

FABIANO RICARDO BRUNELE CALIMAN

**ENRIQUECIMENTO COM CO₂ POR MEIO DE COMPOSTAGEM
PARA A CULTURA DO TOMATEIRO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C153e
2008

Caliman, Fabiano Ricardo Brunele, 1974-
Enriquecimento com CO₂ por meio de compostagem
para a cultura do tomateiro em ambiente protegido /
Fabiano Ricardo Brunele Caliman. – Viçosa, MG, 2008.
x, 79f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Derly José Henriques da Silva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Lycopersicon esculentum*. 2. Fotossíntese.
3. Dióxido de carbono. 4. Tomate - Qualidade.
5. Produtividade. 6. Resíduos orgânicos. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 635.642

FABIANO RICARDO BRUNELE CALIMAN

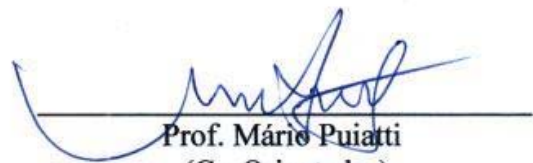
**ENRIQUECIMENTO COM CO₂ POR MEIO DE COMPOSTAGEM
PARA A CULTURA DO TOMATEIRO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de fevereiro de 2008.



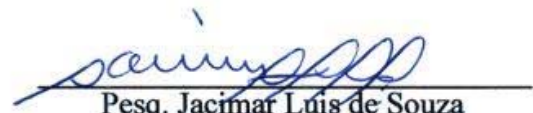
Prof. Ricardo Henrique Silva Santos
(Co-Orientador)



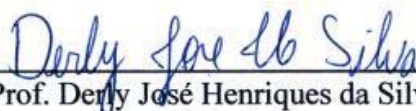
Prof. Mário Puiatti
(Co-Orientador)



Prof. José Francisco Teixeira do Amaral



Pesq. Jacimar Luís de Souza



Prof. Derly José Henriques da Silva
(Orientador)

Sáimos pelo mundo em busca de nossos sonhos e ideais. Muitas vezes colocamos nos lugares inacessíveis o que está ao alcance das mãos.

Paulo Coelho

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de cursar o Doutorado;

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo;

Aos meus Pais e Irmãs, que nunca se opuseram às minhas decisões e sempre me apoiaram;

Ao Prof. Derly, especialmente, que, além de Orientador é também um grande Amigo;

Aos professores Ricardo Henrique Silva Santos e Mário Puiatti, pela Co-Orientação;

Ao pesquisador Jacimar Luis de Souza, pelas sugestões na condução dos experimentos e pela participação na banca;

Ao Prof. José Francisco Teixeira do Amaral, pela participação na banca e pelas sugestões pertinentes ao conteúdo da tese;

Aos colegas Daniel Pedrosa, Tiago Cardoso e Candinho, cuja contribuição nas horas de estágio foi imprescindível ao bom andamento dos experimentos;

Ao colega Bruno Marim, pela ajuda nas incansáveis horas de trabalho na horta;

Aos colegas de república Carlos Lásaro, Fábio Medeiros, Willian, Cleiton, Marcos, Gustavo e André pela amizade;

Aos colegas do NEO que nos experimentos de campo, no laboratório ou nos churrascos fizeram parte da minha vida nestes anos em Viçosa;

À Dra. Cleide Maria Ferreira Pinto, da Embrapa/Epamig, pela amizade e pela grande ajuda profissional;

À Daniela, pela paciência de me aturar na etapa final do curso;

Aos funcionários da Horta de Pesquisa da UFV, pelo auxílio na condução dos experimentos;

A todas as demais pessoas que fizeram parte da minha vida e contribuíram para a minha formação profissional e intelectual durante o tempo em que cursei o Doutorado.

BIOGRAFIA

Fabiano Ricardo Brunele Caliman, filho de Alda Brunele Caliman e Lodovico Caliman, natural de Venda Nova do Imigrante, Estado do Espírito Santo. Iniciou o curso de Agronomia no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo em Alegre - ES no ano de 1995, colando grau em março de 2000. Entre 2000 e 2001 prestou serviços à Dow AgrosCiencias do Brasil, trabalhando no desenvolvimento de produtos e assistência técnica. Em Abril de 2001 iniciou o curso de Pós-Graduação, em nível de mestrado, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em 26 de fevereiro de 2003. Durante o ano de 2003 foi bolsista de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – Epamig. Em março de 2004 ingressou novamente no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Doutorado, defendendo tese em fevereiro de 2008.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1.0 - INTRODUÇÃO	01
1.1 – Referências bibliográficas.....	03
2.0 - REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1 – CO ₂ e fotossíntese.....	04
2.2 – Concentração de CO ₂ e efeitos fisiológicos.....	06
2.3 – Fatores que podem inibir ou reduzir o efeito do enriquecimento de CO ₂	08
2.3.1 – Água.....	08
2.3.2 – Luz.....	09
2.3.3 – Temperatura.....	11
2.3.4 – Aclimação ao CO ₂	13
2.4 – Utilização do CO ₂ na agricultura.....	15
2.5 – Fontes de CO ₂	16
2.5.1 – Queima de combustíveis fósseis.....	16
2.5.2 – CO ₂ puro.....	17
2.6 – Compostagem como fonte de CO ₂	18
2.6.1 – Componentes orgânicos e relação C/N.....	20
2.6.2 – Condições ideais para a compostagem.....	21
2.6.2.1 – Aeração.....	21
2.6.2.2 – Umidade.....	22
2.6.2.3 – Temperatura.....	22
2.6.3 – Evolução do CO ₂ no processo de compostagem.....	23

2.7 – Referências bibliográficas.....	25
3.0 - PRODUTIVIDADE DO TOMATEIRO CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO COM ENRIQUECIMENTO DE CO₂ PROVENIENTE DA COMPOSTAGEM	
RESUMO	
ABSTRACT	
3.1 - INTRODUÇÃO.....	31
3.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
3.3.1 – Conclusões.....	46
3.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
4.0 - QUALIDADE DO TOMATE PRODUZIDO EM AMBIENTE PROTEGIDO COM E SEM ENRIQUECIMENTO DE CO₂ PROVENIENTE DA COMPOSTAGEM	
RESUMO	
ABSTRACT	
4.1 - INTRODUÇÃO.....	53
4.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	55
4.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.3.1 - Conclusões.....	61
4.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
5.0 - PARTIÇÃO DE FOTOASSIMILADOS EM TOMATEIRO CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO COM ENRIQUECIMENTO DE CO₂ PROVENIENTE DA COMPOSTAGEM	
RESUMO	
ABSTRACT	
5.1 - INTRODUÇÃO.....	68
5.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	70
5.3 - RESULTADOS.....	71
5.4 - DISCUSSÃO.....	73
5.4.1 - Conclusões.....	76
5.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
6.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79

RESUMO

CALIMAN, Fabiano Ricardo Brunele, D.Sc, Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2008. **Enriquecimento com CO₂ por meio de compostagem para a cultura do tomateiro em ambiente protegido.** Orientador: Derly José Henriques da Silva. Co-Orientadores: Ricardo Henrique Silva Santos e Mário Puiatti.

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a utilização da compostagem como fonte de CO₂ e seu efeito na produtividade do tomateiro, na qualidade dos frutos e na partição de fotoassimilados. Foram realizados dois cultivos de outono-inverno nos anos 2005 e 2006, na Horta de pesquisa do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, MG. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com oito repetições no ano 2005 e com 12 repetições no ano 2006. No primeiro ano foram utilizadas as cultivares Andrea, Débora Plus e Rebeca e no segundo as cultivares Andrea e Alambra. As plantas foram cultivadas em ambiente protegido normal (AP normal), ambiente protegido com enriquecimento de CO₂ (AP + CO₂), e numa área de campo, sob condições naturais. Como fonte de CO₂ no AP + CO₂ foi utilizada a compostagem. Foram avaliadas as produções total e comercial classificada, o índice de precocidade das plantas, a qualidade dos frutos no que se refere ao teor de sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT) e a relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável (SST/ATT). No cultivo do ano 2006 foram avaliadas a espessura do mesocarpo, a firmeza dos frutos, a partição de fotoassimilados e o acúmulo de massa seca (MS) nas plantas. A compostagem foi eficiente como fonte de CO₂, elevando a concentração para aproximadamente 750 µL/L. O enriquecimento de CO₂ não alterou a produtividade das plantas, entretanto, proporcionou maior precocidade de produção nas cultivares Andrea e Débora Plus no ano 2005. Neste ano, o pH variou de 3,79 a 4,40, com valores mais elevados no AP normal. Em 2006, não houve diferença no pH dos frutos do Andrea e o pH dos frutos da cv. Alambra foi maior no

AP normal. O teor de SST variou entre 2,94 °Brix e 4,88 °Brix, sendo maior nos frutos produzidos no campo no ano 2005, exceto nos frutos da cv. Andrea, que foi semelhante entre os ambientes. No ano 2006 foi semelhante nos AP + CO₂ e campo. A ATT variou de 0,23% a 0,30% e, no ano 2005, apenas a cv. Andrea apresentou variação entre os ambientes de cultivo, sendo maior no campo. No ano 2006 também foi observada maior acidez nos frutos produzidos no campo. A relação SST/ATT variou de 11,90 a 16,75 e, no ano 2005, foi maior nos frutos da cv. Rebeca produzidos no campo. No ano 2006, entretanto, na cv. Andrea a relação foi semelhante entre o AP + CO₂ e o campo e na cv. Alambra foi maior no AP + CO₂. O acúmulo de MS foi maior nos ambientes protegidos se comparados ao campo. A cv. Andrea acumulou 786,39 g de MS/pl no AP + CO₂, 815,49 g/pl no AP normal e 637,41 g/pl no campo. A cv. Alambra acumulou 766,68 g de MS/pl no AP + CO₂, 824,35 g/pl no AP normal e 592,44 g/pl no campo. O maior dreno de fotoassimilados foram os frutos, que acumularam 59%, 63% e 72% da MS produzida pelas plantas nos AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente. O enriquecimento de CO₂ não afetou a produção das plantas e a partição de fotoassimilados. Entretanto, a qualidade dos frutos produzidos no AP + CO₂ no ano 2006, no que se refere ao teor de SST e à relação SST/ATT, melhorou, pois se assemelhou à dos frutos produzidos no campo, ambiente onde a qualidade dos frutos é geralmente melhor que em ambiente protegido.

ABSTRACT

CALIMAN, Fabiano Ricardo Brunele, D.Sc. Universidade Federal de Viçosa, February, 2008. **CO₂ enrichment by compost pile for tomato plant culture in protected environment**. Adviser: Derly José Henriques da Silva. Co-Advisers: Ricardo Henrique Silva Santos and Mário Puiatti.

The objective of this study was to evaluate the use of composting pile as a CO₂ source and its effect on tomato productivity, fruits quality and photoassimilate partition. Two autumn-winter crops in years 2005 and 2006 had been carried at Department of Plant Science, at Federal University of Viçosa, Minas Gerais State. It was used a randomized complete blocks design with eight repetitions in the year 2005 and with 12 repetitions in the year 2006. In the first year were used cultivars Andrea, Deborah Plus and Rebeca and in the second one the cultivars Andrea and Alambra. The plants were grown in a protected environment (AP normal), protected environments with CO₂ enrichment (AP + CO₂), and in the field, under natural conditions. Composting was used as a CO₂ source for AP + CO₂. The following items were evaluated: the total and marketable yield, precocity index, fruit quality characteristics concerning the total soluble solid content (TSS), pH, total titratable acidity (TTA), and the ratio total soluble solids/total titratable acidity (TSS/TTA). In the year 2006 were evaluated the thickness of mesocarp, firmness of fruit, photoassimilate partition and dry matter (DM) accumulation. The composting was efficient as a CO₂ source, raising de concentration to approximately 750 µL/L. The CO₂ enrichment did not changed the productivity of plants, however, a higher early yield in the cultivars Andrea and Deborah Plus in the year 2005 was observed. In the 2005's crop, pH ranged from 3,79 - 4,40, with higher values in the AP normal. In 2006's crop didn't have difference on pH of the Andrea fruits, and Alambra's pH was higher on AP normal. The TSS content ranged between 2.94 - 4.88 °Brix, and was higher in fruits produced in the field in the year 2005,

except for fruits of Andrea that was similar between the environments. In the 2006, TSS was similar in AP + CO₂ and field. TTA ranged from 0.23 - 0.30%, and in the year 2005, only cv. Andrea showed variation between environment, being higher in the field. A higher acidity was also observed in the year 2006 in fruit produced in the field. The TSS/TTA ranged from 11.90 - 16.75 and, in 2005, was highest for cv. Rebeca grown in the field. In 2006, already, the ratio on Andrea's fruits was similar on AP + CO₂ and in the field, and in Alambra was higher in the AP + CO₂. DM accumulation was higher in protected environments compared to the field. Andrea accumulated 786.39 g of DM/pl in the AP + CO₂, 815.49 g/pl on AP normal and 637.41 g/pl in the field. The Alambra accumulated 766.68 g of DM/pl in the AP + CO₂, 824.35 g/pl on AP normal and 592.44 g/pl in the field. The biggest drain of photoassimilates were the fruits, which accumulated 59%, 63% and 72% of DM produced by plants in the AP + CO₂, AP normal and field, respectively. The CO₂ enrichment did not affect photoassimilates partition in Andrea and Alambra cultivars.

1.0 – INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) emprega grande número de pessoas no meio rural em função da elevada demanda de mão-de-obra no seu cultivo. Cerca de 200 mil pessoas estão diretamente envolvidas na produção de tomate no Brasil (Tavares, 2003). De acordo com dados do Agriannual (2008), a produção brasileira de tomate no ano de 2007 foi de 3.200.846 toneladas, com área cultivada de 54.912 ha e produtividade média de 58,3 t/ha. Os estados com maior produção são Goiás, São Paulo e Minas Gerais, em ordem decrescente de produção.

Diversas linhas de pesquisas buscam melhorar a produtividade e reduzir o custo de produção do tomateiro. Dentre as técnicas utilizadas no manejo da cultura está o aumento do teor de dióxido de carbono (CO₂) no ambiente de cultivo. A concentração de CO₂ da atmosfera, atualmente em torno de 360 µL/L, está aquém daquela capaz de proporcionar a máxima fotossíntese (Taiz e Zeiger, 2004). Com o aumento do teor de CO₂ pode-se obter maior produtividade das plantas em função da maior fotossíntese líquida (Mortensen, 1987). Alguns autores, entre eles Kimball (1983), mencionam que a produtividade do tomateiro pode aumentar em até 33% se a concentração de CO₂ da atmosfera de cultivo for duplicada.

Além do aspecto produtivo, o enriquecimento de CO₂ pode proporcionar frutos de melhor qualidade. O efeito do enriquecimento de CO₂ em características físico-químicas do tomate foi avaliado por Islam et al. (1996), sendo observado aumento nos teores de vitamina C e açúcares, melhor coloração (licopeno e outros carotenóides) e maior peso médio dos frutos no ambiente com enriquecimento de CO₂.

Dentre as técnicas de enriquecimento de CO₂, as mais comumente utilizadas são a queima de combustíveis fósseis e a injeção de CO₂ puro no ar ou na água de irrigação

(Mortensen, 1987; Andriolo, 2000). No entanto, quando o enriquecimento é promovido pela queima de combustíveis, têm-se inconvenientes como a geração de etileno, dióxido de enxofre, monóxido e dióxido de nitrogênio, entre outros compostos, que podem causar danos severos às plantas (Mortensen, 1987; Nederhoff, 1995). Por outro lado, o enriquecimento pela injeção de CO₂ puro na atmosfera ou via água de irrigação tem elevado custo, o que pode comprometer a viabilidade econômica da utilização dessa fonte (Cararo e Duarte, 2002).

Como alternativa aos métodos tradicionais de enriquecimento, surge a possibilidade de aproveitamento do CO₂ desprendido durante o processo de compostagem de materiais orgânicos. Essa fonte de CO₂ não representaria elevado custo adicional ao sistema de produção já que a decomposição biológica de resíduos orgânicos é o processo responsável pela liberação do CO₂.

Kiehl (1985) relata que, nos primeiros 40 a 60 dias do processo de compostagem, cerca de 50% da matéria orgânica é metabolizada e convertida, principalmente, em dióxido de carbono e vapor de água. Sommer et al. (1998) relataram a liberação de dois a três kg de CO₂ por tonelada de material orgânico em compostagem por dia, durante os 40 dias iniciais do processo. Sabe-se que esses valores são variáveis de acordo com o manejo e o tipo de resíduo. Por exemplo, Albuquerque et al. (1995) citado por Kiehl (1998), demonstraram que materiais orgânicos podem desprender maior quantidade de CO₂ se apresentarem menor relação C/N.

Apesar de não se dispor de dados precisos acerca da liberação de CO₂ no processo de compostagem, é possível se dimensionar, aproximadamente, uma pilha que produza quantidade de CO₂ suficiente para elevar a concentração deste gás no interior do ambiente protegido. Desta forma, surge a possibilidade de ganho de produtividade e qualidade do tomate pela utilização de uma técnica de baixo custo para o produtor. Essa técnica pode ser utilizada tanto no cultivo convencional quanto no sistema orgânico de produção de tomate.

A alternativa de re-aproveitamento do CO₂ aqui proposta torna-se relevante, na atualidade, pela necessidade de redução das emissões de CO₂, por ser este o principal gás de efeito estufa.

Na agricultura orgânica, por exemplo, pratica-se freqüentemente a compostagem como fonte de matéria orgânica e nutrientes para os cultivos. Dessa forma, o aproveitamento do CO₂ gerado nos pátios de compostagem seria importante, também, pela redução da emissão de CO₂ para a atmosfera.

1.1 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2008. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2008. 512p.

ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 18, suplemento. p. 26-32, 2000.

CARARO, D.C.; DUARTE, S. Injeção de CO₂ e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n.3, p. 432-437, 2002.

ISLAM, S.; MATSUI, T.; YOSHIDA, Y. Effect of carbon dioxide enrichment on physical-chemical and enzymatic changes in tomato fruits at various stages of maturity. **Scientia Horticulturae**, v.65, p.137-149, 1996.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Agronômica Ceres, São Paulo, 1985. 492p.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Kiehl, 1998, 171p.

KIMBALL, B.A. Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 330 prior observations. **Agronomy Journal**, v.75, p.779-788, 1983.

MORTENSEN, L.M. Review: CO₂ enrichment in greenhouses. Crop responses. **Scientia Horticulturae**, v. 33, p. 1-25, 1987.

NEDERHOFF, L. 1995. **HortResearch Publication** – The A to Z guide to using CO₂. Part 1. Web <http://www.hortnet.co.nz/publications/science/n/neder/co2_nr1.htm>. Acessado em: 22/08/2004.

SOMMER, S. G.; DAHL, P.; ROM, H. B.; MOLLER, H. B. Emission of ammonia, nitrous oxide, methane and carbon dioxide during composting of deep litter. **Proceedings of the 8th international Conference on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture** (Formerly Animal Waste Management). Rennes, France, 26-29 May 1998.

TAVARES, C. A. M. Ataque dos vírus. **Cultivar – Hortaliças e Frutas**, dez. 2002/jan. 2003, p. 26-29, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. traduzida. Porto Alegre: Artmed, 719 p., 2004.

2.0 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - CO₂ E FOTOSSÍNTESE

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás traço na atmosfera, representando, atualmente, cerca de 360 µL/L (Taiz e Zeiger, 2004). O crescimento das plantas (acúmulo de massa seca) ocorre pela assimilação do carbono do CO₂ e incorporação em compostos orgânicos, utilizando a luz solar como fonte de energia para o processo da fotossíntese.

Durante a fotossíntese, na etapa fotoquímica, a planta utiliza a energia solar para oxidar a água (liberando oxigênio) e gerar ATP e NADPH. Na etapa seguinte, a bioquímica (ciclo de Calvin-Benson), os produtos da etapa fotoquímica são utilizados na fixação do dióxido de carbono, produzindo compostos carbonados, sobretudo açúcares (Taiz e Zeiger, 2004). Para a realização da fotossíntese, o dióxido de carbono precisa ser difundido da atmosfera para a folha, através dos estômatos, até chegar ao estroma dos cloroplastos (Grodzinski, 1992), onde serão formados carboidratos (Taiz e Zeiger, 2004).

No processo fotossintético, em plantas tipo C₃ (caso do tomateiro), a enzima ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) tem papel fundamental na incorporação do carbono do CO₂ na molécula de ribulose 1,5 bifosfato (RuBP), que subsequentemente gera gliceraldeído-3-fosfato, precursor dos açúcares. No entanto, a Rubisco tem a característica de atuar como carboxilase (Figura 1a), fixando CO₂ ou como oxigenase (Figura 1b), onde o O₂ compete com o CO₂ no sítio de ligação da Rubisco, o que leva a perda de carbono na rota subsequente, conhecida como fotorrespiração (Taiz e Zeiger, 2004).

De forma simplificada, a fixação do CO₂ ocorre da seguinte maneira: Na carboxilação da Rubisco, essa enzima, inicialmente com cinco carbonos, recebe mais um

carbono do CO_2 , produzindo subsequentemente um intermediário instável o qual é hidrolisado para produzir duas moléculas de 3-fosfoglicerato (3-PGA), que serão utilizadas na regeneração da Rubisco e também na produção de carboidratos.

A oxigenação da Rubisco é a reação primária do processo da fotorrespiração. Devido ao fato da fotossíntese e a fotorrespiração trabalharem em direções opostas no processo de fixação do CO_2 , a fotorrespiração reduz a eficiência de fixação do CO_2 de células que estejam assimilando CO_2 por meio do ciclo de Calvin. A incorporação de uma molécula de O_2 na ribulose-1,5-bifosfato gera um intermediário instável que é rapidamente quebrado em 2-fosfoglicolato (2-PG) e 3-fosfoglicerato (3-PGA). Na fotorrespiração, duas moléculas de 2-fosfoglicolato passam do cloroplasto para o peroxissomo sendo convertidas a glicina que, por sua vez, são exportadas para a mitocôndria. Na mitocôndria, o complexo multienzimático glicina descarboxilase catalisa a conversão de duas moléculas de glicina e uma de NAD^+ a uma molécula de serina, NADPH e NH_4^+ , com a liberação concomitante de um dióxido de carbono. Em resumo, duas moléculas de 2-fosfoglicolato (quatro átomos de carbono) são necessárias para a formação de uma molécula de 3-fosfoglicerato (três carbonos), com a liberação de uma molécula de CO_2 . Assim, em teoria, um quarto do carbono que entra no ciclo fotorrespiratório é liberado na forma de CO_2 (Taiz e Zeiger, 2004). A razão de carboxilação/oxigenação no ar, a 25°C , é calculada entre 2,5 e 3. Cálculos mais precisos indicam que a fotorrespiração reduz a eficiência da fixação fotossintética do carbono em aproximadamente 50% (Taiz e Zeiger, 2004).

