

# CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA DE LINHAGENS TROPICAIS DE MILHO CULTIVADAS SOB BAIXA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO

Flávia Ferreira Mendes Guimarães<sup>1</sup>  
Lauro José Moreira Guimarães<sup>2</sup>  
Claudia Teixeira Guimarães<sup>3</sup>

## RESUMO

O desenvolvimento de plantas geneticamente mais adaptadas às condições adversas, como os estresses abióticos, tem se tornado foco de várias linhas de pesquisa recentemente. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar características agronômicas de linhagens de milho cultivadas em solo com baixa disponibilidade de P, com intuito de produzir médias fenotípicas acuradas para um futuro estudo de mapeamento associativo. Para isso, foram avaliados produtividade de grãos, dias para florescimento e eficiência no uso de P em um painel de 200 linhagens de milho. Foram obtidos os componentes de variância genética e fenotípica, bem como as estimativas de herdabilidade. Após as análises dos dados, verificou-se que as médias ajustadas foram obtidas com altas estimativas de herdabilidade e que, portanto, o fenótipo representa bem o genótipo das linhagens, o que é fundamental para estudos desta natureza. Espera-se, assim, utilizar essas médias para identificar regiões genômicas associadas com a eficiência no uso de P em milho por meio do mapeamento associativo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estresse abiótico. Fenotipagem. Mapeamento associativo.

## 1 INTRODUÇÃO

O milho é o cereal mais produzido no mundo, sendo o Brasil, o terceiro maior produtor (FAOSTAT, 2017). Esse cenário se deu graças a uma série de fatores, entre eles, o investimento em pesquisa para desenvolver genótipos mais adaptados e produtivos. Por outro lado, a demanda ainda é crescente, e as perdas em produtividade devido aos estresses abióticos são significativas. Nesse sentido, os programas de melhoramento têm se esforçado para desenvolver genótipos mais tolerantes a esses estresses.

Grande parte da área agricultável em regiões tropicais e subtropicais é constituída por solos ácidos, onde o fósforo (P) encontra-se em baixa disponibilidade, o que limita a produtividade de várias culturas agrícolas, entre elas o milho. Para aumentar a eficiência no uso desse nutriente, as plantas desenvolvem diferentes mecanismos que aumentam a eficiência de aquisição e/ou eficiência de utilização interna de P. Assim, uma alternativa sustentável para minimizar as limitações impostas pela baixa disponibilidade de P no solo seria a utilização de cultivares que utilizem o P de maneira eficiente para produção de grãos. Para tanto, se faz necessário compreender a estrutura genética dos diferentes mecanismos de eficiência ao P, permitindo, assim, explorar a variabilidade genética existente, nos programas de melhoramento.

Compreender a genética da eficiência no uso de P em milho não tem sido tarefa fácil, uma vez que essa característica é quantitativa e, portanto, controlada por vários genes. Porém, o grande avanço da biotecnologia possibilitou o mapeamento desses locos que controlam características quantitativas, chamados QTL (*Quantitative Trait Loci*, MACKAY, 2007).

---

<sup>1</sup> Doutora; Professora da Faculdade Ciências da Vida e Bolsista PDJ/CNPq, Sete Lagoas; e-mail: flaviafmendes@outlook.com.

<sup>2</sup> Doutor; Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG; e-mail: lauro.guimaraes@embrapa.br.

<sup>3</sup> Doutora; Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG; e-mail: claudia.guimaraes@embrapa.br.

Mais recentemente, o mapeamento por associação tem emergido como uma abordagem eficiente para a identificação de regiões genômicas com base no desequilíbrio de ligação, sendo útil para dissecar características complexas controladas por múltiplos QTLs (YU, BUCKLER, 2006). Entretanto, para se conseguir associações significativas e acuradas, é necessário que a característica estudada seja avaliada de forma que seu fenótipo represente bem o genótipo, ou seja, que tenha alta herdabilidade associada. Por isso, a fenotipagem das populações de mapeamento deverá ser conduzida da melhor forma possível, respeitando as premissas básicas da experimentação.

Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar características agrônômicas de linhagens de milho cultivadas sob baixa disponibilidade de P no solo, com intuito de produzir médias fenotípicas acuradas para um futuro estudo de mapeamento associativo e identificação de regiões genômicas associadas à eficiência no uso de P.

