# Aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação em diferentes fases fenológicas da cultura do meloeiro cultivado em ambiente protegido

**José Antônio Frizzone[1]*, Boanerges Siqueira D'Albuquerque Júnior[1] e Roberto Rezende[2]**

*[1]Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias 11, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. [2]Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: frizzone@esalq.usp.br*

**RESUMO.** O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da aplicação de $CO_2$ via água de irrigação por gotejamento subsuperficial, em diferentes fases do ciclo fenológico da cultura do meloeiro rendilhado (*Cucumis melo* L. var. Reticulatus), híbrido Bônus II, cultivado em ambiente protegido, sobre a produtividade e qualidade dos frutos. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constaram da ausência de $CO_2$ e da aplicação de uma dose de $CO_2$, com freqüência de 2 dias, em três períodos distintos do ciclo da cultura. Foram realizadas 12 aplicações de $CO_2$ em T1, 6 em T2 e 6 em T3. As quantidades totais de $CO_2$ efetivamente aplicadas em cada tratamento foram contabilizadas em cada aplicação e ao final do ciclo do meloeiro. Foram realizadas 12 aplicações de $CO_2$ para o tratamento T1 (12,04 kg $ha^{-1}$ de $CO_2$), 6 para o T2 (11,85 kg $ha^{-1}$ de $CO_2$) e 6 para o T3 (11,65 kg $ha^{-1}$ de $CO_2$). O tratamento T4 não recebeu aplicação de $CO_2$. Os resultados obtidos permitiram concluir que (a) a produtividade de frutos aumentou significativamente com a aplicação de $CO_2$ via água de irrigação; (b) aplicações de $CO_2$ no período compreendido entre início do florescimento, quando 80% das flores masculinas estão abertas, e o início da frutificação, quando ocorre 80% de pegamento dos frutos, são mais recomendadas tecnicamente; (c) a aplicação de $CO_2$ não alterou o desenvolvimeto vegetativo das plantas e nem a qualidade dos frutos com relação ao pH da polpa e ao teor de sólidos solúveis, porém, aumentou a acidez total; e (d) a aplicação de $CO_2$ aumentou a eficiência do uso da água.

**Palavras-chave:** água carbonatada, fertirrigação, irrigação por gotejamento, melão rendilhado.

**ABSTRACT. Carbon dioxide application through irrigation water at different crop stages in melon planted in greenhouse.** The aim of this work was to study the effect of CO2 applied at different crop stages through water by a subsurface drip irrigation system, at the yield and quality of cantaloupe melon (*Cucumis melo* L. var. Reticulatus), hybrid *Bônus II*, cultivated in greenhouse. The experimental design consisted of randomized blocks with four treatments and four replications. There was no application of $CO_2$ and there was application of one $CO_2$ single rate during 2 days in 3 different periods of the crop stage. There were 12 $CO_2$ applications in T1, 6 in T2 and 6 in T3. The total amount of $CO_2$ applied at each treatment was measured in each application and at the end of the crop cycle. There were 12 $CO_2$ applications in treatment T1 (11.85 kg ha-1 of $CO_2$), 6 applications in T2 (11.85 kg ha-1 of $CO_2$) and 6 applications in T3 (11.65 kg ha-1 of $CO_2$). There was no application of $CO_2$ in treatment T4. Results showed that (a) $CO_2$ application through irrigation water for the fruiting provided yield increases; (b) $CO_2$ applications during flowering and fruiting initiation are, technically, the most recommended; (c) $CO_2$ application did not change the vegetative growth of the plants, neither the quality of the fruit regarding the flesh pH and the soluble solids content. However, the total acidity increased, and (d) $CO_2$ application increased the water usage efficiency.

**Key words:** carbonated water, fertirrigation, drip irrigation, net melon.

## Introdução

Atualmente, existe uma grande competitividade no mercado mundial pelos produtos olerícolas,

impondo uma diferenciação das mercadorias segundo padrões de qualidade. No passado, liderava a produção e o comércio de mercadorias agrupadas sem diferenças baseadas em critérios qualitativos, mas, hoje, os consumidores exigem qualidades prontamente identificáveis. Para atender ao novo mercado, necessita-se introduzir novas tecnologias de cultivo nos sistemas de produção das olerícolas.

O meloeiro é uma olerícola de grande importância econômica para o Brasil, que se adaptou bem às condições de solo e clima. Foi introduzido pelos imigrantes europeus e seu cultivo iniciou em meados da década de sessenta, no Rio Grande do Sul. Desde então, a exploração da cultura tomou grande impulso, inicialmente, no estado de São Paulo e, posteriormente, nas regiões Norte e Nordeste. Esta região detém, atualmente, a maior produção, atendendo principalmente, aos mercados internacional e centro-sul do país.

O enriquecimento do ar e da água com $CO_2$, visando a aplicação em cultivos, baseia-se no fato de que alguns processos fisiológicos ou bioquímicos das plantas são beneficiados por este gás, proporcionando respostas positivas com relação à produtividade em várias espécies vegetais utilizadas na agricultura (Machado *et al*., 1999). O enriquecimento da atmosfera com $CO_2$ é uma prática bastante antiga, realizada por agricultores europeus há mais de cem anos (Mortensen, 1987). Com o tempo, a prática foi sendo aprimorada e surgiram equipamentos e técnicas adequadas para a aplicação em diversas condições de clima e plantio.

