

MODELO PARA ESTIMAR A PROLIFICIDADE E A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DE MILHO

DOURADO NETO, D.^{1,7}; MANFRON, P.A.^{2,7}; FRIZZONE, J.A.^{3,7}; NASS, L.L.⁴; PILAU, F.G.⁵; BONNECARRÈRE, R.A.G.^{6,7}

RESUMO: O experimento foi conduzido na área da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, SP, sob o regime de irrigação por aspersão (pivô central), com o objetivo de propor uma equação que permita estimar a produtividade da cultura de milho. Utilizaram-se os materiais genéticos Pioneer 4071, BR 206 e Fatura 5013, em três espaçamentos (0,5; 0,7 e 0,9 m), sendo realizadas as determinações da população final de plantas, do número de espigas por planta, do número de grãos por espiga, do teor de água do grão, da massa média de grãos por espiga, da massa de 100 grãos, da massa de grãos por espiga e da produtividade de grãos. Os resultados obtidos permitiram concluir que a prolificidade aumentou com o aumento do espaçamento e que as equações de estimativa de prolificidade e produtividade de grãos da cultura do milho se apresentaram eficazes.

Palavras-chave: milho, produtividade, prolificidade.

MODEL TO ESTIMATE CROP CORN PROLIFICACY AND PRODUCTIVITY

ABSTRACT: The experiment was carried out in Piracicaba, SP, Brazil, under irrigation (center pivot system), with the aim to propose an equation to estimate corn yield. The hybrids (Pioneer 4071, BR 206 and F 5013) were sowed at different row spacing (0.5, 0.7 and 0.9 m). Plant population at harvest time, number of ears per plant, mean number of grains per ear, grain water content, mass of 100 grains, mean mass of grains per ear and grain yield were measured. Results showed that the prolificacy increased proportionally to the space between plant rows, and the proposed equations can be used to estimate the prolificacy and grain yield.

Key words: corn, productivity, prolificacy.

¹ Professor do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP. Piracicaba (SP). E-mail: dourado@esalq.usp.br.

² Professor do Departamento de Fitotecnia do CCR/UFSM. Santa Maria (RS).

³ Professor do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP.

⁴ Pesquisador da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Brasília (DF).

⁵ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Física do Ambiente Agrícola da ESALQ/USP.

⁶ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da ESALQ/USP.

⁷ Bolsista CNPq.

Recebido pela Comissão Editorial em: 17.06.03

Aprovado pela Comissão Editorial em: 26.01.04

INTRODUÇÃO

Modelos de estimativa de produtividade de culturas estão sendo usados por pesquisadores de diversas partes do mundo. Estes têm testado a habilidade dos modelos na simulação de eventos fenológicos, na produção de biomassa e na

produtividade de grãos (Fancelli, 1995). CERS-Maize é um modelo de simulação do crescimento e do desenvolvimento da cultura do milho, desenvolvido nos Estados Unidos da América (Jones & Kiniry, 1986; Kiniry & Bonhome, 1991) e testado naquele país (Weiss & Piper, 1992; e Piper & Weiss, 1990, 1993), na França (Plantureux et al., 1991), na Austrália (Carberry et al.,

1989), na Nigéria (Jagtap et al., 1993), na China (Wu et al., 1989) e no Brasil (Liu, 1989; e Lima, 1995). Muitos desses autores relataram que, para ajustar as simulações às observações de campo, foram necessárias poucas modificações no modelo (Vos & Mallett, 1987 e Retta et al., 1991).

A densidade de plantas exerce grande influência sobre a produtividade final da cultura, principalmente devido ao efeito da competição intra e inter-específica. A distribuição e a densidade de plantas são definidas pelas características de arquitetura da parte aérea e do sistema radicular, os quais estão associados a fatores climáticos, edáficos e de manejo da cultura.

Sabe-se que, em baixas densidades de plantas, a produção por planta é maximizada. Aumentando a densidade populacional, tem-se declínio na produção individual e o aumento na produtividade por área, até alcançar um valor máximo, quando ambos, produção individual e produção por área, declinam (Fornasier Filho, 1992).

