

Abordagem Ontogenética na Análise de Trilha em Cevada¹

Tesfahun Alemu Setotaw², Raoni Gwinner³, Alisson Wilians Teixeira Silva⁴, Shimelese Gezahegne Belayneh⁵, Juliano Lino Ferreira⁶

Resumo

Correlação e análise de trilha com base na abordagem ontogenética foram usadas para desenvolver critérios de seleção em cevada (*Hordeum vulgare* L.) para o sistema de produção antecipado temporalmente da Etiópia. Um total de 100 genótipos, utilizando o delineamento látice simples 10 x 10, com duas repetições foram usadas para implantar o experimento em Ambo e Asasa. A análise combinada das características medidas apresentou diferença significativa entre os genótipos para todas as características. A análise de trilha ontogenética mostrou efeito direto positivo significativo no rendimento de grãos pelo número de espigas por m², peso de 1000 grãos e número de grãos por espiga. Dessa maneira, estas características podem ser usadas como critério de seleção para melhorar o rendimento de grãos na Etiópia.

Introdução

Cevada (*Hordeum vulgare* L.) é uma das culturas de cereais mais importantes na Etiópia, e é usado como o malte e para alimentação. A cevada é cultivada na Etiópia a partir de altitudes baixas (1500 m) até regiões de altas altitudes (3000 m) (Lakew et al. 1997). A cevada é também uma das principais culturas de cereais de médias altitudes e do sistema de produção antecipado daquele país (Abay e Bjørnstad, 2003). A maioria dos agricultores nessas áreas usa a sua própria população crioula, devido à ausência de cultivares de cevada liberados de institutos de pesquisa.

O objetivo do produtor de cevada nessas áreas é o desenvolvimento de cultivares de cevada bem adaptados, de alto rendimento, que possa atender o sistema de produção antecipada da região, que é frequentemente afetada por estresse hídrico no final do ciclo. Então, para desenvolver cultivares adequadas para estas áreas é importante para utilizar critérios de seleção adequados, que podem aumentar a eficiência da seleção sob o ambiente de destino. Ceccarelli et al. (1991) mostraram a importância de selecionar genótipos no ambiente alvo, se o objetivo é o desenvolvimento de cultivares para o ambiente de stress. Para desenvolver um método de seleção eficiente é necessário o estudo das associações de componentes de produção e sua influência no rendimento de grãos. Neste ponto, correlação e análise de trilha podem ser empregadas para compreender a inter-relação entre os componentes de produção e os efeitos diretos e indiretos do que na produção de grãos.

Com base em nosso conhecimento, este tipo de informação não está disponível na cultura da cevada, na Etiópia, especialmente sob o sistema de produção antecipado do país. Desta maneira, evidencia-se a importância do desenvolvimento de critérios de seleção adequados, utilizando o modelo ontogenético de análise de trilha, para essa cultura, visando melhorar a eficiência da seleção, e conseqüentemente, aumentar a produtividade. A falta desta informação prejudica a eficiência do desenvolvimento de genótipos bem adaptados ao ambiente específico que sofrem de estresse hídrico de final de ciclo.

Portanto, o objetivo deste estudo é desenvolver critérios de seleção com base na análise do coeficiente de trilha ontogenético sequencial na cevada (*Hordeum vulgare* L.) para melhorar o rendimento de grãos sob sistema de produção antecipado da Etiópia.

Material e Métodos

Foi utilizada uma centena de genótipos de cevada (65 do programa de melhoramento de cevada ICARDA e 35 linhagens crioulas desenvolvidas pelo Programa Nacional de Melhoramento de cevada da Etiópia) com adaptação para áreas de médias altitudes e baixa umidade.

¹ Pesquisa desenvolvida pelo primeiro como parte do pós-doutorado PNPd/CAPES

² Pós-doutorando do Programa PNPd/CAPES – EPAMIG/Caldas. Bolsista da CAPES. e-mail: setotaw2006@gmail.com

³ Mestrando do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia – UFLA/Lavras. Bolsista do CNPq. e-mail: rgw@posgrad.ufla.br

⁴ Bolsista de Iniciação Científica Júnior EPAMIG/Caldas. Bolsista da FAPEMIG. e-mail: alissonwilians@hotmail.com

⁵ Pesquisador Kulumsa Agricultural Research Center, Assela, Ethiopia. e-mail: tesalemu@yahoo.com

⁶ Pesquisador da Embrapa Pecuária Sul – CPPSUL - EMBRAPA/Bagé. e-mail: juliano.ferreira@embrapa.br

Esses 100 genótipos foram plantados em dois locais, Asasa e Ambo, que representam as áreas de altitude médias do Etiópia no ano agrícola de 2000/2001. Asasa está localizada a 7° 7' N, 39° 11' L em uma altitude de 2300 m. O regime de precipitação anual médio é de 600 mm. A temperatura anual mínima e máxima é de 5,4 °C e 24 °C, respectivamente. Ambo Plant Protection Research Center está localizado a 8° 57' N, 38° 7' L em uma altitude de 2200 m. O regime de precipitação anual médio é de 740 mm. A temperatura anual mínima e máxima é de 25,6 °C e 10,3 °C, respectivamente.

