o controle de pragas. O solo do interior das estruturas foi completamente coberto com tela plástica (ráfia) de cor branca. A única diferença entre os ambientes foi a presença de uma tela termorrefletora aluminizada (comercialmente denominada Freshnet), com nível de sombreamento igual a 50% (SOL PACK, 2013), instalada a aproximadamente 4 m de altura. Juntamente à tela termorrefletora, foi instalado um sistema retrátil (Figura 3) para manejo manual de abertura/fechamento. Dessa forma, foram definidos dois ambientes protegidos denominados: i. “PEBD e tela termorrefletora” e ii. “PEBD”.



FIGURA 1: Vista interna das estruturas (Rio das Pedras-SP, 2011). **Internal view of the structures.**



FIGURA 2: Filme de PEBD reforçado (Rio das Pedras-SP, 2011). **Reinforced LDPE film.**

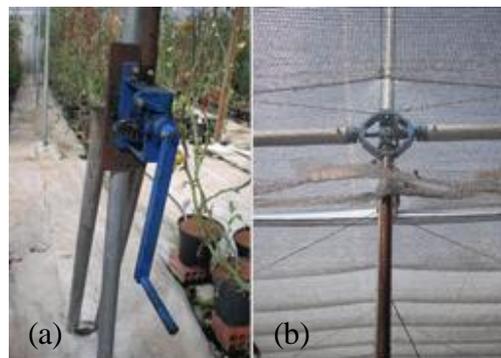


FIGURA 3: Manivela (a) e barras de sustentação (b) do sistema retrátil da tela termorrefletora (Rio das Pedras-SP, 2011). **Crank (a) and support bars (b) of the thermoreflective screen retractable system.**

A tela termorrefletora aluminizada foi empregada e manejada com a finalidade de reduzir a incidência de radiação solar no interior do ambiente, nos horários mais quentes do dia, de forma a restringir o acúmulo de calor sensível, e consequente aumento da temperatura do ar. Por outro lado, buscou-se não limitar, de forma desnecessária, a RFA que atinge o dossel da cultura, fazendo uso da tela somente nos horários de alta incidência de radiação solar externa. Portanto, a tela foi empregada entre as 11h e as 16h nos dias de céu límpido, ao passo que, nos dias de céu nublado e/ou chuvoso, a tela não foi utilizada e ficou recolhida durante o dia todo.

O filme de PEBD reforçado (reforçado por uma malha interna de fios de PEAD) e a tela termorrefletora aluminizada foram caracterizados quanto aos seus valores de transmitância e refletância à radiação de 400 a 1.100 nm, por meio de análises espectrorradiométricas realizadas no CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à Agricultura), da UNICAMP, com uso de espectrorradiômetro Licor, modelo LI-1800 integrado à esfera Licor, modelo LI-1800-12. Para tanto, foram empregadas, de cada um dos materiais (filme de PEBD reforçado e a tela termorrefletora aluminizada), três amostras novas e outras três usadas, retiradas ao fim do experimento, com o objetivo de avaliar a variação das propriedades físicas devido à degradação e ao acúmulo de poeira.

Foram coletados dados de temperatura e umidade relativa do ar, Q_s e RFA no interior de ambos os ambientes protegidos. No ambiente externo, foram coletados apenas dados de temperatura, devido à falta de sensores para coleta de outras variáveis micrometeorológicas. Os sensores/registradores de temperatura e umidade (Novus, modelo LogBox-RHT-LCD) foram posicionados em um ponto dentro de cada ambiente protegido, representado pelo centro geométrico entre as duas linhas de cultivo centrais, a 1,3 m do piso. No ambiente externo, o sensor foi posicionado no corredor, entre os ambientes, a 1,5 m do solo (altura-padrão adotada em abrigos meteorológicos).

Os valores de Q_s e RFA no interior dos ambientes protegidos foram coletados através de registradores de dados (Licor, modelo LI-1400), programados para coletar dados durante o período das 6h às 19h, conectados aos sensores Piranômetro (Licor, modelo LI-200, medição de 400 a 700 nm) e Quantum (Licor, modelo LI-190, medição de 400 a 1.100 nm) instalados na altura do dossel da cultura, 2,0 m acima da borda dos vasos. Os dados de RFA foram adquiridos em unidade de fótons fotossinteticamente ativos ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$) e convertidos para unidade de energia (W m^{-2}) através do fator de conversão proposto por CASTILLA (2005).

