

AJUSTE DO MODELO DE CRESCIMENTO EXPOLINEAR PARA O FEIJÃO-CAUPI NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO

LUCIANA S. B. SOUZA¹, MAGNA S. B. MOURA², THIERES G. F. SILVA³,
JOSÉ M. SOARES², WEIDSON S. SANTOS⁴

¹Graduando de Biologia, Bolsista do CNPq/ Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, CP 23, CEP 56302-970, Petrolina - PE, Fone: (87) 3862-1711. E-mail: luciana.souza@cpatsa.embrapa.br. ²Eng. Agrônomo (a), Pesq. Dr (a). Embrapa Semi-Árido. E-mail: magna@cpatsa.embrapa.br, monteiro@cpatsa.embrapa.br. ³Eng. Agrônomo, Doutorando, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. E-mail: thieresfreire@vicosa.ufv.br. ⁴Graduando, Matemática, Bolsista FUNCAMP, Embrapa Semi-Árido. E-mail: weidson.souza@cpatsa.embrapa.br

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

RESUMO: O modelo expolinear utiliza-se de parâmetros biológicos (taxa de crescimento absoluto c_m ; taxa de crescimento relativo r_m ; e tempo perdido t_p) que podem ser utilizados para analisar o crescimento de plantas sob diferentes condições de cultivo. Assim, o objetivo deste trabalho foi ajustar este modelo, utilizando como variáveis independentes os graus-dia acumulados (GDA) e os dias após a semeadura (DAS) e por meio dos parâmetros obtidos, caracterizar o crescimento da cultura do feijão-caupi submetida aos sistemas de plantio exclusivo (PE) e em consórcio com a cultura do milho (PC) nas condições climáticas do semi-árido. Os resultados mostraram que o modelo expolinear apresentou bons ajustes ($R^2 > 0,9792$). Em relação as variáveis independentes observou-se que os maiores valores de R^2 foram obtidos com os valores de DAS, contudo, devido o empirismo desses valores, a aplicação dos resultados obtidos são limitados às condições climáticas do experimento. As plantas submetidas ao sistema PE apresentaram valores de c_m e r_m superiores aos obtidos pelas plantas do sistema PC, sugerindo as plantas do feijão-caupi submetidas ao sistema consorciado, apresentaram rendimento morfofisiológico inferior.

PALAVRAS-CHAVE: desenvolvimento regional, modelagem, *Vigna unguiculada* L.

ABSTRACT: The expolinear model is used of biological parameters (absolute growth rate, c_m ; relative growth rate, r_m ; and "lost time", t_b) that can be used to analyze the growth of plants under different cultivation conditions. Thus, the objective of that work was to adjust that model using as independent variables the accumulated degree-days (ADD) and the days after the sowing (DAS) and through the obtained parameters, to characterize the growth of the culture of the bean-cowpea submitted to the systems of exclusive planting (EP) and in consortium with the culture of the corn (CP) in the climatic conditions of the semi-arid of the northeast. The results showed that the expolinear model presented good adjustments ($R^2 > 0,9792$). In relationship the independent variables were observed that the largest values of R^2 were obtained with the values of DAS, however, due the empiricism of those values, the application of the obtained results is limited to the climatic conditions of the experiment. The plants submitted to the EP system presented values of the c_m , r_m and t_b larger to the obtained by the plants of the CP system, suggesting the plants of

the bean-cowpea submitted to the CP system, under the conditions of cultivation of the present experiment, they presented morphology and physiologic efficiency lowest.

KEY WORDS: modeling, regional development, *Vigna unguiculada* L.

