

**INFLUÊNCIA DA LUZ E DA CONCENTRAÇÃO DO CO₂
NA ATMOSFÉRICA NO PROCESSO FOTOSSINTÉTICO
NA MANGABEIRA (*HANCORINIA SPECIOSA* GOMES)
NA FAZENDA EXPERIMENTAL DA UFMT**

*Paulino Bambi*¹
*Vinícius Buscioli Capistrano*²
*Mariano Martinez-Espinosa*³
*Francisco de Almeida Lobo*⁴
*José Holanda Campelo Junior*⁵
*Carlos Alberto Antunes Dias*⁶
*José de Sousa Nogueira*⁷

RESUMO

A mais importante característica das plantas é a habilidade de aproveitar a energia a partir do sol para fixar o CO₂ atmosférico em cadeia de moléculas orgânicas complexas, processo fotossintético, proporcionando a entrada de energia livre na biosfera. A fotossíntese é afetada por fatores, como a concentração de CO₂ na atmosfera, a temperatura e a intensidade luminosa. No entanto, determinar qual dos dois

- 1 Mestre em Física e Meio Ambiente, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Departamento de Física, UFMT, Cuiabá-MT, Brasil. Professor da UNIC. E-mail: pabambi@gmail.com.
- 2 Mestre em Física e Meio Ambiente, Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Departamento de Física, UFMT, Cuiabá-MT, Brasil. E-mail: viniibc@gmail.com.
- 3 Doutor, Departamento de Estatística, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. Cuiabá-MT, Brasil. E-mail: marianom@cpd.ufmt.br.
- 4 Doutor, Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Departamento de Agronomia, UFMT, Cuiabá-MT, Brasil. E-mail: f_a_lobo@cpd.ufmt.br.
- 5 Doutor, Departamento de Solos e Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UFMT, Cuiabá-MT, Brasil. E-mail: campelo@cpd.ufmt.br.
- 6 Mestre em Física e Meio Ambiente, Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Departamento de Física, UFMT, Cuiabá-MT, Brasil. E-mail: carlosdias@seguranca.mt.gov.br.
- 7 Doutor, Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Ciência Exatas e da Terra/ICET, Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá-MT, Brasil. E-mail: nogueira@cpd.ufmt.br.

*fatores é mais limitante na fotossíntese pode ser difícil, porque ambos os fatores podem limitar, não necessariamente para mesma folha ao mesmo tempo. As folhas foram expostas a concentração de 280, 400 e 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ de CO_2 ; 400, 600 e 1500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de intensidade de luz e a uma temperatura de 28 °C. Com isso, o objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos da luz e do CO_2 no processo fotossintético da mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) considerando um planejamento fatorial com 3 níveis, dois fatores e 4 réplicas, no qual a variável de interesse foi a fotossíntese da mangabeira (taxa de assimilação de CO_2 em $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) e os fatores foram a intensidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e concentração atmosférico de CO_2 . As medidas foram feitas entre 9 a 10 horas dos dias 10 e 11 de dezembro de 2005 usando um sistema portátil de medição de fotossíntese (Li-6400 Li-Cor, Inc, Lincoln, NE, USA). Os resultados mostram que a concentração de CO_2 e a intensidade de luz influenciam significativamente no processo fotossintético. No entanto, a concentração de CO_2 foi o que causa maior efeito no processo fotossintético em forma quadrática.*

PALAVRAS-CHAVE

fotossíntese, mangabeira e experimento fatorial

ABSTRACT

*The most important characteristic of plants is their ability to make good use of energy from the sun to set atmospheric carbon dioxide into a range of more complex organic molecules. This process of photosynthesis provides a major input of free energy into the biosphere. The photosynthesis process is affected by several factors, as CO_2 atmosphere concentration, temperature and the light intensity. However, it's uneasy to determinate which factor; between both CO_2 concentration and light intensity have more influence in the photosynthesis process. The leaves were submitted at 280, 400 and 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ CO_2 concentration and 400, 600 and 1500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ light intensity. Thus, the goal of this search was to study the light and CO_2 concentration effects in the mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) plant, considering a 3 factorial design with 4 reply, where the interesting variable was the mangabeira photosynthesis and the factors were the photosynthesis active radiation (PAR) and CO_2 concentration. The measurements were done on 10 and 11th December 2005, from 9 to 10 hours, by a portable (Li-6400, Inc, Lincoln, NE, USA). The results showed that the CO_2 concentration and*

light intensity significantly influenced in the photosynthesis process. However, the CO₂ concentration was the one that caused the major square effect in the photosynthesis process.

