

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PRODUÇÃO DE ALFACE (*Lactuca sativa* L.) EM
CULTIVO HIDROPÔNICO UTILIZANDO ATMOSFERA
MODIFICADA NO INTERIOR DE CASA DE VEGETAÇÃO**

Ruy Roberto do Carmo Junior

Orientador: Prof. Dr. Paulo A. Martins Leal

Dissertação apresentada à FEAGRI-
UNICAMP como cumprimento parcial dos
requisitos para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Agrícola, na Área de
Concentração: Construções Rurais e
Ambiência.

MARÇO DE 2000

CAMPINAS, SP

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE



unb001.200

UNIDADE	50
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	C213p
V.	Exl
TOMBO BC/	42489
PROC.	16-278100
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 99,00
DATA	07/10/00
N.º CPD	

CM-00147188-9

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C213p

Carmo Junior, Ruy Roberto do

Produção de alface (*Lactuca sativa* L.) em cultivo hidropônico utilizando atmosfera modificada no interior de casa de vegetação / Ruy Roberto do Carmo Junior. — Campinas, SP: [s.n.], 2000.

Orientador: Paulo Ademar Martins Leal.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Estufas. 2. Dióxido de carbono atmosférico. 3. Controle de temperatura. 4. Controle de umidade. 5. Hidroponia. 6. Alface. I. Leal, Paulo Ademar Martins. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

PARECER

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de mestrado defendida pelo Engenheiro Agrônomo Ruy Roberto do Carmo Junior e aprovada pela Comissão Julgadora em 20 de março de 2.000. Campinas, 10 de abril de 2.000.



Prof. Dr. Paulo A. Martins Leal
Presidente da Banca

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

*Aos meus pais, Ruy e Maria Inês, pelo incentivo e sobretudo,
pelo amor e carinho.*

*Aos meus irmãos: Flávio, Claudinele, Rogério, Flávia e
Fernando.*

DEDICO

"Nossas dúvidas são
traidoras e nos fazem perder
o que, com frequência,
poderíamos ganhar, por
simples medo de arriscar."

Shakespeare

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. **Paulo A. Martins Leal**, principalmente pela dedicada orientação, e também pela amizade e confiança durante o mestrado.

Ao Prof. Dr. **Régis Boily**, da Universidade de Laval, Canadá, pelo apoio técnico e sugestões durante a montagem dos sistemas de aquisição de dados.

Ao Prof. Dr. **Luiz Henrique Antunes Rodrigues**, do Departamento de Planejamento e Produção Agropecuária, pela colaboração na organização dos dados coletados com o uso de softwares.

À Profa. Dra. **Elaine Borghi**, do Departamento de Planejamento e Produção Agropecuária, pela colaboração na definição dos delineamentos experimentais utilizados.

Ao Prof. Dr. **Pedro Roberto Furlani**, do Instituto Agrônomo pela colaboração na definição da solução nutritiva a ser utilizada.

Aos Prof. Dr. **Sylvio Luís Honório** e Eng. Agrônomo **Antonio Bliska Junior**, do Departamento de Pré Processamento Processamento de Produtos Agropecuários da Feagri - Unicamp, pela participação no comitê de orientação e pelas sugestões.

Ao Prof. Dr. **Jairo Augusto Campos de Araújo**, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp, pela participação na banca de defesa e pelas sugestões.

Ao Eng. Agrícola **Edilson Costa**, pela amizade e importante participação em todas as etapas deste trabalho, inclusive nas atividades braçais.

A **Feni Dalano Roosevelt Agostinho**, aluno de graduação da Feagri, pela colaboração na condução do trabalho e nas avaliações.

Ao Técnico em Agropecuária **Ronaldo Alves Libânio**, pelo apoio na busca de informações sobre as técnicas utilizadas neste trabalho.

À **Dna. Laura**, pelo importante auxílio no manejo da cultura e nas avaliações.

Às Técnicas **Rosa Helena e Maria Rosália**, pela colaboração no uso das instalações dos laboratórios do Departamento de Pré Processamento de Produtos Agropecuários da Feagri.

Aos Srs. **Antonio Alves, Antonio Freire, Deli, Devis, José Budia, Osvaldo e Jurandi**, funcionários do Campo Experimental da Feagri, sempre prestativos durante os serviços solicitados na instalação e manutenção da área experimental.

Aos Srs. **José Maria, Roberto, Luiz, Francisco, e Cláudio**, funcionários do Departamento de Máquinas Agrícolas da Feagri, pelo auxílio na utilização das máquinas e equipamentos da oficina.

Ao Sr. **Odorico**, pelo convívio e apoio com os serviços de manutenção prestados.

Ao Sr. **João Bergamo**, pelo convívio e apoio nas atividades com desenhos e fotos.

Aos Srs. **José Benedito dos Santos e Edson Roberto Caires**, pela colaboração nas instalações elétricas.

Às instituições de financiamento à pesquisa: **Fapesp** (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), **CNPq** (Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento), pelo suporte financeiro e pelas bolsas de estudo, sem as quais não haveria a possibilidade de realização deste trabalho.

À **White Martins Gases Industriais S/A**, pela colaboração no fornecimento de gás com desconto e auxílio técnico.

À **Rosangela**, secretária do Departamento de Construções Rurais da Feagri, pela atenção dedicada.

Aos **Amigos** da Faculdade de Engenharia Agrícola, pelo apoio e convívio.

À minha namorada **Silvia Antoniali** pelo amor, paciência e cumplicidade em todos os momentos do curso e,

Finalmente, a **Todos**, que direta ou indiretamente auxiliaram este trabalho, meus sinceros agradecimentos.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	i
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Histórico	3
2.2. Condições de ambiente em casas de vegetação.....	6
2.2.1. Sistemas de resfriamento	11
2.2.2. Enriquecimento do ar com CO ₂	14
2.3. Fisiologia vegetal em casas de vegetação.....	20
2.4. Hidroponia.....	23
2.5. Qualidade vegetal em ambientes controlados	26
2.6. Análise de custo de produção em casas de vegetação	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1. Localização	31
3.2. Tratamentos	32
3.3. Sistema hidropônico.....	33
3.4. Sistema de enriquecimento com CO ₂	35
3.5. Sistema de resfriamento evaporativo	38
3.6. Aquisição de dados.....	39
3.7. Manejo da cultura.....	47
3.8. Parâmetros de avaliação e delineamento estatístico	49
3.8.1. Massa fresca	49
3.8.2. Massa seca	50
3.8.3. Número de folhas	50
3.8.4. Classificação de qualidade	50
3.8.5. Composição química	53
3.9. Avaliação econômica	54

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1. Condições climáticas	55
4.2. Produtividade	78
4.3. Qualidade	80
4.4. Composição química.....	83
4.5. Avaliação econômica	84
4.6. Sugestões para trabalhos futuros	87
5. CONCLUSÕES.....	88
6. BIBLIOGRAFIA CITADA.....	90

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Utilização mundial de plástico na agricultura no período de 1963 a 1993.....	4
Tabela 2. Porcentagem máxima de pés do lote para cada defeito grave.....	28
Tabela 3. Porcentagem máxima de defeitos graves, leves ou soma de graves e leves.....	29
Tabela 4. Concentração de nutrientes da solução nutritiva utilizada.....	48
Tabela 5. Classificação em classes para alface de acordo com a massa fresca das plantas.....	51
Tabela 6. Classificação para categoria de acordo com a limpeza e grau de hidratação.....	52
Tabela 7. Valores atribuídos para graus de hidratação foliar.....	53
Tabela 8. Valores atribuídos para graus de limpeza da planta.....	53
Tabela 9. Valores médios de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento diários ocorridos no período para os tratamentos A, B e C, e para o exterior das casas de vegetação (E).....	57
Tabela 10. Comparação entre a temperaturas médias da superfície foliar e do ambiente.....	61
Tabela 11. Médias de umidade relativa do ar (%) diárias ocorridas às 9:00, 15:00 e 21:00 horas no interior e exterior das casas de vegetação.....	64
Tabela 12. Médias diárias de temperaturas ocorridas no meio evaporativo do sistema de resfriamento.....	68
Tabela 13. Médias diárias de radiação total ($W.m^{-2}$) ocorridas no interior e no exterior das casas de vegetação.....	69
Tabela 14. Médias diárias de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), em $\mu mol.s^{-1}.m^{-2}$, nas três casas de vegetação.....	70
Tabela 15. Médias diárias de radiação ultravioleta ($W.m^{-2}$) em 312 e 365nm de comprimento de onda no interior e exterior das casas de vegetação.....	71
Tabela 16. Médias de concentração de CO_2 (ppm) diárias ocorridas às 9:00, 12:00 e 15:00 horas nas casas de vegetação B e C.....	74

Tabela 17. Médias dos valores de massa fresca, massa seca e número de folhas por planta de alface obtidos nos tratamentos.....	79
Tabela 18. Porcentagem de plantas ocorridas em cada classe de classificação. ..	80
Tabela 19. Composição química das plantas dos diferentes tratamentos e resultado do teste F.....	83
Tabela 20. Custo operacional (R\$) comuns aos três tratamentos durante um ciclo da cultura.....	84
Tabela 21. Custo operacional, por tratamento e por planta, da aplicação dos tratamentos na produção de alface hidropônica.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bancada com seção triangular utilizada para o cultivo.....	34
Figura 2. Registrador de concentração de CO ₂ com sensor infravermelho à frente.....	37
Figura 3. Seção do sistema de enriquecimento de CO ₂ responsável pela vazão e horário de aplicação.....	38
Figura 4. Montagem do termostato controlador do sistema de resfriamento evaporativo.....	39
Figura 5. Mesa da sala de aquisição de dados, com sistemas para coleta de temperatura e radiação.....	40
Figura 6. Termopar de contato para medição da temperatura da superfície foliar.....	42
Figura 7. Corte do psicrômetro aspirado para coleta de dados referentes à temperatura de bulbo seco e bulbo úmido.....	43
Figura 8. Aparelho de aquisição de dados Li-1400 para os sensores de radiação.....	44
Figura 9. Sensor Quantum (Li-Cor Li-190SA) para radiação PAR.....	45
Figura 10. Piranômetro (Li-Cor Li-200SZ) para radiação total.....	45
Figura 11. Temperaturas médias do ar ocorridas diariamente nos tratamentos e no meio externo.....	58
Figura 12. Exemplo de temperaturas médias do ar ocorridas no interior e no exterior das casas de vegetação no período de 1 dia (8/12/1999).	59
Figura 13. Médias de temperatura de folha e do ar na casa de vegetação A.....	62
Figura 14. Médias de temperatura de folha e do ar na casa de vegetação B.....	62
Figura 15. Médias de temperatura de folha e do ar na casa de vegetação C.	63
Figura 16. Umidade relativa média do ar (%) ocorrida diariamente no interior e no exterior das casas de vegetação.....	65
Figura 17. Precipitação diária ocorrida no período de cultivo.....	65

Figura 18. Exemplo de umidade relativa média do ar (%) ocorrida no interior e no exterior das casas de vegetação no período de 1 dia (8/12/1999).	67
Figura 19. Radiação ultra violeta em 312m de comprimento de onda ocorrida no interior e exterior das casas de vegetação (mW.m^{-2}).	72
Figura 20. Radiação ultra violeta em 365nm de comprimento de onda ocorrida no interior e exterior das casas de vegetação (mW.m^{-2}).	72
Figura 21. Incremento diário da concentração de CO_2 na casa de vegetação B provocado pelo enriquecimento.	77
Figura 22. Incremento diário da concentração de CO_2 na casa de vegetação C provocado pelo enriquecimento.	77
Figura 23. Exemplo de concentrações de CO_2 ocorridas nas casas de vegetação no período de 1 dia (29/11/1999).	78
Figura 24. Diferenças de crescimento observadas entre plantas sombreadas e não sombreadas, pelo cultivo em bancada com seção triangular.	82

RESUMO

Na busca de melhores resultados de produtividade no cultivo hidropônico da alface em ambiente protegido, avaliou-se os resultados da ação do enriquecimento atmosférico com dióxido de carbono (CO_2) e da redução da temperatura interior de casas de vegetação com o uso de sistema de resfriamento evaporativo.

A partir de um tratamento testemunha fez-se a comparação com um ambiente enriquecido com CO_2 , buscando níveis superiores a $1.000\mu\text{l/l}$. Procurando aumentar a eficiência do uso do gás pelas plantas, criou-se o terceiro tratamento onde o enriquecimento foi feito sob condições mais controladas de temperatura e umidade.

O sistema de enriquecimento utilizou-se de gás industrial engarrafado, e distribuição localizada, próxima a cada planta. O sistema de controle de temperatura utilizou-se do princípio do resfriamento evaporativo, com o processo

ocorrendo em meio poroso de celulose e a movimentação do ar provocada por exaustores.

A partir dos resultados obtidos na presente pesquisa, concluiu-se que: nas condições climáticas ocorridas e para os sistemas adotados, as plantas, quando cultivadas em ambiente enriquecido com CO₂ apresentaram um acúmulo de massa fresca 10% maior que aquelas cultivadas sob concentrações naturais. E que o enriquecimento com CO₂ associado ao controle de temperatura e umidade, proporcionaram um aumento de 21% no valor de massa fresca das plantas, em relação ao ambiente não controlado e sem enriquecimento.

ABSTRACT

In the searching for better results for greenhouse hydroponically grown lettuce, it was evaluated the influence of CO₂ enriched atmosphere and temperature reduction, by using evaporative cooling, on crop productivity.

A standard treatment in natural air was first compared to 1000μl/l or more CO₂ enriched atmosphere. Secondly, in order to improve the CO₂ absorption efficiency by the plant, it was established a third treatment where temperature and relative humidity were controlled.

The CO₂ enrichment system used commercial gas bottle. The gas was distributed closely each lettuce plant. Temperature and relative humidity were controlled by an evaporative colling system composed of a pad and a fan.

It was concluded that the fresh weight from the third treatment (CO₂ and evaporative cooling) was 21% heavier than the standard treatment, and the second treatment (only CO₂) was 10% heavier than the standard treatment.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo protegido teve grande crescimento no Brasil, acompanhando uma tendência mundial, porém, agricultores não preparados para o mercado, com prejuízos em seus cultivos, levaram a produção de hortaliças em ambiente protegido a uma estabilidade, com tímido crescimento no fim dos anos 90.

A procura para atender as condições e exigências de mercado, pelos produtores mais tecnificados, que conseguiram manter produção eficiente, levou a uma busca por novas tecnologias aplicáveis na obtenção de maior produtividade, melhor qualidade e maiores lucros.

A própria utilização de casas de vegetação simples, de cultivo em solo, já é prática capaz de oferecer algumas das características almejadas. Mas há ainda a associação de casas de vegetação à hidroponia, com característica marcantes de qualidade de produto e marketing. A hidroponia vem oferecendo aos seus produtores resultados de maior lucro pela diferenciação do produto, porém

esta é uma característica com tendência de mudanças, pois percebe-se que a alta oferta dos produtos de cultivo convencional, em épocas de safra, têm causado redução dos preços dos produtos hidropônicos. Além disso o consumidor já conhece bem os produtos, perdendo, estes, em alguns mercados, a característica de novidade.

Estes aspectos tem levado alguns produtores e pesquisadores a investigar possibilidades de aumentar ainda mais a produtividade, procurando alternativas relativamente novas no Brasil para a horticultura, como o resfriamento de casas de vegetação e o enriquecimento atmosférico com dióxido de carbono (CO₂). Alternativas muito estudadas para condições de climas temperados e utilizadas na produção de plantas ornamentais.

O presente trabalho teve por objetivo aplicar ao cultivo hidropônico de hortaliças, particularmente da alface, duas tecnologias buscando aumento de produtividade e qualidade: o enriquecimento atmosférico com CO₂ e o resfriamento do ar interior de uma casa de vegetação. Aplicando, também, uma associação destes para avaliação dos resultados conjuntos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Histórico

O uso do plástico na agropecuária é tão diversificado que é difícil descrever todas as suas utilidades, porém, pode-se citar algumas como: cobertura de casas de vegetação, túneis de cultivo, cobertura do solo, impermeabilização de canais e reservatórios, silos forrageiros e graneleiros, sacos para mudas, lonas, tubos, telas, vasilhames, peças de máquinas e ferramentas. A maior difusão do uso do filme plástico foi o principal fator para o desenvolvimento e aumento do número da produção em casas de vegetação no mundo todo. O centro de referência inicial para o cultivo protegido é a Holanda, mas hoje em todo o mundo este tipo de produção vegetal já é prática consagrada.

De 1963 a 1993 a plasticultura cresceu mais de 4.000%, segundo o Programa de Plasticultura para o Estado de São Paulo, citado por SIQUEIRA (1993), com valores que podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Utilização mundial de plástico na agricultura no período de 1963 a 1993.

Ano	1963	1973	1983	1993
Quantidade (t.)	80.000	600.000	1.200.000	3.500.000

Fonte: SIQUEIRA, 1993.

No Brasil, após grande crescimento, superior a 30% ao ano, o número de produtores se reduziu drasticamente, sendo uma das razões, para este fracasso, o desconhecimento de mercado. Em 1999 a área de plástico coberta no país era de aproximadamente 2.000 hectares; no Estado de São Paulo, segundo levantamento de 1995 realizado pela Associação dos Engenheiros Agrônomos, havia 897 hectares de casas de vegetação, sendo cerca de 59% destinadas à produção de hortaliças conforme cita JUNQUEIRA (1999).

A utilização do termo estufa é mais adequado para estruturas simples, com a função de guarda chuva; para construções com controle do ambiente interno utiliza-se o termo casa de vegetação, embora a denominação inicial tenha se popularizado para qualquer estrutura (BLISKA JUNIOR & HONÓRIO, 1996).

As vantagens encontradas no cultivo protegido são muitas quando se utiliza das estruturas de produção de maneira correta, SGANZERLA (1990) cita várias (podendo ainda haver mais, dependendo da atividade e manejo particulares):

Obtenção de colheitas fora de época – cultivando em épocas normalmente desfavoráveis à cultura em relação a temperatura, precipitação, fotoperiodismo e ocorrência de pragas e doenças.

Maior controle de pragas e doenças – além das barreiras físicas impostas pela estrutura de uma casa de vegetação, ocorre uma maior resistência biológica das plantas devido às melhores condições ambientais.

Precocidade – as condições de cultivo podem levar as culturas a reduzirem seu ciclo.

Aumento da produção – devido ao maior número de cultivos e ao melhor desenvolvimento de algumas espécies.

Melhor qualidade dos produtos – consequência da não ocorrência de ataque de pragas e doenças e da ação das intempéries, conservando as características que estimulam o consumo.

Economia de insumos – menor lixiviação de nutrientes devido a maior proteção do solo e menor lavagem de defensivos, geralmente feita pelas chuvas.

Preservação da estrutura do solo – sem ocorrência de erosão e compactação devido ao melhor controle da quantidade de irrigação.

Plantio de variedades selecionadas – variedades desenvolvidas para o cultivo protegido se caracterizam por possuírem altos rendimentos.

Sobre as vantagens citadas acima, é válido salientar que a ocorrência delas está muito associada a um manejo correto da cultura e da estrutura de produção, e ainda, as casas de vegetação devem ser dimensionadas pensando-se no clima da região onde são instaladas, pois, caso contrário os resultados esperados podem ser parciais ou mesmo prejudiciais.

Dentro do cultivo protegido a hidroponia é uma das atividades que mais tem se tecnificado. A produção de vegetais sem o uso do meio natural, o solo, antes restritas a grandes centros já é prática comum em várias cidades do país. No Brasil a maior produção ainda é de variedades de alface, mas nota-se o crescimento da demanda de outros produtos, como espinafre, rúcula, tomate, salsa, cebolina, cenoura, beterraba, rabanete, couve, entre outras. A produção de flores, atividade mais rentável na plasticultura, também adota sistemas hidropônicos, fechados ou abertos, como o cultivo em vasos.

2.2. Condições de ambiente em casas de vegetação

No processo de transferência de energia ocorrida em casas de vegetação, entre o ambiente externo e interno, em um determinado momento, a temperatura é o resultado do balanço dessa transferência, ou seja, do balanço de energia. Assim, para se obter um valor desejado de temperatura deve-se controlar o fornecimento de calor natural, ou ainda, remover o seu excesso, para manter um balanço otimizado para as condições desejadas.

É este balanço que gera as condições ambientais no interior de casas de vegetação, segundo ALBRIGHT (1994) esse balanço, podendo ser calculado, é utilizado para muitos propósitos práticos, entre eles: saber a perda de calor ocorrida, ou gerada, e ainda, para o dimensionamento de projetos prevendo cálculos de ventilação para implantação de sistemas de resfriamento, aquecimento e sombreamento.

O balanço de energia é baseado na 1ª Lei da Termodinâmica, onde nenhuma energia é criada ou destruída. O balanço, de forma simplificada, para casas de vegetação é:

$$\textit{Energia absorvida} - \textit{Energia Perdida} = \textit{Troca ou Energia armazenada}$$

Dois fatores energéticos são importantes no aquecimento de casas de vegetação, o sol e a ação de sistemas fabricados. A contribuição do sol pode ser calculada com dados de insolação. ALBRIGHT (1994) afirma que somente a energia sensível aquece o ar, mas nem toda a radiação que entra em uma casa de vegetação é convertida em energia sensível, pois parte é refletida para fora e outra parte é convertida em calor latente através da evapotranspiração, esta por sua vez, depende da densidade de plantas e da água presente no ambiente. Uma pequena porcentagem de energia é convertida através da fotossíntese. Com essas afirmações o autor também considera que “somente, aproximadamente, metade da energia que incide em uma casa de vegetação pode ser convertida em calor sensível e aquecer o ar”.