Devido a problemas nos registradores de temperatura e umidade relativa do ar dos ambientes protegidos, os dados referentes aos períodos de 1º a 09-08-11 e de 03 a 08-10-11 não foram coletados. No ambiente externo, os dados de umidade relativa do ar apresentaram inconsistências, motivo pelo qual foram coletados apenas dados de temperatura do ar. Com relação aos dados de Q_s

e RFA, o registrador de dados apresentou falha no sistema de descarga dos dados e os registros foram realizados no período compreendido entre 25-11-11 e 21-01-12. Os sensores de radiação foram previamente calibrados no CEPAGRI/Unicamp, e os registradores de temperatura e UR, pertencentes à empresa Sol Pack, possuíam menos de 1 ano de uso.

As variáveis temperatura e umidade relativa do ar, Qs e RFA, coletadas nos ambientes protegidos, e a temperatura do ar externo foram comparadas através de testes de Tukey (com nível de significância de 5%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises espectrorradiométricas do filme de PEBD reforçado e da tela termorrefletora aluminizada estão apresentadas na Figura 4.

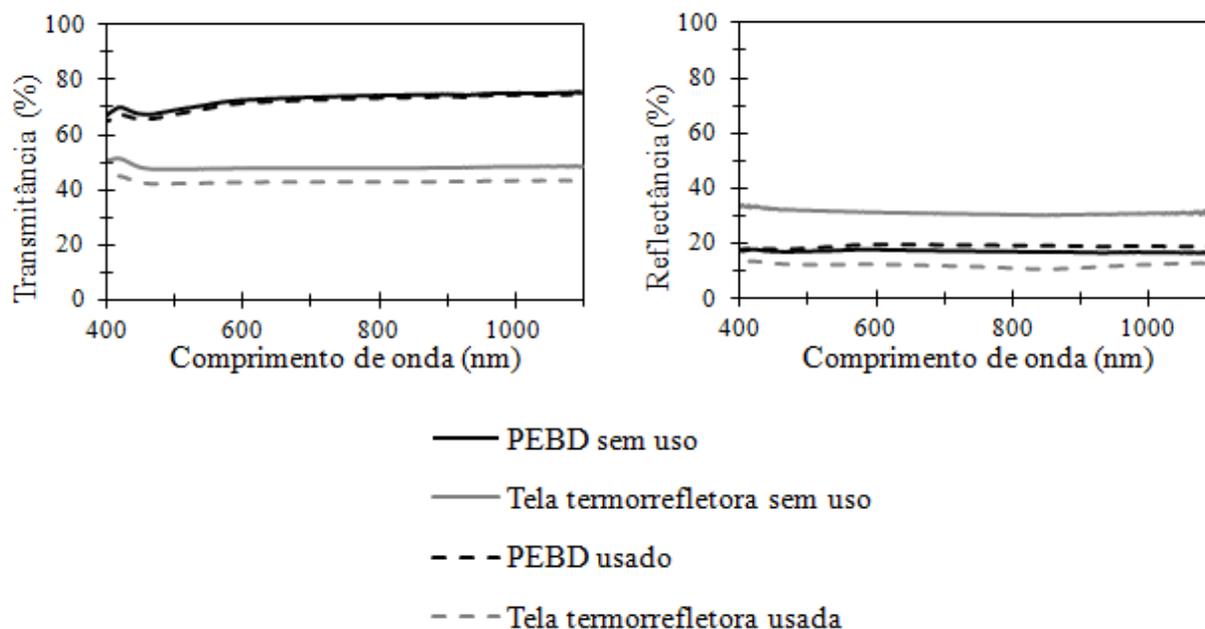


FIGURA 4. Transmitância e refletância do filme de PEBD reforçado e da tela termorrefletora antes e após o uso. **Transmittance and reflectance of reinforced LDPE film and thermoreflective screen before and after the use.**

A transmitância do filme de PEBD empregado no experimento foi menor que a encontrada por SCARANARI et al. (2008). Os autores, ao avaliarem um filme de PEBD de 100 μm por espectrorradiometria, encontraram valores de transmitância de 85 a 95 % na faixa de 400 a 700 nm, superiores aos apresentados na Figura 4. Esta diferença é, provavelmente, explicada pela estrutura do filme de PEBD utilizado, mais espesso (150 μm) e com malha de reforço, o que potencializa o efeito de bloqueio à radiação solar do filme, com conseqüente redução de sua transmitância.