No início da década de sessenta, algumas pesquisas procuraram demonstrar os efeitos da utilização de água de irrigação enriquecida com $HCO_3^-$ sobre a absorção de nutrientes, em algumas espécies de plantas (Bhan *et al*., 1960; Brown, 1960; Hale e Wallace, 1960; Miller, 1960; Rhoads e Wallace, 1960). Mais recentemente, o aumento na absorção de nutrientes pelas plantas, em decorrência da aplicação de $CO_2$ via água de irrigação, é apresentado em vários trabalhos. Embora algumas pesquisas com aplicação de $CO_2$ via água de irrigação não relatam aumentos significativos de produtividade para algumas espécies vegetais (Stoffella *et al*., 1995), há várias outras, conduzidas tanto em condições de campo aberto quanto em casa de vegetação, que mostram incrementos significativos na produção de fitomassa total, na fotossíntese e na resistência ao estresse hídrico (Bialczyk e Lechowski, 1995, Pinto *et al*., 2000; Gomes, 2001; Rezende, 2001).

Alguns efeitos da aplicação de $CO_2$ via água de irrigação no desenvolvimento das plantas têm sido estudados, destacando-se o fato de que o aumento da concentração de $CO_2$ no ar do solo pode aumentar a concentração de íons hidrogênio com abaixamento do pH da solução do solo, podendo aumentar a disponibilidade de alguns nutrientes (Mauney e Hendrix, 1988; Basile *et al*., 1993; Casella *et al*., 1996), melhorando o estado nutricional das plantas (Novero *et al*., 1991), favorecendo o desenvolvimento de certos microorganismos benéficos no solo e aumentando a resistência das plantas ao estresse hídrico (Moore, 1990).

Ibrahim (1992), avaliando doses de $CO_2$ (0; 50; 150 e 200 mg $CO_2$ $L^{-1}$), verificou em folhas de plantas de pepino um aumento na concentração de potássio, magnésio, zinco e cobre para concentração de $CO_2$ superior a 100 mg $CO_2$ $L^{-1}$. Para o tomateiro, D'Andria *et al*. (1993) verificaram nos frutos que a concentração de zinco, cobre, ferro e manganês aumentaram inicialmente, com a utilização de água carbonatada, sendo que, no período ao longo da colheita, as concentrações passaram a ser semelhantes (zinco e manganês) ou menores (cobre e ferro) do que as dos frutos produzidos sem carbonatação. Para essa mesma cultura, Novero *et al*. (1991) observaram aumentos significativos nos teores de zinco nas folhas das plantas que receberam água carbonatada e, Cararo e Duarte (2002), utilizando doses de 7,73 g $CO_2$ $L^{-1}$, verificaram redução do teor de zinco nos frutos, semelhante aos resultados relatados por Kimball *et al*. (1986).

Algumas pesquisas, entretanto, têm mostrado que a aplicação de $CO_2$ através da água de irrigação não proporcionou diferenças na produção econômica e na absorção de nutrientes em determinadas culturas. Para o tomateiro, Cararo e Duarte (2002) não observaram aumento da produção econômica e Stoffella *et al*. (1995), utilizando a dose de 1,362 mg $CO_2$ $L^{-1}$, não observaram aumento na concentração de macronutrientes nas folhas de mudas de citrus. Contudo, verificaram aumento na concentração de zinco e redução de manganês. Storlie e Heckman (1996) não verificaram diferenças na concentração de nutrientes e na produtividade de plantas de pimentão irrigadas com água carbonatada com concentração de 1,2 g $CO_2$ $L^{-1}$.

Para a cultura do meloeiro, são poucos os resultados de pesquisa sobre a utilização de água carbonatada. Pinto *et al*. (2000), trabalhando com aplicação de 50 kg $CO_2$ $ha^{-1}$ via irrigação por gotejamento e utilizando a dose total de 180 kg de $K_2O$ $ha^{-1}$ através de fertirrigação, no meloeiro cultivar Valenciano Amarelo, em espaçamento de 0,60 m x 2,0 m, obtiveram um incremento de 27,3% na produtividade. Entretanto, não obteve diferenças para os teores de nutrientes nas folhas, exceto para o boro. Além disso, a eficiência de uso da água pela cultura aumentou, o que pode ser atribuído ao maior desenvolvimento do sistema radicular.

Dois mecanismos possíveis podem ser considerados para explicar o aumento da absorção de

nutrientes. Primeiro, a disponibilidade de certos nutrientes pode aumentar devido ao abaixamento do pH do solo, ocasionado pela aplicação do $CO_2$ junto com a água de irrigação. Segundo, o $CO_2$ pode induzir um aumento do crescimento de raízes, agindo de forma semelhante a um fitormônio, num equilíbrio competitivo, com a concentração de etileno no ar do solo (Govindarajan e Poovaiah, 1984; Chaudhuri *et al*., 1990; Novero *et al*., 1991).

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da aplicação de $CO_2$ via água de irrigação por gotejamento subsuperficial, em diferentes fases do ciclo fenológico da cultura do meloeiro rendilhado, cultivado em ambiente protegido.

## Material e métodos

Este trabalho foi desenvolvido em estufas instaladas na área experimental da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, em Piracicaba, Estado de São Paulo. As coordenadas geográficas do local são 23°42'30" de Latitude Sul, 47°38'00" de longitude Longitude Oeste, a altitude de 580 m. Pela classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, subtropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média mensal varia de 24,8°C (verão) a 17,1°C (inverno), sendo a média anual 21,4°C. As chuvas são da ordem de 1278 mm anuais, ocorrendo cerca de 1000 mm de outubro a março e 278 mm de abril a setembro.

