

## Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação

### Alteration of the physiologic characteristics in banana under fertirrigation conditions

Alberto Soares de Melo<sup>I\*</sup> Carlos Dias da Silva Júnior<sup>II</sup> Pedro Dantas Fernandes<sup>III</sup>  
Lafayette Franco Sobral<sup>IV</sup> Marcos Eric Barbosa Brito<sup>V</sup> Jolly Dayanne Melo Dantas<sup>VI</sup>

#### RESUMO

A aplicação de fertilizantes via sistema de irrigação tem se tornado uma prática importante para o suprimento de nutrientes na fruticultura. No entanto, é necessário estudar o efeito dessa aplicação sobre a fisiologia da bananeira a fim de aumentar a eficiência do uso desses insumos. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos de doses de nitrogênio e potássio, via água de irrigação, sobre as características fisiológicas da bananeira, cultivar 'Prata-Anã', nos tabuleiros costeiros do Estado de Sergipe. O experimento foi conduzido no campo, utilizando um fatorial 4x4 com quatro blocos casualizados, na Estação Experimental da Universidade Federal de Sergipe. Foram testados dois fatores: nitrogênio (0; 250; 500 e 750, em kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia) e potássio (0; 290; 580 e 870, em kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio). Foram determinadas: a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, a transpiração, a condutância estomática, a concentração interna de CO<sub>2</sub> e as eficiências no uso da água e da carboxilação. A condutância estomática foi reduzida, principalmente, na fertilização com 700kg ha<sup>-1</sup> de N e na ausência de K, afetando as trocas gasosas e, conseqüentemente, o processo fotossintético. Em situações de maior disponibilidade de potássio, as bananeiras necessitam de menores quantidades de nitrogênio para manutenção da eficiência no uso da água, como conseqüência da melhoria no ajuste estomático.

**Palavras-chave:** *Musa spp*, fotossíntese, condutância estomática.

#### ABSTRACT

Fertilizer application through the irrigation system, has become an important way to supply nutrients to fruit trees. However, it is necessary to study its effects on the banana tree physiology, in order to improve fertilizer use efficiency. The objective of this study was to evaluate doses of nitrogen and potassium through irrigation water, on the physiological characteristics of the banana tree, cv. 'Prata-Anã', in the coastal tablelands of Sergipe State. The experiment was established in the field, using a 4<sup>2</sup> factorial with four randomized blocks, at the Sergipe Federal University Experimental Station. Two factors were tested: nitrogen (0; 250; 500 and 750, in kg ha<sup>-1</sup> of N, as urea) and potassium (0; 290; 580 and 870, in kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O, as potassium chloride). Rate of net CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration, stomatal conductance, internal leaf CO<sub>2</sub> concentration, water use efficiency and carboxylation efficiency were determined. The stomatal conductance was reduced in the fertilization with 700kg ha<sup>-1</sup> of N and absence of K, affecting the gas exchanges and, consequently, the photosynthesis. In situations of higher potassium readiness, the banana trees need smaller amounts of nitrogen in order to maintain the efficiency in the water use, as consequence of the best stomatal adjustment.

**Key words:** *Musa spp*, photosynthesis, stomatal conductance.

#### INTRODUÇÃO

Por ser um vegetal essencialmente de trópico úmido, a bananeira pode ser cultivada em todas

<sup>I</sup>Departamento de Ciências Agrárias e Exatas, Campus IV, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), 58884-000, Catolé do Rocha, PB, Brasil. E-mail: alberto@uepb.edu.br. \*Autor para correspondência.

<sup>II</sup>Departamento de Biologia, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE, Brasil.

<sup>III</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Bodocongó, Campina Grande, PB, Brasil.

<sup>IV</sup>Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária dos tabuleiros Costeiros (CPATC), Aracaju, SE, Brasil.

<sup>V</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia agrícola, UFCG, Campina Grande, PB, Brasil.

<sup>VI</sup>Curso de Engenharia Agrônômica, UFS, São Cristóvão, SE, Brasil.

as zonas agroecológicas localizadas entre 30° de latitude Norte e Sul, onde as temperaturas se situam entre os limites de 10°C e 40°C, sendo a temperatura ótima em torno de 28°C (CAYÓN SALINAS, 2004). A temperatura e a altitude estão diretamente correlacionadas ao crescimento da bananeira devido ao fato que exercem efeito sobre a velocidade da maioria dos processos metabólicos, influenciando o ciclo vegetativo e a atividade fotossintética e a respiratória.

Em estudos sobre o comportamento ecofisiológico de *Musa spp*, CAYÓN SALINAS (2001) verificou que, na fase inicial de desenvolvimento das folhas, a fotossíntese e transpiração foram baixas; incrementando rapidamente até alcançar valores máximos de 12,67  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e de 3,5  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. Esses comportamentos foram observados entre 20 e 40 dias após a expansão (DAE) completa da folha, diminuindo gradualmente até a senescência total (140 DAE). A redução da fotossíntese durante a senescência das folhas deve-se às mudanças na concentração e na cinética da enzima Rubisco (Ribulose 1,5-bisfosfatocarboxilase-oxidase).

