

RADIAÇÃO INTERCEPTADA E EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA PELO MILHO NA REGIÃO DE ARAPIRACA-AL

RICARDO A. FERREIRA JUNIOR¹, JOSÉ LEONALDO DE SOUZA², GUSTAVO B. LYRA³,
IÊDO TEODORO⁴, M. L. ABREU⁵, ALEXSANDRO C. S. ALMEIDA⁶; JOSÉ E. D. BRITO⁷

¹ Estudante de Eng. Agrônômica, Bolsista I.C., Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Universidade Federal de Alagoas, LARAS/CECA/UFAL, Maceió – AL, ricardo_ceca@hotmail.com; ² Prof. Associado, LARAS/ICAT/UFAL, Maceió – AL; ³ Meteorologia, Prof. Visitante, LARAS/ICAT/UFAL, Maceió – AL; ⁴ Engo. Agrônomo, Prof. Assistente, CECA/UFAL, Rio Largo-AL; ⁵ Estudante de Eng. Agrônômica, CECA/UFAL, Rio Largo-AL; ⁶ Mestrando em Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP; ⁷ Mestrando em Produção Vegetal, CECA/UFAL.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 –
Aracaju - SE

RESUMO: Com o objetivo de determinar a eficiência do uso da radiação (RUE) pela cultura do milho, cultivar BR 106, na região de Arapiraca-AL, foi desenvolvido um experimento durante os meses de junho a outubro de 2005. A densidade do plantio foi de 6,25 plantas m⁻², com espaçamento de 0,8m entre linhas. Os dados ambientais foram medidos por sensores automáticos ligados a um sistema de aquisição de dados (*datallogger*). Estimou-se a RUE através de regressão linear entre matéria seca (MS) acumulada e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (PAR_I). O coeficiente de extinção da luz (K) pelo dossel da cultura do milho foi obtido através da relação entre a radiação fotossinteticamente ativa transmitida (PAR_T) e o índice de área foliar (IAF), com dados de dois experimentos do mesmo cultivar, realizados nos anos 2001 e 2002, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo-AL. O valor de K (0,565) apresentou coeficiente de determinação (r² = 0,95), indicando precisão satisfatória. A fração da PAR_I foi de 0,84 quando a cultura tinha IAF igual a 3,3. A relação encontrada para RUE foi de 3,76 g de MS para cada MJ de PAR_I, com o coeficiente de determinação igual a 0,88.

Palavras-chave: radiação solar, matéria seca, *Zea mays* L..

ABSTRACT: With the objective of estimate (RUE) by the maize crop, Cultivar BR 106, in Arapiraca region in Alagoas state, were developed an experiment from July to October of 2005. The plant density was 6,25 plants m⁻², and row spacing was 0,8m between line. The environmental data were measured by automatic sensors on to a system of acquisition of data (*datallogger*). The estimate the RUE was through linear regression between the accumulation of dry matter (MS) and photosynthetically active radiation intercepted (PAR_I). The light extinction coefficient (K) by maize canopy was estimate through the ratio between photosynthetically active radiation transmitted (PAR_T) and leaf area index (IAF), with values of two experiments of same cultivar, in 2002 and 2003, both conducted of the experimental area in the Sciences Agrarians Center of Federal University of Alagoas, Rio Largo-AL. The value of K (0,565) showed coefficient of determination (r²=0,95). The fraction of the PAR_I was of 0.84 when the crop had IAF equal 3,3. The RUE was 3,76 g of MS per each MJ of PAR_I, with coefficient of determination equal 0,88.

Keywords: solar radiation, dry matter e *Zea mays* L..

INTRODUÇÃO: A fotossíntese é um processo de transformação de energia pelas plantas - energia solar interceptada na faixa do visível é convertida em energia química onde, o carbono fixado da atmosfera é utilizado na formação de fotoassimilados. Assim, a quantidade de luz interceptada tem influência direta no crescimento vegetal e, conseqüentemente, sobre a produtividade das culturas agrícolas. É notável também diferença no padrão de crescimento de plantas em áreas sombreadas em relação às de áreas com plena incidência de luz solar. O grau de interceptação da radiação pelo