No espaço distante (acima da atmosfera) a intensidade de radiação solar atinge valores de 1.400W.m^{-2} , quando os raios solares penetram na atmosfera, com céu limpo, ocorre uma redução para valores próximos de 870W.m^{-2} . No litoral ou em áreas industriais, dependendo da concentração de vapor de água ou fumaça no ar, a intensidade pode ser reduzida para aproximadamente 630W.m^{-2} , como mostra AUGSBURGER (s.d.), indicando que casas de vegetação

localizadas nestas regiões necessitam de menor sombreamento para controle da temperatura, por exemplo.

Da radiação que alcança a superfície de uma casa de vegetação, cerca de 85% consegue penetrar, dependendo do material de cobertura, sendo a luz, um importante fator no aquecimento, e o primeiro na regulação do crescimento das plantas. A utilização de condições de iluminação intensa é capaz de proporcionar alta produtividade em vegetais adultos cultivados dentro de casas de vegetação; condições com altas intensidades de luz, em câmaras de crescimento, têm propiciado aumentos na massa seca de plantas de alface além de aceleração de crescimento (GAUDREAU et al., 1994). Estes mesmos autores dão importância à falta de estudos sobre a radiação infra vermelho no crescimento de alfaces adultas em hidroponia, e relata que, obteve resultados de aumentos substanciais em massa fresca de várias cultivares de alface, com o aumento do fotoperiodismo.

Em países de clima frio, as casas de vegetação colaboram para a continuidade da produção no inverno (WASCMAN, 1989), em países tropicais a maior finalidade das casas de vegetação está na proteção contra ventos e chuvas, nota-se, portanto que estas estruturas produtivas permitem não só controlar o ambiente como também proteger as culturas.

Devido às baixas latitudes ocorre uma acentuação do chamado efeito estufa sobre os ambientes cobertos com meios transparentes, como os filmes plásticos e vidros de casas de vegetação. Parte da luz solar, após transpassar o material transparente e atingir qualquer superfície interna, é reirradiada, mudando o seu comprimento de onda, passando de ondas curtas para longas; as ondas

longas não conseguem ultrapassar o meio transparente para sair da estrutura, ocorrendo um efeito cumulativo de energia interna, elevando a temperatura a valores superiores aos externos, muitas vezes, superiores aos preferidos pelas culturas, isso ocorre com maior intensidade onde o controle deste efeito é menor.

A elevação da temperatura pela ação do efeito estufa, principalmente em condições tropicais, é um grande problema, principalmente em cultivos de verão. O Brasil possui a maior parte do seu território em latitudes relativamente baixas, mesmo somente metade da energia sendo convertida em aumento de temperatura já causa algumas situações desfavoráveis ao cultivo. O que restringe ou torna desnecessária, por exemplo, a utilização de sistemas de aquecimento em nossas condições; o uso destes sistemas ocorre somente em noites de inverno muito frias ou geadas, e ainda, com culturas que não suportam temperaturas muito baixas em curto espaço de tempo. Durante o dia, o efeito da radiação solar, ou mesmo de parte dela, já é, em muitos casos, suficiente para manter a temperatura em nível aceitável.

Estudos sobre os resultados do efeito estufa influenciando a temperatura do ar interno são concordantes em que as temperaturas internas máximas ocorridas em um período são sempre maiores do que no meio externo; em relação as temperaturas mínimas, que ocorrem nas madrugadas, há uma dependência muito grande da época do ano, porém as diferenças não são consideráveis (FARIA JUNIOR, 1983; HERTER & REISSER JUNIOR, 1987; REIS & HORINO, 1988). Estudo de FARIAS et al. (1993) mostra que em casas de vegetação cobertas com polietileno de baixa densidade, a temperatura interna eleva-se com a proximidade do verão, e as diferenças entre os valores externos variam entre 0,6

e 1,1°C. No entanto, devido a existência de diferentes arquiteturas e dimensões de casas de vegetação, as variáveis térmicas podem se mostrar variando de outras formas, e ainda, diferentes manejos adotados podem amenizar ou acentuar o diferencial entre o meio externo e o interno.

Modelos de casas de vegetação que oferecem barreiras à circulação dos ventos, não permitindo trocas eficientes de ar, somada aos efeitos da radiação solar, favorecem a maior influência da cobertura plástica sobre as temperaturas máximas (FARIAS et al., 1993)

BURIOL et al. (1993) estudando o efeito estufa sobre a temperatura mínima do ar interno, em Santa Maria e São Pedro do Sul – RS, observaram que ocorrem alterações, com maior valor, na temperatura mínima em dias frios do que em dias mais quentes, e que a temperatura mínima do ar interno pode ser menor do que externamente, dependendo das condições meteorológicas, fato confirmado por Robledo & Martin (1988) e Tapia (1981), citados por SILVA (1997), que baseados em seus estudos afirmam que o polietileno de baixa densidade (PEBD) deixa passar até 80% da radiação térmica para o interior da casa de vegetação.

Pelos trabalhos citados observa-se que a maior interferência nos valores de temperatura ocorrem durante o dia, período onde a radiação solar é o fator mais importante para o aquecimento. Durante à noite existe uma tendência de proximidade entre os valores internos e externos.

Em dias quentes o fluxo de calor para o interior é alto, e a remoção do interior das casas de vegetação é insuficiente, neste caso, torna-se necessária a adoção de manejos que permitam uma maior ventilação, ou ainda, o acionamento

de sistemas capazes de modificar a temperatura, removendo o excesso de calor do ar.

2.2.1. Sistemas de resfriamento

Em alguns climas, minimizar o efeito de temperaturas externas é muito difícil, pois tem-se que vencer grandes valores de aquecimento. Até o momento, poucos avanços são encontrados na tecnologia de resfriamento quando comparada ao aquecimento, devido às baixas temperaturas serem problema de países temperados, onde as pesquisas são mais intensas nessa área.

Os métodos correntemente usados para reduzir a temperatura em produções sob casas de vegetação são divididas em três categorias, conforme cita REILLY (1994): prevenção de calor, ventilação e resfriamento evaporativo. Poderia-se citar também o uso da irrigação da cobertura e o condicionamento do ar, talvez não citado pelo autor devido a menor eficiência e ao comprovado alto custo de instalação e manutenção, respectivamente.

Sobre este aspecto CHURCH et al. (1981), destaca que a grande quantidade de calor que deve ser removido, a desumidificação causada no ar, o capital investido nos equipamentos, os custos operacionais e os problemas de manutenção limitam o uso da refrigeração mecânica (ar condicionado). Este mesmo autor destaca que o fator crítico para este sistema é a razão de ar trocado pela convecção livre, uma vez que, esta razão é influenciada pela área total de cobertura, extensão da estrutura, velocidade do vento e a diferença de temperatura entre o ar externo e interno.

O método mais simples de prevenção de calor consiste em limitar a ação da radiação solar sobre o interior da casa de vegetação, evitando que parte desta penetre. O uso de pintura externa na cobertura de plástico ou vidro é muito comum nesse caso, e o controle é definido pela área pintada. Porém este sistema não permite uma flexibilidade na variação da luminosidade do dia e no decorrer das estações climáticas. Para contornar este problema o uso de malhas internas ou externas tem melhor efeito, pois podem fazer parte de um sistema mecânico de abertura e fechamento, se adaptando à luminosidade variável. Essas malhas variam tanto em material de fabricação quanto a espessura e porcentagem de sombreamento. Algumas, com proteção contra raios ultravioleta, podem durar muitos anos.

O uso da ventilação é bastante comum, esta pode ser natural, permitindo trocas de ar por aberturas laterais ou no teto da estrutura; ou mecânica, provocada por ventiladores e exaustores. É uma técnica relativamente simples, mas a temperatura interna, neste caso, é sempre maior do que a externa, pois os efeitos do aquecimento promovidos pela superfície transparente são contínuos.

Utilizando a convecção natural, a temperatura dentro da casa de vegetação pode subir de 8 a 11°C acima da temperatura ambiente, portanto, para conseguir uma maior eficiência na troca de ar é necessária a utilização de convecção forçada (CHURCH et al., 1981).

O resfriamento evaporativo, com o uso de meio evaporativo e exaustor, é um sistema bastante eficiente para o controle da temperatura em condições climáticas bem específicas (baixa umidade do ar). Considera-se que a eficiência do processo é de 80%, sob condições preestabelecidas de umidade e temperatura

do ar. Se a eficiência fosse de 100%, a mínima temperatura possível de atingir para o ar interno seria a temperatura de bulbo úmido. Para fins de cálculos, com a eficiência de 80%, tem-se que: a temperatura final dentro de uma casa de vegetação será sempre a diferença entre a temperatura do ar externo e a temperatura de bulbo úmido, para as condições psicrométricas, multiplicada por 0,80. Por exemplo, se a temperatura mínima potencial de ser atingida é 21°C, em um sistema com eficiência de 80%, o mínimo valor conseguido será 25,5°C (AUGSBURGER et al., s.d.).

Estes sistemas utilizam ventiladores que podem injetar ou retirar ar da casa de vegetação, provocando um fluxo contínuo através de uma parede porosa umedecida. Desta parede evapora-se a água, formando um vapor que é distribuído na casa de vegetação, aumentando a umidade relativa do ar. O processo de evaporação da água exige energia, que é retirada do ar, após este processo o vapor é expulso da casa de vegetação. Segundo CHURCH et al. (1981), a utilização da convecção forçada acoplada com a evaporação da água dos meios porosos ("pads"), promovem um maior abaixamento da temperatura interna em casas de vegetação, muito mais do que a utilização apenas da ventilação.

A nebulização é um outro método de resfriamento evaporativo, que também não dispensa o uso de ventiladores.

Uma grande vantagem do uso de sistemas de resfriamento evaporativo está na simplicidade de funcionamento e no aproveitamento de espaço, pois ventiladores e meios porosos podem ser instalados fazendo parte de paredes, e as tubulações de aspersores instalados na parte superior da estrutura.

2.2.2. Enriquecimento do ar com CO₂

Além do controle da disponibilidade de água e de nutrientes ideais para uma boa produção, novos estudos buscam melhorar ainda mais o potencial produtivo das culturas associando novas técnicas de controle do ambiente, como o uso do enriquecimento atmosférico com CO₂.

O fornecimento de CO₂ em períodos do dia em que os vegetais são mais ávidos pelo gás (as condições para atividade metabólica são mais propícias) e onde as concentrações naturais do ar são menores, entre 10 e 14 horas, tem propiciado, em pesquisas e produções comerciais, significantes aumentos de produtividade, precocidade e de qualidade do produto colhido.

O uso do CO₂ já foi bastante estudado e sua utilização na produção agrícola já é considerável. HOPEN & OEBKER (1975) pesquisaram o acúmulo de CO₂ em "mulch" (cobertura plástica) para vários vegetais, dentre eles a alface, que teve um aumento de produção em níveis maiores de CO₂, RESH (1997) observou incrementos de até 30% para esta cultura. Dentro de ambiente protegido KIMBAL & MITCHEL (1979), estudando os resultados do enriquecimento do ar com CO₂ em casas de vegetação ventiladas e não ventiladas, obtiveram resultados com significantes diferenças na produção e qualidade de tomate, onde o uso do CO₂ (1.000 ppm) e da ausência de ventilação (troca com ar externo à casa de vegetação) proporcionou um aumento médio de 64% de produtividade, à níveis

normais de adubação. Com uma concentração de 1.300 ppm o peso por fruto foi maior 24% em relação a tratamentos com concentração ambiente de CO₂. Para esta mesma condição o autor também observou um acúmulo de 58% a mais de matéria seca por planta.

Nota-se que alguns autores utilizam a unidade ppm para concentração do gás, este uso está relacionado ao uso de equipamentos de medição, que utilizam esta unidade, não só em pesquisas como em cultivos comerciais.

PINTO (1997) aplicando CO₂ via água de irrigação constatou que a produtividade comercial para a cultura do melão pode ter um crescimento da ordem de 70%, com frequência de aplicação diária. Este mesmo autor, relata que não ocorreram diferenças nutricionais entre o tratamento enriquecido e o cultivo normal, exceto para boro. A fotossíntese, e conseqüentemente, a eficiência do uso da água foram maiores com aplicação de CO₂.

CAPORN et al. (1994), analisaram a fotossíntese líquida de folhas da alface sob condições controladas, simulando a atmosfera de inverno em casa de vegetação. Em seus experimentos as plantas foram submetidas a um ambiente enriquecido com 1000ppm de CO₂ e uma densidade de fluxo de fótons fotossintético (PPFD) de 280 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, mantendo as temperaturas do ar em 16°C durante o dia e 13°C durante a noite. Eles relatam que um curto período de mudança na concentração de CO₂, muda significativamente o gradiente inicial de resposta fotossintética para o PPFD incidente. Em seus resultados, demonstram que a máxima eficiência fotossintética da produção, utilizando o mesmo PPFD, aumenta de 0,041mol CO₂.fótons em 350ppm de CO₂ para 0,055mol CO₂.fótons em 1.000ppm de CO₂.

MARSH & ALBRIGHT (1991) selecionaram em várias pesquisas de outros autores parâmetros ambientais para a alface. Eles citam Clark & Menary (1980) que, por sua vez, afirmam que a taxa assimilativa individual de folhas é uma função da temperatura do ar durante o dia, sendo esta, portanto, uma variável importante a ser controlada em ambientes onde se utiliza a técnica de enriquecimento atmosférico com gás carbônico. Descrevem também parâmetros encontrados por outras pesquisas, observando que os parâmetros estudados pelos vários pesquisadores envolvem a influência da temperatura, umidade, concentração de CO₂ e radiação solar no desenvolvimento das plantas.

Hoje a maior produção, em casas de vegetação nos EUA, por exemplo, está relacionada com a produção de flores. Nos últimos anos, várias pesquisas tem demonstrado, repetitivamente, que elevados níveis de CO₂ propiciam um maior potencial de crescimento do que qualquer outro descoberto até agora, que possa ser adicionado ao ambiente de casas de vegetação.

WITTWER (1986) comenta, ainda, que o início da utilização do enriquecimento de CO₂ para as plantas nas casas de vegetação foi aproximadamente a 100 anos atrás no Norte Europeu, por volta de 1886. Relatos esporádicos apareceram em anos subsequentes, entre a Segunda Guerra Mundial e a crise econômica intermitente. Assim, em 1888, o benefício foi reconhecido e revelado para a prática das culturas nas casas de vegetação na Alemanha; poucos anos mais tarde na Inglaterra e em 1909 nos EUA, primeiramente com a produção de alimentos e posteriormente a produção de flores ornamentais. Alguns dos primeiros experimentos, segundo o autor, iniciaram-se com deficiência, ou falharam. Os seus resultados foram mostrados em função de uma séries de testes

de crescimento de plantas em "containers" fechados. O CO₂ foi fornecido por cilindros com concentrações de aproximadamente 1.100ppm. Nos testes observou-se "encrespamento" de folhas, inibição da florescência e aborto dos botões. Eles concluíram que o aumento de CO₂ no ar natural de 2 ou 3 vezes resulta em prejuízos no crescimento das plantas. No entanto, os autores não comentaram em que tipo de plantas e quais variedades foram realizados os testes. Mais tarde, estes resultados negativos foram atribuídos as impurezas contidas no CO₂ utilizado.

Existem evidências de que o alto nível de CO₂ atmosférico, em relação ao nível normal, produz uma grande fixação biológica de nitrogênio, uma excelente formação de tubérculos e uma ótima resistência aos estresses: falta de água, alta ou baixa temperatura, salinidade, baixa intensidade de luz e poluentes do ar.

Por volta de 1925 foram desenvolvidos experimentos na Escandinávia em relação ao enriquecimento de CO₂ nas produções dentro das casas de vegetação. Vários desses experimentos mostraram que o aumento da concentração deste gás na atmosfera acelerava a razão de crescimento e proporcionava um aumento significativo no rendimento da cultura. Nos anos 30 e 40 existiu novamente algum interesse no enriquecimento de CO₂, mas só depois dos anos 50 é que foram aplicadas em algumas casas de vegetação na Noruega (MOE & MORTENSEN, 1986; WITTEWER, 1986).

Segundo Mudrik et al. (1997) citado por PINTO (1997), em experimentos com curtos períodos de tempo de aplicação, o aumento da

concentração de CO₂ provocou um incremento na fotossíntese de até 52% e de 29% na produção para plantas com metabolismo do tipo C3.

Segundo MOE & MORTENSEN (1986), a concentração ótima de CO₂ para o crescimento parece ser aproximadamente 1.000ppm para a maioria das culturas em condições de casas de vegetação. Para as plantas jovens ou no estágio de pós-semeadura ou para períodos curto de enriquecimento pode ser benéfico a utilização de 1.500 ppm. A alta concentração de CO₂ (2.000ppm) pode causar danos para algumas culturas, particularmente para aquelas que se desenvolveram sob alta radiação solar. Descreveram também que uma combinação de alta concentração de CO₂ e alta radiação solar aparentemente causaram necrose nas folhas de crisântemo. Danos similares foram detectados em cultivos de pepinos.

Os mesmos autores anteriores destacam que a concentração ótima de CO₂ é aproximadamente a mesma para vários níveis de radiação (alto e baixo) e para os vários estágios de desenvolvimento da cultura de crisântemo. Com essa informação, recomendam uma concentração entre 800 a 1.000ppm de CO₂ para a maioria das espécies produzidas em casas de vegetação.

A longa estabilidade da prática comercial na agricultura protegida tem demonstrado que dobrando-se ou triplicando-se o nível normal do CO₂ (344ppm), aumenta-se a produtividade de crescimento no inverno, de verduras, flores, frutas e mudas de árvores silvestres. Além disso, a prática do enriquecimento de CO₂ em casa de vegetação comercial é mantida, muitas vezes, durante todo o ciclo de produção. Elevados níveis de CO₂ também reduzem o ponto de compensação de luz e pode estender a duração do ganho de carbono e a longevidade das folhas

inferiores na formação da copa. O aumento de CO₂ atmosférico, ocasional ou propositalmente, promovem um maior rendimento da produtividade. Os possíveis ganhos no crescimento das plantas provenientes da fertilização ocasional da atmosfera global com CO₂ durante o século passado não foram medidos, mas de 5 a 10% de aumento pode ter ocorrido. Essas estimativas, levaram os pesquisadores dessa época à seguinte definição: "Duplicando o nível de CO₂ atmosférico resulta-se num aumento de fotossíntese de 40 a 45% pelas plantas C3, com desenvolvimento e aumento da massa seca de 20 a 45% e aumento de 40% na produtividade primária". A atual concentração de CO₂ na atmosfera é definitivamente o fator limitante para a maioria das plantas C3, e pode ter um efeito significativo sobre a produtividade de ambas as plantas C3 e C4, sob condições de estresse de luz, água, ar poluído ou temperatura (WITTWER, 1986).

Muitas evidências tem sido reunidas indicando que os níveis elevados de CO₂ na atmosfera de casas de vegetação tiveram um efeito benéfico na fixação de nitrogênio para a maioria dos sistemas biológicos; estes resultados, porém, só são expressivos para espécies fixadoras de N. A resistência de muitas plantas a estresse hídrico, deficiência de luz, alta salinidade, limitações de nutrientes ou toxicidade, temperaturas extremas e poluentes do ar, é muitas vezes, atribuída aos altos níveis de CO₂ atmosférico. O grande mérito de um ambiente rico em CO₂ é exemplificado pela sobrevivência de certas espécies em ambientes hostis.

2.3. Fisiologia vegetal em casas de vegetação

Pela dependência dos fatores externos, principalmente do nível de radiação solar no decorrer do ano, a temperatura no interior de uma casa de vegetação é variável, influenciando a produção das culturas, criando períodos menos favoráveis ao cultivo quando as condições térmicas se tornam fatores limitantes ao desenvolvimento normal das plantas. Este aspecto é característico das verduras folhosas, principalmente a alface, que para cultivo em ambiente aberto, tem sua entressafra em períodos quentes e chuvosos; a produção em casas de vegetação neste período é uma atividade rentável, mas, até o momento em que a temperatura interna atinge valores elevados que prejudicam o desenvolvimento da cultura.

Quanto à temperatura, MARSH & ALBRIGHT (1991), estudando aquelas economicamente ótimas para a cultura da alface indicaram valores iguais a 25°C como boa para o desenvolvimento normal. Independente do ambiente, para espécies olerícolas, RIPADO (s.d.) cita que, para obtenção de produtos de qualidade e boa produtividade, os climas temperados suaves com temperaturas médias de 15 a 18°C e umidade de 70% favorecem melhores condições para a alface. É importante citar que a sensibilidade às variações de temperatura e também de luminosidade é característica particular de cada variedade. ASHRAE (1993) recomenda, para a alface, temperaturas noturnas de 17 a 18°C quando ocorrerem dias nublados, e de 21 a 26°C para dias ensolarados.

Portanto, nota-se claramente que em condições tropicais, de clima quente na maioria do ano, a modificação ambiental artificial pode apresentar

resultados favoráveis ao desenvolvimento das culturas, tornado o cultivo em ambiente protegido em uma atividade cumpridora dos objetivos de fornecer um ambiente melhor para as culturas, promovendo um período extenso de colheita, uma melhoria na qualidade e uma maior rentabilidade econômica.

Porém, intensidades de luz exageradas, afetam a qualidade da alface, influenciando no aparecimento de bordas queimadas nas folhas, conduzindo a um rápido acúmulo de matéria seca. O sintoma é semelhante ao ocorrido em casos de desordem nutricional associada ao baixo nível de cálcio na formação da cabeça, a lesão torna-se castanha, podendo promover necrose nos bordos das folhas (GAUDREAU et al., 1994).

