

Análise Dialélica de Linhagens de Milho com Enfoque Bayesiano

Marlon Mathias Dacal Coan¹, Lucas Rafael de Souza Camacho², Acácio Antonio Miotto³, Henrique José Camargo Senhorinho⁴, Klayton Flávio Milani⁵, Vitor Hugo Domenes Tolentino⁶, Ronald José Barth Pinto⁷ e Marcos de Araujo Rodovalho⁸

^{1,2,3,4,5,6,7}Universidade Estadual de Maringá, PR. ¹marloncoan@gmail.com, ²lucascamacho88@gmail.com, ³acaciomiotto@gmail.com, ⁴hsenhorinho@hotmail.com, ⁵kf_milani@hotmail.com, ⁶vitortolentino@hotmail.com e ⁷rjbpinto@uem.br

⁸Syngenta Seeds do Brasil, Cascavel, PR. ⁸marcos.rodovalho@syngenta.com

RESUMO - O presente trabalho teve por objetivo avaliar as capacidades geral e específica de combinação para rendimento de grãos de dez linhagens de milho por meio de cruzamentos dialélicos. Para tal, utilizou-se o procedimento Bayesiano, implementado pelo algoritmo de simulação estocástica de Metropolis-Hastings. O método de MCMC concilia probabilidade com simulação e possibilita inserir informações *a priori* para obtenção das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros de interesse, assim como a construção de regiões de credibilidade. Os resultados do intercruzamento em esquema dialélico das dez linhagens de milho foram analisados primeiramente pelo método 4 (modelo I- Griffing), o qual leva em consideração apenas os F1's. Os resultados indicaram que as linhagens 6, 5, 9 e 10 como promissoras para serem utilizadas no programa de melhoramento. As combinações híbridas 2x6, 1x8 e 1x5 foram as que mais se destacaram para rendimento de grãos, com as maiores estimativas de capacidade específica de combinação.

Palavras-chave: *Zea mays* L., capacidade de combinação, MCMC.

Introdução

A principal metodologia para seleção de linhagens superiores baseia-se em cruzamentos dialélicos que fundamentam a escolha por meio de estimativas da capacidade geral de combinação de cada linhagem (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992). Os esquemas de cruzamentos dialélicos, baseiam-se em modelos matemáticos, que fornecem estimativas que auxiliam na escolha dos melhores genitores e na definição de grupos heteróticos.

É desejável conhecer a expressão média de um caráter, o qual pode ser um indicativo do valor genético de um determinado genótipo, indivíduo ou de uma população, podendo inferir na natureza aleatória dos efeitos de genotípicos e também na consideração do efeito aleatório ou fixo do genótipo, dependendo da inferência que se deseja fazer para o conjunto de dados (HENDERSON, 1984).

As estimativas de capacidade geral e específica de combinação são obtidas de maneira que os resultados são pontuais. Uma opção a esta característica é a construção de intervalos de credibilidade, que podem ser estimados por meio de técnicas com abordagem Bayesiana.

Para construção de espaço amostral para obter as estimativas de intervalos de credibilidade, que contenham informações “a posteriori”, são utilizadas metodologias de simulação que levam em conta as informações “a priori”, como o método de Monte Carlo via Cadeia de Markov (MCMC) que envolvem informações *a priori* e simulações com incremento de probabilidade associada às distribuições *a posteriori* (GAMERMAN, 1997; METROPOLIS et al., 1953). A idéia é obter uma amostra da distribuição *a posteriori* e calcular estimativas amostrais de características desta distribuição (CHEN et al., 1999).

A utilização de técnicas Bayesianas em análises dialélicas na cultura do milho ainda é escassa. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a Capacidade Geral de Combinação de linhagens de milho e a capacidade específica das combinações híbridas para rendimento de grãos, usando o procedimento Bayesiano, implementado pelo algoritmo de Metropolis-Hastings, como metodologia de inferência científica para a predição dos parâmetros de interesse.