O delineamento utilizado foi o látice simples (10 x 10), com duas repetições, sendo os ensaios implantados em dois locais experimentais nas condições de cultivo e uso habituais. O estudo utilizou a análise de trilha com base no modelo ontogenético. A parcela consistiu de 1,20 m de largura e 2,5 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 20 cm. O rendimento de grãos por m² e os componentes de produção foram tomados a partir de quatro linhas centrais de cada parcela. A quantidade de sementes foi de 85 kg ha⁻¹ e a adubação será a recomendada para a cultura e ponderada de acordo com a análise de solos dos dois locais. Os dados sobre as características altura da planta, número de perfilhos por planta, número de espigas por m², número de espiguetas por espiga e número de grãos por espiga foram registrados em 10 plantas tomadas ao acaso de cada parcela e a média utilizada para a análise estatística. As outras características como dias até a espigamento, peso de 1000 grãos e rendimento de grãos por m² foram determinados com base toda a parcela. O período de enchimento de grãos foi calculado conforme a diferença entre os dias até maturidade e os dias até o espigamento. As análises combinadas de variância (ANOVA) para as características avaliadas foram feitas utilizando o aplicativo estatístico GENES (Cruz, 2006). A análise de trilha do rendimento de grãos e componentes do rendimento foi feita considerando-se o desenvolvimento da planta ontogenético sequencial descrito por Zadoks et al. (1974) e elaborado por Kozak e Azevedo (2011). O efeito indireto da variável independente sobre a variável dependente foi calculada multiplicando-se todos os coeficientes de trilha encontrados entre a variável independente e a dependente ao longo do modelo de trilha. O efeito indireto e total (efeito direto + indireto) de cada variável sobre outras variáveis foi estimado processando o código path.sas (SAS Inst. 2.004), desenvolvido pela Wuensch (2012).

Resultados e Discussão

A análise de variância das características medidas mostrou diferença significativa entre os genótipos para todas as características medidas ao nível de probabilidade $P < 0,01$ (Tabela 1). A análise de variância revelou a existência de ampla variabilidade genética entre os genótipos de cevada que pode ser explorado no futuro em programa de melhoramento genético para o desenvolvimento de novas cultivares adequadas para o sistema de produção precoce da Etiópia. Esta variabilidade genética é observada em todas as características medidas entre os genótipos. Setotaw et al. (2010) também relataram alta variabilidade genética entre acessos de cevada da Etiópia para diferentes características agrônômicas, incluindo rendimento de grãos. Para explorar essa variabilidade genética, a utilização da análise de trilha ontogenética é crucial para compreender a forma como o rendimento de grãos e componentes de produção está relacionado.

A análise de trilha de rendimento de grãos nos principais componentes de produção (número de espigas por m², número de grãos por espiga e peso de mil grãos) mostrou que estas três características tem efeito positivo direto no rendimento de grãos (Tabela 2). O efeito direto mais alto foi exercido por número de grãos por espiga (1,65), seguido pela característica número de espigas por m² (1,14). O efeito total dos componentes de produção, incluindo efeitos direto e indiretos via outros componentes de produção, mostrou que número de grãos por espiga e peso de mil grãos tem efeito total positivo e significativo. Dessa maneira, demonstrando que estas características podem ser usadas como critério de seleção para melhorar o rendimento de grãos em cevada.

A análise de trilha do rendimento de grãos e os principais componentes de rendimento mostraram que espigas por m², número de grãos por espiga e peso de mil grãos melhor explicam a variação total do rendimento de grãos com $R^2 = 0,908$ (Tabela 2). Isso prova que o modelo de análise de trilha utilizada neste estudo para explicar a variabilidade do rendimento de grãos por m² se encaixa bem e explicou a hipótese proposta.

O efeito indireto dos componentes de produção no rendimento de grãos por m² mostrou o número de número de espigas por m² exerce efeito indireto negativo significativo via peso de mil grãos (Tabela 2). Número de grãos por espiga tem forte efeito negativo (-0,811) no rendimento de grãos via peso de mil grãos.

Mesmo com o efeito indireto negativo o efeito total sobre a produção de grãos é positiva (0,819), o que mostrou o efeito final é positivo devido ao alto efeito direto.

Mesmo se estudo de associação entre rendimento de grãos e características relacionadas com rendimento fornecer alguma pista de como a produção de grãos e outras características agrônômicas estão inter-relacionadas, o mesmo não pode ser usado sozinho como uma ferramenta para o desenvolvimento de critérios de seleção, devido à natureza complexa da associação entre eles. Portanto, é importante empregar análise de trilha para entender claramente a inter-relação entre os componentes de produção e produtividade de grãos. Neste estudo, a análise de trilha foi feita com base no modelo ontogenético de desenvolvimento da planta de cereais, como descrito por Zadoks et al. (1974). Uma vez que no desenvolvimento da planta, a característica que aparece primeiro apenas afeta as que se desenvolvem na fase posterior, e não o inverso.