A fotossíntese é o processo que utiliza o gás carbônico, por ela as plantas transformam a energia radiante (eletromagnética) em energia química. Na reação da fotossíntese, a energia é absorvida pelos pigmentos das membranas do cloroplastos celulares e é transferida para outros compostos, através de transporte eletrônico. A substância doadora de elétrons torna-se oxidada e o composto receptor se reduz, tornando-se caracterizada uma reação de óxido-redução. A energia dos elétrons dos pigmentos deve ser reposta por reações que envolvem a foto-redução da água, de onde resulta a produção de oxigênio e a transferência de 4 elétrons, que são doados ao pigmento a fim de completar sua configuração eletrônica. A água é o redutor da fotossíntese, e o receptor final é o gás carbônico, portanto o CO_2 é a substância oxidante que participa da reação (MAGALHÃES, 1985).

Nota-se que o CO_2 é fundamental na mais importante reação da natureza. Usualmente o ar atmosférico seco contém aproximadamente 344 ppm

de CO₂. WITTEWER (1986), relata que para desenvolver uma produção de milho que renderia 6,7t.ha⁻¹ necessitaria-se de 9t de CO₂. Desta maneira, com a concentração de CO₂ atual, a cultura terá processado acima de 30t de ar a procura de 2,75t do elemento carbono para a produção. Este é o mais notável fenômeno da engenharia biológica, o qual capacita as plantas terrestres a consumir aproximadamente 15 bilhões de toneladas de CO₂ por ano. Esta proeza rotula a fotossíntese como sendo o processo biológico mais importante do mundo.

A produção de matéria seca de uma cultura está associada com a radiação solar acumulada durante seu ciclo. A fotossíntese é dependente da radiação solar e da concentração de CO₂ do ar, e sofre influência da temperatura e umidade. Para aumentar o rendimento fotossintético de uma cultura, pode-se agir de duas formas: aumentando a fixação do CO₂ e reduzir o consumo de assimilados pela respiração. A primeira forma é obtida pelo manejo da radiação solar, da temperatura e da concentração do gás no ar; a segunda forma é o controle da temperatura do ar. O aproveitamento do CO₂ disponível no ar pode ser prejudicado quando o aumento do fluxo de transpiração, mais forte do que o fluxo de absorção hídrica, causados por altas temperaturas ou baixa umidade relativa do ar, fazem com que os estômatos se fechem (ANDRIOLO, 1999).

Com o avanço do cultivo hidropônico questões têm sido levantadas quanto ao acúmulo de nitrato nas plantas. O nitrato é um íon necessário ao desenvolvimento das plantas, mas seu excesso na alimentação é prejudicial aos organismos animais. Os efeitos negativos estão ligados ao nitrito, produto intermediário do metabolismo do nitrato, que reage com a hemoglobina de forma permanente, além disso atribui-se ao íon efeitos carcinogênicos (ANDRIOLO,

1999). No caso específico da alface, Benoit & Ceustermans (1989), citados por CASTELLANE & ARAÚJO (1995) e VAN DER BOON et al. (1990), informam que os limites máximos tolerados na Europa variam de 3.000 a 4.500ppm.

2.4. Hidroponia

A maior cultura produzida em hidroponia ainda hoje, é a alface. Segundo a Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo citada por FUNEP (1999), a área de produção de alface em São Paulo é de 7.859 ha, a produção paulista é de 137.000t.ano⁻¹, com um consumo per capita de 2kg.ano⁻¹. Apesar do grande volume de produção e consumo desta hortaliça, ainda não se tem estimativa da participação do vegetal de origem hidropônica neste total. Segundo FNP (2000) foram comercializados somente no CEAGESP – São Paulo/SP 5.872 toneladas de alface tipo crespa.

As primeiras experiências com cultivo de plantas sem solo foram realizadas por volta do ano de 1600. Porém, antes disso, nos jardins da Babilônia; nos jardins Astecas, no México, e nos jardins da China imperial, plantas já eram cultivadas sem o uso de solo. Hieróglifos escritos centenas de anos antes de Cristo também citam o cultivo de plantas em água. Antes de Aristóteles, Theophrasto (372-287 a.C.) realizou vários ensaios com nutrição vegetal (RESH, 1997).

Em 1699 John Woodward, membro da Sociedade Real de Ciências da Inglaterra, realizou os primeiros estudos sobre o crescimento de plantas em água sem substrato sólido. Ele realizou cultivos utilizando águas de diferentes origens:

chuva, rios e poços. Com tais cultivos observou que, quanto maior a concentração de partículas suspensas na água, maior era o desenvolvimento apresentado pelas plantas (JONES JUNIOR, 1982). Nessa época ainda não se conhecia profundamente os fatores que propiciavam o crescimento das plantas.

No fim do século 18 Antonie L. Lavoisier estabeleceu as bases da química moderna que ajudaram a desenvolver também a Fisiologia e a Bioquímica. Um dos pioneiros a fazer uso da nova química de Lavoisier, já no século 19, foi o francês Theodore de Saussure, e após ele muitos outros como: Sanchs, Boussingault e Knop, que, com testes em laboratório, desenvolveram estudos que determinaram alguns dos elementos que contribuíam para o desenvolvimento vegetal; pôde-se, então, começar a concluir o que causava o crescimento das plantas de Woodward: nutrientes de origem química. Experimentos foram conduzidos visando determinar a importância dos elementos. É de Sanchs a afirmação: “as plantas terrestres são capazes de absorver seus alimentos em solução aquosa, sem a ajuda do solo e é possível, por esse método, não somente conservar as plantas vivas e em crescimento por longo tempo, mas também trazer grande aumento na sua matéria orgânica e acarretar a produção de sementes capazes de germinação” (EPSTEIN, 1975).

Knop desenvolveu uma solução nutritiva utilizada por vários anos, como citam CASTELANE & ARAÚJO (1995). No século 20 já se construíam listas mais completas de nutrientes para o desenvolvimento de várias espécies de plantas.

Nota-se que até o início do século 20 as soluções nutritivas eram utilizadas somente em estudos de laboratório. Somente em 1930 se deu o início da popularização do cultivo sem solo para produção vegetal em maior escala, foi

nesse ano que o Dr. W.F. Gerike (Universidade da Califórnia - E.U.A.) criou o termo hidroponia, (do grego hidro = água + ponos = trabalho) (JONES JUNIOR, 1982).

Com o surgimento e rápido desenvolvimento da plasticultura, ou seja, o uso do plástico na agropecuária, a hidroponia comercial começou a ter destaque na produção de alimentos. Na década de 60 Alen Cooper desenvolveu a “Nutrient Film Technique”, ou simplesmente NFT, que se tornou a técnica mais aplicada atualmente em várias culturas (alface, brócoli, feijão-vagem, repolho, couve, salsa, melão, agrião, pepino, beringela, pimentão, tomate, arroz, morango, forrageiras, mudas de árvores, entre outras espécies). Na NFT as plantas desenvolvem 2/3 de seu sistema radicular apoiados em canais de cultivo por onde escoam um filme de solução nutritiva em fluxo intermitente. As maiores modificações feitas na NFT e em outras técnicas de hidroponia se referem a solução nutritiva.

Acompanhando o desenvolvimento da NFT, outras técnicas de cultivo sem solo foram surgindo, como o cultivo em areia, em cascalho, em palha, espumas de vários tipos, lâ-de-rocha, aeroponia, cultivo inclinado e cultivo vertical. CARMO JUNIOR et al. (1999) estudaram o desenvolvimento de plantas de alface em bancadas com seção em forma triangular, o objetivo do trabalho foi produzir o dobro de plantas em uma mesma área de bancada, para isso utilizou-se também de bancadas horizontais como comparação, sendo a largura das duas bancadas iguais, porém, a triangular possuiu 12 canais, o dobro da horizontal. Como resposta obteve um desenvolvimento de plantas lento nas bancadas inclinadas, o qual foi atribuído pelos autores, ao sombreamento causado pelas plantas de canais superiores. As plantas colhidas nas bancadas

apresentaram massa fresca 28% menor do que aquelas colhidas nas bancadas convencionais. Além disso notou-se um crescimento anormal dos entrenós do caule, tornando as plantas com cabeças menos compactas e com folhas mais expostas a quebras. Apesar do crescimento menor, o autor afirmou que com o adiamento da colheita as plantas poderiam atingir maior peso, o que caracteriza o sistema como retardador do ciclo da cultura.

O sistema hidropônico, como qualquer aplicação de técnicas não convencionais, exige monitoramento constante de vários parâmetros relativos à solução nutritiva e ambiente, como pH, condutividade elétrica (que fornece uma estimativa indireta da concentração da solução nutritiva), umidade e temperatura. Estudando-se as recomendações de produtores (BASSO & BERNARDES, 1993), e pesquisadores (BLISKA JUNIOR & HONÓRIO, s.d.; CASTELLANE & ARAÚJO, 1995; FURLANI, 1995; FURLANI, 1998; e JONES JUNIOR, 1982) pode-se determinar uma média de pH e condutividade elétrica para a maioria das culturas, entre 5,0-7,0 e entre 1,5-3,0mS.cm⁻¹ respectivamente.

2.5. Qualidade vegetal em ambientes controlados

É citada por SGANZERLA (1990) a vantagem da obtenção de melhor qualidade de vegetais produzidos em ambiente protegido. Qualidade do produto vem se tornando uma exigência de mercado a partir do momento em que o consumidor percebeu que pode exigir produtos melhores a preços mais acessíveis, ou muitas vezes, aceitando pagar um preço mais alto por produtos

mais saudáveis. A qualidade passa a ser, então, não só uma vantagem da plasticultura mas um objetivo de produção.

Apesar da alface ser a principal hortaliça produzida no sistema hidropônico, alguns produtores ainda pecam no cuidado com a colheita, e pós-colheita. Mas o produto hidropônico, por sua particular característica de comercialização, onde o próprio produtor entrega ao varejista, possui perdas muito menores do que, por exemplo, as 21,3% ocorridas entre o mercado atacadista e varejista na Grande Florianópolis, como cita WERNER (1980).

Procurando melhorar a qualidade e classificar os principais produtos comercializados no Estado de São Paulo, a CEAGESP (s.d.), pelo seu Programa Paulista para a Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros (Programa Horti & Fruti Padrão) idealizou regras de classificação para vários produtos, entre eles, a alface.

Esta classificação é baseada no grupo, na cor, tamanho e características de limpeza e defeitos. O aspecto inicial dessa classificação se refere ao grupo em que pertence a planta, crespa, americana, mimosa, lisa ou romana. Uma classificação posterior, em subgrupo, classifica entre as cores verde ou roxa.

Em classes variando de plantas menores que 100g e plantas maiores que 1.000g, divididas em 50g, as plantas são classificadas por peso.

O item categoria abrange porcentagens aceitáveis em um lote de plantas com determinados graus de limpeza, hidratação e defeitos.

O processo de classificação é feito pelo produtor, que deve inserir rótulos nas embalagens, contendo seu nome, propriedade, data de colheita,

registro no Ministério da Agricultura, inscrição de produtor e a classificação. Este programa não é imposto pela Secretaria de Agricultura, tem a proposta de ter adesão voluntária.

É um programa de iniciativa inovadora, com objetivos claros na melhoria do produto comercializado. Porém, para efeitos de pesquisas algumas características são difíceis de serem avaliadas.

No caso da classificação em grupo, subgrupo e classe não existem restrições, mas o item categoria, que trabalha com valores, em porcentagem para defeitos (Tabela 2), variando de 1 a 3%, o trabalho de classificação e análise estatística podem se tornar de difícil execução, pois teria-se que trabalhar com parcelas com, no mínimo, 100 plantas.

Como a ocorrência de dois tipos de defeitos é possível a proposta especifica uma porcentagem máxima de defeitos graves, leves e da soma destes dois (Tabela 3).

Tabela 2. Porcentagem máxima de pés do lote para cada defeito grave.

Categoria	PODRIDÃO	LESÕES	QUEIMADA	S/ CORACÃO	DESCOLOR.	CABEÇA DEFORM.	ESPIGADA
EXTRA	1	1	1	1	1	1	1
CAT. I	1	2	1	1	2	2	1
CAT. II	1	3	2	2	3	3	2

Os produtos não classificados na Categoria II são considerados Sem Classificação, podendo ser comercializados, mas com esta indicação no rótulo.

Tabela 3. Porcentagem máxima de defeitos graves, leves ou soma de graves e leves.

CATEGORIA	TOTAL DE DEFEITOS GRAVES	TOTAL DE DEFEITOS LEVES	TOTAL DE DEFEITOS
EXTRA	2	5	5
CATEGORIA I	3	10	10
CATEGORIA II	5	15	15

2.6. Análise de custo de produção em casas de vegetação

Atualmente, devido a escassez de capital e as constantes modificações na política comercial agrícola, as decisões quanto ao que produzir e como investir na produção vem se tornando mais importantes (BUENO, 1996). A avaliação de qualquer investimento auxilia o produtor na tomada de decisões, buscando o melhor retorno econômico, um levantamento do custo de implantação de uma cultura, juntamente com a avaliação do custo de produção podem influenciar na escolha ou não da atividade agrícola como fonte de renda.

Para o cálculo do custo de produção, por exemplo, deve-se considerar os gastos efetivamente ocorridos no processo produtivo, levando em conta o capital investido, a depreciação dos capitais fixos, os impostos e taxas associados à produção e os encargos trabalhistas. Esse modelo de cálculo é proposto por Matsunga et al. (1976), em sua metodologia do Custo Operacional de Produção, citado por BUENO (1996).

Segundo MIRANDA et al. (1994) esta metodologia evita a necessidade de cálculos baseados em avaliações subjetivas, pois o principal objetivo do custo operacional é ser um indicador das decisões de produção.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização

A presente pesquisa foi realizada em 3 casas de vegetação da área experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. A área experimental se situa a 684,54m de altitude, determinada através de GPS (Ranging Global Positioning System), equivalente a uma pressão atmosférica de 93.333,3Pa, determinada pelo software Plus (ALBRIGHT, 1990). Com coordenadas geográficas de 22°49'06" de latitude Sul e 47°03'41" de longitude Oeste. O clima, segundo a classificação de Köpen, é do tipo Cwa, subtropical seco no inverno, com temperatura média anual de 24,5°C e precipitação média anual de 1.360mm.

As casas de vegetação utilizadas, foram idênticas, com telhado do tipo "Howe" em duas águas, com estrutura em aço e cobertas com filme de polietileno

(PEBD) de 0,20mm de espessura, aditivado contra raios ultra violeta (UV), possuindo as seguintes dimensões: 6,50m de largura, 11,00m de comprimento, 3,00m de altura do pé direito e 5,00m de altura da cumeeira, com um volume de 231,00m³.

Duas casas de vegetação, denominadas A e C, foram orientadas no sentido norte-sul; a outra, denominada B, foi orientada no sentido leste-oeste.

A casa de vegetação C possuiu um sistema de resfriamento evaporativo do tipo meio poroso associado a exaustor ("pad-fan"). Esta casa de vegetação foi fechada lateralmente com filme de polietileno (PEBD) de 0,20mm de espessura.

As casas de vegetação A e B possuíram cortinas laterais de polietileno com acionamento manual; frontalmente eram fechadas com filme de polietileno fixo.

3.2. Tratamentos

Foram realizados três tratamentos, procurando-se avaliar tanto a influência do CO₂ no desenvolvimento e qualidade das plantas, quanto no potencial de aproveitamento do gás pelas plantas gerado pela melhoria das condições climáticas oferecidas às mesmas dentro de ambiente resfriado.

Avaliou-se também a eficiência de um sistema de enriquecimento com CO₂ de distribuição localizada com utilização de gás industrial engarrafado.

Os tratamentos foram assim denominados:

A - Testemunha, instalado na casa de vegetação A

B - Enriquecimento com CO₂, instalado na casa de vegetação B.

C - Enriquecimento com CO₂ e uso de resfriamento evaporativo, instalado na casa de vegetação C.

3.3. Sistema hidropônico

Como suporte para o desenvolvimento das plantas utilizou-se um sistema hidropônico idealizado para a obtenção de otimização de espaço. Tal sistema envolveu a sobreposição de canais em bancadas com seção triangular, obtendo-se, comparando com a mesma área de cultivo de sistemas horizontais (9plantas.m⁻²), um aumento de 100% do número de plantas.

Dentro de cada casa de vegetação foram montadas 4 bancadas para hidroponia com seção transversal triangular, com as seguintes dimensões: 1,40m de largura, 1,37m de altura e 4,00m de comprimento (Figura 1). Em cada lado das bancadas foram instalados 6 canais de polipropileno específicos para hidroponia, distanciados verticalmente de 0,20m entre si, ficando o canal da base a 0,20m distante do piso. Em cada canal foram feitos orifícios de 0,05m distanciados de 0,25m, para fixação das plantas. As bancadas, nos três tratamentos, foram orientadas no sentido norte-sul, portanto, independente da disposição das casas de vegetação, essa distribuição teve o objetivo de proporcionar a todas as plantas dos tratamentos a mesma exposição à radiação solar. A inclinação longitudinal das bancadas foi de 3%.

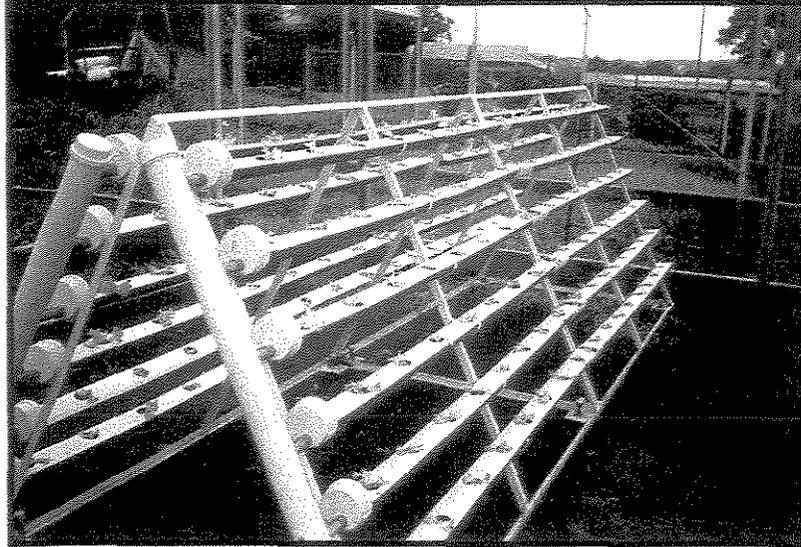


Figura 1. Bancada com seção triangular utilizada para o cultivo.

O sistema de fornecimento de solução nutritiva foi composto por: 3 reservatórios de fibra, com capacidade para 2.000 litros, interligados; duas bombas centrífugas de 5CV ligadas na tubulação em paralelo (uma delas sendo sobressalente, instalada de forma a funcionar automaticamente em caso de parada da primeira) e tubulação de distribuição de 60mm até cada bancada. A distribuição da solução nutritiva em cada canal foi feita por tubos do tipo espaguete ligados a uma mangueira de polietileno de 19mm instalada na extremidade mais alta da bancada, ligada na tubulação de 60mm. O retorno da solução para os reservatórios foi realizada através de tubulação de 100mm instalada na extremidade mais baixa das bancadas; nas saídas da tubulação, dentro dos reservatórios, foram instaladas telas plásticas removíveis para retenção de partículas. A circulação da solução foi controlada por temporizador

eletromecânico com intermitência de 10 minutos, das 6:00 às 19:00 horas e mais 10 minutos a partir das 0:00 horas para manter as raízes úmidas durante à noite.

Este sistema foi dimensionado para atender as três casas de vegetação, fornecendo uma vazão média de $1,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ para cada canal de cultivo.

3.4. Sistema de enriquecimento com CO_2 .

O enriquecimento com CO_2 foi feito por um sistema com controle manual da quantidade de gás a ser injetada nas casas de vegetação, realizando-se a regulação da abertura de válvulas eletrônicas controladoras de fluxo. A maior ou menor abertura das válvulas foi feita de acordo com observações diárias da concentração próxima às plantas. O único controle automático presente foi um temporizador eletromecânico para permitir o funcionamento do conjunto em horário estabelecido.

O maior propósito do sistema construído foi o de se realizar o enriquecimento de forma localizada, próximo às plantas, pretendendo-se obter economia no volume de gás aplicado, mantendo-se a concentração desejada próxima às plantas e não, necessariamente, em todo o volume das casas de vegetação; para isso, utilizou-se de tubulação de distribuição percorrendo externamente os canais de cultivo, com orifícios distribuindo o gás abaixo das folhas.

