

## Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo avaliar os efeitos de doses de compostos orgânicos obtidos a partir de resíduos agroindustriais sobre as trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em plantas de alface. O experimento foi conduzido em condições de viveiro, com delineamento inteiramente casualizado, com 14 tratamentos e quatro repetições. Utilizando os seguintes tratamentos T1 a T6 (tratamentos com mistura básica de cana), T7 a T12 (tratamentos com mistura básica de coco), T13 (esterco) e T14 (fertilizantes minerais). Foram avaliados os seguintes parâmetros: fotossíntese, transpiração, condutância estomática, razão entre concentrações de CO<sub>2</sub> intra/extracelular (C<sub>i</sub> / C<sub>a</sub>), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência de carboxilação (A/C<sub>i</sub>), teor de clorofila e eficiência quântica máxima do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>). As plantas de alface cultivada com fertilizantes minerais e esterco revelaram valores maiores para condutância estomática. Os tratamentos com mistura básica de cana apresentaram maiores taxas de fotossíntese, transpiração, eficiência de carboxilação e teor de clorofila, indicando que a alface apresentou melhor capacidade fotossintética quando cultivadas nesses substratos.

**Palavras-chaves:** Trocas gasosas; fluorescência da clorofila; compostos orgânicos

## Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais

*Claudiana Moura dos Santos<sup>1</sup>, Eduardo Rebelo Gonçalves<sup>2</sup>, Laurício Endres<sup>3</sup>, Tâmara Cláudia de Araújo Gomes<sup>4</sup>, Cleber Junior Jadoski<sup>5</sup>, Luiz Antônio do Nascimento<sup>6</sup>, Emanuelle Dias dos Santos<sup>2</sup>*

## Actividad fotosintética de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) en diferente compostaje de residuos agroindustriales

## Resumen

Este trabajo fue desarrollado con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes compuestos orgánicos derivados de residuos agro-industriales en el intercambio gaseoso y la fluorescencia de la clorofila *a* en la lechuga. Se realizó el experimento en condiciones de vivero, con un diseño completamente al azar con 14 tratamientos y cuatro repeticiones. Utilizando los siguientes tratamientos T1 a T6 (el tratamiento con la mezcla básica de la caña de azúcar), T7 a T12 (el tratamiento con la mezcla básica de coco), T13 (estiércol) y T14 (abonos minerales). Se evaluaron los siguientes parámetros: la fotosíntesis, la transpiración, la conductancia estomática, la relación de las concentraciones de CO<sub>2</sub> intra/extracelular (C<sub>i</sub> / C<sub>a</sub>), la eficiencia instantánea del uso del agua (A/E), la eficiencia de carboxilación (A/C<sub>i</sub>), el contenido de clorofila y la máxima eficiencia cuántica del fotosistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>). Las plantas de lechuga cultivadas con fertilizantes minerales y estiércol mostraron mayores valores de la conductancia estomática. Los tratamientos con mezcla básica de la caña de azúcar presentaron mayores tasas de fotosíntesis, transpiración, eficiencia de carboxilación y el contenido de clorofila, lo que indica que la lechuga tiene una mejor capacidad fotosintética cuando cultivada en estos sustratos.

**Palabras clave:** el intercambio gaseoso; fluorescencia de la clorofila; los compuestos orgánicos

## Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea, anual e considerada a hortaliça folhosa de

maior importância na alimentação dos brasileiros (SANTOS et al., 2010), sendo tradicionalmente cultivada por pequenos produtores, o que lhe confere

Recebido em 12 jan. 2010. Aceito para publicação em: 15 abr. 2010.

1 Doutoranda em agricultura FCA/UNESP [claudianabio@hotmail.com](mailto:claudianabio@hotmail.com)

2 Mestrando em Agronomia UFAL

3 Professor, Dr. Centro de Ciências Agrárias/UFAL

4 Pesquisadora Embrapa Tabuleiro costeiros, Campus Delza Gitaí-AL

5 Mestrando em Agricultura FCA/UNESP

6 Graduando em agronomia, Centro de Ciências Agrárias-UFAL

*Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia* v3 n3 Set.- Dez. 2010

Print-ISSN 1983-6325 (On line) e-ISSN 1984-7548

grande importância econômica e social, apresentando significativo fator de agregação do homem do campo (NAKAGAWA, et al., 1992). Aliado a isso, existe uma grande necessidade da cultura pela adubação orgânica, fazendo com que essa hortaliça seja um importante componente no enfoque holístico da agricultura orgânica (VILAS BÔAS et al., 2004).

Atualmente, adubos orgânicos de várias origens são empregados no cultivo dessa hortaliça, destacando-se o composto orgânico, que, além de proporcionar melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, reduz a necessidade de uso de adubos minerais, além de aumentar sua produtividade (SILVA et al., 2010).

