

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

MODELOS DE RELAÇÕES DE CAUSA E EFEITO DO NITROGÊNIO PARA FAVORECIMENTO DE EXPRESSÃO DOS COMPONENTES DE PRODUTIVIDADE DA PANÍCULA DE AVEIA NO SISTEMA SOJA/AVEIA¹

**Rubia Diana Mantai², Anderson Marolli³, Osmar Brunelau Scremin⁴, Ana Paula Brezolin⁵,
Ângela Teresinha Woschinski De Mamann⁶, José Antonio Gonzalez Da Silva⁷.**

¹ Parte dos resultados de pesquisa desenvolvida pelo DEAg/UNIJUÍ

² Doutoranda em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUÍ, rdmantai@yahoo.com.br

³ Doutorando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUÍ, marollia@yahoo.com.br.

⁴ Doutorando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUÍ, osmarscremin@hotmail.com

⁵ Doutoranda em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUÍ, anabrezolin@hotmail.com

⁶ Docente UFRS e Mestre em Modelagem Matemática pela UNIJUÍ, angelademamann@hotmail.com

⁷ Professor do Departamento de Estudos Agrários da UNIJUÍ, jagsfaem@yahoo.com.br

Introdução

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é um cereal de estação fria, utilizada de múltiplas formas, entretanto, recebe destaque na alimentação humana, com grãos ricos em proteínas, fibras, vitaminas e minerais, trazendo benefícios à saúde (CHAI et al., 2012). Atualmente, no Rio Grande do Sul, a produção de grãos de aveia está concentrada nas microrregiões geográficas de Ijuí (23,3%), Cruz Alta (19,6%), Passo Fundo (13,5%) e Vacaria (13,1%), correspondendo à 34,0% da produção brasileira, sendo o segundo cereal de inverno mais cultivado no país (CONAB, 2015).

A produtividade de grãos da aveia é dependente da disponibilidade de nitrogênio, que promove efeitos que modificam a expressão dos componentes de produção, elevando a qualidade e a produtividade da cultura (MANTAI et al., 2015). Entretanto, este nutriente é um contaminante inorgânico de grande preocupação, devido a dezenas de milhões de toneladas de nitrogênio que são aplicadas anualmente como fertilizantes na agricultura, sendo altamente solúvel em água e facilmente lixiviado para a água subterrânea, contaminando aquíferos e poços de água potável (PRANDO et al., 2013).

Várias pesquisas afirmam que o nitrogênio exerce forte influência sobre o número de afilhos férteis, o número e a massa de grãos, a massa da panícula, o número de espiguetas por panícula e a massa de mil grãos (KOLCHINSKI E SCHUCH, 2003; DALCHIAVON et al., 2012), os quais são componentes diretos e indiretos da produtividade de grãos, sendo a maioria destes componentes pertencentes à inflorescência da cultura. Deste modo, a associação da produtividade de grãos com os componentes da inflorescência representam uma estratégia que pode otimizar as formas de uso do nutriente.

A análise dos coeficientes de correlação, apesar de quantificarem a magnitude e direção das influências dos componentes da panícula sobre a produtividade de grãos, não determinam as

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

influências diretas e indiretas destes componentes, sendo este o foco do modelo de análise de trilha, que particiona um componente e verifica o efeito direto e indireto de outros componentes sobre uma variável básica (WRIGHT, 1923). O uso destes modelos podem definir os componentes da panícula que expressam maiores modificações pelo uso de nitrogênio, otimizando o uso deste nutriente com resposta direta ou indireta na produtividade de grãos.

O objetivo do estudo foi determinar e dimensionar os efeitos diretos e indiretos dos componentes da panícula de aveia sobre a produtividade de grãos influenciadas por distintas doses de N-fertilizante em sistema de sucessão de alta liberação de N-residual.

Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido nos anos agrícola de 2013 e 2014, na área experimental do Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR) pertencente ao Departamento de Estudos Agrários (DEAg) da UNIJUÍ no município Augusto Pestana, RS. Nos dois anos, a semeadura foi realizada na primeira semana de junho com semeadora-adubadora para composição da parcela constituída de 5 linhas de 5 m de comprimento e espaçamento entre linhas de 0,20 m, formando a unidade experimental de 5 m². Durante a execução do estudo, foram efetuadas aplicações de fungicida tebuconazole de nome comercial FOLICUR® CE na dosagem de 0,75 L/ha. Além disto, o controle de plantas daninhas foi efetuado com herbicida metsulfuron-metil na dose de 4 g/ha do produto comercial e capinas adicional sempre que necessário. Nos experimentos foi aplicado na semeadura 60 e 50 kg/ha de P₂O₅ e K₂O com base nos teores de P e K no solo para expectativa de produtividade de grãos de 3 t/ha, respectivamente, e de N na base com 10 kg/ha, sendo o restante para contemplar as doses propostas em cobertura no estádio indicado de quarta folha expandida com presença de colar.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, seguindo esquema fatorial 3 x 2 para as doses de N-fertilizante (30, 60 e 120 kg/ha) com a fonte ureia e cultivares de aveia (Barbarasul e Brisasul), em um sistema de cultivo de reduzida relação C/N (sistema soja/aveia).

A produtividade de grãos (PG) foi obtida pelo corte de três linhas centrais de cada parcela no estádio de maturidade de colheita, com umidade de grãos ao redor de 22%. As plantas foram trilhadas com colheitadeira estacionária e direcionadas ao laboratório para correção da umidade de grãos para 13% e pesagem para estimativa da produtividade de grãos (PG, kg/ha). Na análise dos componentes da panícula, realizou-se a coleta aleatória de 20 panículas de aveia por unidade experimental, que foram direcionadas ao laboratório para correção da umidade de grãos em 13%, e, posterior, decomposição dos componentes da inflorescência. Portanto, foi mesurado o comprimento da panícula (CP, cm), número de espiguetas da panícula (NEP, n), número de grãos da panícula (NGP, n), massa da panícula (MP, g), massa de grãos da panícula (MGP, g) e índice de colheita da panícula (ICP, g/g) dada pela relação da massa do grão da panícula pela massa da panícula (Figura 1).