A essencialidade do nitrogênio para as plantas está em exercer funções fisiológicas importantes na formação de compostos orgânicos, destacando-se aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, vitaminas e clorofila. Como constituinte desses compostos, o nitrogênio está envolvido nos processos que ocorrem no protoplasma, em reações enzimáticas e na fotossíntese (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

O potássio é considerado o elemento mais importante para a cultura da banana (LAHAV & TURNER, 1983). Atuando como um osmorregulador dissolvido no suco celular, o potássio acumulado cria um gradiente osmótico que permite o movimento de água, regulando a abertura e o fechamento dos estômatos, exercendo um papel essencial na economia de água e turgescência das células, no transporte de carboidratos e na respiração (EPSTEIN & BLOOM, 2006; SHIMAZAKI et al., 2007).

Apesar de existirem publicações sobre a nutrição mineral da bananeira (BRASIL et al. 2000; BORGES et al., 2002; MAHALAKSHMI et al., 2003; GUERRA et al., 2004; PINTO et al., 2005; BORGES et al., 2006; DAMATTO JÚNIOR et al., 2006; TEIXEIRA et al., 2007), não existem informações disponíveis baseadas em dados experimentais sobre a aplicação de nutrientes, via fertirrigação, sobre o comportamento fisiológico do cultivo irrigado da bananeira, notadamente nos tabuleiros costeiros do Estado de Sergipe. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar doses crescentes de nitrogênio e

potássio, oriundos de diferentes fontes, via água de irrigação, sobre as trocas gasosas, na eficiência do uso da água e na carboxilação da bananeira Prata-Anã, em tabuleiros costeiros do Estado de Sergipe.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Campus Experimental da Universidade Federal de Sergipe, localizado no município de São Cristóvão, Sergipe (SE), em solos de tabuleiros costeiros, cujas coordenadas geográficas são: latitude 10°19'S; longitude 36°39'O de Greenwich, com altitude de 20m acima do nível médio do mar.

A região possui clima, de acordo com a classificação de Köppen, do tipo As<sup>7</sup>, Tropical chuvoso com verão seco e pluviometria em torno de 1200mm anuais, com chuvas concentradas nos meses de abril a setembro. O solo local é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico textura franco-arenosa (EMBRAPA, 1999), com as seguintes características físico-químicas: pH=5,2; P=2,4  $\text{mg dm}^{-3}$ ; K=0,8  $\text{mmol dm}^{-3}$ ;  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ =8,9  $\text{mmol dm}^{-3}$ ;  $\text{Al}^{3+}$ =2  $\text{mmol dm}^{-3}$ ;  $\text{H} + \text{Al}^{3+}$ =25,6  $\text{mmol dm}^{-3}$ ;  $\text{Na}^+$ =0,55  $\text{mmol dm}^{-3}$ ; V=42,47%; CTC=44,5  $\text{mmol dm}^{-3}$ ; M.O=2,1  $\text{dag dm}^{-3}$ ; areia, silte e argila com 632  $\text{g kg}^{-1}$ , 296  $\text{g kg}^{-1}$  e 72  $\text{g kg}^{-1}$  respectivamente; densidade do solo de 1,59  $\text{kg dm}^{-3}$ ; capacidade de campo determinada *in situ* = 0,199  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$  e ponto de murcha permanente (1500kPa) = 0,033  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

Foram testados dois fatores: nitrogênio (0; 250; 500 e 750, em  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, na forma de uréia) e potássio (0; 290; 580 e 870, em  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , na forma de cloreto de potássio), aplicados via fertirrigação durante o primeiro ciclo da bananeira cultivar 'Prata-Anã', no delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial 4x4, com quatro repetições. A parcela foi constituída de 32 plantas, quatro fileiras de oito plantas, ocupando uma área de 160 $\text{m}^2$ . Foram consideradas como área útil as oito plantas (40 $\text{m}^2$ ) no centro da parcela. O experimento ocupou uma área total de 12.000 $\text{m}^2$  (2.400 plantas).

Previamente, foi realizado o preparo da área por meio de aração e, em seguida, foi realizada gradagem para incorporação de 2,5t  $\text{ha}^{-1}$  de calcário dolomítico a 20cm, 60 dias antes do plantio. O cálculo do corretivo foi baseado na análise química do solo, de modo elevar a saturação de bases a 70% (RAIJ, 1996). Posteriormente, foi feito coveamento tratorizado por meio de broca helicoidal com 0,50m de diâmetro e 0,5m de profundidade. A adubação de plantio foi executada com 300g de superfosfato simples (18%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), 60g de micronutrientes na forma de FTE-BR12 (9% Zn; 1,8% B; 0,85% Cu; 3% Fe; 2,1% Mn e 0,10% Mo), 200g de

calcário dolomítico e 10 litros de esterco bovino misturados ao solo de cada cova 45 dias antes do plantio. O plantio foi realizado em fileira dupla, no espaçamento de 3,00m x 2,0m x 2,0m. A irrigação foi realizada por microaspersão de modo deixar o solo próximo à capacidade de campo. As fertirrigações, conforme cada parcela, foram aplicadas quinzenalmente por meio do injetor do tipo Venturi com vazão calculada de 100L h<sup>-1</sup>.