Dessa forma, diversos estudos têm sido realizados na cultura de milho, para determinar o espaçamento e a população ideal, nas diferentes condições edafoclimáticas (Aldrich et al., 1975; Karlen & Camp, 1985; Medeiros & Viana, 1980 e Rizzardi et al., 1994).

Batistela et al. (1977), testando densidades e espaçamentos para a semeadura de milho no Rio Grande do Sul, em diferentes condições de disponibilidade hídrica, constataram que a melhor população para materiais precoces e tardios, em alta disponibilidade hídrica, foi de 50.000 e 40.000 plantas ha^{-1} , respectivamente, e, com baixa disponibilidade de 40.000 e 30.000 plantas ha^{-1} , respectivamente.

Avaliando um híbrido precoce em três espaçamentos, combinados com diferentes populações

de plantas, Mundstock (1978) concluiu que o espaçamento de 0,50m proporcionou a maior produtividade. Tal efeito foi mais pronunciado nas maiores populações (70.000 a 90.000 plantas ha^{-1}), indicando que espaçamentos menores tendem a ser mais apropriados para maiores populações de plantas.

Manfron et al. (1991), ao avaliar o híbrido AG 401 em três espaçamentos e condições diferentes de preparo de solo, observaram maiores produtividades no espaçamento 1,1 m, quando comparado a 0,7 e 0,9 m, tanto no preparo convencional, quanto na subsolagem.

Barreiro et al. (1989), estudando espaçamentos de 0,7 e 0,9 m, associados às populações de plantas de 20.000, 40.000 e 70.000 planta. ha^{-1} para cinco materiais genéticos de milho, obtiveram maior produtividade de grãos com o espaçamento de 0,7 m.

De modo geral, no Brasil, produtividades elevadas têm sido obtidas com 55.000 a 70.000 planta. ha^{-1} , adaptando-se espaçamentos variáveis entre 0,65m e 0,80m, apresentando 3,5 a 5,0 planta. m^{-1} , arranjados de forma a minimizar as relações de competição por água, por nutrientes e por radiação solar direta, principalmente. Ressalta-se que tais recomendações se referem normalmente a sistemas de produção irrigados e mantidos sob contínuo acompanhamento e orientação.

Porém, devido ao longo tempo para a obtenção dos resultados e ao alto dispêndio financeiro da implantação dos experimentos, a busca por modelos estatísticos capazes de prever, com relativa precisão, a produção da cultura de interesse sob determinadas condições climáticas, edáficas e de manejo, é cada vez maior.

O objetivo deste trabalho foi propor equações que permitam estimar a prolificidade e a produtividade da cultura de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em solo classificado como NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico, na área da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, SP, utilizando-se os materiais genéticos Pioneer 4071, BR 206 e Fartura 5013 em três espaçamentos (0,5; 0,7 e 0,9 m), sob irrigação por aspersão (pivô central). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, no esquema fatorial, com quatro repetições.

A adubação de base foi de 100 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 80 kg.ha⁻¹ de K₂O e 4kg.ha⁻¹ de micronutrientes, usando como fonte, respectivamente, superfosfato simples, cloreto de potássio e FTE BR-12. As parcelas foram de 20, 28, e 36m² (quatro fileiras de 10m de comprimento), sendo considerados, como área útil, os 10m² centrais. As sementes de milho foram tratadas previamente com inseticida à base de carbofuram, na dosagem de 2,0 litros por 100 kg de sementes. A irrigação e o controle de pragas, de plantas daninhas e de doenças foram feitos quando necessários.

Foi realizada adubação nitrogenada, pela aplicação de 120 kg.ha⁻¹ de N, na forma de uréia, aplicação convencional de 30 kg.ha⁻¹ de N na semeadura e 90 kg.ha⁻¹ em cobertura. O nitrogênio em cobertura foi aplicado quando as plantas apresentaram oito folhas, o que ocorreu aos 31 dias após a emergência (DAE).

Foram avaliados, de acordo com os tratamentos, a população final de plantas, o número de espigas por planta, o número de grãos por espiga, a massa média de grãos por espiga, a massa de 100 grãos e a produtividade de grãos.

O número de grãos por espiga foi determinado pelo produto entre o número médio de fileiras de grãos por espiga pelo número médio de grãos por fileira, contabilizando 80 espigas por material genético.