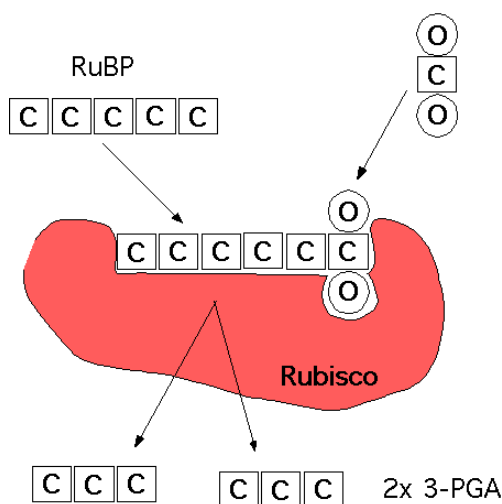


Figura 1a - Carboxilação da RuBP pela Rubisco.

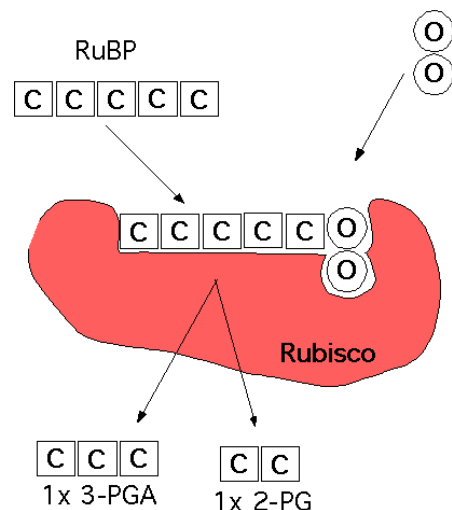


Figura 1b - Oxigenação da RuBP pela Rubisco.

A atividade da Rubisco como oxigenase ou como carboxilase é dependente da relação entre a concentração de O_2 e CO_2 presente na atmosfera e, consequentemente, no

mesófilo foliar. O enriquecimento do CO₂ proporciona maior gradiente de concentração do CO₂ no ar, favorecendo a difusão do CO₂ para o interior da folha e, conseqüentemente, para o sítio da Rubisco. Desta forma, a atividade carboxilativa aumenta em detrimento à oxigenativa. Com maior atividade carboxilativa, maior quantidade de carbono é assimilada, sendo armazenado como amido na folha ou translocado, via floema, como açúcar (ex. sacarose) ou aminoácidos (ex. alanina) para os órgãos em desenvolvimento, gerando ganhos de massa seca e produção (Grodzinski, 1992).

Em termos práticos, a taxa de fotossíntese de uma cultura depende, simultaneamente, da intensidade de radiação solar e do teor de CO₂ no ar. Quando a concentração de CO₂ é aumentada para valores em torno de 1000 µL/L, obtém-se aumento médio da assimilação líquida das plantas da ordem de 20% (Andriolo, 2000).

2.2 - CONCENTRAÇÃO DE CO₂ E EFEITOS FISIOLÓGICOS

A literatura sobre o uso do enriquecimento do CO₂ na agricultura sugere a faixa de concentração entre 700 e 900 µL/L como sendo a que proporciona o melhor retorno, em termos de custo/benefício (Kimball 1983; Cure e Acock, 1986; Mortensen, 1987; Lawlor e Mitchell, 1991). Observa-se que, para a maioria das culturas classificadas fisiologicamente como plantas C₃, o enriquecimento da atmosfera com CO₂ até 800 µL/L, aproximadamente, proporciona resposta linear na assimilação de carbono e, a partir desta concentração, o ganho obtido não justifica o incremento na concentração de CO₂ (Figura 2). Para que o enriquecimento de CO₂ seja realmente efetivo, é necessário que os demais fatores envolvidos na fotossíntese e no crescimento da planta como luz, água e nutrientes, não estejam em quantidades limitantes ao crescimento e desenvolvimento da planta.

No enriquecimento tradicional do CO₂, onde se utiliza o CO₂ puro ou a queima de combustíveis, a injeção do gás geralmente é iniciada após o transplântio das mudas para o local definitivo, aguardando-se alguns dias para que o estresse do transplântio seja superado. Desta forma, quando as plantas estiverem com vigor vegetativo, inicia-se então o enriquecimento, que geralmente é feito durante o dia, a partir das primeiras horas da manhã, até o entardecer. Em condições experimentais é comum o enriquecimento durante as 24h do dia.

Normalmente o enriquecimento é feito durante todo o ciclo da cultura com o objetivo de se obter o máximo de resposta produtiva. No entanto, muitas plantas, entre elas

o tomateiro, reduzem sua eficiência fotossintética quando expostas à elevada concentração de CO₂ durante longo período de tempo. Este efeito indesejável denomina-se “aclimatação ao CO₂”, e reflete o ajuste do aparato fotossintético de forma que a resposta à elevação da concentração é progressivamente reduzida. A aclimatação ao CO₂ será discutida com mais detalhes no tópico 2.3.4.

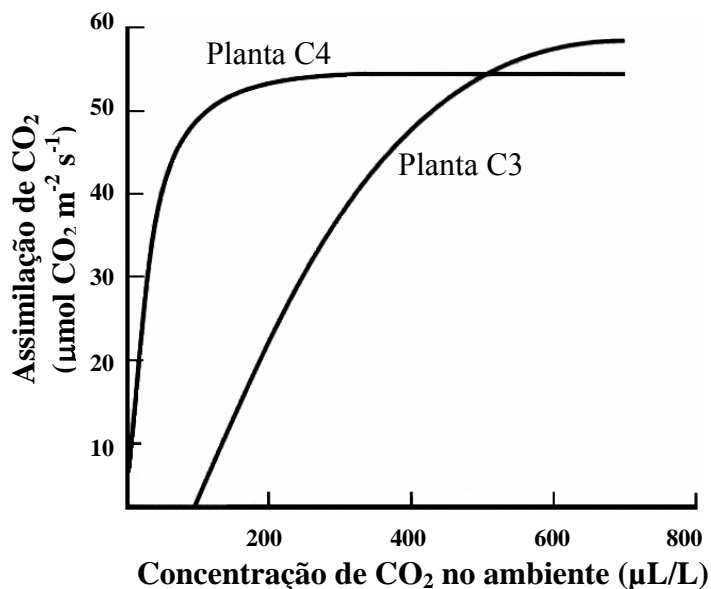


Figura 2 – Assimilação do CO₂ em plantas C3 e C4 sob diferentes concentrações de CO₂ na atmosfera de cultivo. Fonte: adaptado de Taiz e Zeiger, (2004).

De acordo com Calvert e Slack (1976), o enriquecimento com CO₂ é mais efetivo se realizado durante toda a fase clara do dia. Porém, se considerarmos as condições climáticas do Brasil, onde predomina o clima tropical, temos na temperatura um agravante para se trabalhar com enriquecimento de CO₂, pois os ambientes protegidos devem permanecer fechados para que o gás não seja perdido para a atmosfera. Considerando-se que a instalação de equipamentos para resfriar as estufas é um investimento bastante elevado para o produtor, resta a possibilidade de se trabalhar com o enriquecimento do CO₂ somente no período de menor temperatura do dia, ou seja, até aproximadamente às 11h.

Com relação à fotossíntese, é no período da manhã que ocorre a maior taxa de assimilação do CO₂ (Marenco e Lopes, 2005). Desta forma, o enriquecimento do ambiente de cultivo nesse período seria vantajoso por contemplar a fase do dia em que há maior atividade fotossintética das plantas e também por permitir o manejo da temperatura pela abertura das cortinas laterais, sem a necessidade de instalação de equipamentos

resfriadores. Além disso, nesse caso, a elevação da concentração do CO₂ ocorreria em períodos intermitentes, o que pode levar à redução na aclimatação fotossintética e obtenção do máximo proveito do enriquecimento durante todo o ciclo de cultivo.

2.3 - FATORES QUE PODEM INIBIR OU REDUZIR O EFEITO DO ENRIQUECIMENTO DE CO₂

A resposta das plantas à elevação do CO₂ é influenciada por fatores inerentes à planta e também por fatores ambientais. Muitos estudos têm demonstrado que a elevação da concentração de CO₂ estimula, inicialmente, a produção de carboidratos e o crescimento da planta. Entretanto, esse benefício pode reduzir ou desaparecer após prolongado período de exposição à elevada concentração do CO₂ pela “aclimatação ao CO₂”, que tem sido atribuída a um mecanismo regulador da fotossíntese cuja causa ainda não está bem definida.

A seguir serão descritos os principais fatores que podem interferir na assimilação do CO₂.

2.3.1 – Água

A água é fundamental para a manutenção da integridade funcional de moléculas biológicas, células, tecidos e organismos. A célula fisiologicamente ativa necessita de ambiente interno com 80-95% de água (Taiz e Zeiger, 2004). Todos os processos biológicos da célula são direta ou indiretamente afetados pelo fornecimento de água, cujas principais funções são: constituinte do protoplasma, solvente de substâncias, reagente e produto, manutenção de estruturas moleculares, manutenção da turgidez, termorregulação, meio de transporte interno da planta, entre outros (Marengo e Lopes, 2005).

O estado hídrico de uma planta depende do equilíbrio entre a oferta de água em torno das raízes, representada pela absorção, e a demanda atmosférica das partes aéreas, representada pela transpiração. O potencial hídrico da planta varia em função do equilíbrio entre esses dois fluxos (Andriolo, 2000). Quando a transpiração é maior que a absorção de água pelas raízes, o potencial hídrico da planta diminui rapidamente, tornando-se negativo. A consequência direta é o fechamento dos estômatos para reduzir a transpiração e diminuir a diferença entre os dois fluxos. A consequência indireta do fechamento dos estômatos é a

diminuição da entrada de CO₂ que implica em redução da fotossíntese. Dessa forma, a manutenção da umidade do substrato de cultivo é indispensável para que o potencial hídrico da planta permaneça próximo de zero, o que garante que as atividades fisiológicas ocorram adequadamente.

2.3.2 – Luz

A luz é um recurso crítico para as plantas, podendo freqüentemente limitar o crescimento e a produção. Do total de energia solar que chega até a camada superior da atmosfera, cerca de 1370 W.m⁻², no máximo 900 W.m⁻² atingem a superfície terrestre num dia ensolarado. Desta radiação, aproximadamente 45% é radiação fotossinteticamente ativa com comprimento de onda entre 400 e 700nm (Marengo e Lopes, 2005).

A resposta das plantas à luz, em termos de fotossíntese, ocorre rapidamente, até atingir o estado de saturação a partir do qual o aumento na energia luminosa não causa aumento na taxa fotossintética. No escuro não há assimilação fotossintética de carbono em plantas C₃ e C₄, e o CO₂ é perdido pela respiração, necessária à manutenção da planta. Partindo-se da ausência de luz (escuro), e aumentando-se o fluxo fotônico, a assimilação do CO₂ aumenta passando pelo ponto em que a liberação do CO₂ pela respiração é igual à fixação de CO₂ pela fotossíntese (ponto de compensação luminoso). Neste ponto há equilíbrio entre a assimilação de CO₂ pela fotossíntese e a liberação pela respiração (Taiz e Zeiger, 2004).

O ponto de compensação varia também entre as espécies, com a temperatura no momento da medição, e com a concentração de CO₂. Entretanto, em folhas sob sol, o ponto de compensação geralmente está próximo a 40 μmol m⁻² s⁻¹ (Salisbury e Ross, 1992). Em fluxos fotônicos elevados, as respostas fotossintéticas estabilizam-se, alcançando a saturação (ponto em que a intensidade luminosa deixa de ser o fator limitante quando todo o sistema de pigmentos já estiver sendo excitado, e a planta não tem como captar quantidade maior de luz). A fotossíntese líquida das plantas responde de forma hiperbólica à densidade de fluxo fotônico (Figura 3). Algumas plantas C₃ podem saturar-se com baixos níveis de radiação (aproximadamente 500 μmol m⁻² s⁻¹). As plantas C₄ são mais eficientes no uso da radiação e não chegam a saturar com altos níveis de radiação. Comparando-se as taxas fotossintéticas de plantas C₃ e C₄ num mesmo nível de radiação, observa-se que a taxa fotossintética de plantas C₄ é maior do que de C₃ (Taiz e Zeiger, 2004).

Sob radiações excessivamente elevadas, a temperatura do ambiente e da folha pode atingir valores acima de 35°C, capazes de causar danos irreversíveis ao fotossistema da planta (Bakker, 1995). Nestas condições, a quantidade de água transpirada pelas folhas pode exceder a capacidade de absorção das raízes e a de transporte do xilema, provocando estresse hídrico na folha.

Alguns cuidados devem ser tomados para evitar problemas de luminosidade insuficiente. Em ambientes protegidos, por exemplo, ambos, o sentido da construção da estrutura e o das linhas de plantio devem ser orientados para se obter o máximo de interceptação de luz. No caso da cultura do tomateiro o sentido leste-oeste é o mais indicado, tanto para a estrutura como para as linhas de plantio. Além disso, deve-se ajustar o espaçamento de plantio, pois esse influencia a interceptação de luz pelo dossel da planta em função do auto-sombreamento das folhas (Papadopoulos e Pararajasingham, 1997).

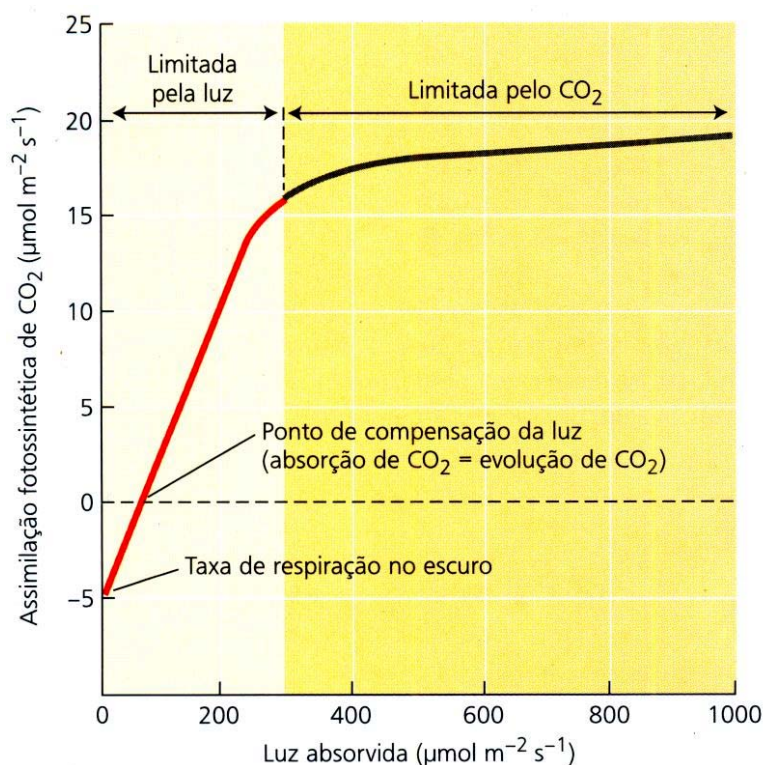


Figura 3 – Resposta fotossintética em plantas C3, analisada por meio da assimilação de CO_2 em resposta a quantidade de luz absorvida. Fonte: Taiz e Zeiger, (2004).

Outro fator que deve ser considerado é a transparência do filme plástico utilizado na cobertura do ambiente protegido, que deve oferecer o menor impedimento possível a passagem da luz solar. Normalmente ocorre acúmulo de poeira e outros materiais na superfície externa do plástico reduzindo a transparência. Recomenda-se, em curto prazo,

lavagens periódicas e, em longo prazo, a troca do plástico com o objetivo de manter elevada a penetração de luz no interior do ambiente de cultivo.

Na Figura 3 pode-se observar que, no escuro, a respiração promove evolução de CO_2 proveniente da planta. O ponto de compensação da luz é alcançado quando a assimilação fotossintética de CO_2 iguala-se a quantidade de CO_2 liberada pela respiração. Com o aumento da luz acima do ponto de compensação, a fotossíntese aumenta proporcionalmente, o que indica que a fotossíntese está limitada pela taxa de transporte de elétrons, a qual por sua vez, está limitada pela energia luminosa disponível. Esta porção da curva é referida como 'limitada pela luz'. Os aumentos posteriores na fotossíntese são eventualmente limitados pela capacidade de carboxilação da Rubisco, e esta parte da curva é referida como 'limitada pelo CO_2 '.

2.3.3 – Temperatura

A temperatura tem efeito nas reações bioquímicas da fotossíntese e, desta forma, a resposta da planta às variações de temperatura é bastante complexa. A elevação da temperatura geralmente aumenta a taxa fotossintética até o limite de adaptação da planta. A partir desse ponto, pode haver desnaturação das enzimas e destruição do fotossistema (Taiz e Zeiger, 2004).

Plantas C3 submetidas a elevadas concentrações de CO_2 ($750 \mu\text{L/L}$) apresentam amplo suprimento desse gás nos sítios de carboxilação da Rubisco e a taxa fotossintética é limitada, sobretudo, pelas reações bioquímicas conectadas com o transporte de elétrons na fase fotoquímica da fotossíntese. Em tais condições, alterações na temperatura afetam de maneira pronunciada a taxa de fixação do CO_2 (Figura 4A). Na concentração de CO_2 da atmosfera normal ($360 \mu\text{L/L}$), a fotossíntese é limitada pela atividade da Rubisco e a resposta reflete dois processos conflitantes: o aumento na taxa de carboxilação com a temperatura e o decréscimo na afinidade da Rubisco para CO_2 com a elevação da temperatura (Figura 4B). Esses efeitos opostos reduzem a resposta da fotossíntese à temperatura sob concentrações normais de CO_2 (Taiz e Zeiger, 2004).

A temperatura influencia a fotorrespiração, que aumenta, principalmente, pela redução da difusão do CO_2 e aumento da razão O_2/CO_2 no mesófilo foliar. Como resultado da competição entre O_2 e CO_2 pelo substrato comum, a ribulose-1,5-bifosfato, a

fotossíntese líquida das plantas C3 é prejudicada quando a temperatura atinge valores acima de 30° C (Salisbury e Ross, 1992).

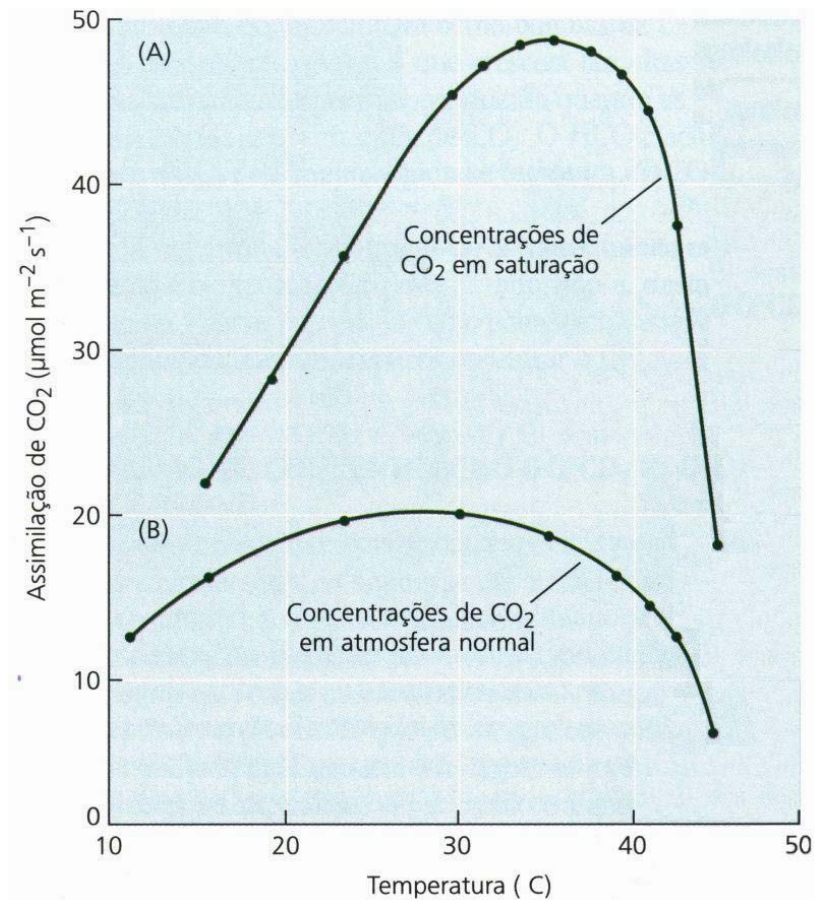


Figura 4: Variação da assimilação de CO₂ em plantas C₃, influenciada pela temperatura em duas condições distintas: concentração de saturação de CO₂ (A) e concentração de CO₂ normal na atmosfera (B). Fonte: Taiz e Zeiger, (2004).

A fotossíntese tem forte dependência da temperatura sob concentrações de CO₂ em saturação. A taxa fotossintética é significativamente mais alta sob concentrações de CO₂ em saturação (Taiz e Zeiger, 2004). A temperatura também afeta a assimilação fotossintética do CO₂ por alterar a partição de carbono entre os órgãos em crescimento. Temperaturas entre 20-35°C favorecem o metabolismo dos órgãos dreno, o que aumenta a demanda de carboidratos com o aumento da temperatura. Desta forma, há redução no acúmulo de carboidratos nas folhas, o que pode evitar a aclimatação ao CO₂ (Wolfé et al. 1998). Entretanto, valores extremos de temperatura (acima e abaixo da faixa ideal) têm efeito negativo na translocação de carboidratos das folhas para os drenos, pois o fluxo floemático é reduzido nestas condições, e o acúmulo de carboidratos nas folhas pode contribuir para a aclimatação ao CO₂.

2.3.4 - Aclimação ao CO₂

A aclimação fotossintética é definida por Wolfe et al. (1998) como qualquer ajuste na aquisição de carbono que possa se desenvolver ao longo do tempo quando se compara plantas crescidas em elevada concentração de CO₂ com plantas em condições naturais, seja em escala de folha ou planta inteira; ou seja, uma planta exposta à elevada concentração de CO₂ inicialmente apresenta elevada taxa fotossintética e, com o passar do tempo, mantidas as condições ambientais, a taxa fotossintética diminui.

Embora o fenômeno da aclimação ao CO₂ tenha sido observado em diversas plantas, esse efeito ainda não é bem compreendido. Inicialmente, foi proposto que a causa da aclimação seria a redução na condutância estomática provocada pelo CO₂. No entanto, esta hipótese foi descartada por Yelle et al. (1989b), que observaram redução na condutância estomática, sem, contudo, alterar a concentração interna de CO₂, sugerindo que a menor condutância estomática não explica a menor taxa fotossintética.

A resposta ao CO₂, quando se avalia a planta inteira, ocorre por alterações na capacidade fotossintética das células, causadas direta ou indiretamente por efeito da concentração de CO₂ na respiração, mudanças na eficiência no uso do carbono, e efetividade da partição de fotoassimilados entre órgãos drenos da planta. Wolf et al. (1998), destacaram que o estímulo à fotossíntese obtido com enriquecimento de CO₂ foi maior que a resposta em crescimento e produção. Deve haver, portanto, efeito da relação fonte/dreno na resposta ao enriquecimento com CO₂.

Em curto prazo, numa escala de tempo variando de horas a dias, o incremento do CO₂ resulta em acúmulo de carboidratos nas folhas, e a expressão de genes de transcrição da Rubisco e outras enzimas do aparelho fotossintético pode ser reprimida (Sheen, 1994; Koch, 1996). Isto tem sido reconhecido como um importante mecanismo de regulação que afeta a magnitude da resposta ao incremento do CO₂ em longo prazo. Também numa escala de horas a dias, o acúmulo de amido nas folhas pode chegar ao ponto de causar danos mecânicos aos tilacóides (DeLucia et al., 1985) e redução na assimilação do CO₂.