## 2 METODOLOGIA

Um painel composto por 200 linhagens de milho do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo foi avaliado no campo. Os experimentos foram conduzidos sob baixo nível de fósforo no solo (14 kg.ha<sup>-1</sup> de P) durante a safra de 2014/2015. As linhagens foram divididas em dois experimentos delineados em látice com três repetições cada e duas testemunhas comuns em cada experimento (L3 e L22).

A adubação de plantio consistiu da aplicação de 100 kg.ha<sup>-1</sup> do formulado 20-00-20. A adubação de cobertura foi realizada com 200 kg.ha<sup>-1</sup> de ureia, sendo a aplicação dividida aos 30 e 40 dias após o plantio, mais 200 kg.ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônia aplicada aos 50 dias após o plantio. Irrigação complementar foi feita sempre que necessário e os demais tratamentos culturais foram realizados de acordo com o recomendado para a cultura na região.

As características avaliadas foram: dias para o florescimento feminino (FF), dias para florescimento masculino (FM), intervalo entre florescimento feminino e masculino (IF), produtividade de grãos (PG), representada em kg.ha<sup>-1</sup> e corrigida para 13% de umidade e eficiência no uso de P (PUE) obtida pela relação entre a PG e a quantidade de P disponível no solo.

Para testar os efeitos das fontes de variação, análises de variâncias foram realizadas para todas as características utilizando modelo linear generalizado (GLM) do ProcGLM do SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM Institute - SAS Institute, 1999). O modelo estatístico adotado na análise foi:  $Y_{ijkw} = m + b_{k(jw)} + r_{j(w)} + l_w + g_i + e_{ijkw}$ , em que:  $Y_{ijkw}$  é a observação referente a linhagem  $i$  avaliada no bloco  $k$  dentro da repetição  $j$  dentro do ensaio  $l$ ;  $m$  é a média geral dos experimentos;  $b_{k(jw)}$  é o efeito do bloco  $k$  dentro da repetição  $j$  dentro do ensaio  $l$ ;  $r_{j(w)}$  é o efeito da repetição  $j$  dentro do ensaio  $l$ ;  $g_i$  é o efeito da linhagem  $i$  ( $i=1,2, \dots, 200$ );  $l_w$  é o efeito do ensaio  $l$  ( $l=1, 2$ );  $e_{ijkw}$  é o erro experimental. Posteriormente, foram estimados os componentes de variâncias pelo método dos momentos, o que possibilitou estimar as herdabilidades associadas a cada característica.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A existência de variabilidade entre as linhagens do painel de milho foi verificada pela análise de variância dos dados de produtividade de grãos, dias para florescimento masculino e feminino, intervalo entre florescimento e eficiência no uso de P. Em todas as situações o teste F foi significativo ( $p < 0.01$ ), evidenciando a existência de linhagens mais produtivas em ambiente de baixo P no solo, sendo, portanto, mais eficientes no uso de P. Adicionalmente, foram observadas acurácias acima de 80%, indicando alta precisão experimental e confiabilidade dos dados. As estimativas de herdabilidade foram todas acima de 70%,

indicando que o fenótipo observado representa bem o genótipo das linhagens avaliadas (Tabela 1).

Tabela 1 estimativas dos parâmetros da análise de variância para as características agrônômicas de linhagens de milho avaliado em ambiente de baixo P no solo.

Parâmetros	Estimativas				
	PG	PUE	FM	FF	IF
Teste F	3,36**	3,36**	4,20**	3,69**	3,88**
Média	1126,8	100,46	75	78	3,15
$\hat{\sigma}_E^2$	149402,24	1033,14	1,13	1,55	1,02
$\hat{\sigma}_F^2$	399975,4	3473,14	4,73	5,73	3,96
$\hat{\sigma}_G^2$	314881,6	2440,00	3,60	4,18	2,94
$\hat{h}^2$	0,70	0,70	0,76	0,73	0,74
$\hat{r}_{gg'}$	0,84	0,84	0,87	0,85	0,86

\*\* : significativo a 1% de probabilidade;  $\hat{\sigma}_F^2$ : Variância fenotípica;  $\hat{\sigma}_E^2$ : variância ambiental;  $\hat{\sigma}_G^2$ : variância genética;  $\hat{h}^2$ : herdabilidade na média de linhagens;  $\hat{r}_{gg'}$ : acurácia seletiva. PG: produtividade de grãos em kg.ha<sup>-1</sup>; PUE: eficiência no uso de P em kg.kg<sup>-1</sup>; FM: florescimento masculino em dias; FF: florescimento feminino em dias. IF: intervalo entre florescimento feminino e masculino.

