

EFEITO DO CO₂ APLICADO VIA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO SOBRE A CULTURA DA ALFACE (*Lactuca sativa* L.)

Jorge Tomoyoshi Tamagi¹; Marcio Antonio Vilas Boas¹; Silvio Cesar Sampaio¹; Simone Damasceno¹; Vandeir Francisco Guimarães²

¹Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas-CCET, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Campus de Cascavel, Cascavel, PR, mesagri@unioeste.br

²Centro de Ciências Agrárias-CCA, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, Campus de Marechal Cândido Rondon, Marechal Cândido Rondon, PR

1 RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar a influência de diferentes doses de aplicação de CO₂, via água de irrigação por gotejamento com o uso de fitas Poritex, no desenvolvimento e na produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.). O experimento foi realizado no período de março à maio de 2004, em Cascavel-PR. O experimento foi conduzido sob túneis plásticos em delineamento experimental inteiramente casualizado, representado por quatro tratamentos com cinco repetições com a finalidade de testar as doses de CO₂ na alface, cultivar Vera. As doses de CO₂ foram 0, 1, 3 e 6 L min⁻¹, sendo as irrigações realizadas diariamente às 10h, durante 10 minutos, após 10 dias do transplante das mudas até 1 dia antes da colheita final, totalizando 215 mm de água por canteiro. Os resultados mostraram que as doses 1 e 3 L min⁻¹ de CO₂ aplicadas via água promoveram aumento na produtividade, atingindo valores de 26,52% e 14,47%, quando comparado à testemunha. A análise econômica mostrou viabilidade da aplicação de CO₂ via água de irrigação.

UNITERMOS: irrigação por gotejamento; dióxido de carbono; alface; doses.

TAMAGI, J.T.; VILAS BOAS, M.A.; SAMPAIO, S.C.; DAMASCENO, S.; GUIMARÃES, V.F. EFFECT OF CO₂ APPLIED TO LETTUCE CROP (*Lactuca sativa* L.) THROUGH IRRIGATION WATER

2 ABSTRACT

This study objective was to study the influence of different rates of CO₂ application, by irrigation water, by dripping it with the use of poritex bands, on lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation and production. The experiment was carried out from March to May, 2004, in Cascavel-PR. The experiment was conducted in plastic tunnels and in a random experimental design with four treatments and five replications in order to test predetermined CO₂ rates on lettuce, Vera cultivar. The CO₂ rates were 0, 1, 3 and 6 L min⁻¹. The irrigation was daily at 10 o'clock during 10 minutes, 10 days after the plants transplantation, until 01 day before the final harvest, adding up to 215 mm of the water per portion. The results have shown that the 1 and 3 L min⁻¹ CO₂ rates, applied by water, caused increase in production, obtaining 26.52% and 14.47% values, when compared to the control plant. The economical analysis indicated the viability of CO₂ application via irrigation water.

KEYWORDS: drip irrigation; carbon dioxide; lettuce; rates

3 INTRODUÇÃO

A região Oeste do Paraná desponta no cenário nacional, especialmente pela alta produção de grãos. Contudo, devido ao crescimento substancial do mercado consumidor, os produtores têm buscado alternativas, destacando-se neste cenário o cultivo de hortaliças, em especial, em ambiente protegido com a adoção de técnicas de irrigação, hidroponia, entre outras. Para atender este novo mercado, faz-se necessário a introdução de novas tecnologias e formas de manejo nos sistemas de produção de hortaliças (Luengo & Junqueira, 1999). Partindo deste princípio, percebe-se que na região Oeste Paranaense pode-se realizar grandes trabalhos com a fertilização carbônica, pois esta, sem dúvida, poderá contribuir significativamente na melhoria da produtividade e qualidade dos produtos produzidos.

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa de maior consumo no Brasil. Consumida crua na forma de saladas, possui baixo valor calórico, sendo de fácil digestão (Nannetti & Souza, 1998). É cultivada em quase todas as regiões do globo, sendo sensível às condições adversas de temperatura, umidade e chuva. São necessários estudos que propiciem aumentos significativos em produtividade e diminuição de riscos, tornando-a um produto mais competitivo e diferenciado (Tarsitano et al., 1999).

A aplicação de CO₂ nas culturas 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, gerando produtos de melhor qualidade (Kimball et al., 1994).

Sabe-se que a realização do fenômeno da fotossíntese transforma energia luminosa (ondas eletromagnéticas) em energia química, incorporando CO₂ em seu metabolismo e liberando O₂. Então, o efeito do CO₂ é maior no verão que no inverno. No verão verifica-se ocorrência de déficit hídrico antes que no inverno. Além de que, microrganismos da rizosfera das plantas segregam ácidos orgânicos que aceleram a degradação química dos minerais do solo, especialmente fósforo, tornando-os disponíveis para as plantas. Como “feedback”, os microrganismos também produzem hormônios que estimulam o crescimento das raízes, induzindo a produção de mais raízes laterais (Babenko et al., 1985; Casella et al., 1996).

O carbono, que é o principal elemento químico constituinte das plantas, representa cerca de 45% de sua matéria seca. A maior parte deste carbono provém do CO₂ atmosférico que é absorvido pelas plantas durante a fotossíntese (Mortensen, 1987).