O sistema de enriquecimento de CO_2 foi constituído de:

- a) cilindro de gás tipo K com capacidade para 25kg;
- b) válvula-registro controladora de pressão ligada ao cilindro;

- c) uma válvula solenóide, com entrada ligada à válvula registro, com duas saídas;
- d) duas válvulas eletrônicas controladoras de fluxo Cole Parmer P-33116-50, com vazão regulável de $0-25\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ (uma para a casa de vegetação B e outra para a casa de vegetação C), com entradas ligadas à válvula solenóide, com saídas ligadas no início das tubulações principais, após os ventiladores; as ligações entre cilindro-válvulas-tubulação principal foram feitas com mangueiras plásticas de gás padrão ABNT de 12,7mm;
- e) dois ventiladores centrífugos, com vazão máxima de $11\text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$, um para a casa de vegetação B e outro para a casa de vegetação C, ligados às tubulações principais através de mangueira maleável de 3”;
- f) temporizador eletromecânico para acionamento das válvulas e ventiladores no período de aplicação de gás;
- g) duas tubulações principais de 50mm, para condução do gás dos ventiladores até cada casa de vegetação, se ramificaram para alcançar uma das extremidades de cada bancada, e de onde se ramificou para tubos de distribuição;
- h) tubulação de distribuição, composta de tubos de PVC de 25mm instalados ao lado de cada canal de cultivo, perfurados a cada 0,25m, obedecendo a localização de cada planta. Os orifícios possuíram 1mm de diâmetro;
- i) dois registradores de concentração de CO_2 Dickson CO_2x , com sensor de infravermelho, com escala de 0-2.200ppm em gráfico circular de papel e de 0-10.000ppm em mostrador digital, instalados nas casas de vegetação B e C (Figura 2). Os sensores de cada registrador foram colocados em uma das

bancadas, no centro longitudinal de um terceiro canal, a contar da parte inferior da bancada, entre duas plantas.

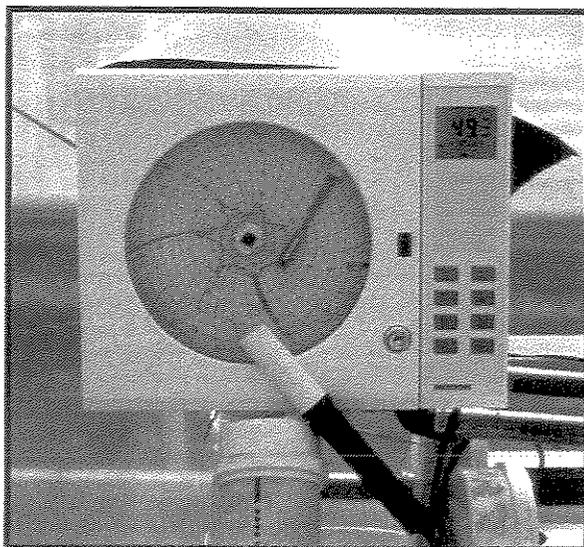


Figura 2. Registrador de concentração de CO₂ com sensor infravermelho à frente.

O enriquecimento foi realizado diariamente entre 11:00 e 13:30 horas, com aplicações intermitentes de gás por 30 minutos e paradas de 10 minutos; estas paradas, controladas pelo temporizador, se fizeram necessárias devido ao acúmulo de gelo provocado pela baixa temperatura na válvula-registro que poderia obstruir a passagem de gás, portanto o tempo total diário de aplicação de gás foi de 2 horas. O fluxo de CO₂ foi controlado pela regulagem manual das válvulas eletrônicas, de acordo com os valores apresentados pelo registrador de concentração de CO₂ no ar interno de cada casa de vegetação, procurando sempre manter a concentração em valores superiores a 1.000ppm e inferiores a 2.000ppm. Uma seção do sistema, com as válvulas eletrônicas, temporizador e válvula solenóide são mostrados na Figura 3.

A vazão dos ventiladores foi regulada por meio de abertura variável na sucção. Procurou-se manter menor abertura possível, apenas para forçar o percurso do gás por toda a tubulação e evitar grande dispersão nos orifícios de saída, fazendo com que a concentração maior ficasse perto das plantas.

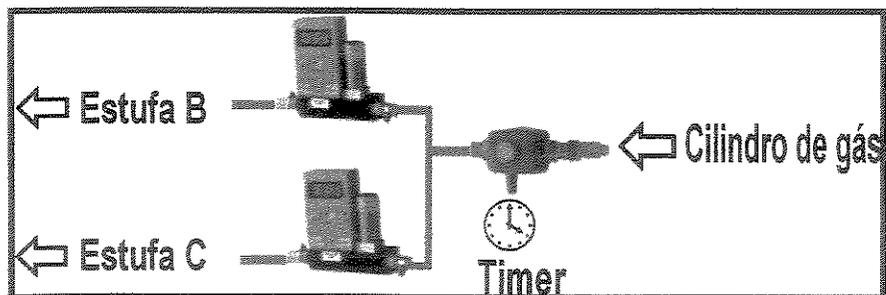


Figura 3. Seção do sistema de enriquecimento de CO₂ responsável pela vazão e horário de aplicação.

3.5. Sistema de resfriamento evaporativo

Para obtenção dos valores desejados de temperatura no interior da casa de vegetação C, utilizou-se do sistema de resfriamento evaporativo, baseado no princípio da evaporação da água para retirada de calor do ar, com o aumento da umidade do ar interno e com a movimentação do ar para troca com o meio externo. A evaporação da água, neste sistema, foi feita por meio poroso de celulose e a movimentação do ar por exaustores.

O meio poroso utilizado foi de celulose, (6,50 x 0,54 x 0,10m), instalado na face sul da casa de vegetação, apoiado sobre parede de alvenaria, dois exaustores foram instalados na face norte para movimentação do ar. A

umidificação do meio poroso foi feita por bomba centrífuga de 3/4CV instalada em um sistema fechado com reservatório de água com capacidade para 500 litros. Para controle do funcionamento do sistema um termostato elétrico foi instalado, protegido dos efeitos da radiação, em um tubo de PVC de 100mm com 400mm de comprimento, revestido com papel alumínio e com um microventilador na extremidade inferior (Figura 4). A peça montada com o termostato foi instalada com a sucção a 1,50m do piso e foi regulado para acionar o sistema quando a temperatura fosse superior a 25°C.

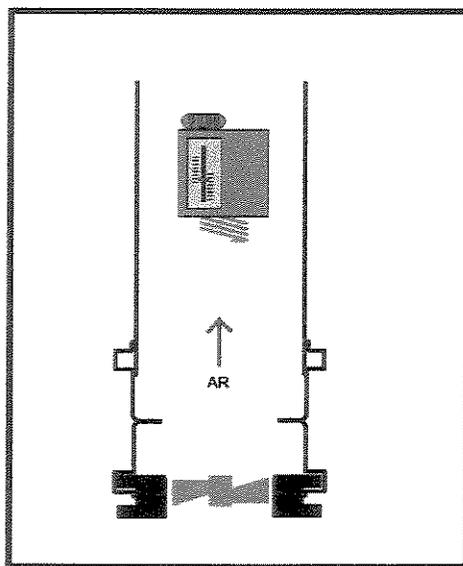


Figura 4. Montagem do termostato controlador do sistema de resfriamento evaporativo.

3.6. Aquisição de dados

Para obtenção dos valores necessários para o conhecimento do comportamento da condição climática dentro dos ambientes de cultivo, instalou-se

equipamentos para aquisição de dados e sensores específicos para cada variável estudada.

Na área experimental foram coletados os seguintes dados: temperatura interna das casas de vegetação, temperatura foliar, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, radiação solar total, radiação fotossinteticamente ativa (PAR), concentração de CO₂, e radiação ultravioleta (em 254, 312 e 365nm).

Os dados externos às casas de vegetação: temperatura do ar, umidade relativa do ar, e velocidade do vento foram coletadas pela Estação Meteorológica da Feagri / Unicamp, distante 50m da área experimental.

A coleta de dados foi realizada de 17 de novembro a 13 de dezembro de 1999, ininterruptamente. Os aparelhos de aquisição de dados de temperatura e radiação foram instalados em uma sala ao lado das casas de vegetação (Figura 5).

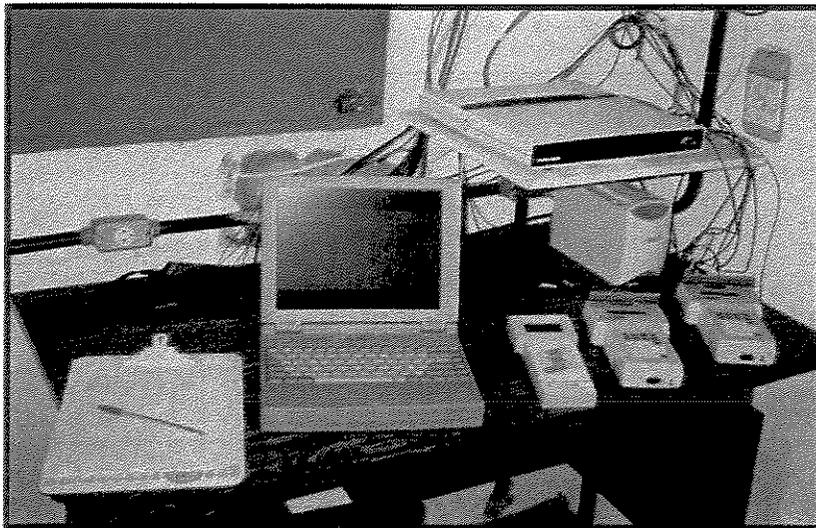


Figura 5. Mesa da sala de aquisição de dados, com sistemas para coleta de temperatura e radiação.

Para a coleta dos valores de temperaturas utilizou-se de um sistema de aquisição de dados Travellogger com 48 canais ligado a computador. Os dados foram armazenados pelo software Insta Trend versão 5.40; no Travellogger foram ligados os fios termopares tipo T responsáveis por transmitir os valores de temperatura ocorridos nas casas de vegetação. Os dados, em graus centígrados, foram armazenados diariamente a cada trinta minutos.

Em cada casa de vegetação foram instalados 4 hastes de termopares, específicas para medição da temperatura do ar, dentro de tubos de PVC de 50mm com 200mm de comprimento revestidos com papel aluminizado. Os tubos com os termopares foram fixados no alto da casas de vegetação com possibilidade de regulação de altura, em cada bancada foram instalados dois termopares, um a 0,50m do piso e outro a 0,90m do piso, ou seja, entre o segundo e terceiro canal e entre o quarto e quinto canal de cultivo, respectivamente. Para avaliação dos resultados utilizou-se a média dos quatro termopares para representar as temperaturas ocorridas em cada casa de vegetação durante os dias do período de cultivo.

Um termopar de contato (Figura 6), para medição da temperatura foliar foi instalado em cada casa de vegetação, foram fixados nas plantas no quinto dia após o transplante, devido ao reduzido tamanho das folhas antes deste período; as posições destes termopares sobre as folhas foram verificadas diariamente para corrigir deslocamentos causados pelo crescimento das plantas.

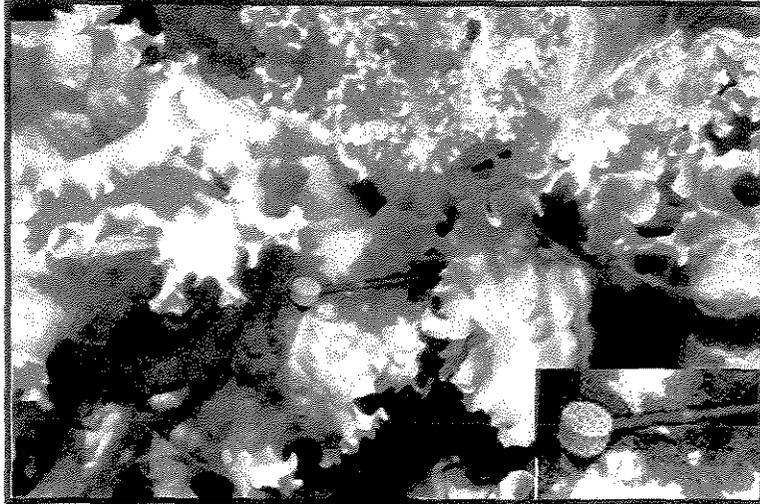


Figura 6. Termopar de contato para medição da temperatura da superfície foliar.

Nas casas de vegetação B e C foram instalados 2 fios termopares em psicrômetros aspirados (Figura 7) para medição das temperaturas de bulbo úmido e de bulbo seco, para posterior determinação de umidade relativa do ar. O psicrômetro aspirado da casa de vegetação B representou as condições de umidade relativa do ar ocorrida dentro de estrutura naturalmente ventilada, sendo seus valores utilizados também para a casa de vegetação A. Os psicrômetros foram construídos com um tubo de PVC de 75mm de diâmetro e 400mm de comprimento colocado internamente a um tubo de 100mm (também com 400mm de comprimento), criando uma câmara entre estes dois; esta câmara foi fechada nas duas extremidades para colocação de água destilada. A parte interna do tubo de 75mm foi aberta, onde em uma das extremidades acoplou-se um microexaustor com 70mm de diâmetro, nesta parte interna também instalou-se as pontas dos termopares, sendo uma dessas envolta na extremidade de um cadarço de algodão, a outra extremidade do cadarço, por meio de um orifício no tubo de 50

mm, ficou submersa na água, para ocorrer a umidificação do tecido, este termopar foi o responsável por medir a temperatura de bulbo úmido, o outro, por medir a temperatura de bulbo seco. Os psicrômetros aspirados foram instalados no centro de cada casa de vegetação com a extremidade inferior (sucção) a 0,70m do piso.

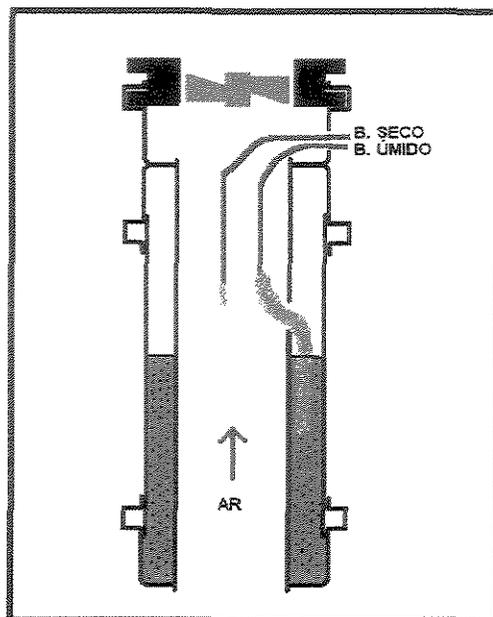


Figura 7. Corte do psicrômetro aspirado para coleta de dados referentes à temperatura de bulbo seco e bulbo úmido.

Para medir temperatura do ar de entrada e saída do “pad” na casa de vegetação C, foram instalados dois termopares junto ao meio evaporativo, um na face externa e outro na face interna, respectivamente. A haste termopar da face interna, para evitar o recebimento de respingos de água do sistema, foi protegido com tubo de PVC de 50mm, com 200mm de comprimento, um joelho de 90° foi colado na parte inferior, com a entrada voltada para a superfície do meio evaporativo para forçar a canalização do ar; o tubo foi envolto em papel alumínio para minimizar o aquecimento causado pela radiação solar. A haste da face

externa foi instalada dentro do mesmo tipo de proteção, porém com o Joelho de 90° colado na parte superior, para evitar contato com água de chuvas, de tal forma que a entrada do ar no tubo ocorreu pela parte inferior e a saída na parte superior, voltada para a superfície do meio evaporativo.

Para radiação PAR utilizou-se sensores Quantum (Li-Cor Li 190SA) (Figura 9); em uma bancada, dentro de cada casa de vegetação, foram instalados dois sensores para medida de radiação fotossinteticamente ativa (PAR); um a 0,70m do piso e outro no topo da bancada (1,37m do piso). Os 6 sensores Quantum foram ligados aos 3 canais de voltagem de duas aquisições de dados Li-Cor Li-1400 (3 canais de voltagem e 2 de amperagem), como a mostrado na Figura 8. Os dados, em $W.m^{-2}$, foram armazenados diariamente em intervalos de uma hora, entre 7:00 e 17:00 horas. Para avaliação e apresentação dos resultados utilizou-se a média dos dois sensores de cada bancada (portanto, de cada tratamento) para representar a radiação PAR ocorrida durante os dias de cultivo.

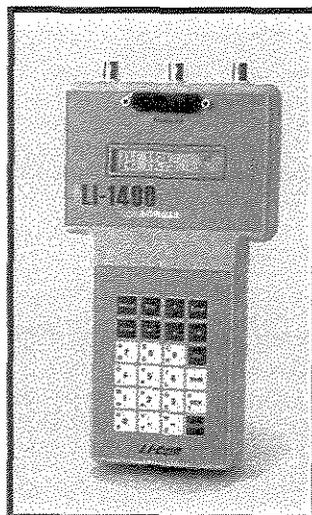


Figura 8. Aparelho de aquisição de dados Li-1400 para os sensores de radiação.

Para aquisição dos valores de radiação total utilizou-se piranômetros (Li-Cor Li-200SZ) (Figura 10) que foram instalados somente na casa de vegetação C, um 0,30m abaixo do filme de cobertura e outro do lado exterior sobre o filme, sobre a cumeeira. Estes sensores tiveram a finalidade de avaliar o nível de radiação total filtrada pelo filme plástico. Os dois piranômetros foram ligados na segunda aquisição de dados Li-Cor Li-1400, nos canais de amperagem. Os dados, em $\mu\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$, foram armazenados diariamente em intervalos de uma hora, entre 7:00 e 17:00 horas.

Três sensores Cole Parmer para medição da radiação ultravioleta em 254, 312 e 365nm foram instalados dentro da casa de vegetação C, acima do último canal de uma bancada, e outros três fora da casa de vegetação, todos a 1,37m do piso. Estes sensores tiveram a finalidade de avaliar o nível de radiação ultravioleta filtrada pelo filme plástico. Para a aquisição das medidas dos sensores utilizou-se de um radiômetro Cole Parmer VLX 3W. As leituras, em $\text{mW}.\text{m}^{-2}$, foram anotadas diariamente, sempre às 12:00 horas.

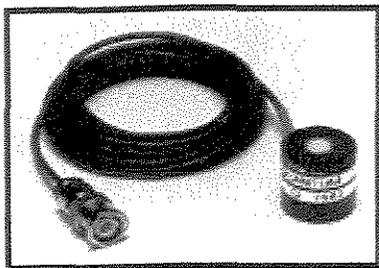


Figura 9. Sensor Quantum (Li-Cor Li-190SA) para radiação PAR.

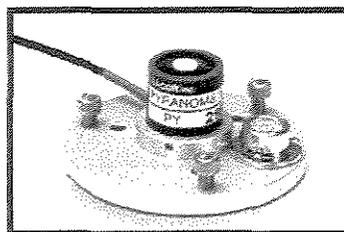


Figura 10. Piranômetro (Li-Cor Li-200SZ) para radiação total.

Para medir o tempo de funcionamento do sistema de resfriamento evaporativo alimentou-se, pelo motor de um dos ventiladores, um temporizador eletromecânico, sem reserva de marcha, que funcionou como um marcador de tempo; o temporizador foi acertado no primeiro dia, às 12:00 horas, no dia seguinte, no mesmo horário, anotou-se o número de horas de funcionamento. Após a anotação o temporizador foi acertado novamente para as 12:00 horas, para poder realizar a contagem do dia seguinte, tendo-se portanto o tempo de funcionamento do sistema em um período de 24 horas.

Os dados referentes a concentração de CO₂ foram obtidos a partir de gráficos de papel dos dois registradores no interior das casas de vegetação B e C. Cada gráfico registrou as concentrações de 7 dias, a cada troca de gráfico os dados foram tabulados em planilha eletrônica. Anotações das concentrações instantâneas também foram realizadas como referência para regulação das válvulas controladoras de vazão.

Os dados referentes ao meio externo às casas de vegetação, foram coletados pela Estação Meteorológica (temperatura média, velocidade do vento a 2 metros de altura, radiação incidente total e umidade relativa do ar) diariamente a cada 10 minutos. Para umidade relativa do ar também foram coletadas médias às 9:00, 15:00 e 21 horas. Coletou-se também médias diárias para temperatura, velocidade máxima do vento a 2 metros de altura e radiação incidente total do dia. Devido ao Cepagri não haver coletado valores de temperaturas médias diárias e umidade relativa média diária, utilizou-se dos valores coletados a cada 10 minutos para obtenção destes parâmetros.

3.7. Manejo da cultura

O manejo adotado para a condução do experimento foi similar aos cultivos comerciais da cultura, adotando-se as mesmas rotinas diárias de monitoramento da nutrição das plantas.

As mudas de alface Vera foram produzidas em bandejas de 288 células com substrato vegetal Plantmax Hortalíça, irrigadas por micro aspersão. Em 16 de novembro de 1999, com 3 a 4 folhas as mudas foram transplantadas para os canais de cultivo.

Para se determinar a quantidade de nutrientes presentes naturalmente na água a ser utilizada na solução nutritiva, fez-se uma análise química; os valores obtidos foram considerados no cálculo. Uma análise biológica também foi realizada, não sendo encontrados coliformes fecais e outros organismos não permitidos.

A composição química da solução nutritiva utilizada, procurando atender as necessidades da cultura para a região de Campinas é apresentada na Tabela 4 (informação pessoal de Pedro Roberto Furlani – IAC / Campinas).

A reposição de nutrientes consumidos pelas plantas foi feita pela adição nos tanques de uma solução estoque (proporcionalmente idêntica a solução nutritiva, porém concentrada), de acordo com a variação da condutividade elétrica. Procurou-se manter a condutividade elétrica em $1,6\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, o monitoramento foi feito por condutivímetro portátil TDSTest 4 ($0-19,9\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) diariamente.

Tabela 4. Concentração de nutrientes da solução nutritiva utilizada.

NUTRIENTE	CONCENTRAÇÃO DO NUTRIENTE (mg.l⁻¹)
N-NO ₃	143,500
N-NH ₄	3,800
P	29,900
K	282,500
Ca	72,200
Mg	28,000
S-SO ₄	36,782
B	0,272
Fe	0,720
Mn	0,400
Zn	0,044
Cu	0,048
Mo	0,078

O pH foi monitorado diariamente com peagâmetro portátil AP 50 (Denver Instruments) procurando-se manter o mesmo entre 5,5 e 6,5. O manejo adotado para correção de pH foi a troca total da solução quando a leitura ocorresse fora da faixa adotada, visto que variações bruscas de pH indicam desbalanceamento acentuado da solução nutritiva quanto aos sais dissolvidos.