Em adição, uma alternativa de adubos orgânicos que vem se destacando no meio agrícola são os resíduos gerados na agroindústria, como a torta de filtro, a vinhaça e o pó da casca de coco (COSTA et al., 2008). Esses resíduos ganharam importância por apresentarem quantidades variáveis de nutrientes, sobretudo o nitrogênio, fósforo e potássio, além disso, são bastante eficientes em proporcionar condições de alta retenção de umidade no solo e qualidade nutricional adequados em diferentes culturas (ROSA et al., 2002; COSTA et al., 2008; AMARAL, et al., 2010), beneficiando as plantas e o solo.

Em estudo de nutrição em plantas, a fotossíntese tem recebido especial atenção por ser a principal fonte de carbono orgânico, de energia para o crescimento e produção de biomassa das plantas (Lawlor, 2002). LARCHER (2004) afirma que a influência do estado nutricional da planta sobre a fotossíntese ocorre de muitas maneiras, sendo que quase sempre maiores taxas fotossintéticas são alcançadas por meio da adubação. Segundo COSTA et al., (2001) mudanças na absorção de nutrientes levam a alterações da fisiologia das plantas, dentre outros fatores, à abertura estomática e ao aumento ou diminuição da área foliar, estando esses fatores intimamente ligados com a eficiência fotossintética.

Vários estudos com hortaliças demonstram correlações positivas entre tratamentos com adubação e trocas gasosas, como os observados em espinafre (VERHOEVEN et al., 1997), berinjela (BRANDÃO FILHO et al., 2003), pepino (LIANG et al., 2009), couve e pimentão (VILANOVA e SILVA JUNIOR, 2010), porém, estudos discutindo como esses padrões

ocorrem em alface ainda são escassos.

Dentre os trabalhos relacionados com a capacidade fotossintética e condutância estomática em alface destacam-se trabalhos sobre adubação nitrogenada (BROADLEY et al., 2001) e submetidos a diferentes situações de estresse, sanidade (BIE et al., 2004), intensidades luminosas (KIM et al., 2004) e respostas a variação de temperatura (HE et al., 2009). Portanto a busca de mais informações sobre a fisiologia da fonte (órgãos fotossintetizantes) da cultura da alface torna-se de fundamental importância.

Embora medidas de trocas gasosas sejam importantes para determinar as taxas fotossintéticas podem não ser eficientes para avaliar os efeitos deletérios nos cloroplastos. Assim, uma alternativa é a avaliação da eficiência quântica do fotossistema II (PSII) obtida a partir da fluorescência da clorofila *a*, tratando-se de um método não destrutivo e que revela o nível de excitação da energia que dirige à fotossíntese e fornece subsídios para estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do PSII (MAXWELL e JOHNSON, 2000). De acordo com BAKER e ROSENQVST (2004) a eficiência de operação do PSII está correlacionada a assimilação de CO<sub>2</sub> e tem levado a utilização de parâmetros da fluorescência da clorofila para examinar o desempenho fotossintético de plantas em resposta ao suplemento nutricional no solo.

Estudos realizados na cultura de alface mostram o uso de parâmetros da cinética de emissão de fluorescência sendo utilizado para detectar danos causados por diferentes tipos de estresses (CALATAYUD e BARRENO, 2004; HE e LEE, 2004; PROKOPOVÁ et al., 2010).

Existe, atualmente, um número restrito de referências sobre a relação de adubação e substrato, aliada aos efeitos na atividade fotossintética em hortaliças. Poucos relatos foram encontrados na literatura referentes a respostas fotossintetizantes de alface em diferentes substratos. Estudos desta natureza, porém, são fundamentais para compreender os processos do potencial fotossintético da alface e suas relações com o ambiente em que estão se desenvolvendo, permitindo assim a ampliação dos conhecimentos sobre sua adaptabilidade às condições de cultivo. Dentro desse contexto, o presente trabalho

teve por finalidade avaliar os efeitos de doses de compostos orgânicos, obtidos a partir de resíduos agroindustriais, nas trocas gasosas e na fluorescência da clorofila *a* em plantas de alface cultivadas em ambiente semi-protégido.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido sob condições de viveiro, ambiente semi-controlado, formado por telado de polietileno com 75% de sombreamento, localizado no Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em Rio Largo, Estado de Alagoas, situado a 9°28'01" de latitude e 35°49'32" de longitude, com altitude de 141 m. A área encontra-se inserida em região com temperatura média do último ano de 24,7 °C, umidade relativa de 82% e precipitação acumulada de 1691 mm ano<sup>-1</sup>.

O solo utilizado na composição dos substratos foi proveniente da camada arável de um Argissolo, textura Areia-franca, amostrado em uma área localizada no município de Coruripe e apresentou os atributos constantes da Tabela 1.