O número de espigas por planta foi obtido pela colheita e pela contagem das espigas de 20 plantas na área útil. A massa média de grãos por espiga foi obtida pela divisão entre a massa total de grãos, após a trilha manual, pelo número de espigas.

O teor de água (U, g.g⁻¹) e a base de massa (base úmida) nos grãos foram determinados, utilizando-se o método padrão de estufa:

$$U = \frac{m_w}{m_u} \quad (1)$$

em que m_w se refere à massa (g) de água e m_u à massa (g) úmida de grãos.

Para a obtenção da massa de 100 grãos, separou-se 1 kg de grãos, os quais foram uniformizados por meio de peneiras, sendo utilizados os retidos na peneira 20. Desses, foram contados 10 grupos de 100 grãos, determinando-se a massa média dos mesmos.

A densidade populacional final (planta.ha⁻¹) foi determinada, para todos os materiais genéticos utilizados, pela contagem das plantas presentes na área útil na colheita.

Assumiu-se que a prolificidade (Pr_h , espiga.planta⁻¹) dos materiais pode ser estimada utilizando-se a seguinte equação:

$$Pr_h = a_h (e - 0,5) + 1 \quad (2)$$

em que 'e' se refere ao espaçamento (m) ($e > 0,5$ m) e a_h , ao parâmetro empírico (espiga.planta⁻¹.m⁻¹), referente ao h-ésimo genótipo, determinado pela equação (3). Sendo assim, temos que:

$$a_h = \frac{\sum_{i=1}^n (Pr_{hi} - 1)(e_i - 0,5)}{\sum_{i=1}^n (e_i - 0,5)^2} \quad (3)$$

Por outro lado, a equação (1) pode assim ser reescrita:

$$Pr_h = \alpha_h e + \beta_h \quad (4)$$

em que α_h (espiga.planta⁻¹.m⁻¹) e β_h (espiga.planta⁻¹) se referem aos parâmetros empíricos determinados através de análise de regressão linear, minimizando-se a soma dos quadrados dos desvios, os quais foram determinados a partir das relações unívocas entre o espaçamento (e, m) e a prolificidade observada (Pr_h , espiga.planta⁻¹).

Dessa forma, o modelo proposto para a previsão da produtividade do híbrido (R_h , kg.ha⁻¹) de milho pode assim ser representado:

$$R_h = \frac{Pm_h[a_h(e - 0,5) + 1] Ge_h \cdot m_u(1 - U) 1000}{e(1 - U_d)} \quad (5)$$

em que Pm_h se refere à população (planta.ha⁻¹) média na colheita e Ge_h , ao número de grãos por espiga (grão.espiga⁻¹), correspondente ao h-ésimo genótipo, 'e' ao espaçamento (m) entre linhas, m_u à massa (g) úmida de grãos, U ao teor de água à base de massa (g.g⁻¹), determinado por ocasião da colheita, e U_d ao teor de água desejado para a correção à base de massa (g.g⁻¹). No presente trabalho, utilizou-se o teor de água desejado para a correção (U_d) de 0,13 g.g⁻¹ (13%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando-se previamente o desempenho dos três híbridos utilizados no estudo (Tabela 1), constata-se que a prolificidade aumentou com o aumento do espaçamento, verificando-se também aumento do número de grãos por espiga do híbrido Pioneer 4071. Para os genótipos BR 206 e Fartura 5013, o número de grãos por espiga não permaneceu constante com o aumento do espaçamento, havendo uma tendência de queda para o primeiro genótipo e de aumento para o segundo.

O espaçamento de 0,7 m foi o que proporcionou a maior massa de 100 grãos e de produtividade de grãos para os genótipos Pioneer 4071 e BR 206.

Diferentemente, o híbrido Fartura 5013 apresentou a maior massa de 100 grãos e de produtividade sob espaçamento de 0,5 m.

Tomando-se, como base, os resultados obtidos para os três materiais em estudo (Tabela 2), foram fixados os valores extremos experimentalmente obtidos para: espaçamento mínimo (0,5 m) e máximo (0,9 m); população média entre 3,1 e 5,1 plantas por metro; prolificidade média entre 1,01 e 1,04; número médio entre 13,8 e 15,2 fileiras por espiga; (v) massa de grãos entre 151 e 184 g por espiga; (vi) número médio de grãos por espiga entre 478 e 537; e (vii) população de plantas entre 68.200 e 51.777 plantas por hectare (Figura 1).

