**PRODUÇÃO DE MUDAS DE HORTALIÇAS EM SUBSTRATOS
DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES COM ADIÇÃO
DE CO₂ NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

TAYSA GUIMARÃES FONSÊCA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração: Fitotecnia.

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil

Novembro - 2001

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE HORTALIÇAS EM SUBSTRATOS
DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES COM ADIÇÃO
DE CO₂ NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO**

TAYSA GUIMARÃES FONSÊCA

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. **JOÃO TESSARIOLI NETO**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração: Fitotecnia.

PIRACICABA

Estado de São Paulo – Brasil

Novembro - 2001

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Fonsêca, Taysa Guimarães

Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições
com adição de CO₂ na água de irrigação / Taysa Guimarães Fonsêca. - -
Piracicaba, 2001.
72 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
2001.
Bibliografia.

1. Beterraba 2. Dióxido de carbono 3. Mudas 4. Repolho 5. Tomate I. Título

CDD 635.642

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre indicar os melhores caminhos na minha vida.

Ao Prof. e orientador Dr. João Tessarioli Neto, pela orientação, dedicação, disponibilidade, paciência, incentivo e amizade durante os momentos necessários.

Ao Prof. e co-orientador Dr. Tarlei Arriel Botrel pela orientação em irrigação e CO₂ fundamentais na execução do projeto e pelo incentivo durante toda a execução do mesmo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela concessão da bolsa de estudos e financiamento do projeto.

À Eucatex Química e Mineral Ltda. pelo fornecimento dos substratos teste, na pessoa da Eng. Agr. Barbara Pucchala.

À Empresa Petoseed, na pessoa de José Ricardo Machado, pelo fornecimento das sementes utilizadas no projeto.

À todos os funcionários do Departamento de Produção Vegetal, Aparecido, Edmundo, Galdêncio, Gerson, Carlos, José, Toninho, Ceará, César e aos demais funcionários pelo apoio, amizade durante o curso e execução do projeto.

As secretárias: Bete, Célia, Dona Helena, Ivete e Luciane, pelo carinho e amizade durante todo o curso.

Ao Dr. Humberto de Campos que sempre se mostrou tão solícito, agradeço pelo apoio, consideração e pelo bem querer.

À Tamara Gomes pelas sugestões e orientações com CO₂, à Alexandre Heinemann pela orientação estatística, indispensável na discussão dos dados, e pela amizade, só tenho a agradecer. Obrigada.

Aos amigos Valéria e Juan, por todos os momentos juntos, pela convivência diária e intensa, que nos fez tão próximos, contem sempre comigo.

Aos amigos, de quem me mantive afastada durante a pesquisa: Costinha, Lúcio, Marco Aurélio, Marion, Patrícia, Rosselane, Marcelo, Nelson Luiz, Tatiane, Simone, Lázaro, Alberani, Carlim, pela compreensão e dedicação.

Aos amigos de pós-graduação: Evandro Schinor, Marcos Vinícius Salomon, Telma Passine, Leia Carvalho, Giovana Bessa, João Azevedo, Salvador Torres e Isabel de Oliveira.

À amiga Edina Moresco, pelo apoio dado do primeiro dia até hoje, por ter sempre uma palavra amiga nas horas mais difíceis e também por não ter me deixado desistir no período de adaptação.

Karem e Sybelle, o destino nos apresenta muitas amigas as quais não sabíamos que iam cruzar o nosso caminho, mas que costumam colocar muitos sorrisos na nossa face, durante o tempo que estamos por perto. Contem sempre comigo.

Quintiliano, cada pessoa que passa em nossa vida é única. Sempre deixa um pouco de si e leva um pouco de nós. Esta é a maior responsabilidade de nossa vida e a prova evidente de que duas almas não se encontram por acaso.

A um amigo que me disse: “eu confio em você, não desista”, agradeço o apoio e carinho.

À minha grande amiga do peito e “irmã” Lara Furquim Guimarães, assessora de assuntos sérios e aleatórios, confidente, terapeuta e guru, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida e também por me fazer acreditar que é possível cultivar uma amizade limpa, sem interesses circunstanciais, sem traições, sem medir esforços, obrigada e conte sempre comigo.

Aos meus pais agradeço pela vida, pelo amor, pela educação, pelas oportunidades, pela estabilidade do lar, pelos sacrifícios que nunca mediram por mim e por sempre me apoiarem em tudo incondicionalmente. Muitíssimo obrigado, eu os amo muito.

SUMÁRIO

Página

RESUMO	xi
SUMMARY	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Produção de mudas hortícolas de alta qualidade	3
2.2 Substrato	6
2.3 Utilização de CO ₂ na agricultura.....	9
2.4 Espécies estudadas e sua importância.....	12
2.4.1 Tomateiro	12
2.4.2 Beterraba	14
2.4.3 Repolho	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Caracterização do local.....	16
3.2 Características das cultivares estudadas.....	17
3.3 Determinação das curvas de fotossíntese em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e da concentração de CO ₂	17
3.4 Instalação e condução do experimento	21
3.4.1 Caracterização da casa de vegetação para produção de mudas	21
3.4.2 Produção de mudas	21
3.4.3 Substratos testados.....	22

3.4.4 Sistema de irrigação e injeção de CO ₂	22
3.5 Variáveis e parâmetros analisados	24
3.6 Delineamento experimental.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Avaliações das mudas de tomateiro.....	27
4.1.1 Área foliar (AF).....	27
4.1.2 Massa seca da folha (MF).....	28
4.1.3 Massa seca do caule (MC)	29
4.1.4 Massa seca da raiz (MR)	29
4.1.5 Índice de área foliar (IAF).....	30
4.1.6 Taxa de crescimento relativo (TCR).....	32
4.1.7 Taxa de assimilação líquida (TAL)	33
4.1.8 Taxa de produção de matéria seca (TPMS)	34
4.1.9 Relação parte aérea/sistema radicular (RPASR).....	35
4.2 Avaliações das mudas de beterraba.....	36
4.2.1 Área foliar (AF).....	36
4.2.2 Massa seca da folha (MF).....	37
4.2.3 Massa seca do caule (MC)	38
4.2.4 Massa seca da raiz (MR)	39
4.2.5 Índice de área foliar (IAF).....	40
4.2.6 Taxa de crescimento relativo (TCR).....	41
4.2.7 Taxa de assimilação líquida (TAL)	42
4.2.8 Taxa de produção de matéria seca (TPMS)	43
4.2.9 Relação parte aérea/sistema radicular (RPASR).....	44
4.3 Avaliações das mudas de repolho	45
4.3.1 Área foliar (AF).....	45
4.3.2 Massa seca da folha (MF).....	46
4.3.3 Massa seca do caule (MC)	47
4.3.4 Massa seca da raiz (MR)	48

4.3.5 Índice de área foliar (IAF).....	49
4.3.6 Taxa de crescimento relativo (TCR).....	50
4.3.7 Taxa de assimilação líquida (TAL)	51
4.3.8 Taxa de produção de matéria seca (TPMS)	52
4.3.9 Relação parte aérea/sistema radicular (RPASR).....	53
4.4 Discussões.....	54
4.4.1 Substrato	54
4.4.2 CO ₂	59
5 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

PRODUÇÃO DE MUDAS DE HORTALIÇAS EM SUBSTRATOS DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES COM ADIÇÃO DE CO₂ NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Autora: TAYSA GUIMARÃES FONSÊCA

Orientador: JOÃO TESSARIOLI NETO

RESUMO

Com o objetivo de avaliar novos substratos experimentais e o efeito da aplicação de CO₂ via água de irrigação na produção de mudas de tomateiro cultivar "Hypeel 108", beterraba cultivar "Early Wonder Tall Top" e repolho cultivar "Ombrios", cultivadas em bandejas sob ambiente protegido, conduziu-se um experimento na área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, em Piracicaba - SP. O experimento constou de duas etapas: determinação das curvas de fotossíntese em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e da concentração de dióxido de carbono para definir o nível de CO₂ a ser utilizado na segunda etapa que foi a produção das mudas em substratos experimentais sob dois níveis de CO₂ na água de irrigação (presença e ausência de CO₂). Para a determinação das curvas utilizou-se o medidor portátil de fotossíntese, modelo LI-6400, sob as concentrações de 200, 365, 500, 600, 800, 900, e 1000 $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$ e PAR de 700 e 1400 $\mu\text{mol}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Para a produção de mudas foram utilizados quatro substratos S₁, S₂, S₃ e S₄. O delineamento experimental

adotado foi em blocos ao acaso, com análise conjunta de dois experimentos. O desenvolvimento das mudas foi avaliado aos 18, 22, 26 e 30 dias à partir da semeadura. Foram avaliadas as variáveis área foliar, massa seca da folha, massa seca do caule e massa seca da raiz e os parâmetros índice de área foliar, taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida, taxa de produção de matéria seca e relação parte aérea/sistema radicular. As curvas indicam um resultado favorável das espécies estudadas na concentração de $800\mu\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}$. O substrato S₄ foi o que obteve melhores resultados para a produção de mudas de tomateiro, beterraba e repolho, destacando-se por ser o único a apresentar bons resultados nas três espécies avaliadas. Somente as mudas de tomateiro mostraram resultados favoráveis com a aplicação de CO₂.

SEEDLINGS VEGETABLE PRODUCTION USING SUBSTRATER WITH DIFFERENT COMPOSITION AND ADDITION OF CO₂ THROUGH THE IRRIGATION WATER

Author: TAYSA GUIMARÃES FONSÊCA

Adviser: JOÃO TESSARIOLI NETO

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate new substrates and the effect of carbon dioxide applied through irrigation water in the production of the following seedlings. These seedling were growth in a controlled environment in an experimental area of the Crop Science Department at ESALQ/USP, Piracicaba, SP. The experiment was divided in two parts. The first part consisted of determining the photosynthesis rate as a function of photosynthesis active radiation (PAR) and carbon dioxide levels to be applied at the second part of the experiment. The second part consisted of seedlings production with 2 levels of CO₂ applied through irrigation water. To determine the photosynthesis rate was used a mobile photosynthesis gage (LI-6400), and it wan determined using the following levels of CO₂ and PAR: 200, 365, 500, 600, 800, 900 e 1000μmolCO₂

mol^{-1} and 700 and $1400\mu\text{mol}^{-2} \text{s}^{-1}$. Four substrates, S_1 , S_2 , S_3 and S_4 , were used to grow the seedlings. The experimental design was a randomly blocks with an analyze of the 2 experiments together. The seedlings development were evaluated with 18, 22, 26 and 30 days after planting. The following variable were analyzed: leaf area, leaf dry matter, steam dry matter and root dry matter and the following parameters: leaf area index, growth rate, development rate and the aboveground dry matter/root dry matter rate. The photosynthesis rate showed a good agreement in the plants studies for the $800\mu\text{molCO}_2 \text{mol}^{-1}$ of CO_2 . The substrate S_4 showed the best result for seedlings production for all crops studied. Only the tomato seedlings showed a good result for CO_2 application through irrigation water.

1 INTRODUÇÃO

Considerando-se a necessidade de melhoria de rendimento de algumas culturas, entre elas o tomateiro, a beterraba e o repolho, tem se procurado introduzir novas tecnologias de produção que supram esta necessidade e ao mesmo tempo sejam acessíveis às condições econômicas dos produtores.

Com o uso crescente do cultivo protegido na produção agrícola, surgiu a figura do produtor de mudas de hortaliças. É na produção de mudas que ocorrem as maiores modificações no sistema de produção, seguindo uma tendência de sofisticação crescente. Este produtor de mudas é altamente receptivo à adoção de novas tecnologias que possam incorporar ganhos no sistema de produção. Do ponto de vista econômico, a produção em larga escala de mudas de alta qualidade tem motivado os produtores a adotarem novas técnicas, metodologias e equipamentos.

A base da horticultura moderna é a produção de mudas de alta qualidade. A partir de uma excelente muda, pode-se obter uma ótima planta adulta, seja ela ornamental, frutífera ou hortaliça (Gonçalves, 1994).

A produção de mudas de alta qualidade torna-se uma estratégia para melhorar a agricultura em geral, e de certa forma diminuir o impacto ambiental causado no solo.

Segundo Williamson & Castle (1989), o sistema de produção de mudas pode reduzir o tempo para a formação da mesma, proporcionar maior controle nas fertilizações e diminuir os problemas com pragas e doenças.

A utilização de substratos comerciais, na produção de mudas requer cuidados especiais, pois é a base fundamental para o desenvolvimento das plantas. O substrato deve proporcionar condições para o bom desenvolvimento das mudas, promover adequada integração com o sistema radicular e também possibilitar a remoção das mudas por ocasião do transplante.

A aplicação de dióxido de carbono (CO_2) via água de irrigação vem sendo testada em várias culturas com sucesso baseado em Pinto (1997), Gomes (2000) e Rezende (2001).

