

EVIDÊNCIAS DA SATURAÇÃO DA FOTOSSÍNTESE BRUTA DE CAFEIROS (*Coffea arabica* L.) EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL COM SERINGUEIRAS (*Hevea brasiliensis* MÜELL. ARG.) SOB RADIAÇÃO NATURAL¹

Ciro A. RIGHI^{1*}; Marcos S. BERNARDES²; Aurenny M.P. LUNZ¹; José Laércio FAVARIN²; José Dias COSTA²

¹Doutorando em Fitotecnia - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo – ESALQ/USP, Dept. Produção Vegetal - Av. Pádua Dias, 11 - Cx.P. 09, CEP: 13418-900 Piracicaba/SP - Brasil; Tel: (19) 3429-4115 r.32 E-mail: carighi@yahoo.com e amplunz@esalq.usp.br

²Prof. Dr. Dept. Produção Vegetal - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo – ESALQ/USP, Dept. Produção Vegetal - Av. Pádua Dias, 11 - Cx.P. 09, CEP: 13418-900 Piracicaba/SP - Brasil; Tel: (19) 3429-4115 r.32 E-mail: msbernar@esalq.usp.br e jlfavari@esalq.usp.br

Resumo:

A presença de árvores em um sistema agroflorestal (SAF) altera o balanço de radiação, a temperatura do ar e o comportamento do vento na área sob sua influência. O entendimento de como os SAFs utilizam os recursos disponíveis é fundamental para o estabelecimento da disposição das plantas e o manejo adequado para as diferentes localidades. O experimento foi conduzido em Piracicaba-SP (22°42'30"S, 47°38'00"W - altitude 554 m) durante o ano de 2003. O seringal foi plantado em 1991 no espaçamento de 8 x 2,5 m, clone – PB-235 e o cafezal (cultivar Obatã, IAC - 1669-20) foi plantada no espaçamento de 3,4 x 0,9 m dentro e ao lado do seringal. Foi mensurada a matéria seca dos cafeeiros situados nas distâncias, a contar da borda do seringal: -13,7; -5,7; 1,5; 4,9; 8,3; 15,1 e em monocultivo. A disponibilidade de energia radiante aos cafeeiros quantificada com o uso de tubos solarímetros (TS-UM-3, Eijkelpamp) instalados nas mesmas posições foi respectivamente: 25; 35; 45; 80; 90% e, aproximadamente, 100% para as duas últimas posições. Concluiu-se que: **1.** O modelo matemático descreveu adequadamente a disponibilidade de luz à cultura intercalar, podendo ser uma importante ferramenta no planejamento e análise de SAFs; **2.** a cultura não apresentou uma boa correlação linear entre a fração de radiação disponível e a fração da matéria seca devido, provavelmente, a sua copa saturar com cerca de 45% da irradiância disponível. O modelo de Gompertz apresentou um melhor ajuste aos dados obtidos. Maior redução em sua disponibilidade ocasionou acentuada diminuição do acúmulo de matéria seca diretamente proporcional e; **3.** devido à sua capacidade de adaptação a grandes reduções na disponibilidade de luz, o cultivo do cafeeiro em SAFs apresenta boa perspectiva.

Palavras-chave: luz; irradiância; matéria seca; sistema agroflorestal; café

EVIDENCES OF PHOTOSYNTHESIS SATURATION OF COFFEE PLANTS (*Coffea arabica* L.) IN AN AGROFORESTRY SYSTEM WITH RUBBER TREES (*Hevea brasiliensis* MÜELL. ARG.) UNDER NATURAL RADIATION

Abstract:

The presence of trees in an Agroforestry System (AFS) changes the radiation balance, air temperature and wind action under its influence. The understanding of how AFS use the available resources is a key point in the establishment of its design and handling to the different locations. The experiment was conducted in Piracicaba-SP (22°42'30"S, 47°38'00"W - altitude 554 m) in 2003. The rubber trees were planted in 1991 in the space 8 x 2,5 m, clone – PB-235 and the coffee plants (cultivar Obatã, IAC - 1669-20) planted in the space 3,4 x 0,9 m inside and aside of rubber tree plantation. Coffee dry matter accumulation was measured at the positions, counting from the border of rubber plantation: -13.7; -5.7; 1.5; 4.9; 8.3, 15.1 and in monocrop. The available irradiance to the coffee plants quantified by the solarimeter tubes (TS-UM-3, Eijkelpamp) located at the same positions were accordingly: 25; 35; 45; 80; 90% and about 100% to the last two positions. It was possible to conclude that: **1.** the mathematical model fitted the measured light and can be a useful tool in AFS design and analysis; **2.** the culture did not showed a good linear correlation between radiation fraction and dry matter accumulation probably due to its canopy reaches light saturation with about 45% of available irradiance. The Gompertz model presented a better adjustment with the measured data. Further reductions on light disposal led to a sharp decrease on dry matter accumulation directly proportional and; **3.** due to its adaptation capacity to big light availability reduction, the coffee cultivation in AFS presents a good perspective.

Key-words: light; irradiance; dry matter; agroforestry; coffee

¹ trabalho financiado pela FAPESP

* autor correspondente

Introdução

A intensidade de radiação solar incidente sobre a cultura influencia a estrutura do aparelho fotossintético. A estrutura da folha pode ser modificada pela intensidade de luz à qual esta fica exposta durante seu crescimento. A maior disponibilidade de luz proporciona aumentos na espessura da folha, na massa foliar específica, no desenvolvimento da epiderme e do parênquima e no número total de células das folhas (Esau, 1977). Righi (2000) verificou uma maior área foliar específica (AFE) em feijoeiros desenvolvidos a pleno sol a qual diminuiu com o aumento da irradiância. As copas das plantas desempenham um papel importante no crescimento e na produtividade. A arquitetura da copa das plantas é de grande importância, pois define o tipo de distribuição de seus galhos e folhas, influenciando no modo de interceptação e no aproveitamento da radiação disponível, sendo sua eficiência dada pela taxa fotossintética por unidade de área foliar (Bernardes, 1987).

A presença de árvores em um sistema de produção altera o balanço de radiação, a temperatura do ar e o comportamento do vento na área sob influência destas. O efeito múltiplo destas mudanças no microclima modifica o balanço de energia disponível para o meio, acarretando mudanças no uso da água, na produtividade e no ciclo das plantas sob esta condição (Monteith et al., 1991). O entendimento de como os sistemas agroflorestais utilizam os recursos disponíveis é fundamental para o estabelecimento de combinações de espécies, disposição das plantas, densidade de plantio e manejo adequado nas diferentes localidades (Willey & Reddy, 1981).

A quantificação dos fatores ambientais e das respostas das plantas pode ser agregada em modelos matemáticos para aperfeiçoar sua utilidade científica e prática. A utilização de modelos matemáticos, assim como o planejamento prévio da pesquisa, é mais importante em sistemas agroflorestais do que em sistemas de monocultivo por ser excessivamente cara dada a longevidade das árvores; o tamanho das parcelas experimentais e; o grande número de possíveis disposições em relação ao tempo e espaço. Enquanto o desenvolvimento de um modelo do sistema como um todo é uma meta de longo prazo, provisoriamente os módulos individuais de processos podem exercer um papel importante não apenas no entendimento do SAF mas também na predição de seu desempenho (Bernardes, 1993). O modelo matemático proposto por Bernardes et al. (1998) (Equação 1) estima com boa precisão os valores de radiação solar para culturas em condições de campo (Righi, 2000) e pode ser de grande valor para o estudo da quantidade de radiação disponível em um SAF.

$$I_r = \frac{1}{2} * \text{sen} \left(\text{arctg} \left(\frac{d - c_w * \frac{c_w}{d}}{H_r} + D \right) + 1 \right) * I_0 \quad (1)$$

Em que, I_r = irradiância diária (MJ.m^{-2}) que atinge o topo da copa da cultura intercalar; d = distância da linha de árvores sombreadoras (m); I_0 = irradiância diária (MJ.m^{-2}) numa superfície horizontal acima da copa das árvores; c_w = raio da copa (m); D = declividade do terreno em radianos; e H_r = altura relativa das árvores (m), obtida pela seguinte equação (2)

$$H_r = H_a - H_{ci} \quad (2)$$

em que, H_a = altura das árvores (m) e H_{ci} = altura da cultura intercalar (m).