Numa escala de tempo um pouco maior, variando de dias a semanas, a resposta ao CO₂ é dependente da capacidade da planta em desenvolver novos drenos ou aumentar a capacidade de armazenamento ou crescimento dos órgãos dreno já existentes (Farr e Willians, 1991), evitando então a redução da resposta da planta ao acúmulo de fotoassimilados.

A redução na atividade da Rubisco é um dos efeitos mais comuns relacionados a aclimação ao CO₂. É também a principal explicação encontrada na maioria dos trabalhos e revisões para a redução na resposta fotossintética das plantas quando ocorre a aclimação ao CO₂. No entanto, as tentativas de elucidar o mecanismo envolvido em tal fenômeno ainda não trouxeram resultados definitivos.

Alguns autores têm encontrado menor conteúdo da Rubisco e reduzida regeneração da Ribulose sob enriquecimento de CO₂. Sugere-se que estes efeitos, em conjunto, representam um possível mecanismo de reajuste fisiológico para o reequilíbrio entre o aparelho fotossintético e os demais sistemas responsáveis pela assimilação de CO₂ que possam estar limitando o crescimento da planta como um todo (Wolfe et al., 1998).

O aumento no acúmulo de carboidratos, especialmente nas folhas, sugere que plantas sob enriquecimento de CO₂ podem não estar completamente adaptadas à elevada concentração deste gás. Aparentemente há incapacidade de translocar os fotoassimilados produzidos ou, então, reduzida capacidade de dreno dos órgãos (Bazzaz e Sombroek, 1996), que leva à redução da resposta da planta ao enriquecimento de CO₂.

A redução da eficiência de plantas de tomateiro em utilizar o CO₂ adicionado a atmosfera após longo período de exposição (Tabela 1) foi demonstrado por Yelle et al. (1989a,b). Nos experimentos foram utilizadas as concentrações de 330 ± 50 µL/L (controle) e 900 ± 50 µL/L de CO₂, utilizando CO₂ puro suprido durante o dia.

Tabela 1 - Taxa de assimilação de carbono em tomate cultivado sob 330 µL/L e 900 µL/L de CO₂

Espécie	Folha avaliada	Semanas de enriquecimento	Taxa de assimilação de C (µmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)		% de incremento na assimilação
			330 µL/L	900 µL/L	
<i>Lycopersicon esculentum</i>	5 ^a	2	0,54	0,70	29,6
		4	0,42	0,56	33,3
		6	0,43	0,50	16,3
		8	0,47	0,51	8,5
	9 ^a	2	0,41	0,54	31,7
		4	0,38	0,45	18,4
		6	0,41	0,47	14,6
		8	0,48	0,51	6,3

Fonte: Adaptado de Yelle et al. (1989a).

A fotossíntese da 5^a folha a partir do ápice da planta, medida após uma semana da imposição dos tratamentos, foi 29% maior sob 900 µL/L de CO₂ que no tratamento

controle. No entanto, na 8ª semana após o início do enriquecimento, o incremento observado foi de apenas 8,5% (Tabela 1), demonstrando o efeito da aclimação ao CO₂.

Outros fatores inerentes ao próprio tecido foliar podem afetar a assimilação do CO₂. Em folhas em desenvolvimento ou na fase de senescência observa-se taxa de fotossíntese menor do que em folhas maduras completamente expandidas, pois em folhas novas, em fase de crescimento, observa-se alta taxa respiratória, o que diminui a fotossíntese líquida. Já em folhas senescentes observa-se baixa taxa de fotossíntese em decorrência da degradação da clorofila e da perda de funcionalidade dos cloroplastos (Marengo e Lopes, 2005).

2.4 - UTILIZAÇÃO DO CO₂ NA AGRICULTURA

O enriquecimento da atmosfera de cultivo com CO₂ teve seu uso e adoção difundidos em culturas sob ambiente protegido, devido à melhoria na produtividade, qualidade dos frutos e precocidade das plantas, tanto em espécies ornamentais como em culturas hortícolas (Wittwer, 1970). Em cultivos comerciais, é comum o enriquecimento de CO₂ a concentrações variando entre 600 e 2000 µL/L, por injeção de CO₂ puro ou queima de combustíveis orgânicos como querosene, gás natural, entre outros (Grodzinski, 1992). Reinert et al. (1997) observaram incrementos de aproximadamente 24% na produtividade da cultura de tomate cultivada em câmaras de ambiente controlado, com enriquecimento de CO₂ (até 675 µL/L).

Em algumas culturas ocorrem respostas adicionais à longa exposição ao CO₂ como deformação e descoloração foliar (Mortensen, 1987). No tomateiro, a deformação foliar é observada como descoloração, enrolamento e má formação da lâmina foliar (Tripp et al., 1991). A deformação aparece inicialmente nas folhas baixas progredindo para as folhas superiores, podendo tomar toda a planta. Há descrição de diferentes sintomas ou distúrbios fisiológicos relacionadas ao aumento da concentração de CO₂ como folhas grossas, retorcidas, de coloração púrpura, recurvadas, pequenas, entre outras (Tripp et al., 1991; Nederhoff et al., 1992). Como consequência, a interceptação da luz é reduzida comprometendo a fotossíntese e a produção. Além disso, a qualidade dos frutos pode ser reduzida pela maior exposição à radiação solar (Adegrooye e Jolliffe, 1987).

Há relatos de produtores em que a elevada concentração de CO₂, raleio de frutos e baixa temperatura noturna ($\leq 18^{\circ}\text{C}$) causam redução na área foliar. A alta concentração de

CO₂ e raleio de frutos podem alterar a relação fonte/dreno da planta e acredita-se que esta seja a causa da redução da área foliar observada quando mantidas tais condições. O decréscimo na área foliar é considerado como resposta à elevada relação fonte/dreno, ou do ponto de vista funcional, como um mecanismo regulador que busca restaurar a homeostase da planta (Nederhoff et al., 1992).

2.5 - FONTES DE CO₂

2.5.1 - Queima de combustíveis fósseis

Os principais combustíveis utilizados na geração de CO₂ são o gás natural, o querosene e o propano (Hand, 1982), cada um gerando diferentes quantidades de CO₂. A combustão de 1 m³ de gás natural, 1 L de querosene ou 1 L de propano produz, respectivamente, 1,8 kg, 2,4 kg e 5,2 kg de CO₂ (Peet e Welles, 2005).

Mesmo utilizando-se combustíveis com elevado grau de pureza, os gases da combustão podem conter componentes nocivos às plantas. Isso ocorre em função da presença do nitrogênio no momento da queima, o que pode gerar óxido nitroso e dióxido de nitrogênio. Na presença desses gases, o crescimento da planta é drasticamente reduzido (Hand, 1982).

Da mesma forma, se o queimador receber insuficiente quantidade de ar no momento da combustão, a mistura ar/combustível poderá ser parcialmente queimada, produzindo hidrocarbonos insaturados. Dentre eles, o mais importante para as plantas é o etileno, que atua induzindo o envelhecimento e a senescência precoce da planta (Taiz e Zeiger, 2004). Também pode haver formação de monóxido de carbono (CO) e óxido nitroso (NO) sob condições de baixa concentração de O₂.

Outro inconveniente da utilização de combustíveis orgânicos é a produção de enxofre (S). Alguns combustíveis contêm grandes quantidades de enxofre e sua oxidação durante a queima produz dióxido de enxofre (SO₂), que é prejudicial às plantas (Hand, 1982).

2.5.2 - CO₂ puro

A aplicação de CO₂ puro é a forma mais segura e eficaz de enriquecer um ambiente de cultivo. É livre de outros compostos indesejáveis e seu suprimento é direto e facilmente controlado. No entanto, requer significativo investimento para a estrutura de armazenamento (tanques ou cilindros com capacidade de até 30 toneladas) e distribuição do gás, que não se justifica economicamente para cultivos em pequenas áreas (Hand, 1982).

Uma forma alternativa de usar o CO₂ puro é sua liberação na água de irrigação por meio de carbonatador que dissolve o CO₂ na água. Essa técnica consiste em borbulhar o gás diretamente no fluxo de água e ou nutrientes fornecidos à cultura. Andriolo (2000) cita que, pelo uso dessa técnica, foram obtidos ganhos significativos de produção nas culturas do tomateiro, melão e berinjela.

O processo de aplicação de gás via água de irrigação tornou-se possível após a década de 80, pelo desenvolvimento de novas tecnologias de irrigação localizada e de métodos mais eficientes de carbonatação da água (Durão e Galvão, 1995). Há relatos de que essa técnica pode melhorar o crescimento radicular e a absorção de nutrientes, mas a causa real do aumento de produção ainda não está clara, pois o CO₂ suprido via irrigação, na maioria dos casos, não tem efeito na fotossíntese (Andriolo, 2000).

A aplicação de CO₂ na água de irrigação possibilitou a obtenção de maiores número (21,4%) e massa de frutos (20,0%) de pimentão comparado ao ambiente onde não houve aplicação (Furlan et al., 2002). Da mesma forma, o diâmetro da cabeça de alface, o número de folhas e o rendimento foram 15,9%, 5,5% e 28,8% maiores quando foi aplicado CO₂ via água de irrigação comparado ao ambiente sem aplicação (Furlan et al., 2001).

A mais eficiente forma de distribuição do CO₂ no interior de ambientes protegidos é aquela que utiliza um duto principal, no centro da estufa, com dutos laterais em cada entrelinha de plantio. Os dutos podem ficar ao nível do solo ou suspensos, até a altura das plantas, não tendo mais de 40 metros de comprimento para garantir a uniformidade na distribuição do CO₂ ao longo do seu comprimento (Nederhoff, 1996).

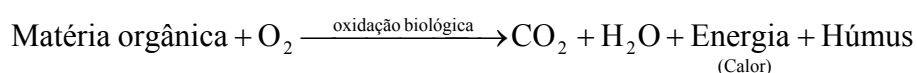
2.6 - COMPOSTAGEM COMO FONTE DE CO₂

A compostagem é o processo de decomposição biológica aeróbica da matéria orgânica contida nos resíduos animais e vegetais, que resulta na formação do composto. É uma técnica relativamente simples, que pode ser utilizada pela maioria dos agricultores, desde que alguns princípios sejam levados em consideração para garantir o correto desenvolvimento do processo (Peixoto, 2000).

Na compostagem ocorre a transformação de materiais grosseiros, como palhada e estrume, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura. Esse processo envolve transformações complexas de natureza bioquímica, promovidas por diversas espécies de microrganismos que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia, nutrientes minerais e carbono. O composto é, portanto, o resultado da degradação biológica da matéria orgânica, em presença de oxigênio do ar (na ausência de oxigênio ocorrerá a fermentação). Os produtos do processo de decomposição são: gás carbônico, calor, água e a matéria orgânica compostada (húmus), conforme o esquema simplificado a seguir.

A transformação pode ser subdividida em duas etapas: uma física (desintegração) e outra química (decomposição). A primeira diz respeito à quebra mecânica dos resíduos, e, na última, os resíduos são primeiramente decompostos em suas unidades estruturais básicas por enzimas extracelulares e, posteriormente, absorvidas e oxidadas pelos microrganismos, com a finalidade de obter energia e nutrientes inorgânicos para o seu desenvolvimento (Peixoto, 2000).

Esquema simplificado do processo de decomposição aeróbica:



Dentro do grupo de organismos capazes de degradar a matéria orgânica morta (saprófitas), há grande variedade de espécies de vários tamanhos, desde menores de 1mm, como bactérias, actinomicetos, fungos, leveduras, algas e vírus, até espécies visíveis a olho nu, como besouros, ácaros, centopéia, mosca, minhocas e cogumelos (Mendes, 2000).

As bactérias são responsáveis pela “quebra” inicial da matéria orgânica, o que gera a liberação de calor na massa de compostagem. Os fungos são microrganismos aeróbios obrigatórios, preferem meios mais ácidos, porém são detectáveis também em meio alcalino. São bastante eficientes na fase termofílica e na degradação de compostos carbonáceos, como a celulose e a lignina, entre outros (Pereira Neto, 1996). Os

actinomicetos compõem um grupo bem heterogêneo de microrganismos, com características de fungos e bactérias. Têm habilidade para se reproduzirem em ambiente com baixo teor de umidade e altas temperaturas. Desempenham papel importante na degradação de substâncias normalmente não decompostas por bactérias e fungos (Pereira Neto, 1996).

Para cada estágio do processo de compostagem predominam os microrganismos que se adaptam a tais condições, sendo que os principais fatores que interferem na velocidade do processo são aqueles que influenciam a atividade biológica. No início da decomposição, fase mesofílica, onde a temperatura varia de 45°C a 55°C, predominam bactérias, fungos e actinomicetos mesófilos que decompõem proteínas, amidos, açúcares (carboidratos facilmente decomponíveis).

Com o aumento da temperatura a níveis superiores a 65°C, fase termofílica, devido a liberação de calor pelas reações exotérmicas, surgem os microrganismos termófilos, enquanto que os mesófilos diminuem sensivelmente em quantidade. Nessa fase as bactérias e actinomicetos são predominantes, sendo favorecidos tanto pela temperatura como pelo pH elevado (próximo a 7,0). As bactérias decompõem os lipídios e frações de hemicelulose, enquanto a celulose é decomposta pelos actinomicetos, principalmente, e pelos fungos. Com a redução da temperatura, fase de maturação, os microrganismos mesófilos reaparecem, além dos mesorganismos e macrorganismos, embora estes possam ocorrer na superfície da pilha mesmo durante o estágio termofílico (Kiehl, 1985; Peixoto, 2000).

Na decomposição, a presença de oxigênio, o pH, a umidade, temperatura, nitrogênio disponível, a quantidade de micronutrientes disponíveis, a presença de compostos recalcitrantes como a lignina são exemplos de características importantes que irão determinar a velocidade desse processo (Costa, 1995).

Durante a compostagem, há desprendimento de gás carbônico, água (na forma de vapor) e energia, devido a ação dos microrganismos. Parte da energia gerada é usada para crescimento dos microrganismos, sendo a restante liberada como calor, que se procura conservar na pilha de compostagem. Como resultado, a pilha se aquece, atinge temperatura elevada, resfria e atinge o estágio de maturação. O composto final é constituído de partes resistentes dos resíduos orgânicos, produtos decompostos e microrganismos mortos e vivos (Peixoto, 2000).

A liberação do CO₂ a partir da compostagem constitui parte do ciclo do carbono. Em sua forma mineral, o carbono é fixado através da fotossíntese pelas plantas verdes na forma de carboidratos, lignina, proteínas, lipídeos e outros compostos orgânicos (Cerri et al., 1992). Estes compostos são utilizados por populações de bactérias, fungos e actinomicetos como fonte de carbono e energia necessários ao seu sustento, no processo de respiração aeróbica, no qual o CO₂ é novamente liberado para a atmosfera.

2.6.1 - Componentes orgânicos e relação C/N

Os resíduos orgânicos têm como elemento fundamental o carbono que está organizado em estruturas simples ou complexas. O processo de compostagem é essencialmente uma reorganização biológica das frações de carbono dos materiais orgânicos. Assim, os átomos que faziam parte de uma folha, por exemplo, passarão a constituir a estrutura de diversos organismos.

Os materiais orgânicos variam grandemente em sua composição, tendo a seguinte ordem crescente de resistência à decomposição: açúcares, amidos, proteínas simples, proteínas brutas, hemicelulose e partes de celulose, lignina, gorduras, ceras e outras partes de celulose (Peixoto, 2000). Dessa forma, os açúcares, simples na forma, e facilmente solúveis em água, podem ser prontamente absorvidos pelos microrganismos; as hemiceluloses são frações mais complexas, e os microrganismos utilizam de enzimas para degradá-las antes de absorvê-las, as ligninas são altamente resistentes, podendo demorar mais tempo para serem decompostas. Essas frações orgânicas possuem teores distintos de C e de N. Consequentemente, quanto mais C possuírem, assim como mais complexas forem as suas estruturas moleculares, mais energéticas e difíceis de decompor serão. Raciocínio oposto pode ser feito em relação ao teor de N dessas frações. Em materiais lenhosos são observados teores de 0,2 a 0,5% de N, enquanto que plantas herbáceas, como as gramíneas, têm, normalmente, de 0,5 a 1,5% de N, e as leguminosas de 1,5 a 3,0% de N (Peixoto, 2000).

O conhecimento da relação C/N de um material orgânico reflete, portanto, o grau de resistência à sua decomposição. A quantidade de N requerida por unidade de C varia com os tipos de microrganismos envolvidos no processo, sendo que, de uma maneira geral, 30 partes de peso de C são usadas pelos microrganismos para cada parte de N (Souza e Resende, 2006). Portanto, relação C/N entre 26 e 35, proporciona rápida e eficiente

compostagem. Se a relação for acima de 35, o resíduo irá demorar muito tempo para se decompor; se for menor que 26, então o N será perdido em grande parte na forma de amônia, já que está em excesso, e os microrganismos, durante a compostagem, não conseguem assimilá-lo totalmente, por limitação de C.

2.6.2 - Condições ideais para a compostagem

2.6.2.1 – Aeração

O suprimento adequado de ar a todas as partes da pilha é essencial para se fornecer oxigênio aos organismos e retirar o gás carbônico produzido. A ausência de ar (anaerobiose) provoca o desenvolvimento de tipos diferentes de microrganismos e leva à decomposição mais lenta (Peixoto, 2000). As pilhas de composto podem ser arejadas por meio de revolvimento manual, fazendo-se com que as camadas externas passem a ocupar a parte interna ou por meios mecânicos, onde o composto é remexido e as camadas misturadas, havendo melhor homogeneização.

Os microrganismos aeróbios necessitam de oxigênio para seu metabolismo e o consumo irá depender, principalmente, da temperatura, da umidade, da granulométrica e da composição química da matéria-prima, bem como da intensidade dos revolvimentos. Para garantir adequada aeração, a pilha não deve ser pequena nem grande demais, pois no primeiro caso há grande perda de umidade e calor e, no segundo caso, geralmente ocorre compactação, o que prejudica as trocas gasosas, aumentando o tempo de compostagem e dificultando o manejo da pilha. As dimensões recomendadas são de 1,50 m de altura e 2,5 a 3,5 m de largura, com comprimento variável em função da disponibilidade de resíduos a serem decompostos.

Outro fator determinante da boa areação é o tamanho das partículas dos resíduos que compõem a pilha. Se as partículas forem muito pequenas, os espaços entre elas serão também muito pequenos, prejudicando a aeração. Partículas muito grandes apresentarão espaços entre si muito grandes, o que prejudica a retenção do calor tornando lenta a decomposição (Peixoto, 2000). O tamanho ideal das partículas deve variar entre 1,5 e 5,0 cm, sendo normalmente necessário picar ou triturar o material existente.

Para que a decomposição ocorra satisfatoriamente, os revolvimentos deverão ocorrer em função da concentração de oxigênio observada no interior da massa em

decomposição. No entanto, dada a dificuldade de se determinar o conteúdo de oxigênio no interior da pilha, o momento adequado para fazer o revolvimento é decidido em função de outros fatores como temperatura e umidade (Kiehl, 1985).

2.6.2.2 – Umidade

A compostagem é um processo biológico de decomposição da matéria orgânica e, desta forma, a presença de água é imprescindível para as necessidades fisiológicas dos organismos, que não vivem em ausência de água. O teor de umidade apropriada na compostagem deve estar entre 40% e 60% (Kiehl, 1985). Se a umidade estiver abaixo de 40% a atividade microbiana reduzir-se-á até a estagnação do processo de decomposição. Caso esteja acima de 60%, além de diminuir a temperatura das pilhas, irá dificultar a troca de gases, podendo transformar a decomposição aeróbia em anaeróbia, pela ausência de oxigênio.

O calor gerado pela decomposição microbiana pode fazer com que a pilha perca umidade e reduza a velocidade de decomposição até quase zero. Molhar a pilha em sua montagem e durante os reviramentos proporciona melhor manutenção da umidade e do processo de decomposição (Peixoto, 2000). Em caso de excesso de umidade, revolvimentos sucessivos poderão auxiliar na redução do teor de água até o valor adequado. Quanto mais avançado estiver o estágio de decomposição dos resíduos, maior a capacidade de retenção de água, indicando a necessidade de maiores cuidados com a pilha.

2.6.2.3 – Temperatura

O metabolismo dos microrganismos envolvidos no processo de compostagem é exotérmico, havendo rápido aquecimento da massa com a multiplicação da população microbiana. Quando os microrganismos oxidam a matéria orgânica, ou seja, promovem a quebra das ligações entre moléculas de carbono nas substâncias orgânicas, há liberação de energia na forma de calor (Peixoto, 2000).

A proliferação e a atividade microbiana na pilha, quando em condições adequadas, promovem um comportamento característico de evolução da temperatura, dividido em fases distintas. O aumento da temperatura até atingir 40°C a 45°C corresponde ao estágio mesofílico, ocorrendo poucos dias após a montagem da pilha. A seguir, a temperatura sobe

de 45°C para 60°C a 65°C, dando-se o estágio termofílico, quando a decomposição é máxima, estágio esse que pode durar mais de 20 dias. A partir desse ponto a pilha vai diminuindo de tamanho e ficando mais escura, reflexo da decomposição das substâncias orgânicas.

A temperatura de 60°C é considerada ideal, pois os organismos patogênicos e sementes de plantas daninhas são destruídos pelo longo tempo de exposição. Temperatura acima de 65°C é desaconselhável devido à diminuição da taxa de decomposição causada pela morte dos microrganismos (Peixoto, 2000). Terminado o estágio termofílico, a temperatura diminui gradativamente até atingir a temperatura ambiente, quando o composto estabiliza, estando pronto para o uso (Kiehl, 1985).

2.6.3 - Evolução do CO₂ no processo de compostagem

A taxa de decomposição de resíduos orgânicos é influenciada pela composição química dos mesmos, sendo que materiais vegetais com teores de compostos solúveis mais altos se decompõem mais rapidamente (MacClagherty et al., 1985). A evolução do CO₂ é maior durante a fase inicial do processo de decomposição em consequência da maior atividade microbiana e maior quantidade de carbono facilmente oxidável disponível (Hu e Gilmour, 1972).

Há poucos resultados de pesquisas conduzidas em que se avaliou a dinâmica da evolução do CO₂ durante o processo de compostagem, sendo que a maioria está relacionada com lixo urbano e lodo de esgoto, em função da preocupação e da necessidade de se eliminar essas fontes de poluição ambiental. Dessa forma, é difícil dimensionar precisamente uma pilha de compostagem para suprir determinada necessidade de CO₂, restando a possibilidade de se estimar, aproximadamente, o tamanho da pilha.

Entre os trabalhos que avaliaram a liberação de CO₂ no processo de compostagem, Sommer et al. (1998) relataram a liberação de dois a três kg de CO₂ por tonelada de material orgânico em compostagem por dia, durante os 40 dias iniciais do processo, utilizando-se resíduos bovinos. Kiehl (1998) por sua vez, menciona que, em relação ao teor inicial de matéria orgânica em compostagem, nos primeiros 40 a 60 dias, cerca de 50% são metabolizados e convertidos, principalmente em dióxido de carbono e vapor de água. Schultz (1960), Jeris e Regan (1973) e Suler e Finstein (1977) examinaram e quantificaram a liberação diária de CO₂ na compostagem. Em média, as estimativas variam de 10 a 50

gramas de CO₂ produzido por dia por quilograma de matéria orgânica em decomposição. A diversidade dos materiais utilizados na compostagem proporciona grande variação na quantidade de CO₂ gerado no processo, o que não permite extrapolações para outras composições de pilhas de compostagem.