KEYWORDS

photosynthesis process, mangabeira trees, factorial experiment

Introdução

A vida na terra depende, em última análise, da energia proveniente do sol. A fotossíntese é um importante processo biológico que pode aproveitar essa energia. Uma grande fração dos recursos energéticos do planeta (combustíveis fósseis) também resulta da atividade fotossintética. É um processo complexo no qual a energia solar é convertida em energia química de compostos orgânicos.

A combinação de variáveis luz e CO₂ constituem a condição importantíssima para o crescimento da planta. Ambos os fatores, luz e CO₂, são recursos críticos para a planta, porque podem freqüentemente interferir no crescimento, na reprodução e sob concentrações intercelulares de CO₂ muito baixas, a fotossíntese é fortemente limitada.

A copa de uma árvore é a fração responsável pela captação da radiação solar e do CO₂ disponíveis. A produtividade de uma planta pode ser analisada como o produto da energia solar interceptada e do CO₂ fixado durante uma estação.

Na presença de quantidade adequada de luz, concentrações mais altas de CO₂ sustentam taxas fotossintéticas elevadas, enquanto que sob concentrações intercelulares de CO₂ muito baixas, a fotossíntese é limitada. Nas condições em que as concentrações são intermediárias, a fotossíntese é limitada pela capacidade da carboxilação da rubisco. Quando as concentrações de CO₂ são elevadas, a fotossíntese é limitada pela capacidade do ciclo de Calvin de regenerar a molécula aceptora ribulose-1,5-bisfosfato que depende da taxa de transporte de elétrons (TAIZ & ZEIGER, 2006).

No escuro, não há assimilação fotossintética de carbono e o CO₂ é desprendido pela respiração da planta. WARBURG (1994)

se deu conta de que a fotossíntese é inibida pelo O_2 . Esta inibição se faz presente em todas as espécies C_3 que tinham sido estudadas desde então, e se conhece como efeito de Warburg. É de salientar que algumas concentrações de O_2 resultam em inibição de fotossíntese em concentrações muito baixas de CO_2 . Se for adicionado CO_2 no ar destinado à folha, tem-se uma fotorrespiração diminuída com o aumento da proporção de CO_2 em relação à do O_2 existente no cloroplasto, o que provoca um aumento na taxa carboxilativa da rubisco (SALISBURY & ROSS, 1994).

Ao contrário das plantas C_3 as C_4 não são afetadas de maneira significativa pelas concentrações variantes de CO_2 , justamente porque não apresentam fotorrespiração aparente (SALISBURY & ROSS, 1994).

Os fatores como: concentração da H_2O , CO_2 e nutrientes, intensidades da luz e da temperatura, bem como a idade e a genética da planta influenciam na fotossíntese. Mas, quando a água é um fator limitante, de imediato retarda-se a expansão celular, então o crescimento diminui. Se aumentar um pouco mais o estresse hídrico os estômatos se fecham e a captura de CO_2 termina (ROCHA & MORAES 1979 e ROCHA & MORAES 1994).

A luz é um recurso crítico para planta, podendo limitar o crescimento e a reprodução. No caso de plantas C_3 e C_4 só há o processo fotossintético na presença de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), também conhecida como radiação visível (luz). Em tais plantas, caso aumente a intensidade da radiação, aumentará a taxa de fixação de CO_2 ao menos inicialmente, onde a taxa de fixação responde ao incremento da densidade de fluxo fotossinteticamente ativo. Tendo em seguida um ponto conhecido como saturação de luz, no qual o aumento na intensidade de luz não resulta em um aumento de taxa de fixação de CO_2 , (SALISBURY & ROSS, 1994). Este ponto varia com a espécie, com a irradiância durante o crescimento e também com a concentração de CO_2 .