As variáveis fisiológicas, determinadas na terceira folha contada a partir do ápice, foram: taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), transpiração (T) (mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática (gs) (mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci). De posse desses dados, foram quantificadas a eficiência no uso da água (EUA) (A/T) [(μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>] e a eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) (KONRAD et al., 2005) no estágio vegetativo. Nas leituras das trocas gasosas, foi utilizado o LEDS (Light Emitting Diodes), fornecendo PAR de 1500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> por meio do equipamento portátil, modelo CIRAS<sup>2</sup>, PPSsystems Hitchin, UK, no mês de setembro de 2004, durante o período das 9 às 10h30min.

Os dados das variáveis respostas foram submetidos à análise de variância pelo teste F até 5% de significância, e os respectivos modelos de regressão foram ajustados de acordo com o coeficiente de determinação até 5% de significância, estudando o fator N dentro de cada nível do fator K; em seguida, as variáveis foram relacionadas por meio de correlação linear de Pearson (STORCK, et al., 2000), sendo utilizados os programas SAEG 9.0 e Table Curve 2D.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

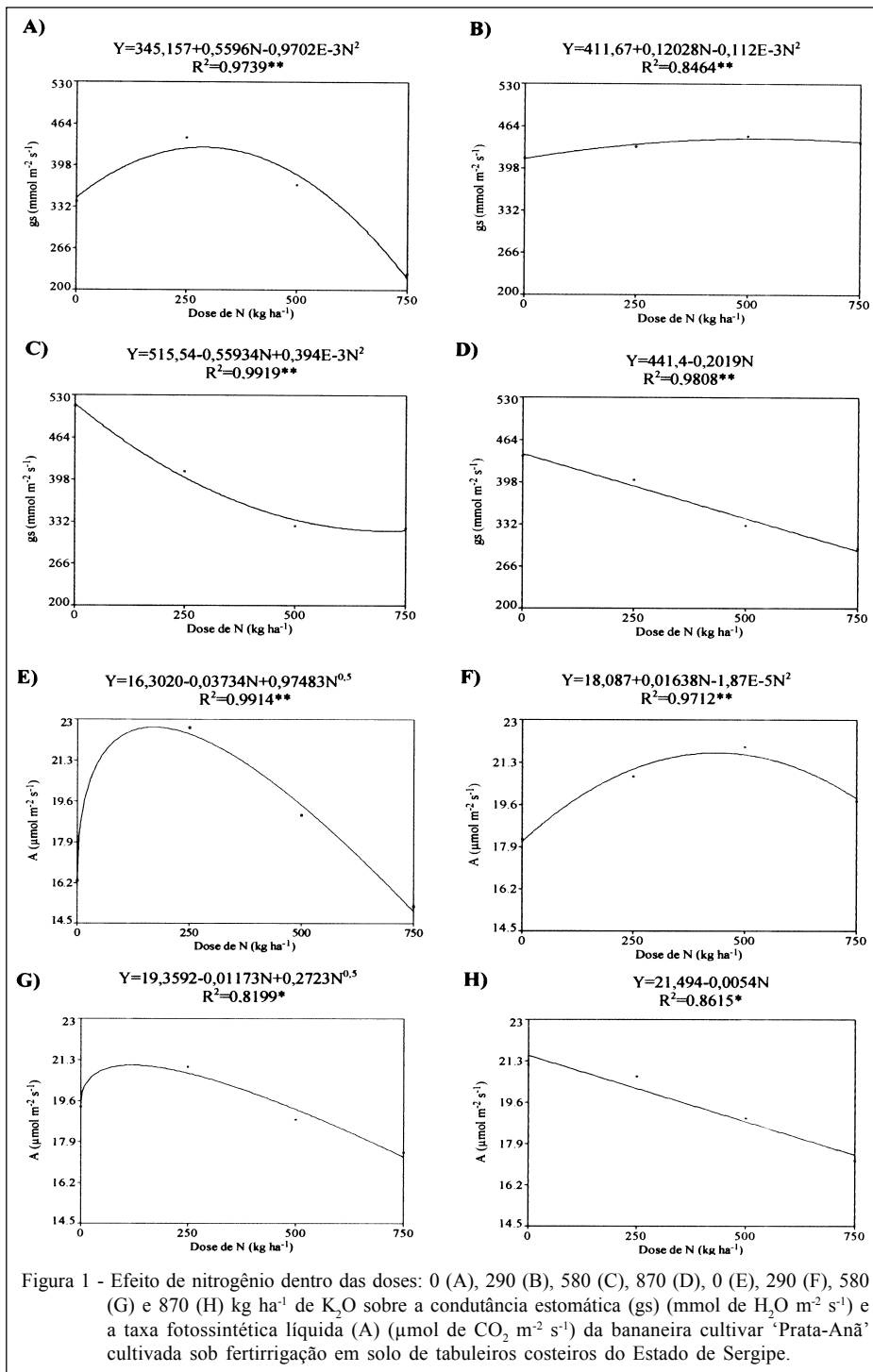
A condutância estomática (gs) variou em resposta às doses crescentes de N dentro das doses de K. Na figura 1A, é ilustrado o efeito isolado de N sobre a gs, em que se observa o valor máximo de 425,60mmol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> obtido na dose de 288kg ha<sup>-1</sup> de N. Quando foi utilizada a dose de 750kg ha<sup>-1</sup> N, as plantas expressaram a gs de 219,12mmol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, caracterizando o fechamento estomático. Isso pode ter sido resultado da extrusão de malato das células-guarda, causando o efluxo de K<sup>+</sup> e, como consequência, o fechamento dos estômatos (SHIMAZAKI et al., 2007). Nas parcelas que receberam 290kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 500kg ha<sup>-1</sup> de N, o valor foi de 443,82mmol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, com acréscimos de 7,82% em relação às plantas que receberam somente potássio (Figura 1B).