2.7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEGOROYE, A.S.; JOLLIFFE, P.A. Some inhibitory effects of radiation stress on tomato fruit ripening. **Journal of Science in Food Agriculture**, n. 39, p. 297-302, 1987.

ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 18, suplemento, p. 26-32, 2000.

BAKKER, J.C. Greenhouse climate control: constraints and limitations. **Acta Horticulturae**, n. 399, p.25-35, 1995.

BAZZAZ, F.; SOMBROEK, W. (Eds). **Global climate change and Agricultural production. Direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant physiological processes**. FAO, Roma, 1996.

CALVERT, A.; SLACK, G. Effect of carbon dioxide enrichment on growth, development and yield of glasshouse tomato. II. The duration of daily periods of enrichment. **Journal of Horticultural Science**, v. 51, p. 401-409, 1976.

CERRI, C.C.; MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B. Dinâmica do carbono orgânico em solos vinculados à pastagens da Amazônia brasileira. **Investigacion Agrária**, Madrid, v.1, n.1, p. 95-102. 1992.

COSTA, M.D. **Atividade Biológica e liberação de nutrientes em resíduos da exploração de povoamentos de eucalipto**. 1995. 91f. Dissertação (Mestrado em microbiologia) – Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG, 1995.

CURE, J.D.; ACOCK, B. Crop responses to carbon dioxide doubling: A literature survey. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 38, p.127-145, 1986.

DELUCIA, E.H.; SASEK, T.W.; STRAIN, B.R. Photosynthesis inhibition after long-term exposure to elevated CO₂ levels. **Photosynthesis Research**, v.7, p.175-184, 1985.

DURÃO, P.L.; GALVÃO, A.C. Gás carbônico em irrigação: tecnologia de ponta para aumentar a produtividade e qualidade dos produtos agrícolas. **Ciência Hoje**, v. 19, n. 110, p. 12-15, 1995.

FARR, J.F.; WILLIAMS, M.L. The effects of increased atmospheric carbon dioxide and temperature on carbon partitioning, source-sink relations and respiration. **Plant and Cell Environment**, v. 14, p.819-830, 1991.

FULFORD, B. **Composting Greenhouse at New Alchemy Institute: A Report on Two Years of Operation and Monitoring**. Research Report n.3, New Alchemy Institute. 1986. Disponível em: <<http://www.vsb.cape.com/%7Enature/greencenter/pdf/compost.pdf>>. Acessado em: 25/06/2007.

FURLAN, R.A.; ALVES, D.R.B.; FOLEGATTI, M.V.; BOTREL, T.A.; MINAMI, K. Dióxido de carbono aplicado via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 1, p. 25-29, 2001.

FURLAN, R.A.; REZENDE, F.C.; ALVES, D.R.B.; FOLEGATTI, M.V. Lâminas de irrigação e aplicação de CO₂ na produção de pimentão cv. Mayata, em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 247-250, 2002.

GRODIZINSK, B. Plant nutrition and growth regulation by CO₂ enrichment. **BioScience**, v. 42, n. 7, p. 517-529, 1992.

HAND, D.W. CO₂ enrichment, the benefits and problems. **Scientific Horticulturae**, v. 33, p.14-43, 1982.

HU, L.Y.; GILMOUR, C.M. Readily oxidizable carbon: An index of decomposition and humification of forest litter. Soil Science Society **Americam Proceeding**, v.36, p.959-961, 1972.

JARIS, J.S.; REGAN, R.W. Controlling environment parameters for optimum composting. **Compost Science**, v. 14, n. 1, p. 14, 1973.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Agronômica Ceres, São Paulo, 1985. 492p.

KIEHL, E.J. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. São Paulo. 171 p. 1998.

KIMBALL, B.A. Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 330 prior observations. **Agronomy Journal**, v.75, p.779-788, 1983.

KOCK, K.E. Carbohydrate-modulated gene expression in plants. **Annual Review of Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v. 47, p.509-540, 1996.

LAWLOR, D.W.; MITCHELL, R.A.C. The effects of increasing CO₂ on crop photosynthesis and productivity: a review of field studies. **Plant, Cell and Environment**, v. 14, p. 807-818, 1991.

MARENCO, R.A., LOPES, N.F. **Fisiologia Vegetal**; fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa, Ed. UFV, 2005. 451p.

MCCLAUGHERTY, C.A.; PASTOR, J.; ABER, J.D. Forest litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality. **Ecology**, v.66, p. 266-275, 1985.

MENDES, C.A.P. Composto orgânico: aplicações, benefícios e restrições de uso. **Horticultura Brasileira**, v.18, suplemento, p. 65-66. 2000.

MORTENSEN, L.M. Review: CO₂ enrichment in greenhouses. Crop responses. **Scientia Horticulturae**, v. 33, p. 1-25, 1987.

NEDERHOFF, L., 1995. **HortResearch Publication** – The A to Z guide to using CO₂. Part 1. Web <http://www.hortnet.co.nz/publications/science/n/neder/co2_nr1.htm>. Acessado em: 22/08/2004.

NEDERHOFF, L., 1996. **HortResearch Publication** – The A to Z guide to using CO₂. Part 2. Web <http://www.hortnet.co.nz/publications/science/n/neder/co2_nr2.htm#top>.

Acessado em: 22/08/2004.

NEDERHOFF, E.M.; DE KONING, A.N.M.; DUJSDIJK, A.A. Leaf deformation and fruit production of glasshouse grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by CO₂, plant density and pruning. **Journal of Horticultural Science**, v. 67, n.3, p.411-420, 1992.

PAPADOPOULOS, A.P.; PARARAJASINGHAM, S. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) A review. **Scientia Agriculturae**, v. 69, p.1-29, 1997.

PEET, M.M.; WELLES, G.W.H. Greenhouse tomato production. In: **Tomatoes**. Heuvelink, E. Ed. CABI International, 2005, 339p.

PEIXOTO, R.T.G. Preparo do Composto. **Horticultura Brasileira**, v.18, Suplemento, p.56-64, 2000.

PEREIRA NETO, F.T. **Manual de compostagem**. Belo Horizonte, UNICEF, 1996.

REINERT, R. A.; EASON, G.; BARTON, J. Growth and fruiting of tomato as influenced by elevated carbon dioxide and ozone. **New Phytologist**, v. 137, n. 3, p. 411-420, 1997.

SALISBURY, F. B.; ROSS C. W. **Plant physiology**. Califórnia: Wadsworth Publishing Company, 1992. 682p.

SCHULTZ, K. L. Rate of oxygen consumption and respiratory quotients during aerobic decomposition of a synthetic garbage. **Compost Science**, v.1, p.36, 1960.

SHEEN, J. Feedback control of gene expression. **Photosynthesis Research**, v. 39, p. 427-438, 1994.

SOMMER, S. G.; DAHL, P.; ROM, H. B.; MOLLER, H. B. Emission of ammonia, nitrous oxide, methane and carbon dioxide during composting of deep litter. **Proceedings of the 8th international Conference on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (Formerly Animal Waste Management)**. Rennes, France, 26-29 May 1998.

SOUZA, J.L.; RESENDE, P. **Manual de Horticultura Orgânica**. 2. ed. Viçosa/MG: Aprenda Fácil, 2006. 843 p.

SULER, D.; FINSTEIN, M. Effect of temperature, aeration, and moisture on CO₂ formation in bench-scale continuously thermophilic composting of solid waste. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 33, n. 2, p. 348, 1977.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. traduzida. Porto Alegre: Artmed, 719 p., 2004.

TRIPP, K.E.; PEET, M.M.; PHARR, D.M.; WILLITS, D.H.; NELSON, P.V. CO₂-enhanced yield and foliar deformation among tomato genotypes in elevated CO₂ environments. **Plant Physiology**, v. 96, p.713-719, 1991.

WITTWER, S. H. Aspects of CO₂ enrichment for crop production. **Transaction of the ASAE**, v. 13, n. 2, p. 1249-251, 1970.

WOLFE, S.; GIFFORD, R.M.; GILBERT, D.; LUOS, Y. Integration of photosynthetic acclimation to CO₂ at the whole-plant level. **Global Change Biology**, v. 4, p.879-893, 1998.

YELLE, S.; BEESON JR, R.C.; TRUDEL, M.J.; GOSSELIN, A. Acclimation of two tomato species to high atmospheric CO₂ – I sugar and starch concentrations. **Plant Physiology**, v. 90, p.1465-1472, 1989a.

YELLE, S.; BEESON JR, R.C.; TRUDEL, M.J., GOSSELIN, A. Acclimation of two tomato species to high atmospheric CO₂ – II Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and phosphoenolpyruvate carboxylase. **Plant Physiology**, v. 90, p.1473-1477, 1989b.

3.0 – PRODUTIVIDADE DO TOMATEIRO CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO COM ENRIQUECIMENTO DE CO₂ PROVENIENTE DA COMPOSTAGEM

RESUMO

O enriquecimento de CO₂ pode gerar ganho de produção pelo aumento da fotossíntese líquida das plantas. No Brasil, as técnicas tradicionais de enriquecimento são, em sua maioria, inviáveis economicamente. Desta forma, justifica-se o estudo de fontes alternativas de CO₂ que possam viabilizar a técnica. Este trabalho teve o objetivo de avaliar a utilização da compostagem como fonte de CO₂ e seu efeito na produtividade do tomateiro. Foram realizados dois cultivos nos anos 2005 e 2006, na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, MG. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com oito repetições no ano 2005 e com 12 repetições no ano 2006. No primeiro ano foram utilizadas as cultivares Andrea, Débora Plus e Rebeca e no segundo as cultivares Andrea e Alambra. As plantas foram cultivadas em dois ambientes protegidos, sendo um deles com enriquecimento de CO₂, e numa área de campo, sob condições naturais. Foi utilizada compostagem como fonte de CO₂ para um dos ambientes protegidos. Foram avaliadas as produções total, comercial classificada e o índice de precocidade das plantas. A técnica de enriquecimento utilizada foi eficiente como fonte de CO₂, elevando a concentração para aproximadamente 750 µL/L. O enriquecimento com CO₂ não alterou a produtividade das plantas, entretanto, proporcionou maior precocidade de produção nas cultivares Andrea e Débora Plus no ano 2005. A produção das cultivares analisadas foi maior nos ambientes protegidos que no campo.

ABSTRACT

Carbon dioxide enrichment can increase productivity by higher net photosynthesis of the plants. However, the traditional techniques for CO₂ enrichment are so expensive and economically impracticable. Thus, it is important to study alternative sources of CO₂ that may enable the technique. The objective of this work was to evaluate the composting pile as CO₂ source and its effect on tomato yield. Two autumn-winter crops in the years 2005 and 2006 had been carried, in Vegetable Research Center, Department of Plant Science, Federal University of Viçosa, Minas Gerais State, in a randomized complete blocks design, with eight repetitions in year 2005 and 12 repetitions in year 2006. In the first year had been used the cultivars Andrea, Debora Plus and Rebeca and in second year the cultivars Andrea and Alambra. The plants were grown in two protected environments, being one of them with CO₂ enrichment, and a field area, under natural conditions. The composting pile was used as CO₂ source. Total yield and classified marketable yield were evaluated. The technical for CO₂ enrichment utilized was efficient as CO₂-source, raising concentration to approximately 750 µL/L. The CO₂ enrichment did not influence plant productivity, however, provided greater early yield for Andrea and Debora Plus in the year 2005. Yield in protected environment was bigger than in the open field.

3.1 – INTRODUÇÃO

A característica diferenciadora do cultivo em ambiente protegido, quando comparado ao cultivo em campo, é a presença de barreira (geralmente o plástico) entre a cultura e o ambiente. Essa cobertura causa mudanças nas condições climáticas do ambiente interno comparado ao externo: radiação luminosa e velocidade do ar geralmente são reduzidas, enquanto temperatura e umidade do ar geralmente aumentam (Bakker, 1995).

No campo, as possibilidades de manejar os fatores que controlam o crescimento e rendimento das culturas são muito limitadas. Nesse ambiente, as técnicas de manejo consistem fundamentalmente em ajustar as culturas ao ambiente, mediante o uso de práticas como a época de cultivo, a eficiência de uso da água e a busca de convivência com fatores adversos como ventos, excesso ou escassez de chuvas e outros. Na produção em ambiente protegido, são os fatores do ambiente que podem ser ajustados às plantas buscando o seu crescimento e produção em condições mais propícias (Andriolo, 2000). As possibilidades de manejo são, por isso, muito maiores e, com os avanços recentes da tecnologia, a maior parte dos fatores que influenciam a fisiologia das plantas pode ser manejada ou controlada.

O valor agregado e a elevada produtividade dos cultivos em ambiente protegido proporcionam a possibilidade de investimentos visando melhorar as condições do interior dos ambientes de cultivo. O manejo do clima é considerado uma importante ferramenta no cultivo em ambiente protegido, pois possibilita considerável controle do processo de produção, com certa independência das condições climáticas externas, representando um importante manejo operacional para otimizar o crescimento, a produção e a qualidade do produto.

Um dos fatores determinantes da produção das culturas em ambiente protegido é a concentração de dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera de cultivo. A concentração da atmosfera normal é de $360 \mu\text{L/L}$, e está abaixo daquela capaz de saturar o mecanismo fotossintético da maioria das plantas cultivadas em ambiente protegido (Tremblay e Gosselin, 1998). Como recurso adicional no cultivo em ambiente protegido, pode-se utilizar o enriquecimento da atmosfera de cultivo com CO_2 visando o aumento da atividade fotossintética das plantas. O efeito do aumento da concentração de CO_2 sobre a fotossíntese líquida pode resultar em maior produtividade, desde que outros fatores envolvidos (luz, temperatura, água e nutrientes) não estejam em quantidades limitantes (Mortensen, 1987; Bakker, 1995).

Diversos são os resultados que comprovam a eficiência do enriquecimento de CO_2 no aumento de produtividade de diferentes culturas (Kimball, 1983; Papadopoulos et al., 1997). Islam et al. (1996), trabalhado com tomate cultivado em ambiente enriquecido com CO_2 ($700\text{-}900 \mu\text{L/L}$), verificaram que frutos produzidos em ambiente enriquecido foram maiores que o tratamento controle ($250\text{-}400 \mu\text{L/L}$). Já Reinert et al. (1997) obtiveram incremento de produtividade da ordem de 24% na cultura do tomateiro, cultivado em câmaras com ambiente controlado enriquecidas com CO_2 ($675 \mu\text{L/L}$).

As principais fontes de CO_2 para o enriquecimento em ambiente protegido são: CO_2 puro, combustão de hidrocarbonetos, parafina, e gases como propano, butano e gás natural (Chalabi et al., 2002). Apesar do ganho de produtividade obtido, a viabilidade da utilização do enriquecimento com CO_2 irá depender da margem entre o incremento em produção obtido e o custo para se enriquecer o ambiente de cultivo. Cararo e Duarte (2002) procederam a análise econômica da utilização do CO_2 puro, via água de irrigação e concluíram que a aplicação de CO_2 seria viável apenas se o preço mínimo de venda do kg de tomate fosse de US\$0,97. Considerando o mercado brasileiro, raramente esse preço é pago ao produtor, salvo em exceções quando ocorrem problemas climáticos nas principais regiões produtoras, o que compromete a produção, reduz a oferta e eleva o preço.

A maioria das pesquisas que avaliam a utilização do CO_2 tem sido conduzida em câmaras de crescimento e casa de vegetação, demonstrando que, nestes ambientes, o enriquecimento com CO_2 é eficiente para aumentar a produtividade de muitas espécies (Kimball, 1983; Mortensen, 1987). No entanto, para as condições citadas, geralmente há controle dos fatores climáticos do ambiente de cultivo, facilitando a obtenção de resultados positivos. Para cultivos comerciais nas condições brasileiras, onde há pouco controle das

condições climáticas nos ambientes protegidos, poucos são os resultados disponíveis sobre a utilização e manejo de CO₂. Desta forma, considerando-se o custo elevado da utilização das fontes tradicionais de CO₂ e da escassez de resultados de pesquisa para as condições tropicais, justifica-se o estudo de técnicas de manejo e metodologias alternativas como fonte de CO₂. Assim, este trabalho teve o objetivo de avaliar a utilização, em condições tropicais e comerciais, da compostagem como fonte de CO₂ e seu efeito na produtividade do tomateiro.

3.2 - MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos nos anos de 2005 e 2006, na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

1 – Instalações

Foram utilizadas duas estufas não climatizadas tipo arco, com 24 metros de comprimento e 7,5 metros de largura, e altura do pé direito de 2,4 metros, com volume aproximado de 750 m³ de ar, cortinas laterais retráteis e abertura zenital regulável. Foi designada ‘AP + CO₂’ aquela que recebeu enriquecimento de CO₂ e ‘AP normal’ aquela em que não houve enriquecimento de CO₂. Na cobertura e nas laterais das estufas foi utilizado plástico transparente de 150 micras de espessura. Foi utilizada também uma área de ‘campo’ vizinha, sob condições naturais, sem proteção.

2 - O solo

O solo dos locais de instalação dos experimentos é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, cujo resultado da análise química está apresentado na Tabela 1. No ano 2005 foi retirada uma amostra da área referente aos ambientes protegidos por serem contíguas, distantes apenas 1,5 m uma da outra, e uma amostra da área de campo. No ano seguinte, foram retiradas amostras de cada um dos ambientes protegidos e da área de campo.

3 - Cultivares e delineamento experimental

No experimento do ano 2005 foram utilizadas as cultivares: Andrea, Débora Plus e Rebeca, representando os grupos Italiano, Santa Cruz e Salada, respectivamente. O delineamento utilizado foi blocos casualizados, com oito repetições.

Tabela 1. Resultado das análises químicas de amostras dos solos dos diferentes ambientes de cultivo nos anos de 2005 e 2006

Local	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	MO
	H ₂ O	---mg/dm ³ ---		-----Cmol _c /dm ³ -----							%	dag/kg
EXPERIMENTO ANO 2005												
AP + CO₂ e	6,0	88,0	110	2,6	0,7	0,0	2,64	3,58	3,58	6,22	58	2,12
AP normal												
Campo	5,7	73,3	105	3,3	0,9	0,0	2,64	4,47	4,47	7,11	63	2,77
EXPERIMENTO ANO 2006												
AP + CO₂	5,8	45,1	160	4,0	1,3	0,0	3,47	5,71	5,71	9,18	62	1,71
AP normal	6,0	62,0	270	1,6	1,5	0,0	2,97	6,79	6,79	9,76	70	2,11
Campo	5,9	67,5	188	3,8	1,2	0,0	3,30	5,48	5,48	8,87	62	1,58

Em 2006, foram utilizadas as cultivares Andrea e Alambra, no delineamento em blocos casualizados com 12 repetições. O número de repetições aumentou de oito para 12 com o objetivo de aumentar a precisão do experimento.

Em função do aumento do número de repetições optou-se por reduzir o número de cultivares no segundo experimento. A cv. Débora Plus foi descartada por não ter sido observada resposta ao enriquecimento de CO₂ no experimento do ano 2005. Optou-se por utilizar a cv. Alambra no experimento do ano 2006, em substituição à cv. Rebeca, por ser uma das cultivares de maior destaque comercial no Brasil.

4 - Produção de mudas, espaçamento, transplântio, sistema de condução e tutoramento das plantas

As mudas foram produzidas em bandeja de poliestireno de 128 células, utilizando substrato comercial, sendo transplantadas para o local definitivo com cinco ou seis folhas definitivas. O espaçamento utilizado foi 1,10 m x 0,6 m, entre linhas e plantas, respectivamente. Cada parcela foi constituída por cinco plantas.

No experimento de 2005, a sementeira foi realizada em 22 de abril, e o transplante para o local definitivo no dia 9 de junho; no ano de 2006 a sementeira foi realizada no dia 16 de abril e o transplante ocorreu no dia 16 de maio.

As plantas foram tutoradas no sistema vertical com fitilho e conduzidas com uma haste e oito cachos. Não foi feita poda apical das plantas, mantendo-se apenas o crescimento vegetativo com eliminação das inflorescências acima do oitavo cacho. Esse sistema de condução foi adotado por ser o que proporcionou maior tamanho de frutos no trabalho conduzido por Guimarães (2004).

5 - Irrigação, preparo do solo e adubação e controle fitossanitário

Foi utilizada irrigação localizada com gotejadores, sendo o manejo baseado em lisímetros instalados nos ambientes protegidos e no campo.

O preparo do solo foi feito com auxílio de um microtrator com enxada rotativa. Após o revolvimento do solo foram preparados os sulcos, que receberam adubação de plantio com os seguintes nutrientes e doses: 35 t/ha de esterco bovino, 60 kg/ha de N, 400 kg/ha de P_2O_5 , 120 kg/ha de K_2O , 250 kg/ha de sulfato de magnésio, 400g/ha de molibdato de sódio, 10 kg/ha de bórax, 10 kg/ha de sulfato de cobre e 10 kg/ha de sulfato de zinco.

As adubações de cobertura foram feitas por meio da técnica de fertirrigação semanal, parcelando-se a quantidade total de N e K, de acordo com o número de semanas do ciclo de cultivo do tomateiro. No experimento do ano de 2005 foram aplicadas, em cobertura, quantidades equivalentes a 160 kg/ha de N e 100 kg/ha de K_2O . No experimento do ano de 2006 foram aplicadas as doses relativas a 160 kg/ha de N em cada área de cultivo, 100 kg/ha de K_2O no ambiente protegido com enriquecimento de CO_2 e no campo e 70 kg/ha de K_2O no ambiente protegido sem enriquecimento de CO_2 .

O controle fitossanitário foi realizado utilizando-se fungicidas e inseticidas, quando necessário.

6 - Enriquecimento de CO_2

O enriquecimento no AP + CO_2 teve como fonte de CO_2 pilhas de compostagem (Figura 1). Durante o ciclo de cultivo no ano de 2005 foram feitas duas pilhas de compostagem, sendo a primeira construída no dia 08 de julho de 2005 e a segunda no dia

09 setembro. No experimento de 2006 foram utilizadas três pilhas de compostagem. A primeira foi montada no dia 19 maio, a segunda em 19 de junho e a terceira no dia 5 de agosto de 2006. A montagem das pilhas em seqüência se fez necessária pois a medida que avança o processo de compostagem, a evolução do carbono na forma de CO₂ diminui, tornando-se insuficiente para manter elevada a concentração do CO₂ no interior da estufa.

A composição média das pilhas foi de 90 carrinhos de mão de capim elefante cv. Napier (*Pennisetum purpureum*) e 30 carrinhos de mão de esterco de aves (proporção 3:1), o que totalizou um volume aproximado de 8 m³ de material no início do processo de compostagem.

Para que o processo de compostagem ocorresse de forma adequada foram feitas reviradas semanais das pilhas, com o objetivo de homogeneizar a matéria orgânica, corrigir a umidade (que deve permanecer entre 50% e 60%), temperatura (ideal 60°C) e manter a aeração (Kiehl, 1985), de forma a garantir a atividade microbiana e a liberação do CO₂.