Material e Métodos

O presente trabalho foi conduzido na Estação Experimental da Syngenta em Cascavel no Estado do Paraná – Brasil. O campo de polinização foi instalado em setembro de 2010, para o qual se utilizaram dez linhagens de milho para a obtenção de híbridos e constitui-se, portanto, um arranjo dialélico $n \left(n - \frac{1}{2} \right)$ completo de milho com 45 híbridos simples F1's. Os cruzamentos foram realizados manualmente entre as plantas dos pares de fileiras. Cada fileira consistiu de cinco metros de comprimento.

Com o intuito de estudar o efeito da Capacidade Geral e Específica de Combinação (CGC e CEC) de dez linhagens cruzadas entre si, aplicou-se a técnica de MCMC para determinar o efeito de CGC e CEC, construindo intervalos de credibilidade para cada informação. Para a análise, utilizou-se o aplicativo computacional SAS 9.2, por meio do procedimento PROC MCMC.

Para aplicar a técnica Bayesiana, utilizou-se um número de iterações de 100 mil amostras. Para o aquecimento inicial da cadeia utilizou-se um valor inicial de “*burn-in*” de mil iterações. A amostragem foi realizada a cada cinco pontos (*thin*) para evitar possível auto-correlação. Estimaram-se as seguintes medidas de cada parâmetro de interesse: média, moda, mediana, máximo e mínimo, desvios-padrão e teste de Geweke.

As informações “a priori” utilizadas para cada parâmetro, das estimativas de g_i e s_{ij} , foram obtidas por meio do modelo de Griffing (1956) método 4. As F1's foram estimadas no aplicativo computacional Genes (CRUZ, 2006).

Resultados e Discussão

De acordo com as estimativas obtidas após as simulações MCMC, foi possível construir os intervalos de credibilidade (95% de probabilidade). A linhagem 6 apresentou maior CGC, com valor da média *a posteriori* de 1.246,7 e intervalo de credibilidade Bayesiano (HPD) de 963,4 e 1567,0 inferior e superior, respectivamente. Foi possível constatar que este intervalo que compreende o valor médio da CGC da linhagem 6 não contém o valor zero, indicando sua superioridade, acima da média do ensaio ($P=95\%$). Os valores da moda e mediana da distribuição marginal *a posteriori* foram de 1069,5 e 1249,7, respectivamente (Tabela 1).

Houve convergência das cadeias para todas as linhagens testadas, podendo inferir que as estimativas de CGC são, com certeza, as médias da distribuição *a posteriori*, já que as estimativas encontram-se no espaço parâmetro.

As linhagens 5, 9 e 10 apresentaram valor médio posterior de CGC de 893,5, 470,5 e 468,5 respectivamente, com regiões de credibilidade (HPD) de 602,1-1202,5 para a linhagem 5, 163,1-769,0 para a linhagem 9 e 158,4-758,0 para a linhagem 10. Observa-se que os intervalos de credibilidade não incluem a média posterior da CGC da linhagem 6, confirmando a sua superioridade para CGC. Porém, os intervalos de credibilidade da CGC das linhagens 5, 9 e 10, observados na simulação do MCMC, não contém o valor zero, indicando também superioridade, acima da média do ensaio ($P=95\%$).

As linhagens 4 e 8 apresentaram valor de CGC de 232,8 e 171,4, respectivamente. No entanto, as estimativas dos intervalos de credibilidade *a posteriori* (95% de probabilidade) apresentaram valor negativo no seu limite inferior (-64,8 e -129,8, respectivamente), indicando que se encontram abaixo da média do ensaio; estas linhagens seriam descartadas do processo de seleção. O fato de que o valor zero poder ser assumido no processo de simulação da distribuição *a posteriori* implica a não contribuição para o incremento ou redução da característica rendimento de grãos, do ponto de vista da capacidade geral de combinação, neste caso.

A linhagem 2 apresentou o pior desempenho para CGC, com valor médio *a posteriori* de -2849,7 e intervalo de credibilidade Bayesiano de -3154,3–2555,1 (95% de probabilidade).

É possível inferir com confiabilidade que o valor estimado de CGC *a posteriori*, não compreende o valor de zero dentro da região de credibilidade (HPD), indicando que a CGC seria negativa e a linhagem contribui para a redução da característica rendimento de grãos.