Um melhor entendimento das interações ecofisiológicas dentro de um SAF poderá originar novas questões científicas além de aprimorar o manejo das culturas envolvidas. O aprimoramento tecnológico, tendo como resultado um maior rendimento, aumentará a adoção do SAF pelos produtores rurais. A expansão da diversidade de culturas com a introdução de árvores de uso múltiplo, como a seringueira, nas regiões de monocultivo poderá incrementar a sustentabilidade da produção.

Diversas culturas têm seu desempenho melhorado com o aumento da quantidade de radiação disponível, produzindo uma quantidade maior de matéria seca, apresentando uma correlação linear com a radiação interceptada (Righi, 2000). Russell et al. (1989) modelando a produção de matéria seca em plantações uniformes assume esta como sendo quase diretamente proporcional à energia interceptada pela copa. Segundo esses autores a interceptação da luz por uma copa depende de sua estrutura e da relação de matéria seca produzida por unidade de radiação interceptada. Este tipo de análise, embora freqüente em estudos de monocultivos (Pereira, 2002) ainda são poucos os trabalhos relacionando tais variáveis em SAF (Bernardes, 1993). Embora seja relativamente fácil medir as variáveis físicas, interpretar como estas mudanças influenciam as culturas de sub-bosque é muito complexo (Corlett et al., 1987).

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no campo experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) em Piracicaba-SP (22°42’30”S, 47°38’00”W - altitude 554 m) durante o ano de 2003. O seringal foi plantado em 1991 no espaçamento de 8 x 2,5 m, clone – PB-235. O cafezal (cultivar Obatã, IAC - 1669-20) foi plantado no espaçamento de 3,4 x 0,9 m durante a primeira quinzena de janeiro de 2002 sob o bosque de seringueiras, interfaceando as árvores e em monocultivo. O terreno com declividade variando de 0 a 1,5%, constitui-se de um solo Nitossolo vermelho eutroférico, horizonte A moderado e textura

argilosa. A fertilidade do solo e a existência de sistema de irrigação instalado na área do ensaio evitaram limitações no crescimento e no desenvolvimento das plantas além daquelas oriundas do tratamento experimental.

O experimento foi conduzido em três blocos com 7 tratamentos cada, sendo estes as distâncias das árvores medidas a partir da primeira fileira de seringueiras interfaceando o cafezal (distância zero). As distâncias negativas referem-se ao interior do seringal e as positivas ao seu distanciamento em direção ao monocultivo de café. Assim os tratamentos utilizados foram as distâncias -13,7; -5,7; 1,5; 4,9; 8,3; 15,1 e em monocultivo. Em cada bloco foi avaliada uma planta por distância. Todos os cafeeiros foram plantados no mesmo espaçamento, livre de plantas daninhas. As plantas etiquetadas foram secas em estufa a 75 °C até peso constante. A primeira linha interfaceando a cultura do cafeeiro representa árvores em SAF em renque (cultivo em faixas) de linha dupla. A segunda linha representa árvores de seringueira em monocultivo. A cultura do cafeeiro foi irrigada por gotejamento.

Todas as árvores sombreadoras foram medidas com o auxílio do altímetro de Haga, que mede a altura por hipsometria, e a largura de suas copas com uma trena para cálculo da radiação disponível à cultura intercalar como descrito na equação 1. A condição de luz acima do dossel dos cafeeiros foi medida continuamente por tubos solarímetros (TS-UM-3, Eijkelkamp) instalados nas distâncias: -13,7; -10,3; -5,7; -2,3; 1,5; 4,9; 8,3; 11,7; 15,1 e 18,5 m e em monocultivo e conectados a um sistema de aquisição de dados (Delta-T Devices). O modelo matemático (equação 1) foi utilizado para estimar a irradiância (I_r) que atingiu o topo da copa dos cafeeiros e confrontar com os resultados experimentais.

Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta os dados de radiação solar coletados durante a execução do experimento. Cada ponto refere-se à integral da radiação solar ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) disponível no respectivo dia. A radiação disponível aos cafeeiros submetidos às diferentes condições (distâncias da borda da cultura de árvores: (dentro) -13,7; -10,3; -5,7; -2,3 m; (ao lado) 1,5; 4,9; 8,3; 11,7; 15,1; 18,5 m), em termos percentuais, foi de 25%; 30%; 35%; 40%; 45%; 80%; 90%; 95% e cerca de 100% para as 3 posições mais distantes, respectivamente. A Figura 2 mostra a fração da radiação disponível, bem como a radiação estimada pelo modelo matemático utilizado (Equação 1). Observou-se que o modelo ajustou-se bem aos valores medidos nos diversos dias. Estes resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Bernardes et al. (1998) e Righi (2000), que observaram boa aproximação entre os valores medidos e aqueles estimados pelo modelo nos SAFs em renque de seringueiras com soja, milho e feijoeiro.

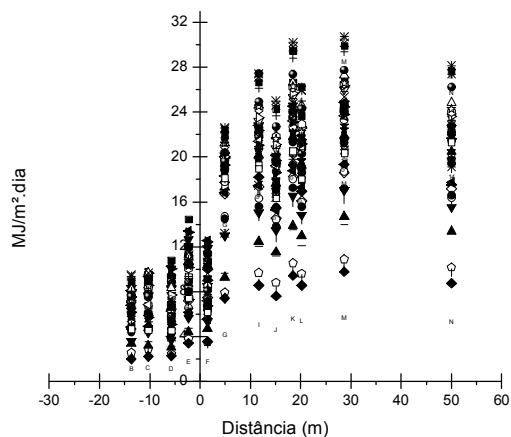


Figura 1. Radiação ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) disponível aos cafeeiros medida com os tubos solarímetros (TS-UM-3, Eijkelkamp) em função da distância das árvores sombreadoras. Distâncias negativas referem-se a posições no interior do seringal. Cada ponto refere-se a integral da radiação disponível em um único dia.

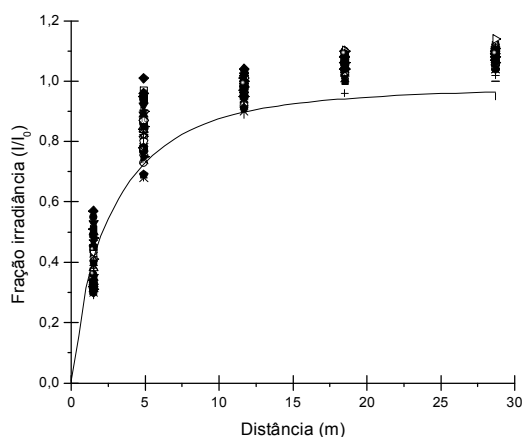


Figura 2. Fração da irradiância disponível aos cafeeiros em função da distância das árvores sombreadoras. A linha refere-se à fração calculada pelo modelo matemático de Goudriaan (1977)

O cafeeiro parece reunir várias características que lhe possibilita uma grande atenuação da radiação disponível. Cannel (1976) observou que o cafeeiro utiliza grande parte de sua matéria seca para incrementar a área foliar; as plantas possuem boa transmissão de luz no interior da copa, galhos superiores em posição mais vertical, folhas distribuídas em grandes distâncias verticais e; forma extrema cônica fazendo com que ocorra pouco sombreamento nas camadas inferiores.