O volume de solução nutritiva foi mantido de forma contínua pela ação de bóia instalada em um dos reservatórios, sendo portanto, a água consumida pela cultura repostada de forma imediata.

Observações quanto ao aparecimento de doenças, pragas e desordens nutricionais foram realizadas diariamente.

A colheita ocorreu aos 28 dias após o transplante, em 14 de dezembro de 1999.

3.8. Parâmetros de avaliação e delineamento estatístico

No planejamento das unidades experimentais é desejável que seja aplicado o princípio da casualização, para propiciar a todos os tratamentos a mesma probabilidade de serem designados a qualquer uma das unidades experimentais (BANZATTO & KRONKA, 1989). Porém, neste trabalho, não foi possível aplicar tal princípio, devido a complexidade característica dos tratamentos quanto aos sistemas de cada um. Portanto, as análises estatísticas foram realizadas, porém com todas as parcelas de um tratamento reunidas em uma mesma casa de vegetação.

Para avaliação das respostas dos tratamentos sobre a cultura utilizou-se dos seguintes parâmetros:

3.8.1. Massa fresca

As plantas foram pesadas imediatamente após a colheita. Para este parâmetro foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, onde cada bancada de cultivo foi considerada uma repetição com 8 parcelas (considerando como bordadura o canal superior e o inferior de cada lado da bancada), sendo cada canal uma parcela, de onde foi sorteada e colhida uma planta para pesagem.

3.8.2. Massa seca

As plantas foram embaladas em sacos de papel e postas a secar em casa de vegetação a 60°C até atingirem peso constante. Após o processo foram retiradas da embalagem e pesadas. Para este parâmetro foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, e cada bancada de cultivo foi considerada uma repetição. Das plantas colhidas para determinação de massa fresca foram sorteadas duas para realizar o processo de secagem. Portanto, resultando em um delineamento com 2 parcelas por repetição e uma amostra por parcela.

3.8.3. Número de folhas

Para este parâmetro utilizou-se as mesmas plantas que foram desidratadas, antes de embalar-las realizou-se a contagem de folhas com comprimento maior que 40mm. Portanto, resultando também em um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, duas parcelas por repetição e uma amostra colhida por parcela.

3.8.4. Classificação de qualidade

Seguiu-se a proposta referente à classificação da alface para o Programa Paulista para a Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros, da Ceagesp. Esta proposta classifica o produto em: grupo, relacionado à características varietais de formato das folhas e da

cabeça; subgrupo, relacionado à coloração das folhas; classe, relacionada à massa fresca da planta; e categoria, relacionada à incidência de defeitos, limpeza e desidratação. Para esta avaliação foram utilizadas todas as plantas colhidas, ou seja, 32 plantas por tratamento.

Quanto ao grupo e subgrupo as plantas foram classificadas como crespas e verdes, respectivamente, devido as características da cultivar Vera.

Para classificação de classe seguiu-se a Tabela 5, sendo tolerada uma mistura de 10% de plantas de classe diferente, desde que pertencentes às classes imediatamente superiores ou inferiores.

Tabela 5. Classificação em classes para alface de acordo com a massa fresca das plantas.

MASSA FRESCA (g)	CLASSE
< 100	5
100 – 149	10
150 – 199	15
200 – 249	20
250 – 299	25
300 – 349	30
350 – 399	35
400 – 449	40
450 – 499	45
500 – 549	50
550 – 599	55
600 – 649	60
650 – 699	65
700 – 749	70
750 – 799	75
800 – 849	80
850 – 899	85
900 – 949	90
950 – 999	95
≥ 1000	100

A categoria divide o produto em Extra, Categoria I e Categoria II de acordo com a soma dos valores de limpeza e hidratação (Tabela 6), mas as plantas podem passar para uma categoria inferior de acordo com os defeitos presentes em um lote, contudo, não foram consideradas estas observações, devido ao número de plantas coletadas por repetição (bancada) ser inferior a 100, o que poderia influenciar de maneira negativa sobre o lote colhido, não representando a realidade. Observações diárias para constatação de defeitos decorrentes, exclusivamente, dos tratamentos foram feitas, e caso estes surgissem avaliaria-se a porcentagem de ocorrência, utilizando-se todas as plantas de cada repetição (bancada).

Tabela 6. Classificação para categoria de acordo com a limpeza e grau de hidratação.

CATEGORIAS	GRAU (limpeza + hidratação)
Extra	8
Categoria I	7
Categoria II	6

No momento da colheita são permitidos 10% do total de pés de alface no lote fora das especificações para limpeza e hidratação de sua categoria quando se trabalha com lotes para comercialização, neste trabalho apresentou-se somente a porcentagem de cada categoria por tratamento.

Para graus de hidratação seguiu-se os valores da Tabela 7, e para graus de limpeza seguiu-se os valores da Tabela 8.

Tabela 7. Valores atribuídos para graus de hidratação foliar.

VALOR	CARACTERÍSTICA PRESENTE
4 para excelente	Folhas sem sinal de murcha,
3 para bom	Presença de folhas com sinal de murcha, porém completamente verdes,
2 para regular	Presença de folhas velhas com muita murcha e perda de coloração.
1 para ruim	Presença de folhas velhas, muito flácidas com escurecimento dos tecidos.

Tabela 8. Valores atribuídos para graus de limpeza da planta.

VALOR	CARACTERÍSTICA PRESENTE
4 para excelente	Folhas totalmente limpas,
3 para bom	Alguma presença de terra fina e restos vegetais ou materiais estranhos,
2 para regular	Presença de terra fina, restos vegetais nas folhas externas e internas, e,
1 para ruim	Presença de torrões, terra, pedras e restos vegetais em toda a planta.

3.8.5. Composição química

As análises químicas, para determinação da quantidade de macro e micronutrientes presentes nas plantas dos diferentes tratamentos foram realizadas a partir de amostras foliares em Espectrômetro de Emissão por Plasma (ICP – Inductively Coupled Plasma).

De cada tratamento foram obtidas duas amostras, cada uma composta de 24 folhas colhidas aleatoriamente em uma planta de cada canal em duas bancadas. O delineamento escolhido para análise estatística foi o inteiramente casualizado, possuindo, portanto, duas repetições para cada tratamento.

Os nutrientes determinados foram: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, ferro, manganês, zinco, cobre e molibdênio. Análise da quantidade de nitratos também foi realizada neste material.

3.9. Avaliação econômica

A avaliação econômica foi feita com base no custo operacional de cada tratamento. Contabilizando-se todos os gastos envolvidos em um ciclo produtivo da cultura, com: mudas, adubos, energia elétrica, CO₂, embalagem e mão-de-obra.

O custo final foi obtido dividindo-se o capital investido na produção pelo número de plantas produzidas em cada sistema de cultivo (tratamento).

Para os gastos envolvendo os três tratamentos, como: energia elétrica do sistema hidropônico, mudas e adubos, o valor total foi dividido por três.

O tratamento B teve acrescido em seu custo o valor do CO₂ proporcional à vazão utilizada.

O tratamento C teve acrescido em seu custo o valor do CO₂, proporcional à vazão estabelecida, e também o gasto com energia elétrica utilizada pelo sistema de resfriamento evaporativo (bombas e exaustores).

O preço de custo de cada tratamento foi comparado à média do valor recebido por agricultores da região.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho foram obtidos a partir do estudo das diferenças existentes entre métodos de modificação da atmosfera no interior de casas de vegetação para a produção de alface em sistema hidropônico.

Os resultados representaram: as condições climáticas ocorridas no interior e exterior das casas de vegetação, eficiência dos sistemas para obtenção das condições desejadas, as características de produtividade e qualidade da cultura e um estudo da viabilidade econômica na aplicação prática dos tratamentos.

4.1. Condições climáticas

Os dados climáticos médios de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade de vento ocorridos durante o trabalho estão relacionadas na Tabela 9.

Apesar do valor de velocidade do vento só ter sido medido exteriormente às casas de vegetação esta foi uma importante observação para estudar a eficiência do sistema de aplicação de CO₂ no tratamento da casa de vegetação B, visto que a concentração de gás ao redor da planta é influenciada pela movimentação de ar, que a partir de certos limites pode tornar o enriquecimento totalmente ineficiente.

Quanto à variação das temperaturas durante o dia os resultados mostraram um comportamento padrão para este tipo de estrutura, com variações internas acompanhando sempre valores externos.

Pelas médias apresentadas na Tabela 9, e pelas curvas da Figura 11, verifica-se que em todo o período de cultivo na casa de vegetação C, dotada de sistema de resfriamento evaporativo, ocorreram temperaturas médias menores ou iguais as casas de vegetação dos demais tratamentos, atingindo até 4,0°C de diferença em dias mais quentes (25 de novembro); em dias mais frios, principalmente com temperaturas externas inferiores a 20°C, a diferença teve uma tendência a ser mínima ou não existente. Na média a casa de vegetação C apresentou temperaturas 1,5°C menores do que as demais.

Considerando as médias de todo o período, nos três ambientes, as temperaturas internas foram maiores do que as externas, devido ação da radiação solar, que ocasionou um acúmulo de calor pelo efeito estufa, fatos concordantes com os estudos de FARIA JUNIOR et al. (1983), FARIAS (1993), HERTER & REISSER JUNIOR (1987) e REIS et al. (1991); o ocorrido é relevante para salientar a importância do grau de eficiência dos sistemas de resfriamento evaporativo, que isoladamente não permitem a redução de calor a valores iguais ou inferiores aos ocorridos no meio externo, como citado por AUGSBURGER et al. (s.d.).

Tabela 9. Valores médios de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento diários ocorridos no período para os tratamentos A, B e C, e para o exterior das casas de vegetação (E).

DATA	Temperaturas (°C)												Umidade relativa (%)				Veloc vento (m/s)
	Média mínima				Média Máxima				Média				A	B	C	E	
	A	B	C	E	A	B	C	E	A	B	C	E					EXT.
17/11	12,3	12,5	10,6	12,2	33,3	33,2	31,3	26,8	21,4	20,9	20,9	18,2	52,4	52,4	68,1	62,8	2,5
18/11	12,9	12,2	11,9	12,7	37,1	35,6	33,5	28,3	22,6	22,1	21,3	18,9	54,2	54,2	71,4	65,5	2,1
19/11	13,9	14,2	13,5	13,3	36,6	35,0	31,6	28,0	23,3	22,9	22,1	19,7	59,2	59,2	75,7	69,0	1,9
20/11	16,4	16,8	16,2	15,4	38,3	34,8	31,9	28,4	23,5	23,3	22,3	19,3	62,7	62,7	78,9	76,8	1,2
21/11	16,0	16,5	15,8	14,8	35,0	32,7	29,8	27,0	23,1	23,6	22,5	19,9	62,4	62,4	79,3	74,6	0,9
22/11	15,9	16,5	16,1	14,8	39,2	39,8	34,8	29,7	24,7	25,5	23,5	20,4	59,1	59,1	78,1	71,4	1,2
23/11	12,1	12,5	7,6	14,7	40,3	40,5	33,3	30,3	24,6	24,9	22,9	20,6	54,6	54,6	73,2	64,8	1,4
24/11	13,9	16,3	10,7	14,6	42,2	42,9	33,3	29,3	26,5	27,7	23,8	22,1	47,5	47,5	73,1	58,0	1,6
25/11	17,6	17,4	15,3	15,3	40,0	39,1	32,7	30,3	27,9	27,6	23,9	23,3	44,6	44,6	69,1	53,1	1,4
26/11	19,2	19,0	19,6	16,6	32,9	30,9	29,3	25,8	23,3	23,2	23,3	19,9	81,9	81,9	88,0	80,1	0,9
27/11	18,2	18,8	17,7	16,1	37,5	37,9	31,4	29,6	26,6	26,8	24,1	22,5	54,8	54,8	77,7	65,5	1,2
28/11	17,9	18,3	16,9	17,2	38,0	37,9	30,8	29,8	25,6	25,3	22,9	21,7	51,7	51,7	70,8	53,9	2,4
29/11	15,0	10,1	14,6	15,0	37,1	44,2	36,6	29,6	24,6	24,6	22,5	20,9	58,7	58,7	74,7	65,3	2,2
30/11	14,1	16,3	12,9	15,1	38,7	37,2	31,5	29,8	24,1	25,1	22,6	20,8	62,1	62,1	77,5	69,4	2,6
01/12	16,4	16,1	16,1	16,5	36,8	37,1	31,6	29,9	25,0	24,9	22,8	21,7	59,9	59,9	76,2	65,6	2,2
02/12	16,2	16,3	15,4	16,0	40,0	38,3	32,6	32,3	25,6	26,0	23,2	22,5	58,3	58,3	76,5	64,5	1,5
03/12	17,9	18,6	17,8	17,5	37,3	41,8	33,3	29,8	25,6	26,0	24,0	21,8	65,4	65,4	81,5	72,2	1,2
04/12	19,0	16,2	12,3	17,0	32,3	36,9	34,4	26,0	23,0	24,2	23,3	19,5	87,0	87,0	91,9	89,4	1,1
05/12	16,5	20,5	12,5	15,9	36,1	42,8	38,9	30,3	25,8	27,6	25,3	22,5	67,9	67,9	83,6	69,5	1,1
06/12	17,4	18,4	17,7	16,5	33,3	35,0	29,5	28,4	24,2	25,1	23,1	21,0	72,4	72,4	85,8	76,2	1,2
07/12	19,4	20,4	10,4	17,7	35,5	38,3	40,2	29,1	24,9	26,2	23,2	21,3	72,8	72,8	86,0	79,1	1,3
08/12	20,4	21,6	19,4	17,8	34,4	34,5	31,3	30,0	25,5	26,4	24,7	21,7	77,7	77,7	89,4	80,8	1,2
09/12	20,0	21,4	20,3	17,7	33,3	34,2	30,5	28,6	25,3	25,9	24,6	22,0	73,5	73,5	85,8	78,6	1,8
10/12	20,0	21,3	20,6	17,8	31,2	34,0	30,2	27,1	23,9	24,9	23,9	20,7	77,2	77,2	89,8	83,1	1,5
11/12	19,5	16,4	19,5	17,1	25,8	27,4	26,1	23,5	22,0	23,2	22,7	19,3	86,9	86,9	93,9	86,7	1,2
12/12	19,2	20,6	19,7	18,0	28,7	30,5	25,4	22,4	23,0	24,2	22,7	19,7	84,6	84,6	90,8	81,3	1,4
13/12	18,8	20,4	19,5	16,3	27,1	28,5	27,0	22,0	21,8	23,6	22,6	18,7	93,3	93,3	94,7	91,6	1,2
Média	16,9	17,2	15,6	15,9	35,5	36,3	32,0	28,2	24,3	24,9	23,1	20,8	66,0	66,0	80,8	72,2	1,5

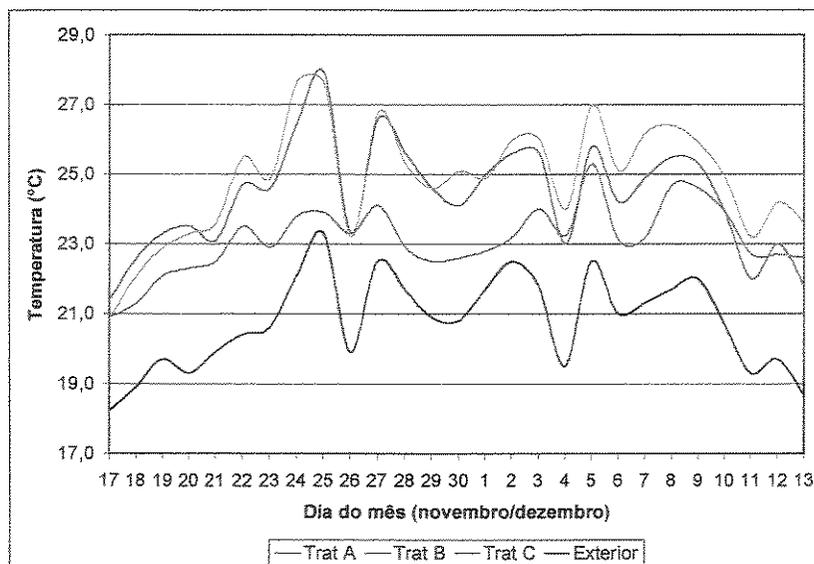


Figura 11. Temperaturas médias do ar ocorridas diariamente nos tratamentos e no meio externo.

Considerando o período diário da variação das temperaturas, verifica-se um comportamento quase linear, em descendência, que ocorre entre 20:00 e 6:00 horas do dia posterior, com variações de temperatura praticamente iguais nos três ambientes dos tratamentos, mas em declínio até aproximadamente 6:00 horas da manhã, horário em que o sol começa a nascer. Essa redução de temperatura se deu devido à irradiação da energia da superfície terrestre para o espaço, que diminui quando a mesma superfície passa a receber radiação solar. Estes efeitos sobre a temperatura podem ser vistos, no exemplo de um dia, pela Figura 12.

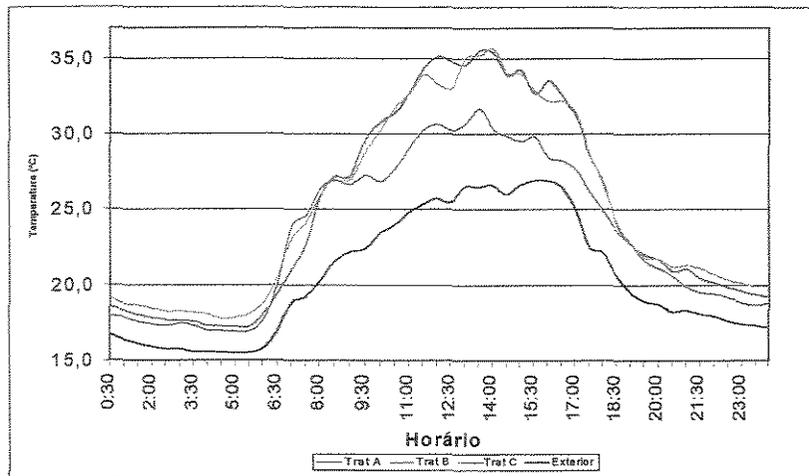


Figura 12. Exemplo de temperaturas médias do ar ocorridas no interior e no exterior das casas de vegetação no período de 1 dia (8/12/1999).

Entre 6:00 e 20:00 horas as variações se tornam dependentes da radiação solar, do sistema de controle e do acúmulo de energia, atingindo valores extremos entre 12:00 e 14:30 horas. Nesse aspecto, notou-se que, apesar do sistema de resfriamento adotado entrar em funcionamento sempre antes das 10:00 horas, a diferença de temperatura entre a casa de vegetação C e as demais foi maior sempre após esse horário e, se igualando novamente à temperatura das outras casas de vegetação quando a radiação solar se reduzia pela proximidade do pôr do sol.

O sistema de resfriamento evaporativo, com o uso de meio poroso umedecido apresentou, portanto, ação eficiente em reduzir o calor no interior de casas de vegetação, visto que no tratamento C, em todo o período, a temperatura interna se manteve próxima à recomendada pela literatura, o que muitas vezes não ocorreu nos tratamentos A e B. O período de cultivo se mostrou atípico com

temperaturas inferiores ao comumente ocorrido anualmente, sendo as condições de céu nublado, comprovada pelos dados pluviométricos, a responsável pelo fato.

As temperaturas mínimas nas madrugadas atingiram valores médios de 16°C, próximos do recomendado para a cultura da alface por ASHRAE (1989) e RIPADO (1989).

Considerando-se os valores médios ocorridos nas casas de vegetação A, B e C, de 24,3; 24,9 e 23,1°C, respectivamente, o período foi muito favorável ao desenvolvimento normal da cultura nos três ambientes de cultivo, pois os valores se mantiveram o maior tempo, entre a faixa recomendada para o crescimento adequado das plantas, entre 18 e 25°C. A temperatura da superfície foliar também se manteve dentro da faixa, como mostrado na Tabela 10, e notou-se que a mesma ocorreu sempre a valores diferentes aos do ambiente em que estavam, porém semelhantes entre si, com média de 23,9°C.

Na casa de vegetação A as medições mostraram valores inferiores de 0,7°C, em média, da superfície foliar em relação a temperatura do ar; na casa de vegetação B a diferença foi de 1,5°C e na casa de vegetação C as folhas se desenvolveram a temperaturas maiores do que a do ar em 0,6°C. Devido esta ocorrência, procedeu-se uma análise estatística entre as temperaturas da superfície foliar para avaliar a possibilidade de diferenças significativas entre os valores; para tal, considerou-se cada casa de vegetação como um tratamento e as médias diárias como repetições no período, em um delineamento inteiramente casualizado, esta análise, pela aplicação do teste F em nível de 1% de probabilidade mostrou não existir diferenças significativas entre as temperaturas da superfície foliar. Confirmando, portanto, que a temperatura foliar sofreu

influência da temperatura do ar ao redor das plantas, acompanhando sempre as variações, mas com a peculiaridade de serem semelhantes nos três ambientes. No tratamento C pôde-se associar a ocorrência de valores maiores à diminuição da temperatura interna provocada pelo sistema de resfriamento evaporativo.

Tabela 10. Comparação entre a temperaturas médias da superfície foliar e do ambiente.