dossel das plantas cultivadas depende não somente da área foliar (AF), mas também de outras características tais como o ângulo das folhas, arquitetura do dossel e arranjo das plantas (VARLET-GRANCHER et al., 1989; RADIN et al 2003). O fluxo de radiação solar sofre uma atenuação exponencial ao atravessar o dossel vegetativo. Um importante parâmetro para determinação desse grau de transmissão é o coeficiente de extinção da luz (K), que é uma constante adimensional dependente das propriedades óticas das folhas e da geometria do dossel (CARON et al., 2002). O crescimento vegetal em relação à radiação solar pode ser representado pela eficiência do uso da radiação (RUE – Radiation Use Efficiency), quando cada espécie vegetal é cultivada sem limitações hídricas e, ou minerais. Nessas condições, considera-se uma relação linear entre o acúmulo de matéria seca e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura (TEI et al., 1996). Essa eficiência pode ser utilizada em modelos de simulação de crescimento de culturas ou na estimativa da produção potencial. Este trabalho visa fornecer uma avaliação do crescimento da cultura do milho em função da radiação solar interceptada e determinar a eficiência do uso da radiação do milho para a região de Arapiraca-AL.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado numa área de 6120 m², com cerca de 60 hectares de cultivos comerciais de milho no seu entorno. As avaliações foram realizadas entre junho e outubro de 2005, na Vila São José, região de Arapiraca-AL (09°38'35,3"S; 36°40'15,5"W; 260m). A área apresentava declividade média de 5 % e solo franco arenoso. A variedade plantada foi a BR 106 da Embrapa, no espaçamento de 0,80 m entre linhas e 0,20 m entre plantas, que resultou num “stand” de 62.500 plantas por hectare. O plantio foi realizado no dia 04/06/2005, com linhas no sentido SW-NE. A adubação de plantio foi de 30 kg de N ha⁻¹, 66 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 36 kg de K₂O ha⁻¹.

Semanalmente, colhiam-se nove plantas e transportavam-se até o laboratório. Dessas plantas foram separadas folhas, caules e espigas (caso houvesse), sendo posteriormente acondicionadas em sacos de papel e colocadas na estufa á 72 °C, até sua massa seca (MS) torna-se constante. Mediu-se também, com a mesma periodicidade, a máxima largura (L) e o comprimento (C) de todas as folhas de dez plantas, selecionadas aleatoriamente no início da primeira amostragem. Determinou-se a área foliar de cada folha, pelo produto de L por C, sendo esse corrigido por um coeficiente de forma de 0,75 (MONTGOMERY, 1911; MADDONNI & OTEGUI, 1996). A soma da área de todas as folhas de uma planta representou sua área foliar, que foi dividida pela área de solo (AS) ocupada pela mesma, para encontrar o índice de área foliar (IAF). IAF dos dias de amostragens foram usados para mostra a variação no ciclo da cultura, através de ajuste polinomial feito em função dos dias após o plantio (DAP).

As fases de desenvolvimento foram estabelecidas segundo recomendação da FAO (ALLEN et al., 1998), onde o ciclo da cultura (126 dias) no presente experimento foi semelhante ao apresentado no Boletim 56 da FAO (125 dias). Assim, as fases de desenvolvimento, foram as seguintes: inicial - I (04/06/05 a 24/06/05), de crescimento - II (25/06/05 a 29/07/05), intermediária - III (30/08/05 a 7/09/05) e final – IV (08/09/05 a 08/10/05).

Os elementos ambientais foram medidos por sensores automáticos ligados a um sistema de aquisição de dados (CR10X, Campbell Scienntific, Logan, Utah), localizado no centro da área de cultivo. Os dados de radiação solar global (Rg) foram monitorados por um piranômetro (CM3, KIPP & ZONEN, Netherlands). Obteve-se também o potencial de água no solo (ψ), temperatura do ar e precipitação pluvial, para avaliar a ocorrência de limitações hídricas e térmicas. O potencial de água no solo foi utilizado para determinar sua umidade volumétrica (θ), pelo método de van Genuchten:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \Psi_m)^n]} b \quad (1)$$

em que, α (0,0169), n (0,574) e b (25,604) são constantes obtidas no ajuste do modelo e θ_r (0,067 m³ m⁻³) é a umidade residual do solo e θ_s (0,261 m³ m⁻³) é a umidade do solo saturado determinados em campo. O ajuste do modelo foi realizado com a umidade volumétrica medida no

local do experimento, por refletômetros de conteúdo de água (CS616 Water Content Reflectometers, Campbell Scientific, Logan, Utah), e simultaneamente pelo sensor de potencial de água no solo (CSI sensor Models 257). A água disponível (AD) no solo que foi obtida pelo armazenamento entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), considerando a umidade do solo (52,9 mm) após um período consecutivo de sete dias de chuva com total de 99,3 mm para CC e a umidade do solo (19,6 mm) após um período sem chuva de 20 dias, no final do experimento para PMP, para uma profundidade de 30 cm.