Na Tabela 1 se apresentam as estimativas *a posteriori* e regiões de credibilidade bayesiano Bayesiano (HPD; 95% de probabilidade) para os efeitos genéticos representados pela Capacidade Específica de Combinação (s_{ij}) do rendimento de grãos, para os 45 híbridos simples de milho.

A melhor combinação entre as linhagens foi o cruzamento 2x6 (híbrido 13), que apresentou estimativa *a posteriori* de 2615,0 e intervalo de credibilidade (HPD) de 2574,4-2652,8, não compreendendo o valor zero entre os limites de credibilidade, indicando a superioridade genética.

A segunda melhor estimativa de CEC obtida após a simulação MCMC foi para combinação 1x8, com estimativa *a posteriori* de 2160,3 e intervalo de credibilidade bayesiano de 1290,8-2938,3. Os valores da moda e mediana da distribuição marginal foram de 1321,4 e 2163,9. A região de credibilidade da CEC do cruzamento 2x6 (híbrido 13) inclui o valor da média *a posteriori* do cruzamento 1x8, indicando a superioridade genética de acordo com sua capacidade específica de combinação.

A característica mais importante para a indústria do milho é sem dúvida o rendimento de grãos. Portanto a linhagem 6 seria promissora do ponto de vista da CGC, sendo a mais favorável em aumentar o caráter. Para ganhos genéticos de longo prazo no programa de melhoramento, além da linhagem 6, as linhagens 5, 9 e 10, seriam também adequadas devido a seu alto desempenho em rendimento de grãos.

De acordo com diversos autores (SPRAGUE e TATUM, 1942; SCAPIM et al., 2002), baixas estimativas de CGC indicam genótipos com combinações que não diferem muito da média de todos os cruzamentos no sistema dialélico, enquanto altos valores (com sinal positivo ou negativo) indicam genótipos melhores ou piores que os restantes, com os quais se compara, e estes valores indicam, a importância dos genes com efeitos predominantemente aditivos.

Literatura Citada

CRUZ, C. D. Programa Genes: versão Windows: aplicativo computacional em genética e estatística. - Viçosa: UFV, 2006.

GAMMERMAN, D. Markov chain Monte Carlo: Stochastic Simulation for Bayesian Inference. Chapman and Hall, London, 344p, 1997.

GRIFFING, J. B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel systems. Australian Journal of Biological Science, vol.9, p. 463-493, 1956.

HENDERSON, C. R. Applications of linear models in animal breeding. Guelph: University of Guelph, 462p. 1984.

METROPOLIS N.; ROSENBLUTH, A. W.; MARSHALL, N. R.; TELLER, A. H. Equations of state calculations by fast computing machines. Journal of Chemical Physics, v.21, p.1087–1092, 1953.

SCAPIM, C. A.; PACHECO, C. A. P.; TONET, A.; BRACCINI, A. D. L.; PINTO, R. J. B. Análise dialélica e heterose de populações de milho-pipoca. Bragantia, Campinas, vol.61, n.3, p.219-230, 2002.

SPRAGUE, G. F., TATUM, L. A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. Journal American Society of Agronomy. v.34, p.923-932, 1942.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica aplicada ao fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 469p.

Tabela 1. Estimativas *a posteriori* e intervalo HPD de 95% para os efeitos genéticos do quadro de cruzamentos dialélicos, Capacidade Geral e Específica de Combinação (*Gl e Sij*) por meio do método de MCMC com 100.000 iterações e “burn in” de 1.000, para a característica rendimento de grãos (MCSE: erro-padrão de Monte Carlo; SD: Desvio-padrão).