A fotossíntese é um processo no qual os componentes orgânicos a base de carbono (carboidratos) são formados a partir do dióxido de carbono nas células das plantas verdes. É um processo bioquímico que utiliza a energia solar para combinar CO₂ e água, na presença de catalisadores como clorofila e a radiação solar, produzindo energia química. Os produtos da fotossíntese são carboidratos (açúcares e amido), compostos químicos complexos, água e oxigênio (Lopes, 2000).

Nos finais dos anos 80, empresas norte americanas que comercializavam CO₂ para indústrias interessaram-se pelo processo na atividade agrícola e iniciaram trabalhos com injeção de CO₂ na água utilizada para irrigação, em culturas a céu aberto, visando aumentar a sua produtividade, obtendo resultados promissores (Idso & Idso, 1994).

Neste contexto este trabalho teve como objetivos:

- Avaliar o efeito de diferentes doses de CO₂ aplicadas via água de irrigação na produtividade da cultura da alface em Cascavel-PR;

- Verificar possíveis efeitos do CO₂ na disponibilidade de nutrientes no solo, e
- Verificar a viabilidade econômica do uso do CO₂ aplicado via água de irrigação para a cultura da alface.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na chácara denominada Krefta, região nordeste de Cascavel-PR, a 24°56' de latitude Sul e 52°26' de longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 800 metros. O clima da região é temperado, mesotérmico, úmido, sub-tropical, com temperatura média anual de 21°C (Prefeitura Municipal de Cascavel, 2000)

As quantidades anuais de precipitação pluviométrica da região foram: ano de 2000 = 1796 mm; ano de 2001 = 2049mm e ano de 2002 = 1480mm. As médias anuais de umidade relativa e ventos são: 75% e 33 km h⁻¹ a 46 km h⁻¹, respectivamente (fonte: Estação Meteorológica do IAPAR/INEMET)

O solo da área experimental foi classificado de acordo com a classificação da Embrapa (1999) como Latossolo Vermelho Distroférico.

Antes da implantação do experimento foram coletados aleatoriamente em 20 pontos do local a serem inseridos os canteiros, amostras do solo, na profundidade de 0 a 20 cm, para realização das análises químicas. Os resultados da análise química do solo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo referente à profundidade de 0 – 20 cm realizada antes da implantação do experimento.

Pontos Amostrais	Características										
	P	C	M.O	Ca	Mg	K	H+Al	pH	S	T	V
	mg/dm ³	g/dm ³		mmol _c /dm ³			CaCl ₂	mmol _c /dm ³		%	
20	125,8	14,0	24,1	138	39	8,2	31,8	5,7	185	217	85,3

fósforo (P), carbono (C), matéria orgânica (M.O.), macronutrientes (Ca, Mg, K), saturação por alumínio (H+Al), pH, soma das bases (S), capacidade de troca de cátions (T), e saturação por bases (V).

4.2. Descrição do material vegetal

A variedade de alface utilizada foi a Vera, cujas características são: cultivar líder de mercado do tipo crespa e de excelente aspecto visual. As plantas são de porte grande, compactas, uniformes e com alto rendimento. As folhas são bem repicadas e de coloração verde clara. Apresenta alta resistência ao pendoamento precoce, com início de colheita de 60-70 dias após o transplante.

Segundo dados colhidos pela Sakata, uma planta de alface possui: 16 calorias, 95,80% de água, 2,30% de hidratos de carbono, 1,20% de proteínas, 0,20% de gorduras e 0,50% de sais minerais como potássio, cálcio, sódio, magnésio e ferro.

4.3. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos referentes a diferentes doses de CO₂ aplicadas via água de irrigação (T_{0L} = 0 L

min⁻¹ de CO₂ = testemunha; T_{1L} = 1 L min⁻¹ de CO₂; T_{3L} = 3 L min⁻¹ de CO₂; T_{6L} = 6 L min⁻¹ de CO₂) com 5 repetições, sendo na testemunha aplicada somente água.

4.4. Implantação e condução do experimento

Para a condução do experimento foram utilizados 20 túneis baixos de plásticos com dimensões de 1,20 x 10 m. Cada túnel representou uma parcela experimental que foi composta por um canteiro de 10 metros de comprimento, com 1,20 metros de largura.

Em cada canteiro foram dispostas quatro linhas de plantas espaçadas entre si de 22 cm com 18 cm entre plantas, conforme a Figura 1. Desta forma, cada parcela experimental foi composta por 112 plantas, sendo utilizada como parcela útil as duas fileiras centrais do canteiro, desprezando-se as plantas da extremidade, resultando em 52 plantas úteis.