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi estimada como 44 % da Rg. Essa relação representa o valor médio encontrado para a região de estudo (SOUZA et al, 2005). A radiação fotossinteticamente ativa interceptada (PAR_I) foi calculada por diferença, pela seguinte relação (VARLET-GRANCHER et al., 1989):

$$PAR_I = PAR - PAR_T \quad (2)$$

em que, PAR_T é a radiação fotossinteticamente ativa transmitida, estimada usando a equação similar a Lei de Beer :

$$PAR_T = PAR \exp^{-K IAF} \quad (3)$$

em que, K é o coeficiente de extinção da luz pelo dossel. O coeficiente de extinção foi obtido pelo coeficiente angular da regressão linear ($-\ln fPAR_T$ versus IAF) forçada a passar pela origem. Os dados utilizados na sua determinação foram de dois experimentos do mesmo cultivar de milho, realizados nos anos 2001 e 2002, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo-AL, (09°28'02" S; 35°49'43" W; 127 m). Após a determinação da PAR_I , estimou-se a RUE através de regressão linear entre MS acumulada e a PAR_I .

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A umidade do solo no período entre o plantio e 90 DAP, apresentou sete dias com valores com máximo 1 mm abaixo da água facilmente disponível (Figura 1a), que para o milho corresponde a 55 % da água disponível (ALLEN et al., 1998). Assim, a cultura não teve limitação de água, já que após esse período iniciou a fase final que corresponde à maturação e senescência. A temperatura média diária do ar variou entre 20,1 e 25,7 °C, durante o período experimental, não ocorrendo limitação térmica para o desenvolvimento do milho, considerando a faixa térmica adequada ao crescimento e desenvolvimento da cultura entre 10 e 30 °C (WARRINGTON and ANTHESIS, 1983). A radiação solar global teve média de 17,3 MJ m⁻², com variação de 4,6 a 26,7 MJ m⁻². Essa elevada amplitude ocorreu devido a dias de alta nebulosidade e precipitação pluvial durante o período experimental. A quantidade da precipitação pluviométrica acumulada (chuva total) durante o cultivo foi de 355,9 mm (Figura 1b), com 82 dias de chuva.