INTRODUÇÃO: O feijão-caupi (*Vigna unguiculada* L.) é uma leguminosa de grande importância protéica, consumida, principalmente, nos estados das regiões Norte e Nordeste do país (BEZERRA E SAUNDERS, 1992). Os efeitos de sistemas de manejo das plantas, podem ser avaliados mediante análise de crescimento, pois permite descrever as mudanças na produção vegetal em função do tempo, o que não é possível por meio apenas do registro do rendimento (URCHEI et al., 2000). Uma das maneiras de se realizar esse tipo de análise é utilizando modelos mecanísticos que simulam o crescimento de plantas, levando em consideração processos biofísicos. Dentre esses modelos, tem-se o expolinear que utiliza os parâmetros biológicos como taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo e tempo perdido, que se refere ao tempo gasto pela planta para passar da fase de crescimento exponencial e entrar na fase de crescimento linear (GOUDRIAAN & MONTEITH, 1990). Vários trabalhos têm utilizado o modelo expolinear visando obter informações sobre efeito do sistema de produção (ISHAG & DENNETT, 1998; LEE et al., 2003). No Brasil, poucos estudos de fisiologia do feijão-caupi têm sido conduzidos com a finalidade de se verificar a resposta dessa cultura aos fatores climáticos. Assim, o objetivo desse trabalho foi ajustar o modelo de crescimento expolinear na cultura do feijão-caupi submetida a dois tipos de sistema de plantio sob as condições climáticas do semi-árido brasileiro.

MATERIAIS E MÉTODOS: O experimento foi conduzido em solo classificado como Podzólico Amarelo eutrófico latossólico com fragipã, textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano, moderadamente drenado, com lençol freático a 1,80m de profundidade, situado no Campo Experimental de Bebedouro (09°09'S; 40°22'W), pertencente à Embrapa Semi-Árido, localizada no município de Petrolina – PE. As cultivares de feijão (*Vigna unguiculada* L.) e de milho (*Zea mays*) avaliadas foram Guaribas e Caatingueiro superprecoce, respectivamente, irrigados por gotejamento, consistindo em dois tratamentos, sendo o primeiro, um sistema de plantio com feijão exclusivo (PE) e o segundo em consórcio com milho (PC). A semeadura da cultura do feijão, de ambos os tratamentos (PE e PC), foi realizada no dia 30/10/2006, enquanto que, a do milho foi realizada no dia 20/10/2006. O esquema de delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições, sendo cada parcela constituída por três fileiras. No sistema PE o espaçamento de plantio foi de 0,70 m entre fileiras e de 0,30 m entre plantas de feijoeiro, resultando em uma densidade de plantio de 50.125 plantas por hectare. Para o PC, as plantas de feijão foram dispostas no espaçamento de 0,20 m entre plantas e 2 m entre fileiras, enquanto que, as plantas de milho foram espaçadas em 0,25 m entre plantas e em 2 m entre fileiras. O espaçamento entre as fileiras de feijão e de milho no consórcio foi de 1 m, resultando assim, numa densidade de 25.000 plantas de feijão e 20.000 plantas de milho por hectare. Ambos os experimentos foram submetidos aos mesmos tratamentos culturais antes e durante o ciclo das culturas. Para obtenção da matéria seca total (MST) foram realizadas 6 amostragens para a cultura do feijão, com uma planta por repetição, resultando em 5 plantas por amostragem, que foram realizadas nos dias 9, 23, 38, 51, 65 e 77 dias após a semeadura (DAS). As plantas selecionadas foram levadas ao laboratório para serem divididas em partes (caules, folhas e

vagens), e, posteriormente colocadas em estufa com aeração forçada, onde permaneceram por 72 horas a temperatura de 70°C, a fim de obter os valores de pesos secos constantes. Durante o experimento foram registradas as datas dos subperíodos: plantio-emergência, emergência-floração, floração-maturação e maturação-colheita. Os dados de temperatura do ar foram obtidos por meio de uma estação meteorológica automática. Para o cálculo dos graus-dia acumulados (GDA) foi utilizada a seguinte expressão:

$$GDA = \sum \left[\left(\left(\frac{t_x + t_n}{2} \right) - t_b \right) \right] \dots \dots \dots (1)$$