Determinar qual dos fatores, entre CO_2 e luz, é o mais limitante na fotossíntese da planta C_3 pode ser difícil porque ambos os fatores têm a faculdade de limitar, e não necessariamente para a mesma folha. As folhas do topo da árvore são mais iluminadas,

e quase sempre respondem ao aumento de concentração de CO₂, já as folhas da porção inferior podem estar saturadas de CO₂ e respondem mais à luz adicional.

A mangabeira, planta na qual o estudo foi efetuado, é uma espécie frutífera do cerrado. O cerrado está caracterizado principalmente pela sazonalidade climática e, como consequência disso, a vegetação geralmente desenvolve diversas adaptações morfológicas e fisiológicas. Como exemplo das adaptações morfológicas, as plantas apresentam sistemas subterrâneos espessados e profundos, possibilitando o alcance de regiões do solo onde há disponibilidade de água mesmo na estação seca, (SOUSA *et al.*, 2004).

A preocupação deste trabalho foi estudar os efeitos da luz e da concentração de CO₂ no processo fotossintético da mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) e seus efeitos de interação.

Material e Métodos

O Trabalho foi efetuado na Fazenda Experimental da UFMT, município de Santo Antonio de Leverger, MT nas coordenadas de 15° 47'11" de latitude sul e 56° 04'47" longitude oeste e altura de 95,1 acima do nível do mar, na microrregião da Baixada Cuiabana. O clima da região é do tipo Aw, segundo classificação do Cöppen. O solo da área foi classificado podzólico vermelho amarelo estrófico (BIUDES, 2006).

As coletas foram feitas nos dias 28 e 29 de novembro de 2005 das 9 às 10 horas e meia, em uma das parcelas não irrigadas da mangabeira entre as duas existentes.

A parcela é composta por quatro linhas de seis plantas cada, totalizando 24 plantas úteis, das quais se selecionou aleatoriamente 4. A resposta fotossintética à intensidade luminosa e à concentração do CO₂ foram medidas através de um Li-6400 Licor. As leituras da fotossíntese foram feitas dentro da mesma parcela, com temperatura fixada em 28°C, utilizando níveis de 280, 400 e 800 μmol.mol⁻¹ de CO₂ e 400, 600 e 1500 μmol m⁻² s⁻¹ de densidade de fluxo fotossinteticamente ativo.

Aplicou-se um planejamento fatorial com 3 níveis, dois fatores (3^2) e 4 réplicas, no qual a variável de interesse foi a fotossíntese da mangabeira (taxa de assimilação de CO_2 em $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e os fatores da intensidade de radiação fotossinteticamente ativa e a concentração de CO_2 .

Foram medidas todas as combinações de níveis dos fatores (9 combinações de tratamentos) em uma única árvore de manga-ba em condições naturais da região, ou seja, sem irrigação.

O experimento fatorial leva à determinação dos efeitos principais e de interação dos fatores na fotossíntese. Com a determinação destes efeitos, pode-se estabelecer um relacionamento dos fatores com a resposta através de uma função polinomial ou polinômio $f(\tilde{X})$ (BOX *et al.*, 1987).

Na prática, um polinômio de primeira ou segunda ordem pode representar adequadamente a verdadeira função de uma determinada resposta. Sendo os polinômios de segunda ordem os mais utilizados em geral expressos da seguinte maneira: (MARTINEZ *et al.*, 2004).