A equação 4, utilizada na estimativa da prolificidade para os parâmetros calculados para cada um dos híbridos (Tabela 2), apresentou-se adequada. Reduziu-se o espaçamento entre as linhas de semeadura da cultura, a prolificidade foi reduzida (Tabela 1). Essa resposta deve-se ao aumento da competição intra-específica. As plantas de milho passam a competir entre si com maior intensidade por nutrientes minerais e por água, principalmente quando a reposição hídrica advém apenas de precipitação pluviométrica, podendo ocorrer períodos de estiagem, e também da radiação solar, havendo a redução da área foliar exposta diretamente à radiação, restando, aos extratos mais internos de folhagem, apenas a componente difusa da densidade de fluxo da radiação solar global incidente no topo do dossel vegetativo.

Foram obtidos os coeficientes (a_h , α_h e β_h) para cada material em estudo, tomando-se, por referência, as prolificidades obtidas nos três espaçamentos (Tabela 2), o que pode ser representado graficamente, para melhor visualização (Figura 1).

A prolificidade apresentou apenas ligeira tendência de incremento, com o aumento do espaçamento, porém não significativo (Tabela 1).

Tabela 1 - Componentes de produção para os três diferentes materiais genéticos nos três espaçamentos utilizados.

Componentes de produção	Pioneer 4071	BR 206	Fartura
Espaçamento (e): 0,5 m			
Teor de água (U, g.g ⁻¹)	0,13	0,13	0,13
Massa de 100 grãos (Mc, g)	31,60	31,99	31,55
Massa de grãos por espiga (g)	151,0	164,4	164,5
Nº médio de grãos por espiga (Ge)	478	526	519
Nº médio de linhas por espiga	14,8	15,2	14,0
Estande (E, planta.m ⁻¹)	3,4	3,3	3,1
Prolificidade (Pr, espiga.planta ⁻¹)	1,00	1,00	1,00
População média na colheita (Pm, planta.ha ⁻¹)	68.200	64.800	65.400
Produtividade (R, kg.ha ⁻¹)	10.298	10.653	10.758
Espaçamento (e): 0,7 m			
Teor de água (U, g.g ⁻¹)	0,13	0,13	0,13
Massa de 100 grãos (g)	35,04	35,17	33,33
Massa de grãos por espiga (Mc, g)	180,0	184,0	172,0
Nº médio de grãos por espiga (Ge)	512	522	525
Nº médio de linhas por espiga	14,5	15,0	13,8
Estande (E, planta.m ⁻¹)	4,2	4,0	5,0
Prolificidade (Pr, espiga.planta ⁻¹)	1,01	1,04	1,01
População média na colheita (Pm, planta.ha ⁻¹)	59.286	56.428	58.555
Produtividade (R, kg.ha ⁻¹)	10.778	10.798	10.172
Espaçamento (e): 0,9 m			
Teor de água (U, g.g ⁻¹)	0,13	0,13	0,13
Massa de 100 grãos (g)	34,30	32,23	32,74
Massa de grãos por espiga (Mc, g)	184,0	167,0	172,0
Nº médio de grãos por espiga (Ge)	537	518	525
Nº médio de linhas por espiga	14,8	15,0	13,9
Estande (E, planta.m ⁻¹)	5,1	4,7	5,0
Prolificidade (Pr, espiga.planta ⁻¹)	1,00	1,01	1,01
População média na colheita (Pm, planta.ha ⁻¹)	56.000	51.777	55.555
Produtividade (R, kg.ha ⁻¹)	10.304	8.733	9.651

Tabela 2 - Coeficientes a_h , α_h e β_h para os três diferentes híbridos, na estimativa da prolificidade (equações 2 e 4).

Híbrido	a_h	α_h	β_h
Pioneer 4071	0,01	405,7	147,5
BR 206	0,03	536,0	-20,0
Fartura 5013	0,06	509,8	15,0
Milho ¹	0,03	483,9	47,5

¹ Valor médio obtido, utilizando-se os três híbridos conjuntamente.