onde, t_x = temperatura máxima do ar, t_n = temperatura mínima do ar e t_b = temperatura base inferior. Para t_b utilizou-se o valor de 10°C. Na realização da simulação do crescimento das plantas de feijão submetidas aos dois sistemas de plantio (exclusivo e consórcio) foi utilizado o modelo expolinear (GOUDRIAAN & MONTEITH, 1990) na forma logarítmica, como proposto por TEI et al. (1996):

$$\ln(W) = \ln\left(\frac{c_m}{r_m}\right) + \ln\left[\ln\left(1 + \exp(r_m(x - t_p))\right)\right] \dots \dots \dots (2)$$

onde, w = matéria seca da planta (caules, folhas e vagens), excluindo as raízes (g.m^{-2}), \ln = logaritmo neperiano, c_m = taxa de crescimento absoluto ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), r_m (taxa de crescimento relativo inicial, $\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$), t_p (“tempo perdido”, dias) e x = tempo de crescimento. Os valores de x utilizados foram dias após a semeadura (DAS) e graus-dia acumulados (GDA). Utilizando como dados de entrada do modelo, os valores de MSA e os respectivos valores de DAS e GDA de cada uma das amostragens, foram obtidos os valores de c_m , r_m e t_p .

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na simulação do crescimento da cultura do feijão submetida aos sistemas de plantio exclusivo (PE) e em consórcio (PC) observou-se que, para ambos, o modelo expolinear apresentou bons ajustes, utilizando como variáveis independentes os graus-dia acumulados (GDA) e os dias após a semeadura (DAS). Esses resultados mostram a superioridade do modelo expolinear em simular o crescimento de plantas em relação aos modelos matemáticos simples como, por exemplo, os modelos polinomiais quadráticos, que não consideram parâmetros biológicos (ISHAG & DENNETT, 1998). Os valores de R^2 para os sistemas PE e PC, adotando como variável independente DAS, foram iguais a 0,9975 e 0,9816, respectivamente (Figura 1). Considerando os GDA como variável independente, os valores de R^2 foram, nessa ordem, iguais a 0,9966 e 0,97292 para o sistema PE e PC (Figura 2).

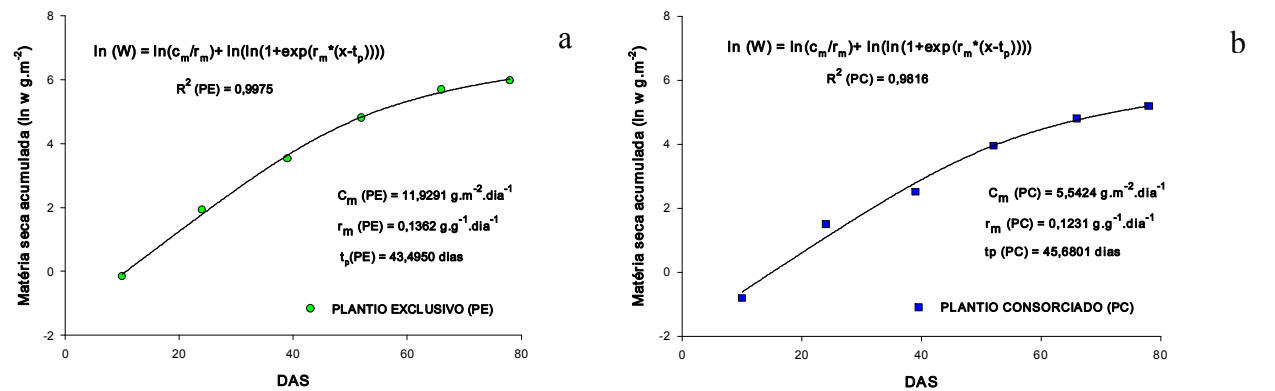


Figura 1 – Curvas de ajuste (—) e parâmetros biológicos (c_m , r_m ; e t_p) obtidos mediante o uso do modelo de crescimento expolinar e utilização dos dias após a semeadura (DAS) como variável independente, para a cultura do feijão (*Vigna unguiculada* L.), cultivar Guaribas, em sistema de plantio exclusivo (a) e consorciado (b), nas condições do semi-árido nordestino.