| Par. | Linhagens | Resumo da distribuição “a posteriori” | | | | | | Intervalos “a posteriori” | | Erro-padrão de Monte Carlo | | Diagnóstico de Geweke | |
|-------------------|-----------|---------------------------------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------------------------|---------|----------------------------|-------|-----------------------|---------|
| | | Média | perct. 50% | Moda | Mediana | Máximo | Mínimo | HPD Intervalo | | MCSE | SD | z | Pr > z |
| g ₁ | L1 | -128.6 | -128.8 | -90.3 | -128.8 | 470.6 | -734.2 | -426.7 | 176.4 | 1.24 | 154.3 | 0.13 | 0.9 |
| g ₂ | L2 | -2849.0 | -2849.7 | -2838.7 | -2849.7 | -2256 | -3432.5 | -3154.3 | -2555.1 | 1.24 | 153.6 | -1.24 | 0.22 |
| g ₃ | L3 | -66.9 | -68.3 | -141 | -68.3 | 584 | -649.6 | -370.5 | 228.4 | 1.24 | 153 | -1.17 | 0.24 |
| g ₄ | L4 | 232.8 | 230.0 | 196.4 | 230 | 809.8 | -298.3 | -68.9 | 526.3 | 1.52 | 152.4 | -1.46 | 0.15 |
| g ₅ | L5 | 893.5 | 894.6 | 829.9 | 894.6 | 1519.9 | 346 | 602.1 | 1202.5 | 1.54 | 153.5 | 0.29 | 0.77 |
| g ₆ | L6 | 1246.9 | 1249.7 | 1069.5 | 1249.7 | 1862.1 | 688.8 | 963.4 | 1567 | 1.55 | 154.7 | -0.31 | 0.76 |
| g ₇ | L7 | -89.5 | -90.1 | -154.3 | -90.1 | 555 | -738.8 | -386.8 | 209.6 | 1.55 | 153.6 | -2.17 | 0.03 |
| g ₈ | L8 | 171.4 | 171.5 | 99.2 | 171.5 | 846.1 | -437.2 | -129.8 | 470.1 | 1.58 | 153.3 | -0.39 | 0.69 |
| g ₉ | L9 | 470.5 | 471.0 | 412.6 | 471 | 1027.4 | -58.8 | 163.1 | 769 | 1.55 | 154.5 | -0.67 | 0.5 |
| g ₁₀ | L10 | 468.7 | 467.9 | 422.4 | 467.9 | 1059.5 | -104.3 | 158.4 | 758.7 | 1.61 | 154.5 | -1.17 | 0.24 |
| Híbridos | | | | | | | | | | | | | |
| S _{1x2} | H1 | -3039.2 | -3039.16 | -3046.5 | -3039.2 | -2959.3 | -3121.2 | -3077.8 | -2998.5 | 0.22 | 20.1 | -1.25 | 0.21 |
| S _{1x3} | H2 | -2775.8 | -2777.53 | -2915.5 | -2777.5 | -1118.6 | -4625.2 | -3578.6 | -1957.3 | 4.64 | 412.2 | 0.74 | 0.46 |
| S _{1x4} | H3 | 1228.7 | 1231.35 | 1205 | 1231.4 | 2768.5 | -352.9 | 440.7 | 2030.6 | 5.15 | 408.8 | -1.3 | 0.19 |
| S _{1x5} | H4 | 1619.3 | 1617.93 | 1839.8 | 1617.9 | 3109 | -120.5 | 801.3 | 2433.8 | 5.11 | 418 | 1.85 | 0.06 |
| S _{1x6} | H5 | 692.6 | 682.88 | -84.4 | 682.9 | 2367 | -941.7 | -132.4 | 1461.3 | 5.05 | 409.1 | -0.57 | 0.57 |
| S _{1x7} | H6 | 1403.4 | 1402.18 | 539.5 | 1402.2 | 3050.3 | -162.7 | 637.1 | 2261.2 | 5.38 | 416.5 | -0.23 | 0.81 |
| S _{1x8} | H7 | 2160.3 | 2163.92 | 1321.4 | 2163.9 | 3692.1 | 666.9 | 1290.8 | 2938.3 | 4.99 | 417.8 | -0.57 | 0.57 |
| S _{1x9} | H8 | 305.8 | 299.29 | 285.4 | 299.3 | 2020.2 | -1313 | -505.2 | 1119.8 | 4.95 | 415.4 | 0.99 | 0.32 |
| S _{1x10} | H9 | 334.3 | 292.17 | 128.8 | 331.9 | 1903.3 | -1266.7 | -494.1 | 1092.3 | 4.88 | 409.3 | -1.38 | 0.17 |
| S _{2x3} | H10 | -324.2 | -320.94 | -575.7 | -320.9 | 1252.3 | -1810.5 | -1136.8 | 465.7 | 4.61 | 409.8 | 0.43 | 0.67 |
| S _{2x4} | H11 | 692.2 | 691.50 | 545 | 691.5 | 2441.5 | -939.4 | -123.7 | 1497.9 | 4.6 | 412.8 | -0.1 | 0.92 |
| S _{2x5} | H12 | 456.6 | 456.81 | 453.9 | 456.8 | 544.3 | 375.4 | 418.1 | 496.2 | 0.22 | 19.9 | 0.17 | 0.87 |
| S _{2x6} | H13 | 2615 | 2614.83 | 2598.3 | 2614.8 | 2698.7 | 2539.5 | 2574.4 | 2652.8 | 0.22 | 20.1 | -0.99 | 0.32 |
| S _{2x7} | H14 | -494.3 | -494.53 | -516 | -494.5 | 1153.7 | -2090.3 | -1283.6 | 308 | 4.64 | 408.1 | 0.59 | 0.55 |
| S _{2x8} | H15 | -695.1 | -694.79 | -1007.4 | -694.8 | 1011.1 | -2340.3 | -1524.5 | 79 | 4.61 | 412.5 | -0.53 | 0.59 |
| S _{2x9} | H16 | 1348.8 | 1349.50 | 1004.4 | 1349.5 | 2886.3 | -228.1 | 538.2 | 2153.1 | 4.55 | 412.6 | 0.42 | 0.68 |