Tabela 1 Análise de variância das características agrônômicas avaliadas nos municípios de Ambo e Asasa na Etiópia

Fonte de variação	DF	DE	PEG	AP	PP	ESPM ⁻²
Local	1	17596,0**	5394,90**	12111,0**	1291,9**	1022,6**
Genótipos	99	137,8**	77,95**	635,5**	4,3**	3,8**
Local x genótipos	99	10,8**	25,79*	86,1*	1,5**	1,5**
Erro	198	4,5	17,79	22,1	1,1	0,9
CV %		3,2	10,5	4,94	23,04	19,3
Fonte de variação	DF	ESPG ESP ⁻¹	NG ESP ⁻¹	P1000	Prod parc ⁻¹	
Local	1	5488,9**	5018,1**	1302,8**	2859303,5**	
Genótipos	99	812,2**	500,6**	241,3**	21319,4**	
Local x genótipos	99	55,9**	48,7**	16,1**	7248,9**	
Erro	198	18,2	13,2	13,1	4196,4	
CV %		10,1	10,1	10,1	15,1	

DE: dias até o espigamento; PEG: período de enchimento de grãos; AP: altura de planta; PP: perfilhos por planta; ESPM⁻²: número de espigas por m²; ESPG ESP⁻¹: espiguetas por espiga; NG ESP⁻¹: número de grãos por espiga; P1000: Peso de mil grãos; Prod parc⁻¹: produção por parcela.

* Significativo, pelo teste F a 5% de probabilidade.

** Significativo, pelo teste F a 1% de probabilidade.

Nosso estudo mostrou que a análise de trilha ontogenética é mais eficiente na determinação dos efeitos diretos e indiretos para desenvolver critérios de seleção adequados para melhorar o rendimento de grãos de cevada para o sistema de produção precoce. O número de espigas por m², peso de mil grãos e número de grãos por espiga podem ser usados como critérios de seleção nesta região para melhorar a produtividade na cevada.

Tabela 2 Análise de trilha de produtividade por m² de 100 genótipos de cevada cultivados nos municípios de Ambo e Asasa na Etiópia

Trilha	Efeito
Número de espigas por m ² verso produtividade de grãos	
Efeito direto	1,140
Efeito indireto via	
Número de grãos por espiga	-0,020
Peso de mil grãos	-0,310
Efeito total	0,192
Correlação	0,291
Número de grãos por espiga	
Efeito direto	1,630
Efeito indireto	
Número de espigas por m ²	-

Peso de mil grãos	-0,811
Efeito total	0,819
Correlação	0,038
<hr/>	
Peso de mil grãos	
Efeito direto	1,040
Efeito indireto via	
Número de espigas por m ²	-
Número de grãos por espiga	-
Efeito total	0,495
Correlação	1,040
<hr/>	
R ²	0,908

Agradecimentos

Os autores gostariam de aproveitar esta oportunidade para agradecer à equipe técnica Centro de Pesquisa Agropecuária Kulumsa (*Kulumsa Agricultural Research Center*), em especial à equipe de melhoramento de cevada, que contribuiu para a execução do trabalho de campo e de laboratório. Agradecimento também ao Instituto de Pesquisa Agrícola etíope (*Ethiopian Agricultural Research Institute*) pelo apoio financeiro e ICARDA por fornecer parte do germoplasma utilizado neste estudo. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo de pós-doutorado ao primeiro autor. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por fornecer pela concessão da bolsa de estudo de mestrado ao segundo autor. À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de estudo de iniciação científica júnior ao terceiro autor. À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Referências

- Abay, F and Bjørnstad, A (2009) Specific adaptation of barley varieties in different locations in Ethiopia. **Euphytica** **67**: 181–195.
- Ceccarelli, S and Grando, S (1991) Environment of selection and type of germplasm in barley breeding for stress conditions. **Euphytica** **57**: 207-219.
- Cruz CD (2006) **Programa Genes - Biometria**. Editora UFV, Viçosa, 382p.
- Kozak, M and Azevedo, RA (2011) Does using stepwise variable selection to build sequential path analysis models make sense? **Physiologia Plantarum** **141**: 197-200.
- Lakew B et al. (1997) Exploiting the diversity of barley landraces in Ethiopia. **Genetic Resources and Crop Evolution** **44**: 109-116.
- Setotaw TA et al. (2010) Genetic divergence among barley accessions from Ethiopia. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** **10**: 116-123.
- Wuensch KL (2012) **An introduction to path analysis**. Disponível em: <http://core.ecu.edu/psyc/wuenschk/MV/SEM/Path.pdf> on <January 15, 2013>
- Zadoks JC et al. (1974) A decimal code for growth stages of cereals. **Weed Research** **14**: 415-421.