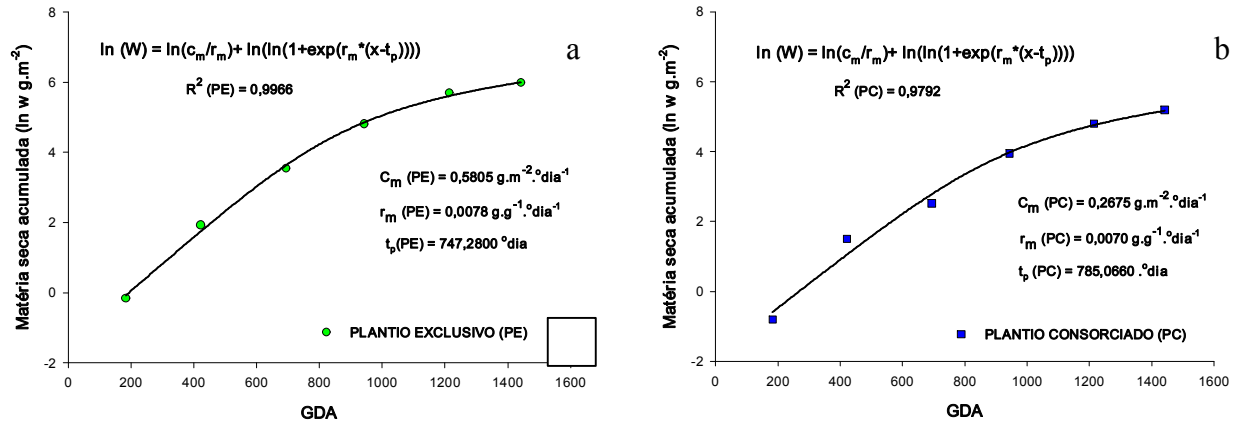


Figura 2 – Curvas de ajuste (—) e parâmetros biológicos (c_m , r_m ; e t_p) obtidos mediante o uso do modelo de crescimento expolinar e utilização dos graus-dias acumulados (GDA) como variável independente, para a cultura do feijão (*Vigna unguiculada* L.), cultivar Guaribas, em sistema de plantio exclusivo (a) e consorciado (b), nas condições do semi-árido nordestino.

TEI et al. (1996) utilizando o modelo expolinar para simular o crescimento de plantas de alface, cebola e beterraba obtiveram valores de R^2 iguais a 0,996, 0,996 e 0,996, quando a variável utilizada foi o tempo em dias e valores de 0,993, 0,997 e 0,996, quando consideraram os GDA, respectivamente. Apesar dos GDA ser uma variável que consegue descrever melhor o crescimento e desenvolvimento das plantas em relação à temperatura do ar (LYRA et al., 2003), pode-se observar que os valores dos coeficientes de determinação (R^2) do modelo expolinar, nos dois sistemas (PE e PC) e utilizando o GDA como variável independente, foram inferiores aos obtidos pelo modelo quando se considerou os DAS. No entanto, devido ao empirismo dos resultados obtidos com os valores de DAS, a aplicação dos mesmos são limitados às condições climáticas do experimento (LYRA et al., 2003). Resultados semelhantes foram obtidos por TEI et al. (1996) para a cultura da alface, como podem ser observados nos valores de R^2 , citados anteriormente para essa cultura. No final do experimento, constatou-se que as plantas do feijoeiro submetidas ao sistema PE apresentaram valores da taxa de crescimento relativo (r_m) e da taxa de crescimento absoluto (c_m) iguais a $0,1362 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e $11,9291 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Para as plantas do sistema PC os valores de r_m e c_m foram iguais a $0,1231 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e $5,5424 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente. Devido as plantas do feijoeiro dos dois sistemas de plantio terem sido cultivadas em densidades diferentes (PE: $5,0 \text{ g m}^{-2}$ e PC: $2,5 \text{ g m}^{-2}$), ou seja, apresentarem matéria seca acumulada distintas na mesma unidade de área e tempo (78 dias), observa-se que o valor de c_m do sistema PE foi praticamente o dobro em relação ao valor obtido pelas plantas do sistema PC. Para comparar o efeito do sistema de produção sobre as plantas do feijão-caupi, levando em consideração a matéria acumulada pelas plantas, os valores de r_m são os mais recomendados, uma vez que, representa a quantidade de matéria seca produzida por unidade de matéria existente. Com os resultados, foi possível constatar que as plantas do sistema PE apresentaram maior desempenho morfofisiológico quando comparados com as plantas do sistema PC, uma vez que