A Figura 3 apresenta a correlação entre a matéria seca total produzida e a fração da radiação solar disponível. Observou-se que os cafeeiros apresentaram bom crescimento sob cerca de 45% da radiação total disponível, a 1,5 m de distância das árvores de seringueira. Os resultados obtidos diferem daqueles amplamente comentados quanto a sua proporcionalidade (Bernardes et al., 1998; Righi, 2000). Observa-se que a equação de regressão linear produz uma reta que diverge da esperada relação 1:1, produzida pela equação $y = x$, e que para valores de fração de radiação maiores que aproximadamente 0,8 produz valores de fração da matéria seca relativamente cada vez menores. Tal fato provavelmente deve-se a que os estudos anteriores foram realizados com culturas de rápido fechamento do dossel vegetativo, enquanto que no presente experimento o fechamento do dossel deu-se parcialmente. Assim, a interceptação da radiação disponível ocorreu de maneira muito diferente nas posições avaliadas, não se encontrando uma boa correlação. Outra possibilidade

para explicar a queda abrupta do total de matéria seca acumulada e, portanto, a diminuição da sua relação com a radiação disponível nos cafeeiros a -5,7 m de distância das árvores (cerca de 35% da irradiância), pode ser atribuída à redução na disponibilidade da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) pois estes se encontravam inteiramente sob o dossel das seringueiras que atuam como um filtro (Russell et al., 1989). Porém, mais importante do que sua diminuição é o provável aumento na eficiência de captura e conversão da radiação pelas plantas a 1,5 m de distância das árvores, com cerca de 45% da irradiância.

Para Russell et al. (1989) a resposta linear do crescimento por RFA absorvido é esperada conquanto sua copa não esteja exposta a irradiâncias saturantes durante parte significativa da estação de crescimento. Porém, muitas copas nunca se aproximam da saturação. A questão é: teriam as plantas a 1,5 m de distância das árvores alcançado a saturação de suas copas com apenas 45% da irradiância disponível? Tais valores de irradiância seriam próximos ao da saturação para folhas isoladas (cerca de $\frac{2}{3}$ da irradiância em um dia claro de verão), longe de ser aquela normalmente necessária para a saturação de uma copa. Caso tal hipótese fosse comprovada, retirando-se os dados acima do ponto de saturação obter-se-ia uma correlação melhor ajustada passando r^2 de 0,41 para 0,96. Foi encontrado que o modelo de Gompertz apresentou um bom ajuste aos dados coletados, obtendo-se um r^2 de 0,74 (Figura 4). Por este modelo pode-se observar claramente que o cafeeiro atinge sua saturação com 45% da irradiância disponível, evidenciando ainda uma correlação linear até atingir a saturação como apontado por Russell et al. (1989). A partir de 45% da irradiância, os valores de matéria seca encontraram-se num mesmo patamar.

Uma análise conjunta das figuras 3 e 4 nos permite apresentar a hipótese que os cafeeiros na condição do experimento apresentaram saturação da fotossíntese bruta da copa na faixa entre 45 a 80% da irradiância disponível.

Este efeito de saturação pode ser também explicado pela limitação intrínseca do aparato fotossintético que parece não responder a aumentos em fotossíntese bruta, a partir da saturação, com os aumentos na disponibilidade de radiação. Também é plausível afirmar que a ausência de resposta em crescimento a partir da faixa de saturação (45 a 80% I_0) deva-se a um aumento da respiração. Tal aumento poderia ser em igual valor ao incremento da fotossíntese bruta e anularia o aumento da fotossíntese líquida e, portanto, do crescimento dos cafeeiros sob maiores disponibilidades de radiação.

As evidências das razões da aparente ausência de resposta do cafeeiro a maiores disponibilidades de luz parece ser dignas de maiores investigações.

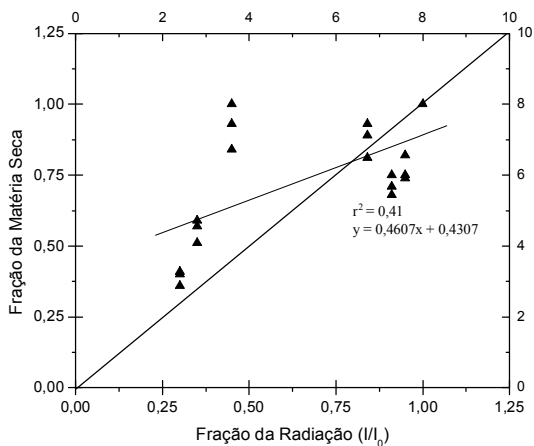


Figura 3. Fração da matéria seca acima do solo em função da fração da radiação disponível (I/I_0)