Nas figuras 1C e 1D, observa-se que ocorreu uma redução na gs à medida que se aumentaram as doses de N, indicando maior resistência estomática para

manutenção do potencial hídrico das folhas. No entanto, mesmo ocorrendo reduções, os valores de gs foram maiores que aqueles constatados nas parcelas que receberam, notadamente, a maior dose de N (Figura 1A). Outro fato que merece atenção são os valores dos interceptos das equações que revelaram tendência quadrática da gs em função das doses de K, em que foi possível estimar o máximo da condutância de 515mmol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> na presença de 580kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. THOMAS & TURNER (2001), estudando trocas gasosas em bananeira da cultivar 'Grand Naine', constataram valores de gs oscilando entre 250 e 500mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. LARCHER (2006) cita que na maioria das plantas herbáceas a gs oscila entre 300 e 500mmol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Os relatos desses autores corroboram os resultados do presente trabalho, podendo-se inferir sobre a importância das adubações equilibradas de N e K na osmorregulação estomática da bananeira, favorecendo seu *status* hídrico.

Em face das variações da gs em resposta às fertirrigações no presente trabalho e sabendo-se que os estômatos regulam as trocas gasosas foliares (SHIMAZAKI et al., 2007), espera-se que seja afetada a dinâmica de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) e transpiração (T) das plantas. Quanto à A, os comportamentos observados seguiram as mesmas tendências de gs. Na ausência de adubação potássica (Figura 1E), o valor máximo de A (22,37 μmol de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) foi verificado na dose de 250kg ha<sup>-1</sup> de N, alcançando o mínimo de 14,98 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> na dose de 750kg ha<sup>-1</sup> de N. Na figura 1F, nota-se que a assimilação de 21,67 μmol (CO<sub>2</sub>) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> foi obtida na combinação 438kg ha<sup>-1</sup> de N mais 290kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, com acréscimos de 19,72% em relação às plantas que receberam somente K. Por sua vez, verificando-se as doses crescentes de nitrogênio dentro da dose de 580kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Figura 1G), a A estimada de 20,73 μmol (CO<sub>2</sub>) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> foi atingida quando foram acrescentados 250kg ha<sup>-1</sup> de N. Foram observados a partir daí decréscimos do influxo de CO<sub>2</sub> até alcançar a taxa de 18,02 μmol (CO<sub>2</sub>) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> na fertilização de 750kg ha<sup>-1</sup> de N. Já na figura 1H, nota-se resposta linear decrescente de A, em que o menor valor da taxa assimilação foi de 17,44 μmol (CO<sub>2</sub>) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Em estudos sobre ecofisiologia de cultivares de bananeiras do grupo AAB, CAYÓN SALINAS (2004) verificou taxas máximas de A variando entre 12,7 e 16,1 μmol (CO<sub>2</sub>) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. O mesmo autor registrou que a taxa fotossintética foi baixa nas primeiras horas do dia, alcançando valores máximos no período próximo ao meio-dia. Já CAYÓN SALINAS (2001), constatou que, na fase inicial de desenvolvimento das folhas de bananeira, a taxa de assimilação foi de aproximadamente 6,8 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, incrementando rapidamente até alcançar valor máximo de 12,22 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> entre 20