| Par. | Linhagens | Resumo da distribuição “a posteriori” | | | | | | Intervalos “a posteriori” | | Erro-padrão de Monte Carlo | | Diagnóstico de Geweke | |
|-------------------|-----------|---------------------------------------|------------|---------|---------|--------|---------|---------------------------|--------|----------------------------|-------|-----------------------|---------|
| | | Média | perct. 50% | Moda | Mediana | Máximo | Mínimo | HPD Intervalo | | MCSE | SD | z | Pr > z |
| S _{2x10} | H17 | 904.6 | 906.09 | 816.7 | 906.1 | 2390.6 | -738.1 | 104.3 | 1690.1 | 4.69 | 409.6 | -1.1 | 0.27 |
| S _{3x4} | H18 | 618.7 | 618.78 | 277 | 618.8 | 2387.7 | -1068.7 | -178 | 1432.4 | 4.45 | 412.7 | -0.68 | 0.5 |
| S _{3x5} | H19 | 1210.2 | 1212.21 | 1072.7 | 1212.2 | 2747 | -531.1 | 387.1 | 1976.1 | 4.63 | 409.4 | -1.26 | 0.21 |
| S _{3x6} | H20 | 567.2 | 569.32 | 962.6 | 569.3 | 2218.7 | -1143.7 | -297 | 1353.4 | 4.55 | 419.2 | -0.56 | 0.58 |
| S _{3x7} | H21 | 370.9 | 372.83 | 127 | 372.8 | 1941.2 | -1442 | -427.3 | 1182.7 | 4.78 | 415 | -0.68 | 0.5 |
| S _{3x8} | H22 | 1226.6 | 1225.34 | 1302.8 | 1225.3 | 2906.2 | -324.7 | 423.8 | 2040.2 | 4.55 | 412.4 | -1.32 | 0.19 |
| S _{3x9} | H23 | 737.8 | 735.44 | 598.9 | 735.4 | 2425.9 | -738.5 | -36.9 | 1560.9 | 4.78 | 410.2 | 1.39 | 0.16 |
| S _{3x10} | H24 | 1061.6 | 1058.16 | 1203.2 | 1058.2 | 2559 | -641.8 | 259.5 | 1880.4 | 4.52 | 416.8 | -1.5 | 0.13 |
| S _{4x5} | H25 | -834.8 | -833.60 | -1453.9 | -833.6 | 792.1 | -2338.2 | -1682.1 | -62.7 | 4.65 | 412.9 | 0.02 | 0.98 |
| S _{4x6} | H26 | 84.2 | 85.59 | -226 | 85.6 | 1749.3 | -1507.2 | -727.6 | 893.6 | 4.63 | 415.2 | -1.11 | 0.27 |
| S _{4x7} | H27 | -360.3 | -360.04 | -203.1 | -360 | 1089.4 | -1959.3 | -1166.9 | 425.6 | 4.48 | 409 | 1.26 | 0.21 |
| S _{4x8} | H28 | 701.4 | 698.99 | 749.9 | 699 | 2402.7 | -801.4 | -110.3 | 1514.8 | 4.66 | 415 | 2.37 | 0.02 |