$$Y_i = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i^c + \sum_{i=1}^k a_i x_i^{2c} + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k a_{ij} x_i^c x_j^c + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k a_{ij} x_i^{2c} x_j^c + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k a_{ij} x_i^c x_j^{2c} + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k a_{ij} x_i^{2c} x_j^{2c} + \varepsilon_i^c \quad (1)$$

onde Y_i é a variável resposta, $x_1^c, x_2^c, \dots, x_k^c$ são as variáveis independentes codificadas que têm influência na resposta. Os valores $a_0, a_i (i = 1, 2, \dots, k)$, $a_{ij} (i = 1, 2, \dots, k)$ e $a_{ij} (i = 1, 2, \dots, k-1; j = 2, 3, \dots, k)$, são os parâmetros (coeficientes) desconhecidos a serem estimados, e ε_i^c é o erro aleatório (resíduo), na qual a letra c indica o resíduo do modelo com as variáveis independentes codificadas. A codificação dos níveis dos fatores é freqüentemente usada em experimentos fatoriais 3^k , sendo -1, 0 e 1, o nível baixo, nível intermediário e nível alto do fator, respectivamente.

Para estimar o modelo dado expressão (1) é recomendável utilizar a notação matricial, na qual tal expressão pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\tilde{Y} = \tilde{X}^c \tilde{A} + \tilde{\varepsilon}^c \quad (2)$$

Em que $\tilde{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, X^c é uma matriz $n \times p$ codificada, com n linhas a quais representam os n ensaios experimentais, $p = (k + 1)(k + 2)/2$ colunas, \tilde{A} é um vetor $p \times 1$ contendo os parâmetros desconhecidos já citados, e $\mathcal{E}_i^c = (\mathcal{E}_1^c, \mathcal{E}_2^c, \dots, \mathcal{E}_n^c)$ os erros aleatórios, os quais deverão ser variáveis aleatórias com distribuição normal, com média zero e variância constante (DRAPER *et al.*, 1998).

A comprovação da adequação do modelo será realizada pela análise dos gráficos de resíduos (\mathcal{E}_i^c), para verificar as suposições de normalidade, da média zero e da variância constante. Após a análise residual será também utilizado como comprovação da adequação do modelo o coeficiente de determinação (R^2).

Na Tabela 1 são apresentados os valores da fotossíntese (y) e os valores dos fatores não codificados (x_i) e codificados (x_i^c), onde a codificação dos níveis dos fatores utilizada foi -1, 0, 1, para o nível baixo, nível intermediário e nível alto do fator, respectivamente.

A partir da Tabela 1, faz-se uma regressão múltipla para estimar os parâmetros (coeficiente) desconhecidos da expressão (1), sabendo como os fatores têm influência na resposta. Podendo ser em forma linear (x_1^c, x_2^c) ou quadrática (x_1^{2c}, x_2^{2c}) e em forma de interação linear ($x_1^c x_2^c$) ou interação quadrática ($x_1^{2c} x_2^{2c}, x_1^c x_2^c, x_1^c x_2^{2c}$).

Resultados e Discussões

Na Tabela 1 são apresentados os valores da fotossíntese (y) e os valores dos fatores não codificados (x_i) e codificados (x_i^c).

Tabela 1 – Notação usada no experimento fatorial 3^k para a fotossíntese (Y), com os níveis de intensidade da PAR (x_1) e as concentrações de CO_2 (x_2), com suas respectivas codificações.

(i)	Fotossínteses (Y)				Fatores											
	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	x_1	x_2	x_1^c	x_2^c	x_1^{2c}	x_2^{2c}	$x_1^c x_2^c$	$x_1^{2c} x_2^c$	$x_1^c x_2^{2c}$	$x_1^{2c} x_2^{2c}$		
1	2,53	1,696	3,894	2,042	400	280	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1		
2	2,614	2,488	3,722	4,818	600	280	0	-1	-2	1	0	2	0	-2		
3	4,852	2,208	5,822	6,83	1500	280	1	-1	1	1	-1	-1	1	1		
4	5,466	4,042	8,584	9,084	400	400	-1	0	1	-2	0	0	2	-2		
5	5,634	5,284	9,404	11,66	600	400	0	0	-2	-2	0	0	0	4		
6	5,184	8,098	8,518	9,236	1500	400	1	0	1	-2	0	0	-2	-2		
7	14,48	9,65	14,72	14,3	400	800	-1	1	1	1	-1	1	-1	1		
8	11,72	8,66	13,62	12,88	600	800	0	1	-2	1	0	-2	0	-2		
9	19,46	13,46	10,78	19,36	1500	800	1	1	1	1	1	1	1	1		

Na Figura 1, o “boxplot” com ausência de dados espúrios e, apresentando uma simetria aceitável, tendo eles assim uma distribuição aproximadamente normal.