Todas as espécies vegetais podem obter benefícios com a aplicação do CO_2 , uma vez que a técnica melhora o metabolismo e o equilíbrio hormonal das plantas, aumenta a fotossíntese e absorção de nutrientes resultando em plantas mais produtivas, mais resistentes a doenças e ao ataque de pragas, o que melhora a qualidade dos frutos (Kimball et al., 1994).

Segundo Mudrik et. al. (1997), o cultivo de plantas em casa de vegetação com aumento artificial da concentração de dióxido de carbono, tem proporcionado a obtenção de produtos de melhor qualidade e em maior quantidade.

No Brasil, a aplicação de CO_2 é de uso recente e ainda são poucos os estudos ecofisiológicos referentes ao benefício do CO_2 em plantas. O efeito do CO_2 sobre as plantas, bem como a sua influência na produtividade e qualidade dos produtos obtidos, as doses a serem usadas e os períodos de aplicação mais adequados para os diferentes tipos de cultivo, são aspectos que ainda precisam ser melhor estudados e entendidos.

O presente trabalho tem como objetivos: avaliar novos substratos experimentais e os efeitos da adição de CO_2 na água de irrigação para produção de mudas de três diferentes espécies, tomateiro, beterraba e repolho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção de mudas hortícolas de alta qualidade

A produção de mudas para transplante, em olericultura, tem sido feita como atividade normal e obrigatória, para a maioria das culturas (Minami, 1995).

Segundo Tessarioli Neto (1994), a produção de mudas de alta qualidade apresenta os seguintes aspectos:

- alta tecnificação da atividade; elevado grau de especialização do produtor e bom controle ambiental.

Segundo Barros (1997), a produção comercial de mudas de hortaliças geralmente utiliza alta tecnologia como: ambiente protegido, irrigação, substrato, recipiente, entre outros, os quais podem influenciar na duração do período de cultivo e reduzir custos de produção.

Tessarioli Neto (1994) e Minami (1995), consideram que para a formação de mudas de alta qualidade, é necessário seguir atingir os seguintes atributos, como:

- a constituição genética deve ser aquela exigida pelo produtor;
- deve ser bem formada, com todas as características desejáveis;
- ser sadia, livre de pragas, doenças ou danos mecânicos ou físicos;
- deve ser de custo compatível com a necessidade do produtor;
- ser de fácil transporte e manuseio.

Outros autores entre eles Scarpare Filho (1994) e Gonçalves (1994), citam que para a produção de mudas de alta qualidade, é importante levar em consideração os seguintes fatores:

- a seleção de matrizes, sementes, substratos e recipientes;
- escolha criteriosa do local de produção de mudas;
- nutrição mineral adequada;
- tratamentos fitossanitários eficientes e controle sanitário do local;
- irrigação criteriosa.

A formação da muda é uma fase de extrema importância. Uma muda má formada, debilitada, compromete todo o desenvolvimento futuro da cultura aumentando seu ciclo e, em muitos casos, ocasionando perdas na produção (Minami, 1995a,c; Souza & Ferreira, 1997).

A grande vantagem do sistema de produção de mudas é o estabelecimento da cultura com espaçamento ou população predeterminada de plantas, com mudas de tamanho selecionado e uniforme, diminuição dos problemas fitossanitários, e menor competição inicial com as plantas daninhas (Minami, 1995). Esta fase é extremamente importante, pois uma muda mal formada e debilitada pode comprometer todo o desenvolvimento da cultura a ser implantada (Souza, 1995).

A produção de mudas no sistema em recipiente viabilizou a produção e a comercialização de mudas em larga escala e esta sendo empregada em várias espécies olerícolas. Este sistema vem sendo empregado em diferentes hortaliças nas mais importantes regiões olerícolas do Brasil e de outros países (Coelho, 1980).

O tamanho do recipiente e o tipo do substrato são os primeiros aspectos a serem investigados para garantir a produção de mudas de boa qualidade. O primeiro afeta diretamente o volume disponível para o desenvolvimento das raízes, permitindo o desenvolvimento sem que haja restrições significativas da sistema radicular (Jesus, 1987 & Latimer, 1991).

Segundo Taveira (1996), as principais funções dos recipientes para a produção de mudas são: proporcionar um meio para suportar e nutrir as plantas, proteger as raízes dos danos mecânicos e da dissecação, dar uma conformação vantajosa para as raízes das mudas e maximizar a sobrevivência no campo, pois o sistema radicular não é danificado e permanece em contato íntimo com o substrato.

A utilização de recipientes na produção de mudas de hortaliças, proporciona menor interferência no sistema radicular, devido ao não rompimento das raízes por ocasião do transplante, evita ou diminui a incidência de várias doenças. Isto proporciona maior proteção à muda, maior porcentagem de pegamento e maior uniformidade. Além disso, há uma maior facilidade de manuseio das mudas com torrão e possibilidade do uso intensivo da área disponível (Silva Junior & Visconti, 1991).

Segundo Filgueira (2000), o sistema “speedling” de produção de mudas, foi introduzido no Brasil, entre os tomaticultores paulistas. Consiste na semeadura em bandejas de poliestileno expandido, na qual as células apresentam o formato de pirâmide invertido, com abertura na parte inferior que propiciam o direcionamento das raízes e impedem o seu enovelamento. Sem o enovelamento das raízes, as mudas transplantadas para o campo retomarão o desenvolvimento com maior rapidez, o que reduz o ciclo cultural. Suspensas, as bandejas facilitam as práticas culturais, além de favorecer a “poda pelo ar”, que ocorre quando a raiz principal atinge o fundo das células e cessa o crescimento, havendo estímulo para a emissão de raízes secundárias. Proporciona-se, assim, equilíbrio entre a parte aérea e o sistema radicular.

A operação de transplante, que consiste na transferência da muda do local de produção para a área definitiva, é uma etapa fundamental para a sobrevivência e o desempenho da muda. Cuidados devem ser tomados para reduzir ou evitar estresse hídrico, nutricional ou físico. Com a redução desses

estresses, menor será o choque de transplante (Pereira & Martinez, 1999 citado por Vincenzo, 2001).

As estruturas fundamentais para a produção de mudas são: casas de vegetação, bandejas coletivas para mudas e substratos.

As casa de vegetação visam dar garantia à produção, de modo a minimizar os efeitos negativos do ambiente que podem afetar a formação de mudas. As bandejas são de plástico ou de poliestileno expandido, sendo que estas apresentam a vantagem de possuir um melhor efeito isolante térmico, o que permite um melhor desenvolvimento das mudas, em condições extremas de temperatura. Os substratos utilizados devem apresentar, como características importantes a baixa densidade, elevada porosidade, elevada capacidade de retenção de água, isenção de contaminação fitopatogênica e baixo custo (Tessarioli Neto, 1995).

O cultivo protegido pode proporcionar alterações ambientais, que modificam a produtividade das culturas.

2.2 Substrato

O termo substrato aplica-se em Horticultura a todo material sólido, distinto de solo, natural, residual, mineral ou orgânico que colocado num recipiente, em forma pura ou em mistura, permite a fixação do sistema radicular, desempenhando, portanto, papel de suporte para a planta (Cadahia, 1998).

Segundo Gonçalves (1995), o substrato tem como principal função a de sustentar a planta , fornecer nutrientes e permitir a troca gasosa no sistema radicular. É composto de uma parte sólida (partículas minerais e orgânicas) e uma gasosa formada pelos poros, que podem ser ocupados pela água e/ou ar.

Segundo Spurr & Barnes (1973), o substrato exerce uma influência significativa na arquitetura do sistema radicular e no estado nutricional das plantas. As características do meio utilizado para produção de mudas exercem grande influência na qualidade da planta produzida (Waters et al., 1970).

Filgueira (2000), cita que os substratos devem ser isentos de fitopatogênos e de sementes de plantas daninhas, com ótimas propriedades físicas e de teores adequados de nutrientes. Esses substratos facilitam, inclusive, a retirada das mudas em ponto de transplante com torrão. São constituídos por vermiculita expandida, materiais orgânicos (turfa, casca de *Pinus*, carvão de casca de arroz ou composto orgânico), fertilizantes e aditivos.

Minami (1995) cita que o substrato é o componente mais sensível e complexo do sistema de produção de mudas, pois, qualquer variação na sua composição pode alterar o processo final da produção de mudas, desde a não germinação das sementes até o desenvolvimento irregular das plantas. Jesus et al.(1987) e Sturion (1981), citam também que o substrato exerce uma influência marcante na arquitetura do sistema radicular influenciados pela aeração do ambiente destinado ao crescimento das raízes. Esta aeração depende da quantidade e do tamanho das partículas que definem sua textura.

O substrato utilizado deve apresentar como características principais: baixa densidade, elevada porosidade, elevada capacidade de retenção de água, isenção de contaminação fitopatogênica, baixo custo, teor de sais solúveis, quantidade total disponível de macro e micronutrientes adequados ao bom desenvolvimento da espécie que se está trabalhando. Estas características dificilmente encontram-se presentes em um único material, sendo portanto necessária a mistura de vários ingredientes para se conseguir uma combinação desejável (Minami, 1995).

No mercado são encontrados diferentes tipos de substratos comerciais, recomendados para diferentes culturas e elaborados por empresas especializadas. Geralmente são formulados à base de húmus de minhoca,

casca de *Pinus*, turfa, bagacilho de cana-de-açúcar, casca de arroz carbonizada, vermiculita expandida, fertilizante mineral (Tessarioli Neto, 1995).

A constituição básica da maior parte dos substratos comerciais é a mistura de casca de *Pinus*, turfa, vermiculita e perlita. As diferenças entre eles ocorrem em função da variação nas proporções utilizadas e na ausência de alguma das substâncias, além da suplementação mineral que é dada a cada fórmula.

O pequeno volume de substrato e a alta taxa de lixiviação, particularmente de N, representam dificuldades na manutenção de níveis adequados de nutrientes devido, principalmente, à alta frequência de irrigação. Com isso as quantidades de nutrientes encontrada nos substratos são insuficientes para um bom desenvolvimento das plantas, sendo portanto, necessário se fazer fertilizações complementares.

De acordo com Graziano et al. (1995), não são recomendáveis substratos excessivamente ricos em nutrientes, uma vez que os sais solúveis podem prejudicar o crescimento das plantas.

Aeração adequada, razoável capacidade de retenção de água e drenagem livre são qualidades físicas ideais do substrato, uma vez que o sistema radicular é confinado a um volume restrito a ser explorado. Esta aeração é imprescindível à vida e ao desenvolvimento das plantas, principalmente pelo fornecimento de oxigênio. A aeração é entendida como a percentagem do volume de poros ocupados por ar em um meio após ter sido saturado com água e deixado para drenar-se (Verdonck et al., 1981; Bugbee e Frink, 1986 citados por Menezes Júnior, 2000).

Filgueira (2000) relata que a inclusão de vermiculita expandida é altamente vantajosa, pois esse mineral micáceo absorve até cinco vezes o próprio volume de água. Além de conter teores favoráveis de K e Mg disponíveis apresenta boa retenção de nutrientes, graças à elevada capacidade

de troca catiônica. A vermiculita deve ser utilizada na base de 30-40% em relação ao volume da mistura dos demais materiais.

2.3 Utilização de CO₂ na agricultura

O carbono é o principal componente químico dos vegetais, constituindo aproximadamente 45% da sua matéria seca. A principal fonte de carbono é o CO₂ presente na atmosfera, que é absorvido pelas plantas através dos estômatos, fixado e transformado em açúcares (Mortensen, 1987). A concentração normal de CO₂ na atmosfera, em torno de 365 μmoles CO₂ por mol de ar, é considerada muito baixa para a máxima fotossíntese em plantas C₃ (Chmora & Mokronosov, 1994). Gammon et al. (1985), cita que este gás tem sofrido aumentos gradativos ao longo dos anos. Com isso estudos estão sendo desenvolvidos para a verificação da utilização do CO₂ na agricultura e o efeito de sua aplicação em relação a produtividade e a outros fatores associados à planta, ao solo e ao clima.

O enriquecimento do ambiente com CO₂ teve seu uso largamente difundido em culturas sob cultivo protegido, devido à melhora na produtividade, na qualidade, na maturação acelerada das plantas, tanto em flores ornamentais como em culturas hortícolas (Wittwer, 1970).

Outros efeitos do CO₂ ocorrem no sistema radicular, interrompendo a ação do etileno na maturação, na abscisão, na senescência e no estresse das plantas, restabelecendo o crescimento de raízes e aumentando a resistência das plantas a estresses hídricos (Lemon, 1983 citado por Moore, 1991).