A transmitância da tela termorrefletora aluminizada nova ficou em torno de 50 % ao longo da faixa do espectro avaliada, valor coerente à taxa de sombreamento fornecida pelo fabricante, porém superior aos valores obtidos por OREN-SHAMIR et al. (2001), ao avaliarem tela termorrefletora com sombreamento de 50 %. Possivelmente, isto se deve ao fato de os autores terem-se baseado em medições sob condições de campo, ou seja, com variação horária da inclinação de incidência da radiação e sem controle do espectro da radiação, justificando os valores menores de transmitância, uma vez que o nível de sombreamento tende a aumentar quando a direção de incidência da radiação solar sobre o filme se distancia da perpendicular.

As propriedades físicas da tela termorrefletora aluminizada variaram ao longo do ciclo, com redução da transmitância e refletância e, conseqüentemente, com aumento da absorvância (Figura 4). Após o uso, a transmitância média caiu de 50% para 43%, provavelmente devido ao acúmulo de poeira no material, que reduziu a refletância média dos fios de 31% para 12%,

diminuindo, conseqüentemente, a parcela de radiação difusa que é transmitida pela tela. Esta diminuição da radiação difusa está associada à perda de capacidade dos fios retorcidos da tela de refletir a radiação. Se comparado à caracterização física feita por AL-HELAL & ABDEL-GHANY (2010) em uma tela negra com 50 % de sombreamento, cujos valores de transmitância, refletância e absorvância foram, respectivamente, 47; 8 e 45%, próximos aos valores obtidos para a tela termorrefletora usada (43; 12 e 45%), pode-se inferir que a eficiência em difundir a luz da tela termorrefletora aluminizada reduziu-se à condição de uma malha negra. Este resultado sugere que a lavagem da tela termorrefletora aluminizada, entre ciclos da cultura, poderia ser feita a fim de recuperar parte da eficiência difusiva da tela.

As Figuras 5 e 7 apresentam a variação das integrais diárias da radiação solar global (Q_{sd}) e da radiação fotossinteticamente ativa (RFAd) registradas nos ambientes protegidos. A variação horária em um dia de céu límpido da Q_s e a RFA estão representadas nas Figuras 6 e 8.

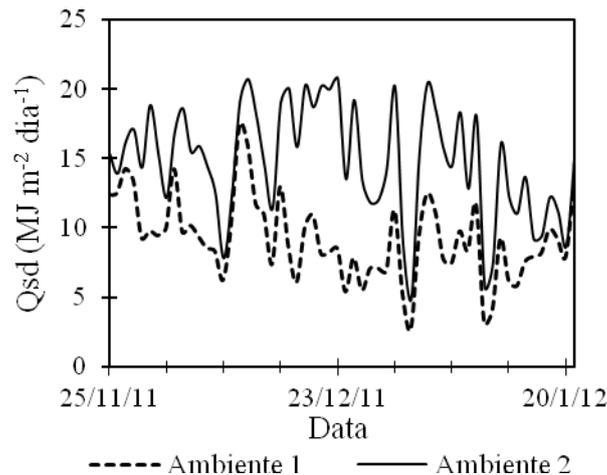


FIGURA 5. Radiação solar global diária no interior dos ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD. **Daily global radiation inside greenhouses (Greenhouse 1 = LDPE + the rmoreflective screen and Greenhouse 2 = LDPE).**

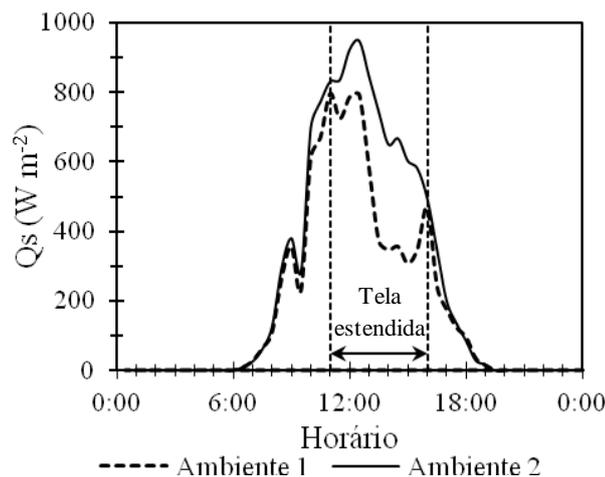


FIGURA 6. Radiação solar global nos ambientes protegidos ao longo de um dia de céu límpido (28/11/11), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD. **Global radiation inside greenhouses during a clear sky day – 11/28/11 (Greenhouse 1 = LDPE + the rmoreflective screen and Greenhouse 2 = LDPE).**