Para forçar a circulação do ar e homogeneização da atmosfera no interior dos ambientes protegidos foram instalados ventiladores, que eram ligados no início da manhã e desligados às 10h30min quando as laterais das estufas eram abertas. Cada ambiente protegido possuía dois ventiladores, instalados em lados opostos, de modo a proporcionar a circulação da massa de ar.



Figura 1. Pilha de compostagem utilizada como fonte de CO₂ no AP + CO₂.

7 -Demanda de CO₂ pelo tomateiro

Segundo Hand (1982), o tomateiro cultivado em casa de vegetação demanda, aproximadamente, 2,2 gramas de CO₂ m⁻² h⁻¹ durante o inverno e 4,7 gramas de CO₂ m⁻² h⁻¹ durante o verão. Fulford (1986), entretanto, relata a necessidade de 5 a 10 g m⁻² h⁻¹, ou 40 a 80 g de CO₂ m⁻² dia⁻¹. Assim, utilizando-se, como base de cálculo, a demanda de 8 g CO₂ m⁻² h⁻¹, durante um período de 4 horas por dia de enriquecimento, para um ambiente protegido com 180 m² tem-se a demanda diária de, aproximadamente, 5.760 g de CO₂. Utilizando-se o valor aproximado de liberação de 3 kg de CO₂ por tonelada de material em compostagem por dia, pode-se estimar que uma pilha com 4,8 m³ de material orgânico, na densidade média de 0,4 t/m³, terá capacidade de gerar 5.670 g de CO₂ por dia. Assim, adotando-se uma margem de segurança, foram elaboradas pilhas de compostagem de 8,0 m³, com potencial de gerar 3,2 t de composto e liberar aproximadamente 9.600 g de CO₂ por dia, valor suficiente para elevar a concentração de CO₂ no interior do ambiente protegido.

8 – Colheita

No ano de 2005 as colheitas iniciaram em 5 de setembro e terminaram no dia 31 de outubro, totalizando 10 colheitas. No ano de 2006 as colheitas foram iniciadas no dia 30 de agosto, terminando no dia 18 de outubro, totalizando sete colheitas.

9 - Caracterização climática dos ambientes

A concentração de CO₂ na atmosfera foi monitorada por sensor de CO₂ (GMW20 – VAISALA), instalado a 1,80 m de altura. Os ambientes protegidos permaneceram fechados até as 10h30min, quando a temperatura atingia valores elevados (acima de 30°C) sendo necessária a abertura das laterais para resfriar o ambiente interno. Às 16h os ambientes protegidos eram fechados, para que o CO₂ gerado até o dia seguinte não fosse perdido para a atmosfera. No ano 2005 as anotações das leituras do sensor de CO₂ às 7h e às 10h30min foram manuais, e no ano 2006 os dados foram armazenados por um sistema eletrônico, com leituras a cada 10 minutos.

10 - Variáveis analisadas

Foram avaliadas a produção comercial classificada e a produção total de frutos. Na classificação dos frutos considerou-se a indicação da Embrapa Hortaliças (Luengo et al., 1999). De acordo com a classificação proposta, o tomate é classificado em dois grupos, de acordo com o formato do fruto: Oblongo – quando o diâmetro longitudinal for maior que o transversal (neste grupo se enquadram as cv. Débora Plus e Andrea) e Redondo – quando o diâmetro longitudinal for menor que o diâmetro transversal (Rebeca e Alambra).

De acordo com o maior diâmetro transversal, os frutos oblongos e redondos foram classificados conforme a Tabela 2.

Para determinação da produção comercial foram descartados todos os frutos danificados, independente da causa. Também não foram incluídos nesse grupo, frutos com diâmetro transversal menor que 40 mm para frutos oblongos e frutos com diâmetro transversal menor que 50 mm para frutos redondos. A produção total refere-se ao somatório do peso de todos os frutos colhidos, independente da presença de defeitos ou do tamanho.

O índice de precocidade foi avaliado como a soma das três primeiras colheitas dividida pela soma do total das colheitas e indica se há concentração da produção nas primeiras colheitas.

Tabela 2 - Classificação de frutos de tomateiro de acordo com o diâmetro transversal do fruto

Classes ou calibres	Maior diâmetro transversal do fruto (mm)	
	Oblongo	Redondo
Gigante	-	Maior que 100
Grande	Maior que 60	Maior que 80 até 100
Médio	Maior que 50 até 60	Maior que 65 até 80
Pequeno	Maior que 40 até 50	Maior que 50 até 65

As análises estatísticas referentes aos dados de produção foram feitas individualmente para cada cultivar já que elas representam diferentes grupos (salada, santa cruz e italiano) e, neste caso, não se justifica a análise conjunta e comparações entre esses cultivares, em função de suas distintas características genéticas. Para comparações estatísticas, as estimativas das médias foram submetidas à análise de variância e teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, no Sistema para Análises Estatísticas – SAEG.

3.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pilha de compostagem foi eficiente como método para enriquecer a concentração de CO₂ no AP + CO₂ (Figuras 2 e 3). Durante o período da manhã (até as 10h30min), quando o ambiente protegido permaneceu fechado, a concentração de CO₂ variou, na maior parte do tempo, de 650 µL/L a 800 µL/L. No início da manhã observou-se maior concentração de CO₂, que foi reduzida pelo aumento da assimilação das plantas no processo fotossintético. Instantes antes da abertura das cortinas, que ocorria às 10h30min, a concentração esteve próxima de 550 µL/L.

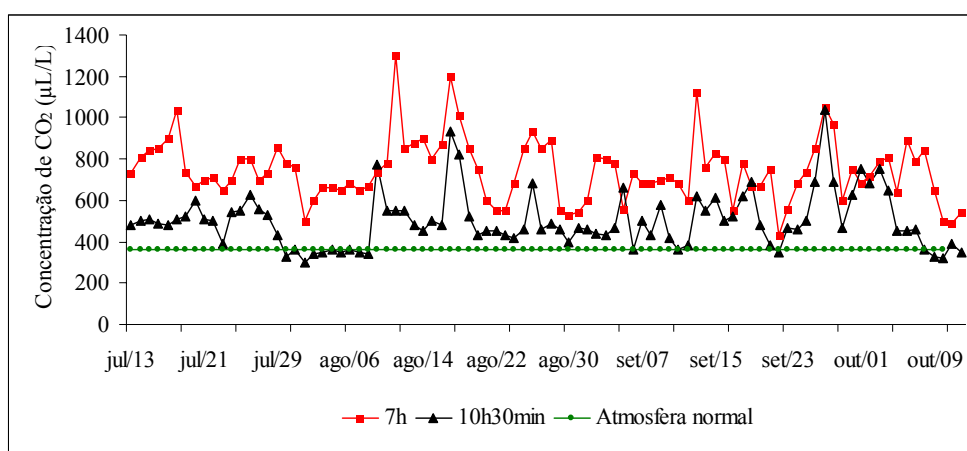


FIGURA 2 - Concentração de CO₂ às 7h e 10h30min no AP + CO₂ e concentração da atmosfera normal (campo) no ano 2005.

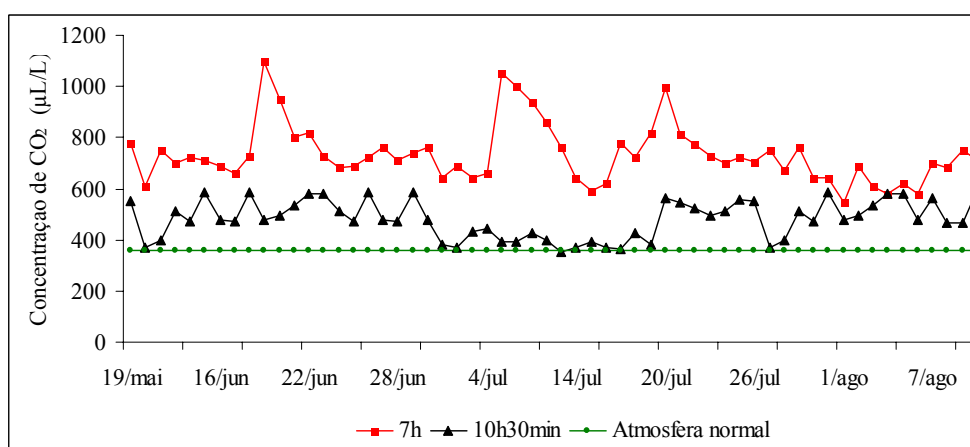


FIGURA 3 - Concentração de CO₂ às 7h e às 10h30min no AP + CO₂ e concentração da atmosfera normal (campo) no ano 2006.

Os picos observados nos gráficos estão relacionados com os momentos de revirada das pilhas, onde há desprendimento de grande quantidade de CO₂ ou, eventualmente, a dias nublados onde a atividade fotossintética é mínima. A partir da segunda quinzena do mês de

agosto do ano 2006 os dados da concentração de CO₂ foram perdidos por problemas no sistema de aquisição de dados.

De acordo com Streck (2005), a concentração de CO₂ indicada para a maioria das culturas (classificadas como C3) em ambiente protegido varia de 700 a 900 µL/L, e é suficiente para bons resultados fisiológicos. Observa-se que, para a maioria das culturas classificadas fisiologicamente como plantas C3, o enriquecimento da atmosfera com CO₂ até 800 µL/L, aproximadamente, proporciona resposta linear na assimilação de carbono e, a partir de 900 µL/L a resposta é pequena, não justificando o investimento com enriquecimento.

Não foi observada diferença entre os ambientes de cultivo no que diz respeito à produção classificada e a produção comercial de frutos da cv. Débora Plus no ano 2005 (Tabela 3). Houve variação na precocidade de produção das plantas, que foi maior no AP + CO₂ (30,86%) seguido do AP normal (23,81%) e campo (11,18%).

A precocidade de produção é resposta comumente observada em ambientes com enriquecimento de CO₂ (Kimball, 1983), e está relacionada com o desenvolvimento mais rápido da planta em função da maior atividade fotossintética. Da mesma forma, em cultivos em ambiente protegido também se observa maior precocidade de produção quando comparados ao cultivo no campo. No ambiente protegido há melhor aproveitamento, pelas plantas, da água e nutrientes (Martins et al., 1999). Além disso, a maior temperatura no interior do ambiente protegido acelera o desenvolvimento das plantas e as tornam mais precoces do que as cultivadas no campo (Andriolo, 2000).

Analisando-se os dados de produção da cv. Andrea, no ano 2005, observou-se diferença na produção de frutos médios e grandes entre ambientes de cultivo (Tabela 3). Houve maior produção de frutos médios no campo, comparado ao AP + CO₂ e maior produção de frutos grandes nos AP + CO₂ e AP normal, quando comparados ao campo. Não houve diferença, entre os ambientes de cultivo, na produção de frutos comerciais. A contribuição dos frutos pequenos na produção comercial foi de 10,96%, 10,71% e 12,63%, no AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente. Frutos de tamanho médio representaram 64,17%, 69,55% e 78,30% da produção comercial nos AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente e os frutos de tamanho grande foram responsáveis por 24,86%, 19,72% e 9,05% da produção comercial nos AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente. Observou-se também que houve maior precocidade das plantas da cv. Andrea cultivadas no AP + CO₂, seguidas por aquelas cultivadas no AP normal e campo.

Em termos comerciais, frutos de tamanho médio e grande, cujo diâmetro é maior que 50 mm para o grupo oblongo e entre 65 mm e 100 mm para os frutos redondos são os mais valorizados. Abaixo desses valores os frutos são considerados pequenos (com baixo valor comercial) e acima, fora do padrão comercial com baixa aceitação no mercado.

Tabela 3. Produção (g/pl) de frutos de diferentes calibres (pequeno, médio e grande), produção comercial (g/pl) e índice de precocidade (IP, %) de plantas de tomateiro das cvs. Andrea e Rebeca cultivadas em AP + CO₂, AP normal e campo, no ano 2005

Ambientes	Peso frutos			Produção		IP
	Pequenos	Médios	Grandes	Comercial	Total	
Cultivar Andrea						
AP + CO ₂	571,52 ^{ns}	3345,00 b	1295,92 a	5212,44 ^{ns}	5655,57 ^{ns}	25,34 a
AP normal	550,82 ^{ns}	3573,87 ab	1013,73 a	5138,42 ^{ns}	5475,15 ^{ns}	20,39 b
Campo	663,37 ^{ns}	4111,00 a	475,60 b	5249,97 ^{ns}	5666,97 ^{ns}	9,89 c
Débora Plus						
AP + CO ₂	178,63 ^{ns}	1302,80 ^{ns}	3761,20 ^{ns}	5242,63 ^{ns}	5760,45 ^{ns}	30,86 a
AP normal	161,47 ^{ns}	1187,50 ^{ns}	3625,19 ^{ns}	4974,16 ^{ns}	5440,67 ^{ns}	23,81 b
Campo	72,77 ^{ns}	1301,75 ^{ns}	3858,77 ^{ns}	5233,29 ^{ns}	5603,77 ^{ns}	11,18 c
Cultivar Rebeca						
AP + CO ₂	1597,15 a	5717,32 ^{ns}	891,50 ^{ns}	8205,97 ^{ns}	8341,35 ^{ns}	22,92 a
AP normal	1157,37 b	5726,76 ^{ns}	887,98 ^{ns}	7772,11 ^{ns}	7851,05 ^{ns}	21,44 a
Campo	1374,02 ab	5717,22 ^{ns}	769,95 ^{ns}	7861,19 ^{ns}	7931,60 ^{ns}	9,57 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$).

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Para a cultivar Rebeca, no ano 2005, foi observada diferença apenas na produção de frutos de tamanho pequeno (Tabela 3), com maior produção no AP + CO₂ em relação ao AP normal. Frutos pequenos da cv. Rebeca representaram 19,46%, 14,89% e 17,47% da produção comercial nos AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente. Frutos de tamanho médio, por sua vez, contribuíram com 69,67%, 73,68% e 72,72% da produção comercial no AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente e frutos de tamanho grande representaram 10,86%, 11,42% e 9,79%, da produção comercial no AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente. Houve maior precocidade de produção nas plantas cultivadas no AP + CO₂ e AP normal, comparados ao campo.

No experimento do ano 2006, para a cv. Andrea, observou-se diferença apenas na produção de frutos pequenos (Tabela 4), que foi maior no campo, seguida do AP + CO₂ e AP normal. Os frutos de tamanho pequeno contribuíram com 26,75%, 20,80% e 29,74% da produção comercial no AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente. As contribuições aproximadas de frutos de tamanho médio e grande na produção comercial foram, em média, de 57% e 17% respectivamente.

Com relação à precocidade, observou-se que as plantas no AP normal foram mais precoces que as do campo e semelhantes às do AP + CO₂.

Tabela 4. Produção (g/pl) de frutos de diferentes calibres (pequeno, médio e grande), produção comercial (g/pl) e índice de precocidade (IP, %) de plantas de tomateiro das cvs. Andrea e Alambra cultivadas em AP + CO₂, AP normal e campo, no ano 2006

Ambientes	Peso frutos			Produção		IP
	Pequenos	Médios	Grandes	Comercial	Total	
Cultivar Andrea						
AP + CO ₂	1364,31 b	2759,05 ^{ns}	975,52 ^{ns}	5098,88 ^{ns}	5658,05 ^{ns}	45,83 ab
AP normal	1053,42 c	3230,44 ^{ns}	779,41 ^{ns}	5063,27 ^{ns}	5493,26 ^{ns}	51,00 a
Campo	1654,09 a	2980,24 ^{ns}	927,24 ^{ns}	5561,57 ^{ns}	5666,97 ^{ns}	39,17 b
Cultivar Alambra						
AP + CO ₂	2017,50 ^{ns}	5116,00 a	2120,39 ab	9253,89 a	9394,47 a	54,17 a
AP normal	2083,75 ^{ns}	4818,00 ab	2619,83 a	9521,58 a	9717,36 a	50,08 a
Campo	2435,83 ^{ns}	4391,00 b	1514,16 b	8340,99 b	8653,63 b	38,83 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey (P≥0,05).

^{ns} – não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Para a cv. Alambra, cultivada no ano 2006 (Tabela 4), não foi observada diferença na produção de frutos pequenos entre os ambientes de cultivo. A produção de frutos médios foi maior no AP + CO₂ comparado ao campo e a produção de frutos grandes foi maior no AP normal comparado ao campo. A produção de frutos comerciais e o índice de precocidade foram maiores no AP + CO₂ e AP normal comparados ao campo.

A contribuição dos frutos pequenos na produção comercial foi de 21,80%, 21,88% e 29,20%, nos AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente. Frutos de tamanho médio contribuíram com 55,28%, 50,60% e 52,64% nos AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente e frutos grandes contribuíram com 22,91%, 27,51% e 18,15% da

produção comercial nos AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente. Observou-se maior precocidade nas plantas cultivadas nos ambientes protegidos, independente da concentração de CO₂ na atmosfera.

Os resultados obtidos não revelam ganhos de produção na magnitude que geralmente são citados na literatura (quando se eleva o teor de CO₂ para valores próximos ao dobro do teor normal da atmosfera). É comum a menção de incrementos da ordem de 20% a 30% (Streck, 2005). Possivelmente, algum fator climático, ou interação entre eles, juntamente com aspectos de manejo do ambiente, podem ter sido responsáveis pela limitação de resposta ao incremento de CO₂.

Deve-se considerar que a maioria das pesquisas que avaliam a utilização do CO₂ são conduzidas em ambientes controlados ou em câmaras de crescimento, onde os fatores climáticos são ajustados de modo a maximizar a resposta das plantas. Para as condições climáticas do Brasil e em cultivos comerciais, poucos são os estudos da aplicação do enriquecimento de CO₂. Em função da localização geográfica brasileira, tem-se na temperatura um fator de restrição ao uso dessa técnica, pois implica na necessidade de manter a temperatura do ambiente de cultivo dentro da faixa adequada para a cultura pela utilização de sistemas de resfriamento (de elevado custo e pouca utilização por parte dos produtores), ou pela ventilação natural, que leva à perda de CO₂ para a atmosfera, inviabilizando a técnica.

A necessidade de manejo do microclima interno para controle da temperatura (abertura das cortinas laterais e queda da concentração de CO₂ para 360 µL/L) nos ambientes protegidos pode estar relacionada com os resultados obtidos nesse trabalho. Embora o período de maior atividade fotossintética das plantas seja o período da manhã (Taiz e Zeiger, 2004), Calvert e Slack (1975) citam que o ideal no cultivo com enriquecimento de CO₂, para a cultura do tomateiro, é que as plantas fiquem expostas à elevada concentração durante todo o dia. Nesta situação é que se obtêm os melhores resultados de resposta fisiológica.

O manejo diário das cortinas se fez necessário pois, após as 10h30min, a temperatura ultrapassava os 32°C. Como não havia sistema de resfriamento, o manejo de cortinas se tornou obrigatório para evitar excesso de temperatura. Há relatos na literatura de problemas fisiológicos em plantas de tomateiro causados por temperatura superior a 30°C. Entre eles podemos citar a diminuição da viabilidade e taxa de germinação do grão de pólen (Sato et al., 2002); aumento da fotorrespiração (Taiz e Zeiger, 2004), entre outros.

Da mesma forma, a eficiência fotossintética é afetada pela temperatura do ar, existindo faixa de temperatura ótima para cada espécie. Quando a temperatura máxima é ultrapassada, ocorre redução rápida da eficiência fotossintética (Taiz e Zeiger, 2004). Para o tomateiro, apesar da sua tolerância a ampla variação de temperatura, média diurna próxima a 25°C é considerada ideal (Carrijo e Makishima, 2003).

A umidade relativa do ar é outro fator climático que pode estar relacionado ao resultado obtido. Como o ambiente protegido deve permanecer fechado para que ocorra o enriquecimento, ocorre também o acúmulo de umidade no interior da estufa proveniente da evapotranspiração (Andriolo, 2000). Alguns trabalhos sugerem que ocorre aumento da taxa fotossintética com o aumento da umidade relativa do ar por haver maior condutância estomática (Grange e Hand, 1987). Entretanto, umidade elevada pode provocar desordens fisiológicas devido à menor transpiração da planta e, conseqüentemente, redução da absorção de nutrientes (Adams e Holder, 1992), comprometendo o seu desenvolvimento. Gislerod et al. (1987) observaram que o aumento da umidade relativa de 55% para 95% reduziu a transpiração do tomateiro em 44%, o conteúdo de K de 5,49 mg/100g para 2,82 mg/100g de massa seca, o conteúdo de Ca de 3,46 mg/100g para 2,36 mg/100g de massa seca e o de Mg de 0,55 mg/100g para 0,39 mg/100g. Del Amor e Marcelis (2006) demonstraram que, com o aumento da umidade relativa de 75% para 90%, houve redução da massa seca total de plantas de tomateiro e da área foliar total, além de aumento na partição de fotoassimilados para o caule e redução da partição para as folhas.

Além dos efeitos da umidade relativa na fisiologia das plantas, há outros que devem ser considerados, como por exemplo, a condensação do vapor de água na face interna da cobertura plástica. As gotas de água formadas reduzem a transmissividade à luz do material de cobertura, pois o trajeto percorrido pelos raios solares que incidem sobre as gotículas é alterado. As gotículas desviam a trajetória dos raios em diversas direções e que uma parte importante da radiação é refletida de volta para a atmosfera (Andriolo, 1999). Conseqüentemente, na presença de gotículas de água, a transmissividade do material de cobertura pode ser reduzida em até 50%.

É importante se considerar que, com o aumento da concentração de CO₂ no ambiente de cultivo, aumenta também a exigência da planta em radiação para suprir a maior taxa fotossintética. Com a redução da radiação causada pelo plástico de cobertura, somada à redução em função da presença de água condensada na superfície interna do

plástico, a radiação que atingiu o dossel das plantas pode ter sido insuficiente para que houvesse assimilação do CO₂ disponível.

Cockshull et al. (1992), ao avaliar o efeito da luz em plantas de tomateiro, constataram que o aumento de 1% na radiação fotossinteticamente ativa proporcionou aumento de aproximadamente 1% no rendimento do tomateiro. Segundo os autores, mesmo em regiões que dispõem de abundante radiação solar, como o sudeste espanhol, onde a densidade de fluxo quântico é de 900 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, tem-se valores aquém do ponto lumínico superior para a cultura do tomateiro que é de 1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Martins et al., 1999). Em dados simulados citados por Heuvelink e Dorais (2005), o aumento na concentração de CO₂ de 350 para 1000 $\mu\text{L}/\text{L}$ aumentou a fotossíntese em 33% e 43 % em 500 e 1500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, respectivamente.

Embora não tenha sido quantificado, observou-se intenso enrolamento das folhas no AP + CO₂, principalmente na cv. Andrea. Tripp et al. (1991a,b) observaram associação entre enrolamento foliar e acúmulo de amido no tecido foliar de plantas de tomateiro cultivadas em ambiente enriquecido com CO₂. O acúmulo de carboidratos nos cloroplastos tem sido relacionado por diversos autores a um mecanismo de regulador da taxa fotossintética da planta (Stitt, 1991). Se o acúmulo de carboidratos está relacionado com elevada relação fonte/dreno, como observado por Aloni e Karni (2002) em pimentão, pode-se considerar que o efeito benéfico da elevada concentração de CO₂ será determinado pelo balanço entre a produção de fotoassimilados e a utilização desses nos órgãos dreno. Portanto, é possível que a eficiência produtiva das plantas no cultivo com enriquecimento de CO₂ seja aumentada deixando-se maior número de frutos na planta, que resultará em maior dreno de fotoassimilados.