Segundo Durão & Galvão (1995), a fertilização carbônica incrementa a atividade metabólica da planta, aumentando sua absorção total do CO₂ e seu vigor; aumenta a floração e frutificação, o que significa aumento de produtividade e melhoria da qualidade; torna a planta mais eficiente na

utilização da água, reduzindo o processo de transpiração vegetal, sem prejudicar outros processos metabólicos. Além disso, possibilita maior aproveitamento da adubação mineral pela planta, tornando-a mais eficiente na captação dos nutrientes do solo. Plantas sob fertilização carbônica possuem sistema radicular melhor desenvolvido.

Muitos estudos mostram que a resposta das plantas à elevação da concentração CO_2 varia conforme a espécie, a temperatura e a nutrição mineral. 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).

Machado et al. (1999) relatam, de forma objetiva, algumas hipóteses, na tentativa de justificar as causas dos efeitos positivos sobre a produtividade das culturas promovida pela aplicação de CO_2 , via água de irrigação. Entre as hipóteses apresentadas estão: a difusão do gás do solo para o ar e a absorção do gás pelas raízes favorecendo a fotossíntese, a maior absorção, a distribuição e o acúmulo de nutrientes na planta, e agindo como um fitormônio, competindo com o etileno no ar do solo.

Novero et al. (1991) verificaram um enriquecimento do CO_2 atmosférico durante a aplicação de água carbonatada, em tratamento com cobertura de polietileno, mas encontraram dificuldades em detectar o enriquecimento entre as irrigações. No solo, o incremento do gás foi significativo; houve redução de pH e uma absorção aparentemente maior de fósforo, de potássio, de cálcio, de magnésio, de zinco, de ferro, de manganês, de cobre e de boro. Neste experimento, constatou-se um incremento de 16,4 e 15,9% na produtividade total e comercial de frutos de tomate, respectivamente, no tratamento com a aplicação de CO_2 , via água de irrigação. Os autores concluem que esse fato é resultado da combinação entre os efeitos de

enriquecimento limitado do CO₂ atmosférico e as modificações ambientais no solo, melhorando a absorção dos nutrientes pelas plantas.

Segundo Pinto (1997), a aplicação de CO₂ via água de irrigação influenciou positivamente a produtividade do meloeiro cultivado em casa de vegetação, sendo a mesma devida ao maior número e peso de frutos comerciais.

Rezende (2001), trabalhando com pimentão, verificou que o enriquecimento do ambiente com CO₂ na forma gasosa reduziu o consumo de água pela planta, promoveu aumento na produção da cultura e melhorou a eficiência de uso da água.

Islam et al. (1996), trabalhando com tomate cultivado em estufa e com enriquecimento de CO₂ (entre 700 μ molCO₂ mol⁻¹ e 900 μ molCO₂ mol⁻¹), verificaram um aumento significativo na produção, obtendo frutos maiores do que no tratamento controle (200 μ molCO₂ mol⁻¹ a 400 μ molCO₂ mol⁻¹). Reinart et al. (1997), observou incrementos de aproximadamente 24% na produtividade da cultura de tomate cultivada em câmaras de ambiente controlado, com enriquecimento de CO₂ (até 675 μ molCO₂ mol⁻¹).

Ito (1989) estudou a produção da alface sobre condições controladas artificialmente e testou quatro níveis de CO₂ atmosférico e obteve melhor razão de crescimento e qualidade das cabeças para o nível de 600 μ molCO₂ mol⁻¹. Também foi observado que o incremento adicional em concentração de CO₂ resultou em pequena redução de matéria fresca, embora tenha apresentado alta razão de peso seco e alto conteúdo de clorofila, ocorrido provavelmente devido a baixa temperatura e incidência de luz, que geralmente produzem plantas com tecido mais duro.

2.4 Espécies estudadas e sua importância

2.4.1 Tomateiro

O tomateiro (*Lycopersicum esculentum*) é dentre as hortaliças cultivadas no Brasil, a segunda em importância, considerando-se os aspectos socioeconômicos. A cadeia produtiva do tomate passa hoje por importantes mudanças, orientadas para sua modernização. Os principais ajustes se referem à segmentação no campo das variedades, à incorporação de novas tecnologias de produção, a mudança nos canais de comercialização e no setor de embalagens.

O consumo do produto é crescente, tanto em sua forma natural quanto para o processamento industrial. A maior parte da produção nacional destina-se ao consumo in natura; porém, a produção destinada às agroindústrias vem crescendo, especialmente na região dos cerrados. Da produção brasileira, 68% se destinam ao mercado de tomate de mesa e 32% são utilizados como matéria-prima para processamento. O tomate é hoje o nono produto da agricultura brasileira, alcançando a sua produção anual o valor de 1,249 bilhão de dólares (Agrianual, 2001).

A produção de tomate e outras hortaliças em cultivo protegido é atividade relativamente nova no Brasil, mas encontra-se em franca expansão, sobretudo, nos estados do Sudeste e do Sul. Em vista do manejo diferenciado, essa modalidade de cultivo demanda cultivares bem adaptadas e que proporcionem o máximo de rendimento de produtos de elevado padrão de qualidade. Embora a disponibilidade de cultivares especialmente adaptadas ao cultivo protegido seja ainda limitada, o tomate, ao lado do pimentão, é a espécie que tem mostrado crescimento mais consistente e uma das alternativas mais rentáveis do setor (Melo, 1997).

A agroindústria exige um tipo especial de tomate, obrigatoriamente produzido em cultivo rasteiro, objetivando baixo custo de obtenção da matéria-prima. O fruto deve apresentar certas características: alta resistência ao transporte, inclusive a granel; coloração vermelha intensa e distribuída uniformemente pelo fruto; elevado teor de sólidos solúveis; e teor adequado de ácido cítrico. Com a introdução de colheitadeiras, exige-se também, que a maior parte dos frutos amadureça simultaneamente, já que haverá uma única colheita. A planta é de crescimento "determinado", com a haste principal apresentando inflorescência terminal. As plantas mostram-se mais ramificadas, com porte bem menor, e mais compactas (Filgueira, 2000).

Na região de Campinas-SP, um número crescente de produtores de tomate estaqueado vem utilizando mudas formadas por terceiros em estufas, liberando mão-de-obra para outras tarefas. Essas mudas são fornecidas em bandejas de isopor (Perdigão, 1996). Outras regiões do estado de São Paulo e do país tem seguido esta tendência. No estado de Goiás, as mudas são fornecidas em bandejas de isopor com 288 células, para a produção destinada à agroindústrias.

No Brasil, a área colhida de tomate rasteiro em 1999 foi de 64.655 ha com a produção obtida de 64.545 ha e um rendimento de 3.251.046 t (Agrianual, 2001). No estado de São Paulo a área plantada em 2000, produção obtida e rendimento do tomate rasteiro está em 7.537 ha, 271.884 t e 68.989 Kg/ha respectivamente (IEA e CATI, 2001).

A instalação do cultivo comercial do tomateiro se faz com mudas produzidas em recipientes. Nos últimos anos, a utilização de mudas produzidas em bandejas de isopor se firmou como uma tecnologia eficiente tanto para o cultivo tutorado como o rasteiro.

2.4.2 Beterraba

A beterraba (*Beta vulgaris*) é uma quenopodiácea na qual a parte comestível é sua raiz tuberosa, purpúrea, que se desenvolve pelo entumescimento do hipocótilo. Tal coloração é devida ao pigmento antocianina, que também ocorre nas folhas, nas nervuras e no pecíolo. A parte tuberosa apresenta formato globular, desenvolvendo-se quase à superfície do solo. O sabor é acentuadamente doce, mesmo na beterraba olerácea. O sistema radicular é do tipo pivotante, alcançando a raiz principal até 60 cm de profundidade, ou mais, com poucas ramificações laterais.

Ao contrário do que ocorre com outras hortaliças tuberosas, que são intolerantes ao transplante, a beterraba é uma exceção: se adapta muito bem à propagação por mudas (Filgueira, 2000). A utilização de mudas no cultivo comercial predomina durante o período chuvoso do ano, onde a semeadura direta se torna difícil de realizar. A cultura transplantada previne falhas nas fileiras, uniformiza as plantas e pode produzir beterrabas maiores.

A produção de beterraba no estado de São Paulo no ano de 2000, foi de 115.368 t, numa área de 5.398 ha com uma produtividade de 21.372 Kg/ha (IEA/CATI, 2001).

2.4.3 Repolho

O repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) é uma planta herbácea e apresenta folhas arredondadas e cerosas, havendo superposição das folhas centrais, formando uma “cabeça” compacta. O caule é curto, sem ramificações. A plântula apresenta uma raiz principal distinta; posteriormente, desenvolvem-se numerosas raízes adventícias, na base do caule, o que favorece a recuperação após o transplante. O sistema radicular concentra-se nos primeiros 20-30 cm do solo (Filgueira, 2000)

Atualmente há cultivares que permitem o plantio sob condições termoclimáticas diversificadas. A tendência moderna é a introdução de híbridos que apresentam larga adaptação termoclimática, possibilitando o plantio ao longo do ano (Filgueira, 2000).

O repolho apresentou no estado de São Paulo, em uma área de 5.150 ha uma produção de 172.050 t no ano de 2000 (IEA/CATI, 2001).

O repolho economicamente é a hortaliça mais importante da família das brássicas, dado à sua antigüidade, ampla distribuição, facilidade de produção e grande consumo. Assim como outras brássicas, utiliza o transplante de mudas para a sua exploração comercial, demandando desta forma, uma elevada quantidade de mudas produzidas por ano.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local

O experimento foi conduzido em área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, no município de Piracicaba-SP, situado nas coordenadas geográficas 22° 43’ de latitude sul, 47° 38’ de longitude oeste e altitude de 540 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é CWa: tropical úmido, com três meses mais secos, chuva de verão e seca no inverno, temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C.

O experimento foi executado em duas etapas, no período de outubro de 2000 até abril de 2001.

Em uma primeira etapa realizou-se um ensaio em casa de vegetação, para determinar as curvas de fotossíntese em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e da concentração de dióxido de carbono (CO₂).

As curvas serviram de base para definir o nível de CO₂ a ser utilizado em uma segunda etapa, que também foi realizada em casa de vegetação. Nesta etapa, aplicou-se CO₂ via água de irrigação, para se estudar a resposta das mudas de tomateiro, beterraba e repolho produzidas em diferentes substratos experimentais

3.2 Características das cultivares estudadas

Utilizou-se o tomateiro Híbrido para processamento "Hypeel 108" que tem como características ser uma planta grande, vigorosa e com boa cobertura foliar, de crescimento determinado e ciclo semi tardio (120 a 130 dias). Seus frutos são periformes, grandes e uniformes, de cor vermelho-intensa, paredes grossas e firmes. São ideais para produção de polpa/pasta.

As sementes de beterraba utilizada foi a Híbrida "Early Wonder Tall Top" que possui raízes de formato globular, uniformes, com coloração interna e externa vermelha-intensa, com peso médio de 200 a 220g. As folhas são altas com coloração verde-escura, além de firmes e sem estrias. Seu ciclo varia de 70 a 80 dias.

O repolho Híbrido utilizado "Ombrios" possui boa resistência ao transporte e ao armazenamento. Fornece um produto uniforme, de melhor aparência e sabor adocicado. A planta é grande, vigorosa, com boa cobertura foliar e folhas eretas e cerosas. Possui cabeça com formato semi-achatado, compacta e firme. Seu peso varia entre 2,0 a 2,2 kg. Seu ciclo varia de 100 a 110 dias.

3.3 Determinação das curvas de fotossíntese em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e da concentração de CO₂

Antes de se efetuar o trabalho propriamente dito, foi necessário a determinação das curvas de fotossíntese para que se pudesse determinar a dose de CO₂ a ser adicionada na água de irrigação. Para isso foram utilizadas plantas de tomateiro, beterraba e repolho, conduzidas em casa de vegetação no período de novembro a dezembro de 2000. Aos vinte e nove dias após a semeadura, as mudas foram transplantadas para vasos de 2,5 litros de volume,

contendo o substrato comercial "Plantmax", colocando-se uma muda por vaso. As plantas foram mantidas em casa de vegetação com irrigações diárias e fertirrigação semanal, até que as folhas atingissem 6 cm² em área. Iniciou-se então as leituras com o aparelho Portable Photosynthesis System (IRGA) modelo LI-6400 da Li-Cor, sob condições controladas no Laboratório de Fisiologia Vegetal/ESALQ-USP e com temperatura da folha de 25°C. As determinações foram realizadas em plantas sorteadas entre os vasos cultivados, com duas repetições, no período de 08 a 12 de janeiro de 2001.

Foram feitas as curvas de assimilação de CO₂ utilizando-se 7 concentrações diferentes (200, 365, 500, 600, 800, 900 e 1000 μmolCO₂.mol⁻¹) e com dois níveis de PAR aplicados (700 μmol⁻² s⁻¹ e 1400 μmol⁻² s⁻¹). Essas curvas foram feitas para determinação da concentração de CO₂ mais desejável para cada espécie a ser estudada.