O solo da área experimental foi um Latossolo Vermelho-Amarelo franco-arenoso, cujas características físicas e químicas estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2. A caracterização química do solo foi feita mediante análise de amostras compostas coletadas na camada de 0-0,30 m de profundidade, logo após a construção dos canteiros nas estufas, para quantificar a necessidade de calagem, de adubação de plantio (fósforo) e de cobertura (nitrogênio). A acidez do solo foi corrigida mediante a incorporação de 200 g de calcário dolomítico por metro linear (390 g $kg^{-1}$ de CaO, 130 g $kg^{-1}$ de MgO e PRNT de 61%), visando elevar a saturação de bases a 80% e o teor de magnésio a um mínimo de 9 $mmol_c$ $dm^{-3}$, conforme especificação de Raij *et al*. (1996). A adubação foi realizada 25 dias após a calagem e 10 dias antes do transplantio das mudas, com aplicação de 240 kg $ha^{-1}$ de $P_2O_5$ na forma de superfosfato triplo.

**Tabela 1.** Características físicas do solo utilizado no experimento.

| Granulometria (%) | | | Classe textural | Densidade (g $cm^{-3}$) | |
|---|---|---|---|---|---|
| Argila | Silte | Areia | | Do solo | De partículas |
| 15,50 | 8,45 | 75,05 | Franco-arenosa | 1,08 | 2,60 |

O trabalho foi conduzido em duas estufas agrícolas com cobertura em arco, orientadas no sentido leste-oeste, com 3,0 m de pé-direito, 7,0 m de largura, 17,5 m de comprimento e 4,7 m de altura na parte mais alta. As fachadas laterais e frontais foram envolvidas com tela de polipropileno branco de 1 mm. As fachadas frontais possuíam janelas para liberar o ar quente que se acumulava no alto e, nas laterais, instalaram-se cortinas com um sistema de manivela para permitir o fechamento e a abertura sempre que necessário. O teto foi coberto com filme plástico de polietileno transparente de 150 micras, com tratamento anti-UV.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constaram da ausência de $CO_2$ (tratamento T4) e da aplicação de uma dose de $CO_2$, com freqüência de 2 dias, em três períodos distintos do ciclo da cultura do meloeiro rendilhado, híbrido Bônus II. Os períodos de aplicação foram definidos como: (a) tratamento T1 – início do florescimento, quando 80% das flores masculinas estavam abertas, até início da maturação, quando o °Brix atingiu 8 (16 DAT a 60 DAT); (b) tratamento T2 – início da frutificação, quando houve 80% de

**Tabela 2.** Resultados da análise química do solo antes e depois da adubação de correção.

| Antes da adubação de correção | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | M.O. | $K^+$ | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $H+Al^+$ | PH | S | T | V |
| (mg $dm^{-3}$) | (g $dm^{-3}$) | ($mmol_c$ $dm^{-3}$) | | | | $CaCl_2$ | (%) | | |
| 4,00 | 14,80 | 1,1 | 12,75 | 7,10 | 25,80 | 4,6 | 13,45 | 41,43 | 41,00 |
| Após a adubação de correção | | | | | | | | | |
| 24,40 | 20,35 | 7,3 | 18,25 | 11,00 | 17,50 | 5,60 | 24,18 | 40,26 | 75,00 |

pegamento de frutos, até início da maturação (40 DAT a 60 DAT); e (c) tratamento T3 – início do florescimento ao início da frutificação (16 DAT a 36 DAT). Foram realizadas 12 aplicações de $CO_2$ em T1, 6 em T2 e 6 em T3. As quantidades totais de $CO_2$ efetivamente aplicadas em cada tratamento foram contabilizadas em cada aplicação e ao final do ciclo do meloeiro. Foram realizadas 12 aplicações de $CO_2$ para o tratamento T1 (média de 12,04 kg $ha^{-1}$ de $CO_2$ por aplicação), 6 para o T2 (média de 11,85 kg $ha^{-1}$ de $CO_2$ por aplicação) e 6 para o T3 (média de 11,65 kg $ha^{-1}$ de $CO_2$ por aplicação). O tratamento T4 não recebeu aplicação de $CO_2$.

Cada estufa recebeu dois blocos com seis canteiros de plantas, com 6 m de comprimento, composto por 16 plantas. A parcela útil possuía 7,5 $m^2$ e contava com 12 plantas. Em cada canteiro, as duas linhas de plantas das margens tinham a função

de bordadura. A análise de variância foi realizada de forma que o valor de F testou a hipótese $H_0$, que não existe diferença entre as médias dos tratamentos. O nível de significância mínimo considerado para a rejeição da hipótese $H_0$ foi 5%, ou seja, sempre que o valor da probabilidade do teste F foi menor ou igual a 0,05 aceitava-se que houve diferença entre pelo menos dois tratamentos e continuava-se o detalhamento da análise, utilizando-se o teste de Tukey para comparação das médias.

O monitoramento dos elementos microclimáticos em cada estufa foi realizado por um sistema automático de aquisição de dados tipo CR 10X para registrar o sinal emitido pelos sensores a cada 5 segundos e armazenar as médias a cada 30min. Os sensores instalados foram: um piranômetro (radiação solar global), um saldo radiômetro (radiação líquida) e quatro psicrômetros com termopares de bulbo úmido e de bulbo seco (temperatura e umidade relativa), sendo um por estufa.

As mudas de melão rendilhado foram preparadas em bandejas de poliestireno expandido, utilizando-se substrato organo-mineral, colocando-se uma semente por célula. Realizou-se a semeadura no dia 10/01/03, em estufa, irrigando-se duas vezes ao dia até o transplantio, quando a segunda folha definitiva foi emitida.