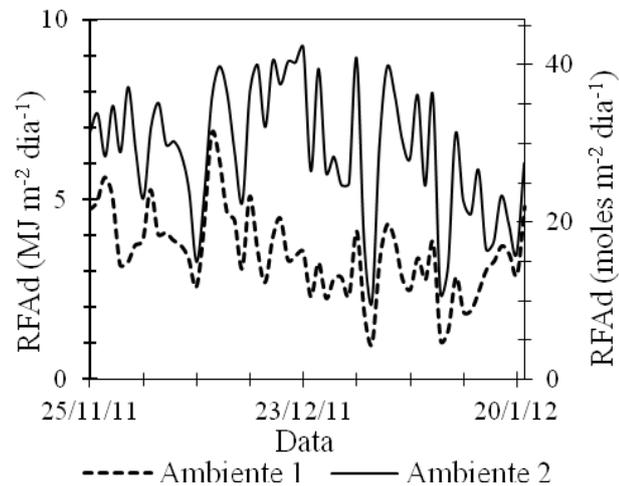


FIGURA 7. Radiação fotossinteticamente ativa diária no interior dos ambientes protegidos, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD. **Daily photosynthetically active radiation inside greenhouses (Greenhouse 1 = LDPE + thermoreflective screen and Greenhouse 2 = LDPE).**

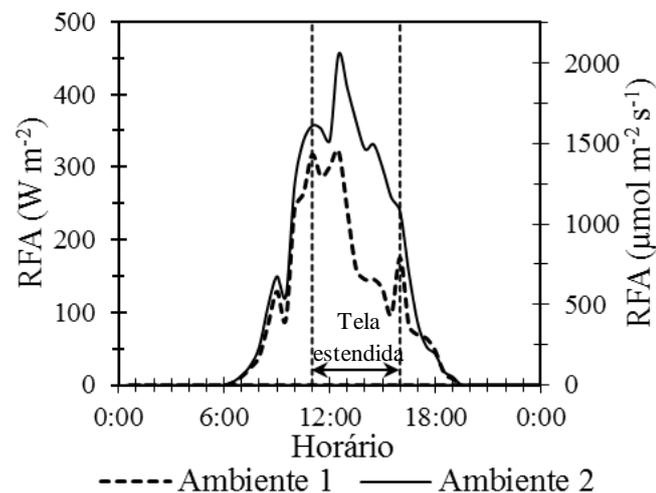


FIGURA 8. Radiação fotossinteticamente ativa nos ambientes protegidos ao longo de um dia de céu límpido (28/11/11), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD. **Photosynthetically active radiation inside greenhouses during a clear sky day –11/28/11 (Greenhouse 1 = LDPE + thermoreflective screen and Greenhouse 2 = LDPE).**

Os registros de radiação no interior dos ambientes evidenciam o efeito promovido pela tela termorrefletora na atenuação da Q_s , e consequentemente da RFA, devido aos processos de absorção e reflexão (GUISELINI et al., 2010) de parte da radiação incidente.

A Tabela 1 sintetiza os valores médios de Q_{sd} , Q_s , RFAd e RFA, cujas comparações de médias demonstram que o emprego da tela termorrefletora aluminizada reduziu significativamente os níveis de radiação.

TABELA 1. Valores médios da radiação solar global diária (Qsd), radiação solar global (Qs), radiação fotossinteticamente ativa diária (RFAd) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) registrados nos ambientes protegidos estudados, sendo: Ambiente 1 = PEED + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEED. **Mean values of daily global radiation (Qsd), global radiation (Qs), daily photosynthetically active radiation (RFAd) and photosynthetically active radiation (RFA) recorded inside greenhouses (Greenhouse 1 = LDPE + the rmoreflective screen and Greenhouse 2 = LDPE).**

Ambiente	Qsd (MJ m ⁻² dia ⁻¹)*	Qs (W m ⁻²)*	RFAd (MJ m ⁻² dia ⁻¹ e moles m ⁻² dia ⁻¹)*	RFA (W m ⁻² e μmol m ⁻² s ⁻¹)*
1	9,2b	260,7b	3,5 (16,0) b	82,6 (377,6) b
2	14,6a	415,2a	6,4 (29,0) a	147,9 (675,8) a

* médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

COSTA & LEAL (2011) obtiveram média de Qs igual a 501,0 W m⁻² durante cultivo em casa de vegetação coberta por PEED, de março a outubro, em Campinas-SP. OTONI et al. (2012) observaram média de Qs de 406,4 W m⁻² sob tela negra com nível de sombreamento de 50 %, em Nova Porteira-MG, entre novembro e fevereiro.