Nos gráficos abaixo observa-se um aumento crescente na taxa de assimilação de CO₂, e que a partir do incremento na concentração de 600 μmolCO₂ mol⁻¹ para as três espécies estudadas, tem-se os valores mais elevados destas taxas de assimilação (figura 1). Para tomateiro e beterraba, a partir de 800 μmolCO₂ mol⁻¹ as curvas apresentam um comportamento semelhante, enquanto que para o repolho observa um decréscimo a partir de 900 μmol CO₂ mol⁻¹. Estes resultados foram obtidos com PAR de 700 μmol⁻² s⁻¹, para as três espécies estudadas.

Figura 1 - Taxa de assimilação de CO₂ em tomateiro, beterraba e repolho, em função das concentrações de CO₂, submetido a Radiação Fotossinteticamente Ativa de 700 μmoles m⁻²s⁻¹, medida em laboratório.

Utilizando-se PAR de 1400 μmol CO₂ mol⁻¹ o tomateiro teve a assimilação de CO₂ elevada com o incremento do CO₂ na câmara até o nível 900 μmol CO₂ mol⁻¹. Após isso houve uma estabilização (figura 2). A beterraba e o repolho apresentaram um aumento na taxa de assimilação de CO₂ quando submetido á concentração de 800 μmol CO₂ mol⁻¹, atingindo tendência semelhante na curva até a concentração de 1000 μmol CO₂ mol⁻¹.

Figura 2 - Taxa de assimilação de CO₂ em tomateiro, beterraba e repolho, em função das concentrações de CO₂ submetido a Radiação Fotossinteticamente Ativa de 1400 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, medida em laboratório.

Estes resultados confirmam o estudo realizado por Gomes (2000), em que o incremento de CO₂ na atmosfera aumenta a taxa fotossinteticamente ativa da planta. Os resultados obtidos indicam uma resposta favorável das espécies estudadas na concentração de CO₂ de 800 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$.

3.4 Instalação e condução do experimento

3.4.1 Caracterização da casa de vegetação para produção de mudas

A casa de vegetação utilizada, possui cobertura em arco, tendo 20 m de comprimento, 5 m de largura, 1,75 m de pé-direito. A altura da bancada para colocação das bandejas é de 0,50 m. As paredes laterais e frontais são de tela sombrite 50%, o teto coberto com filme plástico de polietileno de 150 micras, piso e rodapé em concreto. A casa de vegetação foi dividida ao meio com filme plástico de polietileno de 150 micras, e em uma das partes foi aplicado CO₂ via água de irrigação e na outra parte não.

3.4.2 Produção de mudas

Para a produção de mudas utilizou-se o sistema de bandejas de poliestireno expandido, utilizando-se bandejas com 200 células. O comprimento, largura e altura das bandejas foram de 67,5 cm, 34 cm e 5 cm, respectivamente.

A semeadura do tomateiro ocorreu no dia 28/03/2001, e suas avaliações foram aos 18 dias (1ª avaliação), 22 dias (2ª avaliação), 26 dias (3ª avaliação) e aos 30 dias (4ª avaliação) após a semeadura.

O repolho foi semeado no dia 29/03/2001, e suas avaliações foram aos 18 dias (1ª avaliação), 22 dias (2ª avaliação), 26 dias (3ª avaliação) e aos 30 dias (4ª avaliação) após a semeadura.

A beterraba foi semeada no dia 30/03/2001, e suas avaliações foram aos 18 dias (1ª avaliação), 22 dias (2ª avaliação), 26 dias (3ª avaliação) e aos 30 dias (4ª avaliação) após a semeadura.

Doze dias após a semeadura, iniciaram as adubações com o fertilizante foliar Wuxal 16-16-12. As mesmas foram repetidas a cada sete dias até o final do experimento.

3.4.3 Substratos testados

As bandejas foram preenchidas com substratos de 4 diferentes formulações da empresa Eucatex. A composição dos substratos estudados está descrita no quadro 1.

Parâmetros	Substratos			
	S ₁ Px HO - 0094	S ₂ Px HO - 0095	S ₃ Px HO - 0096	S ₄ Px HO - 0097
EC (mS/cm)	1,81	1,26	1,28	1,56
Ph	5,85	5,84	5,88	5,93
Densidade (kg/m ³)	535	475	423	563
Umidade (%)	43,7	40,8	48,6	43,4
Composição	Cascas de <i>Pinus</i> e eucalipto, vermiculita expandida, turfa e argila expandida.	Cascas de <i>Pinus</i> e eucalipto, vermiculita expandida, turfa e perlita expandida.	Cascas de <i>Pinus</i> e eucalipto e vermiculita expandida.	Cascas de <i>Pinus</i> e eucalipto, vermiculita expandida, turfa e argila expandida.
Base	Cascas de <i>Pinus</i> eucalipto.	Cascas de <i>Pinus</i> e eucalipto.	Cascas de <i>Pinus</i> e eucalipto.	Turfa.

*EC = condutividade elétrica

Quadro 1 - Características físicas e composição dos substratos estudados.

3.4.4 Sistema de irrigação e injeção de CO₂

Com o objetivo de se obter uma lâmina uniforme de água carbonatada, utilizou-se o mesmo sistema de irrigação adotado por Moraes

(2001). O sistema de irrigação é composto de dois tubos de PVC de 22mm de diâmetro e 1,80 m de comprimento. Ao longo do tubo de irrigação foram perfurados 18 orifícios em cada tubulação, com espaçamento de 10 cm entre eles. Em cada orifício foi colocado um micro aspersor denominado *FOGGER DAN* com bocal de 14l/h.

Os tubos foram fixados em uma estrutura de madeira, no formato de um retângulo, onde nas quatro extremidades colocaram-se parafusos para funcionarem como eixos para quatro rodas de 7,5 cm de diâmetro, construídas em PVC, com a finalidade de manter o carro alinhado, sustentado e auxiliar no seu deslocamento longitudinal sobre dois trilhos de arame suspensos e separados por uma distância de 1,8 m ao longo da bancada. Os trilhos de arame ficam suspensos pela fixação dos mesmos em mourões colocados nas extremidades da bancada, a uma altura de 70 cm da bancada e desnível de 20 cm.

Para se fazer o deslocamento do carrinho sobre a bancada, construiu-se um sistema de tracionamento utilizando-se um motor de limpador de para-brisas de automóvel, cuja fonte de alimentação de energia foi uma bateria de automóvel de 12,0 V.

O carrinho é ilustrado na figura 1.

O sistema de aplicação de CO₂ constituiu de um cilindro com capacidade de 20 kg para armazenamento do gás de alta pressão, equipado com válvula dosadora, para especificar a vazão do gás a ser liberada, manômetro e fluxômetro.

A regulação da vazão no fluxômetro foi realizada utilizando uma proveta graduada de 1000ml, com água, um balde de 20 litros com água e um cronômetro. A proveta foi mergulhada no balde com abertura voltada para baixo e um segmento de tubo conectado ao fluxômetro foi introduzido dentro da proveta. Abriu-se o registro liberando o gás dentro da proveta e mediu-se o tempo necessário para que o volume conhecido de água, existente dentro da proveta, fosse deslocado pelo gás. A vazão foi calculada dividindo o volume de água deslocado pelo tempo necessário para promover o deslocamento. O processo foi repetido até obter a vazão necessária para que a concentração de CO₂ no ambiente atingisse os valores desejados, de 800 μ molCO₂ mol⁻¹ no interior da casa de vegetação. Corresponde a aplicação de aproximadamente 19,14 10⁻⁶ gr CO₂/m² do experimento.

A aplicação de CO₂ foi feita em todas as irrigações durante todo o período do experimento. As irrigações foram feitas de acordo com a necessidade hídrica das plantas.

3.5 Variáveis e parâmetros analisados

Para análise de crescimento das mudas foram realizadas quatro avaliações, aos 18, 22 ,26 e 30 após a semeadura, visando acompanhar o desenvolvimento das plantas nos tratamentos e substratos utilizados. Nessas avaliações foram analisados as seguintes variáveis:

- ♦ Área foliar (AF), em cm²,
- ♦ Massa seca folha (MF), em gramas,

♦ Massa seca caule (MC), em gramas,

♦ Massa seca raiz (MR), em gramas.

E os parâmetros:

♦ Índice de área foliar (IAF),

$$IAF = AF / S$$

♦ Taxa de crescimento relativo (TCR),

$$TCR = \text{Log e } P_2 - \text{Log e } P_1 / t_2 - t_1 \text{ (g.g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1} \text{)}$$

♦ Taxa de assimilação líquida (TAL),

$$TAL = (P_2 - P_1 / A_2 - A_1) \cdot (\text{Log e } A_2 - \text{Log e } A_1 / t_2 - t_1) \text{ (g.dm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} \text{)}$$

♦ Taxa de produção de matéria seca (TPMS),

$$TPMS = (P_2 - P_1) / S / (t_2 - t_1) \text{ (g.m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} \text{)}$$

♦ Relação parte aérea/sistema radicular (RPASR),

$$RPASR = PSPA / PSSR.$$

Onde,

AF = área foliar da planta (cm²);

S = área do solo disponível à planta(dm²);

P2 = massa da matéria seca total do vegetal colhido na segunda amostragem (gramas);

P1 = massa da matéria seca total do vegetal colhido na primeira amostragem (gramas);

Log e = logaritmo neperiano (Log e = logaritmo decimal multiplicado por 2,30258);

A2 = área foliar do vegetal no tempo t2 (cm²);

A1 = área foliar do vegetal no tempo t1 (cm²);

T2 e t1 = dias da segunda e primeira amostragens, respectivamente (número de dias decorridos entre as duas amostragens);

PSPA = massa da matéria seca da parte aérea (gramas);

PSSR = massa da matéria seca do sistema radicular (gramas).

Para obtenção da área foliar, foi utilizado o medidor de área foliar, marca Li-cor, modelo LI-3100. A massa seca da folha, caule e raiz, foram obtidas após secagem das amostras à 70°C, e avaliadas em balança digital ACTEC, modelo BEC 1000.

As análises de crescimento vegetal foram feitas de acordo com Lucchesi (1984). Através da análise quantitativa de crescimento vegetal pode-se agrupar os efeitos dos diferentes tratamentos que estão sendo efetuados, visto que este tipo de análise fundamenta-se na medição seqüencial do acúmulo de matéria orgânica, tanto em uma ou várias fases de crescimento, como durante todo o ciclo em questão. Os elementos necessários na utilização deste método de análise são a massa da matéria seca e a área foliar da planta a ser analisada, em sucessivas épocas de amostragem.

3.4.3 Delineamento experimental

As espécies estudadas foram analisadas separadamente.

Os tratamentos foram os quatro substratos em três repetições, em dois ambientes, um com e outro sem CO₂.

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com análise conjunta de dois experimentos.

Na análise de dados utilizou-se o programa computacional SAS - Statistical Analysis System Institute.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliações das mudas de tomateiro

4.1.1 Área foliar (AF)

Conforme tabela 1, para a variável AF observou-se que o substrato S₄, apresenta-se superior aos demais na primeira avaliação, embora não tenha diferido estatisticamente do substrato S₃. Nas avaliações posteriores respectivamente com intervalos de quatro dias, não observou-se diferença significativa entre os substratos.

Tabela 1. Valores médios de Área foliar (AF) em cm², obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de tomateiro.

Substrato		Avaliações							
		1ª		2ª		3ª		4ª	
AF	S ₁	32,68	b	49,32	ns	81,14	ns	131,32	ns
	S ₂	30,44	b	47,60	ns	86,54	ns	140,29	ns
	S ₃	34,62	ab	52,46	ns	78,05	ns	129,72	ns
	S ₄	38,36	a	52,20	ns	79,61	ns	127,01	ns
AF	Com CO ₂	34,64	ns	54,26	a	86,08	a	130,10	ns
	Sem CO ₂	33,41	ns	46,53	b	76,59	b	134,07	ns

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, houve diferença significativa na 2^a e 3^a avaliações, sendo que onde foi aplicado o gás, mostrou-se superior ao não aplicado. Já na 1^a e 4^a avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.1.2 Massa seca da folha (MF)

Na tabela 2, para a variável MF observa-se que o substrato S₄ apresenta-se superior aos demais na 1^a avaliação. Na 2^a avaliação, dois substratos mostraram-se melhores: S₄ e S₃ mas não diferiram estatisticamente do S₁. Na 3^a e 4^a avaliações, não houve diferença significativa desta variável.

Tabela 2. Valores médios da Massa seca da folha (MF) em gramas, obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de tomateiro.