Em 30/01/03, fez-se o transplantio das mudas para canteiros em fileira simples, no espaçamento de 0,40 m x 1,10 m (22.727 plantas por hectare). Após o transplantio e durante 10 dias, a irrigação por aspersão de baixa intensidade foi realizada diariamente para facilitar o pegamento das mudas. Quando as plantas iniciaram a emissão de gavinhas, fez-se o tutoramento, conduzindo-as em haste única na vertical até 2 m de altura. Os ramos laterais foram podados semanalmente, com desbrotas até o 9.º ramo (cerca de 0,60 m a 0,70 m do colo da planta), deixando os demais brotos laterais com até 5 folhas. Após o pegamento dos frutos foi realizado um desbaste, deixando-se no máximo três frutos por planta.

A polinização foi realizada por abelhas, colocando-se uma colméia dentro de cada estufa. Para evitar alta mortalidade de abelhas antes do período de florescimento, utilizou-se uma colméia de baixa população e um alimentador. Com esta técnica procurou-se evitar a produção de frutos deformados.

Utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, com gotejadores espaçados de 0,50 m e vazão de 2,3 L $h^{-1}$ à pressão média de 105 kPa. O abastecimento de água foi feito por um conjunto de reservatórios com capacidade para 2000 L. O sistema de bombeamento foi composto por um conjunto motobomba centrífuga, potência de 1,0 cv, vazão de 3,3 $m^3$ $h^{-1}$ e pressão manométrica de 630 kPa. A estação de controle com filtros de tela, reguladores de pressão, ventosa, registros e hidrômetros, foi instalada fora das estufas, em abrigo especifico.

A primeira irrigação por gotejamento foi realizada 10 DAT em tempo suficiente para proporcionar a formação de faixas molhadas na superfície do solo ao longo das fileiras de plantas. As demais irrigações foram realizadas com turno de rega fixo de dois dias e a quantidade de água aplicada foi determinada com base na curva de retenção de água no solo e no potencial mátrico da água medido por tensiômetros com leitor digital. Em cada estufa utilizou-se quatro tensiômetros, instalados a 0,10 m; 0,20 m; 0,30 m e 0,40 m de profundidade. Considerou-se como limite superior de água disponível no solo a quantidade de água correspondente ao potencial mátrico de –9,0 kPa (0,204 $cm^3$ $cm^{-3}$) e, como limite inferior, a quantidade de água equivalente ao potencial mátrico da água no solo medido antes de cada irrigação.

Nos primeiros 30 DAT calculou-se a lâmina de irrigação para a camada de solo de 0–0,20 m, considerando-se o potencial mátrico medido a 0,10 m de profundidade. Posteriormente, o manejo da irrigação foi feito pelo potencial mátrico medido a 0,20 m para calcular a quantidade de água a aplicar na camada de solo de 0–0,40 m de profundidade. Os tensiômetros instalados a 0,30 m e 0,40 m foram utilizados para monitorar o avanço da frente de molhamento e evitar excesso de irrigação.

Calculou-se a lâmina de irrigação por meio da equação (1):

$$h = 10\,(\theta_{cc} - \theta_{cr}) \cdot z \qquad (1)$$

sendo:

h a lâmina de irrigação (mm);

$\theta_{cc}$ a umidade do solo no potencial mátrico de –9,0 kPa (0,204 $cm^3$ $cm^{-3}$);

$\theta_{cr}$ a umidade do solo no momento da irrigação ($cm^3$ $cm^{-3}$); e

z a profundidade da camada de irrigação (cm).

A lâmina de irrigação foi transformada em volume (L), considerando-se a área total da estufa (122,5 $m^2$) e o tempo de irrigação foi calculado pela equação (2):

$$Ti = 60 x 10^{-3}\,\frac{\text{h. A}}{Q} \qquad (2)$$

sendo:

Ti o tempo de irrigação (min);

h a lâmina de irrigação (mm);

A a área da estufa (122,5 $m^2$); e

Q a vazão de água por estufa ($m^3$ $h^{-1}$).

O sistema de fertirrigação operou independentemente do sistema de irrigação e constituiu-se de um reservatório para acondicionar a calda fertilizante previamente preparada em baldes. A fertirrigação foi iniciada quatro dias após o transplantio (DAT), e continuada com uma

freqüência de quatro dias. A solução fertilizante foi injetada por um tempo de, aproximadamente, 10 minutos. Durante o ciclo do meloeiro foram aplicados 20 kg $ha^{-1}$ de N, na forma de nitrato de amônia ($NH_4NO_3$) até os 64 DAT e na forma de nitrato de potássio ($KNO_3$) até os 72 DAT. A dose de $K_2O$ foi de 340 kg $ha^{-1}$, aplicada na forma de $KNO_3$ até os 72 DAT. A distribuição de fertilizantes ao longo do ciclo (Tabela 3) foi realizada de acordo com a marcha de absorção da planta apresentada por Kano (2002). Durante o ciclo da cultura realizou-se o monitoramento da condutividade elétrica da solução de solo através de extratores de solução, analisando também o pH, os teores de nitrato ($NO_3$) e potássio (K).