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

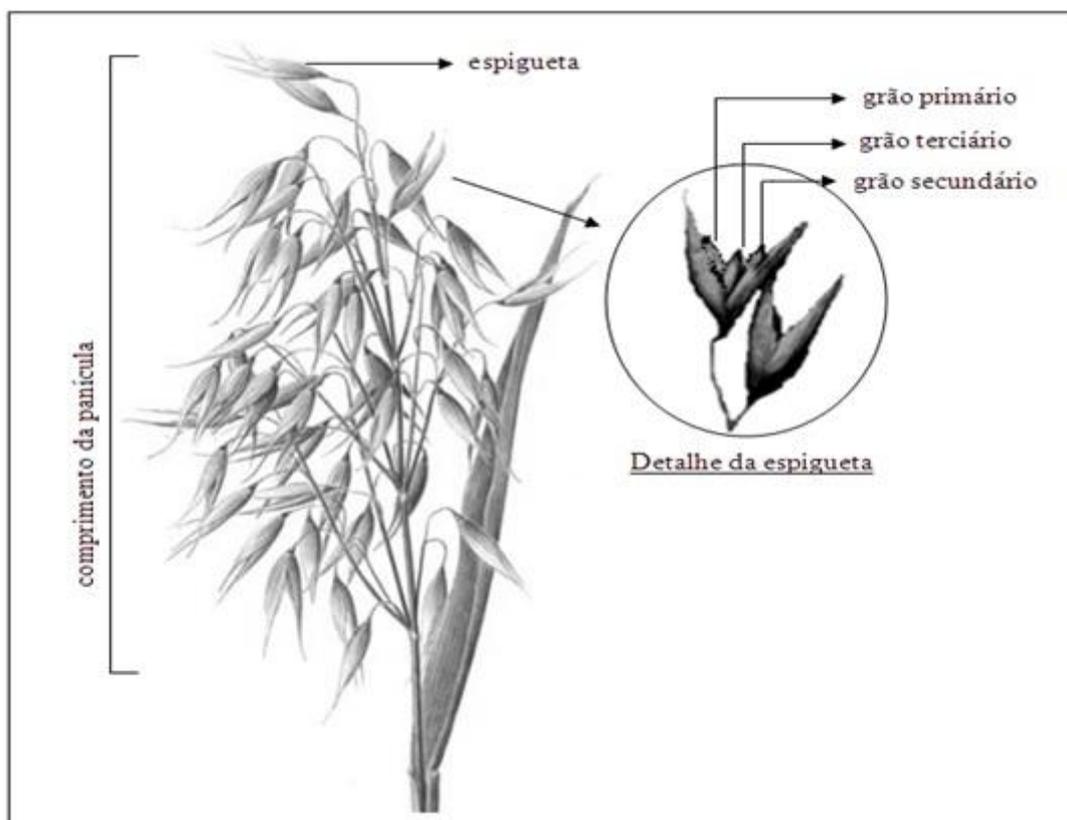


Figura 1. Detalhe da panícula da aveia branca, base de análise para decomposição dos componentes da inflorescência

Embora evidenciada a presença de interação entre os fatores, os efeitos para estimativa da contribuição relativa pelas doses de nitrogênio foram dimensionadas por ano agrícola pelo efeito conjunto de cultivares, pois se trata de inferências a serem generalizadas sobre a espécie e não a uma cultivar. Foi realizada análise de contribuição relativa pelo efeito do nitrogênio pela distância de Mahalanobis. A contribuição relativa foi avaliada pelo método de Singh com base na estatística S.j. Assim tem-se,

$$D_{ii}^2 = \delta' \psi^{-1} \delta = \sum_{j=1}^n \sum_{j'=1}^n \omega_{jj'} d_j d_{j'}$$

em que: D_{ii}^2 = distância de Mahalanobis entre os tratamentos i e i' ; V = matriz de variâncias e covariâncias residuais; $M' = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n]$, sendo $d_j = Y_{ij} - Y_i'j = Y_{ij}$; Y_{ij} = média da i -ésima dose em relação ao j -ésimo caráter; $\omega_{jj'}$ = elemento da j -ésima linha e j' -ésima coluna da inversa da matriz de variâncias e covariâncias residuais.

O total das distâncias envolvendo todos os pares de tratamentos é dado por:

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

$$\sum_{i < j} \sum_i D_{ij}^2 = \sum_m D_m^2 = \sum_{j=1} S_j$$

Os valores percentuais da contribuição relativa (S_j) constituem a medida da importância relativa da variável j . A análise de trilha foi realizada para detecção de efeitos diretos e indiretos das variáveis sobre a produtividade de grãos nas doses de fornecimento de nitrogênio. Portanto, nesta análise, foi considerado o efeito conjunto de anos e cultivares para posterior decomposição de efeitos diretos e indiretos pela análise de trilha. Sendo Y (produtividade de grãos) a variável principal resultante da ação conjunta de outras variáveis (componentes da panícula), é obtido seguinte modelo:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

em que X_1, X_2, \dots, X_n são variáveis explicativas e Y a variável principal (ou dependente).