O solo foi homogeneizado e passado em peneira com malha de 4 mm e acondicionado em vasos com capacidade de 3,7 kg de solo. Foram vedadas as aberturas na parte inferior dos vasos, para evitar a perda de nutrientes após a irrigação. Utilizou-se a cultivar de alface (*Lactuca sativa* L.)

Saia Veia, a qual foi semeada em bandejas de isopor para a obtenção das mudas.

O delineamento adotado foi o de blocos inteiramente casualizados, com 14 tratamentos e quatro repetições. Dos tratamentos utilizados, 12 foram constituídos por compostos orgânicos obtidos a partir de duas misturas básicas (MB<sub>cana</sub>, mistura contendo bagaço de cana + torta de filtro + esterco bovino + fosfato natural e MB<sub>coco</sub>, mistura onde o bagaço de cana foi substituído por bagaço de coque-verde) submetidas a soluções com concentrações crescentes de vinhaça ou sulfato de potássio. Dessa forma, os compostos utilizados foram: T1 = MB<sub>cana</sub> + água; T2 = MB<sub>cana</sub> + solução com vinhaça a 25%; T3 = MB<sub>cana</sub> + solução com vinhaça a 50%; T4 = MB<sub>cana</sub> + solução com vinhaça a 75%; T5 = MB<sub>cana</sub> + 100% vinhaça; T6 = MB<sub>cana</sub> + água + sulfato de potássio; T7 = MB<sub>coco</sub> + água; T8 = MB<sub>coco</sub> + solução com vinhaça a 25%; T9 = MB<sub>coco</sub> + solução com vinhaça a 50%; T10 = MB<sub>coco</sub> + solução com vinhaça a 75%; T11 = MB<sub>coco</sub> + 100% vinhaça; T12 = MB<sub>coco</sub> + água + sulfato de potássio. Algumas características dos compostos utilizados são apresentadas na Tabela 2.

Os tratamentos que apresentaram sulfato de potássio foram formulados pela combinação: MB<sub>cana</sub> acrescentada uma fase líquida de 722 L m<sup>-3</sup> ou (3,9 kg m<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); MB<sub>coco</sub> foi acrescentada 533 L m<sup>-3</sup> ou (3,9 kg m<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). A torta de filtro foi obtida a partir da mistura de bagaço de cana-de-açúcar moído e lodo de decantação. A vinhaça foi obtida a partir

**Tabela 1.** Características físicas e químicas de amostras dos solos utilizados no experimento.

| Atributos   | Solo Pindorama |
|---|----------------|
| pH em (H <sub>2</sub> O) (1:2,50)                       | 6,19           |
| P disponível (mg dm <sup>-3</sup> )                     | 2,67           |
| K disponível (mg dm <sup>-3</sup> )                     | 62,00          |
| Na (mg dm <sup>-3</sup> )                               | 5,25           |
| Ca + Mg trocáveis (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 3,20           |
| Al trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )       | 0,12           |
| H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )              | 1,71           |
| Soma de bases (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )     | 3,38           |
| CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )       | 5,09           |
| Saturação por bases (%)                                 | 66,40          |
| Saturação por alumínio (%)                              | 3,43           |
| Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )                 | 1,24           |
| Densidade de partículas (g cm <sup>-3</sup> )           | 2,65           |
| Porosidade total (%)                                    | 53,00          |
| Classificação textural (SBCS)                           | Areia-franca   |

do resíduo do processo de destilação para a obtenção do etanol da cana-de-açúcar.

Os tratamentos T13 e T14, respectivamente, consistiram em uma testemunha cultivada com esterco bovino e uma testemunha cultivada com fertilizantes minerais. A dose de material orgânico (102 g por vaso) correspondeu a 3% (em base seca) da massa de solo utilizada. A dose utilizada para a testemunha com fertilizantes minerais foi baseada na recomendação resultante da análise de solo, tendo-se utilizado 0,18 g de uréia, 1,6 g de superfosfato simples e 0,28 g de cloreto de potássio por vaso.

As medições de trocas gasosas foram realizadas no período da manhã aos 41 dias após a semeadura com um analisador portátil de CO<sub>2</sub> a infravermelho (IRGA), ADC, modelo Lci, (Hoddesdon, UK) com fonte de luz de 1123 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. As medidas foram feitas no segundo par de folhas a partir do ápice, sendo obtidas as seguintes variáveis: fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), razão entre concentrações de CO<sub>2</sub> intra/extracelular (Ci/Ca), eficiência de carboxilação (A/Ci) e eficiência instantânea do uso da água (A/E).