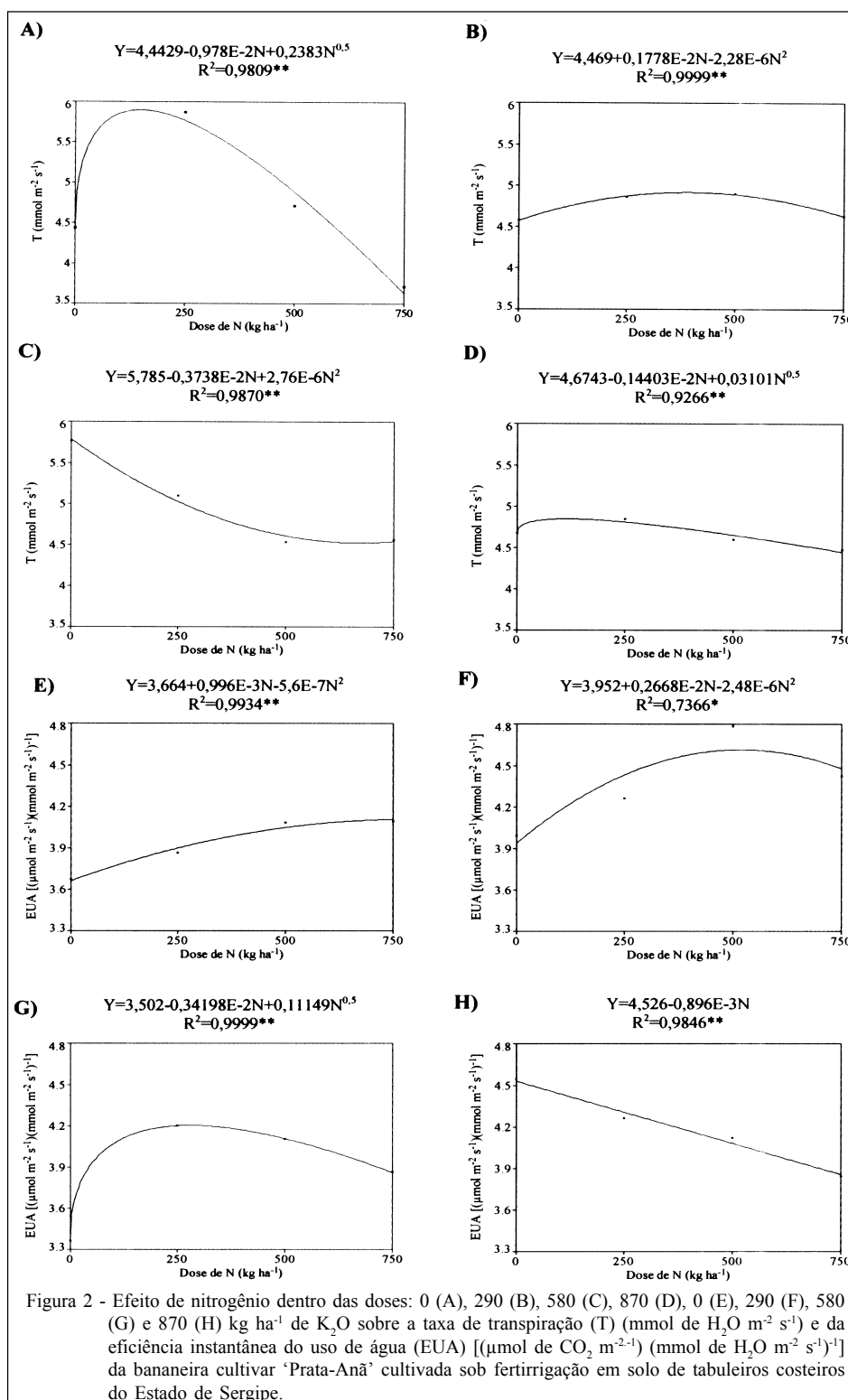


e 40 dias após a expansão (DAE) completa da folha e diminuindo gradualmente até a senescência total (140 DAE). Salienta-se que o mecanismo de redução da fotossíntese durante a senescência das folhas indica que esse fenômeno se deve à mudança na concentração

e cinética da enzima Rubisco (EVANS, 1989). Esse autor registrou que a redução na taxa de fotossíntese torna negativo o balanço de carbono na planta porque a respiração das folhas permanece constante durante todo o processo de desenvolvimento.

Os maiores  $T$  estimados de 5,76 e 5,78  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  foram verificados nas parcelas sem adubação potássica e que receberam 250  $\text{kg ha}^{-1}$  de N

mais 290  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (Figura 2A e 2B). Aquelas que receberam somente 580  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (Figura 2C) ou 250  $\text{kg ha}^{-1}$  de N mais 290  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (Figura 2D) as



taxas foram 5,78 e 4,8mmol de  $H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ , respectivamente. Os maiores incrementos foram 59,23% superiores à menor taxa de  $T$  observada no estudo.

Durante as trocas gasosas, a absorção de dióxido de carbono do meio externo promove perda de água e a diminuição dessa perda também restringe a entrada de  $CO_2$  (SHIMAZAKI et al., 2007). Essa interdependência expressa pela relação entre a fotossíntese e a transpiração indica a eficiência na água (EUA), em que os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa por cada unidade de água que perde (TAIZ & ZEIGER, 2004; JAIMEZ et al., 2005). Esse processo é influenciado pelas condições climáticas, porém, o suprimento nutricional tende a promover maiores taxas fotossintéticas, implicando rendimentos superiores. Dessa forma, foi possível verificar, na omissão da adubação com K (Figura 2E), que a máxima EUA de 4,09( $\mu\text{mol de } CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ) ( $\text{mmol de } H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ )<sup>-1</sup> somente seria obtida na dose de 884kg  $ha^{-1}$  de N, simulando-se pela equação de ajuste, valor acima do estudado até o momento das avaliações das trocas gasosas. Na suplementação de 290kg  $ha^{-1}$  de  $K_2O$  em conjunto à dose estimada de 542kg  $ha^{-1}$  de N, a EUA foi de 4,68 ( $\mu\text{mol de } CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ) ( $\text{mmol de } H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ )<sup>-1</sup> (Figura 2F). Comparando essas duas situações, constatou-se que as bananeiras se mostraram mais eficientes no uso da água disponível quando fertirrigadas com N e K. De maneira análoga, na figura 2G, o valor máximo estimado de 4,26( $\mu\text{mol de } CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ) ( $\text{mmol de } H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ )<sup>-1</sup> foi obtido na combinação de 266kg  $ha^{-1}$  de N mais 580kg  $ha^{-1}$  de  $K_2O$ . Na maior dose de N, foi de 3,83( $\mu\text{mol de } CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ) ( $\text{mmol de } H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ )<sup>-1</sup>, causando redução de 10% na quantidade de dióxido de carbono assimilado na fotossíntese.