DATA	CASA DE VEGETAÇÃO A		CASA DE VEGETAÇÃO B		CASA DE VEGETAÇÃO C		Exterior
	Folha	Ar	Folha	Ar	Folha	Ar	
21/11	23,9	23,1	22,0	23,6	24,4	22,5	19,9
22/11	24,0	24,7	24,1	25,5	24,2	23,5	20,4
23/11	22,3	24,6	23,5	24,9	23,8	22,9	20,6
24/11	24,7	26,5	25,5	27,7	24,8	23,8	22,1
25/11	24,8	27,9	26,1	27,6	25,3	23,9	23,3
26/11	22,8	23,3	22,7	23,2	24,5	23,3	19,9
27/11	25,3	26,6	26,1	26,8	25,0	24,1	22,5
28/11	24,3	25,6	24,4	25,3	23,3	22,9	21,7
29/11	24,0	24,6	24,0	24,6	22,7	22,5	20,9
30/11	22,8	24,1	23,2	25,1	22,7	22,6	20,8
01/12	24,0	25,0	23,8	24,9	23,5	22,8	21,7
02/12	24,3	25,6	24,1	26,0	24,0	23,2	22,5
03/12	24,5	25,6	24,2	26,0	24,3	24,0	21,8
04/12	22,9	23,0	22,5	24,2	23,7	23,3	19,5
05/12	24,7	25,8	24,8	27,6	25,2	25,3	22,5
06/12	24,2	24,2	23,3	25,1	23,8	23,1	21,0
07/12	25,2	24,9	23,9	26,2	24,4	23,2	21,3
08/12	25,4	25,5	24,6	26,4	25,2	24,7	21,7
09/12	25,0	25,3	24,6	25,9	24,9	24,6	22,0
10/12	24,0	23,9	23,8	24,9	24,3	23,9	20,7
11/12	22,2	22,0	21,8	23,2	22,9	22,7	19,3
12/12	23,0	23,0	23,0	24,2	22,8	22,7	19,7
13/12	21,6	21,8	21,8	23,6	22,4	22,6	18,7
Média	23,9	24,6	23,8	25,3	24,0	23,4	20,4

Nas Figuras 13, 14 e 15 pode-se observar o comportamento, em cada tratamento, da temperatura foliar em relação a do ar.

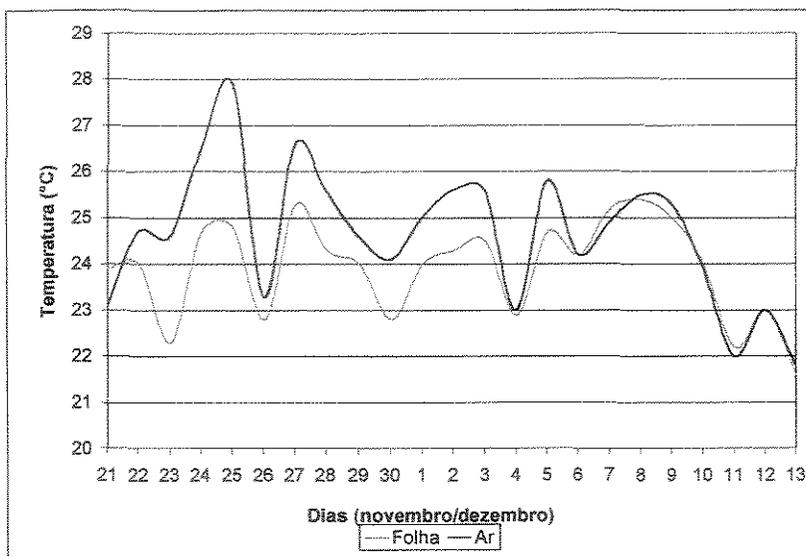


Figura 13. Médias de temperatura de folha e do ar na casa de vegetação A.

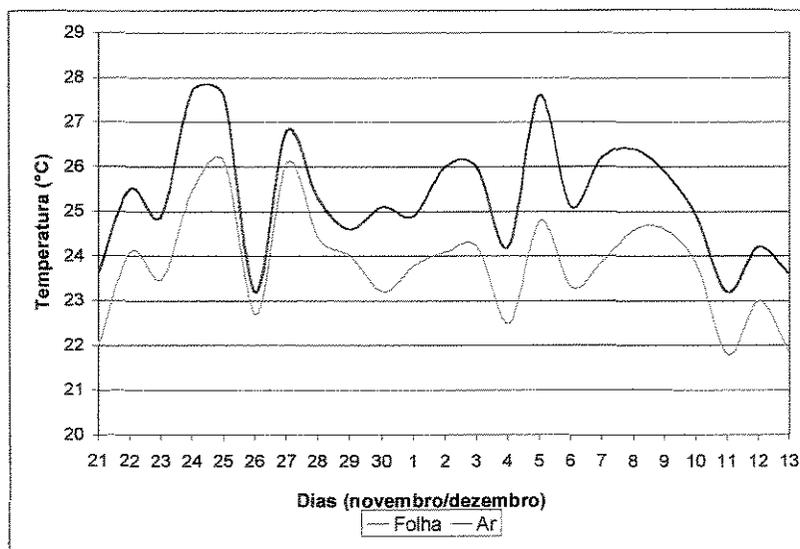


Figura 14. Médias de temperatura de folha e do ar na casa de vegetação B.

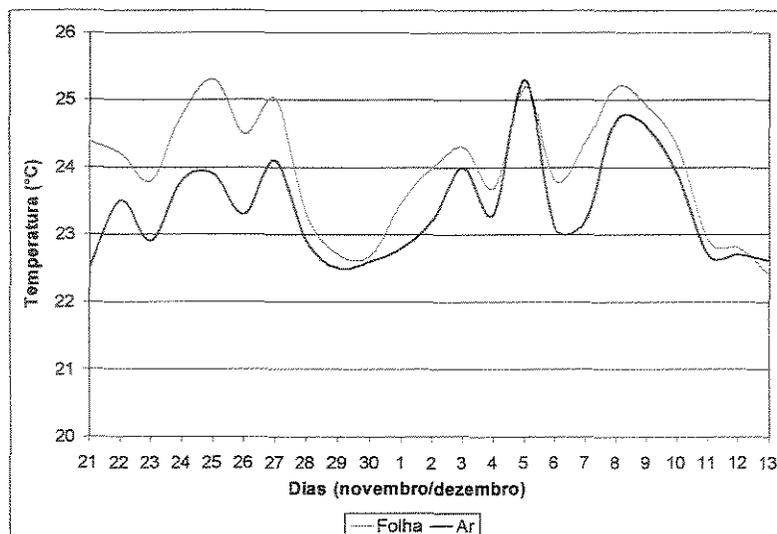


Figura 15. Médias de temperatura de folha e do ar na casa de vegetação C.

A umidade relativa do ar no exterior e no interior das casas de vegetação, com valores apresentados na Tabela 11 e na Figura 16, apresentou aumento entre a data do transplante e da colheita da cultura, tal fato se deveu ao início da intensificação da precipitação, como pode ser visto na Figura 17. Observa-se que na segunda quinzena de novembro choveu em 5 dias, com a maior precipitação, de 17,8mm, no dia 20, com aumento visível da umidade relativa do ar neste dia. Outro pico de umidade, nesta quinzena, no dia 26, foi provocado pela precipitação do dia, e provavelmente com colaboração das chuvas dos dias 22, 23 e 24.

Em dezembro choveu praticamente durante todos os dias da primeira quinzena, provocando incremento diário da umidade relativa, até valores superiores a 90%.

Tabela 11. Médias de umidade relativa do ar (%) diárias ocorridas às 9:00, 15:00 e 21:00 horas no interior e exterior das casas de vegetação.

DATA	CASAS DE VEGETAÇÃO A e B				CASA DE VEGETAÇÃO C				EXTERIOR			
	9:00	15:00	21:00	Média	9:00	15:00	21:00	Média	9:00	15:00	21:00	Média
17/11	54,0	38,8	69,6	52,4	67,9	64,9	84,7	68,1	53,1	40,8	75,7	62,84
18/11	56,1	37,0	72,8	54,2	81,6	63,3	85,5	71,4	61,8	41,9	78,4	65,50
19/11	64,8	45,4	72,5	59,2	69,6	69,2	84,6	75,7	68,1	50,2	77,1	69,05
20/11	59,5	59,7	85,6	62,7	67,8	78,3	93,0	78,9	59,9	68,6	91,2	76,81
21/11	70,4	53,5	42,7	62,4	77,2	66,3	94,8	79,3	75,5	60,1	75,5	74,60
22/11	64,6	44,1	62,6	59,4	93,8	67,0	91,4	78,1	66,6	38,8	77,7	71,38
23/11	54,0	38,3	82,9	54,6	66,4	66,8	90,7	73,2	51,0	33,8	74,4	64,80
24/11	59,3	36,2	55,2	47,5	79,2	62,3	81,4	73,1	64,6	30,8	47,6	58,04
25/11	49,3	32,3	63,7	44,6	74,4	61,4	82,2	69,1	58,1	30,4	53,2	53,06
26/11	91,5	66,0	82,1	81,9	89,7	83,0	95,0	88,0	93,1	72,9	84,1	80,10
27/11	63,6	41,4	62,0	54,8	76,4	71,3	86,9	77,7	64,7	38,8	60,4	65,50
28/11	54,4	36,6	72,1	51,7	66,7	62,2	79,9	70,8	52,6	29,2	73,3	53,93
29/11	61,8	47,0	79,4	58,7	81,9	70,9	79,8	74,7	63,5	38,0	74,6	65,26
30/11	69,0	47,5	78,0	62,1	80,9	70,7	83,2	77,5	62,4	44,9	77,7	69,37
01/12	61,3	47,1	75,2	59,9	77,0	70,1	81,4	76,2	62,5	39,4	74,8	65,62
02/12	61,3	43,0	81,6	58,3	78,0	65,0	92,0	76,5	59,5	34,1	77,0	64,52
03/12	59,8	65,4	85,9	65,4	79,1	77,4	92,7	81,5	60,9	67,2	92,0	72,20
04/12	84,0	90,8	92,6	87,0	89,2	92,1	95,0	91,7	83,3	94,1	89,7	89,40
05/12	69,1	56,1	79,9	67,9	81,4	76,7	90,4	83,6	69,8	51,3	68,3	69,51
06/12	66,4	63,9	91,0	72,4	84,5	82,5	91,8	85,8	65,9	54,6	91,6	76,15
07/12	78,2	61,9	85,0	72,8	85,7	80,0	94,3	86,0	73,6	52,7	84,4	79,10
08/12	79,7	64,8	92,6	77,7	91,4	83,9	96,7	89,4	76,3	60,8	93,6	80,80
09/12	80,2	64,4	77,3	73,5	89,2	83,0	82,9	85,8	83,5	64,4	76,1	78,61
10/12	71,2	81,3	90,2	77,2	88,6	93,7	96,6	89,8	71,4	85,2	89,4	83,11
11/12	86,5	91,2	87,8	86,9	98,4	93,1	96,6	93,9	82,5	90,7	83,0	86,71
12/12	87,2	85,7	88,0	84,6	91,2	86,8	95,9	90,8	83,7	75,8	82,4	81,29
13/12	95,2	87,8	97,4	93,3	96,0	93,7	97,4	94,7	89,0	83,8	94,9	91,58
Média	68,6	56,6	78,0	66,0	81,6	75,4	89,5	80,8	68,8	54,6	78,4	72,2

A umidade interna das casas de vegetação acompanhou a externa; na casa de vegetação C, pela ação do sistema de resfriamento evaporativo, os valores foram sempre maiores. Em dias mais úmidos a diferença foi menor, ficando o ar interno cerca de 2-3% mais úmido. Em dias com umidade relativa externa menor essa diferença foi maior, com valores até 30% superiores ao meio externo.

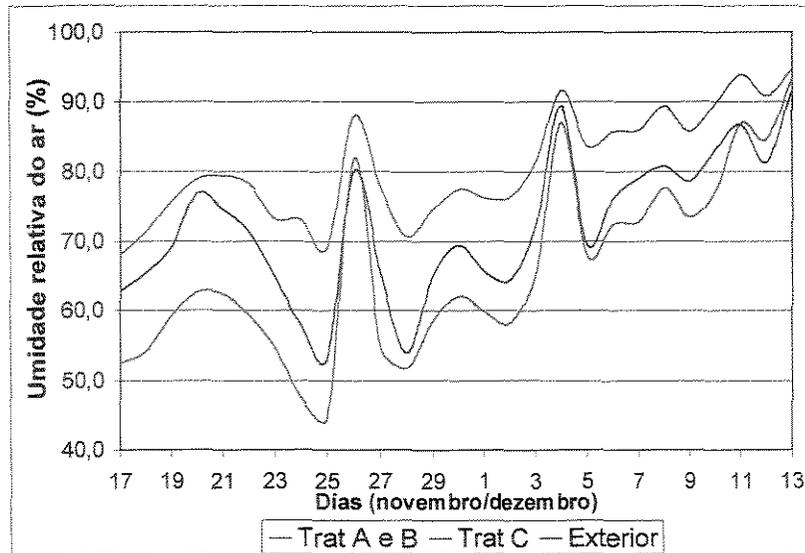


Figura 16. Umidade relativa média do ar (%) ocorrida diariamente no interior e no exterior das casas de vegetação.

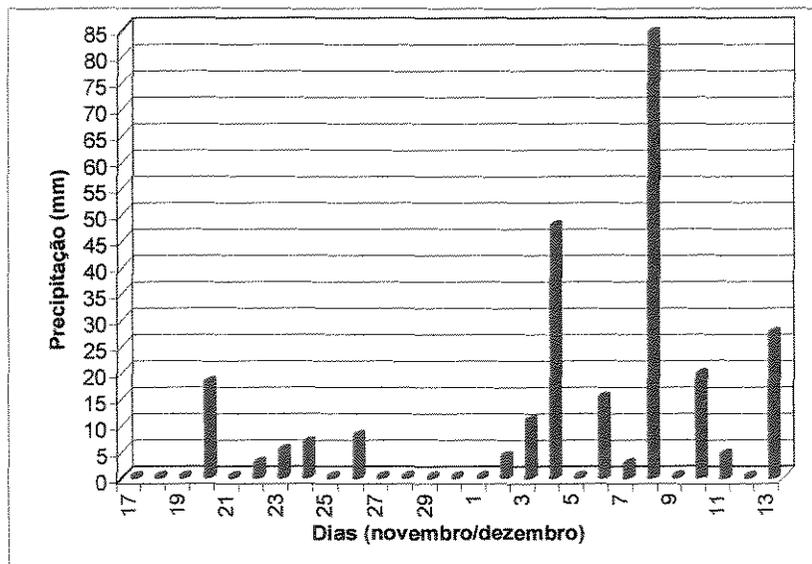


Figura 17. Precipitação diária ocorrida no período de cultivo.

Em dias mais úmidos ocorreu uma diminuição da eficiência no processo de evaporação da água, em dias chuvosos a umidade relativa caminha para valores cada vez mais próximos da saturação do ar, e quanto maior o número de partículas de vapor de água no ar, mais difícil é a saída de água do meio

evaporativo, para a mesma temperatura. Porém na casa de vegetação C a umidade sempre foi maior, mesmo em dias chuvosos, devido a menor temperatura ambiente, provocada pela pouca ação da radiação solar (devido a presença de nuvens) e pelo próprio funcionamento do sistema de resfriamento, que ocorrendo mesmo por algumas horas e com baixa eficiência, ainda foi capaz de remover calor do ambiente.

Em geral, nos dias chuvosos, nos quatro meios (casas de vegetação e exterior), a umidade foi alta; as casas de vegetação A e B apresentaram valores inferiores aos externos. A mesma ocorrência pôde ser observada em medições horárias no período de um dia, mesmo tomando como exemplo um dia com alta umidade (8 de dezembro), observa-se pela Figura 18, que nas horas mais quentes, os valores diminuem. Neste dia particular, os valores de umidade das casas de vegetação A, B e do meio externo caminharam muito próximos devido ao pouco aquecimento do ambiente. A casa de vegetação C teve um comportamento particular, mantendo os valores, na maior parte do tempo, a níveis superiores a 80%, devido o acionamento intermitente do sistema de resfriamento evaporativo em temperaturas internas superiores a 25°C.

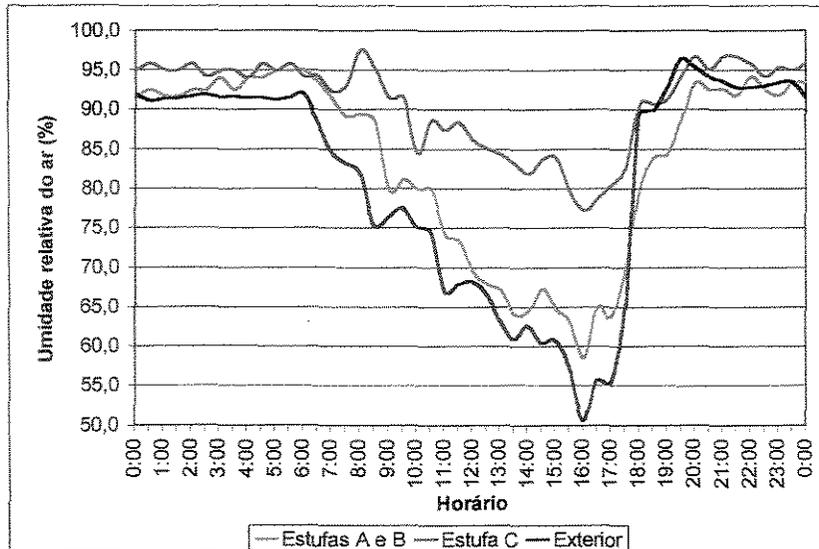


Figura 18. Exemplo de umidade relativa média do ar (%) ocorrida no interior e no exterior das casas de vegetação no período de 1 dia (8/12/1999).

Como citado por MUNTERS (1993), um sistema de resfriamento evaporativo trabalha com temperatura de saída maior do que a temperatura de bulbo úmido, pois ocorre um equilíbrio entre o sistema e o ambiente. Portanto o ar do interior do meio poroso tende a apresentar temperaturas mais próximas a de bulbo úmido, mas não é capaz de manter o ar interno a esta temperatura, devido a ação do efeito estufa, como de fato ocorreu, e que pode ser observado na Tabela 12.

No acompanhamento diário das temperaturas, observa-se que este comportamento é notado na maioria dos dias, não ocorrendo em dias mais frios devido ao menor tempo de funcionamento do sistema, levando a médias (do período em estudo) praticamente iguais entre temperatura do ar de entrada e de saída.

Tabela 12. Médias diárias de temperaturas ocorridas no meio evaporativo do sistema de resfriamento.

DATA	Ar de entrada	Ar de saída	Ar interno
17/11	20,6	17,5	20,9
18/11	21,1	18,5	21,3
19/11	21,9	20,0	22,1
20/11	21,2	20,5	22,3
21/11	21,3	20,6	22,5
22/11	22,1	20,7	23,5
23/11	24,6	20,2	22,9
24/11	23,4	21,0	23,8
25/11	26,0	22,0	23,9
26/11	21,7	22,0	23,3
27/11	23,9	21,9	24,1
28/11	23,9	20,9	22,9
29/11	23,9	20,6	22,5
30/11	23,3	20,6	22,6
01/12	24,6	21,2	22,8
02/12	25,0	21,5	23,2
03/12	24,1	22,3	24,0
04/12	23,9	22,1	23,3
05/12	24,4	22,4	25,3
06/12	23,3	21,7	23,1
07/12	23,4	22,4	23,2
08/12	24,0	22,9	24,7
09/12	24,5	23,1	24,6
10/12	23,5	22,7	23,9
11/12	21,6	22,0	22,7
12/12	22,2	22,2	22,7
13/12	21,5	22,2	22,6
Médias	23,1	21,3	23,1

A Tabela 13 apresenta as médias diárias de radiação total ($W.m^{-2}$), para um período de 24 horas e às 12:00 horas. Observa-se que, sempre os valores externos são maiores do que os internos, ocorrendo portanto uma infiltração para o interior de 65%; valor superior ao citado por ALBRIGHT (1994), de 50%; e inferior aos citados por GAUDREAU et al. (1994) e Robledo & Martin (1988), citados por SILVA (1987), de 85 e 80% respectivamente.

Tabela 13. Médias diárias de radiação total ($W.m^{-2}$) ocorridas no interior e no exterior das casas de vegetação.

DATA	INTERIOR		EXTERIOR	
	12:00 h	Média diária	12:00 h	Média diária
17/11	830,92	411,36	1098,70	660,91
18/11	893,32	483,70	1196,50	711,21
19/11	786,37	383,75	1046,60	567,16
20/11	192,51	166,96	316,10	321,88
21/11	292,22	294,94	449,42	451,38
22/11	824,48	388,64	1085,10	617,32
23/11	678,05	484,72	900,27	693,94
24/11	798,35	520,70	1023,20	764,50
25/11	183,58	426,29	308,64	692,74
26/11	294,57	168,67	155,49	266,31
27/11	866,44	469,91	1218,65	690,14
28/11	826,41	423,02	1076,50	672,31
29/11	848,45	494,45	1103,30	742,08
30/11	218,00	328,46	347,63	560,25
01/12	844,43	507,82	1103,80	766,59
02/12	141,79	425,77	224,46	656,77
03/12	272,28	310,26	424,60	523,25
04/12	249,41	137,72	174,33	214,89
05/12	830,59	457,20	1096,90	734,39
06/12	283,22	271,76	480,28	467,23
07/12	854,16	337,17	1151,30	519,86
08/12	875,71	434,35	1208,30	654,15
09/12	899,11	349,02	1246,10	565,26
10/12	188,89	189,09	315,85	361,83
11/12	316,43	120,16	501,99	205,50
12/12	124,96	103,45	188,66	166,36
13/12	122,23	287,23	214,06	146,86
Médias	538,40	347,28	728,03	533,15

A Tabela 14 mostra os valores de radiação PAR ($\mu mol.s^{-1}.m^{-2}$), sendo importantes não só as médias diárias, mas também os valores ocorridos às 12:00 horas, horário que se encontra entre o período de aplicação de CO_2 nas casas de vegetação B e C. Para as três casas de vegetação os valores foram próximos a $1.000\mu mol.s^{-1}.m^{-2}$ para as 12:00 horas e a $700\mu mol.s^{-1}.m^{-2}$ para a média diária.