As medições de eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) foram determinadas após adaptação das folhas ao escuro, por 20

minutos com pinças foliares, utilizando-se um medidor de fluorescência modulada 051-FL (OPTI-SCIENCES). As leituras foram realizadas com pulsos de luz saturantes de um segundo, para promover o fechamento dos centros de reação do PSII, de acordo com o método descrito por MAXWELL e JOHNSON (2000). O teor de clorofila (índice SPAD) foi estimado por um aparelho portátil, SPAD-502 (Minolta, Japão) nas mesmas folhas que foram feitas as medidas de trocas gasosas e parâmetro de fluorescência, sendo a média obtida a partir de oito leituras na mesma folha.

Os dados foram submetidos a análise de variância com comparações de médias pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade e também foram efetuados contrastes de todos os tratamentos entre si.

## Resultados e Discussão

Neste estudo, constatou-se para variável condutância estomática maiores médias para P3 (Tratamentos com fertilizantes minerais) e P4 (Tratamento com esterco) observando diferenças significativas entre esses tratamentos que sobressaíram sobre os demais (Tabela 3). Por outro lado, na combinação P2 (Tratamentos com mistura básica

**Tabela 2.** Valores de pH, condutividade elétrica (CE), concentração de nitrogênio (N), de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), de potássio (K<sub>2</sub>O), de carbono (C) e relação C/N em 12 tipos de compostos orgânicos utilizados no cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.) em telado de polietileno, aos 41 dias após a semeadura em Rio Largo, Estado de Alagoas.

| Tratamentos | Mistura básica     | Vinhaça %                      | pH   | CE (mS) | N (g kg <sup>-1</sup> ) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g kg <sup>-1</sup> ) | K <sub>2</sub> O (g kg <sup>-1</sup> ) | C (g kg <sup>-1</sup> ) | C/N   |
|-------------|--------------------|--------------------------------|------|---------|-------------------------|---|--|-------------------------|-------|
| T1          |                    | 0                              | 7,09 | 0,09    | 0,112                   | 0,141   | 0,094                                  | 1,359                   | 12,16 |
| T2          |                    | 25                             | 7,39 | 0,14    | 0,107                   | 0,139   | 0,132                                  | 1,332                   | 12,50 |
| T3          | MB <sub>cana</sub> | 50                             | 7,38 | 0,23    | 0,108                   | 0,159   | 0,164                                  | 1,618                   | 14,94 |
| T4          |                    | 75                             | 7,70 | 0,33    | 0,095                   | 0,211   | 0,366                                  | 1,793                   | 18,91 |
| T5          |                    | 100                            | 7,51 | 0,23    | 0,091                   | 0,275   | 0,223                                  | 1,918                   | 21,02 |
| T6          |                    | K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 7,46 | 0,41    | 0,091                   | 0,213   | 0,300                                  | 1,766                   | 17,42 |
| T7          |                    |                                | 0    | 7,30    | 0,33                    | 0,115   | 0,211                                  | 0,296                   | 1,793 |
| T8          |                    | 25                             | 7,40 | 0,45    | 0,103                   | 0,187   | 0,421                                  | 1,779                   | 17,32 |
| T9          | MB <sub>coco</sub> | 50                             | 7,40 | 0,29    | 0,097                   | 0,226   | 0,228                                  | 1,832                   | 18,83 |
| T10         |                    | 75                             | 7,56 | 0,30    | 0,091                   | 0,212   | 0,305                                  | 2,103                   | 23,24 |
| T11         |                    | 100                            | 7,59 | 0,31    | 0,086                   | 0,209   | 0,267                                  | 1,940                   | 22,67 |
| T12         |                    | K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 7,14 | 1,14    | 0,091                   | 0,25  | 0,774                                  | 2,108                   | 23,19 |
|             | MB <sub>cana</sub> | Média                          | 7,40 | 0,238   | 0,101                   | 0,190   | 0,213                                  | 1,630                   | 16,20 |
|             | MB <sub>coco</sub> | Média                          | 7,40 | 0,470   | 0,097                   | 0,216   | 0,382                                  | 1,930                   | 20,70 |

**Tabela 3.** Condutância estomática (gs), transpiração (E) fotossíntese (A), razão entre concentrações de CO<sub>2</sub> intra/extracelular (Ci /Ca), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência de carboxilação (A/Ci), leitura SPAD-502 (Clorofila unidades SPAD) e eficiência quântica máxima do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) de alface (*Lactuca sativa* L.) submetida a diferente tipos de tratamentos, cultivadas em telado de polietileno, aos 41 dias após a semeadura, em Rio Largo, Estado de Alagoas.