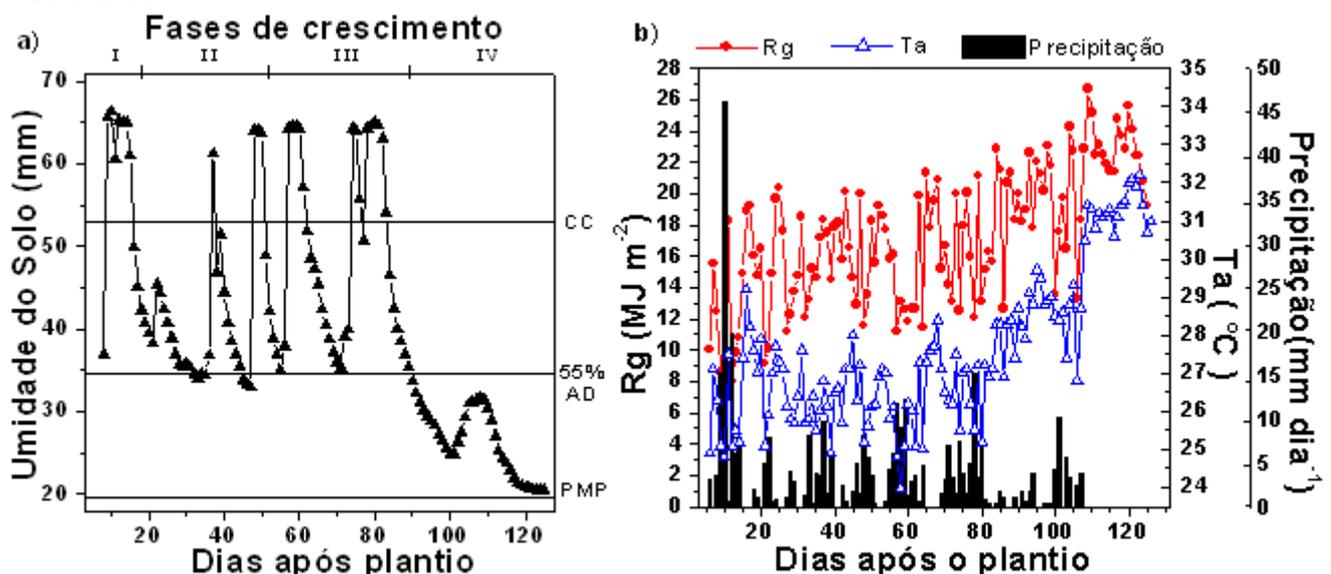


Figura 1: a) umidade do solo com sua respectiva capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD = CC – PM) e b) radiação solar global (Rg), temperatura

média do ar (Ta) e precipitação pluviométrica diárias durante o ciclo da cultura do milho na região de Arapiraca-AL.

A variação da radiação transmitida e interceptada no ciclo de cultivo do milho em função do IAF conferiu um K de 0,565 com coeficiente de determinação ($r^2 = 0,95$), o que indicou precisão satisfatória (Figura 2a).

Para as variáveis ambientais apresentadas anteriormente, a eficiência de conversão da PAR_I em fitomassa seca do milho foi de 3,76 g de MS para cada MJ de PAR_I (Figura 2b). A RUE mostrou-se similar a outras pesquisas com milho (KINIRY et al, 1989; CIRILO & ANDRADE, 1994), onde este fator variou de 3,5 a 4,2 g MS MJ^{-1} . Resultados próximos já foram encontrados para a cultura do sorgo, que também é uma espécie C_4 (RITCHIE & ALAGARSWAMY citado por CARON, 2002).

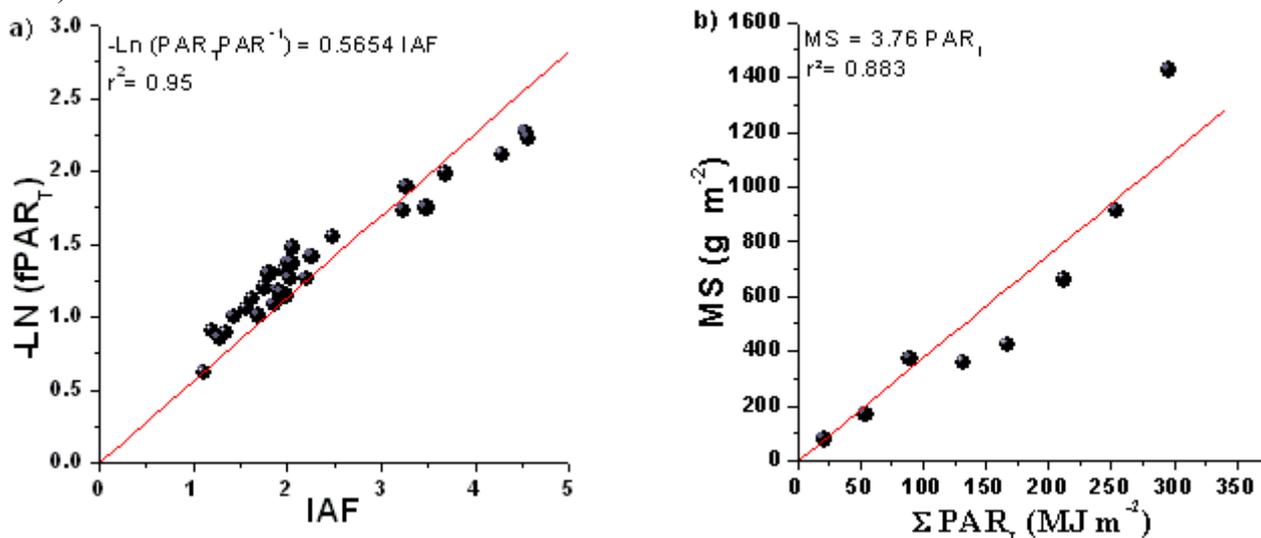


Figura 2: a) regressão linear entre fração de radiação fotossinteticamente ativa transmitida, $-\ln(fPAR_T)$, e o índice de área foliar (IAF); b) relação entre a radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (PAR_I , $MJ m^{-2}$) e a produção de massa seca acumulada (MS, $g m^{-2}$) do milho na região de Arapiraca-AL.