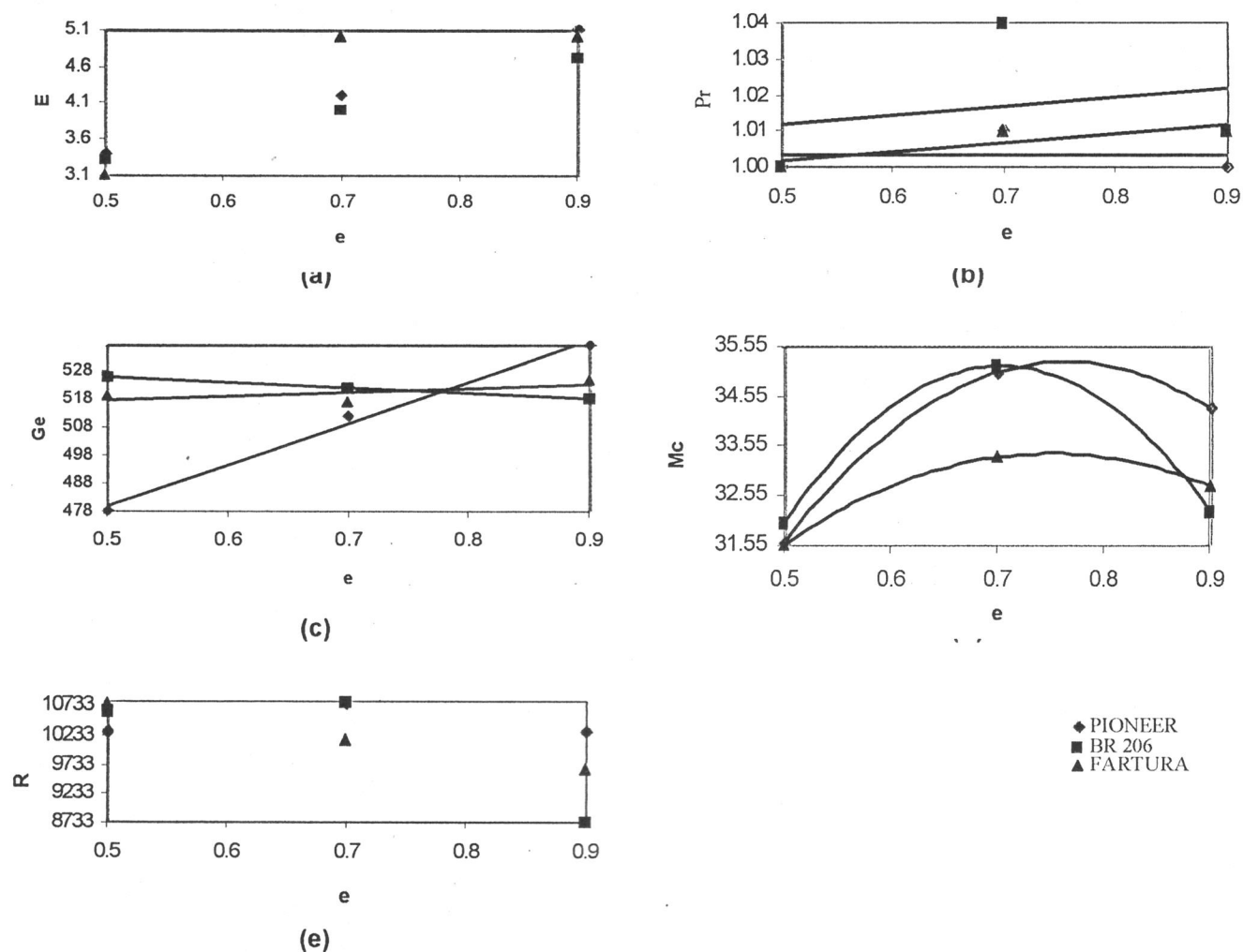


Figura 1 - Representação gráfica do estande (E, planta.m⁻¹) (a); prolificidade (Pr, espiga.planta⁻¹) (b); número de grãos por espiga (Ge, grão.espiga⁻¹) (c); massa de 100 grãos (Mc, g) (d) e produtividade (R, kg.ha⁻¹) (e) referente aos três híbridos (Pioneer 4071, BR 206 e Fartura 5013) de milho na faixa de espaçamento (e, m) utilizado (0,5 a 0,9 m) (Tabela 3).