Os dados da Tabela 1 mostram que a tela termorrefletora promoveu redução de aproximadamente 37 % da Qsd e Qs e de 45 % da RFAd e RFA quando comparados ao ambiente sem tela termorrefletora. HOLCMAN & SENTELHAS (2012) observaram redução de 76 % da Qs e 80 % da RFA em ambiente coberto com PEED e tela termorrefletora (70 % de sombreamento), comparado a ambiente coberto somente por PEED, enquanto SCARANARI et al. (2008) registraram reduções de 50 e 53 % na RFA em ambientes cobertos por PEED com telas de sombreamento (50%), nas cores preta e vermelha, em relação a ambiente coberto somente por PEED. A atenuação da Qs e da RFA registrada pelos autores foi superior ao nível de sombreamento das telas empregadas, ao passo que, no presente trabalho, essa atenuação foi inferior ao nível de sombreamento da tela termorrefletora empregada, diferença de efeito que pode ser parcialmente atribuída ao fato de que os autores citados fizeram uso fixo das telas, enquanto neste trabalho foi feito o manejo de abertura e fechamento, reduzindo seu efeito redutor da radiação que atinge o dossel das plantas.

Apesar da redução da Qsd, o valor médio de 9,2 MJ m⁻² dia⁻¹ ficou acima do ponto de compensação da radiação solar diária (8,4 MJ m⁻²) estabelecido pela FAO (1990) como sendo suficiente para a produção mínima de fotoassimilados necessários à manutenção da maioria das hortaliças, como o tomateiro.

Os valores médios de RFA ficaram abaixo do ponto de saturação em ambos os ambientes protegidos, de acordo com os resultados obtidos por LAKSO et al. (1984), que encontraram valores em torno de 700 μmol s⁻¹ m⁻² e PAPADOPOULOS & HAO (1997), que citaram valores abaixo de 1.500 μmol s⁻¹ m⁻², em função dos diferentes genótipos de tomateiros e condições meteorológicas experimentadas pelos autores. No entanto, entre as 9h e as 15h, período de maior incidência de radiação solar, o valor de RFA ultrapassou, no ambiente sem tela termorrefletora, o valor de 1.500 μmol s⁻¹ m⁻² em 79 % dos dias registrados, ao passo que, no ambiente com tela termorrefletora, os valores máximos de RFA ficaram entre 700 e 1.500 μmol s⁻¹ m⁻² em 68% dos dias e, em apenas 20 % dos dias ficaram acima de 1.500 μmol s⁻¹ m⁻². ANDRIOLO (2002) destaca que a alta radiação, somada à ocorrência de altas temperaturas, pode degradar os pigmentos de clorofila, reduzir a fotoassimilação de hidratos de carbono e aumentar a respiração da planta, conseqüentemente, desacelerando o crescimento e diminuindo o acúmulo de fitomassa.

Os valores médios das temperaturas do ar durante período registrado estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Valores médios das temperaturas máximas, mínimas e médias diárias registradas nos ambientes protegidos e no ambiente externo durante o experimento, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD. **Mean values of maximum, minimum and daily air temperatures inside greenhouses and in external environment during the experiment (Greenhouse 1 = LDPE + thermoreflective screen and Greenhouse 2 = LDPE).**

Ambiente	Temperatura (°C)*		
	Máxima	Mínima	Média
1	33,9b	16,5a	23,2b
2	38,0a	16,3ab	24,1a
Externo	31,9c	15,6b	22,4c

* médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As temperaturas do ar registradas nos ambientes protegidos foram superiores às registradas no ambiente externo, resultado coerente com o relatado por VÁSQUEZ et al. (2005). A cobertura plástica limita a convecção natural do ar quente, restringindo a troca de calor sensível com o ambiente externo, o que favorece o acúmulo de carga térmica e promove a elevação da temperatura. Além desse fator, a área relativamente grande dos ambientes protegidos e o formato próximo a um quadrado, a densidade de plantas e o fechamento lateral dos ambientes com duas telas antiafídeo também foram limitadores das trocas gasosas promovidas pelo vento e pela convecção natural (DUARTE et al., 2011).