**Tabela 3.** Distribuição de nitrogênio e de potássio ao longo do ciclo do meloeiro.

| Dias após o transplantio | Fração do N total (%) | Fração do k total (%) |
|---|---|---|
| Até os 18 | 4,52 | 3,47 |
| 19 a 43 | 36,13 | 34,70 |
| 44 a 65 | 45,80 | 38,17 |
| 66 a 72 | 13,55 | 23,66 |
| 73 a 86 | --- | --- |

O sistema de aplicação de $CO_2$ foi constituído de cilindro de $CO_2$ (5,0 kg), uma válvula reguladora de pressão, um manômetro e fluxômetro com escala 0,2 a 2,0 L $min^{-1}$, previamente calibrado para controlar a vazão do gás injetado diretamente nas linhas de irrigação das estufas. O volume de água carbonatada aplicado em cada estufa foi controlado por hidrômetros instalados após o ponto de injeção do $CO_2$. Pelo fato dos fluxômetros não apresentarem alta precisão de escala, a quantidade de $CO_2$ aplicada também foi controlada pela pesagem dos cilindros de gás, antes e depois de cada aplicação.

As características morfológicas das plantas foram analisadas pelas medidas de crescimento em intervalos de 15 dias para cada tratamento. As variáveis avaliadas foram altura das plantas, diâmetro do caule e área foliar. Fez-se, aleatoriamente, a escolha de duas plantas por tratamento para efetuar todas as medidas. Para área foliar mediu-se a maior largura e o maior comprimento de todas as folhas das plantas e multiplicou-se a respectiva área do retângulo com o parâmetro de forma da folha 0,9364 obtida por Cardoso (2002) para o meloeiro rendilhado, híbrido Bônus II.

Para avaliar a produtividade total e comercial, foram realizadas duas colheitas: uma aos 99 DAT e outra aos 105 DAT, quando os mesmos atingiram a maturação fisiológica (teor de sólidos solúveis em torno de 11 $^{o}$Brix, cor acinzentada e rendilhamento em volta do pedúnculo). Procedeu-se à pesagem individual dos frutos em balança digital com precisão de 5,0 g. Foram classificados como frutos comerciais os não deformados com peso superior a 0,550 kg, conforme Filgueiras *et al*. (2000).

Após a colheita, foram separados dois frutos por parcela para a determinação dos parâmetros de qualidade física e química. Utilizou-se um paquímetro digital para medir os diâmetros transversal e longitudinal dos frutos, um refratômetro para determinar o teor de sólidos solúveis e um peagâmetro para determinar o pH da polpa. A acidez total foi determinada pela titulação do suco com solução de NaOH 0,01N, até o pH atingir 8,1, de acordo com o método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (1985).

## Resultados e discussão

### Crescimento das plantas

Pelas medidas realizadas em plantas durante o período de crescimento, verificou-se um aumento da altura entre início do desenvolvimento e o início do florescimento (8 a 30 DAT), atingindo 2 m aos 49 DAT (Figura 1), quando se realizou a poda apical. Até os 49 DAT não se verificou efeito significativo dos tratamentos com $CO_2$ nas alturas de plantas. Cardoso (2002) encontrou pequenas variações nas alturas de plantas de meloeiro rendilhado até os 38 DAT.

Os diâmetros do caule aos 8, 23, 39 e 49 DAT estão apresentadas na Figura 2. A análise de variância não revelou diferenças significativas entre os diâmetros do caule, em função das épocas de aplicação de $CO_2$, ao nível de 5% de probabilidade. Aos 49 DAT, o menor diâmetro do caule foi 12,70 mm (tratamento T2) e o maior foi 13,40 mm (tratamento T3). Os resultados foram superiores aos encontrados por Cardoso (2002) no cultivo de melão e nas mesmas avaliações aos 8, 23 e 39 DAT. Cararo e Duarte (2002) também não obtiveram efeito significativo do $CO_2$ sobre o diâmetro do caule de plantas do tomateiro.

Os efeitos das épocas de aplicação de $CO_2$ na área foliar não foram significativos até os 39 DAT. Aos 49 DAT observou-se um pequeno aumento na área foliar para o tratamento T1 em relação aos tratamentos T2 e T3 e um aumento maior em relação ao tratamento T4 (Figura 3). A área foliar máxima obtida no período reprodutivo foi 2,006 $m^2$ no tratamento T1 aos 49 DAT (índice de área foliar 4,56 $m^2$ $m^{-2}$). Cardoso (2002) observou uma área foliar de 1,693 $m^2$ aos 52 DAT, porém, com cultivo mais adensado (índice de área foliar 5,13 $m^2$ $m^{-2}$) e Sanchéz *et al*. (1996) relatam índice de área foliar de 4,64 $m^2$ $m^{-2}$, aos 125 DAT, para o melão rendilhado cultivado em ambiente protegido.

### Produtividade do meloeiro

Verificou-se, pela análise de variância, que as

épocas de aplicação de $CO_2$ influenciaram significativamente, a 5% de probabilidade, na produtividade comercial, na produtividade não comercial e no peso médio dos frutos comerciais. Para o número de frutos não ocorreu efeito significativo (Tabela 4). Nos tratamentos com aplicação de $CO_2$ foram obtidas maiores produtividade do que no tratamento que não recebeu $CO_2$. Nos tratamentos T1 e T3 foram obtidas as maiores produtividades comerciais e as menores não comerciais. Comparando-se as produtividades comerciais, o aumento de produtividade do tratamento T3 em relação aos tratamentos T1, T2 e T4 foi 0,43%, 9,7% e 22,2%, respectivamente. Esses aumentos foram decorrentes, principalmente, do aumento no peso médio do fruto. Pinto *et al*. (2000) encontraram efeito significativo do $CO_2$ tanto para o peso médio do fruto como para o número de frutos comerciais por planta.