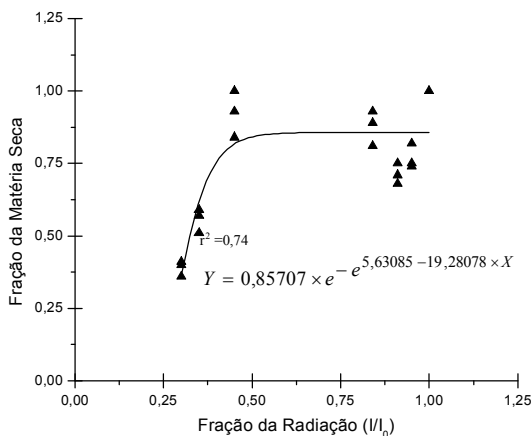


Figura 4. Ajuste do modelo de Gompertz para a fração da matéria seca dos cafeeiros em função da fração da radiação disponível (I/I_0)

Conclusões

O modelo matemático utilizado descreveu adequadamente a disponibilidade de luz à cultura intercalar, podendo ser uma importante ferramenta no planejamento e análise de SAFs;

A cultura não apresentou uma boa correlação linear entre a fração de radiação disponível e a fração da matéria seca. Ocorreu melhor ajuste dos dados medidos com a função de Gompertz que representa uma tendência de saturação do crescimento em resposta ao aumento da radiação.

Há evidências de que o cafeeiro apresenta saturação da fotossíntese bruta total da copa na faixa de 45 a 80% da radiação natural disponível. Maior redução em sua disponibilidade ocasionou acentuada diminuição do acúmulo de matéria seca diretamente proporcional.

Devido à capacidade de adaptação do cafeeiro ao sombreamento, seu cultivo em SAFs apresenta boa perspectiva à sua adoção.

Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Ampara à Pesquisa do estado de São Paulo – FAPESP pelo apoio financeiro durante a execução desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- Bernardes, M.S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: Castro, P.R.C.; Ferreira, S.O.; Yamada, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: PATAFOS, 1987. cap. 2, p.13-48.
- Bernardes, M.S. Simulation of agroforestry systems: the case of rubber tree associated with other crops. Wageningen, 1993. 63p. Thesis (Project) - Wageningen Agricultural University.
- Bernardes, M.S.; Goudriaan, J.; Câmara, G.M.S.; Dourado-Neto, D. Tree-crop interactions in agroforestry system of rubber with soybean and maize. In: Congress of the European Society for Agronomy, 5., Nitra, 1998. **Short communications**. Nitra: ESA, 1998b. v.2, p.125-126.
- Corlett, J.E.; Ong, C.K.; Black, C.R. Microclimatic modifications in intercropping and alley cropping systems. In: Reifsnnyder, W.S.; Darnhofer, T.O. (Ed.). **Meteorology and agroforestry**. Nairobi: ICRAF, 1987. p. 419-430.
- Esau, K. **Anatomy of seed plants**. 2.ed. New York: John Wiley, 1977. 550 p.
- Monteith, J.L.; Ong, C.K.; Corlett, J.E. Microclimatic interactions by in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, v.45, p. 31-44, 1991.
- Pereira, C.R. Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura da soja sob diferentes condições ambientais. Viçosa, 2002. 282 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
- Righi, C.A. Interações ecofisiológicas acima e abaixo do solo em um sistema agroflorestal de seringueira (*Hevea brasiliensis*) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). Piracicaba, 2000. 130p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- Russell, G.; Jarvis, P.G.; Monteith, J.L. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: Russell, G.; Marshall, B.; Jarvis, P.G. (Ed.). **Plant canopies: their growth, form and function**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 21-40.
- Wiley, R.W.; Reddy, M. S. A field technic for separating above-and bellow interactions in intercropping and experiment with pearl millet groundnut. **Experimental Agriculture**, v.17, p. 257 – 264, 1981.