A fase de crescimento III apresentou a maior média da fração da PAR_I que foi 0,8 (Tabela 1). Nesta fase, aos 68 DAP a cultura teve o máximo IAF (3,3) e a fração da PAR_I foi 0,84. Com o valor do IAF igual a 3,0 a fração da PAR_I foi 0,81. Esse valor é próximo ao encontrado por Maddoni & Otequi (1996), que para o mesmo valor de IAF, a fração foi de 0,80.

Tabela 1 - Comprimento dos estádios de desenvolvimento (dias), índice de área foliar (IAF), massa seca acumulada (MS, g), radiação fotossinteticamente ativa incidente acumulada (PAR, $MJ m^{-2}$), radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (PAR_I , $MJ m^{-2}$) e fração média da radiação fotossinteticamente ativa interceptada ($fPAR_I$), para os estádio de desenvolvimento da cultura do milho na região de Arapiraca-AL.

Fase de crescimento	Tempo (em dias)	IAF	MS (g)	PAR ($MJ m^{-2}$)	PAR_I ($MJ m^{-2}$)	$fPAR_I$ (média)
I	20	-	4,9	110,5	-	-
II	35	0,0 - 2,9	52,9	242,5	126,6	0,5
III	40	3,0 - 3,3	171,7	297,9	239,5	0,8
IV	31	1,9 - 0,0	11,8	282,9	57,9	0,4

fase inicial – I ; fase de crescimento – II ; fase intermediária – III ; fase final – IV.

CONCLUSÃO: O acúmulo da PAR_I tem relação satisfatória com a matéria seca acumulada ($R^2=0.88$), sendo um parâmetro adequado para quantificar a produção de fitomassa da cultura do milho. A fração da PAR_I apresenta o maior valor quando o IAF é máximo.

AGRADECIMENTOS: CT-Hidro/CNPq 504068/03-2, PMGCA/UFAL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.S.; RAES D.; SMITH M. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. **FAO – Rome**, 1998. 208p. (Irrigation and Drainage paper, 56).
- CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; MADEIROS, SW. L. P.; HELDWEIN, A. B.; MANFRON, P. A. Eficiência de converção da radiação solar fotossinteticamente ativa e distribuição de fitomassa produzida no meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n 2, p. 215-219, 2002.
- CIRILO, A. G.; ANDRADE, F. H. Sowing date maize productivity: crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1039-1043, 1994.
- KIRINY, J. R.; JONES, C. A.; O'TOOLE, J. C. et al. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 20, p. 51-64, 1989.
- MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E. Leaf área, light interception, and crop development in maize. **Field Crops Research**, 48 (1996) 81-87.
- MONTGOMERY, E. C. Correlation studies in corn. In: **Nebraska Agric. Exp. Stn. Annu. Rep.**, 24th, Lincoln, NE, pp.251, 1911.
- RADIN, B.; BERGAMASCH, H.; REISSER JUNIOR, C.; BARNI, N. A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I. A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.9, p. 1017-1023, set. 2003.
- RITCHIE, J. T.; ALAGARWAMY, G. Physiology of sorghum and pearl millet. In: VIRMANI, S. M.; TANDON H. L. S.; ALAGARWAMY G. (eds). **Modeling the growth and development of sorghum and pearl millet**. ICRISAT, India, 1989. p. 45 (Research Bulletin n. 12)
- SOUZA, J. L.; TAVARES, P. S.; TEODORO, I.; SILVA, P. R. T.; SILVA NETO, J. L. Irradiância solar global e radiação fotossinteticamente ativa em Maceió, ano 2003. In: **XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Campinas, SP. Agrometeorologia, Agroclimatologia e Agronegócio. Campinas; SBA/UNICAMP. CD-ROW.
- TEI, F.; SCAIFEI, A.; AIKMAN. D. P. Growth of lettuce, onion, and red beet. 1. Growth Analysis, Light interception, and radiation Use efficiency. **Annals of botany**, 78: 633-643, 1996.
- VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; SINOQUET, H.; BONHOMME, R.; ALLIRAND, J. M. Mise au point : rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 419-439, 1989.
- WARRINGTON, I. J.; KANEMASU, E. T. Corn growth response to temperature and photoperiod. I. Seedling emergence, tassel initiation, and anthesis. **Agronomy Journal**. v. 75, p. 749-754.