A maior produtividade comercial de 46,23 Mg ha$^{-1}$ foi obtida utilizando-se uma população de 22.727 plantas por hectare. Cardoso (2002) obteve produtividade comercial de 57,21 Mg ha$^{-1}$ com uma população de 30.303 plantas por hectare e aplicação de 301,8 kg ha$^{-1}$ de $CO_2$ durante o ciclo da cultura (33 aplicações de 9,14 kg ha$^{-1}$ de $CO_2$ com freqüência de 2 dias durante todo o ciclo). Caso fosse utilizada a mesma população de plantas de Cardoso (2002), poder-se-ia se esperar uma produção comercial de 61,64 Mg ha$^{-1}$. Os tratamentos T1 e T3 apresentaram os maiores índices de aproveitamento comercial da produção (99,33% e 99,21%, respectivamente) e o tratamento T4, sem adição de $CO_2$, apresentou o menor índice (93,28%).

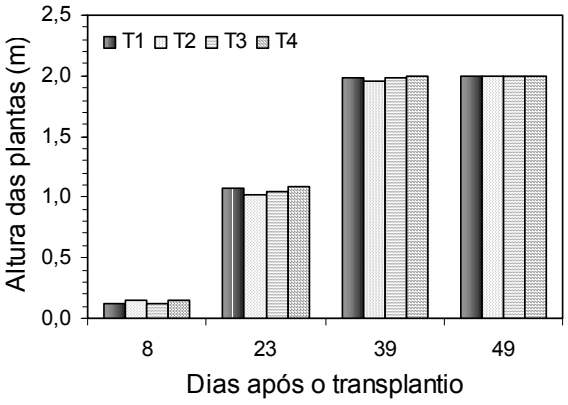


**Figura 1**. Variação da altura média de plantas em função dos dias após o transplantio para as diferentes épocas de aplicação de $CO_2$.

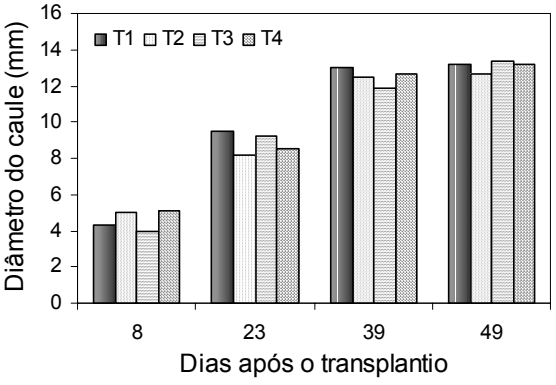


**Figura 2**. Variação do diâmetro médio do caule em função dos dias após o transplantio para as diferentes épocas de aplicação de $CO_2$.

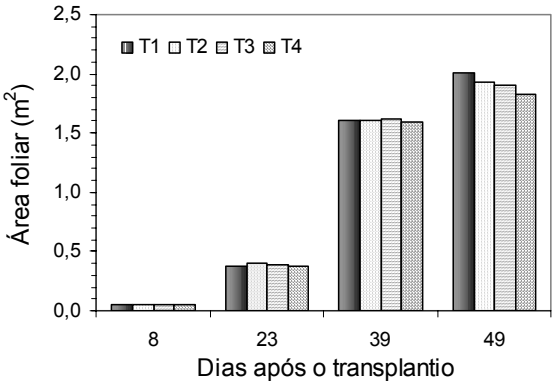


**Figura 3**. Variação da área foliar do meloeiro em função dos dias após o transplantio para as diferentes épocas de aplicação de $CO_2$.

**Tabela 4.** Produtividade comercial (PC), produtividade não comercial (PNC), peso médio dos frutos (PMF) e número de frutos por planta (NFP).

| Tratamento | PC (Mg ha$^{-1}$)* | PNC (Mg ha$^{-1}$)* | PMF (g)* | NFP* |
|---|---|---|---|---|
| T1 | 46,00a | 0,31a | 2024,3a | 1,96a |
| T3 | 46,23ª | 0,37a | 2033,7a | 2,07a |
| T2 | 42,12ab | 0,95b | 1853,3ab | 1,96a |
| T4 | 37,90b | 2,73b | 1667,8b | 1,64a |
| CV (%) | 4,54 | 15,84 | 4,54 | 10,52 |

*Para cada coluna, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os resultados deste trabalho evidenciam que a aplicação de $CO_2$ no período compreendido entre o início do florescimento e o início da frutificação é mais viável economicamente. Pinto *et al*. (1999) trabalhando com melão amarelo em ambiente protegido e a campo, obtiveram 28,7 Mg ha$^{-1}$ e 38,6 Mg ha$^{-1}$, respectivamente, com aplicação de $CO_2$, e sugeriram que a menor produtividade em ambiente protegido estava associada com a ocorrência de frentes frias durante os períodos de florescimento e frutificação.

A eficiência de uso de água pelo meloeiro foi maior nos tratamentos que receberam $CO_2$ (Figura 4). Os tratamentos T1 e T3 apresentaram as maiores eficiências de uso de água: 16,35 kg m$^{-3}$ e 14,26 kg m$^{-3}$. Isso mostra que a utilização de $CO_2$ pode se constituir numa técnica para economizar água na

agricultura. Esses valores foram maiores que os observados por Pinto *et al*. (2000), que encontram 12,15 kg $m^{-3}$ e 9,54 kg $m^{-3}$, com e sem aplicação de $CO_2$, respectivamente. Entretanto, Hernández *et al*. (1995) encontrou valores superiores, compreendidos entre 17,53 kg $m^{-3}$ e 19,82 kg $m^{-3}$ para melão amarelo, sem uso de $CO_2$. Por outro lado, Cardoso (2002) obteve valores entre 14,63 kg $m^{-3}$ e 19,14 kg $m^{-3}$ para a cultura do melão rendilhado cultivado em ambiente protegido com adição de $CO_2$ durante todo o ciclo.