O sistema de condução das plantas utilizado, que limitou o número de cachos a oito, pode ter limitado a capacidade produtiva da planta. Essa restrição pode ter colocado todas as plantas, mesmo em ambientes com diferentes capacidades produtivas, em situação de igualdade de produção. É possível que, com maior número de frutos por planta, consiga-se aproveitar o potencial de produção dos ambientes, principalmente no caso do ambiente com enriquecimento de CO₂.

No tocante à produção da cv. Alambra, observou-se menor produção de frutos comerciais quando as plantas foram cultivadas no campo (Tabela 4). Uma das características do cultivo em ambiente protegido é resguardar as plantas de condições climáticas adversas, entre elas a chuva. Como o tomateiro é susceptível a mais de uma

centena de doenças (Lopes et al., 2003) e, para o desenvolvimento da maioria dessas doenças é necessário que se tenha água no dossel da planta (Kimati et al., 1997), tem-se no ambiente protegido menor possibilidade de ocorrência de doenças.

3.3.1 - Conclusões

A compostagem foi eficiente como fonte de CO₂ para o ambiente protegido, elevando a concentração para valores próximos a 750 µL/L durante o período em que o ambiente protegido permaneceu fechado. O enriquecimento com CO₂ não alterou a produtividade das plantas das cultivares Andrea, Débora Plus, Rebeca e Alambra. Entretanto, as plantas das cvs. Andrea e Débora Plus cultivadas no ano 2005 foram mais precoces no ambiente protegido com enriquecimento de CO₂.

3.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, P.; HOLDER, R. Effects of humidity, Ca and salinity on the accumulation of dry matter and Ca by the leaves and fruit of tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Journal of Horticultural Science**, v. 67, p. 137-142, 1992.

ALONI, B.; KARNI, K. Effects of CO₂ enrichment on yield, carbohydrate accumulation and changes in the activity of antioxidative enzymes in bell pepper (*Capsicum annum*L.) **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 77, n. 5, p. 534-540, 2002.

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

ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 26-33, suplemento, 2000.

BAKKER, J.C. Greenhouse climate control: constraints and limitations. **Acta Horticulturae**, n. 399, p. 25-35, 1995.

CALVERT, A., SLACK, G. Effects of carbon dioxide enrichment on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. Responses to controlled concentrations. **Journal of Horticultural Science**, v.50, p. 61-71, 1975.

CARARO, D.C.; DUARTE, S. Injeção de CO₂ e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n.3, p. 432-437, 2002.

CARRIJO, O.A.; MAKISHIMA, N. Cultivo do tomate em casa de vegetação. **Informe Agropecuário**, v. 24, n. 219, p. 98-103, 2003.

CHALABI, Z.S.; BIRO, A.; BAILEY, B. J.; AIKMAN, D. P.; COCKSHULL, K. E. Optimal Control Strategies for Carbon Dioxide Enrichment in Greenhouse Tomato Crops, Part II: Using the Exhaust Gases of Natural Gas Fired Boilers. **Biosystems Engineering**, v.81, n.3, p. 323-332, 2002.

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

DEL AMOR, F.M.; MARCELIS, L.F.M. Differential effect of transpiration and Ca supply on growth and Ca concentration of tomato plants. **Scientia Horticulturae**, v.111, p. 17-23, 2006.

GRANGE, R.I.; HAND, D.W. A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. **Journal of horticultural Science**, v.62, n.1, p.125-134, 1987.

GISLEROD, H.R.; SELMER-OLSEN, A.R.; MORTENSEN, L.M. The effect of air humidity on nutrient uptake of some plants. **Plant and Soil**, v. 102, p. 193-196, 1987.

GUIMARÃES, M.A. **Influência da poda apical e da posição do cacho de tomate no crescimento da planta e qualidade do fruto**. 2004, 93f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

HAND, D.W. CO₂ enrichment, the benefits and problems. **Scientific Horticulturae**, v. 33, p.14-43, 1982.

HEUVELINK, E.; DORAIS, M. Crop growth and yield. In: Heuvelink, E. (Ed.) **Tomatoes**. CABI, Wallingford, 2005. p.85-114.

ISLAM, S.; MATSUI, T.; YOSHIDA, Y. Effect of carbon dioxide enrichment on physico-chemical and enzymatic changes in tomato fruits at various stages of maturity. **Scientia Horticulturae**, v. 65, n. 2/3, p. 137-148, 1996.

FULFORD, B., 1986. **Composting Greenhouse at New Alchemy Institute: A Report on Two Years of Operation and Monitoring**.(PDF) Research Report No. 3, New Alchemy Institute. Disponível em: <<http://www.vsb.cape.com/%7Enature/greencenter/compost.pdf>>. Acessado em: 25/06/2007.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Agronômica Ceres, São Paulo, 1985. 492p.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de Fitopatologia**. Ceres. 3 ed. São Paulo. v. 2. 1997. 774p.

KIMBALL, B.A. Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 330 prior observations. **Agronomy Journal**, v.75, p. 779-788, 1983.

LONGUESSE, J.J. Influence of CO₂ enrichment regime on photosynthesis and yield of a tomato crop. **Acta Horticulturae**, n. 268, 63-70, 1990.

LOPES, C.A.; REIS, A.; ÁVILA, A.C. Principais doenças do tomate para mesa causadas por fungos, bactérias e vírus. **Informe Agropecuário**, v. 24, n. 219, p. 66-78. 2003.

LUENGO, R.F.A.; CALBO, A.G.; LANA, M.M.; MORETTI,C.L.; HENZ, G.P. **Classificação das hortaliças**. Brasília: Embrapa-CNPQ, 1999. 73 p. (Embrapa-CNPQ. Documentos, 22).

MARTINS, S.R.; FERNANDES, H.S.; ASSIS, F.N.; MENDEZ, M.E.G. Caracterização climática e manejo de ambientes protegidos: a experiência brasileira. **Informe Agropecuário**, v.20, n.200/201, p. 15-23, 1999.

MORTENSEN, L.M. Review: CO₂ enrichment in greenhouse. Crop responses. **Scientia Horticulturae**, v. 33, p. 1- 25, 1987.

PAPADOPOULOS, A.P.; PARARAJASINGHAM, S.; SHIPP, J.L.; JARVIS, W.R.; JEWETT, T.J.; CLARKE, N.D. Integrated management of greenhouse vegetable crops. **Horticultural Reviews**, v.21, p.1-39, 1997.

REINERT, R. A.; EASON, G.; BARTON, J. Growth and fruiting of tomato as influenced by elevated carbon dioxide and ozone. **New Phytologist**, v. 137, n. 3, p. 411-420, 1997.

SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SATO, S.; PEET, M.M.; THOMAS, J.F. Determining critical pre- and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. Exposed to moderately elevated temperatures. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 1187-1195, 2002.

STITT, M. Rising CO₂ levels and their potential significance for carbon flow in photosynthetic cells. **Plant Cell and Environment**, v 14, p. 741-762, 1991.

STRECK, N.A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.730-740, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 Ed. Traduzida. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TREMBLAY, N.; GOSSELIN, A. Effect of Carbon Dioxide Enrichment and Light. **HortTechnology**, v. 8, n. 4, p. 524-528, 1998.

TRIPP, K.E.; PEET, M.M.; PHARR, D.M.; WILLITS, D.H.; NELSON, P.V. CO₂-enhanced yield and foliar deformation among tomato genotypes in elevated CO₂ environments. **Plant Physiology**, v. 96, p. 713-719, 1991.

TRIPP, K.E.; PEET, M.M.; PHARR, D.M.; WILLITS, D.H. CO₂-enhanced foliar deformation of tomato: Relationship to foliar starch concentration. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 116, p. 876-880, 1991.

YELLE, S.; BEESON JR, R.C.; TRUDEL, M.J.; GOSSELIN, A. Acclimation of two tomato species to high atmospheric CO₂ – I sugar and starch concentrations. **Plant Physiology**, v, 90, p.1465-1472, 1989a.

YELLE, S.; BEESON JR, R.C.; TRUDEL, M.J.;GOSSELIN, A. Acclimation of two tomato species to high atmospheric CO₂ – II Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and phosphoenolpyruvate carboxylase. **Plant Physiology**, v. 90, p.1473-1477, 1989b.

4.0 – QUALIDADE DO TOMATE PRODUZIDO EM AMBIENTE PROTEGIDO COM E SEM ENRIQUECIMENTO DE CO₂ PROVENIENTE DA COMPOSTAGEM

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de frutos de tomateiro produzidos em ambiente protegido com e sem enriquecimento de CO₂ e no campo. Foram realizados dois cultivos de outono-inverno nos anos 2005 e 2006, na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, MG. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com oito repetições no ano 2005 e com 12 repetições no ano 2006. No primeiro ano foram utilizadas as cultivares Andrea, Débora Plus e Rebeca e no segundo as cultivares Andrea e Alambra. As plantas foram cultivadas em dois ambientes protegidos, sendo um deles com enriquecimento de CO₂, e uma área de campo, sob condições naturais. O enriquecimento com CO₂ foi obtido pela utilização de pilha de compostagem, com concentração variando de 650 µL/L a 750 µL/L. Foram analisadas a acidez total titulável (ATT), teor de sólidos solúveis totais (SST), pH e relação SST/ATT. No experimento do ano 2006 também foram analisadas a firmeza e espessura do mesocarpo dos frutos, que não diferiram entre os ambientes de cultivo. No ano 2005, o pH variou de 3,79 a 4,40, com valores mais elevados no AP normal. Em 2006, não houve diferença no pH dos frutos do Andrea e o pH dos frutos da cv. Alambra foi maior no AP normal. O teor de SST variou entre 2,94 °Brix e 4,88 °Brix, sendo maior nos frutos produzidos no campo no ano 2005, exceto nos frutos da cv. Andrea, que foi semelhante entre os ambientes. No ano 2006 foi semelhante nos AP + CO₂ e campo. A ATT variou de 0,23% a 0,30% e, no ano 2005, apenas a cv. Andrea apresentou variação entre os ambientes de cultivo, sendo maior no

campo. No ano 2006 também foi observada maior acidez nos frutos produzidos no campo. A relação SST/ATT variou de 11,90 a 16,75 e, no ano 2005, foi maior nos frutos da cv. Rebeca produzidos no campo. No ano 2006, entretanto, na cv. Andrea a relação foi semelhante entre o AP + CO₂ e o campo e na cv. Alambra foi maior no AP + CO₂. O enriquecimento com CO₂ melhorou a qualidade dos frutos produzidos no AP + CO₂ no ano 2006, no que se refere ao teor de SST e à relação SST/ATT, pois se assemelhou à dos frutos produzidos no campo, ambiente onde a qualidade dos frutos é geralmente melhor que em ambiente protegido.

ABSTRACT

This study aimed to assess the quality of tomato fruit produced in protected environment with and without CO₂ enrichment, and in field condition. There were two crops of autumn-winter in the years 2005 and 2006 in the Department of Plant Science, at Federal University of Viçosa, MG. It was used in the randomized complete blocks design with eight repetitions in the year 2005 and 12 repetitions in the year 2006. In the first year were used Andrea, Deborah Plus and Rebeca cultivars and in the second year the cultivars Andrea and Alambra. The plants were grown in two protected environments, one with CO₂ enrichment, and a field grown area, under natural conditions. Composting pile was used as a CO₂ source in one protected environment. It was analyzed the total titratable acidity (TTA), total soluble solid content (TSS), pH and TSS/TTA ratio. In the year 2006 were evaluated the thickness of mesocarp and fruit firmness of fruit which did not differ between the environments analyzed. In the year 2005, pH range from 3,79 - 4,40, with higher values in the AP normal. In 2006's crop didn't have difference on pH of the Andrea fruits, and Alambra's pH was higher on AP normal. The TSS content ranged between 2.94 - 4.88 °Brix, and was higher in fruits produced in the field in the year 2005, except for fruits of Andrea there was similar between environments. In the 2006, TSS was similar in AP + CO₂ and field. TTA ranged from 0.23 - 0.30%, and in the year 2005, only cv. Andrea showed variation between environment, being higher in the field. In 2006 a higher acidity was also observed in fruit produced in the field. The TSS/TTA ranged from 11.90 - 16.75 and, in 2005, was highest for cv. Rebeca grown in the field. In 2006, however, the ratio on Andrea's fruits was similar on AP + CO₂ and in the field, and in Alambra was higher in the AP + CO₂.

4.1 – INTRODUÇÃO

Produzir alimentos de alta qualidade é uma importante estratégia comercial e uma tendência do mercado atual, que contribui para o sucesso competitivo no mercado brasileiro e mundial. No caso do tomate de mesa, o conceito de qualidade se refere àqueles atributos que o consumidor consciente ou inconscientemente estima que o produto deva possuir. Atualmente têm-se observado mudanças no comportamento do consumidor, que passou a ser questionador, buscando qualidade, produtos frescos e bom preço.

Um conceito mais elaborado sobre qualidade de um alimento é aquele que, segundo a ciência dos alimentos, é composto pelas características que diferenciam unidades individuais de um produto, sendo significativa na determinação do grau de aceitabilidade pelo comprador (Chitarra e Chitarra, 1990). Apesar dos aspectos visual (forma e cor) e físico (firmeza) serem os principais influenciadores do consumidor no momento da compra dos produtos, tem-se observado também a preferência por produtos com melhor sabor e composição nutricional.

Considerando-se a produção brasileira de tomate para mesa, observa-se que este segmento tem experimentado intensa evolução tecnológica nos últimos anos. Dentre os principais fatores evolutivos está o melhoramento genético, que tem buscado, principalmente, aumento de produtividade e maior vida pós-colheita para os frutos. Na área da fisiologia pós-colheita tem-se grande interesse na redução das perdas, que tem sido conseguida pela utilização e manipulação de genes envolvidos no processo de amadurecimento dos frutos do tomateiro. Entre esses genes estão o *never ripe (Nr)*, *ripening inhibitor (rin)*, *nor-ripening (nor)* e o *alcobaça (alc)*, cada um conferindo diferente grau de efeito no amadurecimento dos frutos (Hobson e Grierson, 1993).

No mercado nacional tem-se observado boa aceitação, por parte dos produtores e comerciantes de tomate, dos híbridos longa vida que, além de elevada produtividade, conferem menores perdas pós-colheita. Atualmente, os híbridos longa vida representam a maior parte do mercado de tomate para consumo *in natura* (cerca de 75%). A maior firmeza e vida de prateleira dos frutos destes híbridos possibilitam maior flexibilidade para a comercialização em relação às variedades tradicionais, além de menor perda nas operações de preparo, transporte e comercialização (Della Vechia e Koch, 2000). Além disso, a utilização de híbridos F1 proporciona aumentos potenciais de produtividade da ordem de 25% a 40%, quando comparado com cultivares não híbridas (Mello et al., 1988).

No entanto, o valor nutricional e organoléptico destes frutos tem sido alvo de críticas, pois os genes que conferem características desejáveis de produtividade e resistência pós-colheita têm efeito negativo na qualidade do fruto (Melo, 2003). Castro (2000) ao comparar, em testes sensoriais, o híbrido longa vida ‘Carmem’ e a cultivar ‘Santa Clara’ no aspecto sabor dos frutos, observou melhor sabor no ‘Santa Clara’, o que vem ao encontro das observações de pesquisadores e consumidores de que frutos de híbridos longa vida têm sabor inferior se comparado às cultivares tradicionais.

O efeito negativo de híbridos com elevado potencial produtivo na qualidade do fruto pode ser atribuído, também, à limitada capacidade fisiológica da planta em fornecer fotoassimilados em quantidade suficiente para suprir a elevada produção dessas plantas (Stevens e Rudich, 1978). Em tomate, observa-se que há correlação negativa entre produção e conteúdo de sólidos solúveis totais (Stevens e Rudich, 1978; Caliman, 2003). Stevens e Rudich (1978) sugerem que os processos fisiológicos a serem explorados para se obter elevada produtividade e qualidade dos frutos do tomateiro são: eficiência fotossintética, relação fonte/dreno (eficiência na translocação) e redução das perdas respiratórias do fruto.

Como alternativa para elevar a atividade fotossintética das plantas e, conseqüentemente, melhorar a qualidade dos frutos, tem-se a utilização do enriquecimento com CO₂. A maior produção de fotoassimilados pode ser direcionada aos frutos e melhorar a sua qualidade. Estudos têm demonstrado efeito do enriquecimento com CO₂ na atividade fotossintética das plantas elevando a fotossíntese em até 50% (Hand, 1984). Em condições controladas, Behboudian e Tod (1995) observaram que frutos produzidos sob enriquecimento de CO₂ tiveram maior concentração de sacarose, glicose e frutose, e maior teor de sólidos solúveis totais que frutos produzidos em ambiente com concentração

normal de CO₂. Além disso, o enriquecimento de CO₂ em casa de vegetação pode proporcionar crescimento mais rápido das plantas e melhor frutificação (Frydrych 1984; Yelle et al., 1990; Nederhoff, 1994).

Em virtude do cenário da tomaticultura brasileira na atualidade, onde se observa elevada produtividade das plantas e frutos com baixa qualidade, e da crescente demanda por produtos de melhor qualidade pelo consumidor, faz-se necessário o estudo de técnicas que consigam aliar elevada produtividade, indispensáveis do ponto de vista econômico para o produtor, com a produção de frutos de boa qualidade para suprir a demanda do consumidor. Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de frutos de tomate produzidos em ambiente protegido com e sem enriquecimento de CO₂ e no campo.

4.2 - MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização do sistema de produção e do delineamento experimental empregado nos experimentos estão detalhados no Item 3.0.

Para a análise das características referentes à qualidade dos frutos, a colheita foi padronizada e foram utilizados frutos do terceiro cacho da planta, no estágio completamente maduro, com 100% da superfície com coloração vermelha. Os frutos foram levados ao laboratório de Manejo de Recursos Genéticos da UFV, onde foram higienizados e submetidos aos processos analíticos a seguir, de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985).

Acidez total titulável (ATT): cinco frutos de cada parcela foram triturados em liquidificador e o homogeneizado foi utilizado na determinação da acidez titulável. No procedimento analítico, pesou-se 5 gramas da polpa triturada que foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume com água destilada. Na seqüência foram retiradas 3 alíquotas de 10 mL (triplicata) que foram transferidas para erlenmeyer de 125 mL e tituladas com solução de hidróxido de sódio (NaOH 0,01N), utilizando-se fenolftaleína como indicador. O ponto final da titulação se deu quando foi observada a cor rosa clara na solução.

Para a obtenção da massa de ácido cítrico, principal ácido do tomate, utilizou-se a média dos volumes gastos nas três titulações, procedendo-se o cálculo de acordo com a fórmula:

$$M = \frac{V \times N \times \text{Meq Ac.Citr} \times f}{Y} \times 100$$

Onde:

M = % de ácido cítrico na amostra;

V = volume médio de NaOH (mL) gasto nas três titulações;

N = normalidade da solução de NaOH;

Meq Ac Citr = Miliequivalente do ácido cítrico (0,064)

f = fator de correção da solução de NaOH (a ser obtido na padronização da solução);

Y = volume (mL) ou peso (g) da amostra titulada

Na determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST) utilizou-se uma gota da polpa do fruto triturado, que foi analisada em refratômetro digital DIGIMED.

O pH da polpa dos frutos foi obtido pela inserção direta do eletrodo de pHmetro de mesa na massa triturada dos frutos.

A firmeza dos frutos foi medida segundo a técnica de aplanção não-destrutiva desenvolvida por Calbo e Calbo (1989) e Calbo e Nery (1995). A medição da firmeza por essa técnica é feita utilizando-se um aplanador. O princípio consiste em aplicar uma força conhecida à superfície do fruto, seguindo-se à medição da área de contato entre a placa compressor e a superfície do fruto de tomate. Essa área, com forma elipsóide, é estimada obtendo-se medidas do maior comprimento (a) e do menor comprimento (b) com auxílio de um paquímetro digital. A área aplanada é estimada pela fórmula da área (A) de uma elipse, $A = 0,7884 \cdot a \cdot b$, em que A = área aplanada em cm^2 , a = comprimento (cm) da área de contato e b = largura (cm) da área de contato. A firmeza (Fz) é obtida, dividindo-se o peso da ponta de prova (P) em quilogramas-força pela área aplanada (A) em cm^2 , $Fz = P/A$.

A espessura do mesocarpo foi obtida com auxílio de paquímetro, em duas posições distintas do fruto após corte transversal na porção mediana. A avaliação da firmeza e da espessura do mesocarpo foi realizada somente no experimento do ano 2006.

As análises estatísticas foram feitas individualmente, para cada uma das cultivares, já que elas representam diferentes grupos (salada, santa cruz e italiano) e, neste caso, não se justifica a análise conjunta e comparações entre as cultivares, em função de suas particularidades. As principais características que distinguem os três grupos de tomate utilizados neste trabalho são: Grupo salad: frutos pluriloculares, com quatro ou mais lóculos, formato redondo achatado, com diâmetro transversal maior que o longitudinal. Quanto as características de qualidade do fruto, a maioria dos híbridos deste grupo possuem frutos menos ácidos que os do grupo Santa Cruz e Italiano; Grupo Santa Cruz: frutos oblongos, com diâmetro transversal menor que o longitudinal, bi ou triloculares. São

ligeiramente mais ácidos que frutos dos grupos italiano e salada; Grupo Italiano: frutos com diâmetro reduzido, às vezes pontiagudos. Polpa espessa, com coloração vermelha intensa, sendo bastante saborosos (Alvarenga, 2004).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, no aplicativo computacional SAEG (Ribeiro Jr., 2001).

4.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença significativa da firmeza e espessura do mesocarpo dos frutos das cvs. Andrea e Alambra produzidos nos diferentes ambientes, no ano 2006, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Firmeza (kgf/cm^2) e espessura (mm) do mesocarpo de frutos das cvs. Andrea e Alambra produzidos em ambiente protegido com e sem enriquecimento de CO_2 e no campo, no ano 2006

Ambiente	Alambra		Andrea	
	Firmeza	Esp. mesocarpo	Firmeza	Esp. mesocarpo
AP normal	8,22 ^{ns}	8,33 ^{ns}	7,65 ^{ns}	7,95 ^{ns}
AP + CO_2	8,30 ^{ns}	8,45 ^{ns}	7,73 ^{ns}	8,46 ^{ns}
Campo	9,47 ^{ns}	8,83 ^{ns}	7,02 ^{ns}	8,11 ^{ns}

^{ns} - não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Quanto ao pH, houve variação entre os ambientes de cultivo. No ano 2005, o pH dos frutos da ‘Andrea’, Débora Plus e ‘Rebeca’ foi maior no AP normal (Tabela 2) comparado aos demais ambientes, que não diferiram entre si. No cultivo do ano 2006, não houve diferença no pH dos frutos da cv. Andrea e, nos frutos da cv. Alambra foi maior no AP normal comparado ao campo.