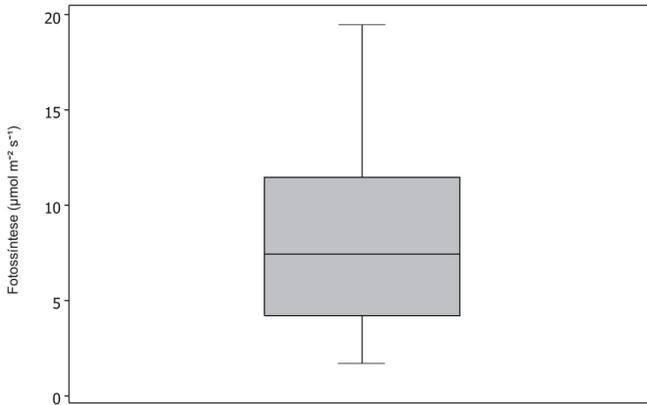


Figura 1 – Boxplot dos dados da fotossíntese.

Grosso modo, pode-se verificar nas figuras 2 e 3, os efeitos principais de concentração de CO_2 e intensidade de luz no processo fotossintético. Na Figura 2, para concentrações constantes

de CO_2 , fez-se gráficos de intervalos de média de fotossíntese para diferentes níveis de intensidade de luz. O mesmo foi feito na Figura 3, mantendo constante a intensidade de luz e variando as concentrações de CO_2 .

Verifica-se de forma apenas qualitativa pelos gráficos, que a fotossíntese responde mais a uma variação na concentração de CO_2 do que a intensidade de luz para este experimento.

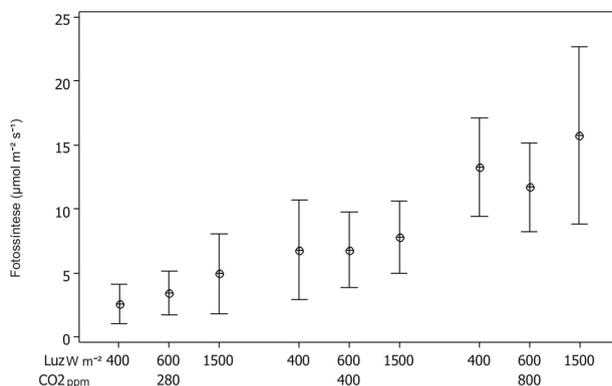


Figura 2 – Gráfico de média com intervalo de confiança de 95% para visualizar a influência da concentração de CO_2 e intensidade de Luz.

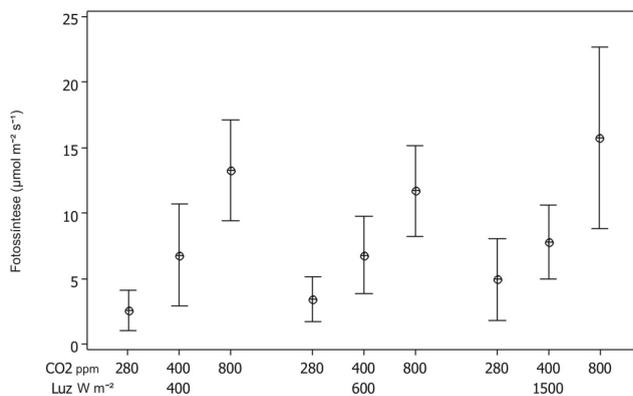


Figura 3 – Gráfico de média com intervalo de confiança de 95% para visualizar a influência da intensidade de Luz e concentração de CO_2 .

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes de regressão das variáveis independentes, desvio padrão, t_0 , o nível de significância dos efeitos (P) e o coeficiente de determinação R^2 para os dados da Tabela 1. Observa-se que os coeficientes da regressão são significativos somente para a constante, para as variáveis x_1^c e x_2^c e próximo de significativo para x_2^{2c} , como se verifica na coluna de nível de significância P.