| Tratamentos (médias) | gs<br>mol m <sup>-2</sup><br>s <sup>-1</sup> | E<br>mmol<br>m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | A<br>μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | Ci/Ca | A/E   | A/Ci   | Clorofila<br>(unidades<br>SPAD) | F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> |
|----------------------|--|--|---|-------|-------|--------|---------------------------------|--------------------------------|
| P1                   | 0,40B  | 4,1A   | 13,30A                                    | 0,68B | 3,23A | 0,052A | 21,5A                           | 0,65A                          |
| P2                   | 0,27C  | 2,9C   | 9,93B                                     | 0,63C | 3,45A | 0,043B | 18,7B                           | 0,70A                          |
| P3                   | 0,69A  | 3,5B   | 11,36B                                    | 0,81A | 3,23A | 0,040B | 16,3B                           | 0,70A                          |
| P4                   | 0,66A  | 3,7B   | 12,81A                                    | 0,78A | 3,34A | 0,045B | 17,0B                           | 0,68A                          |
| Cv%                  | 13,9   | 6,8  | 11,2                                      | 7,3   | 8,3   | 13,3   | 8,7                             | 7,3                            |

P1 - Tratamentos com mistura básica cana

P2 - Tratamentos com mistura básica coco

P3 - Tratamentos com fertilizantes minerais

P4 - Tratamentos com esterco

\*Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-knoott.

coco) apresentou os menores valores para a mesma variável, o que sugere que a mistura P2 influenciou no fechamento estomático (Tabela 3).

As plantas cultivadas com fertilizantes minerais e com esterco apresentaram valores de condutância estomática maiores que àqueles obtidos com misturas básicas, com médias de 0,69 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 0,66 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 4). Quando comparado os tratamentos com esterco

(T13) e de fertilizantes minerais (T14) aos demais com mistura básica de cana (Tabela 4), observou-se valores similares no tratamento T5 (0,60 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), o qual recebeu 100% de vinhaça.

Comparando T13 e T14 aos tratamentos com mistura a base de coco (Tabela 5) foi verificado menores valores de condutância estomática (0,08 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) no tratamento T8, caracterizando o fechamento estomático, e valores superiores de 0,53

**Tabela 4.** Condutância estomática (gs), transpiração (E) fotossíntese (A), razão entre concentrações de CO<sub>2</sub> intra/extracelular (Ci /Ca), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência de carboxilação (A/Ci), leitura SPAD-502 (Clorofila unidades SPAD) e eficiência quântica máxima do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) de alface (*Lactuca sativa* L.) submetida a diferente tipos de tratamentos a base da mistura de cana T1 a T6, cultivadas em telado de polietileno, aos 41 dias após a semeadura, em Rio Largo, Estado de Alagoas.

| Tratamentos (médias) | gs<br>mol<br>m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | E<br>mmol<br>m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | A<br>μmol m <sup>-2</sup><br>s <sup>-1</sup> | Ci/Ca | A/E   | A/Ci   | Clorofila<br>(unidades<br>SPAD) | F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> |
|----------------------|--|--|--|-------|-------|--------|---------------------------------|--------------------------------|
| T1                   | 0,35B  | 4,0A   | 14,0A  | 0,67B | 3,47A | 0,057A | 20,6A                           | 0,70A                          |
| T2                   | 0,38B  | 3,9A   | 13,2A  | 0,69B | 3,23A | 0,049A | 20,5A                           | 0,57A                          |
| T3                   | 0,30B  | 3,6A   | 13,2A  | 0,66B | 3,56A | 0,052A | 22,0A                           | 0,68A                          |
| T4                   | 0,38B  | 4,3A   | 13,6A  | 0,70B | 3,10A | 0,053A | 21,4A                           | 0,63A                          |
| T5                   | 0,60A  | 5,4A   | 16,4A  | 0,71B | 3,04A | 0,064A | 21,0A                           | 0,64A                          |
| T6                   | 0,24B  | 3,4A   | 9,3A   | 0,67B | 2,80A | 0,039A | 21,1A                           | 0,65A                          |
| T13                  | 0,69A  | 3,5A   | 11,3A  | 0,81A | 3,20A | 0,039A | 16,3B                           | 0,68A                          |
| T14                  | 0,66A  | 3,7A   | 12,8A  | 0,78A | 3,40A | 0,045A | 17,1B                           | 0,70A                          |
| Cv%                  | 29,1   | 8,3  | 24,6   | 12,4  | 10,6  | 24,4   | 9,4                             | 12,4                           |

T1: MBcana + água; T2: MBcana + água + 25% vinhaça; T3: MBcana + 50% vinhaça; T4: MBcana + 75% vinhaça; T5: MBcana + 100% vinhaça; T6: MBcana + água + K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; T13: Esterco; T14: Fertilizantes minerais (sem massa de solo).

\*Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-knoott.

mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> em T12 (tratamentos a base de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) o qual apresentou valores próximos a T13 e T14, de 0,69 e 0,66 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> respectivamente, sugerindo que a presença do potássio em T12 influenciou na abertura estomática em tal tratamento. Segundo EPSTEIN e BLOOM (2006) o potássio é um dos nutrientes importantes para planta, pois participa de processos como abertura e fechamento dos estômatos, fotossíntese, transporte de carboidratos e respiração. Além do mais a regulação eficaz da abertura estomática é fundamental para que as plantas possam ter um bom desenvolvimento.