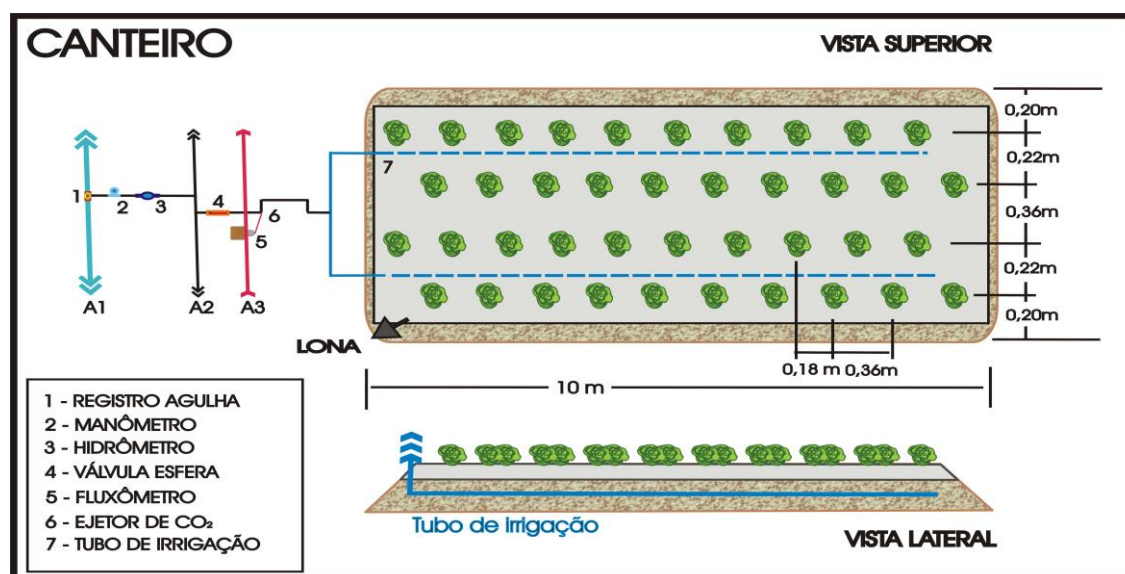


Figura 1. Disposição de fitas Poritex, tubulações e distanciamento das plantas de alface.

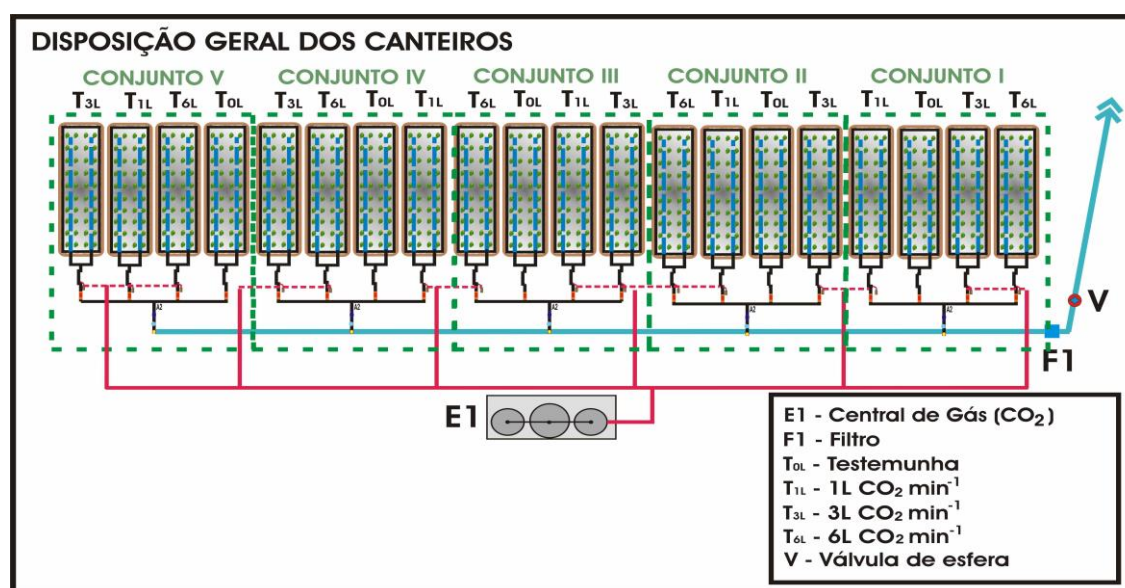


Figura 2. Esquema de irrigação dos canteiros de alface.

Durante a condução do experimento optou-se pela não utilização de adubação química, visto que os valores de macro nutrientes já estavam satisfatórios, bem como, a saturação por bases (Tabela 1).

A disposição dos canteiros na área está representada na Figura 2 onde mostra os detalhes para a distribuição dos sistemas de irrigação e dos tratamentos com CO₂.

Após 2 horas da irrigação, os túneis de plástico dos canteiros foram abertos em uma das laterais contrária a direção do vento, quando este ocorria.

O experimento foi conduzido com 23 dias após a semeadura (DAS) e 43 dias após o transplântio (DAT) totalizando um ciclo total (DAS + DAT) de 66 dias.

4.4.1 Preparo das mudas

Para obtenção das mudas de alface realizou-se a semeadura em bandejas de isopor de 128 células com semente peletizada da Sakata por “célula”, com o uso de uma plantadeira de bandeja. Estas foram mantidas em ambiente protegido com irrigação diária até o momento do transplante. O transplântio para o local definitivo foi realizado quando as mudas estavam com 23 dias após a semeadura (DAS) e apresentavam de cinco a seis folhas definitivas.

4.4.2 Sistema de irrigação

Como a alface é uma das hortaliças mais exigentes em água, necessitando ser mantido o teor de água no solo acima de 80% durante todo o ciclo da cultura e o período crítico ser antes da colheita, foi utilizada irrigação localizada por gotejamento através de fitas porosas Poritex enterradas no solo perto da zona radicular da alface.