		Avaliações							
Substrato		1 ^a		2 ^a		3 ^a		4 ^a	
MF	S ₁	8,40	b	21,01	ab	29,20	ns	37,56	ns
	S ₂	7,85	b	18,83	b	29,61	ns	40,55	ns
	S ₃	8,95	b	22,96	a	28,31	ns	39,90	ns
	S ₄	11,23	a	23,53	a	31,98	ns	39,58	ns
MF	Com CO ₂	8,72	b	23,15	a	28,55	ns	41,59	ns
	Sem CO ₂	9,49	a	20,02	b	31,00	ns	37,20	ns

Dados transformados 10³

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, na 1^a avaliação onde foi aplicado o CO₂, a massa foliar foi superior ao não aplicado. Já na 2^a avaliação onde o CO₂ não foi aplicado, foi melhor. Na 3^a e 4^a avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do CO₂.

4.1.3 Massa seca do caule (MC)

Para a variável MC observa-se que o substrato S_4 apresenta-se superior aos demais, mas não difere estatisticamente do S_3 na 2ª avaliação. Na 1ª e 4ª avaliações, não houve diferença significativa em relação a massa seca do caule, apesar dos valores da 4ª avaliação serem superiores.

Tabela 3. Valores médios da Massa seca do caule (MC) em gramas, obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO_2 em mudas de tomateiro.

		Avaliações					
Substrato		1ª	2ª		3ª	4ª	
MC	S_1	5,68 ns	9,45	b	13,01 b	25,58	ns
	S_2	5,55 ns	8,61	b	12,81 b	26,01	ns
	S_3	5,80 ns	10,13	ab	13,33 b	25,46	ns
	S_4	6,46 ns	11,26	a	15,66 a	27,01	ns
MC	Com CO_2	6,10 ns	10,40	a	14,62 a	27,37	a
	Sem CO_2	5,64 ns	9,32	b	12,79 b	24,66	b

Dados transformados 10^1

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO_2 , na 2ª, 3ª e 4ª avaliações, onde foi aplicado o CO_2 a MC foi superior ao não aplicado. Na 1ª avaliação não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.1.4 Massa seca da raiz (MR)

Para a variável MR observa-se que o substrato S_3 apresenta-se superior aos demais, mas não difere estatisticamente dos substratos S_1 e S_4 na

2ª avaliação. Na 1ª, 2ª e 4ª avaliações, não houve diferença significativa em relação a massa seca da raiz.

Tabela 4. Valores médios da Massa seca da raiz (MR) em gramas, obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de tomateiro.

		Avaliações					
Substrato		1ª		2ª		3ª	4ª
MR	S ₁	7,95	ns	9,06	ab	10,03	ns
	S ₂	7,11	ns	8,70	b	10,33	ns
	S ₃	8,05	ns	10,03	a	9,58	ns
	S ₄	7,50	ns	8,91	ab	10,40	ns
MR	Com CO ₂	7,50	ns	9,53	a	10,00	ns
	Sem CO ₂	7,80	ns	8,82	b	10,16	ns

Dados transformados 10¹

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, na 2ª avaliação, a aplicação do gás foi superior ao não aplicado. Na 1ª, 3ª e 4ª avaliação não houve estatisticamente diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.1.5 Índice de área foliar (IAF)

O parâmetro IAF avalia a capacidade ou a velocidade com que as partes aéreas do vegetal (área foliar) ocupam a área de solo disponível àquele vegetal (Lucchesi, 1985).

A área foliar de uma planta constitui sua matéria prima para fotossíntese e, como tal, é importantíssima para a produção de carboidratos, lipídios e proteínas. O IAF representa a área foliar total por unidade de área do

terreno. Funciona como indicador da superfície disponível para interceptação e absorção de luz (Peixoto¹).

Pode-se então observar que o substrato S₄ apresenta-se superior aos demais não diferindo estatisticamente do S₃ na 1ª avaliação. Na 2ª, 3ª e 4ª avaliações, não houve diferença significativa em relação ao índice de área foliar.

Tabela 5. Valores médios obtidos do Índice de área foliar (IAF), nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de tomateiro.

		Avaliações					
Substrato		1ª		2ª		3ª	4ª
IAF	S ₁	3,63	b	5,48	ns	9,01	ns
	S ₂	3,38	b	5,28	ns	9,61	ns
	S ₃	3,84	ab	5,82	ns	8,67	ns
	S ₄	4,26	a	5,80	ns	8,84	ns
IAF	Com CO ₂	3,84	ns	6,02	a	9,56	a
	Sem CO ₂	3,71	ns	5,17	b	8,50	b

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, na 2ª e 3ª avaliações foram obtidos os melhores resultados com aplicação de CO₂. Na 1ª, e 4ª avaliação não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

¹ PEIXOTO, C.P. **Análise de crescimento de plantas**: seminário apresentado na disciplina LBO 719 - Fisiologia do Crescimento. Piracicaba: ESALQ, 1998. 24p.

4.1.6 Taxa de crescimento relativo (TCR)

O parâmetro TCR de um vegetal evidencia o seu crescimento, que é dependente do material que está sendo acumulado. Geralmente ela diminui à medida que a planta cresce, em virtude do auto-sombreamento das plantas (Lucchesi, 1985).

Magalhães (1985) considera a taxa de crescimento relativo como a medida mais apropriada para avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material que está sendo acumulado.

Todo crescimento resultará da produção de material suficiente para atender às necessidades metabólicas do material já existente e, ainda, para armazenar ou construir novo material estrutural, uma vez que conceitualmente, a análise de crescimento estabelece que a taxa de crescimento de uma planta é função do tamanho inicial ou o período em que se inicia a observação (Benincasa, 1988 citado por Peixoto, 1998).

Observa-se que o substrato S_4 apresenta-se superior aos demais, não diferindo estatisticamente dos substratos S_1 e S_3 na 1ª avaliação. Na 2ª avaliação, os substratos S_3 e S_4 apresentaram-se melhor perante os outros, mas não diferindo estatisticamente do S_1 . Na 3ª e 4ª avaliações não houve diferença significativa em relação ao índice de área foliar.

Tabela 6. Valores médios obtidos da Taxa de crescimento relativo (TCR) em $\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO_2 em mudas de tomateiro.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
TCR	S ₁	50,73	ab	91,02	ab	120,31	ns	182,97	ns
	S ₂	47,24	b	83,23	b	121,49	ns	191,92	ns
	S ₃	52,49	ab	99,31	a	117,96	ns	188,85	ns
	S ₄	58,02	a	100,66	a	133,66	ns	189,38	ns
TCR	Com CO_2	53,20	ns	99,22	a	128,46	a	198,38	a
	Sem CO_2	51,04	ns	87,90	b	118,25	b	178,18	b

Dados transformados 10^1

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO_2 , na 2ª, 3ª e 4ª avaliações a aplicação de CO_2 obteve melhores resultados. Na 1ª avaliação não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.1.7 Taxa de assimilação líquida (TAL)

O parâmetro TAL demonstra as alterações na quantidade de material orgânico formado com a energia luminosa recebida, em peso de matéria seca por unidade de área foliar, por unidade de tempo. No decorrer do crescimento de uma planta, sua capacidade de produção aumenta (maior IAF) mas a sua TAL diminui, em virtude do auto-sombreamento (Lucchesi, 1985).

A TAL reflete a capacidade da planta em aumentar sua fitomassa em função de sua superfície assimilatória, em determinado intervalo de tempo. Portanto, relaciona-se com a eficiência fotossintética da planta de modo generalizado (Peixoto, 1998).

Pode-se então observar que o substrato S_4 apresenta-se melhor aos demais, não diferindo estatisticamente dos substratos S_1 e S_3 na 3ª avaliação. Nas demais avaliações não houve diferença significativa em relação aos substratos analisados.

Tabela 7. Valores médios obtidos da Taxa de assimilação líquida (TAL) em $\text{g.dm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO_2 em mudas de tomateiro.

		Avaliações			
Substrato		1ª	2ª	3ª	4ª
TAL	S_1	0,90 ns	0,71 ns	0,34 ab	0,20 ns
	S_2	0,98 ns	0,70 ns	0,31 b	0,18 ns
	S_3	0,85 ns	0,69 ns	0,37 ab	0,21 ns
	S_4	0,74 ns	0,71 ns	0,40 a	0,22 ns
TAL	Com CO_2	0,86 ns	0,64 b	0,33 b	0,20 ns
	Sem CO_2	0,87 ns	0,77 a	0,38 a	0,21 ns

Dados transformados 10^3

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO_2 , na 2ª e 3ª avaliações sendo que sem aplicação de CO_2 obteve melhores resultados. Na 1ª e 4ª avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.1.8 Taxa de produção de matéria seca(TPMS)

O parâmetro TPMS avalia o crescimento do vegetal, relacionando a quantidade de material orgânico acumulado, em função da área de solo disponível, por unidade de tempo, entre cada duas amostragens (Lucchesi, 1985).

Observa-se então que o substrato S_4 apresenta-se melhor aos demais, não diferindo estatisticamente dos substratos S_1 e S_3 na 1ª avaliação. Na 2ª avaliação, os substratos S_3 e S_4 apresentaram-se melhor, mas não difere estatisticamente do substrato S_1 . Na 3ª e 4ª avaliações não houve diferença significativa em relação ao índice de área foliar.

Tabela 8. Valores médios obtidos da Taxa de produção de matéria seca (TPMS) em $\text{g.dm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO_2 em mudas de tomateiro.

		Avaliações					
Substrato		1ª	2ª	3ª	4ª		
TPMS	S_1	2203,3 ab	109,81 ab	145,13 ns	220,74 ns		
	S_2	2051,7 b	100,41 b	146,57 ns	231,52 ns		
	S_3	2280,0 ab	119,81 a	142,31 ns	227,82 ns		
	S_4	2520,0 a	121,43 a	161,25 ns	228,47 ns		
TPMS	Com CO_2	2310,83 ns	119,69 a	154,97 a	239,32 a		
	Sem CO_2	2216,67 ns	106,04 b	142,66 b	214,95 b		

Dados transformados 10^3

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO_2 , na 2ª, 3ª e 4ª avaliações sendo que com aplicação de CO_2 obteve melhores resultados. Na 1ª avaliação não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.1.9 Relação parte aérea/sistema radicular (RPASR)

Através deste parâmetro, é possível analisar-se o crescimento da parte aérea em relação ao crescimento do sistema radicular do vegetal.

Observa-se que o substrato S_4 apresenta-se superior aos demais na 1ª e 2ª avaliações. Na 3ª avaliação, o substrato S_4 apresenta-se melhor, mas

não difere estatisticamente dos substratos S_1 e S_3 . Na 4ª avaliação não houve diferença significativa em relação ao índice de área foliar.

Tabela 9. Valores médios obtidos da Relação parte aérea/sistema radicular (RPASR), nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO_2 em mudas de tomateiro.

		Avaliações					
Substrato		1ª		2ª		3ª	4ª
RPASR	S_1	1,79	b	3,36	b	4,22 ab	3,88 ns
	S_2	1,91	b	3,15	b	4,10 b	3,95 ns
	S_3	1,84	b	3,29	b	4,34 ab	3,96 ns
	S_4	2,36	a	3,90	a	4,58 a	4,27 ns
RPASR	Com CO_2	1,86	b	3,32	ns	4,49 a	4,00 ns
	Sem CO_2	2,09	a	3,53	ns	4,13 b	4,03 ns

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO_2 , na 1ª avaliação sem aplicação de CO_2 obteve melhores resultados. Na 3ª avaliação com aplicação de CO_2 obteve melhores resultados. Na 2ª e 4ª avaliações houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.2 Avaliações das mudas de beterraba

4.2.1 Área foliar (AF)

Conforme tabela 10, para a variável AF observou-se que o substrato S_4 , apresenta-se superior ao demais na 3ª avaliação. Nas avaliações posteriores, não observou-se diferença significativa entre os substratos.

Tabela 10. Valores médios de Área foliar (AF) em cm², obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de beterraba.

		Avaliações							
Substrato		1 ^a		2 ^a		3 ^a		4 ^a	
AF	S ₁	13,358	ns	18,66	ns	44,27	b	52,93	ns
	S ₂	15,11	ns	21,92	ns	49,67	b	61,10	ns
	S ₃	10,83	ns	17,51	ns	42,10	b	57,99	ns
	S ₄	16,25	ns	22,99	ns	60,28	a	73,08	ns
AF	Com CO ₂	13,32	ns	20,37	ns	54,58	a	65,77	ns
	Sem CO ₂	14,46	ns	20,17	ns	43,57	b	56,78	ns

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, na 3^a avaliação, sendo que com aplicação de CO₂, foi superior ao sem aplicação do gás. Nas outras avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.2.2 Massa seca da folha (MF)

Na tabela 11, para a variável MF observa-se que o substrato S₄ apresenta-se superior aos demais, mas não diferindo estatisticamente dos substratos S₁ e S₂ na 1^a avaliação. Na 2^a avaliação também o substrato S₄ apresenta-se superior aos demais, mas não diferindo estatisticamente dos substratos S₁ e S₂. Na 3^a avaliação, o substrato S₄ apresenta-se melhor que os outros substratos avaliados. A 4^a avaliação não houve diferença significativa em relação a massa da folha.