Para os parâmetros taxa fotossintética e transpiração (Tabela 4) observou maiores médias na combinação P1 (Tratamentos com mistura básica cana) de 13,30 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 4,1 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> respectivamente, a qual diferiu significativamente dos tratamentos P2 (mistura básica coco), P3 (fertilizantes minerais) e P4 (esterco). No entanto, quando analisadas as Tabela 5 e 6 não foram constatadas diferenças entre os compostos com misturas básicas. Porém, valores elevados também foram observados nos tratamentos à base de cana T5 (100% vinhaça) com fotossíntese de 16,4 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e transpiração de 5,4 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Tabela 5), destacando-se dos demais. Tais evidências devem ser indicativo que as plantas cultivadas com substratos a base de cana apresentaram condições mais favoráveis ao processo fotossintético, pois segundo TAIZ e ZEIGER (2004) o balanço nutricional adequado da planta pode manter sua capacidade fotossintética em equilíbrio.

BIE et al. (2004) estudando a capacidade fotossintética das folhas de alface submetidas a solução nutritiva Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e sob estresse salino NaHCO<sub>3</sub> encontraram valores médios em torno de 8,3 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> em plantas não estressadas. Já HE et al. (2001) verificaram valores próximos a 15 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> em plantas desenvolvidas em ambiente controlado.

BROADLEY et al. (2001) estudando efeito de doses de nitrogênio em alface, verificaram que plantas com limitação de nitrogênio apresentaram menor taxa fotossintética. Os autores associaram essa diminuição com ajustes de frequência estomática que responderam diretamente aos sinais induzidos por privação de nitrogênio ou ao aumento da pressão parcial de CO<sub>2</sub> nos sítios de carboxilação. Em espinafre

(*Spinacia oleracea*) também foi verificado menor capacidade de fotossíntese em plantas que receberam baixo nitrogênio em sua adubação (VERHOEVEN et al., 1997). Em estudos realizados em couve chinesa, *Brassica oleracea* (ISSARAKRAISILA et al., 2007) e orégano (*Origanum vulgare* L.) (MARQUES et al., 2009), os autores verificaram correlação positiva entre a fotossíntese e a transpiração em plantas desenvolvidas em ambiente controlado.

As maiores médias encontradas para razão C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub> em folhas de alface foram nos tratamentos T13 (0,81), T14 (0,78) e T12 (0,74) que diferiram significativamente dos demais (Tabela 5 e 6). Verificase nesses tratamentos que o aumento da gs levou ao aumento do C<sub>i</sub>, aumentando, conseqüentemente a fotossíntese. Na eficiência de carboxilação (A/Ci) as maiores médias foram encontradas na combinação P1 (Tratamentos com mistura básica cana) (Tabela 4), não sendo observada diferença, porém, entre os diferentes tratamentos aplicados (Tabela 5 e 6).

Na eficiência do uso da água (A/E) verificase que houve diferença nos tratamentos a base da mistura de coco encontrando maiores médias em T8 e T12 (tratamentos a base de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Outros estudos constataram que em diferentes espécies cultivadas em ambiente controlado, com concentração de CO<sub>2</sub> elevada, ocorreu aumento instantâneo da eficiência do uso da água, relacionado com a diminuição da condutância e transpiração (CANIZARES et al., 2004; ERISMANN et al., 2006).

Quando comparados os grupos de medidas de contrastes entre os tratamentos, pode-se verificar nos tratamentos onde se utilizou mistura a base de coco com vinhaça (C3) que não foram observadas diferenças estatísticas para nenhuma das variáveis estudadas (Tabela 7). Nos tratamentos a base de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (C6) as variáveis eficiência de carboxilação (A/Ci), razão C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub> e fotossíntese mostraram-se significativamente contrastantes. Já os tratamentos contendo mistura a base de cana e de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (C2) e mistura de cana e vinhaça (C1) destacaram-se na eficiência do uso da água (A/E) (Tabela 6). O que ressalta que os substratos que apresentaram na composição mistura a base de cana proporcionaram condições favoráveis ao processo fotossintético em plantas de alface.