Tabela 2 – Coeficientes de regressão das variáveis independentes, Desvio padrão, razão t_0 , P, R^2 dados pelo modelo da equação (2).

Variável	Constante	Desvio padrão	t_0	P
<i>constante</i>	8,1087*	0,3858	21,02	0,000
x_1^c	0,9717*	0,4725	2,06	0,050
x_2^c	49,822*	0,4725	10,54	0,000
x_1^{2c}	0,4036	0,2728	1,48	0,151
x_2^{2c}	0,4999*	0,2728	1,83	0,078
$x_1^c x_2^c$	0,0225	0,5787	0,04	0,969
$x_1^{2c} x_2^c$	0,4138	0,3341	1,24	0,226
$x_1^c x_2^{2c}$	0,2446	0,3341	0,73	0,470
$x_1^{2c} x_2^{2c}$	0,1181	0,1929	0,61	0,546

$R^2 = 82,0\%$ $s = 2,315$

Tabela 3 – Soma dos quadrados (SQ) e graus de liberdade para as variáveis independentes.

Variável	g.l	SQ
x_1^c	1	22,659
x_2^c	1	595,748
x_1^{2c}	1	11,729
x_2^{2c}	1	17,990
$x_1^c x_2^c$	1	0,008
$x_1^{2c} x_2^c$	1	8,217
$x_1^c x_2^{2c}$	1	2,871
$x_1^{2c} x_2^{2c}$	1	2,007
Regressão	8	661,229
Resíduo	27	144,693

Com soma de quadrados (SQ) dada na Tabela 3, verifica-se que o maior efeito na fotossíntese na forma linear deve-se à concentração de CO_2 e à intensidade de luz. Também, há pouco efeito na forma quadrática por parte da concentração CO_2 .

Então, a equação que descreve a fotossíntese em termos de concentração de CO_2 e intensidade de luz segundo a Tabela 2 é:

$$\hat{Y} = 8,11 + 0,97 x_1^c + 4,98 x_2^c + 0,5 x_2^{2c} \quad (3)$$

Observe que de acordo com as Figura 4, Figura 5 e com o coeficiente de determinação ($R^2 = 82,0\%$) o modelo é considerado adequado. Os resíduos têm distribuição normal com intervalo de confiança de 95% como se verifica na Figura 5. Pode-se averiguar outra exigência para adequabilidade do modelo na Figura 6, a de que a variância dos resíduos deve ser constante, o que dispensa uma possível transformação aplicada aos valores estimados.