O pH do fruto de tomate destinado ao processamento industrial deve estar entre 4,0 e 4,5, para inibir o crescimento de bactérias (Jones Júnior, 1999). No caso de tomate para mesa, ainda não existe padrão para essa variável. Nesse estudo, os valores de pH variaram de 3,79 a 4,40, sendo semelhantes aos observados por Carvalho et al. (2005) que obtiveram pH igual a 4,11 e 4,14 e 4,43, em frutos de Andrea, Débora Max e Rebeca, respectivamente.

Tabela 2. pH de frutos de tomateiro da cv. Andrea, Débora Plus, Rebeca e Alambra cultivados em ambiente protegido com e sem enriquecimento de CO₂ e no campo nos anos de 2005 e 2006

Ambiente	2005			2006	
	Andrea	Débora Plus	Rebeca	Andrea	Alambra
AP + CO ₂	4,32 b	4,32 b	4,27 b	4,06 ^{ns}	3,83 ab
AP normal	4,39 a	4,40 a	4,40 a	3,96 ^{ns}	3,88 a
Campo	4,28 b	4,24 c	4,23 b	3,94 ^{ns}	3,79 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$).

^{ns} - não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Não houve diferença no teor de SST dos frutos da cv. Andrea produzidos nos diferentes ambientes de cultivo no ano 2005, apesar de se observar maior valor numérico no AP + CO₂ (Tabela 3). O teor de SST dos frutos das cvs. Débora Plus e Rebeca foram maiores no campo que nos AP + CO₂ e AP normal. No ano de 2006, o teor de SST das cvs. Andrea e Alambra foram semelhantes nos AP + CO₂ e no campo. Os valores de SST variaram de 2,94 °Brix a 4,88 °Brix, sendo semelhantes aos observados em híbridos comerciais por Resende et al. (1997), Shi et al. (1999) e Fernandes et al. (2000), que variaram de 4,0 °Brix a 6,0 °Brix. Ferreira et al. (2006) observaram teor de SST entre 3,57 °Brix a 3,75 °Brix.

Na composição dos SST predominam compostos solúveis em água, sendo constituídos em sua maioria pelos açúcares, ácidos, vitamina C e pectinas (Moura et al., 1999; Oliveira et al., 1999). Entre os componentes citados, os principais são os açúcares (glicose e frutose), que constituem importantes componentes do sabor e doçura dos frutos através do equilíbrio com os ácidos orgânicos (Kluge e Minami, 1997; Gómez e Camelo, 2002). O acúmulo de açúcares no fruto ocorre a partir da translocação da sacarose das folhas, para os frutos, onde são convertidos em frutose e glicose.

O que tem sido observado, com relação à qualidade de fruto, é que com o aumento da produtividade das plantas, reduz-se a qualidade dos frutos (Stevens e Rudich, 1978). Caliman (2003) confirma essa pressuposição ao analisar a produção e a qualidade de frutos de tomate produzidos em ambiente protegido e campo. O autor observou que no ambiente protegido a produtividade é maior, porém a qualidade dos frutos é menor, e no campo, a produtividade é menor e a qualidade dos frutos maior.

No experimento do ano 2005, o teor de SST das cvs. Débora Plus e Rebeca tiveram comportamento semelhante ao que tem sido observado na literatura, ou seja, menores nos ambientes protegidos comparados ao campo. No entanto, pode-se observar tendência de

aumento destes valores no AP + CO₂, se comparado ao AP normal, apesar de não ter sido estatisticamente significativa. No ano 2006 a diferença observada no teor de SST entre os AP + CO₂ e AP normal passou a ser significativa, com maior valor no AP + CO₂, que se igualou ao teor de SST dos frutos produzidos no campo. Ou seja, o enriquecimento de CO₂ foi eficiente em aumentar o teor de SST dos frutos das cvs. Andrea e Alambra no ano 2006, comparativamente ao AP normal.

Tabela 3. Teor de sólidos solúveis totais (SST, °Brix) de frutos de tomateiro da cv. Andrea, Débora Plus, Rebeca e Alambra cultivados em ambiente protegido com e sem enriquecimento de CO₂ e no campo, nos anos de 2005 e 2006

Ambiente	2005			2006	
	Andrea	Débora Plus	Rebeca	Andrea	Alambra
AP + CO ₂	4,28 ^{ns}	3,47 b	3,08 b	3,97 a	3,31 a
AP normal	3,97 ^{ns}	3,21 b	3,11 b	3,58 b	2,94 b
Campo	3,91 ^{ns}	4,13 a	4,88 a	4,07 a	3,21 ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$).

^{ns} - não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

A característica acidez total titulável (ATT), representada pela percentagem de ácido cítrico dos frutos, foi alterada pelos tratamentos, com exceção dos frutos das cvs. Débora Plus e Rebeca, cujo teor não variou entre os diferentes ambientes de cultivo (Tabela 4). A ATT dos frutos da cv. Andrea nos anos 2005 e 2006 foi semelhante nos ambientes AP + CO₂ e no campo e maior nos frutos produzidos no campo comparado ao AP normal. A ATT dos frutos da cv. Alambra produzidos no campo foi maior que a dos frutos produzidos nos AP + CO₂ e AP normal.

A acidez total mede a quantidade de ácidos orgânicos presentes na polpa dos frutos, que por sua vez tem relação com a adstringência (Silva e Giordano, 2000) e sabor (Oliveira et al., 1999). Os ácidos respondem por aproximadamente 15% do conteúdo de massa seca do tomate, sendo os ácidos cítrico e málico os principais do tomate (Yilmaz, 2001).

A acidez dos frutos analisados no presente trabalho variou de 0,23% a 0,30%, sendo semelhantes aos valores observados por Sampaio e Fontes (1998) na cultivar Santa Clara, variando de 0,29% a 0,33%. Carvalho et al. (2005) por sua vez, avaliaram a composição química do tomate Andrea, Débora Max e Carmem e obtiveram acidez titulável 0,39%, 0,40% e 0,41%, respectivamente.

Tabela 4. Acidez total titulável (% ácido cítrico) de frutos de tomateiro das cvs. Andrea, Débora Plus, Rebeca e Alambra cultivados em ambiente protegido com e sem enriquecimento de CO₂ e no campo nos anos de 2005 e 2006

Ambiente	2005			2006	
	Andrea	Débora Plus	Rebeca	Andrea	Alambra
AP + CO ₂	0,28 ab	0,26 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,27 ab	0,23 b
AP normal	0,26 b	0,27 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,25 b	0,24 b
Campo	0,30 a	0,28 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,28 a	0,27 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$).

^{ns} - não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

O efeito de diferentes ambientes de cultivo e do enriquecimento de CO₂ na acidez dos frutos do tomateiro não está completamente compreendido. Muitos estudos relatam a hipótese de que os ácidos orgânicos são produzidos no fruto a partir dos carboidratos armazenados (Sakiyama e Stevens, 1976), embora uma parte possa ser translocada das folhas e raízes para o fruto (Bertin et al., 2000). Desta forma, o conteúdo dos ácidos dos frutos pode ser resultado do efeito do ambiente (tratamento) na síntese e transporte destes, por exemplo via disponibilidade de carbono para a síntese dos ácidos.

Não houve diferença na relação SST/ATT dos frutos da cv. Andrea entre os ambientes de cultivo no ano 2005. Na cv. Débora Plus, a relação foi semelhante nos frutos produzidos no AP + CO₂ e no campo e na cv. Rebeca foi maior no campo. No ano 2006, entretanto, observou-se que a relação SST/ATT dos frutos da cv. Andrea produzidos no AP + CO₂ e no campo foi semelhante, e da cv. Alambra foi maior no AP + CO₂.

O valor obtido na relação SST/ATT dos frutos das três cultivares e nos dois anos de cultivo foram superiores a 11,9, valores estes que caracterizam frutos de bom sabor. Carvalho et al. (2005) avaliaram a composição química do tomate Andrea, Débora Max e Carmem e obtiveram relação SST/ATT de 13,03, 11,3 e 9,82, respectivamente.

Segundo Mencarelli e Saltveit Jr. (1988), frutos de alta qualidade são caracterizados por conter mais do que 0,32% de ATT, 3% de SST e razão (SST/ATT) maior que 10. A relação SST/ATT tem sido utilizada como um indicador para o sabor dos frutos do tomateiro. No entanto, deve-se considerar que essa relação dá apenas uma indicação do sabor, já que são consideradas apenas substâncias solúveis em água como os açúcares, ácidos e substâncias pécticas.

Quando se considera o sabor, no sentido amplo da palavra, está envolvida a percepção de complexa sensação que envolve os sentidos do paladar e do olfato (Stevens et al., 1978). Desta forma, é bastante difícil a quantificação do sabor por meios químicos,

embora Yilmaz (2001) mencione que os açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos livres e sais são os principais componentes do fruto que contribuem para a percepção do ‘sabor’ pelo organismo humano. No caso do tomate, o sabor do fruto é resultado da combinação dos açúcares e ácidos presentes no fruto. Cerca de 50% da massa seca é composta de açúcares, principalmente os açúcares redutores glicose e frutose. Ocorrem também em quantidades diminutas a sacarose, rafinose, arabinose e xilose. O conteúdo total de açúcares de um fruto maduro varia entre 1,7% e 4,7% (Petro-Turza, 1987). Correlação positiva entre doçura e conteúdo de sólidos solúveis foi observada por Stevens et al. (1979).

Tabela 5. Relação SST/ATT de frutos de tomateiro da cv. Andrea, Débora Plus, Rebeca e Alambra cultivados em ambiente protegido com e sem enriquecimento de CO₂ e no campo nos anos de 2005 e 2006

Ambiente	2005			2006	
	Andrea	Débora Plus	Rebeca	Andrea	Alambra
AP + CO ₂	15,29 ^{ns}	13,13 ab	12,29 b	15,87 a	13,97 a
AP normal	15,34 ^{ns}	11,93 b	12,48 b	13,16 b	12,23 b
Campo	12,98 ^{ns}	14,34 a	16,75 a	14,52 ab	11,90 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$).

^{ns} - não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Segundo Ho e Grimbley (1990), a maior parte da massa seca dos frutos é originada da fotossíntese das folhas e translocada para os frutos na forma de sacarose. Sua transformação em outros açúcares, ácidos orgânicos e outros componentes relacionados ao aroma é que parcialmente irá determinar o sabor do fruto (Guichard et al, 2001). Desta forma, apesar do enriquecimento de CO₂ não ter sido suficiente para ganhos de produção (como observado no Item 3.0), observa-se que no ano 2006 a qualidade do fruto, em termos de SST e SST/ATT foi melhorada no ambiente onde houve incremento na concentração de CO₂.

4.3.1 – Conclusões

O enriquecimento de CO₂ não alterou a firmeza e a espessura do mesocarpo das cvs. Andrea e Alambra cultivadas no 2006. O pH dos frutos das cvs. Andrea, Débora Plus e Rebeca no ano 2005 foi maior no AP normal, o mesmo ocorrendo na cv. Andrea no ano 2006, se comparado ao campo. No ano 2005, o teor de SST dos frutos das cvs. Débora Plus

e Rebeca foi maior no campo comparado aos ambientes protegidos. No ano 2006, foi semelhante entre o AP + CO₂ e campo para ambas as cultivares. Com relação à ATT, no ano 2005 houve diferença apenas na cv. Andrea, sendo maior no campo se comparado com o AP normal. O mesmo foi observado no ano 2006 para a cv. Andrea. Entretanto, a ATT dos frutos da cv. Alambra foram maiores no campo. Já para a relação SST/ATT, foram observados, no ano 2005, valores semelhantes entre o AP + CO₂ e campo para a cv. Débora e valores superiores no campo para a cv. Rebeca. No ano 2006, a relação foi semelhante entre o AP + CO₂ e campo para a cv. Andrea e superior no AP + CO₂ na cv. Alambra. Pode-se observar, portanto, que o enriquecimento de CO₂ melhorou a qualidade dos frutos no que se refere ao teor de SST do Débora Plus no ano 2005 e ao teor de SST e a relação SST/ATT das cvs. Andrea e Alambra no ano 2006.

4.4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, M.A.R. Cultivares. In: Alvarenga, Ed. **Tomate – Produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004. 393p.

BEHBOUDIAN, M.H., TOD, C. Portharvest attributes of 'Virosa' tomato fruit produced in an enriched carbon dioxide environment. **HortScience**, v. 30, p. 490-491, 1995.

BERTIN, N.; GUICHARD, S.; LEONARDI, C.; LONGUENESSE, J.J.; LANGLOIS, Y.; NAVEZ, B. Seasonal evolution of quality of fresh glasshouse tomatoes under Mediterranean conditions, as affected by air vapour pressure deficit and plant fruit load, **Annals of Botany**, v. 85, p. 741-750. 2000.

CALBO, A.G.; NERY, A.A. Medida de firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. **Horticultura Brasileira**, v.13, n.1, p.14-18, 1995.

CALBO, A.G.; CALBO, M.E. Medição e importância do potencial de parede. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.1, n.1, p.41-45, 1989.

CALIMAN, F.R.B. **Produção e qualidade de genótipos de tomateiro em ambiente protegido e no campo**. 2003, 72f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

CARVALHO, L.A.; NETO, J.T.; ARRUDA, M. C.; JACOMINO, A.P.; MELO, P.C.T. Caracterização físico-química de híbridos de tomate de crescimento indeterminado em função do espaçamento e número de ramos por planta. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 11, n. 3, p. 295-298, 2005.

CASTRO, L.R. **Influência de aspectos de classificação, embalagem e refrigeração na conservação pós-colheita de tomate "Santa Clara" e "Carmem"**. Dissertação (Mestrado), Campinas: UNICAMP, 2000. 159 f.

CHITARRA, M.I.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras : ESAL/FAEPE, 1990. 320p.

DELLA VECCHIA, P.T.; KOCH, P.S. Tomates longa vida: o que são, como foram desenvolvidos? **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 1, p. 3-4, 2000.

FERNANDES, A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; FONTES, P. C. R. Produtividade, qualidade dos frutos e estado nutricional do tomateiro tipo longa vida conduzido com um cacho, em cultivo hidropônico, em função das fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 564-570, dez. 2002.

FERREIRA, M.M.M.; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R.; DANTAS, J.P. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. **Horticultura Brasileira**, v.24, p.141-145, 2006.

FRIDRYCH, J.U. Factors affecting photosynthetic productivity of sweet pepper and tomatoes grown in CO₂-enriched. **Acta Horticulturae**, n. 162, p. 271-278, 1984.

GÓMEZ, P.A.; CAMELO, A. F. L. Calidad postcosecha de tomates almacenados em armósferas controladas. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 38-43, 2002.

GUICHARD, S.; BERTIN, N.; LEONARDI, C.; GARY, C. Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. **Agronomie**, v.21, p. 385–392, 2001.

HAND, D. W. Crop responses to winter and summer CO₂ enrichment. **Acta Horticulturae**, n. 162, p. 158-161, 1984.

HO, L.C.; GRIMBLY P., The physiological basis for tomato quality, **Grower**, v.22, p. 33–36, 1990.

HOBSON, G.; GRIERSON, D. Tomato. In: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. (Eds.). **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 405-442.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz – Métodos Químicos e Físicos para análise de alimentos**. 3º ed. São Paulo, 1985. 533p.

JONES JÚNIOR JB. 1999. **Tomato plant culture: in the field, greenhouse and home garden**. Florida: CRC Press. 199p.

KADER, A.A.; MORRIS, L.L.; STEVENS, M.A.; ALBRIGHT-HOLTON, M. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. **Journal of American Society for Horticulture Science**, v.113, n.5, p.742-745, 1978.

KLUGE, R.A.; MINAMI, K. Efeito de ésteres de sacarose no armazenamento de tomates Santa Clara. **Scientia Agrícola**, v. 54. n. 1-2, p. 39-44, jan./ago. 1997.

MENCARELLI, F., SALTVEIT, Jr. M.E. Ripening of mature-green tomato fruit slices. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 113, n.5, p.742-745, 1988.

MELO, P.C.T. Panorama atual da tomaticultura de mesa no Brasil. **Cultivar-Hortaliças e frutas**, v.4, n.17, 2003.

MELLO, P.C.T.; MIRANDA, J.E.C.; COSTA, C.P. Possibilidade e limitações do uso de híbridos F1 de tomate. **Horticultura Brasileira**, v. 62, n. 2, p. 4-6, 1988.

MOURA, M. L.; SARGENT, S. A.; OLIVEIRA. R. F. Efeito da atmosfera controlada na conservação de tomates colhidos em estágio intermediário de maturidade. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 1, p. 135-142, 1999.

NEDERHOFF E. M. **Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops**. 1994, 213f. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1994.

OLIVEIRA, M. E. B.; BASTOS, M. S. R.; FEITOSA, T.; BRANCO, M. A. A. C.; SILVA, M. G. G. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de acerola, cajá e caju. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 326-332, 1999.

PETRO-TURZA, M. Flavor of tomato and tomato products. **Food Reviews International**.v.2, n.3, p. 309-351, 1987.

RESENDE, J. M.; CHITARRA, M. I. F.; MALUF, W, R.; CHITARRA, A. B. Qualidade pós-colheita em genótipos de tomate do grupo multilocular. **Horticultura Brasileira**, v. 15, n. 2, p. 92-98, 1997.

RIBEIRO JÚNIOR, J.I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFV, 2001. 301p.

SAKIYAMA, R.; STEVENS, M.A. Organic acid accumulation in attached and detached tomato fruits. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 101, p. 394–496, 1976.

SAMPAIO, R. A.; FONTES, P. C. R. Qualidade de frutos de tomateiro fertirrigado com potássio em solo coberto com polietileno preto. **Horticultura Brasileira**, v. 16, n. 2, p. 136-139, 1998.

SHI, J.X.; LE MAGHER, M.; LIPTAY, A.; WANG, S.L. Chemical composition of tomatoes as affected by maturity and fertigation practices. **Journal of Food Quality**, v.22, p.147-156, 1999.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia - Embrapa Hortaliças, 2000. 168p.

STEVENS, M.A.; RUDICH, J. Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability, yield, and quality in the tomato. **HortScience**, v. 13, n. 6, p. 673-677, 1978.

STEVENS, M.A.; KADER, A.A.; ALBRIGHT, M. Potential for increasing tomato flavour via increased sugar and acid content. **Journal American Society Horticultural Science**, v. 102, n.6, p.724-731, 1979.

YELLE, S.; BEESON, R.C.; TRUDEL, M.J.; GOSSELIN, A. Duration of CO₂ enrichment influences growth, yield, and gas exchange of two tomato species. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 115, p.52–57, 1990.

YILMAZ, E. The chemistry of fresh tomato flavor. **Turk Journal for Agricultural**. v.25, p.149-155, 2001.

5.0 - PARTIÇÃO DE FOTOASSIMILADOS EM TOMATEIRO CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO COM ENRIQUECIMENTO DE CO₂ PROVENIENTE DA COMPOSTAGEM

RESUMO

As condições do ambiente de cultivo podem influenciar o crescimento e o desenvolvimento da plantas e, conseqüentemente, a partição de fotoassimilados e a produção. Objetivou-se avaliar a partição de fotoassimilados e o acúmulo de massa seca (MS) em plantas de tomateiro cultivadas em ambiente protegido com e sem enriquecimento de CO₂ e no campo. As plantas foram cultivadas na área experimental de Olericultura, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com 12 repetições e as cultivares Andrea e Alambra. O enriquecimento com CO₂ foi obtido pela utilização de pilha de compostagem, com concentração variando de 650 µL/L a 750 µL/L. O acúmulo de MS foi maior nos ambientes protegidos comparados ao campo. A cv. Andrea acumulou 786,93 g de MS/pl no AP + CO₂, 815,66 g/pl no AP normal e 637,76 g/pl no campo. A cv. Alambra acumulou 766,67 g de MS/pl no AP + CO₂, 824,34 g/pl no AP normal e 592,442g/pl no campo. O maior dreno de fotoassimilados foram os frutos, que acumularam, na média das duas cultivares, 53,12%, 54,94% e 65,53% da MS no AP + CO₂, AP normal e campo, respectivamente. O enriquecimento de CO₂ não afetou a partição de fotoassimilados das cvs. Andrea e Alambra.

ABSTRACT

The environment conditions can influence the growth and development of plants and therefore photoassimilates partition and plant production. The aim of this research was to evaluate the photoassimilates partition and dry matter (DM) accumulation in tomato plants growth in protected environment, in protected environment with CO₂ enrichment and field conditions. The plants were grown at Olericulture sector of the Plant Science Department, Federal University of Viçosa, MG. The experiments were carried in a randomized complete block design with 12 repetitions and two cultivars called Andrea and Alambra. CO₂ enrichment was provide by compost pile, and its concentration varied between 680-750 µL/L. Dry matter accumulation was higher in protecting environments compared with the field conditions. The cultivar Andrea accumulated 786.39 g of DM/pl in CO₂ enriched environment, 815.49 g of DM/pl in the protected environment and 637.41 g DM/pl in the field. The cv. Alambra accumulated 766.68 g DM/pl in protected environment enriched with CO₂, 824.35 g DM/pl in the protected environment and 592.44 g DM/pl in the field. The higher drain of photoassimilates were the fruits, which accumulated 53,12%, 54,94% and 65,53% of the DM in protected environment enriched with CO₂, in the protected environment and in the field, respectively. CO₂ enrichment did not affect DM partition of cvs. Andrea and Alambra.

5.1 - INTRODUÇÃO

A produção das culturas é determinada pelo crescimento da planta e pela alocação da biomassa para os órgãos de interesse comercial. O termo crescimento refere-se a mudanças quantitativas que ocorrem nas plantas, ou seja, mudanças irreversíveis no tamanho das células, órgãos ou no organismo como um todo (Fageria et al., 2006). Pode ser definido também como acúmulo de biomassa, sendo medido pela área foliar, peso da parte aérea, raízes e peso total da planta (McCauley, 1990). Taiz e Zeiger (2004) definem crescimento como sendo um aumento irreversível de volume, tendo como componente principal a expansão celular governada pela pressão de turgor. Desta forma, o crescimento pode ser medido, também, em termos de mudança no peso da matéria fresca de um tecido durante um determinado período. No entanto, o peso da matéria fresca de plantas cultivadas em solo pode flutuar em resposta às alterações do *status* hídrico desse solo, de modo que este critério pode ser um indicador inconsistente do crescimento. Em tais situações, a avaliação do peso da massa seca é frequentemente mais apropriada.

A massa seca não se refere a uma única substância componente da planta, mas ao conjunto da matéria orgânica que é produzida para as atividades essenciais da fotossíntese e metabolismo das proteínas. A matéria orgânica inclui glicose, amido, celulose, aminoácidos, proteínas e outros componentes orgânicos (Akita, 1995). A massa da matéria seca da planta, por sua vez, refere-se à produção biológica total, que inclui folhas, hastes, raízes e outras partes que podem não ser úteis comercialmente, assim como partes de importância comercial como grãos, tubérculos e frutos (Fageria et al., 2006).

A produção total de uma planta é denominada produção biológica e a razão entre a massa da parte comercial e a produção biológica é denominada de índice de colheita (Huhn, 1990). O índice de colheita em tomateiro reflete a partição do produto da

fotossíntese entre as partes comercial (frutos) e vegetativa da planta. A capacidade da planta em fornecer alta produtividade é determinada pela habilidade em produzir elevados níveis de fotoassimilados e ou direcionar eficientemente grande parte destes para os órgãos de interesse comercial (Daie, 1985; Faville et al., 1999). As partes das plantas produtoras de fotoassimilados, como as folhas, são conhecidas como 'fonte', e as partes para as quais os fotoassimilados são translocados são os drenos. Assim, a relação fonte/dreno pode ser definida como a relação entre partes produtoras de fotoassimilados (fonte) e as partes da planta para onde esses são translocados sendo acumulados ou consumidos (drenos).