A estimativa do teor de clorofila apresentou

**Tabela 5.** Condutância estomática (gs), transpiração (E) fotossíntese (A), razão entre concentrações de CO<sub>2</sub> intra/extracelular (Ci /Ca), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência de carboxilação (A/Ci), leitura SPAD-502 (Clorofila unidades SPAD) e eficiência quântica máxima do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) de alface (*Lactuca sativa* L.) submetida a diferente tipos de tratamentos a base da mistura de coco T7 a T12, cultivadas em telado de polietileno, aos 41 dias após a semeadura, em Rio Largo, Estado de Alagoas.

| Tratamentos (médias) | gs<br>mol<br>m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | E<br>mmol<br>m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | A<br>μmol<br>m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | Ci/Ca | A/E  | A/Ci   | Clorofila<br>(unidades<br>SPAD) | F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> |
|----------------------|--|--|--|-------|------|--------|---------------------------------|--------------------------------|
| T7                   | 0,26B  | 3,7A   | 12,5A  | 0,65B | 3,4B | 0,053A | 19,3A                           | 0,68A                          |
| T8                   | 0,08B  | 1,8A   | 7,6A   | 0,45C | 4,3A | 0,045A | 17,1A                           | 0,70A                          |
| T9                   | 0,13B  | 2,4A   | 7,2A   | 0,63B | 2,8B | 0,031A | 18,0A                           | 0,72A                          |
| T10                  | 0,22B  | 3,3A   | 10,3A  | 0,64B | 2,9B | 0,044A | 18,7A                           | 0,69A                          |
| T11                  | 0,33B  | 3,4A   | 11,7A  | 0,68B | 3,6A | 0,047A | 20,9A                           | 0,70A                          |
| T12                  | 0,53A  | 2,8A   | 10,1A  | 0,74A | 3,7A | 0,036A | 18,4A                           | 0,64A                          |
| T13                  | 0,69A  | 3,5A   | 11,3A  | 0,81A | 3,2B | 0,039A | 16,3A                           | 0,68A                          |
| T14                  | 0,66A  | 3,7A   | 12,8A  | 0,78A | 3,4B | 0,045A | 17,1A                           | 0,70A                          |
| Cv%                  | 48,4   | 37,9   | 35,4   | 9,3   | 13,4 | 34,0   | 11,2                            | 7,9                            |

T7: MB<sub>coco</sub> + água; T8: MB<sub>coco</sub> + 25% vinhaça; T9: MB<sub>coco</sub> + 50% vinhaça; T10: MB<sub>coco</sub> + 75% vinhaça; T11: MB<sub>coco</sub> + 100% vinhaça; T12: MB<sub>coco</sub> + água + K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; T13: Esterco; T14: Fertilizantes minerais (sem massa de solo).

\*Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-knott.

**Tabela 6.** Comparações de grupos de médias, usando contrastes de condutância estomática (gs), transpiração (E) fotossíntese (A), razão entre concentrações de CO<sub>2</sub> intra/extracelular (Ci /Ca), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência de carboxilação (A/Ci), leitura SPAD-502 (Clorofila unidades SPAD) e eficiência quântica máxima do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) de alface (*Lactuca sativa* L.) submetida a diferente tipos de tratamentos, cultivadas em telado de polietileno, aos 41 dias após a semeadura, em Rio Largo, Estado de Alagoas.

| Contrastes | gs<br>mol<br>m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | E<br>mmol<br>m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | A<br>μmol<br>m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | Ci/Ca | A/E   | A/Ci   | Clorofila<br>(unidades<br>SPAD) | F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> |
|------------|--|--|--|-------|-------|--------|---------------------------------|--------------------------------|
| C1         | 0,44   | 4,3  | 14,13  | 0,69  | 3,23* | 0,055  | 21,26                           | 0,63                           |
| C2         | 0,31   | 3,3  | 9,35   | 0,67  | 2,80* | 0,037  | 21,15                           | 0,67                           |
| Cv%        | 22,1   | 38,1   | 36,4   | 7,3   | 6,3   | 34,0   | 7,9                             | 4,9                            |
| C3         | 0,22   | 2,7  | 9,2  | 0,60  | 3,4   | 0,042  | 18,7                            | 0,70                           |
| C4         | 0,53   | 2,8  | 11,7   | 0,74  | 3,7   | 0,036  | 18,4                            | 0,64                           |
| Cv%        | 59,7   | 43,8   | 36,8   | 14,9  | 13,6  | 24,9   | 4,9                             | 8,12                           |
| C5         | 0,30   | 3,6  | 12,0*  | 0,65  | 3,35  | 0,050* | 19,98                           | 0,67                           |
| C6         | 0,38   | 3,2  | 9,7*   | 0,71  | 3,24  | 0,037* | 19,81                           | 0,64                           |
| Cv%        | 48,4   | 25,6   | 25,3   | 9,1   | 18,3  | 18,3   | 9,9                             | 9,0                            |
| C6         | 0,38   | 3,2  | 9,7  | 0,71* | 3,24  | 0,04   | 19,81                           | 0,64                           |
| C7         | 0,32   | 3,6  | 12,0   | 0,65* | 3,35  | 0,05   | 19,98                           | 0,67                           |
| Cv%        | 18,73  | 15,2   | 18,6   | 3,9   | 6,1   | 17,4   | 3,07                            | 4,2                            |

C1: Tratamentos com Mistura básica cana e vinhaça (T2 + T3 x T4 x T5).