Tabela 14. Médias diárias de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), em $\mu\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$, nas três casas de vegetação.

DATA	CASA DE VEGETAÇÃO A		CASA DE VEGETAÇÃO B		CASA DE VEGETAÇÃO C	
	12:00 h	Média diária	12:00 h	Média diária	12:00 h	Média
17/11	1625,35	898,11	1121,30	706,82	1772,45	830,38
18/11	1704,45	1045,40	1735,65	1020,82	1681,50	914,44
19/11	1486,80	747,56	1713,80	820,95	1653,20	776,00
20/11	477,49	450,51	508,02	482,84	500,10	477,03
21/11	581,74	590,83	650,52	627,77	627,04	581,60
22/11	1524,00	857,24	1657,95	877,06	1445,40	769,16
23/11	1273,75	914,83	1325,20	959,67	1035,63	752,98
24/11	1469,90	1013,03	1181,84	995,89	700,43	741,48
25/11	432,58	889,16	1120,14	947,67	1400,75	867,04
26/11	215,21	371,89	256,88	381,01	248,95	338,29
27/11	1559,28	902,06	1681,98	923,54	1134,67	784,37
28/11	1488,85	893,01	1659,70	985,43	1435,55	863,68
29/11	1564,65	972,72	1747,60	1008,35	1515,30	877,98
30/11	531,59	723,48	656,16	780,98	513,13	708,12
01/12	1516,25	1002,78	1684,05	1074,30	1428,55	938,43
02/12	323,07	855,51	378,03	838,15	377,04	690,65
03/12	585,27	683,45	1141,72	776,40	1232,75	719,08
04/12	119,49	275,82	132,31	314,95	127,34	284,60
05/12	1532,40	982,07	1684,70	924,62	1337,70	819,58
06/12	592,33	600,39	652,47	649,17	612,48	611,12
07/12	1589,30	686,54	1750,30	743,99	1316,15	692,30
08/12	1632,05	836,89	1814,10	876,77	1393,25	729,34
09/12	1636,90	698,71	1823,80	823,05	1379,20	666,05
10/12	394,89	431,00	453,49	479,46	427,21	448,98
11/12	601,04	238,26	687,98	291,53	599,83	283,87
12/12	245,36	206,98	247,61	225,35	247,52	223,03
13/12	248,11	170,44	298,50	200,63	289,86	198,23
Média	998,23	701,43	1102,44	731,01	979,00	651,40

Os valores de radiação ultravioleta para 312 e 365 nm são apresentados na Tabela 15, para o comprimento de onda de 254nm as medições diárias apresentaram, durante o experimento, valor igual a zero; devido ao horário de amostragem, onde este comprimento de onda é inexistente.

As medições feitas sempre às 12:00 horas foram importantes para avaliar a porcentagem deste tipo de radiação filtrada pelo filme plástico. Para o comprimento de onda de 312nm, o filme plástico permitiu a passagem de somente 37,5% do total incidente; para 365 nm o valor foi de 46,9%. Mostrando que o filme

plástico possui uma boa resistência a ação dos raios ultravioleta, degradante de materiais plásticos a eles expostos.

Tabela 15. Médias diárias de radiação ultravioleta ($W.m^{-2}$) em 312 e 365nm de comprimento de onda no interior e exterior das casas de vegetação.

DATA	INTERIOR		EXTERIOR	
	312	365	312	365
17/11	370	1220	850	2620
18/11	200	820	530	1730
19/11	220	1120	630	2500
20/11	230	1070	670	2460
21/11	60	400	130	850
22/11	240	1110	660	2400
23/11	260	1100	710	2430
24/11	270	1150	760	2410
25/11	240	1050	640	2280
26/11	50	310	110	760
27/11	240	1120	710	2480
28/11	270	1060	690	2310
29/11	290	1180	730	2470
30/11	290	1210	810	2590
01/12	290	1190	840	2500
02/12	310	1330	920	2730
03/12	340	1350	960	2990
04/12	70	490	160	990
05/12	290	1220	800	2580
06/12	70	450	290	890
07/12	300	1470	820	2940
08/12	330	1430	880	3000
09/12	350	1440	980	3010
10/12	50	350	130	810
11/12	70	500	140	810
12/12	50	360	130	790
13/12	40	280	80	540
Média	210	950	580	2030

Nas Figuras 19 e 20 observa-se os valores de radiação ultravioleta em $mW.m^{-2}$ para 312nm e 365nm, respectivamente, sendo ainda mostrado a porcentagem de radiação filtrada pelo filme plástico em cada comprimento de onda.

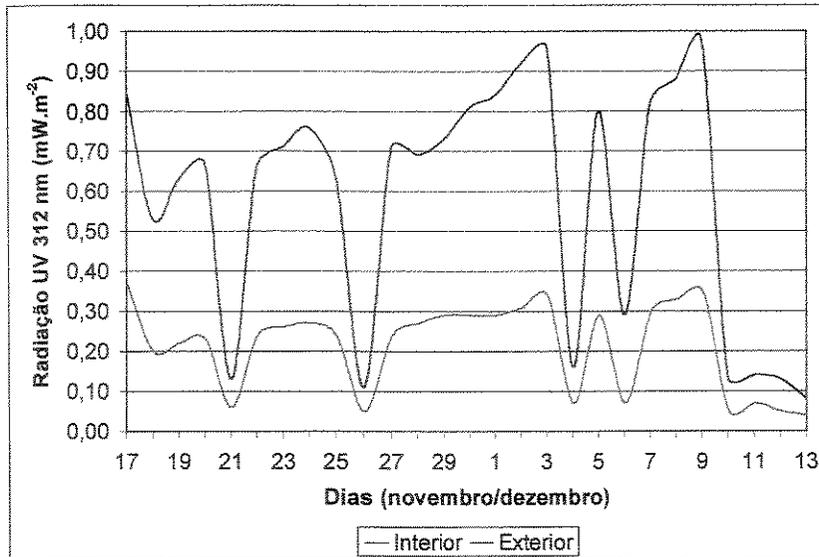


Figura 19. Radiação ultra violeta em 312m de comprimento de onda ocorrida no interior e exterior das casas de vegetação (mW.m⁻²).

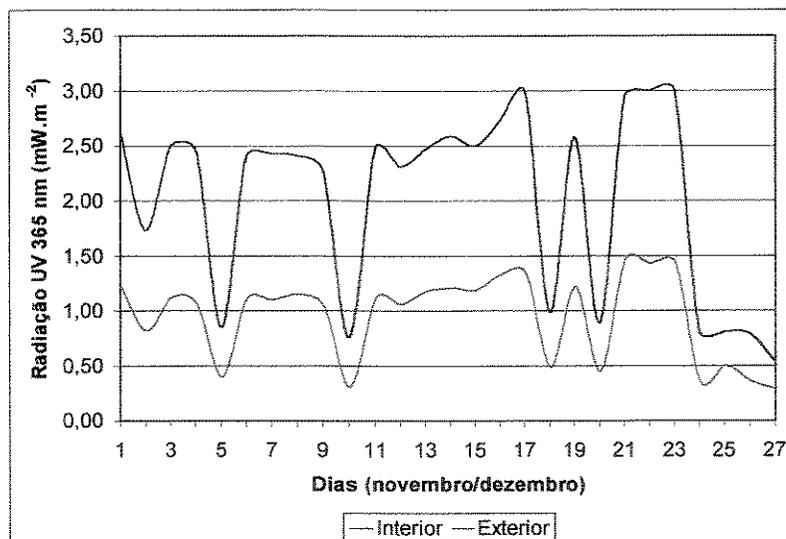


Figura 20. Radiação ultra violeta em 365nm de comprimento de onda ocorrida no interior e exterior das casas de vegetação (mW.m⁻²).

Pelas Figuras percebe-se que o filme funciona como uma barreira permeável com um fluxo de passagem quase fixo, como uma peneira, dependendo pouco da intensidade de radiação externa para filtrar a radiação que

entra, pois para grandes variações de radiação externa, a radiação interna variou pouco.

O enriquecimento com CO₂ ocorreu aumentando-se consideravelmente a concentração no horário estabelecido. Na casa de vegetação B a concentração média durante o período foi menor, associando-se os baixos valores a ação da movimentação natural de ar provocada pelos ventos, os valores diários de concentração antes, durante e depois da aplicação, com os respectivos incrementos de concentração e a velocidade do vento no meio exterior são mostrados na Tabela 16.

Não foi possível avaliar a movimentação do gás dentro das estufas, que pela sua maior densidade, tende a caminhar para o piso e tornar-se mais denso com a redução da temperatura, característica importante para a estufa C.

A vazão de gás nas válvulas controladoras de fluxo e a abertura dos ventiladores foram variadas durante o cultivo, buscando a melhor combinação que proporcionasse economia de gás (menor abertura possível das válvulas controladoras) e eficiência na aplicação (concentração acima de 1.000 ppm ao redor das plantas somente). A vazão inicial foi de 25 litros por minuto para as duas casas de vegetação, usando os ventiladores com vazão total. Nesta associação, utilizada entre 17 e 21 de novembro, percebeu-se que a concentração não atingiu o mínimo esperado. Associou-se a baixa eficiência a vazão do ar dos ventiladores, que estaria expulsando o gás com muita pressão pelos orifícios de distribuição, carregando o mesmo para longe das plantas.

Tabela 16. Médias de concentração de CO² (ppm) diárias ocorridas às 9:00, 12:00 e 15:00 horas nas casas de vegetação B e C.

DATA							CASA DE VEGETAÇÃO C				
	Antes	Durante	Depois	Média	Aumento (%)	Veloc. do vento	Antes	Durante	Depois	Média	Aumento (%)
17/11	455	517	240	427	14	1,4	168	283	370	213	68
18/11	332	683	330	415	106	1,8	186	350	425	267	88
19/11	382	917	318	471	140	1,5	359	633	435	376	76
20/11	414	617	390	458	49	1,3	270	467	460	345	73
21/11	455	700	400	481	54	1,8	295	917	445	417	210
22/11	486	767	355	523	58	1,4	364	483	490	375	33
23/11	450	650	485	429	44	1,3	270	817	340	428	202
24/11	300	617	575	373	106	1,6	459	1.017	380	577	121
25/11	336	583	535	408	73	2,5	464	700	435	523	51
26/11	400	1.683	460	573	321	1,8	500	1.350	430	590	170
27/11	427	850	500	477	99	1,6	486	800	420	531	64
28/11	318	833	475	400	162	2,0	518	1.083	360	571	109
29/11	314	1.417	545	538	352	0,6	459	1.067	520	571	132
30/11	523	1.233	350	600	136	1,4	327	1.350	495	465	313
01/12	518	1.683	375	663	225	1,1	318	1.883	515	538	492
02/12	555	1.683	420	706	204	1,0	332	1.633	580	531	392
03/12	605	583	415	581	0	1,5	409	1.067	555	494	161
04/12	650	567	400	627	0	0,4	409	400	620	404	0
05/12	673	700	420	650	4	1,2	409	2.200	610	638	438
06/12	682	1.383	410	744	103	0,8	441	1.783	620	596	304
07/12	636	550	415	600	0	0,9	423	417	575	419	0
08/12	609	1.167	400	627	92	2,1	423	600	485	435	42
09/12	564	1.500	380	646	166	1,1	450	600	480	440	33
10/12	500	933	405	556	87	2,2	400	867	505	460	117
11/12	509	767	415	535	51	1,2	405	1.900	495	596	370
12/12	486	2.200	405	715	352	0,9	359	2.200	520	608	513
13/12	586	1.900	445	742	224	2,2	505	2.133	565	683	323
Médias	488	1025	417	554	119	1,4	385	1074	486	485	181

No dia 22 diminuiu-se a abertura de sucção dos ventiladores para metade da total, mantendo-se a mesma vazão das válvulas, no entanto, o valor mínimo de concentração não foi atingido. Passou-se, então, a variar a vazão diariamente, sempre observando os valores registrados. No dia 26, com a abertura da sucção alterada para 1/6 do total conseguiu-se concentração superior a 1.000ppm. Apesar de na casa de vegetação B a concentração ter se normalizado, dentro dos valores esperados, a casa de vegetação C apresentava picos de concentração superiores ao máximo da escala do gráfico de papel, sendo que no mostrador digital do registrador, pôde-se observar concentrações de até 4.000ppm.

Passou-se então a reduzir a vazão da válvula controladora da casa de vegetação C, mantendo-se a vazão de ar sempre em 1/6. A concentração passou a ocorrer dentro da escala do gráfico de papel com vazão da válvula de 5,0l/minuto, mesmo assim valores superiores a 2.000ppm ocorreram esporadicamente, com o sistema de aplicação estável e com o funcionamento do sistema de resfriamento evaporativo em ordem, não se pôde associar o excesso de gás ao não funcionamento do sistema de resfriamento em dias frios, pois em todos os dias de cultivo o sistema se manteve ligado no horário de aplicação de gás, que compreende as horas mais quentes.

Definiu-se portanto como padrão, para níveis acima de 1.000ppm de concentração de gás carbônico, a abertura de 1/6 da total para as duas casas de vegetação e vazão das válvulas controladoras de 25 litros por minuto para a casa de vegetação B e 5 litros por minuto para a casa de vegetação C. Mostrando que para estruturas abertas, com ação constante de ventos no horário de aplicação o

consumo de gás é 5 vezes superior ao ocorrido em estrutura fechada. É importante salientar que não se adotou o manejo de fechar as cortinas da casa de vegetação B no horário de aplicação devido as altas temperaturas que ocorreriam no momento.

Aplicações sem o uso dos ventiladores também foram testadas durante o cultivo, porém a distribuição entre as bancadas não foi homogênea. Associando o fato a maior massa das moléculas de CO_2 em relação ao ar, ocorrida nas condições do trabalho, que fez o gás caminhar sempre procurando as partes mais baixas da tubulação principal, e se distribuindo quase que totalmente nas primeiras bifurcações da mesma tubulação principal. Nas duas casas de vegetação as duas bancadas no início da tubulação principal apresentaram altas concentrações, sendo que nas demais a concentração se aproximou ou foi igual a do ar.

O sistema com o uso de gás engarrafado e tubulação de distribuição localizada se mostrou eficiente em manter a concentração acima de um valor mínimo adotado, porém se mostrou de difícil controle em mantê-la dentro de uma faixa desejada, pois seu ajuste manual e a vazão fixa não permitiram o funcionamento dependente da concentração ocorrente no ambiente.

Nas Figuras 21 e 22 são mostrados os incrementos na concentração de CO_2 ocorridos diariamente; por estes gráficos nota-se a grande amplitude das concentrações ocorridas durante o enriquecimento, mesmo após definidas constantes as vazões das válvulas e aberturas da sucção dos ventiladores.

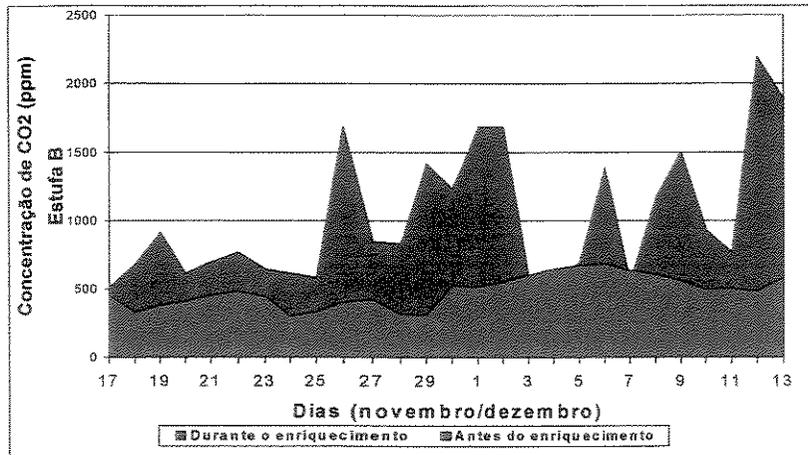


Figura 21. Incremento diário da concentração de CO₂ na casa de vegetação B provocado pelo enriquecimento.

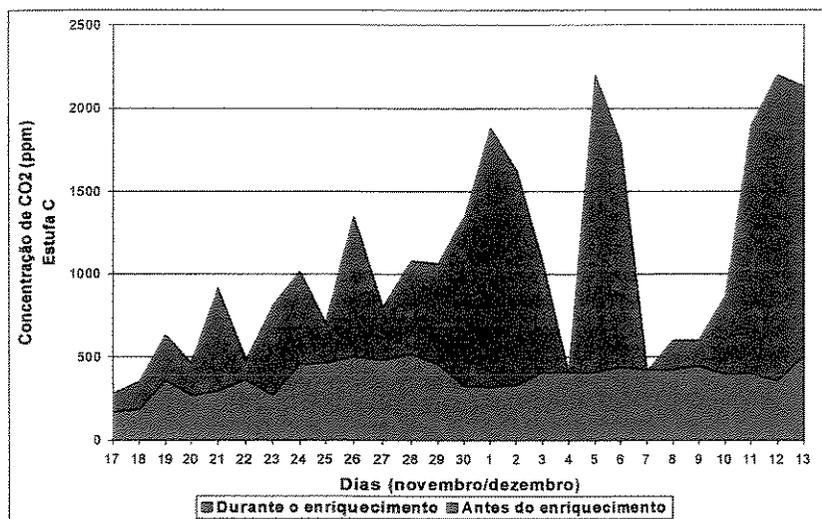


Figura 22. Incremento diário da concentração de CO₂ na casa de vegetação C provocado pelo enriquecimento.

Na Figura 23 observa-se um exemplo do aumento da concentração ocorrido em um dia onde o gráfico do registrador marcou seu valor máximo de escala, porém, neste ponto, a concentração ocorrida foi superior aos 2.200ppm (não registrada no gráfico de papel mas pelo visor do registrador).

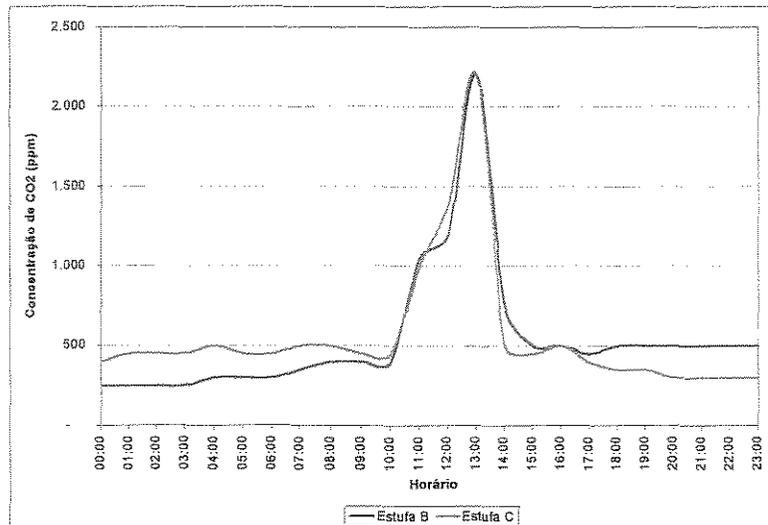


Figura 23. Exemplo de concentrações de CO₂ ocorridas nas casas de vegetação no período de 1 dia (29/11/1999).

Pelos valores ocorridos no tratamento B (Tabela 16), não foi possível associar o grau de enriquecimento com velocidade do vento, pois, não há relação qualquer entre estas medidas, nota-se que para algumas medidas baixas de incremento de CO₂ existem velocidades baixas e altas do vento, ocorrendo o mesmo para valores altos de enriquecimento. O fato indica que as medidas de velocidade do vento devem ser feitas no local da coleta de dados referente ao enriquecimento, durante o período de funcionamento do sistema.

4.2. Produtividade

Os resultados da análise estatística para os parâmetros de produtividade, produção de massa fresca, massa seca, quantidade de água e número de folhas por planta, são mostrados no Tabela 17, juntamente com as médias obtidas em cada tratamento.

Tabela 17. Médias dos valores de massa fresca, massa seca e número de folhas por planta de alface obtidos nos tratamentos.

Tratamento	Massa fresca (g)	Massa seca (g)	Massa de água (g)	Número de folhas
Testemunha	196.68 a	9.93 a	189.25 a	13.75 a
Enriquecimento com CO ₂	217.23 a	9.37 a	182.99 a	13.63 a
Enriquecimento + resfriamento	238.38 a	9.93 a	207.46 a	13.88 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste F ($P > 0,01$).

O tratamento com enriquecimento com CO₂ produziu um acréscimo de 10% na massa fresca do produto colhido, quando comparado com a testemunha. O tratamento com enriquecimento associado ao resfriamento evaporativo produziu um acréscimo de 10% na massa fresca, quando comparado ao tratamento que usou somente CO₂, e de 21% quando comparado com a testemunha.