A distribuição de frequência mostra um padrão de distribuição normal para todas as características (Figura 1). A produção de grãos variou de 0 kg.ha<sup>-1</sup> a 3561,06kg.ha<sup>-1</sup> com média de 1126,8 kg.ha<sup>-1</sup>. Vinte e quatro linhagens apresentaram produtividade de grãos maior que 2000 kg.ha<sup>-1</sup>, média considerada alta para solos com baixo nível de P. As linhagens L22 e L53 apresentaram produtividade de grãos abaixo da média geral, confirmando a classificação dessas linhagens como ineficientes no uso de P em trabalhos anteriores, enquanto a linhagem L3, usada como testemunha eficiente no uso de P, apresentou produtividade de grãos acima da média geral do experimento. Interessantemente, um grupo de linhagens apresentaram médias de produtividade de grãos superiores à L3, sendo, portanto, promissoras para serem utilizadas em programas de melhoramento que visem desenvolver cultivares mais eficientes no uso de P.

A eficiência de uso de P (PUE) foi avaliada pela razão entre a produtividade de grãos e a quantidade de fósforo disponível no solo como proposto por Moll et al. (1982). Linhagens com maiores valores de PUE são capazes de produzir maior quantidade de grãos por unidade de P disponível no solo. Houve uma grande variabilidade para PUE entre as linhagens do painel, com valores variando entre 0 kg.kg<sup>-1</sup> a 313,47 kg.kg<sup>-1</sup> com média geral de 100,46 kg.kg<sup>-1</sup>. As testemunhas ineficientes no uso de P, L22 e L53, apresentaram médias de 8,62 e 30,91 kg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto a testemunha eficiente, L3, apresentou média de 140,01 kg.kg<sup>-1</sup>. Além disso, 50 linhagens apresentaram média de PUE maiores que a L3, constatando a existência de linhagens mais eficientes no uso de P no germoplasma da Embrapa Milho e Sorgo, e que podem ser fontes de genes a serem explorados nos programas de melhoramento.