Por este modelo, foram estimados os efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável principal. Os coeficientes de trilha foram estimados a partir de um sistema de equações, sendo,

$$X'Y = \begin{bmatrix} r_{1y} \\ r_{2y} \\ \vdots \\ r_{ny} \end{bmatrix} \quad X'X = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{12} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{1n} & r_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \hat{\beta} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix}$$

sendo: r_{ij} = correlação entre a variável principal (y) e a i -ésima variável explicativa; p_i = medida do efeito direto da variável i sobre a variável principal; p_{jri} = medida do efeito indireto da variável i , via variável j , sobre a variável principal. Para todas as determinações foi empregado o programa computacional Genes.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1, dos valores médios para o ano de 2013, houve uma tendência de incremento na expressão das variáveis da dose mais reduzida para a intermediária (60 kg N/ha), e um decréscimo da intermediária para a dose mais elevada (120 kg/ha). No ano de 2012, uma tendência de redução foi detectada na produtividade de grãos com incremento do N-fertilizante. Entretanto, para as demais variáveis houve incremento da média geral na dose mais elevada de nitrogênio. Destaca-se para Krüger et al. (2011) que a máxima exploração do potencial genético de uma cultivar está relacionada ao melhor aproveitamento dos estímulos ambientais pela planta, sugerindo que o ajuste da dose de adubação traz uma eficiente alternativa de promover à produtividade vegetal.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Tabela 1. Análise dos valores médios e contribuição relativa pela distância de Mahalanobis para os caracteres ligados a produção da aveia branca.

Variáveis	Estatística Descritiva - Médias						Contribuição Relativa (%)	
	2013			2014			2013	2014
	30	60	120	30	60	120		
PG	3693	4123	3537	3060	3051	2954	6.63	1.27
MP	2.65	2.72	2.42	2.84	2.97	3.05	38.91	24.25
MGP	2.33	2.38	2.10	1.80	1.91	1.97	43.54	25.93
NEP	39	45	42	42	44	49	4.59	29.14
NGP	73	78	71	77	82	89	0.03	3.82
CP	19.01	19.53	19.46	19.90	20.80	20.06	0.85	13.99
ICP	0.87	0.87	0.86	0.63	0.63	0.64	5.41	1.57

PG= produtividade de grãos (kg/ha); MP= massa da panícula (g); MGP= massa de grãos da panícula (g); NEP= número de espiguetas por panícula (contagem); NGP= número de grãos por panícula (contagem); CP= comprimento da panícula (cm); ICP= índice de colheita da panícula (MGP/MP)

A análise de contribuição relativa (Tabela 1), destaca que a variação morfológica tem por base as diferenças entre as doses de nitrogênio. Portanto, para o ano de 2013, a maior contribuição frente à variação total, foi obtida pelas variáveis MP e MGP. Destaca-se que no ano de 2014, também foram estas as variáveis que expressaram elevada contribuição, junto do NEP. Assim, as modificações que se dão pelo incremento das doses de adubação, qualificam o MP e a MGP, como de maior sensibilidade ao promover alterações. Kurek et al. (2002), também encontraram na MP a maior contribuição na identificação de plantas com maior PG observada pelos componentes da inflorescência.

Além disso, independente dos anos de cultivo, a MGP se mostrou a variável mais responsiva a alterações frente às doses de N-fertilizante. Nota-se que à medida que a dose do nitrogênio vai sendo incrementado, mudanças na contribuição vão acontecendo. A contribuição relativa têm sua importância como forma de conhecer os caracteres que contribuem para a variabilidade da cultura, não sendo indicado variáveis que possuem pouca influência no processo de seleção de genótipos.

Na Tabela 2 da análise de correlação e trilha em cada dose de N, a correlação PG x MP não foi observada na dose mais reduzida e intermediária de N-fertilizante. Tal condição também foi observada na correlação PG x NEP, PG x NGP e PG x CP. Por outro lado, o estudo das relações entre as variáveis citadas anteriormente, indicam que a condição do sistema de sucessão (soja/aveia) já tem trazido o favorecimento na expressão sobre estas variáveis. Tal fato vem a reforçar este argumento visto às correlações significativas e negativas obtidas na dose mais elevada do N, pois, o incremento da MP nestas condições tende a favorecer a redução da PG. Na dose de N mais elevada, à correlação negativa PG x MP mostra na grande maioria das variáveis elevada contribuição indireta negativa pelo ICP, CP, NGP e direta também negativa pela PG sobre esta correlação.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Tabela 2. Correlação e trilha nas doses de nitrogênio em aveia no sistema soja/aveia.