Em relação à massa seca, os valores foram muito semelhantes, indicando assim, que as diferenças encontradas entre os valores de massa fresca se devem aos diferentes graus de turgidez das plantas nos diferentes tratamentos.

A partir dos valores médios de massa fresca, massa seca, quantidade de água e número de folhas por planta, após análise estatística, verificou-se não haver diferença significativa entre os três tratamentos. Portanto, os resultados obtidos com o enriquecimento atmosférico com CO₂ de forma isolada, ou associado ao resfriamento evaporativo não diferem, estatisticamente, dos resultados obtidos no tratamento testemunha, para os parâmetros avaliados. Conclui-se que, para a cultura adotada e os sistemas utilizados, dentro do período

do ano em que ocorreu a pesquisa, e para as variáveis climáticas ocorridas, as plantas responderam de forma discreta ao enriquecimento atmosférico com CO₂ em ambiente aberto.

Talvez as plantas necessitem, para a obtenção de maior desenvolvimento, períodos maiores de enriquecimento atmosférico, que a aplicação ocorra em outros horários, ou ainda em condições climáticas diferentes. O sombreamento, causado pelo sistema hidropônico adotado, pode ter influenciado o aproveitamento de luz pelas plantas, e conseqüentemente, o uso de CO₂ por elas.

4.3. Qualidade

Utilizando-se das regras de classificação de alface pelo Programa de Adesão Voluntária do Ceagesp, para grupo e subgrupo, as plantas foram classificadas em Crespas e Verdes, respectivamente.

Para a classificação quanto a classe obteve-se as porcentagens de cada tipo de planta listadas na Tabela 18.

Tabela 18. Porcentagem de plantas ocorridas em cada classe de classificação.

Tratamento	Classe				
	10	15	20	25	30
Testemunha	9,37	56,25	28,13	6,25	0,00
Enriquecimento com CO ₂	0,00	40,63	34,38	21,88	3,13
Enriquecimento + resfriamento	0,00	25,00	34,37	31,25	9,38

Não foi possível a ocorrência de mistura de classes adjacentes visto que, para que esta ocorresse, seria necessário que a classe inferior ou superior tivessem um número de plantas menor ou igual a 10% aquela a que vai ser aumentada.

A classificação quanto a categoria, foi realizada considerando somente os graus de hidratação e limpeza, onde, devido ao sistema de produção (hidroponia) e a imediata classificação pós-colheita, a totalidade das plantas receberam nota máxima (valor 8), referente a categoria Extra. Como as plantas foram produzidas sem contato com o solo, não apresentaram qualquer tipo de partícula presente nas folhas, e devido a rápida classificação não ocorreu murchamento.

Para esta classificação, onde também se utiliza da porcentagem de plantas com defeito em um lote para mudança das plantas para categorias inferiores (Categoria I, Categoria II e Sem Categoria), não se considerou estas observações, devido ao número de plantas coletadas por tratamento, inferior a 100, que poderia influenciar de maneira negativa sobre o lote colhido, não representando a realidade. Além disso, durante o cultivo não ocorreram defeitos causados pelos tratamentos, e algumas plantas, de todos os tratamentos, apresentaram leve queimadura dos bordos das folhas mais novas, indicando algum desbalanceamento químico da solução nutritiva; estas queimaduras também poderiam influenciar na classificação pois, caso não ocorressem problemas de ordem nutricional tais sintomas seriam inexistentes. As queimaduras surgidas originaram-se, provavelmente, de um desbalanceamento das

quantidades de cálcio e potássio disponíveis, não sendo atribuídas a valores de altas temperaturas, que não ocorreram no período de cultivo.

Em relação a aparência geral das plantas, notou-se que o sistema de bancadas inclinadas causou um alongamento de caule, devido a sobreposição de plantas de canais superiores, causando sombreamento. Esse alongamento gerou plantas de cabeças menos compactadas do que o normal, e por isso, com folhas mais passíveis de quebramento. Por este motivo também surgiu leve deformação desviando a massa vegetal foliar do centro da planta, tendo como referência desse centro o colo e as raízes (Figura 24), onde a planta A foi colhida de um canal sombreado, e a planta B de um canal superior da bancada (apresentando portanto, crescimento normal, equivalente a cultivos horizontais).

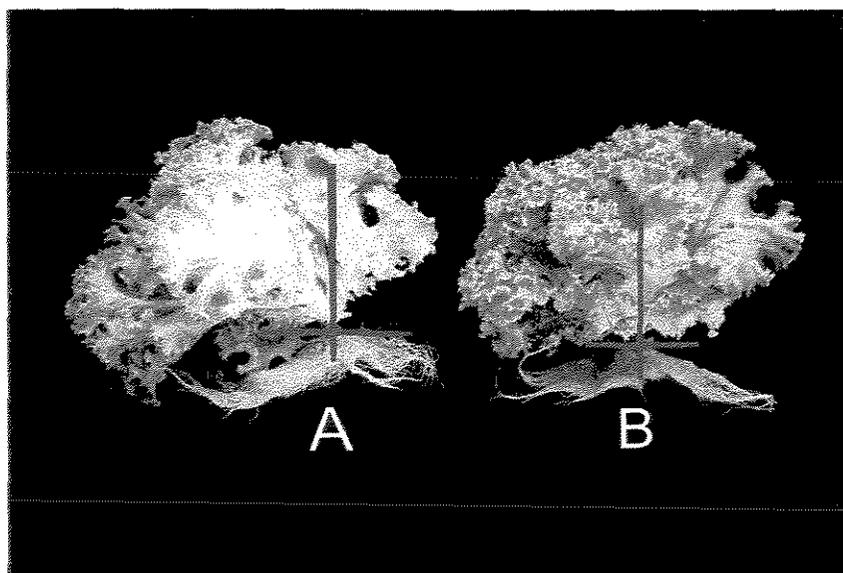


Figura 24. Diferenças de crescimento observadas entre plantas sombreadas e não sombreadas, pelo cultivo em bancada com seção triangular.

4.4. Composição química

A composição química das plantas é um parâmetro importante na identificação do nível de atividade metabólica promovido pelos tratamentos aplicados. As quantidades médias de nutrientes presentes nas folhas das plantas, dos três tratamentos são mostradas na Tabela 19.

Tabela 19. Composição química das plantas dos diferentes tratamentos e resultado do teste F.

NUTRIENTE	TRATAMENTO A	TRATAMENTO B	TRATAMENTO C
Nitrogênio (%)	3,92a	4,03a	4,11a
Fósforo (%)	0,82a	0,90a	0,92a
Potássio (%)	6,85a	5,85a	6,05a
Cálcio (%)	1,12a	0,99a	1,03a
Magnésio (%)	0,28a	0,28a	0,30a
Enxofre (%)	0,37a	0,38a	0,40a
Boro (ppm)	35,50a	37,50a	39,50a
Ferro (ppm)	91,00a	85,50a	101,00a
Manganês (ppm)	24,00a	22,00a	20,00a
Zinco (ppm)	32,50a	37,50a	41,50a
Cobre (ppm)	6,00a	6,50a	6,00a
Molibdênio (ppm)	<0,01a	<0,01a	<0,01a
Nitrato (%)	0,34	0,35	0,38

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste F ($P>0,01$)

Pode-se observar que, nos três tratamentos, as plantas tiveram o mesmo comportamento quanto a absorção de nutrientes; não ocorrendo influência do enriquecimento de CO₂, em atmosfera controlada ou não, para esta avaliação.

Muito discutido é, para a saúde humana, a quantidade presente de nitrato nos alimentos, por isso a realização, também, da quantificação deste componente nas folhas. Os resultados mostraram uma ocorrência média de 0,36% de nitrato nas plantas, dentro dos limites máximos aceitos, que variam entre 0,30 e

0,45%, segundo Benoit & Ceustermans (1989) citados por CASTELLANE & ARAUJO (1995) e VAN DER BOON (1990).

4.5. Avaliação econômica

Para avaliação do custo operacional considerou-se os 27 dias de cultivo, com a produção de 2.304 plantas (768 em cada tratamento). Somou-se toda a quantidade de adubos gastos no período, a energia elétrica consumida por bombas e ventiladores, embalagens para acondicionamento do produto e o volume de gás utilizado em cada tratamento.

Para cálculo da energia elétrica foi considerado o valor de R\$ 0,1539, tarifa cobrada pela companhia elétrica no período, para ligações trifásicas comerciais.

Os gastos gerais, que envolveram os três tratamentos são descritos na Tabela 20, onde também é representado o valor referente a cada tratamento.

Tabela 20. Custo operacional (R\$) comuns aos três tratamentos durante um ciclo da cultura.

ITEM	VALOR TOTAL (R\$)	VALOR INDIVIDUAL (R\$) (para os tratamentos A, B e C)
MUDAS	43,00	14,33
ADUBOS	20,32	6,77
EMBALAGEM	69,12	23,04
ENERGIA ELÉTRICA	58,17	19,39
TOTAL	190,61	63,53

O valor de R\$63,53 é o custo operacional do tratamento A, ou seja, R\$0,0827 por planta. Este mesmo valor é parte do custo operacional dos outros tratamentos.

O valor referente a CO₂, para os tratamentos B e C, foi calculado de acordo com o consumo apresentado a partir da estabilização do enriquecimento (25 litros por minuto para o tratamento B e 5 litros por minuto para o C), da seguinte forma: 83% do valor total se refere ao gás consumido na casa de vegetação B e 17% na casa de vegetação C. Em todo o ciclo da cultura foram gastos 7 cilindros, ao preço unitário de R\$93,75. Portanto, o consumo foi de R\$544,69 e R\$115,56 para os tratamentos B e C, respectivamente. Considerou-se para os cálculos de consumo de gás a densidade de 1,811kg.m⁻³, para temperatura ambiente de 25°C, conforme dados de PALLAS JUNIOR (1986).

Outro gasto comum aos tratamentos B e C é referente à energia consumida pelos ventiladores do sistema de enriquecimento. Com um consumo de 0,18kW.h⁻¹, e um funcionamento diário de 2 horas, cada ventilador consumiu R\$1,44 em todo o ciclo da cultura.

Portanto o custo operacional do tratamento B é a soma do custo do tratamento A, acrescido do consumo de energia elétrica pelo ventilador do sistema de enriquecimento e do consumo de CO₂, ou seja R\$609,66 (63,53 + 1,44 + 544,69), equivalente a R\$0,79 por planta produzida.

Fizeram parte do cálculo do custo operacional do tratamento C a soma do custo operacional do tratamento A, do valor gasto com energia elétrica dos ventiladores (igual ao tratamento C), dos exaustores e bomba de irrigação do meio poroso (que somados consumiram 1,54kW) e do consumo de CO₂. O sistema de

resfriamento teve um funcionamento médio de 10 horas por dia e, exaustores e bombas tiveram um funcionamento conjunto, totalizando 270 horas de consumo, equivalente a R\$63,99. Quanto ao gás carbônico, foram gastos R\$115,56.

Somando os valores obtidos, no tratamento C teve-se o gasto total de R\$244,52, ou R\$0,3183 por planta.

Considerando o valor médio de R\$250,00 como o salário mínimo rural, já inclusos os encargos trabalhistas (33% do total segundo BUENO, 1996), um trabalhador cuidando da produção receberia, pelos 27 dias de cultivo R\$225,00, aumentando o custo por planta produzida, em cada tratamento, em R\$0,0976.

Tabela 21. Custo operacional, por tratamento e por planta, da aplicação dos tratamentos na produção de alface hidropônica

Tratamento	Custo total (R\$)	Custo por planta (R\$)
Testemunha	138,53	0,18
Enriquecimento com CO ₂	684,66	0,89
Enriquecimento + resfriamento	319,52	0,42

O valor médio pago ao produtor na região de Campinas varia entre R\$0,30 e R\$0,50, entre o inverno e verão, respectivamente.

Vale reafirmar que nos custos operacionais acima não foram incluídos os valores referentes à depreciação e outros possíveis gastos do produtor, como impostos e despesas de transporte e comercialização.

4.6. Sugestões para trabalhos futuros

Pelos resultados obtidos neste trabalho pôde-se colocar algumas sugestões para futuras pesquisas:

- Avaliar o enriquecimento atmosférico com CO₂ em horários ou com duração do tempo de aplicação diferentes.
- Desenvolver sistemas de aplicação ou manejos que permitam maior controle de economia de gás, como o fechamento de cortinas no momento do enriquecimento.
- Avaliar o percurso percorrido pelo CO₂ quando aplicado de diferentes formas dentro de uma casa de vegetação.
- Aplicar os tratamentos a outras culturas.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados anteriormente pôde-se chegar às conclusões que se seguem:

- O sistema de resfriamento evaporativo com o uso de meio poroso e exaustor se mostrou eficiente na redução de temperatura e aumentou pouco o custo de produção.
- O enriquecimento atmosférico com CO₂ proporcionou um aumento de 10% na massa fresca da cultura em relação ao ambiente não enriquecido.
- O controle de temperatura e umidade no interior da casa de vegetação proporcionou um melhor aproveitamento do CO₂ pela cultura da alface, ocasionando um aumento de 21% de aumento de massa fresca em relação ao ambiente não enriquecido.

- O sistema de enriquecimento com CO₂ se mostrou eficiente em manter concentrações mínimas, mas de difícil controle ao tentar se manter a concentração dentro de uma faixa estabelecida.
- O sistema hidropônico com bancadas com seção triangular provocou mudanças nas características visuais nas plantas.
- A classificação para alface proposta pela Ceagesp necessita de adaptações para o uso no mercado e em pesquisas.

6. BIBLIOGRAFIA CITADA

ALBRIGHT, L.D. **Enviromental control for animal and plants**. St. Joseph, MI: ASAE, 1990. 455p.

ALBRIGHT, L.D. Fundamentals of environment control for plants. In: **Greenhouse Systems – automation, culture and environment**. New Brunswick: NRAES, p.140-167, 1994. (NRAES-72).

ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1999. 142p.

ASHRAE. **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. Atlanta, GA: ASHRAE, 1993. 382p.

- AUGSBURGER, N.D.; BOHANON, H.R.; RAHILLY, C.E. **The greenhouse climate control handbook: Engineering principles and design procedures.** Muskogee: Acme Engineering & Manufacturing Corp., s.d.. 181p.
- BANZATTO, A. D.; KRONKA, N. S. **Experimentação agrícola.** Jaboticabal, SP: FUNEP, 1989. 247p.
- BASSO, E.N.; BERNARDES, L.J.L. **Hidroponia: técnicas e implantação comercial do cultivo do alface.** Charqueada: Estação Experimental de Hidroponia, 1993. 49p.
- BLISKA JR, A.; HONÓRIO, S.L. **Manual tecnológico: Hidroponia.** Campinas: FEAGRI, s.d.. 27p.
- BLISKA JR, A.; HONÓRIO, S.L. **Cartilha tecnológica: plasticultura e casa de vegetação.** Campinas: FEAGRI, 1996. 85p.
- BUENO, Y.M. **Análise econômica da produção de alface em sistema de cultivo hidropônico: um estudo de caso.** Jaboticabal, 1996, 75p. (Trabalho de graduação) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP.
- BURIOL, G.A. et al¹. **Modificação na temperatura mínima do ar causada por casas de vegetação de polietileno transparente de alta densidade.** *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.1, n.1, p.43-49, 1993.
- CAPORN, S. J. M.; HAND, D. W.; MANSFIELD, T. A.; WELLBURN, A. R. **Canopy photosynthesis of CO₂-enriched lettuce (*Lactuca sativa* L.). Response to short-term changes in CO₂, temperature and oxides of nitrogen.** *New Phytologist*. v.126, p.45-52, 1994.

CARMO JUNIOR, R. R., COSTA, E., LEAL, P.A.M. Otimização de espaço em casas de vegetação com o uso de bancadas com seção em "A" para o cultivo hidropônico de alface. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 18, Pelotas: SBEA, n.144, 1999.

CASTELLANE, P.D.; de ARAÚJO, J.A.C. **Cultivo sem solo: hidroponia**. Jaboticabal: FUNEP, 1995, 43p.

CEAGESP. **Programa paulista para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros: classificação de alface**. s.d. (folheto).

CHURCH, G. A.; WATERS, W. F.; LAZIN, M. B. Application of ground water to greenhouse cooling systems. **Winter meeting**, American Society of Agricultural Engineers, Chicago: ASAE, dez. p.15-18, 1981.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Tradução por E. Malavolta. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos; São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1975, 344p. Tradução de: *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*, 1st Edition.

FARIA JUNIOR, M.J. de A. Avaliação de cultivares de alface (*Lactuca sativa*) e de dois modelos de casa de vegetação com cobertura plástica durante o verão, em Ilha Solteira - SP. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v.2, n.1, p.119-128, 1983.

FARIAS, J.R.B.¹ et al. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de casa de vegetação plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p..51-52, (1993).

¹ Os nomes dos autores com artigos na Revista Brasileira de Agrometeorologia aparecem como publicado no periódico.

FNP. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio.2000. p.149

FUNEP. Horta com qualidade. In: **UNESP RURAL**. FUNEP: Jaboticabal, n.15, p.8, 1999.

FURLANI, P.R. **Cultivo de alface pela técnica da hidroponia**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1995, 20p. (Documentos IAC, 55).

FURLANI, P.R. **Soluções nutritivas para o cultivo hidropônico: composição química e manejo**. Campinas: IAC, 1998, 15p.

GAUDREAU, L.; CHARBONNEAU, J.; VÉZIMA, L. P.; GOSSELIN, A. Photoperiod and photosynthetic photon flux influence growth and quality of greenhouse-grown lettuce. **Hort. Science**, v.29, n.11, p.1285-1289, 1994.

HERTER, F.G.; REISER JUNIOR, C. Balanço térmico em casas de vegetação plásticas, em Pelotas - RS. **Hortic. Bras.**, v.5, n.1, p.61, 1987.

HOPEN, H.J.; OEBKER, N.F. Mulch effects on ambient carbon dioxide levels and growth of several vegetables. **HortScience**, v.10, n.2, 1975.

JONES JUNIOR, J.B. Hidroponics: its history and use in plant nutrition studies. **J. Plant Nutr.**, v.5, n.8, p.1003-1030, 1982.

JUNQUEIRA, A.H. Hortaliças – novos caminhos no ambiente protegido. In: **Agriannual 99 – Anuário da Agricultura Brasileira**, São Paulo: FNP, p35-38, 1999.

- KIMBAL, B.A.; MITCHEL, S.T. Tomato yields from CO₂ - enrichment in unventilated and conventionally ventilated greenhouses. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v.104, n.4, p.515-520, 1979.
- MAGALHÃES, A.C.N. Fotossíntese. In: Ferri, M.G. **Fisiologia vegetal: volume 1**. São Paulo: EPU, p.117-166, 1985.
- MARSH, L.S.; ALBRIGHT, L.D. Economically optimum day temperatures for greenhouse hydroponic lettuce production. Part I: A computer model. **Trans. ASAE**, v.34, n.2, p.550-556, 1991.
- MIRANDA, M.C., MATSUNAGA, M., OKUYAMA, M.H. Sistema de cultivo e custo operacional de produção de crisântemos. **Agric. S. Paulo**, São Paulo, v.41, n.1, p.103-124, 1994.
- MOE, R.; MORTENSEN, L.M. CO₂. Enrichment in Norway. In: **Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops**, I. Boca Raton: CRC Press, p.59-76, 1986.
- MUNTERS. **Learnig to use the psychrometric chart**. Fort Myers, FL: Munters, 1993. 8p.
- PALLAS JUNIOR, J.E. CO₂ Measurement and control. In: **Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops**, I. Boca Raton: CRC Press, p.77-98, 1986.
- PINTO, J.M. **Aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação em meloeiro**, PIRACICABA: Esalq, 1997, 82p. (Tese de doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz).

REILLY, A.I. Temperature, humidity, ventilation, and cooling: practical application.

In: **Greenhouse Systems – automation, culture and environment**. New Brunswick: NRAES, p.176-188, 1994. (NRAES-72).

REIS, N.V.B.; HORINO, Y. O uso de casas de vegetação plásticas para a produção de tomate e pepino. **Hortic. Bras.**, v.6, n.1, p.75, 1988.

RESH, H.M. **Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower**. Santa Barbara: Woodbridge Press Publishing Company, p.297-298, 1997.

RIPADO, M.F.B. **A cultura da alface**. Lisboa: Livraria Popular Francisco Franco, p.14, 21-23, s.d.

SILVA, M. de L.O. **Avaliação de parâmetros ambientais em dois modelos de casas de vegetação, sem e com a presença da cultura**. São Carlos, 1997, 73p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

SIQUEIRA, C.E.M. A importância dos materiais plásticos na agricultura do Brasil e do mundo. In: **Programa de plasticultura para o Estado de São Paulo**. São Paulo, p.3-7, 1993.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com os plásticos**. Porto Alegre: Petroquímica Triunfo, p.50-52, 1990.

VAN DER BOON, J.; STEENHUIZEN, J.W.; STEINGRÖVER, E.G. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by nitrogen and chloride

concentration, $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. **J. Hortic.Sci.**, v.65, n.41, p.309-321, 1990.

WASCMAN, M. A importância do plástico na produção agropecuária brasileira. In: **SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE PLASTICULTURA, 1**, Jaboticabal, **Anais**. Jaboticabal: FUNEP, p.21-28, 1989.

WERNER, R.A. Influência dos Encargos Financeiros no Custo Final da Maçã Frigorificada. In: **1^o Encontro Técnico sobre Frio e Conservação**. Anais, 1980.

WITTEWER, S.H. Worldwide status and history of CO_2 enrichment: An overview. In: **Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops, I**. Boca Raton: CRC Press, p.3-16, 1986.