C2: Tratamento com Mistura básica cana e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (T6).

C3: Tratamentos com Mistura básica coco e vinhaça (T8 x T9 x T10 x T11).

C4: Tratamento com Mistura básica coco e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (T12).

C5: Tratamentos com Mistura básica cana, coco e vinhaça (T2 x T3 x T4 x T5 + T8 x T9 x T10 x T11).

C6: Tratamentos a base de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (T6 + T12).

C7: Tratamentos sem adição de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (T1 + T2 x T3 x T4 x T5 + T7 x T8 x T9 x T10 x T11).

diferença quando comparadas as plantas de alface cultivadas com tratamentos a base de mistura de cana com a adubação convencional e esterco (Tabela 4 e 5). Nos tratamentos onde se utilizou a mistura de coco não foram observadas diferenças para essa variável analisada (Tabela 6). As maiores médias para essa variável foram apresentadas para tratamentos com mistura básica de cana, com médias de 20,6 e 22,5 unidades SPAD para T1 e T2, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por VILLAS et al. (2004) em alface cultivada em dois tipos de compostos orgânicos, casca de eucalipto e palha de feijão. Os mesmos autores observaram, através de medidas de SPAD-502, diferença significativa entre esses compostos orgânicos, apresentando médias de três repetições de 19,8 (Unidade SPAD) para casca de eucalipto e em palha de feijão 21,6 (Unidade SPAD).

Estes resultados são consistentes com os obtidos por VIANA et al. (2008) que avaliaram o efeito da cultura do alface em doses de nitrogênio de 421 kg ha<sup>-1</sup>, obtendo-se valores de 22,9 e 20,9 (Unidade SPAD). Os autores verificaram que o medidor portátil de clorofila SPAD-502 representou uma alternativa para avaliar o teor de clorofila podendo ser considerado um indicador do nível deste nutriente para a cultura da alface.

De acordo com AMARANTE et al. (2008) a quantificação de clorofilas usando a leitura SPAD-502 é um dos métodos indiretos não destrutivos que permite a avaliação em tempo real do estado nutricional da planta permitindo ajustes no programa de adubação nitrogenada, ainda durante o ciclo da cultura. Este método tem sido usado para prever o estado nutricional em diversas hortaliças como couve (AMARANTE et al., 2008) e quiabo (SEDIYAMA et al., 2009).

A eficiência quântica máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos de adubação convencional e esterco com os demais tratamentos de misturas básicas (Tabela 5 e 6), verificando maiores médias em T1 (0,70), T9 (0,72) e T14 (0,70); esses valores são inferiores aos considerados ideais por MAXWELL e JOHNSON (2000). Segundo esses autores, plantas com valores de

$F_v/F_m$  inferiores a 0,75 indicam situação de estresse e, portanto, redução do potencial fotossintético da planta. Já BOLHÀR-NORDENKAMPF et al. (1989) afirmaram que quando uma planta está com seu aparelho fotossintético intacto os valores de  $F_v/F_m$  variam entre 0,75 e 0,85.

Em trabalhos realizados com a cultura de alface submetidos a diferentes tipos de estresses, dentre eles intensidade luminosa (HE e LEE, 2004), resposta a patógenos (PROKOPOVÁ et al., 2010) e em resposta a ozônio (CALATAYUD e BARRENO, 2004), os referidos autores encontraram, em condições normais, valores superiores a 0,70 de  $F_v/F_m$  e entre 0,40 e 0,60 durante o estresse.

Os resultados supracitados sugerem que a eficiência quântica potencial máxima do fotossistema II em alface não foi alterada em função das diferentes doses de compostos orgânicos. Com relação às demais variáveis fotossintéticas, como os parâmetros condutância estomática e leitura SPAD apresentaram valores mais expressivos nos tratamentos com mistura básica de cana. Pode-se propor, então, que essas variáveis constituem parâmetros sensíveis para determinar diferenças fisiológicas relacionadas ao ciclo da cultura da alface e concentração de nutrientes na solução do solo.

## Conclusão

As plantas adubadas com fertilizantes minerais (T14) e com esterco bovino (T13) obtiveram uma maior condutância estomática, favorecendo as trocas gasosas da alface.

As plantas que foram acondicionadas aos substratos de mistura básica de cana apresentaram melhor desempenho nas variáveis fotossíntese, transpiração, eficiência de carboxilação e teor de clorofila, destacando-se como melhor substrato para o desenvolvimento da planta.

Os tratamentos não comprometeram o aparato fotossintético das plantas de alface.

## Referências

Apresentadas no final da [versão em inglês](#).