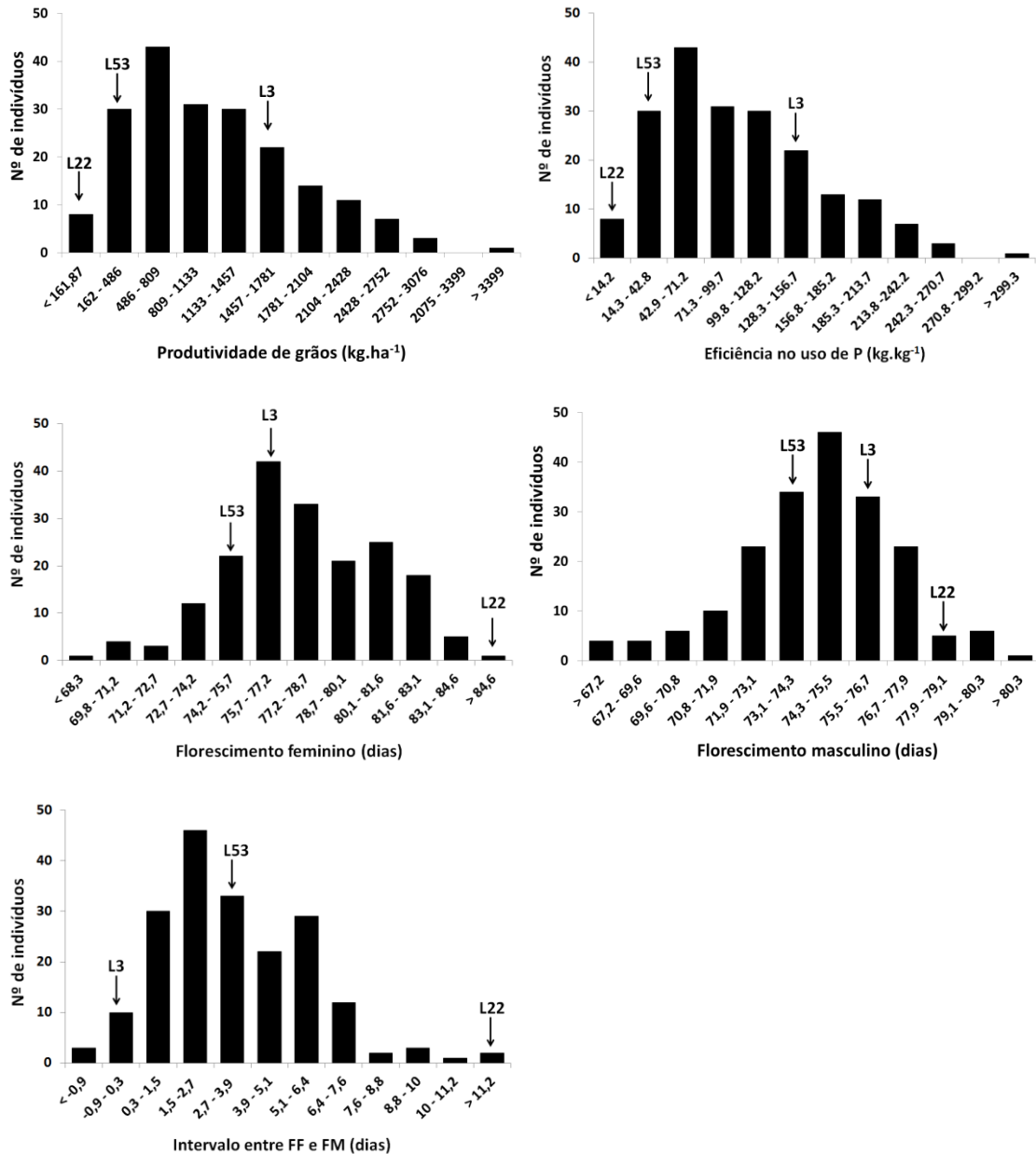


Figura 1. Distribuição de frequência das características agrônômicas de 200 linhagens do painel de milho avaliadas em ambiente de baixa disponibilidade de P no solo.

Além da produtividade de grãos, outras características agrônômicas devem ser consideradas no desenvolvimento de novas linhagens, entre elas a data de florescimento tem papel expressivo, sobretudo em ambientes de estresse abióticos, como sob deficiência de P. Em condições de estresse, as plantas tendem a atrasar o florescimento, aumentando o ciclo da cultura, além disso, a sincronia entre florescimento masculino e feminino é afetada, ocasionando um aumento no intervalo entre florescimento feminino e masculino, o que pode levar a uma baixa taxa de polinização e consequente perda de produtividade de grãos. Nesse trabalho, foram observadas médias de 75 dias para florescimento masculino e 78 dias para florescimento feminino, em geral, as linhagens se mostraram tardias quando submetidas ao estresse por deficiência de P no solo. Adicionalmente, o intervalo entre florescimento feminino e masculino foi em média de três dias. As testemunhas L53 e L3 foram mais precoces em relação à testemunha L22.

#### 4 CONCLUSÃO

Há variabilidade entre as linhagens de milho para as características agronômicas avaliadas em condição de baixo P no solo.

Existem linhagens com produtividade de grãos superior à testemunha L3, considerada eficiente no uso de P.

As médias das características agronômicas obtidas para cada linhagem são acuradas, com altas estimativas de herdabilidade, o que é fundamental para o mapeamento associativo. Espera-se, assim, utilizar essas médias para realizar o mapeamento associativo para as características avaliadas e identificação de regiões genômicas associadas com a expressão da eficiência no uso de P.

#### 5 REFERÊNCIAS

FAO STAT- Food and Agriculture Organization of the United Nations.

<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. <Acesso em 20/09/2017>.

MACKAY, I; POWELL, W. Methods for linkage disequilibrium mapping in crops. *Trends Plant Sci.* 12, 57–63, 2007

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, Madison, v. 74, p. 562-564, 1982.

SAS Institute. 1999. SAS STAT 9.2 user's guide, vol. 6. SAS Institute, Cary, NC.

YU, J., BUCKLER, E. S. Genetic association mapping and genome organization of maize. *Current Opinion in Biotechnology* **17**, 155-160, 2006.