Na cultura do tomateiro, a produção de biomassa da planta é proporcional à disponibilidade de fotoassimilados, que por sua vez está relacionada, entre outros fatores, com a disponibilidade de energia luminosa no dossel da cultura e com a concentração de CO₂. Cockshull et al. (1992) observaram que a redução da irradiância em 25% levou à redução da produtividade das plantas na mesma proporção. A partir desta relação subentende-se que a produção do tomate pode ser limitada pela fonte de fotoassimilados e que a partição de fotoassimilados para o crescimento dos frutos é proporcional à produção de fotoassimilados.

Os frutos do tomateiro, entendidos aqui como fortes drenos, podem dominar a partição de fotoassimilados na planta. Tomateiros com diferentes hábitos de crescimento (ex. crescimento determinado e indeterminado) pertencentes a diferentes grupos tais como salada, cereja entre outros, acumulam a mesma quantidade de massa seca na planta quando cultivados em condições ambientais semelhantes (Ho, 1996). Entretanto, a partição de fotoassimilados é substancialmente afetada pelo hábito de crescimento e frutificação. No tomate cereja, o acúmulo de massa seca é proporcionalmente maior nas folhas, caule e hastes dos cachos, em detrimento ao acúmulo nos frutos. No tomate maçã, apesar do número de frutos ser menor que no tomate cereja, o tamanho do fruto é maior, garantindo maior força dreno e maior acúmulo de massa seca nos frutos em detrimento das demais partes da planta (Heuvelink e Dorais, 2005).

Enquanto a prioridade da partição de fotoassimilados pode ser determinada pelo potencial intrínseco dos drenos de cada um dos órgãos da planta, a disponibilidade (ou produção) poderá ser afetada pelas condições de crescimento a que a planta está submetida. A luz pode ter efeito direto ou indireto na regulação da atividade fonte/dreno envolvida na alocação de fotoassimilados na planta. A intensidade de luz recebida pela planta tem efeito

na quantidade de assimilados disponíveis para os diversos órgãos da planta e, assim, seu grau de competição na partição (Heuvelink e Dorais, 2005).

A temperatura é fator climático com forte efeito no controle da partição da biomassa da planta, pois interfere diretamente na capacidade dreno individual dos diferentes órgãos (Heuvelink e Dorais, 2005). Elevada temperatura acelera o crescimento do fruto em detrimento do crescimento vegetativo (Heuvelink e Dorais, 2005). A grande demanda de assimilados pelos frutos em crescimento sob elevada temperatura pode causar redução no crescimento das folhas e queda no crescimento de frutos recém formados assim como maior aborto de flores. Passado o período de maior intensidade dreno dos frutos, a planta retorna ao crescimento vegetativo e o desenvolvimento de novas flores (Heuvelink e Dorais, 2005).

A concentração de CO₂ da atmosfera de cultivo tem efeito na atividade da ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase e, conseqüentemente, na fotossíntese, podendo influenciar o transporte e acúmulo de carboidratos e também a produção total de massa seca da planta (Allen et al., 1988). Woodrow et al. (1987) demonstraram que o enriquecimento com CO₂ afetou ambos, fonte e dreno, e a partição de carboidratos para os diferentes órgãos da planta (caule, raízes e folhas). Estes autores observaram que mudas de tomateiro produzidas em ambiente enriquecido com CO₂ tinham maior peso, característica desejável, pois proporciona melhor estabelecimento e crescimento inicial no campo. O acúmulo de massa seca na parte aérea e raízes aumentou, da mesma forma que o peso seco de folhas (81% maior que no ambiente sem enriquecimento).

Em um estudo realizado por Nederhoff (1994) num cultivo de tomateiro no verão, a concentração de CO₂ aparentemente não teve efeito direto na alocação de massa seca; indiretamente, entretanto, o enriquecimento de CO₂ pode incrementar a frutificação e assim a alocação de massa seca para os frutos. Considerando o exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a partição de fotoassimilados em plantas de tomateiro cultivadas em ambiente protegido com e sem enriquecimento de CO₂ e no campo.

5.2 - MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano 2006, no setor de Olericultura do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com 12 repetições e as cvs. Andrea e Alambra. A

caracterização do sistema de produção e do delineamento experimental empregados no experimento está detalhada no Item 3.0.

Ao final do ciclo de cultivo as plantas foram coletadas e separadas em caule e folhas e levadas a estufa de ventilação forçada, sob 70 °C, até atingir peso constante, com posterior pesagem da massa seca. Os frutos das sucessivas colheitas, incluindo frutos não comerciais, foram levados à estufa de secagem para que fosse obtida a massa da matéria seca de frutos. A massa da parte aérea foi obtida pela soma das massas da matéria seca de caule, folhas e frutos.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e teste Tukey, em nível de 5% de probabilidade no aplicativo computacional SAEG (Ribeiro Jr., 2001).

5.3 - RESULTADOS

As massas secas (MS) de caule, folha e da parte aérea das plantas da cultivar Andrea foram maiores nos ambientes com e sem enriquecimento de CO₂, comparada à das plantas cultivadas no campo (Tabela 1). Considerando-se a média de produção de MS das plantas nos ambientes com e sem enriquecimento de CO₂, observou-se que a MS de caule, MS de folha e MS da parte aérea foram 45,95%, 76,71% e 25,64% superiores às mesmas MS das plantas cultivadas no campo. O acúmulo de massa seca em frutos da cv. Andrea não diferiu entre os ambientes de cultivo (Tabela 1), com média de 368,80 g/pl.

Tabela 1 - Massa seca (g/pl) de caule, folha, fruto e da parte aérea de plantas das cvs. Andrea e Alambra, cultivadas nos ambientes protegidos com e sem enriquecimento de CO₂ e no campo.

Ambiente de cultivo	MS caule		MS folha		MS fruto		MS da parte aérea	
	Andrea	Alambra	Andrea	Alambra	Andrea	Alambra	Andrea	Alambra
AP + CO ₂	171,56a	117,21a	261,61a	193,42a	353,76 ^{ns}	466,04ab	786,93a	766,67a
AP normal	152,13a	102,69b	283,53a	199,80a	380,00 ^{ns}	521,85a	815,66a	824,34a
Campo	110,88b	64,26c	154,24b	97,76b	372,64 ^{ns}	430,40b	637,76b	592,42b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$).

Com relação à cv. Alambra, foi observado que o acúmulo de MS em caule teve comportamento diferenciado em relação à cv. Andrea, apesar de, no geral, se observar tendência de maior acúmulo nos ambientes protegidos com e sem enriquecimento de CO₂.

Comparando-se o acúmulo de MS em caule entre os ambientes de cultivo, observou-se maior acúmulo no AP + CO₂ seguido do AP normal e campo (Tabela 1).

O acúmulo de MS em folha e na parte aérea foi semelhante nos AP + CO₂ e AP normal, sendo superiores aos das plantas cultivadas no campo. A média do acúmulo de MS em folha e na parte aérea nos AP + CO₂ e AP normal foi superior à das plantas cultivadas no campo em 101,2% e 34,27%, respectivamente.

A massa seca de fruto da cv. Alambra foi semelhante entre os ambientes protegidos. No entanto, foi 21,24% maior no AP normal comparado ao campo.

Considerando-se o acúmulo de MS de partes da planta e da parte aérea, observou-se que plantas cultivadas nos AP + CO₂ e AP normal apresentaram maior acúmulo que as plantas cultivadas no campo. A massa seca da parte aérea das plantas variou de 592,42 g/pl (cv. Alambra) no campo a 824,4 g/pl (cv. Alambra) no AP normal. Entre os órgãos aéreos da planta, os frutos foram os principais acumuladores de massa seca, seguidos pelas folhas e pelo caule.

Quando se considera as proporções de MS para os diferentes órgãos da planta, observa-se que, de maneira geral, a maior alocação de MS foi para os frutos, independente da cultivar e do ambiente de cultivo (Tabela 2).

Tabela 2. Partição de fotoassimilados (%) entre partes de plantas das cvs. Andrea e Alambra cultivadas em AP + CO₂, AP normal e no campo, no ano 2006

Ambiente de cultivo	MS caule/MS parte aérea		MS folha/MS parte aérea		MS fruto/MS parte aérea	
	Andrea	Alambra	Andrea	Alambra	Andrea	Alambra
AP + CO ₂	21,80a	15,28a	33,24ab	25,22a	44,95b	60,78b
AP normal	18,65ab	12,45b	34,76a	24,23a	46,58b	63,30b
Campo	17,38b	10,84c	24,18b	16,50b	58,42a	72,65a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \geq 0,05$).

Na cv. Andrea foi observada a seguinte partição de fotoassimilados entre os órgãos aéreos da planta, no AP + CO₂: 21,80% para caule, 33,24% para folha e 44,95% para frutos, respectivamente. No AP normal a partição foi semelhante, havendo pequena redução na MS de caule e aumento na MS de folha (Tabela 2). Nas plantas cultivadas no campo, a partição de fotoassimilados foi de 17,38% no caule, 24,18% nas folhas e 58,42% nos frutos.

Na cv. Alambra, a partição de fotoassimilados para caule, folha e frutos foi de 15,28%, 25,22% e 60,78%, no AP + CO₂. No AP normal, observou-se tendência

semelhante, com pequenas alterações. Neste ambiente, 12,45% dos fotoassimilados foram alocados no caule, 24,23% nas folhas e 63,30% nos frutos. No cultivo no campo, a partição de fotoassimilados foi a seguinte: 10,84% no caule, 16,50% nas folhas e 72,65% nos frutos.

A alocação de fotoassimilados para caule na cv. Andrea foi semelhante nos AP + CO₂ e AP normal; entretanto, foi maior no AP + CO₂ que no campo (Tabela 2). Na cv. Alambra, a partição de fotoassimilados para caule foi diferenciada entre os ambientes de cultivo, com maior acúmulo de MS no AP + CO₂, seguido do AP normal e campo.

A partição de fotoassimilados para folha da cv. Andrea foi semelhante entre os ambientes AP + CO₂ e AP normal e maior no AP normal que no campo. Já na cv. Alambra, a partição de fotoassimilados para folha foi semelhante nos AP + CO₂ e AP normal, sendo superiores à do campo.

A alocação de fotoassimilados para fruto, tanto para a cv. Andrea quanto para a Alambra, não diferiu entre os AP + CO₂ e AP normal, sendo inferiores nestes ambientes quando comparados ao campo.

5.4 - DISCUSSÃO

Os resultados do presente trabalho estão de acordo com outros pesquisadores que analisaram, de forma semelhante, a produção e partição de fotoassimilados em plantas de tomateiro. Cockshull et al. (1992) obtiveram 69% de massa seca em frutos, 12,9% em caule e 18,1% em folhas. Scholberg et al. (2000) avaliaram a cultivar Agriset 761, cultivada em campo, e obtiveram MS de caule, folha, e frutos de 92,7 g/pl, 134 g/pl e 253 g/pl respectivamente, representando 19,35%, 27,97% e 52,81% da massa seca das plantas, respectivamente. Fayad et al. (2001) obtiveram produção de 406,3 g/pl de massa seca da parte aérea do tomateiro Santa Clara, cultivado no campo, aos 120 dias após o transplântio, sendo acumulada 14% no caule, 33% nas folhas e 51% nos frutos.

Ao analisar o crescimento do tomateiro, Heuvelink (1995) verificou que do total da massa seca produzida pela cv. Counter, cultivada em ambiente protegido, no período de verão, 60% da massa seca foram alocados nos frutos, 28% nas folhas e 12% nas hastes.

Dividindo-se a MS de folha pela MS de fruto, pode-se observar que na cv. Alambra cultivada no AP + CO₂, cada grama de MS de folha resultou na produção de 2,40 g de MS de fruto. No AP normal a produção foi de 2,61 g e no campo foi de 4,40 g de MS de fruto

para cada grama de MS de folha. Para a cv. Andrea, cada grama de MS de folha no AP + CO₂ produziu 1,35 g de MS de fruto. No AP normal houve produção de 1,34 g de MS de fruto para cada grama de MS de folha e no campo a produção foi de 2,41 g. Observou-se, portanto, que a capacidade produtiva da cv. Alambra foi superior à da cv. Andrea, pois houve maior produção de MS de fruto para cada grama de MS de folha.

Analisando-se os dados, pode-se observar que as plantas cultivadas no campo foram mais eficientes em produção que as cultivadas nos AP + CO₂ e AP normal. No entanto, deve-se considerar que a coleta das plantas para secagem e obtenção da MS foi feita no final do ciclo de cultivo e, mesmo com todo o esforço no controle de doenças, ocorreram perdas de parte da área foliar, o que não foi observado nos ambientes protegidos. Desta forma, esse fato deve ser considerado caso se queira comparar a eficiência produtiva das plantas cultivadas em ambiente protegido com aquelas cultivadas no campo, sob condições naturais.

Deve-se considerar também a possibilidade de limitação da produção das plantas em ambiente protegido causada pela limitação do número de cachos em oito. É possível que, mantidos mais cachos na planta, teríamos maior acúmulo de MS em frutos, elevando a eficiência produtiva das plantas nos ambientes protegidos.

O índice de colheita neste trabalho variou de 45% a 72%. De Koning (1993) relata que em um cultivo anual em casa de vegetação, 72% da biomassa total foi alocada para frutos, enquanto Cockshull et al. (1992) obtiveram índice de colheita de 69% e Scholberg et al. (2000) 58% para cultivo em campo. Cultivos com elevada capacidade produtiva têm índice de colheita de 65%, ou superiores. Maiores ou menores valores podem ser observados de acordo com o número de cachos colhidos e manejo da cultura. O índice de colheita ora analisado foi maior nos cultivos de campo comparado aos ambientes protegidos. Deve-se considerar que o crescimento vegetativo nos ambientes protegidos é maior que no campo, o que altera a partição de fotoassimilados e aumenta o equilíbrio entre caule, folhas e frutos.

Embora o mecanismo envolvido na partição de recursos entre os diferentes órgãos da planta tenha um considerável interesse teórico e prático, até o presente esse mecanismo é pouco compreendido. É consenso que os drenos têm importante participação na partição e, em plantas de tomate, os frutos são os drenos mais fortes. A alocação de biomassa no tomateiro é dinâmica e complexa, envolvendo também a capacidade de transporte dos fotoassimilados das fontes até os drenos.

Pela proporção da MS de folhas e caules (Tabela 2) observa-se que o crescimento vegetativo foi maior nos ambientes protegidos, conforme observado também por outros autores. A menor produção de MS de caule e folha observadas nas plantas cultivadas no campo pode estar relacionada ao fato de que, na ocasião da coleta das plantas, final de ciclo, parte da área foliar foi comprometida por doenças, o que pode ter reduzido a MS de caule e folha.

Uma das características do cultivo em ambiente protegido é evitar condições climáticas desfavoráveis às plantas. Como o tomateiro é susceptível ao ataque de mais de uma centena de doenças (Lopes et al., 2003) e, para o desenvolvimento da maioria destas doenças é necessária a presença de água livre na superfície das folhas e demais partes da planta (Kimati et al., 1997), tem-se no ambiente protegido uma opção de redução da incidência de doenças. No cultivo no campo as plantas estão expostas à chuva e ao orvalho. Essas condições são favoráveis ao desenvolvimento de doenças, o que pode interferir no desenvolvimento da planta e também provocar a senescência prematura das folhas. Resultado semelhante em que foram observadas incidência de doenças e senescência prematura das plantas foi relatado por Scholberg et al. (2000) avaliando o crescimento e características do dossel de plantas de tomateiro cultivadas no campo.

Deve-se considerar também as alterações meteorológicas nos ambiente protegidos causadas pelo material de cobertura, o polietileno de baixa densidade. Há redução em torno de 70 a 90% de transmissividade à radiação de ondas curtas e em torno de 80% à radiação de onda longa (Camacho et al., 1995). Por outro lado, o plástico atua como meio dispersante da radiação solar e aumenta a fração da radiação solar difusa (Farias et al., 1993), sendo este efeito bastante desejável, pois a radiação solar difusa é mais efetiva para a fotossíntese por ser multidirecional e penetrar melhor entre as plantas, compensando em parte a parcial opacidade desse filme plástico à radiação solar global (Cunha e Escobedo, 2003).

Radin et al. (2003) observaram que plantas de tomateiro cultivadas no campo, com maior quantidade de radiação fotossinteticamente ativa incidente produziram menor biomassa que plantas cultivadas em ambiente protegido. Os autores destacam que a eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa foi maior no ambiente protegido, comparada à do campo.

Papadopoulos e Ormrod (1988) e Hammer e Vanderlip (1989) obtiveram resultados semelhantes e consideraram que a maior eficiência de uso da radiação em ambiente

protegido é explicada pela maior fração de radiação difusa. Aikman (1989) constatou que o aumento da radiação difusa promoveu maior uniformidade da radiação no interior do dossel, fazendo com que as folhas inferiores aumentassem a eficiência de interceptação e o uso da radiação. Assim, a maior eficiência de uso da radiação pode ocorrer como resposta ao aumento da contribuição relativa das folhas sombreadas para o acúmulo de biomassa da cultura, o qual cresce à medida que aumenta a fração difusa.

Entretanto, neste trabalho, mesmo com o aumento da radiação difusa no interior dos ambientes protegidos e maior acúmulo de biomassa, é possível que a radiação não tenha sido suficiente para o aproveitamento do CO_2 disponibilizado no AP + CO_2 , não alterando o acúmulo de MS de folha e MS da parte aérea.

5.4.1 – Conclusões

O enriquecimento com CO_2 proporcionou maior acúmulo MS em caule na cv. Alambra. Não houve efeito do aumento da concentração de CO_2 no acúmulo de massa seca em folhas, frutos e parte aérea das cvs. Andrea e Alambra. A produção de MS da parte aérea e de partes de plantas, de maneira geral, foi maior nos ambientes protegidos que no campo.

5.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIKMAN, D. P. Potential increase in photosynthetic efficiency from the redistribution of solar radiation in a crop. **Journal of Experimental Botany**, v. 40, n. 217, p. 855-864, 1989.

AKITA, S. Dry matter production of rice population, pp. 648-690. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA (Eds). **Science of the rice plant: Physiology**, V. II. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center. 1995. 1240p.

ALLEN, L.H.; VU, F.C.V.; VALLE, R.R.; BOOTE, K.J.; JONES, P.H. Nonstructural carbohydrates and nitrogen of soybean grown under carbon dioxide enrichment. **Crop Science**, v. 27, p. 84-94, 1988.

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

COCKSHULL, K.E.; GRAVES, C.J.; CABE, C.R.J. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. **Journal of horticultural Science**, v. 67, p. 11-24, 1992.

CUNHA, A.R.; ESCOBEDO, J.F. Alterações micrometeorológicas causadas pela estufa plástica e seus efeitos no crescimento e na produção da cultura do pimentão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n. p. 15-27, 2003.

DAIE, J. Carbohydrate partitioning and metabolism in crops. **Horticultural Reviews**, v. 7, p. 69-108, 1985.

De KONING, A.N.M. Growth of a tomato crop: measurements for model validation. **Acta Horticulturae**, n. 328, p. 141-146, 1993.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; CLARK, R.B. **Physiology of crop production**. New York: Haworth Press, 2006. 345p.

FAVILLE, M.J.; SILVESTER, W.B.; ALLAN GREEN, T.G.; JERMYN, W.A. Photosynthetic characteristics of three asparagus cultivars differing in yield. **Crop Science**, v. 39, p. 1070-1077, 1999.

FAYAD, J.A.; FONTES, P.C.R.; CARDOSO, A.A.; FINGER, L.F.; FERREIRA, F.A. Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura brasileira**, v. 19, n. 3, p. 232-237, 2001.

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

HAMMER, G. L.; VANDERLIP, R. L. Genotype-by-environment interaction in grain sorghum – I: effects of temperature on radiation use efficiency. **Crop Science**, v. 29, p. 370-376, 1989.

HEUVELINK, E. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in greenhouse. **Scientia Horticulturae**, v. 61, p. 77-99, 1995.

HEUVELINK, E.; DORAIS, M., 2005. Crop growth and yield. In: HEUVELINK, E. ed. **Tomatoes**. CABI, Wallingford, 85-114.

HO, L.C. The mechanism of assimilate partitioning and carbohydrate compartmentation in fruit in relation to the quality and yield of tomato. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, p. 1239-1243, 1996.

HUHN, M. comments on the calculation of mean harvest indices. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 165, p. 86-93, 1990.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de Fitopatologia**. Ceres. 3 ed. São Paulo. v. 2. 1997. 774p.

LOPES, C.A.; REIS, A.; ÁVILA, A.C. Principais doenças do tomate para mesa causadas por fungos, bactérias e vírus. **Informe Agropecuário**, v. 24, n. 219, p. 66-78. 2003.

MACCAULEY, G.N. Sprinkler vs. flood irrigation in traditional rice production regions of southeast Texas. **Agronomy Journal**, n.82, p.677-683, 1990.

NEDERHOFF E. M. **Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops**. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1994, 213 p.

PAPADOPOULOS, A. P.; ORMROD, D. P. Plant spacing effects on light interception by greenhouse tomatoes. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, p. 1197-1208, 1988.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; JUNIOR, C.R.; BARNI, N.A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I.A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1017-1023, set. 2003.

RIBERIO JR, J.I. SAEG. **Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2001.

SCHOLBERG, J.; MCNEAL, B.L.; JONES, J.W.; BOOTE, K.J.; STALEY, C.D.; OBREZA, T.A. Field-grown tomato: Growth and Canopy Characteristics of Field-Grown Tomato. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 152–159, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

WOODROW L, A.; LIPTAY, A.; GRODZINSKI, B. The effects of CO₂ enrichment and ethephon application on the production of tomato transplants. **Acta Horticulturae**, n. 201, p. 133-140, 1987.

6.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados obtidos pode-se considerar a técnica de enriquecimento com CO₂ por meio da compostagem como promissora. A compostagem foi eficiente na geração de CO₂, elevando a concentração do gás no interior do ambiente de cultivo para aproximadamente 750 µL/L. Entretanto, é importante que sejam feitos estudos complementares para aperfeiçoar o método proposto. Neste sentido, são propostos a seguir alguns aspectos que deverão ser avaliados em futuros estudos.

- Emissão de gases tóxicos pela compostagem, devendo-se caracterizar o ar da atmosfera de cultivo;
- Quantificar a disponibilidade de radiação no interior do ambiente protegido visando identificar se a luz é fator limitante ao aproveitamento do CO₂;
- Possibilidade de uso de materiais termorefeletores para reduzir o calor, podendo, dessa forma, estender o período de enriquecimento;
- Utilização de material reflectivo no interior dos ambientes de cultivo para aumentar a radiação difusa, que é mais eficiente para a fotossíntese;
- Identificação de cultivares com maior capacidade fotossintética e translocação mais eficiente de fotoassimilados;
- Utilização de plástico anti-respingo para evitar a formação de gotículas de água na superfície interna da cobertura dos ambientes protegidos;
- Possibilidade de canalização do CO₂ de pátios de compostagem externos aos ambientes protegidos.