As irrigações foram realizadas diariamente, em torno das 10h, com um tempo de 10 minutos para a composição dos tratamentos com CO₂.

Durante estes 10 minutos o volume de H₂O foi de 60 litros por canteiro e cuja lâmina de água foi de 6 mm.

4.4.3 Sistema de injeção de CO₂

Foi utilizada uma central para cilindros de gases marca White Martins com regulador de pressão e 2 cilindros de CO₂ de capacidade 25 kg de cada lado, com 58,3 kgf cm⁻² de pressão quando cheio, conectados através de chicote de cobre. A rede de distribuição de CO₂ foi construída com cano de cobre de 15mm, classe “A”, onde foi colocada uma válvula de esfera para abrir a vazão de gás quando necessário na irrigação para a carbonatação da água e conectada à central. Em cada cabeceira dos canteiros escolhidos através de sorteio que deveriam receber incremento de CO₂ foi instalado um posto aparente de consumo onde foi conectado uma válvula e um fluxômetro calibrado a pressão de 3,5 kgf e com graduação de 0-15 L min⁻¹. Através de uma mangueira, foi interligado na rede de água onde por meio de um ejetor poroso, foi injetado o CO₂ na água de irrigação.

O tempo de aplicação de CO₂ via água de irrigação (T_{co2}) foi de 10 minutos, todos os dias, às 10 h.

Foram instalados Irrigas que é um sensor de irrigação, desenvolvido pela Embrapa, em 5 canteiros aleatórios para verificar indiretamente a umidade do solo e a necessidade da irrigação dos canteiros. O Irrigas é constituído de uma cápsula porosa (filtro para água) e conectada através de um tubo plástico (cilindro de uma seringa, sem o êmulo). A cavidade da cápsula porosa e o tubo ficam sempre vazios de água. Sua instalação no solo permite o monitoramento da tensão de água no solo e manejo de irrigação. Para o Irrigas são considerados apenas dois casos: “úmido” e “seco”. “Úmido” é quando o ar não passa através dos poros da cápsula porosa impregnada de água e não há necessidade de irrigar. “Seco” é

quando o solo está com um valor maior que o valor crítico do sensor e, então, estão parcialmente desobstruídos e o ar flui através dos poros da cápsula, quando então, ocorre o momento de irrigação.

4.5 Variáveis analisada

Para acompanhamento e acúmulo de massa fresca e seca da cultura ao longo do ciclo em função do tratamento com CO₂ foram realizadas coletas de plantas aos 25, 32, 36 e 43 DAT (dias após transplante). Nestas coletas avaliaram-se as seguintes variáveis:

4.5.1 Massa fresca de planta (g)

Dois plantas por parcela, por ocasião da coleta, foram cortadas na altura do solo, pesadas em balança de precisão para obtenção da massa fresca das plantas expressas em gramas/planta.

4.5.2 Massa seca de planta (g)

Após a obtenção da massa fresca as plantas foram colocadas em sacos de papel devidamente etiquetadas e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar por 72 horas a 65°C, até atingir massa constante.

A massa seca foi então determinada em balança de precisão, sendo os dados expressos em gramas/planta.

4.5.3 Número de folhas por planta

O número de folhas por planta foi obtido através de contagem média de duas plantas com 43 DAT, considerando-se apenas aquelas acima de 5 cm de comprimento.

4.5.4 Produtividade

Para determinação da produtividade, considerou-se os dados de massa fresca de 4 plantas da última coleta (43 DAT). Após obtidos os resultados estes foram extrapolados e expressos em kg ha⁻¹.

4.5.5 Qualidade Comercial

Após a colheita final, foi realizada a avaliação da qualidade comercial das plantas de acordo com a classificação de alface segundo a massa fresca sugerido pela CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo), trabalho este realizado para o Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura e a Câmara Setorial de Fruta e de Hortaliças, Cebola e Alho.

4.5.6 Viabilidade econômica

Foram levantados o preço médio do pacote de 200 gramas de alface, preço médio de 1 ha de terra, preço da central de cilindros, preço dos plásticos, preço das tubulações utilizadas, locação de tanque, custo de embalagem, custo de distribuição, mão de obra, custo de água, preço do CO₂ por kg e os ganhos em produtividade, analisando-se a relação custo/benefício do uso do CO₂ na água de irrigação para a cultura da alface.

4.6 Análise dos dados

Após a obtenção e tabulação dos dados, estes foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa computacional minitab versão 13.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.2 Qualidade da água

Os testes da avaliação da qualidade da água indicaram água imprópria para consumo humano. No entanto, para aplicação na irrigação os resultados estavam dentro dos parâmetros requeridos pela Resolução Conama nº 20, considerada água de classe 2, uso permitido para irrigação de hortaliças e plantas frutíferas.

5.3 Análise de solo

Após a colheita da alface, objetivando avaliar possíveis efeitos dos tratamentos com CO₂ na disponibilidade de nutrientes do solo realizou-se coleta e análise química do solo em 12 canteiros representando 3 repetições por tratamento, sendo realizada as análises de rotina como P, C, M.O., Ca, Mg, K, H+Al, pH, S, T e V.

O resultados das análises de solo não apresentaram diferença significativa após o experimento, ou seja, os teores baixo, médio e alto das análises continuaram inalterados, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Análise química do solo referente aos diferentes tratamentos com CO₂, após a colheita da cultura da alface.