Quando comparada entre ambientes protegidos, notou-se que a temperatura do ar no ambiente com a tela termorrefletora foi sensivelmente inferior durante o horário de uso da tela, cuja diferença atingiu 5,9 °C em dias de céu límpido, conforme mostram as curvas de variação horária da temperatura do ar (Figura 9). Este resultado é consequência da redução da Q_s devido à tela termorrefletora, e refletiu-se sobre os valores médios das temperaturas máximas e médias diárias, cujos valores foram maiores no ambiente sem tela termorrefletora, o que não ocorreu com as médias das mínimas que foram estatisticamente iguais, pois estas ocorreram na madrugada, período em que a tela termorrefletora estava recolhida, de forma que ambos os ambientes protegidos possuíam características equivalentes de transmitância às ondas longas de reirradiação.

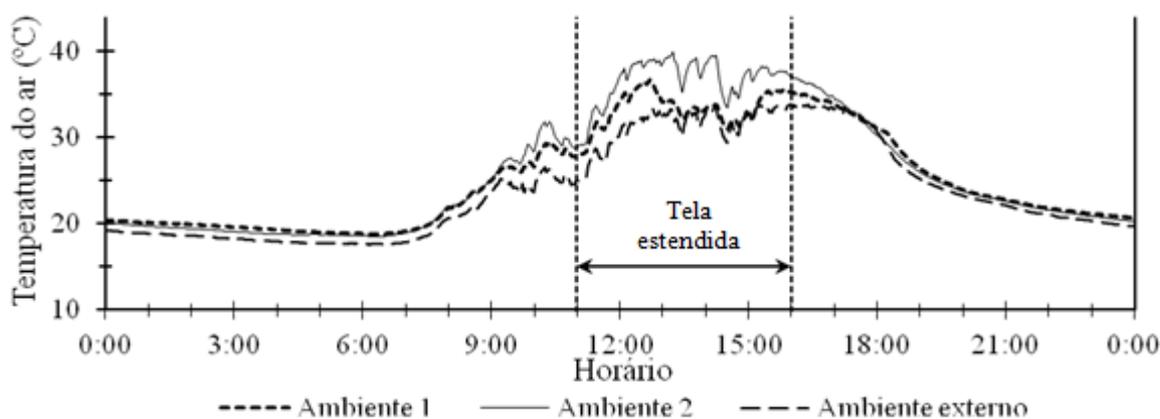


FIGURA 9. Variação da temperatura do ar nos ambientes protegidos e no ambiente externo ao longo de um dia de céu límpido (28/11/11), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD. **Air temperature variation inside greenhouses and in the external environment during a clear sky day – 11/28/11 (Greenhouse 1 = LDPE + the rmoreflective screen and Greenhouse 2 = LDPE).**

As temperaturas médias das mínimas ficaram dentro das faixas recomendadas por GIORDANO & SILVA (2000), em ambos os ambientes. Com relação à média das máximas, o ambiente com tela termorrefletora aproximou-se do limite máximo tolerável de 34 °C para a cultura

do tomateiro (GIORDANO & SILVA, 2000), enquanto o ambiente sem a tela excedeu esse limite em 4,0 °C, condição que favoreceu o abortamento de flores, a má-formação de frutos, entre outros distúrbios fisiológicos.

Os valores médios da umidade relativa máxima, mínima e média diária do ar estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Valores médios das umidades relativas máximas, mínimas e médias diárias registradas nos ambientes protegidos durante o experimento, sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD. **Mean values of maximum, minimum and daily air relative humidity inside greenhouses during the experiment (Greenhouse 1 = LDPE + the rmoreflective screen and Greenhouse 2 = LDPE).**

Ambiente	Umidade relativa (%)*		
	Máxima	Mínima	Média
1	98,1a	44,3a	76,1a
2	98,1a	37,1b	73,2b

* médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A Figura 10 apresenta a variação da umidade relativa do ar nos ambientes protegidos, ao longo de um dia de céu límpido. O efeito da tela termorrefletora, estendida às 11h e recolhida às 16h, é claramente observado pelo aumento do diferencial de umidade relativa entre os ambientes, nos horários de alta irradiância solar, que atingiu o ápice de 19,1 %.