Na figura 2H, observa-se que, à medida que houve aumento da disponibilidade de N na presença de 870kg  $ha^{-1}$  de  $K_2O$ , ocorreu efeito linear decrescente na EUA. Contudo, se for adotada a dose de N que promoveu a máxima eficiência no uso da água (266kg  $ha^{-1}$  de N da Figura 2G), relacionada à figura 2H, tem-se o valor de 4,27( $\mu\text{mol de } CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ) ( $\text{mmol de } H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ )<sup>-1</sup>, que foi semelhante ao observado nessa situação. Esses resultados indicam que os aumentos nas adubações potássicas propiciaram às bananeiras a utilização de menores quantidades de nitrogênio para manutenção da EUA e, conseqüentemente, melhor ajuste estomático. Isso se deve à importância do K na regulação da atividade das células-guarda, diminuindo a perda de água por transpiração (SHIMAZAKI et al., 2007). Eles ressaltam que a manutenção do processo fotossintético está ligada funcionalmente a uma certa condutância estomática.

Nota-se na figura 3A correlação positiva entre  $A$  e  $g_s$  (0,7698\*\*\*), inferindo que maiores aumentos na  $g_s$  implicaram maiores influxos de  $CO_2$  no mesófilo foliar, possibilitando altas taxas de assimilação de dióxido de carbono. Os valores observados da taxa de assimilação líquida foram relevantes para plantas C3 que apresentam taxas entre 10 e 20 $\mu\text{mol } (CO_2)\ m^{-2}\ s^{-1}$  (RAVEN et al., 2001). Isso reforça a necessidade de se estudar o comportamento fisiológico dessa cultura em diferentes ambientes como ferramenta básica para determinar o melhor manejo, visando expressar o máximo do potencial produtivo dessa cultura.

Os maiores valores de  $T$  também foram induzidos pela maior  $g_s$  (Figura 3B). A condutância *per se* também regula a transpiração por meio de diferenças de gradiente entre as células do mesófilo foliar e as células-guarda dos estômatos (EAMUS, 1999), indicando que existe correlação entre essas variáveis biofísicas, o que pode ser corroborado pelo valor de  $r=0,7910$ \*\*\* (Figura 3B). Ainda analisando a figura 3B, nota-se que as maiores  $T$  (4,3 a 5mmol ( $H_2O$ )  $m^{-2}\ s^{-1}$ ) ficaram compreendidas no intervalo de 450 a 500mmol ( $H_2O$ )  $m^{-2}\ s^{-1}$  de  $g_s$ , inferindo-se ter ocorrido melhor ajuste estomático quando as plantas receberam, notadamente, N e K. Tais resultados pressupõem o comportamento da dinâmica de absorção de água e nutrientes pelas plantas, pois o aumento na abertura estomática favorece a transpiração e, conseqüentemente, o carregamento de íons disponíveis do solo às raízes e destas para as outras partes da planta (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Analisando as trocas gasosas em bananeira, JAIMEZ et al. (2005) destacaram que, em condições ótimas de umidade do solo, a transpiração pode atingir valores entre 4 e 5,5mmol  $H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ , resultados esses semelhantes aos observados neste trabalho.

Quanto à concentração intercelular de  $CO_2$  ( $C_i$ ), nota-se, na figura 3C, que  $C_i$  aumentou com a taxa de abertura estomática, tendendo ao valor máximo próximo da condutância estomática de 500mmol  $m^{-2}\ s^{-1}$ . Porém, as maiores frequências observadas de  $C_i$  oscilaram no intervalo de 181,4 a 197,8 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ , correspondentes à  $g_s$  entre 350 e 450mmol  $m^{-2}\ s^{-1}$ . Durante as trocas gasosas, os estômatos regulam a concentração subestomática de  $CO_2$  ( $C_i$ ), mantendo o  $C_i$  relativamente constante (FARQUHAR & SHARKEY, 1982). Desse modo, o  $C_i$  reflete a disponibilidade de substrato para a fotossíntese, podendo indicar se o fechamento estomático está restringindo a atividade fotossintética.

A atividade fotossintética pode ser afetada por fatores não-estomáticos, notadamente os fatores que têm origem bioquímica (FARQUHAR & SHARKEY,