	P	C	M.O.	Ca	Mg	K	H+Al	pH	S	T	V
	mg/dm ³	g/dm ³			mmol _c /dm ³			(CaCl ₂)	mmol _c /dm ³		%
0L	123,31	30,91	53,16	152,4	36,3	8,0	27,4	5,5	196,7	224,4	87,70
1L	126,95	28,05	48,25	154,3	41,4	8,3	28,2	5,4	204,1	232,3	87,84
3L	118,71	26,23	45,12	145,1	31,7	8,4	26,0	5,5	185,2	211,2	87,66
6L	119,12	28,31	48,69	142,1	33,1	7,7	25,4	5,3	183,0	208,4	87,75

fósforo (P), carbono (C), matéria orgânica (M.O.), macronutrientes (Ca, Mg, K), saturação por alumínio (H+Al), pH, soma das bases (S), capacidade de troca de cátions (T) e saturação por bases (V).

5.3 Dados Climatológicos Medidos

Segundo os dados coletados pelas Estações Meteorológicas do IAPAR/INEMET durante a realização do experimento a umidade relativa esteve alta, média de 89,4%, devido a quantidade de chuvas que ocasionaram uma precipitação total de 319,8 mm durante os 43 DAT.

Também pode ser verificado que a temperatura média dos dias ficou em 16,5°C, abaixo dos 21°C que é a média anual de Cascavel, comprovando desta forma, que neste ciclo houve vários fatores adversos, como chuvas e geadas, que contribuíram para que a produção não fosse tão acentuada como se esperava.

5.4 Massa fresca total

Foram realizadas quatro coletas de plantas durante o ciclo da cultura, aos 25, 32, 36 DAT das mudas e a outra aos 43 dias por ocasião da colheita.

Segundo avaliação das médias aplicadas pelo teste Tukey, observa-se que os tratamentos T_{0L} = 0 L min⁻¹ de CO₂ e T_{6L} = 6 L min⁻¹ de CO₂ não apresentaram diferença significativa na produção de massa fresca aos 25 dias de cultivo, enquanto que para os tratamentos T_{3L} = 3 L min⁻¹ de CO₂ e T_{1L} = 1 L min⁻¹ de CO₂ apresentaram diferença em relação ao tratamento T_{0L} que não apresentava dosagem de CO₂, sendo o tratamento T_{1L} com

injeção de 1 L min⁻¹ de CO₂ o que apresentou melhor desempenho. O tratamento T_{6L} que continha a maior dosagem de CO₂ mostrou-se semelhante aos demais tratamentos. A diferença entre as médias dos tratamentos pode ser melhor visualizada na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da Massa Fresca de plantas de alface(g), cultivar Vera, aos 25, 32, 36 e 43 dias após o transplântio (DAT), em função das diferentes doses de CO₂ (0, 1, 3 e 6 L min⁻¹), aplicadas via água de irrigação.

Tratamentos	Massa fresca da planta (g)			
	25 DAT	32 DAT	36 DAT	43 DAT
0 L min ⁻¹	89,01 b ¹	190,46 b	278,39 b	446,96 b
1 L min ⁻¹	152,37 a	238,38 a	319,42 a	565,52 a
3 L min ⁻¹	142,88 a	217,74 ab	305,33 ab	511,67 ab
6 L min ⁻¹	126,75 ab	207,42 ab	293,41 ab	495,17 ab
Médias	127,75	213,50	299,14	504,83
CV (%)	21,85	9,39	5,83	9,69

¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A tabela 3 expressa os resultados para 32, 36 e 43 DAT das mudas, onde se observa diferença significativa entre o tratamento T_{1L} com injeção de 1 L min⁻¹ de CO₂ e o tratamento T_{0L} que recebeu água pura sem qualquer tratamento para os teores de massa fresca de alface. Os tratamentos T_{3L} e T_{6L} com injeções de 3 L min⁻¹ de CO₂ e 6 L min⁻¹ de CO₂, respectivamente, não apresentaram diferença significativa em relação aos demais tratamentos.

Gomes (2001) obteve aumentos de até 26% na massa fresca aplicando CO₂ na água de irrigação e no ambiente sobre a cultura da alface em Piracicaba utilizando 52 e 155 kg ha⁻¹ de CO₂.

Furlan et al. (2001) analisaram os efeitos do CO₂ na produtividade e qualidade da alface em ambiente protegido e chegaram a um aumento de 27% na produtividade em relação ao tratamento sem CO₂.

Na avaliação das médias observa-se no tratamento T_{1L} com injeção de 1 L min⁻¹ de CO₂ aumento na produtividade de 71,18% aos 25 dias, 25,16% aos 32 dias, 14,73% aos 36 dias e 26,52% aos 43 dias de cultivo, em relação ao tratamento com água pura.

O tratamento T_{1L} com injeção de 1 L min⁻¹ de CO₂ foi o que apresentou os melhores resultados em todo período de cultivo em relação aos demais tratamentos para a produção de massa fresca.

5.5 Massa seca total

Alface e aipo que são hortaliças não frutíferas apresentam lenta absorção de nutrientes durante a primeira metade do ciclo de cultivo e se acelera próximo à colheita (Papadopoulos, 1999).