Tabela 3 - Equações referentes às variáveis (V) prolificidade (Pr, espiga.planta⁻¹); número de grãos por espiga (Ge, grão.espiga⁻¹) e massa de 100 grãos (Mc, g), em função do espaçamento (e, m) utilizado (0,5 a 0,9 m) para os três híbridos (Pioneer 4071, BR 206 e Fartura 5013) de milho (Figura 1).

V	Pioneer 4071	r ²	BR 206	r ²	Fartura 5013	r ²
Pr	Pr=1,0033	- ¹	Pr=0,025e+0,9992	0,85	Pr=0,025e+0,9892	0,98
Ge	Ge=15e+509,8	0,52	Ge=147,5e+405,8	0,99	Ge=-20e+536	0,99
Mc	Mc=-76,5e ² +107,7e-2,7	0,99	Mc=-53,2e ² +79,9e+4,7	0,99	Mc=-29,6e ² +44,5e+16,7	0,99

¹ Valor médio

Quanto à utilização da equação 5, verifica-se, na Figura 2, sua eficácia na estimativa de produtividade, apresentando alto coeficiente de ajuste para os três híbridos estudados e para todos os espaçamentos de semeadura entre linhas utilizados.

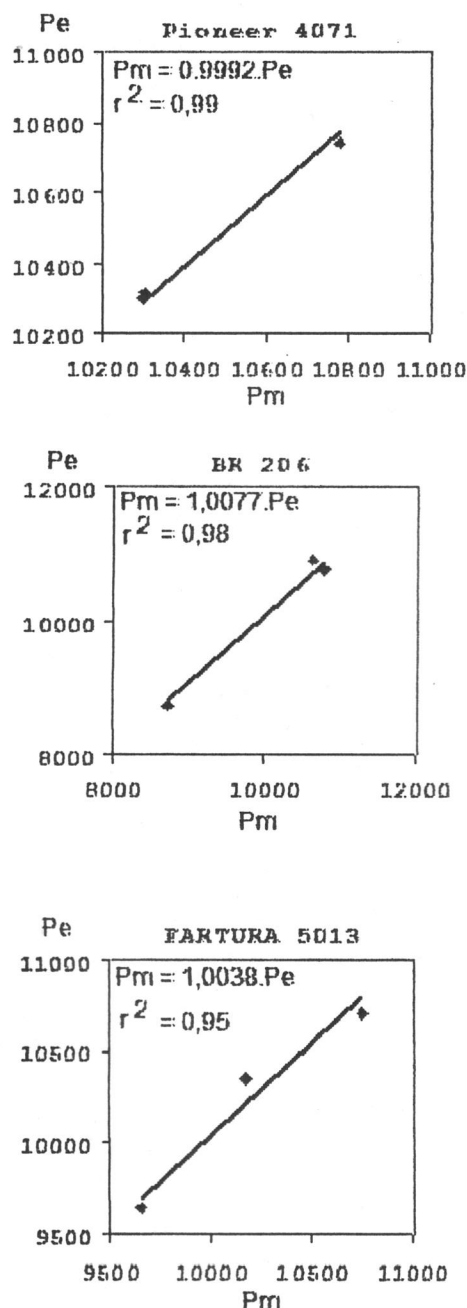


Figura 2 - Relação entre a produtividade ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) medida (P_m) e a estimada (P_e) (equação 5) para os três híbridos estudados (Pioneer 4071, BR 206 e Fartura 5013).