obtiveram valor de r_m superior. As plantas do sistema PE apresentaram valor de t_b igual a 43,4950 dias, sendo inferior ao obtido pelas plantas do sistema PC, cujo o valor foi igual a 45,6801 dias, indicando que as plantas do sistema PE permaneceram mais tempo produzindo grãos, quando comparadas com aquelas do sistema PC. Esses resultados sugerem que as plantas do sistema PE provavelmente apresentaram melhores condições de crescimento, contribuindo, para uma maior absorção de água, nutrientes e de energia luminosa ao longo do ciclo (URCHEI et al., 2000).

CONCLUSÃO: Com os resultados obtidos nesse trabalho, conclui-se que: a) o modelo expolinear pode ser utilizado na simulação de crescimento da cultura do feijoeiro com elevado grau de precisão. b) os valores dos parâmetros biológicos obtidos a partir desse modelo sugerem que as plantas do feijoeiro submetidas ao sistema de cultivo em consórcio com o milho apresentaram desempenho morfofisiológico inferior às plantas submetidas ao sistema exclusivo. c) os modelos gerados podem ser acoplados, na forma de sub-modelos, na simulação dos impactos de mudanças climáticas sobre o crescimento das plantas.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao MDA e a Embrapa pelo apoio financeiro, e ao CNPq pela concessão de bolsa de PIBIC (Processo 117410/2006-3).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BEZERRA, F. M. L.; SAUNDERS, R. C. U. Irrigação de dois cultivares de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. Walp) em três épocas de plantio sob dois níveis de irrigação no Vale do Curu. *Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 23, p.39-44, Junho/Dezembro, 1992.
- GOUDRIAAN, J.; MONTEITH, J. L. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf area expansion. *Annals of Botany*, v.66, p.695-701, 1990.
- ISHAG, K. H. M.; DENNETT, M. D. Use of the Expolinear Growth Model to Analyse the Growth of Faba bean, Peas and Lentils at Three Densities: Fitting the Model. *Annals of Botany*, v.82, p.497-505, 1998.
- LEE, J. H.; GROUDRIAAN, A.; CHALLA, H. Using the expolinear growth equation for modeling crop growth in year-round cut chrysanthemum. *Annals of Botany*, v.92, p.697-708, 2003.
- LYRA, G.B.; ZOLNIER, S.; COSTA, L.C. da; SEDIYAMA, G.C.; SEDIYAMA, M.A.N. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 69-77, 2003.
- TEI, F.; AIKMAN, D.P.; SCAIFE, A. Growth of lettuce, onion and red beet. 2. Growth Modeling. *Annals of botany*, London, v. 78, n. 5, p. 645-652, 1996 a.
- URCHEI, M.A.; RODRIGUES, J.D.; STONE, L.F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.3, p.497-506, março de 2000.