**Características físicas e químicas do fruto**

O diâmetro transversal médio do fruto foi 121,4 mm e o longitudinal 113,4 mm. A análise de variância não revelou efeito significativo do $CO_2$ sobre essas características. Cardoso (2002) encontrou valores superiores mas também não verificou correlação entre produtividade e diâmetros transversal e longitudinal.

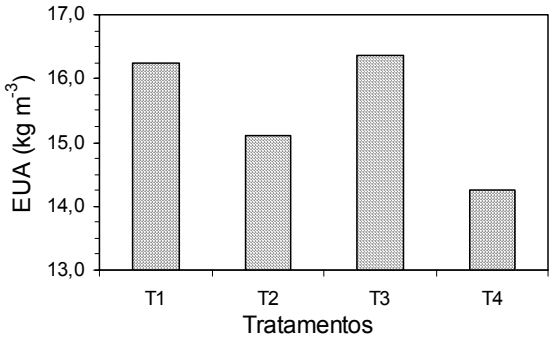


**Figura 4**. Eficiência de uso de água (EUA) em função das épocas de aplicação de $CO_2$.

O pH da polpa (média de 6,05) e o teor de sólidos solúveis (média de 11,75 $^{o}$Brix) não foram influenciados pela aplicação de $CO_2$, porém, a acidez total do suco (média de 13,28%) foi influenciada significativamente, a 5% de probabilidade, pelas épocas de aplicação de $CO_2$. Os maiores valores foram obtidos para os tratamentos T1 e T3 (13,5% e 15,4%, respectivamente). O tratamento sem $CO_2$ apresentou o menor valor (11,8%). Quanto ao pH da polpa, observou-se que no tratamento que não recebeu $CO_2$ ocorreu o maior valor (6,12) e o tratamento T1 o menor pH (6,03), embora não se tenha verificado diferença significativa para essa característica química.

**Variação do pH do solo**

Os valores do pH do solo determinados antes da aplicação de $CO_2$ estavam entre 6,0 e 6,4, e logo após a aplicação de $CO_2$ decresceram para 4,4 a 4,6. As medidas realizadas de hora em hora, durante e após a aplicação de $CO_2$, revelaram uma redução temporária do pH da solução do solo, tendendo aos valores iniciais depois de 40 minutos da aplicação do gás carbônico. D'Andria (1990) também constatou redução temporária do pH de 6,4 para 4,5 nos tratamentos que receberam $CO_2$. No solo, o dióxido de carbono pode combinar-se com os íons hidrogênio da solução para formar ácido carbônico, ou com os cátions, podendo produzir carbonatos e bicarbonatos de cálcio, potássio e magnésio (Smith *et al*., 1991). Alguns benefícios da utilização de água carbonatada no desenvolvimento das plantas têm sido estudados, destacando-se o fato de que o aumento da concentração de $CO_2$ no ar do solo pode aumentar a concentração de íons hidrogênio com abaixamento temporário do pH da solução do solo, implicando aumento da disponibilidade de alguns nutrientes para as plantas (Basile *et al*., 1993), promovendo a absorção de nutrientes (Novero *et al*., 1991), favorecendo o desenvolvimento de certos microorganismos benéficos no solo e aumentando a resistência das plantas ao déficit hídrico (Moore, 1990).

## Conclusão

(a) a produtividade de frutos aumentou significativamente com a aplicação de $CO_2$ via água de irrigação;

(b) aplicações de $CO_2$ no período compreendido entre início do florescimento, quando 80% das flores masculinas estão abertas, e o início da frutificação, quando ocorre 80% de pegamento dos frutos, são mais recomendadas tecnicamente;

(c) a aplicação de $CO_2$ não alterou o desenvolvimento vegetativo das plantas e nem a qualidade dos frutos com relação ao pH da polpa e ao teor de sólidos solúveis, porém, aumentou a acidez total;

(d) a aplicação de $CO_2$ aumentou a eficiência do uso da água.

## Referências

BASILE, G. *et al*. A. Soil nutrient mobility response to irrigation with carbon dioxide enriched water. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.,* New York, v. 24, n. 11/12, p. 1183-1195, 1993.

BHAN, K.C. *et al*. A. Possible relationships of bicarbonate or $CO_2$ assimilation to cation accumulation by plant roots. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 80, n. 5, p. 279-284, 1960.

BROWN, J.C. An evaluation of bicarbonate-induced iron chlorosis. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 80, n. 5, p. 246-247, 1960.

BIALCZYK, J.; LECHOWSKI, Z. Chemical composition of xylem sap of tomato grown on bicarbonate containing medium. *J. Plant Nutr.*, New York, v. 17, n. 5, p. 801-816, 1995.

CARARO, D.C.; DUARTE, S.N. Injeção de $CO_2$ e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa. *Hortic. Bras.*, Brasília, v. 20, n. 3, p. 432-437, 2002.

CARDOSO, S.S. *Doses de $CO_2$ e de potássio aplicadas através da irrigação por gotejamento no meloeiro rendilhado (Cucumis melo L.) cultivado em ambiente protegido*. 2002. Tese (Doutorado)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CASELLA, E. *et al*. Long-term effects of $CO_2$ enrichment and temperature increase on a temperature grass ward. I. Productivity and water use. *Plant Soil*, New York, v. 187, n. 1, p. 83-89, 1996.