Tabela 11. Valores médios da Massa seca da folha (MF) em gramas, obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de beterraba.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
MF	S ₁	5,18	ab	8,20	ab	15,40	b	21,80	ns
	S ₂	4,85	ab	9,10	ab	14,81	b	24,16	ns
	S ₃	3,26	b	6,43	b	12,78	b	23,08	ns
	S ₄	6,70	a	10,48	a	20,76	a	30,91	ns
MF	Com CO ₂	5,02	ns	9,62	a	15,05	ns	27,55	ns
	Sem CO ₂	4,97	ns	7,48	b	16,82	ns	22,42	ns

Dados transformados 10¹

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂ , na 2ª avaliação, sendo que onde foi aplicado o gás, mostrou-se superior ao não aplicado. Já nas demais avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.2.3 Massa seca do caule (MC)

Para a variável MC observa-se que o substrato S₄ apresenta-se melhor, mas não difere estatisticamente do S₁ na 3ª avaliação. Na 4ª avaliação, o substrato S₄ apresenta-se melhor, mas não difere estatisticamente do S₁ e do S₃. Na 1ª e 2ª avaliações não houve diferença significativa em relação a massa seca do caule.

Tabela 12. Valores médios da Massa seca do caule (MC) em gramas, obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de beterraba.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
MC	S ₁	5,95	ns	6,86	ns	7,20	ab	8,85	ab
	S ₂	5,58	ns	6,55	ns	5,98	b	8,23	b
	S ₃	5,78	ns	6,63	ns	5,78	b	8,43	ab
	S ₄	7,11	ns	8,13	ns	8,46	a	10,58	a
MC	Com CO ₂	6,10	ns	7,07	ns	7,03	ns	9,25	ns
	Sem CO ₂	6,11	ns	7,01	ns	6,68	ns	8,79	ns

Dados transformados 10¹

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.2.4 Massa seca da raiz (MR)

Para a variável MR observa-se que o substrato S₄ apresenta-se melhor em relação aos demais. Na 4ª avaliação, os substratos S₄ e S₃, apresenta-se melhor, mas não difere estatisticamente do S₁. Na 1ª e 2ª avaliações não houve diferença significativa em relação a massa seca da raiz.

Tabela 13. Valores médios da Massa seca da raiz (MR) em gramas, obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de beterraba.

		Avaliações							
Substrato		1 ^a		2 ^a		3 ^a		4 ^a	
MR	S ₁	2,50	ns	4,76	ns	5,61	b	7,98	ab
	S ₂	2,40	ns	4,18	ns	4,91	b	6,35	b
	S ₃	2,38	ns	4,10	ns	4,36	b	9,16	a
	S ₄	3,11	ns	5,70	ns	7,81	a	9,66	a
MR	Com CO ₂	2,64	ns	5,60	a	5,58	ns	8,42	ns
	Sem CO ₂	2,55	ns	3,77	b	5,77	ns	8,15	ns

Dados transformados 10¹

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, na 2^a avaliação sendo que com aplicação do gás, mostrou-se superior ao não aplicado. Na 1^a, 3^a e 4^a avaliação não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.2.5 Índice de área foliar (IAF)

Para o parâmetro IAF observa-se que o substrato S₄ apresenta-se superior aos demais na 1^a avaliação. Na 2^a, 3^a e 4^a avaliações, não houve diferença significativa em relação ao índice de área foliar.

Tabela 14. Valores médios obtidos do Índice de área foliar (IAF), nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de beterraba.

		Avaliações							
Substrato		1 ^a		2 ^a		3 ^a		4 ^a	
IAF	S ₁	1,48	ns	2,07	ns	4,91	b	5,88	ns
	S ₂	1,67	ns	2,43	ns	5,51	b	6,78	ns
	S ₃	1,20	ns	1,94	ns	4,67	b	6,44	ns
	S ₄	1,80	ns	2,55	ns	6,69	a	8,12	ns
IAF	Com CO ₂	1,48	ns	2,26	ns	6,06	a	7,30	ns
	Sem CO ₂	1,60	ns	2,24	ns	4,84	b	6,30	ns

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, na 3^a avaliação sendo que com aplicação de CO₂ obteve melhores resultados. Na 1^a, 2^a e 4^a avaliação não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.2.6 Taxa de crescimento relativo (TCR)

Para este parâmetro TCR, observa-se que o substrato S₄ apresenta-se superior aos demais, não diferindo estatisticamente dos substratos S₁ e S₂ na 1^a avaliação. Na 2^a avaliação, o substrato S₄ apresenta-se melhor perante os outros, mas não diferindo estatisticamente dos substratos S₁ e S₂. Na 3^a avaliação o substrato S₄ apresenta-se superior aos demais. Na 4^a avaliação não houve diferença significativa em relação ao índice de área foliar.

Tabela 15. Valores médios obtidos da Taxa de crescimento relativo (TCR) em $\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO_2 em mudas de beterraba.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
TCR	S ₁	31,39	ab	45,66	ab	64,97	b	88,96	ns
	S ₂	29,55	ab	45,66	ab	59,21	b	89,22	ns
	S ₃	26,32	b	39,52	b	52,80	b	93,68	ns
	S ₄	38,99	a	55,99	a	85,31	a	117,82	ns
TCR	Com CO_2	31,69	ns	51,34	a	63,72	ns	104,17	ns
	Sem CO_2	31,43	ns	42,08	b	67,42	ns	90,66	ns

Dados transformados 10^1

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO_2 , na 2ª avaliação sendo que com aplicação de CO_2 obteve melhores resultados. Na 1ª, 3ª e 4ª avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.2.7 Taxa de assimilação líquida (TAL)

Para este parâmetro TAL, somente na 1ª avaliação houve diferença significativa, sendo o substrato S₃ superior aos demais, mas não diferindo estatisticamente dos substratos S₁ e S₄. Nas demais avaliações observa-se que não houve diferença significativa em relação aos substratos analisados.

Tabela 16. Valores médios obtidos da Taxa de assimilação líquida (TAL) em $\text{g.dm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO_2 em mudas de beterraba.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
TAL	S ₁	3,50	ab	2,59	ns	0,69	ns	0,55	ns
	S ₂	2,66	b	2,02	ns	0,51	ns	0,50	ns
	S ₃	4,32	a	2,51	ns	0,61	ns	0,50	ns
	S ₄	2,92	ab	2,04	ns	0,47	ns	0,38	ns
TAL	Com CO_2	3,53	ns	2,45	ns	0,41	b	0,42	ns
	Sem CO_2	3,17	ns	2,12	ns	0,73	a	0,54	ns

Dados transformados 10^3

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO_2 , na 3ª avaliação sendo que sem aplicação de CO_2 obteve melhores resultados. Na 1ª, 2ª e 4ª avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.2.8 Taxa de produção de matéria seca (TPMS)

Neste parâmetro TPMS, observa-se que o substrato S₄ apresenta-se melhor aos demais, não diferindo estatisticamente dos substratos S₁ e S₂ na 1ª avaliação. Na 2ª avaliação, o substrato S₄ apresentaram-se melhor, mas não difere estatisticamente do substrato S₁ e S₂. Na 3ª avaliação, o substrato S₄ apresentaram-se melhor aos demais substratos avaliados. Na 4ª avaliação não houve diferença significativa em relação a produção de matéria seca.

Tabela 17. Valores médios obtidos da Taxa de produção de matéria seca (TPMS) em $\text{g.dm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO_2 em mudas de beterraba.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
TPMS	S ₁	8,41	ab	55,09	ab	78,38	b	107,31	ns
	S ₂	7,92	ab	55,09	ab	71,43	b	107,64	ns
	S ₃	7,05	b	47,68	b	63,70	b	113,01	ns
	S ₄	10,45	a	67,54	a	102,91	a	142,13	ns
TPMS	Com CO_2	8,49	ns	61,94	a	76,87	ns	125,67	ns
	Sem CO_2	8,42	ns	50,76	b	81,34	ns	109,37	ns

Dados transformados 10^3

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO_2 , na 2ª avaliação sendo que com aplicação de CO_2 obteve melhores resultados. Na 1ª, 3ª e 4ª avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.2.9 Relação parte aérea/sistema radicular (RPASR)

Para o parâmetro RPASR, observa-se que o substrato S₂ apresenta-se melhor, mas não diferindo estatisticamente dos substratos S₁ e S₄ na 4ª avaliação. Na 1ª, 2ª e 3ª avaliações não houve diferença significativa em relação ao índice de área foliar.

Tabela 18. Valores médios obtidos da Relação parte aérea/sistema radicular (RPASR), nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de beterraba.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
RPASR	S ₁	4,96	ns	3,23	ns	4,13	ns	3,90	ab
	S ₂	4,37	ns	4,06	ns	4,95	ns	5,26	a
	S ₃	3,91	ns	3,39	ns	4,68	ns	3,47	b
	S ₄	4,68	ns	3,71	ns	3,74	ns	4,30	ab
RPASR	Com CO ₂	4,50	ns	3,26	ns	4,42	ns	4,45	ns
	Sem CO ₂	4,45	ns	3,94	ns	4,33	ns	4,01	ns

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.3 Avaliações das mudas de repolho

4.3.1 Área foliar (AF)

Conforme tabela 19, para a variável AF observou-se que em todas as avaliações houve diferença significativa. O substrato S₄, apresenta-se superior ao demais na 1ª avaliação, não diferindo do substrato S₂. Na 2ª avaliação o substrato S₂ apresenta-se melhor que os outros, mas não difere estatisticamente dos substratos S₁ e S₄. Na 3ª e 4ª avaliações, os substratos S₂ e S₄ são superiores aos demais.

Tabela 19. Valores médios de Área foliar (AF) em cm², obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de repolho.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
AF	S ₁	33,22	b	41,93	ab	87,73	b	109,26	b
	S ₂	34,06	ab	54,03	a	104,22	a	135,94	a
	S ₃	25,41	c	35,14	b	76,54	b	97,96	b
	S ₄	40,95	a	48,53	ab	111,80	a	138,77	a
AF	Com CO ₂	31,92	ns	42,60	ns	95,22	ns	120,61	ns
	Sem CO ₂	34,89	ns	47,21	ns	94,92	ns	120,35	ns

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.3.2 Massa seca da folha (MF)

Na tabela 20, para a variável MF observa-se que o substrato S₂ e S₄ apresenta-se superior aos demais, mas não diferindo estatisticamente dos substratos S₁ na 2ª avaliação. Na 3ª e 4ª avaliações os substratos S₂ e S₄ apresenta-se superior aos demais. A 1ª avaliação não houve diferença significativa em relação a massa da folha.

Tabela 20. Valores médios da Massa seca da folha (MF) em gramas, obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de repolho.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
MF	S ₁	10,41	ns	15,95	ab	25,90	b	35,51	b
	S ₂	10,61	ns	21,78	a	31,31	a	46,45	a
	S ₃	7,48	ns	13,98	b	21,06	b	31,65	b
	S ₄	11,08	ns	20,60	a	32,30	a	44,65	a
MF	Com CO ₂	8,72	b	23,15	a	28,55	ns	41,59	ns
	Sem CO ₂	9,49	a	20,02	b	31,00	ns	37,20	ns

Dados transformados 10¹

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, na 1ª e 2ª avaliações, sendo que onde não foi aplicado o gás, mostrou-se superior ao aplicado. Já nas demais avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.3.3 Massa seca do caule (MC)

Para a variável MC do caule observa-se que o substrato S₂ apresenta-se melhor, mas não difere estatisticamente do S₁ e S₄ na 2ª avaliação. Na 3ª avaliação, o substrato S₂ apresenta-se melhor, mas não difere estatisticamente do S₁ e do S₄. Na 4ª avaliação, o substrato S₂ apresenta-se melhor, mas não difere estatisticamente do S₄. Na 1ª avaliação não houve diferença significativa em relação a massa seca do caule.

Tabela 21. Valores médios da Massa seca do caule (MC) em gramas, obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de repolho.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
MC	S ₁	7,81	ns	8,66	ab	8,81	ab	11,58	bc
	S ₂	8,20	ns	10,81	a	10,55	a	14,26	a
	S ₃	7,21	ns	8,11	b	8,10	b	9,98	c
	S ₄	8,20	ns	8,61	ab	9,63	ab	13,20	ab
MC	Com CO ₂	7,64	ns	8,56	ns	9,28	ns	12,30	ns
	Sem CO ₂	8,07	ns	9,54	ns	9,26	ns	12,20	ns

Dados transformados 10¹

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.3.4 Massa seca da raiz (MR)

Para a variável MR observa-se que o substrato S₂ apresenta-se melhor em relação aos demais, não diferindo estatisticamente dos substratos S₁ e S₄ na 1ª e 2ª e 3ª avaliações. Na 4ª avaliação não houve diferença significativa em relação em relação a massa seca da raiz.