Gomes (2001) analisando massa seca chegou a conclusão de que existe aumento significativo de massa seca com o uso de CO₂, mas que este fator faz efeito contrário quando utilizado na dosagem de 310 kg ha⁻¹.

Analisando-se os teores de massa seca para os tratamentos aos 25 dias após o transplante (DAT) das mudas observa-se, ao nível de 5% de significância segundo teste Tukey, que o tratamento T_{0L} (0 L min⁻¹ de CO₂) apresentou diferença em relação aos

tratamentos onde T_{1L} com 1 L min⁻¹ de CO₂ e T_{3L} com 3 L min⁻¹ de CO₂. O tratamento T_{6L} com 6 L min⁻¹ de CO₂ não apresentou diferença em relação aos demais tratamentos.

Tabela 4. Resultados da Massa Seca de plantas de alface, cultivar Vera, aos 25, 32, 36 e 43 dias após o transplântio (DAT), em função de diferentes doses de CO₂ (0, 1, 3 e 6 L min⁻¹), aplicado via água de irrigação.

Tratamentos	Massa seca da planta (g)			
	25 DAT	32 DAT	36 DAT	43 DAT
0 L min ⁻¹	3,378 b ¹	7,989 b	14,276 b	27,055 b
1 L min ⁻¹	5,222 a	10,179 a	16,116 a	34,181 a
3 L min ⁻¹	5,154 a	9,242 ab	15,265 ab	30,599 ab
6 L min ⁻¹	4,584 ab	8,168 b	14,972 b	29,307 b
Médias	4,584	8,894	15,157	30,285
CV (%)	18,62	11,46	5,03	9,84

¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Diferentemente da avaliação de massa fresca, aos 32, 36 e 43 DAT observa-se na avaliação de massa seca que o tratamento T_{1L} apresentou o melhor resultado em relação ao teste de médias obtendo diferença significativa em relação aos tratamentos T_{0L} e T_{6L} ao nível de 5% de significância. O tratamento T_{3L} com dosagens de 3 L min⁻¹ de CO₂ mostrou-se semelhante aos demais tratamentos.

Na avaliação de produtividade em relação aos teores médios de massa seca observa-se que para o tratamento T_{1L} em relação ao tratamento T_{0L} (que não obteve adição de CO₂) houve aumento na produção de 54,58% aos 25 dias de cultivo, 27,41% aos 32 dias, 12,88 aos 36 dias e 26,33% aos 43 dias de cultivo.

5.6 Número de folhas

Na avaliação do número de folhas não se observou diferença entre os tratamentos, sendo as médias dos tratamentos apresentadas no Gráfico 1.

O mesmo sendo observado por Gomes (2001).

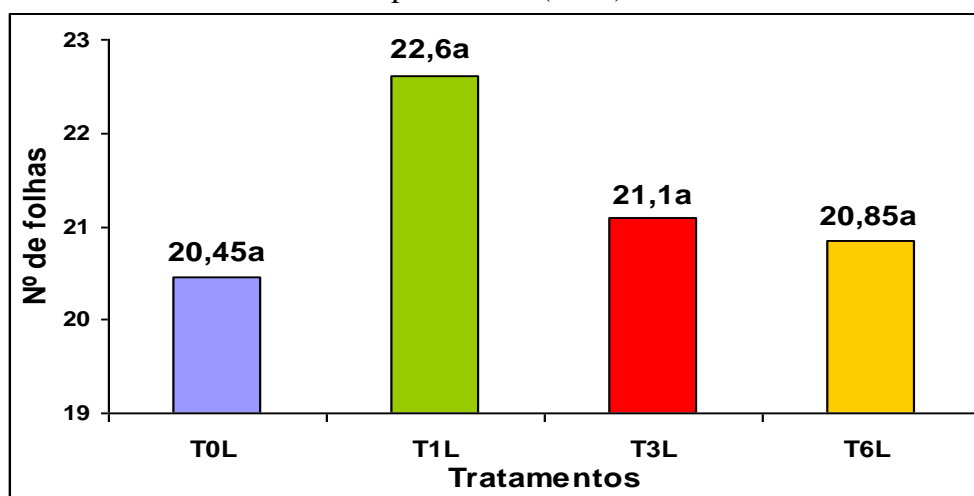


Gráfico 1. Número de folhas das plantas de alface, em função de diferentes doses de CO₂ (0, 1, 3 e 6 L min⁻¹), aplicado via água de irrigação, aos 43 dias após o transplântio.

5.7 Análise da Produtividade

D'Andria et al. (1990), Novero et al. (1991), Pinto (1997) e Cararo (2000) afirmam que uma forma de aumentar a produtividade consiste em aplicar CO₂ via água de irrigação.

A aplicação de CO₂ nas culturas melhora o metabolismo e o equilíbrio hormonal das plantas, aumenta a fotossíntese e absorção de nutrientes, resultando em plantas mais produtivas, mais resistentes à doenças e ao ataque de pragas, gerando produtos de melhor qualidade (Kimball et al., 1994).

Gomes (2001) avaliou o efeito do CO₂ aplicado via água de irrigação e no ambiente sobre a cultura da alface em Piracicaba – SP e concluiu que doses de 52 e 155 kg ha⁻¹ de CO₂ aplicadas através da água de irrigação proporcionaram aumentos de até 26% na produtividade da alface.