CHAUDHURI, U.N. *et al*. Root growth of winter wheat under elevated carbon dioxide and drought. *Crop Sci.*, Madison, v. 30, p. 853-857, 1990.

D'ANDRIA, R. *et al*. Drip irrigation of tomato using carbonated water and mulch in Colorado. *Acta Hortic.*, Wageningen, v. 278, n. 1, p. 171-178, 1990.

D'ANDRIA, R. *et al*. Soil and plant nutrient modifications in response to irrigation with $CO_2$ enriched water on tomato. *Acta Hortic.*, Wageningen, v. 335, n. 1, p. 557-562, 1993.

FILGUEIRAS, H.A. *et al*. *Colheita e manuseio pós-colheita*. *In*: ALVES, R.E. Melão: Pós-colheita. Brasília: Embrapa, comunicação para transfer6encia de tecnologia, 2000. 43p.

GOMES, T. *Efeito do $CO_2$ aplicado na água de irrigação e no ambiente sobre a cultura da alface (Lactuca sativa L.)*. 2001. Tese (Doutorado)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

GOVINDARAJAN, G.; POOVAIAH, B.H. Effect of root-zone carbon dioxid enrichment on ethylene of carbon assimilation in potato plants. *Plant Physiol.*, Washington, DC, v. 55, p. 465-469, 1984.

HALE, V.Q.; WALLACE, A. Bicarbonate and phosforus in soybeans of iron chelated with ethylenediamine di-hydrxyphenyl acetate. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 80, n. 5, p. 241-245, 1960.

HERNÁNDEZ, C. *et al*. Fertirrigación del melon bajo invernadero plastico. *Rev. Ind. Agric. Tucumán*, Tucumán, v. 72, n. 1/2, p. 1-4, 1995.

IBRAHIM, A. Response of plant to irrigation with $CO_2$ enriched water. *Acta Hortic.*, Wageningen, n. 323, p. 205-214, 1992.

INSTITUTO ADOLFO LUTIZ. *Normas analíticas do IAL*.: métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 1, 3.ed. São Paulo, 1985.

KANO, C. *Extração de nutrientes pelo meloeiro rendilhado cultivado em ambiente protegido com a adição de potássio e $CO_2$ na água de irrigação*. 2002. Dissertação (Mestrado)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

KIMBALL, B.A. *et al*. *Progress research report 039*. Phoenix: United States Water Conservation Laboratory, 1986.

MACHADO, E.C. *et al*. Aplicação de $CO_2$ via água de irrigação em agricultura. *In*: FOLEGATTI, M.V. (Coord.) *Fertirrigação*: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.345-353.

MAUNEY, J.R.; HENDRIX, D.L. Response of glasshouse grown cotton to irrigation with carbon dioxide-saturated water. *Crop Sci.*, Madison, v. 28, p. 835-838, 1988.

MILLER, G.W. Carbon dioxide-bicarbonate absorption, accumulation, effects on various plant metabolic reactions, and possible relations to lime-induced chlorosis. *Soil Sci.*, v. 80, n. 5, p. 241-245, 1960.

MOORE, P.D. Potential for irrigation with carbon dioxide. *Acta Hortic.*, Wageningen, v. 278, p. 171-178, 1990.

MORTENSEN, L.M. Review: $CO_2$ enrichment in greenhouses. Crop Response. *Sci. Hortic.*, Amsterdam, v. 33, n. 1/2, p. 1-25, 1987.

NOVERO, R. *et al*. Field-grown tomato response to carbonated water application. *Agron. J.*, Madison, v. 83, p.9 11-916, 1991.

PINTO. J.M. *et al*. Aplicação de $CO_2$ via água de irrigação na cultura do melão em ambiente protegido. *Eng. Agric.*, Sorocaba, v. 18, n. 3, p. 1-10, 1999.

PINTO. J.M. *et al*. The effects of $CO_2$ applied through irrigation water on melon crop in protect cultivation. *Acta Hortic.*, The Hague, n. 537, p. 267-272, 2000.

RAIJ, B. Van. *et al*. (Ed) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p.181: Melão. (IAC. Boletim, 100).

RHOADS, W.A.; WALLACE, A. Possible involvement of dark fixation of $CO_2$ in lime-induced choloris. *Soil Sci.*, Baltimore, v.80, n.5, p.248-256, 1960.

REZENDE, F.C. *Resposta de plantas de pimentão (Capsicum annumm L.) à irrigação e ao enriquecimento da atmosfera com $CO_2$ em ambiente protegido*. 2001. Tese (Doutorado)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SANCHÉZ, L.R. *et al*. Growth and nutrient absortion by musk melon crop under greenhouse conditions. *In*.: CARPENA, R.M. (Coord.) International Simposium on water quality and quantity in greenhouse horticulture. *Acta Hortic.*, Wageningen, v. 34, n. 6, p. 1033-1037, 1996.

SMITH, D.H. *et al*. Field-grown tomato response to carbonated water application. *Agron. J.*, Madison, v. 83, n. 5, p. 911-916, 1991.

STOFFELLA, P.J. *et al*. Citrus rootstock and carbon dioxid enriched irrigation influence on seedling emergence, growth, and nutrient content. *J. Plant Nutr.*, New York, v. 18, n. 7, p. 1439-1448, 1995.

STORLIE, C.A.; HECKMAN, J.R. Bell pepper yield response to carbonated irrigation water. *J. Plant Nutr.*, New York, v. 19, n. 10/11, p. 1477-1484, 1996.

*Received on February 28, 2005.*
*Accepted on October 19, 2005.*