CONCLUSÕES

Para os três híbridos estudados, na condição do experimento, a estimativa da prolificidade e da produtividade de grãos da cultura de milho pode ser efetuada, utilizando-se as equações propostas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2.ed. Champaign: A. & L. Publication, 1975. 378p.
- BARREIRO, L.; IRÁNETA, M.; TORRES, C.; IGLESIAS, I.; CRESPO, C. Distancia y población optima de siembra para la producción de maíz. **Ciencia y Técnica en la Agricultura**, v.6, n.1, p.7-15, 1987. Resumo nº 68385 em **Abstracts of Tropical Agriculture**, v.14, n.10, p.78-79, 1989.
- BATISTELA, A.C.; DAVID, I.K.; SILVA, L.C.V. da; BRESOLIM, M.; GUADAGNIN, J.P.; BARNI, V. Densidade e espaçamento para o plantio de milho. **IPAGRO Informe**, v.17, p.18-20, 1977.
- CARBERRY, P.S.; MUCHOW, R.C.; McCOWN, R.L. Testing the CERES-Maize simulation model in a semi-arid tropical environment. **Field Crops Research**, v.20, p. 297-315, 1989.
- FANCELLI, A.L. **Fisiologia da produção do milho**. Piracicaba: Aldeia Norte, 1995.
- FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273p.
- JAGTAP, C.A.; MORNUN, M.; KANG, B.T. Simulation of growth, development and yield of maize in the transition zone of Nigeria. **Agricultural Systems**, v.41, p.215-219, 1993.
- JONES, C.A.; KINIRY, J.R. **CERES-Maize: a simulation model of maize growth and development**. Texas A and M. College Station: University Press, 1986. 194p.

- KARLEN, D.L.; CAMP, C.R. Row spacing, plant population and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain. **Agronomy Journal**, v.77, n.3, p.393-398, 1985.
- KINIRY, J.R.; BONHOMME. Predicting maize phenology. In: HODGES, C. (Ed.). **Predicting crop phenology**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 115-131.
- LIMA, M.G. de. Calibração e validação do modelo Cereze-maize em condições tropicais do Brasil. Piracicaba, 1995. 119p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- LIU, W.T.H. Application of CERES-Maize model to yield prediction of Brazilian maize hybrid. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.45, p.299-312, 1989.
- MANFRON, P.A.; PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MORAES, S.O. Efeito do método de preparo do solo na distribuição radicular do milho em terra roxa estruturada. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.21, n.3, p.353-366, 1991.
- MEDEIROS, J.B. de; VIANA, A.C. Época, espaçamento e densidade de plantio para a cultura do milho. **Informe Agropecuário**, v.6, n.72, p.32-35, 1980.
- MUNDSTOCK, C.M. Efeitos de espaçamentos entre linhas de populações de plantas em milho do tipo precoce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.13, n.1, p.13-17, 1978.
- PIPER, E.L.; WEISS, A. Evaluating CERES-Maize for reduction in plant population of leaf area during the growing season. **Agricultural System**, v.33, p. 199-213, 1990.
- PIPER, E.L.; WEISS, A. Defoliation during vegetative growth of corn: the shoot, root ration and yield implications. **Field Crops Research**, v.31, n.1, p.145-153, 1993.
- PLANTUREUX, S.; GIRARDIN, P.; FOUQUET, D.; CHAPOT, J.Y. Evaluation et analyse de sensibilité du modèle CERES-Maize en conditions alsaciennes. **Agronomie**, v.11, p.1-8, 1991.
- RETTA, A.; VANDERLIP, R.L.; HIGGINS, R.A.; MOSHIER, L.J.; FEYERHERM, A.M. Suitability of corn growth models for incorporation of weed and insect stress. **Agronomy Journal**, v.83, n.4, p. 757-765, 1991.
- RIZZARDI, M.A.; BOLLER, W.; DALLOGLIO, R. Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura, e seus efeitos nos componentes de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.8, p.1231-1236, 1994.
- VOS, R.N.; MALLETT, J.B. Preliminary evaluation of two maize (*Zea mays* L.) growth simulation models. **South Africa Journal Plant Soil**, v.3, p.131-136, 1987.
- WEISS, A.; PIPER, E.L. Modifying the response to defoliation during vegetative growth in CERES-Maize. **Agricultural System**, v.40, p. 379-393, 1992.
- WU, Y.; SAKAMOTO, C.M.; BOTNER, D.M. On the application of CERES maize model to the North China Plain. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.49, p.9-22, 1989.

ISSN 0103 - 5185

ENGENHARIA RURAL

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Engenharia Rural

v.14, único, 2003