Tabela 22. Valores médios da Massa seca da raiz (MR) em gramas, obtidos nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de repolho.

		Avaliações			
Substrato		1ª	2ª	3ª	4ª
MR	S ₁	4,31 ab	6,55 ab	8,86 ab	9,91 ns
	S ₂	4,91 a	8,15 a	10,35 a	11,91 ns
	S ₃	3,95 b	5,68 b	8,28 b	9,45 ns
	S ₄	4,11 ab	6,70 ab	9,91 ab	11,56 ns
MR	Com CO ₂	4,31 ns	6,36 ns	9,09 ns	10,05 ns
	Sem CO ₂	4,33 ns	7,17 ns	9,61 ns	11,37 ns

Dados transformados 10¹

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂ , houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.3.5 Índice de área foliar (IAF)

Para o parâmetro IAF houve diferença significativa em todas as avaliações. No substrato S₁ apresenta-se superior aos demais na 1ª avaliação, mas não difere estatisticamente do substrato S₂. Na 2ª avaliação, o substrato S₂ apresenta-se melhor mas não difere estatisticamente dos substratos S₁ e S₄. Na 3ª e 4ª avaliações, o substrato S₂ e S₄ apresenta-se melhor em relação aos demais.

Tabela 23. Valores médios obtidos do Índice de área foliar (IAF), nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de repolho.

		Avaliações			
Substrato		1ª	2ª	3ª	4ª
IAF	S ₁	3,69 b	4,65 ab	9,74 b	12,14 b
	S ₂	3,78 ab	6,00 a	11,58 a	15,10 a
	S ₃	2,82 c	3,90 b	8,50 b	10,88 b
	S ₄	4,55 a	5,39 ab	12,42 a	15,41 a
IAF	Com CO ₂	3,54 ns	4,73 ns	10,58 ns	13,40 ns
	Sem CO ₂	3,87 ns	5,24 ns	10,54 ns	13,37 ns

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.3.6 Taxa de crescimento relativo (TCR)

Para este parâmetro TCR, observa-se que o substrato S₂ apresenta-se superior aos demais, não diferindo estatisticamente dos substratos S₁ e S₄ na 2ª avaliação. Na 3ª avaliação, o substrato S₂ e S₄ apresenta-se melhor perante os outros, mas não diferindo estatisticamente do substrato S₁. Na 4ª avaliação o substrato S₂ e S₄ apresenta-se superior aos demais. Na 1ª avaliação não houve diferença significativa em relação ao índice de área foliar.

Tabela 24. Valores médios obtidos da Taxa de crescimento relativo (TCR) em $\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO_2 em mudas de repolho.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
TCR	S ₁	51,92	ns	71,76	ab	82,41	ab	131,28	b
	S ₂	54,64	ns	96,83	a	96,77	a	167,24	a
	S ₃	42,94	ns	63,97	b	70,23	b	117,62	b
	S ₄	53,88	ns	82,70	ab	98,71	a	159,83	a
TCR	Com CO_2	46,93	b	71,11	b	88,64	ns	141,37	ns
	Sem CO_2	54,76	a	85,02	a	85,43	ns	146,61	ns

Dados transformados 10^1

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO_2 , na 2ª e 3ª avaliações sendo que sem aplicação de CO_2 obteve melhores resultados. Na 1ª, e 4ª avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.3.7 Taxa de assimilação líquida (TAL)

Para este parâmetro TAL, o substrato S₃ apresenta-se superior aos demais 1ª avaliação. Na 2ª avaliação, o substrato S₃ apresenta superior aos demais, mas não diferindo estatisticamente dos substratos S₁. Na 4ª avaliação, o substrato S₃ apresenta-se melhor mas não difere estatisticamente do substrato S₁. Na 3ª avaliação observa-se que não houve diferença significativa em relação aos substratos analisados.

Tabela 25. Valores médios obtidos da Taxa de assimilação líquida (TAL) em $\text{g.dm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO_2 em mudas de repolho.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
TAL	S ₁	0,83	b	0,78	ab	0,10	ns	0,21	ab
	S ₂	0,85	b	0,62	b	0,06	ns	0,17	bc
	S ₃	1,25	a	0,99	a	0,10	ns	0,23	a
	S ₄	0,56	b	0,68	b	0,03	ns	0,15	c
TAL	Com CO_2	0,90	ns	0,79	ns	0,10	ns	0,18	ns
	Sem CO_2	0,85	ns	0,75	ns	0,05	ns	0,20	ns

Dados transformados 10^3

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO_2 , não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.3.8 Taxa de produção de matéria seca (TPMS)

Neste parâmetro TPMS, observa-se que o substrato S₂ apresenta-se melhor aos demais, não diferindo estatisticamente dos substratos S₁ e S₄ na 2ª avaliação. Na 4ª avaliação, o substrato S₂ e S₄ apresentaram-se melhor aos demais. Na 1ª e 3ª avaliações não houve diferença significativa em relação a produção de matéria seca.

Tabela 26. Valores médios obtidos da Taxa de produção de matéria seca (TPMS) em $\text{g.dm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO_2 em mudas de repolho.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
TPMS	S ₁	13,92	ns	86,57	ab	34,49	ns	158,38	b
	S ₂	14,65	ns	113,19	a	31,85	ns	201,76	a
	S ₃	11,51	ns	77,17	b	26,85	ns	141,90	b
	S ₄	14,44	ns	99,79	ab	44,26	ns	192,82	a
TPMS	Com CO_2	12,58	b	85,78	b	42,59	ns	170,55	ns
	Sem CO_2	14,68	a	102,56	a	26,13	ns	176,87	ns

Dados transformados 10^3

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO_2 , na 1ª e 2ª avaliações sendo que sem aplicação de CO_2 obteve melhores resultados. Na 3ª e 4ª avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.3.9 Relação parte aérea/sistema radicular (RPASR)

Para este parâmetro RPASR, não houve diferença significativa nas avaliações em relação ao índice de área foliar.

Tabela 27. Valores médios obtidos da Relação parte aérea/sistema radicular (RPASR), nos quatro substratos avaliados com e sem aplicação de CO₂ em mudas de repolho.

		Avaliações							
Substrato		1ª		2ª		3ª		4ª	
RPASR	S ₁	4,23	ns	3,75	ns	4,01	ns	4,77	ns
	S ₂	3,90	ns	4,05	ns	4,11	ns	5,14	ns
	S ₃	3,75	ns	3,94	ns	3,60	ns	4,54	ns
	S ₄	4,71	ns	4,34	ns	4,25	ns	5,09	ns
RPASR	Com CO ₂	3,79	b	3,88	ns	4,11	ns	5,12	a
	Sem CO ₂	4,50	a	4,16	ns	3,88	ns	4,65	b

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

Quanto a aplicação de CO₂, na 1ª avaliação onde não aplicou o gás, mostrou-se melhor em relação onde foi aplicado. Na 4ª avaliação onde aplicou-se o gás, apresentou-se melhor em relação ao não aplicado. Na 2ª e 3ª avaliações não houve diferença significativa entre a aplicação e não aplicação do gás.

4.4 Discussões

4.4.1 Substrato

Considerando-se que uma muda poderá ser transplantada a partir dos 25 dias da semeadura, ou seja, na 3ª avaliação, o substrato S₄ apresentou melhores resultados nas avaliações de MC, TAL e RPASR. Já na 4ª avaliação, não houve diferença entre os substratos, o que poderia ter sido influenciado pelas adubações foliares que se iniciaram aos 12 dias e foram repetidas a cada 7 dias, fazendo com que as plantas pudessem se igualar.

O substrato S₄ tem em sua composição turfa que melhora as características físicas do substrato, principalmente a redução da densidade e aumento da capacidade de retenção de água (Grolli, 1991) e atua também nas

propriedades químicas do substrato, como a alcalinidade e salinidade (Backes & Kämpf, 1991). Biasi (1995), concluiu que a mistura de turfa e bagaço-de-cana em proporções volumétricas iguais constitui um bom substrato para a produção de mudas de tomate e maracujá-amarelo. Os componentes isoladamente, não apresentaram bom desenvolvimento. Kämpf (1993) também obteve as melhores mudas de tomate 'kada', com uma mistura formada pela combinação de 50% de turfa com 33% de casca de arroz carbonizada.

Para as mudas de Beterraba na 3ª avaliação, o substrato S₄ em quase todas as características avaliadas foi superior aos demais. Na 4ª avaliação, somente para as características MC, MR e RPASR obteve-se diferença entre os substratos, sendo os substratos S₂, S₃ e S₄, os melhores. Para as demais características os substratos se igualaram.

Para as mudas de Repolho na 3ª avaliação, os substratos S₂ e S₄ mostraram-se superiores aos demais na maioria das características avaliadas. Mesmo com composições diferentes eles se mostraram superiores aos demais. Na 4ª avaliação também os substratos S₂ e S₄ se mostraram superiores em quase todas as características a exceção do parâmetro TAL para o substrato S₃ que se mostrou superior.

Tullio Jr. (1985) estudando o efeito de diferentes substratos na germinação e formação de mudas de pimentão, verificou que os substratos compostos de solo mais cobertura com 1 cm de casca de arroz tostado e solo mais vermiculita na proporção de 1:1, foram os melhores para germinação das sementes e à formação de mudas.

Hodgson (1981) ressalta a importância da vermiculita em mistura com turfa, como sendo o substrato mais utilizado para a produção de mudas de espécies florestais no hemisfério norte. Quando devidamente preparado, este meio é leve e uniforme em sua composição, possuindo uma alta capacidade de troca catiônica (CTC) por unidade de massa seca, alta capacidade de retenção de água e boa aeração e drenagem.

Outra vantagem do uso da vermiculita na constituição dos substratos é que ela favorece a operação de retirada das mudas, quando produzidas em bandejas de isopor ou tubetes.

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos com a massa seca da parte aérea (MF+MC) e a área foliar (AF) para as três diferentes espécies em relação aos quatro substratos estudados, nas quatro épocas de avaliação foram elaboradas as figuras 3, 4, 5, 6, 7 e 8 a seguir:

Figura 3 - Área foliar média (cm²) das mudas de tomateiro em função dos substratos.

Figura 4 - Soma da massa seca da folha e massa seca do caule (g) para as mudas de tomateiro em função dos substratos.

Figura 5 - Área foliar média (cm²) das mudas de beterraba em função dos substratos.

Figura 6 - Soma da massa seca da folha e massa seca do caule (g) para as mudas de beterraba em função dos substratos.

Figura 7 - Área foliar média (cm²) das mudas de tomateiro em função dos substratos.

Figura 8 - Soma da massa seca da folha e massa seca do caule (g) para as mudas de repolho em função dos substratos.

4.4.2 CO₂

Em relação a aplicação de CO₂, as mudas de tomateiro foram as que melhor responderam a aplicação do gás, considerando-se a avaliação de plantas com idade de 25 dias após a semeadura, que é quando a planta poderá ser transplantada para o campo. Nas duas últimas avaliações obtiveram-se resultados favoráveis à aplicação do gás em quase todas as variáveis e parâmetros analisados, menos para a massa seca da raiz. Peñuelas et al. (1995) e Idso (1991), citam que em ambientes enriquecidos com CO₂, quando água e nutrientes não são limitantes ao crescimento, geralmente as plantas incrementam área foliar através da produção de folhas de maior área ou de maior número de folhas. Neste experimento o incremento foi na área das folhas.

Embora vários estudos demonstrem que o peso seco total da planta é maior nos ambientes com enriquecimento de CO₂ (Kimball & Mitchell, 1979; Ziska & Teramura, 1992) e que o efeito do aumento da concentração de CO₂ é mais acentuado na fase inicial da cultura (Peet, 1986; Retuerto & Woodward, 1993), neste trabalho verificou-se que para as cultivares estudadas beterraba e repolho não houve diferença quanto a aplicação de CO₂ via água de irrigação.

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos com a massa seca da parte aérea (MF+MC) e a área foliar (AF) para as três diferentes espécies em relação a adição de CO₂ via água de irrigação, nas quatro épocas de avaliação foram elaboradas as figuras 9, 10, 11, 12 e 13 a seguir:

Figura 9 - Área foliar (cm²) das mudas de tomateiro em função da aplicação de CO₂ via água de irrigação.

Figura 10 - Soma da massa seca da folha e massa seca do caule (g) para as mudas de tomateiro em função da aplicação de CO₂.