Y	Efeito	Doses N (kg/ha)			Y	Efeito	Doses N (kg/ha)		
		30	60	120			30	60	120
MP	r (PG)	-0,22 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,71*	NGP	r (PG)	-0,24 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,72*
	D: PG	-0,41	-0,03	-0,17		D: PG	-0,13	0,12	-0,34
	ID: MGP	0,20	0,42	-0,02		ID: MP	-0,30	-0,03	-0,16
	ID: NEP	-0,03	-0,15	0,28		ID: MGP	0,11	0,43	-0,04
	ID: NGP	-0,10	0,11	-0,31		ID: NEP	-0,03	-0,15	0,32
	ID: CP	0,21	-0,30	-0,21		ID: CP	0,19	-0,27	-0,26
	ID: ICP	-0,09	-0,01	-0,27		ID: ICP	-0,08	0,02	-0,24
MGP	r (PG)	0,65*	0,67*	-0,14 ^{ns}	CP	r (PG)	-0,12 ^{ns}	-0,41 ^{ns}	-0,63*
	D: PG	0,46	0,58	-0,03		D: PG	0,33	-0,40	-0,35
	ID: MP	-0,18	-0,02	-0,10		ID: MP	-0,26	-0,05	-0,10
	ID: NEP	-0,01	-0,13	0,11		ID: MGP	0,06	0,18	-0,03
	ID: NGP	-0,04	0,12	-0,17		ID: NEP	-0,03	-0,11	0,21
	ID: CP	0,05	-0,13	-0,15		ID: NGP	-0,07	0,08	-0,25
	ID: ICP	0,37	0,25	0,20		ID: ICP	-0,15	-0,11	-0,11
NEP	r (PG)	-0,31 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,60*	ICP	r (PG)	0,84*	0,87*	0,67*
	D: PG	-0,05	-0,16	0,34		D: PG	0,46	0,38	0,52
	ID: MP	-0,22	-0,03	-0,14		ID: MP	0,08	0,01	0,09
	ID: MGP	0,01	0,47	-0,01		ID: MGP	0,35	0,39	-0,01
	ID: NGP	-0,10	0,10	-0,31		ID: NEP	0,02	-0,04	-0,18
	ID: CP	0,19	-0,28	-0,20		ID: NGP	0,04	0,01	0,16
	ID: ICP	-0,14	0,09	-0,28		ID: CP	-0,11	0,12	0,09
Parâmetros	Doses de nitrogênio (kg/ha)								
	30	60	120						
R ²	0,87	0,90	0,75						
Valor de k	0,0520478	0,0520478	0,04973186						

Y= variável; PG= produtividade de grãos (kg/ha); MP= massa da panicula (g); MGP= massa de grãos por panicula (g); NEP= número de espiguetas por panicula; NGP= número de grãos por panicula; CP= comprimento da panicula (cm); ICP= índice de colheita da panicula (MGP/MP, g/g); r= correlação; D= efeito direto; ID= efeito indireto; R²= coeficiente de determinação; k= coeficiente de linearização; *= Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste; ns= Não significativo.

Na correlação PG x NEP (Tabela 2), estas mesmas variáveis também maximizaram o efeito indireto negativo sobre esta correlação, exceto a PG que mostrou efeito direto positivo. Assim, na correlação PG x NGP destaca-se o efeito indireto negativo do ICP, CP, MP e direto negativo da PG, fortalecendo uma correlação de sinal e sentido contrário. Nesta condição, apenas o efeito indireto via NEP tende a favorecer um acréscimo positivo. A correlação, PG x CP na dose mais elevada qualifica o efeito direto negativo pela PG e indireto negativo pelo NGP, portanto, o aumento do CP traz o efeito da correlação negativa principalmente advindo do NGP, componente direto de produção desta espécie.