Furlan et al. (2001) analisaram os efeitos do CO₂ na produtividade e qualidade da alface, em ambiente protegido e chegaram a um aumento de 27% na produtividade em relação ao tratamento sem CO₂.

Como 1 kg de CO₂ é equivalente a 544 L, temos o consumo determinado das aplicações em kg ha⁻¹ de 490,196; 1.470,588 e 2.941,176 kg ha⁻¹ de CO₂ para os tratamentos T_{1L}, T_{3L} e T_{6L}, respectivamente.

Portanto no experimento comprova-se que realmente as plantas estavam saudáveis, praticamente não houve perdas por doenças e a produtividade dos tratamentos T_{1L}, T_{3L} e T_{6L} em relação a testemunha T_{0L} foi, respectivamente, de 26,52%, 14,47% e 10,78% maior, conforme mostra o Gráfico 2.

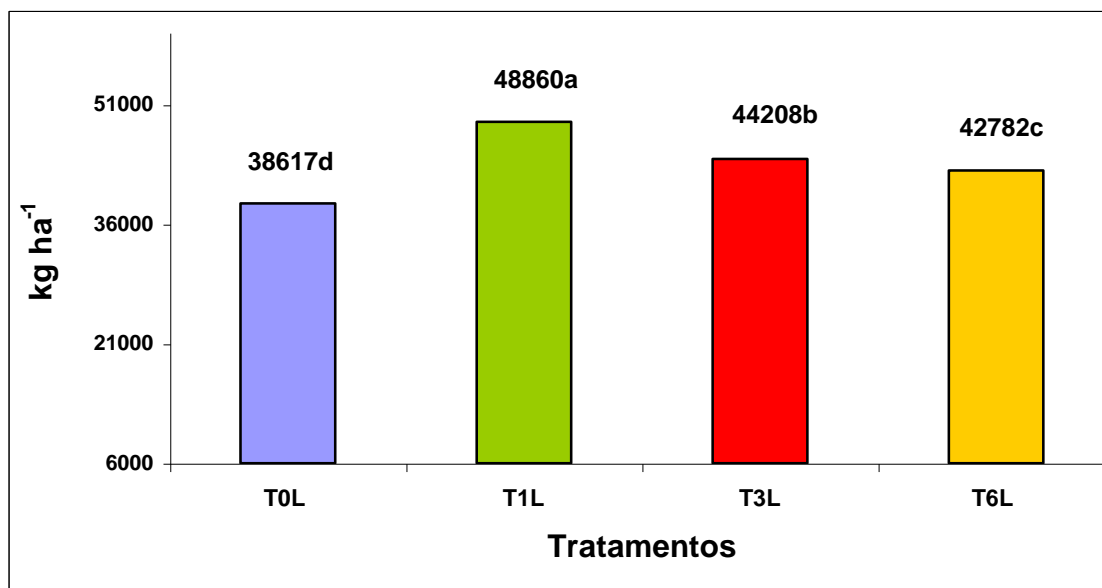


Gráfico 2. Produtividade (kg ha⁻¹) das plantas de alface, em função de diferentes doses de CO₂ (0, 1, 3 e 6 L min⁻¹), aplicado via água de irrigação, aos 43 dias após o transplantio.

5.8 Qualidade Comercial

Pesquisa realizada pela CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo), indica que as perdas na alface são provocadas 19% no embalamento inadequado, 17% no transporte e 10% no manuseio.

Segundo a classificação da CEAGESP e de acordo com os resultados obtidos no experimento realizado, a alface no tratamento T_{0L} obtém a classe 40 e o tratamento T_{1L} obtém a classe 55.

5.9 Análise econômica

A avaliação custo benefício, demonstrou ser viável a aplicação de CO₂ via água de irrigação, obtendo-se ganhos na ordem de 26,52% de aumento na produtividade.

Como a produção é comercializada em pacotes de 200 gramas concluí-se que existe viabilidade econômica com o uso de CO₂ como mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Viabilidade econômica da produção de alface por ha ciclo⁻¹, submetidas à tratamentos com suplementação de CO₂, via água de irrigação.

Variáveis	T _{0L} (s/CO ₂)	T _{1L} (1 L min ⁻¹ CO ₂)
Produção	38.617,344 kg	48.860,928 kg
Quebra (50%)	19.308,672 kg	24.430,464 kg
Produção Líquida	19.308,672 kg	24.430,464 kg
Pacotes de 200 gramas	96.543 pacotes	122.152 pacotes
Preço Unitário de Venda	R\$0,90	R\$0,90
Renda Total	R\$86.888,00	R\$109.936,00
Custos Variáveis	R\$14.462,00	R\$18.542,00
Custos Fixos	R\$2.180,00	R\$2.180,00
Lucro Líquido por ciclo	R\$70.246,00	R\$89.214,00
Lucro Líquido por ano	R\$351.230,00	R\$446.070,00
Ativo Operacional (INVESTIMENTO FIXO)	R\$56.000,00	R\$56.000,00
Lucratividade por ciclo (LL RT⁻¹ 100)	80,84%	81,15%
Rentabilidade Anual (LL AO⁻¹ 100)	627,19%	796,55%
Retorno do Ativo Operacional (AO LL⁻¹)	0,159 ano	0,125 ano
Taxa Interna de Retorno Anual (TIR) %	527,2%	696,6%