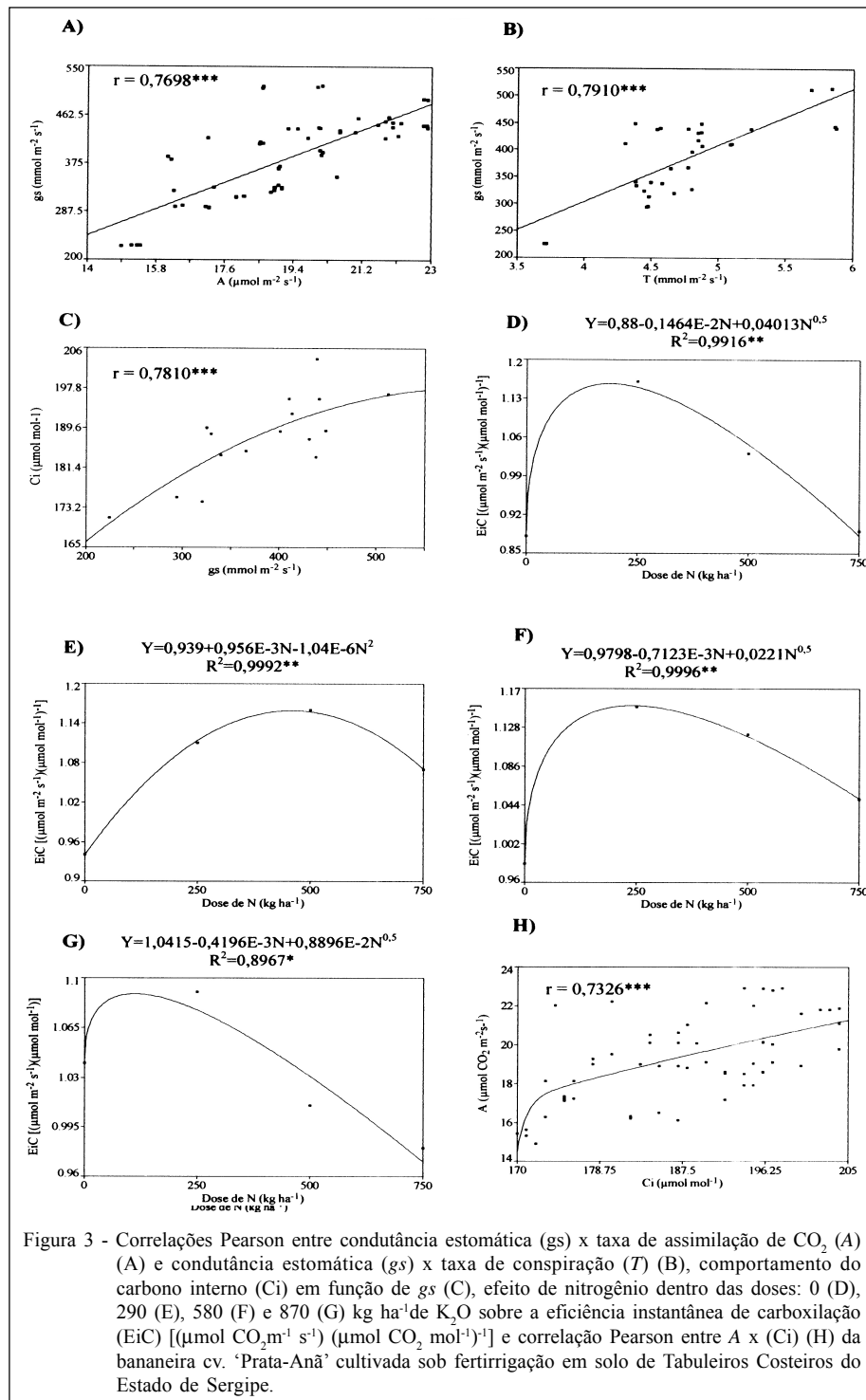


Figura 3 - Correlações Pearson entre condutância estomática (gs) x taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) (A) e condutância estomática (gs) x taxa de respiração (T) (B), comportamento do carbono interno (Ci) em função de gs (C), efeito de nitrogênio dentro das doses: 0 (D), 290 (E), 580 (F) e 870 (G) kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O sobre a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) [(μmol CO<sub>2</sub>m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) (μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>] e correlação Pearson entre A x (Ci) (H) da bananeira cv. 'Prata-Anã' cultivada sob fertirrigação em solo de Tabuleiros Costeiros do Estado de Sergipe.

1982). Esse aspecto pode ser estudado ao se considerar a eficiência da carboxilação (EiC) dada pela relação (A/Ci) (KONRAD et al., 2005). Na figura 3D, nota-se que 250kg ha<sup>-1</sup> de N promoveram ganhos na A/Ci de 29,54% em relação às plantas sob omissão da fertirrigação nitrogenada. No entanto, nas parcelas que receberam

750kg ha<sup>-1</sup> de N, foram constatadas reduções de 22,81%. Isso pode ter ocorrido devido à oferta excessiva de N, causando aumento na atividade de oxigenase da enzima Rubisco em detrimento da carboxilase, provocando menor taxa na assimilação de carbono (LARCHER, 2006).

Na figura 3E, verificou-se que  $A/C_i$  máxima de  $1,16(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})(\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$  foi atingida na dose de  $500\text{kg ha}^{-1}$  de N mais  $290\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , indicando acréscimos de 23,79% em relação às parcelas com deficiência de nitrogênio, e redução com o aumento da disponibilidade de N ( $750\text{kg ha}^{-1}$  de N). Nas plantas fertirrigadas com  $580\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , foram necessárias adições de  $250\text{kg ha}^{-1}$  de N para serem obtidos  $1,16(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})(\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$  (Figura 3F). Nessa última situação, a eficiência da carboxilação aumentou em 13,29% na sua atividade quando comparada ao efeito isolado de K. Na figura 3G, correspondente às doses crescentes de N dentro da dose  $870\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , nota-se que, na adubação de  $250\text{kg ha}^{-1}$  de N, houve um ganho na  $A/C_i$  de apenas 3,85%, enquanto na maior dose de N ocorreu redução de 6,86%, ambos relacionados somente ao suprimento de potássio. Acrescente-se que a resposta de  $A$  aumentou abruptamente com o crescimento de  $C_i$  (de  $170$  a  $178,75\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) numa taxa de 24,14% ( $r=0,7326^{***}$ ) (Figura 3H). A partir de  $178,75\mu\text{mol mol}^{-1}$  até  $205\mu\text{mol mol}^{-1}$  houve um acréscimo de 19,44% na  $A$  para o aumento de  $C_i$  de  $26,3\mu\text{mol mol}^{-1}$ . Esse comportamento é esperado para uma cultura C3 típica (LONG & BERNACCHI, 2003).