Figura 11 - Área foliar cm² das mudas de beterraba em função da aplicação de CO₂ via água de irrigação.

Figura 12 - Soma da massa seca da folha e massa seca do caule (g) para as mudas de beterraba em função da aplicação de CO₂ via água de irrigação.

Figura 13 - Área foliar (cm²) das mudas de repolho em função da aplicação de CO₂ via água de irrigação.

Figura 14 - Soma da massa seca da folha e massa seca do caule (g) para as mudas de repolho em função da aplicação de CO₂ via água de irrigação.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- para a produção de mudas de tomateiro, o substrato S_4 foi o que apresentou melhores resultados para as características avaliadas;
- para a produção de mudas de beterraba, o substrato que apresentou os menores resultados para as características avaliadas foi o S_1 .
- para a produção de mudas de repolho, o substrato S_2 e S_4 foram os que apresentaram os melhores resultados;
- a aplicação de CO_2 via água de irrigação apresentou resultados favoráveis somente para a produção de mudas de tomateiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACKES, M.A.; KÄMPF, A.N.; BORDÁS, J.M. Substratos para produção de plantas em viveiro. **Trigo e Soja**, n.102, p.5-8, mar./abr. 1989.

BARROS, S.B.M. Avaliação de diferentes recipientes na produção de mudas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) e pepino (*Cucumis sativus* L.). Piracicaba, 1997. 70p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BIASI, L.A.; BILIA, D.A.C.; SÃO JOSÉ, A.R.; FORNASIERI, J.L.; MINAMI, K. Efeito de misturas de turfa e bagaço de cana sobre a produção de mudas de maracujá e tomate. **Scientia Agricola**, v.52, n.2, p.239-243, maio/ago.1995.

CADAHIA, C. **Fertirigación**: cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid: Mundi-Prensa, 1998. 475p.

CARARO, D.C. Efeito de diferentes lâminas de água na presença e ausência de CO₂ injetado na água de irrigação sobre a cultura do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado em estufa. Piracicaba, 2000. 70p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- CHMORA, S.N.; MOKRONOSOV, A.T. The global increase of CO₂ in atmosphere: adaptive strategies in plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.41, n.5, p.768-778, 1994.
- COELHO, R.G. Métodos de produção e idade de transplante de mudas de alface (*Lactuca sativa* L.). Viçosa, 1980. 117p. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal de Viçosa.
- COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL. **Agronegócios**. <http://www.cati.sp.gov.br> . (15 out. 2001).
- 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.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura** : agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402p.
- FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2001**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2001. p.513-524.
- 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, mar.2001.
- GAMMON, R.H.; SUNDQUIST, E.T.; FRASER, P.J. History of carbon dioxide in the atmosphere. In: TRABALKA, J.R. **Atmospheric carbon dioxide and the global carbon cycle**. Springfield : NTIS, 1985. p.25-62.

- GOMES, T.M.; OLIVEIRA, R.F.; BOTREL, T.A. Determinação da fotossíntese em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos e da concentração de CO₂ para a cultura da alface, utilizando o medidor portátil (LI-6400). **Horticultura Brasileira**, v.18, p.315-316, jul.2000. Suplemento.
- GONÇALVES, A.L. Recipientes, embalagens e acondicionamento de plantas ornamentais. In: MINAMI, K.; TESSARIOLI NETO, J.; PENTEADO, S,R.; SCARPARE FILHO, J.A.; SILVEIRA, R.B.A. **Produção de mudas de alta qualidade em horticultura**. São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf, 1995a. p.65-74.
- GONÇALVES, A.L. Substratos para produção de plantas ornamentais. In: MINAMI, K.; TESSARIOLI NETO, J.; PENTEADO, S,R.; SCARPARE FILHO, J.A.; SILVEIRA, R.B.A. **Produção de mudas de alta qualidade em horticultura**. São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf, 1995b. p.108-115.
- GONÇALVES, F.C. Armazenamento de melão “Piele de Sapo” sob condições ambiente. Mossoró, 1994. 42p. Monografia (Graduação) – Escola Superior de Agricultura de Mossoró.
- GRACIANO, T.; DEMATTE, J.; VOLPE, C.; PERECIN, D. Interação entre substratos e fertirrigação na germinação e na produção de mudas de *Tagetes patula* L. (Compositae). **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.1, n.2, p.78-85, 1995.
- GROLI, P.R. Composto de lixo domiciliar urbano como condicionador de substratos para plantas arbóreas. Porto Alegre, 1991. 125p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HODGSON, T.J. Growing media for container nurseries: Na intern statement. *South African. Forest Journal* , n.177, p. 34-36, 1981.

- IDSO, K.E.; IDSO, S.B. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment in the face of environmental constraints: a review of the past 10 years. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.69, n.3/4, p.153-203, 1994.
- ISLAM, S; MATSUI, T; YASHIDA, 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.137-149. 1996.
- ITO, T. More intensive production of lettuce under artificially controlled conditions. **Acta Horticulturae**, n.260, p.381-389, 1989.
- JESUS, R.M.; MENANDRO, M.S.; BATISTA, J.L.F.; COUTO, H.T. Efeito do tamanho do recipiente, tipo de substrato e sombreamento na produção de mudas de louro (*Cordia trichotoma* (Vell) Arrab.) e gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott). **IPEF**, n.37, p.13-19, 1987.
- KAMPF, A.N. Substratos hortícolas : turfa e casca de arroz. **Lavoura Arrozeira**, v.409, p.12-13, 1993.
- KIMBALL, B.A.; MITCHELL, S.T. Tomato yields from CO₂ enrichment in unventilated and conventionally ventilated greenhouses. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.104, n.4, p.515-520, 1979.
- KIMBALL, B.A.; LAMORTE, R.L.; SEAY, R.S.; PINTER, P.J.; ROKEY, R.R.; HUNSAKER, D.J.; DUGAS, W.A.; HEUER, M.L.; MAUNEY, J.R.; HENDREY, G.R.; LEWIN, K.F.; NAGY, J. Effects of free air CO₂ enrichment on energy balance and evapotranspiration of cotton. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.70, n.1/4, p.259-278, 1994.
- LATIMER, J.G. Container size and shape influence growth and landscape performance of marigold seedling. **HortScience**, v.26, n.2, p.124-126, 1991.

- LUCCHESI, A.A. Utilização prática da análise quantitativa do crescimento vegetal. **Anais da Escola de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.41, p.181-202, 1984.
- MACHADO, E.C.; TAKANE, R.J.; FERRO, R. Aplicação de CO₂ via água de irrigação em agricultura. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.) **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba : Agropecuária, 1999. p.345-53.
- MAGALHÃES, J.R. **Nutrição e adubação da batata**. São Paulo: Nobel, 1985. 67p.
- MELO, P.C.T. Do canteiro à mesa, muitas novidades. In: FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 1997**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 1997. p.402-404.
- MELO, A.M.T. Análise genética de caracteres de fruto em híbrido de pimentão. Piracicaba, 1997. 112p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MENEZES JÚNIOR, F.O.G.; FERNANDES, H.S.; MAUCH, C.R.; SILVA, J.B. Caracterização de diferentes substratos e seu desempenho na produção de mudas de alface em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.18, n.3, p.164-170, nov. 2000.
- MINAMI, K. **Produção de mudas de alta qualidade**. São Paulo. T. A. Queiroz, 1995. 135p.
- MOORE, P.D. How do plant cope when they live in the shade? **Nature**, v.349, n.6304, p.22, 1991.

- MORAES, O. Efeito do uso de polímetro hidretentor no solo sobre o intervalo de irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). Piracicaba, 2001. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MORISON, J.I.L.; GIFFORD, R.M. Plant growth and water use with limited water supply in high CO₂ concentrations. I. Leaf area, water use and transpiration. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.11,n.5, p.375-384, 1984b.
- MORTENSEM, L.M. Review: CO₂ enrichment in greenhouses. Crop Response. **Scientia Horticulturae**, v.33, n.1/2. p.1-25, 1987.
- MUDRIK, V.A.; ROMANOVA, A.K.; IVANOV, B.N.; NOVICHKOVA, N.S.; POLYAKOVA, V.A. Effect of increased CO₂ concentration on growth, photosynthesis, and composition of *Pisum sativum* L. plant. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.44, n.2, p.165-171, 1997.
- NOVERO, R.; SMITH, D.H.; MOORE, F.D.; SHANAHAN, J.F.; D'ANDRIA, R. Field-grown tomato response to carbonated water application. **Agronomy Journal**, v.5, n.83, p.911-916, 1991.
- PAEZ, A.; HELLMERS, H.; STRAIN, B.R. Carbon dioxide enrichment and water stress interaction on growth of two tomato cultivars. **Journal of Agricultural Science**, v.102, n.3, p.687-693, 1984.
- PEET, M.M. Acclimation to high CO₂ in monoecious cucumbers. I. Vegetative and reproductive growth. **Plant Physiology**, v.80, n.1, p.59-62, 1986.
- PEÑUELAS, J.; BIEL, C.; ESTIARTE, M. Growth, biomass allocation, and phenology response of pepper to elevated CO₂ concentrations and different water and nitrogen supply. **Photosynthetica**, v.31, n.1, p.91-99, 1995.

- PERDIGÃO, J.C. Mais segurança na cultura estaqueada. In: FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 1996**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 1996. p.359-360.
- PINTO, J.M. Aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação em meloeiro. Piracicaba, 1997. 85p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- 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.
- RETUERTO, R.; WOODWARD, F.I. The influences of increased CO₂ and water supply on growth, biomass allocation and water use efficiency of *sinapis alba* L. grown under different wind speeds. **Oecologia**, v.94, n.3, p.415-427, 1993.
- REZENDE, F.C. Respostas de plantas de pimentão (*Capsicum annuum* L.) à irrigação e ao enriquecimento da atmosfera com CO₂, em ambiente protegido. Piracicaba, 2001. 107p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SCARPARE FILHO, J.A. Mudanças de frutíferas de alta qualidade. In: MINAMI, K.; TESSARIOLI NETO, J. **Produção de mudas hortícolas de alta qualidade**. Piracicaba: ESALQ; Sebrae, 1994. p.16-21.
- SILVA JÚNIOR, A.A.; VISCONTI, A. Recipientes e substratos para a produção de mudas de tomate. **Agropecuária Catarinense**, v.4, n.4, p.20-23, 1991.

- SOUZA, M.M.; LOPEZ, L.C.; FONTES, L.E. Avaliação de Substratos para cultivo do crisântemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramate., Compositae) White Polaris em vasos. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.1, n.2, p.71-74, 1995.
- SOUZA, R.J.; FERREIRA, A. Produção de mudas de hortaliças em bandejas: economia de sementes e defensivos. **A Lavoura**, n.623, p.19-21, 1997.
- SPURR, S.N.; BARNES, B.N. **Forest ecology**. New York: The Ronald Press. 1973. 571p.
- STURION, J.A. Métodos de produção e técnicas de manejo que influenciam o padrão de qualidade de mudas de essências florestais. In: SEMINÁRIO DE SEMENTES E VIVEIROS FLORESTAIS,1., Curitiba, 1981. Curitiba: UFPR,, 1981. 26p.
- TAVEIRA, J.A.M. **Produção de mudas**. Curitiba: SENAR, 1995. 84p.
- TESSARIOLI NETO, J. Recipientes, embalagens e acondicionamento de mudas de hortaliças, In: MINAMI, K. **Produção de mudas de alta qualidade em horticultura**. São Paulo: T.A. Queiroz, 1995. p. 59-64.
- TESSARIOLI NETO, J.; MINAMI, K. **Produção de mudas hortícolas de alta qualidade**: cursos agrozootécnicos. Piracicaba: ESALQ, 1994. 155p.
- TULLIO JR., A.A.; NOGUEIRA, R.R.; MINAMI, K. Uso de diferentes substratos na germinação e formação de mudas de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **O Solo**, v.78, p.15-18, 1986.

- VINCENZO, M.C.V. Produção de mudas de cebola (*Allium cepa* L.) sob cultivo protegido no verão. Piracicaba, 2001. 116p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- WATERS, W.E.; LEWELLYN, W.; NESMITH, J. The chemical, physical and salinity characteristics of twenty seven soil media. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v.83, p.482-488, 1970.
- WILLIAMSON, J.G.; CASTLE, W. S. A survey of Florida citrus nurseries. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v.102, p.78-82, 1989.
- WITTEWER, S.H. Aspects of CO₂ enrichment for crop production. **Transactions of the ASAE**, v.13, n.2, p.249-251, 1970.
- ZISKA, L.H.; TERAMURA, A.H. Intraspecific variation in the response of rice (*Oryza sativa*) to increased CO₂ - photosynthetic, biomass and reproductive characteristics. **Physiologia Plantarum**, v.84, n.2, p.269-276, 1992.