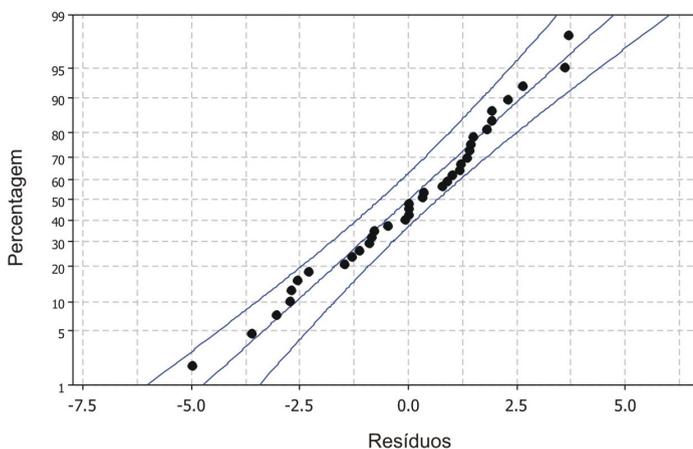


Figura 4 – Gráfico de distribuição de probabilidade para os resíduos

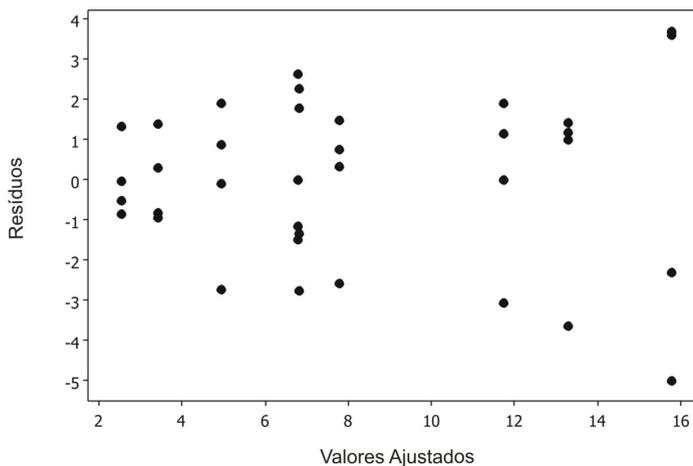


Figura 5 – Gráfico dos resíduos contra os dados valores ajustados.

Com base na Tabela 3 e equação (3), a concentração de CO_2 influencia mais do que a intensidade luminosa. Tal diferença do efeito na fotossíntese poderia ser justificada pela hipótese de que $600 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, usado como nível intermediário de in-

tensidade luminosa, já se constitua por natureza da planta um fator de nível alto, ou seja, é possível que em $600 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a mangabeira já tenha atingido o nível de saturação luminosa.

Conclusão

A concentração de CO_2 e a intensidade de luz influenciam significativamente o processo fotossintético.

O efeito de interação entre o da concentração de CO_2 e o da intensidade de luz não tem influência significativa no processo fotossintético.

A concentração de CO_2 é o que causa maior efeito no processo de fotossíntese. A concentração de CO_2 afeta a fotossíntese em forma linear e quadrática, enquanto, a intensidade luminosa só influencia a fotossíntese na forma linear.

Referências Bibliográficas

BIUDES, M. S., *Estimativa da Transpiração em Plantas de Mangabeira*. Cuiabá, 2006. 96p. Dissertação (Mestrado) - UFMT, Instituto de Ciências Exatas e da terra, Cuiabá, MT, 2006.

COCHRAN, G. C.; COX, G. M.: 1957. *Experimental Designs*. 2. ed. Canadá: p.58-77; p.244-276: 613p.

FERRI, Mário Guimarães: 1995: *Fisiologia Vegetal*. São Paulo: p.117-142: 362p.

MACHADO, K. D. 2000. *Equações Diferenciais Aplicadas a Física*. 2.ed. Ponta Grossa: UEPG, p.183-208: 660p.

MARTINEZ, E. M.; CALIL, C. J. A Statistical Fatigue Experiment Design in Medium Density Fiberboard. *Journal Material Research*, v.3, n.3, p.84-91. 2000.

MARTINEZ, E. M.; CALIL, C. J. Resistencia Mecánica de los Tableros de Densidad Media Parte 2: Modelo Polinomial Ortogonal Para Estimar

la Resistencia a la Fatiga en la Traccion. Madeiras: *Ciencia y Tecnología* n.6, n.1: p.61-71. 2004.

MENDANHALL, W. 1968. *Introduction to Linear Models and the Designs and Analysis of Experiments*. Duxibury. Belmont, California. p. 85-98, 465p.

ROCHA, A. M. dos S.; MORAES, J. A. P. V. de. Influência do Estresse Hídrico Sobre as Trocas Gasosas Em Plantas Jovens Envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, n.9, n.1, p.41-46, 1997.

SALISBURY. F. B. & ROSS, C. W. 1994 *Fisiologia Vegetal*. Ed. Iberoamérica. México: p.249-292: 759p.

SOUSA, A. De; MORAES, M, G; RIBEIRO, R, de C. L. F. Gramíneas do cerrado: Carboidratos não – estruturados e aspectos ecofisiológicos. *Revista Botânica Brasileira*, v. 19, p.81-90. 2005.

STEVEN, M. D; BISCOE, P. V.; JAGGARD, K.W.; PARANTU. J. Foliage cover and radiation interception. *Field Crops Reaserch*: 13: p.75-87. 1986.

TAIZ, L.; Z EIGER, E.: 2006. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Editora. Artmed. Porto Alegre. p.174-219: 719p.