| S _{4x9} | H29 | 348.3 | 345.30 | 320.8 | 345.3 | 2076.8 | -1353.3 | -478.2 | 1161.9 | 4.86 | 420.6 | -0.89 | 0.37 |
| S _{4x10} | H30 | 259.5 | 262.27 | 628.3 | 262.3 | 1863.8 | -1377.8 | -573.5 | 1061.9 | 4.75 | 415.5 | 0.01 | 0.99 |
| S _{5x6} | H31 | -596.4 | -592.97 | -659.3 | -593 | 975.7 | -2244.6 | -1408.3 | 194.2 | 4.85 | 410.5 | 0.16 | 0.87 |
| S _{5x7} | H32 | 547.2 | 543.71 | 112.4 | 543.7 | 2247.7 | -1041.7 | -291.5 | 1332.8 | 4.69 | 415.1 | -2.67 | 0.01 |
| S _{5x8} | H33 | 559.7 | 559.99 | 714.1 | 560 | 2113.8 | -1071.1 | -249.3 | 1363.5 | 4.62 | 412.6 | 0.28 | 0.78 |
| S _{5x9} | H34 | -208.1 | -205.55 | 95.4 | -205.5 | 1587.1 | -1810.2 | -1013.1 | 586.8 | 4.63 | 413.9 | -0.02 | 0.98 |
| S _{5x10} | H35 | -176.1 | -174.72 | 137.8 | -174.7 | 1440.2 | -1713.8 | -971.2 | 609.6 | 4.56 | 408.7 | -1.37 | 0.17 |
| S _{6x7} | H36 | -39.5 | -40.52 | -19.1 | -40.5 | 1599.9 | -1638.7 | -852.2 | 764.1 | 4.63 | 411.9 | -0.33 | 0.74 |
| S _{6x8} | H37 | -992.8 | -991.96 | -920.8 | -992 | 593.8 | -2760.1 | -1813.8 | -198 | 4.43 | 413.7 | 1.23 | 0.22 |
| S _{6x9} | H38 | 455.3 | 454.70 | 307.9 | 454.7 | 2246.6 | -1098.5 | -359.6 | 1261.9 | 4.6 | 415.6 | 0.57 | 0.57 |
| S _{6x10} | H39 | -228.2 | -227.37 | -420 | -227.4 | 1560.3 | -1984.3 | -1027.6 | 574.7 | 4.49 | 411.4 | -0.43 | 0.67 |
| S _{7x8} | H40 | 1110.2 | 1109.45 | 1378.1 | 1109.5 | 2705 | -484.8 | 272.7 | 1911.7 | 4.74 | 418.4 | -0.33 | 0.74 |
| S _{7x9} | H41 | 167.2 | 167.26 | 243.8 | 167.3 | 1660.2 | -1514.9 | -626.2 | 987 | 4.61 | 412.7 | -1.81 | 0.07 |
| S _{7x10} | H42 | -14.1 | -16.36 | 446.6 | -16.4 | 1831.7 | -1590.5 | -851.8 | 769.4 | 4.66 | 412.6 | -0.39 | 0.7 |
| S _{8x9} | H43 | -798.1 | -800.00 | -1087.1 | -800 | 685.1 | -2618.5 | -1589.7 | 14 | 4.56 | 410.3 | -1.48 | 0.14 |
| S _{8x10} | H44 | -510.1 | -510.96 | -988.3 | -511 | 1065.4 | -2294.7 | -1310 | 283.3 | 4.5 | 410.8 | -0.5 | 0.62 |
| S _{9x10} | H45 | 440.7 | 441.06 | 411.9 | 441.1 | 2049.7 | -1158.8 | -370.7 | 1254.3 | 4.91 | 416.3 | -0.83 | 0.41 |