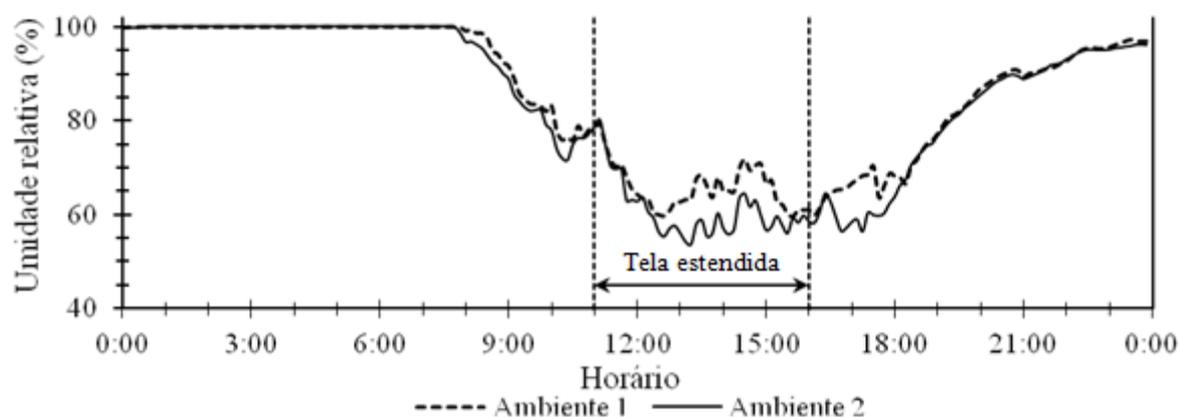


FIGURA 10. Variação da umidade relativa do ar nos ambientes protegidos ao longo de um dia de céu límpido (28/11/11), sendo: Ambiente 1 = PEBD + tela termorrefletora e Ambiente 2 = PEBD. **Air relative humidity variation inside greenhouses during a clear sky day – 11/28/11 (Greenhouse 1 = LDPE + thermoreflective screen and Greenhouse 2 = LDPE).**

A umidade relativa média registrada em ambos os ambientes ficou dentro da faixa considerada ótima por ANDRIOLO (2002) para hortaliças, que cita os limites inferior e superior iguais a 40 e 80 %. No entanto, os valores máximos de umidade relativa, condição de difícil controle em estruturas naturalmente ventiladas, ultrapassaram as faixas recomendadas e atingiram a saturação com frequência, favorecendo o surgimento de orvalho nas plantas. A baixa taxa de renovação do ar que ocorre nesses ambientes favoreceu os altos valores de umidade relativa.

Os valores mínimos de umidade relativa, condição associada à ocorrência de altos valores de temperatura, também foram críticos. O ambiente sem tela termorrefletora apresentou média das mínimas abaixo do limite inferior recomendado para hortaliças, de 40 % (ANDRIOLO, 2002), enquanto o ambiente com tela, por outro lado, apresentou média das mínimas de 44,3 %, acima do mínimo recomendado.

A comparação entre os microclimas dos ambientes protegidos mostrou que o emprego da tela termorrefletora aluminizada retrátil, sob manejo de abertura/fechamento baseado no horário e na condição atmosférica, cumpriu seu objetivo de limitar o acúmulo de carga térmica e a elevação de temperatura, ao mesmo tempo em que não reduziu excessivamente a quantidade de radiação solar a patamares inferiores aos recomendados pela bibliografia para a cultura do tomateiro. No entanto, destaca-se que as características estruturais dos ambientes protegidos nas condições experimentais dos ensaios restringiram a taxa de troca gasosa, ocasionando aumento significativo da temperatura em relação ao ambiente externo, maior que os valores encontrados por outros autores (HOLCMAN & SENTELHAS, 2012; COSTA & LEAL, 2008).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, para as condições experimentais do ensaio, conclui-se que:

- O emprego da tela termorrefletora, sob manejo de abertura/fechamento, reduz a radiação solar global, radiação fotossinteticamente ativa e temperatura do ar, ao passo que aumenta a umidade relativa do ar.

- Em ambientes protegidos com polietileno de baixa densidade, o microclima do ambiente com tela termorrefletora aluminizada tem melhor adequação às necessidades climáticas do tomateiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado, e à empresa SOL PACK, pelo financiamento das instalações experimentais.

REFERÊNCIAS

AL-HELAL, I. M.; ABDEL-GHANY, A. M. Responses of plastic shading nets to global and diffuse PAR transfer: Optical properties and evaluation. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, Wageningen, v. 57, p. 125-132, 2010.

ANDRADE, J. W. S.; FARIAS JÚNIOR, M.; SOUSA, M. A.; ROCHA, A. C. Utilização de diferentes filmes plásticos como cobertura de abrigos para cultivo protegido. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 33, n. 3, p. 437-443, 2011.

ANDRIOLO, J. L. *Olericultura geral: princípios e técnicas*. Santa Maria: UFSM, 2002. 158p.

CASTILLA, N. *Invernaderos de plástico: tecnología y manejo*. Madrid: Mundi-Prensa, 2005. 462 p.