No contexto, a forma como a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ) e a condutância estomática ( $g_s$ ) se relacionaram tem grande importância ecofisiológica, pois, como o  $A$  e a  $g_s$  variaram proporcionalmente de forma linear, possibilitaram que a concentração interna de  $\text{CO}_2$  e a EUA se mantivessem em níveis adequados no sentido de otimização das trocas gasosas, controlando a absorção de dióxido de carbono, imprescindível na formação de fotoassimilados.

## CONCLUSÕES

Sob excesso de nitrogênio e ausência de potássio, a condutância estomática é reduzida, causando reflexos negativos durante o processo fotossintético. Em situações de maior disponibilidade de potássio, as plantas necessitam de menores quantidades de nitrogênio para manutenção da eficiência no uso da água, como consequência do melhor ajuste estomático.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor, e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo financiamento do projeto de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- BORGES, A.L. et al. Adubação nitrogenada para bananeira "Terra" (*Musa sp.* AAB, subgrupo Terra). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.189-193, 2002.
- BORGES, A.L. et al. Teores foliares de nutrientes em genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.314-318, 2006.
- BRASIL, E.C. et al. Desenvolvimento e produção de frutos de bananeira em resposta à adubação nitrogenada e potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2407-2414, 2000.
- CAYÓN SALINAS, D.G. Evolución de la fotosíntesis, transpiración y clorofila durante el desarrollo de la hoja de plátano (*Musa* AAB Simmonds). **InfoMusa**, Montpellier, v.10, n.1, p.12-15, 2001.
- CAYÓN SALINAS, D.G. Ecofisiología y productividad del plátano (*Musa* AAB Simmonds). In: REUNIÓN INTERNACIONAL PARA COOPERACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN DE BANANO EN EL CARIBE Y EN AMÉRICA CENTRAL, 16., 2004, Oaxaca, México. **Memorias...** San José, Costa Rica: CORBANA, 2004. p.172-183.
- DAMATTO JÚNIOR, E.R. et al. Avaliação nutricional em folhas de bananeira "Prata-Anã" adubada com composto orgânico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.109-112, 2006.
- EAMUS, D. Ecophysiological traits of deciduous and evergreen woody species in the seasonally dry tropics. **Trends in Ecology and Evolutions**, London, v.14, n.1, p.11-16, 1999.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro – RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. trad. Londrina: Planta, 2006. 392p.
- EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of C3 plants. **Oecologia**, Berlim, v.78, n.1, p.9-19, 1989.
- FARQUHAR, G.D.; SHARKEY, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.33, p.317-345, 1982.
- GUERRA, A.G. et al. Freqüência da fertirrigação de bananeira Prata-Anã com nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.1, p.80-88, 2004.
- JAIMEZ, R.E. et al. A. Seasonal variations in leaf gas exchange of platin cv. 'Hartón' (*Musa* AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.104, n.1, p.79-89, 2005.
- KONRAD, M.L.F. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.339-347, 2005.



- LAHAV, E.; TURNER, D. **Bananas nutrition**. Bern, Switzerland: International Potash Institute, 1983. 62p. (IPI – Bulletin, 7).
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2006. 532p.
- LONG, S.P.; BERNACCHI, C.J. Gas exchange measurements, what can they tell us about underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.54, n.392, p.2393-2401, 2003.
- MAHALAKSHMI, M. et al. Effect of fertirrigation and irrigation on the yield of high-density plantations of cv. 'Robusta'. **InfoMusa**, Montpellier, v.12, n.1, p.42-44, 2003.
- PINTO, J.M. et al. Doses de nitrogênio e potássio aplicadas via fertirrigação em bananeira. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.1, p.46-52, 2005.
- RAIJ, B. van. et al. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RAVEN, P.H. et al. **Biologia vegetal**. 6.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2001. 906p.
- SHIMAZAKI, K.I. et al. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.58, p.219-247, 2007.
- STORCK, L. et al. **Experimentação agrícola**. Santa Maria: UFSM, 2000. 198p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto alegre: ArtMed, 2004. 719p.
- TEIXEIRA, L.A.J. et al. Avaliação do estado nutricional de bananeira do subgrupo Cavendish no Estado de São Paulo: normas Dris e níveis críticos de nutrientes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.613-620, 2007.
- THOMAS, D.S.; TURNER, D.W. Banana (*Musa* spp.) leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in response to soil drought, shading and lamina folding. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.90, n.1, p.93-108, 2001.