TIR (taxa interna de retorno) ou **IRR** (internal rate of return)

Fórm. matemática do TIR $\sum_{t=0}^n B (1 + i)^{-t} - \sum_{t=0}^m I (1 + i)^{-t} = 0$ (soma vr. atuais dos benefícios(receitas líquidas) igual a soma vr. atuais dos investimentos)

6 CONCLUSÕES

- A aplicação de 1 L min⁻¹ de CO₂ na água de irrigação resultou em maior acúmulo de massa fresca e seca nas plantas de alface nas diferentes coletas avaliadas.
- A aplicação de CO₂ resultou em um incremento significativo de 26,52% em produtividade quando comparado à testemunha, sendo recomendada nas condições experimentais a aplicação de 1 L min⁻¹ de CO₂ na água de irrigação.

- A aplicação de CO₂ via água de irrigação não alterou nenhuma característica química do solo após o cultivo da alface para as doses utilizadas neste experimento.
- A prática de aplicação de CO₂ mostrou-se economicamente viável para a cultura de alface na dose de 1 L min⁻¹, com 10 min por dia durante o ciclo da cultura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5 ed. Viçosa. Biblioteca Central da Federal de Viçosa, 1989. p. 596.

BABENKO, Y. S. et al. Biological activity and physiological biochemical properties of phosphate dissolving bacteria. **Microbiology**. Washington, 1985. v. 53, p. 427-433.

BASTOS, E. A. et al. Determinação dos coeficientes da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.). **Irriga**. Botucatu, 1996. n. 3, p. 2-5.

CAMARGO, L.S. **As hortaliças e seu cultivo**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 252.

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. 70 p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CASELLA, E.; SOUSSANA, J. F.; LOISEAU, P. Long-term effects of CO₂ enrichment and temperature increase on a temperate grass sward. I. Productivity and water use. **Plant and Soil**. Hagje, 1996. v. 187, n. 1, p. 83-99.

D’ANDRIA, R.; NOVERO, R.; SMITH, D. H. Drip irrigation of tomato using carbonated water and mulch in Colorado. **Acta Horticulturae**. Wageningen, 1990. v. 278, p. 179-185.

FILGUEIRA, F. A. R. Cichoriáceas: alface, chicória e almeirão. In: **Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças**. Piracicaba: Agrônoma Ceres. 1982. p. 77-93.

FORERO, J.A.S.; GUTIÉRREZ, J.H.P.; MARTÍNEZ, R.A. Determinacion de la lâmina de riego por goteo en la lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. "Calamar". **Revista ICA**. Rio de Janeiro, 1979. v.14, n.1, p. 51-58.

FURLAN, R.A. et al. Dióxido de carbono aplicado via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**. Brasília, 2001. v. 19, n. 1, p. 25-29.

GOMES, T. M. **Efeito do CO₂ aplicado na água de irrigação e no ambiente sobre a cultura da alface**. Piracicaba, 2000. 101 p. Tese (Doutorado em Agronomia), Área de Concentração: Irrigação e Drenagem, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

IDSO, K.E.; IDISO, 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**. Arizona, 1994. v. 69, n. 3/4, p.153-203.

- KIMBALL, B. A. et al. Effects of free air CO₂ enrichment on energy balance and evapotranspiration of cotton. **Agricultural Forest and Meteorology**. Amsterdam, 1994. v. 70, n.1 / 4, p. 259-78.
- LOPES, S.G.B.C. Introdução à Biologia . **Bio volume único**. São Paulo: Editora Saraiva, 2000. p. 78-84.
- LUENGO, R. F. S.; JUNQUEIRA, A. Distribuição de hortaliças no Brasil. **Circular Técnica EMBRAPA HORTALIÇAS**. Brasília, 1999. n. 16, 7 p.
- MORTENSEN, L.M. et al. Review: CO₂ enrichment in greenhouses. Crop responses. **Sci Hort**. 1987. n.33 p. 1-25.
- MUDRIK, V. A. et al. Effect of increased CO₂ concentration on growth, photosynthesis, and composition of *Pisum sativum* L. plant. **Russian Journal of Plant Physiology**. New York, 1997. v. 44, n. 2, p. 71-165.
- NOVERO, R. et al. Field grown tomato response to carbonated water application. **Agronomy Journal**. Colorado, 1991. v. 83, p. 911-916.
- PAPADOPOULOS, I. Aplicação de CO₂ via água de irrigação em agricultura. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.). **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 11-74.
- PINTO, J. M. **Aplicação de dióxido de carbono via água de irrigação em meloeiro**. Piracicaba, 1997. 82 p. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- PIRES, R. C. M.; E.; ARRUDA , F. B. et. Al.. Manejo da irrigação em hortaliças **Horticultura Brasileira**. Brasília, 2000. v .18, p. 147-158.
- SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In, FARIA, M. A. et al. **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: SBEA, 1998. cap. 5, p. 311-348.
- TARSITANO, M. A. A.; PETINARI, R. A.; DOURADO, M. C. Viabilidade econômica do cultivo da alface em estufa no município de Jales-SP. **Cultura Agrônômica**. Ilha Solteira, 1999. v. 8, n. 1, p. 99-108.