CEPAGRI - CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. *Clima dos Municípios Paulistas*. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_495.html>. Acesso em: 26 fev. 2012.

COSTA, E.; LEAL, P. A. M. Avaliação da biomassa foliar de morangueiro hidropônico em diferentes ambientes protegidos. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1941-1952, nov./dez., 2008.

COSTA, E.; LEAL, P. A. M. Medidas radiométricas em casas de vegetação com cobertura plástica na região de Campinas – SP. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 448-457, 2011.

DUARTE, L. A.; SCHOFFEL, E. R.; MENDEZ, M. E. G.; SCHALLENBERGER, E. Alterações na temperatura do ar mediante telas nas laterais de ambientes protegidos cultivados com tomateiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 148-153, 2011.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Protected cultivation in the Mediterranean climate*. Roma: FAO, 1990. 313p. (Plant Production and Protection Paper, 90).

- GARCÍA, M. L.; MEDRANO, E.; SÁNCHEZ-GUERRERO, M. C.; LORENZO, P. Climatic effects of two cooling systems in greenhouses in the Mediterranean area: external mobile shading and fog system. *Biosystems Engineering*, London, v. 108, p. 133-143, 2011.
- GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C. Clima e época de plantio. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Org.). *Tomate para processamento industrial*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Embrapa Hortaliças, 2000. 168 p.
- GUISELINI, C.; SENTELHAS, P. C.; PANDORFI, H.; HOLCMAN, E. Manejo da cobertura de ambientes protegidos: radiação solar e seus efeitos na produção da gérbera. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 645-652, 2010.
- HAHN, F. Fuzzy controller decreases tomato cracking in greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*, New York, v. 77, p. 21-27, 2011.
- HOLCMAN, E.; SENTELHAS, P. C. Microclimate under different shading screens in greenhouses cultivated with bromeliads. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 858-863, 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Lavoura temporária 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>. Acesso em: 10 fev. 2013.
- LAKSO, A. N.; BIERHUIZEN, J. F.; MARTAKIS, G. F. P. Light responses of photosynthesis and transpiration of two tomato cultivars under ambient and altered CO₂ e O₂. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 23, p. 119-128, 1984.
- OREN-SHAMIR, M.; GUSSAKOVSKY, E. E.; SHPIEGEL, E.; NISSIM-LEVI, A.; RATNER, K.; OVADIA, R.; GILLER, Y. E.; SHAHAK, Y. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, Ashford, v. 76, n. 3, p. 353-361, 2001.
- OTONI, B. S.; MOTA, W. F.; BELFORT, G. R.; SILVA, A. R. S.; VIEIRA, J. C. B.; ROCHA, L. S. Produção de híbridos de tomateiro cultivados sob diferentes porcentagens de sombreamento. *Revista Ceres*, Viçosa, MG, v. 59, n. 6, p. 816-825, nov./dez., 2012.
- PAPADOPOULOS, A. P.; HAO, X. Effects of three greenhouse cover materials on tomato growth, productivity, and energy use. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 70, p. 165-178, 1997.
- REIS, L. S.; AZEVEDO, C. A. V.; ALBUQUERQUE, A. W.; S. JUNIOR, J. F. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.17, n.4, p. 386-391, 2013.
- REIS, L. S.; SOUZA, J. L.; AZEVEDO, C. A. V.; LYRA, G. B.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; LIMA, V. L. A. Componentes da radiação solar em cultivo de tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.16, n.7, p. 739-744, 2012.
- SCARANARI, C; LEAL, P. A. M.; PELLEGRINO, G. Q. Estudo de simulações de microclimas em casas de vegetação visando à aclimação de mudas micropropagadas de bananeira cv Grande Naine. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1001-1008, 2008.
- SOL PACK. *Linha Sol Pack Hortaliças*. Disponível em: http://www.solpack.com.br/catalogos/hortalicas/hortalicas_flash/. Acesso em: 5 mar. 2013.
- STANGHELLINI, C.; DAI, J.; KEMPKES, F. Effect of near-infrared-radiation reflective screen materials on ventilation requirement, crop transpiration and water use efficiency of a greenhouse rose crop. *Biosystems Engineering*, London, v. 110, p. 261-271, 2011.
- VÁSQUEZ, M. A. N.; FOLEGATTI, M. V.; DIAS, N. S.; SILVA, C. R. Efeito do ambiente protegido cultivado com melão sobre os elementos meteorológicos e sua relação com as condições externas. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 137-143, 2005.