Ressalta-se que na relação PG x MGP ficou destacado uma correlação significativa positiva tanto no ponto 30 como de 60 kg/ha de N. Estas associações trazem consigo um elevado efeito pela PG e indireto via ICP. Contudo, a ausência de correlação na dose mais elevada foi detectada, trazendo

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

subsídios que nesta condição a capacidade de aproveitamento do N pela aveia anterior até este ponto já tinha sido finalizada, não permitindo permanecer com a relação linear.

Fato altamente relevante foi a correlação direta positiva da PG x ICP, trazendo esta contribuição em todas as condições de adubação. Além disso, tal contribuição é favorecida tanto pelo efeito direto via PG nas três condições de adubação, como indireto via MGP aos 30 e 60 kg N/ha. Alves e Kist (2010), constataram resultados semelhantes, com correlação significativa positiva da produtividade de grãos com a massa de grãos da panícula e o número de grãos da panícula. De acordo com Beche et al. (2014), o desenvolvimento de cultivares mais eficientes no uso de nitrogênio, se devem a genótipos com maiores eficiências de absorção, remobilização e utilização de nitrogênio.

Conclusão

As relações de causa e efeito pelos modelos de correlação e decomposição em trilha permitem observações importantes das relações diretas e indiretas entre variáveis. As modificações ocorridas nos caracteres da inflorescência da aveia pelo incremento das doses de adubação nitrogenada qualificam a massa de panícula e de grãos da panícula como as de maior sensibilidade em promover alterações positivas sobre a produtividade de grãos.

Palavras-chave:

Avena Sativa; inflorescência; ureia; correlação; análise de trilha

Agradecimentos

À CAPES, CNPq, FAPERGS e à UNIJUÍ, pelo aporte dos recursos destinados ao desenvolvimento deste estudo e pelas bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica, de Pós-graduação e de Produtividade em Pesquisa.

Referências Bibliográficas:

- ALVES, A. C. & KIST, V. Composição da espiguetta de aveia branca (*Avena Sativa* L.). Revista brasileira de agrociência, 16:29-33, 2010.
- BECHE, E. et al. Eficiência de uso de nitrogênio em cultivares de trigo pioneiras e modernas. Pesquisa agropecuária brasileira, 49:948-957, 2014.
- CHAI, J. et al. Association analysis between seed yield and yield components of oats. Acta Agrestia Sinica, 20:49-53, 2012
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: Acompanhamento da safra brasileira. Safra 2014/2015. Julho/2015.
- DALCHIAVON, F. C. et al. Correlação linear entre componentes da produção e produtividade do arroz de terras altas em sistema plantio direto. Ciências Agrárias 33: 1629-1642, 2012.
- KOLCHINSKI E. M & SCHUCH L. O. B. Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada. Revista Brasileira Ciência do Solo, 27:1033-1038, 2003.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

KRÜGER, C. A. M. B. et al. Arranjo de plantas na expressão dos componentes da produtividade de grãos de canola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46:1448-1453, 2011.

KUREK, A. J. et al. Coeficiente de correlação entre caracteres agronômicos e de qualidade do grão e sua utilidade na seleção de plantas em aveia. *Ciência Rural*, 32:371-376, 2002.

MANTAI, R. D. et al. The dynamics of relation oat panicle with grain yield by nitrogen. *American Journal of Plant Sciences*, 7:17-27, 2016.

PRANDO, A. M. et al. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43:34-41, 2013.

WRIGHT, S. Theory of path coefficients. *Genetics*. New York, v.8, p.239-285, 1923.