

Análise de regressão múltipla progressiva e análise de trilha em sorgo granífero submetido a diferentes doses e épocas aplicações de nitrogênio, em dois anos agrícolas

Pedro Celso Soares da Silva¹ e Cláudio Lovato²

¹ UNIOESTE - Centro de Ciências Agrárias, Campus Marechal Cândido Rondon, PR. Endereço para correspondência: Unioeste/CCA/MCR/LER, Rua Pernambuco, 1777- CEP 85960-000 - Marechal Cândido Rondon, PR.

² UFSM - Departamento de Fitotecnia/CCR. Santa Maria, RS.

pcssagro@yahoo.com.br

Resumo: Com o objetivo de verificar a contribuição direta e indireta de parâmetros de rendimento e morfológicos sobre a produtividade de grãos, realizou-se experimentos com a adubação nitrogenada na cultura de sorgo granífero, aplicada em parcelamentos com diferentes doses e épocas, durante dois anos agrícolas distintos. No experimento conduzido em 2001/02 foi usada uma densidade populacional de 171.000 plantas/ha⁻¹, em plantio direto e foi caracterizado por pouca precipitação. No ensaio conduzido no ano agrícola de 2002/03, houve boa precipitação, e foi utilizada uma densidade populacional de 214.000 plantas/ha⁻¹, em plantio convencional. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições, e era constituído por 21 tratamentos com nitrogênio: 200 kg N/ha⁻¹ na base; 150 kg N/ha⁻¹ na base mais 50 kg N/ha⁻¹ cobertura aos 20, 44, 55, 66 e 74 dias após a emergência das plantas; 100 kg N/ha⁻¹ na base 100 kg N/ha⁻¹ em cobertura aos 20, 44, 55, 66 e 74 dias após a emergência das plantas; 50 kg N/ha⁻¹ na base mais 150 kg N/ha⁻¹ em cobertura aos 20, 44, 55, 66 e 74 dias após a emergência das plantas; 200 kg N/ha⁻¹ em cobertura aos 20, 44, 55, 66 e 74 dias após a emergência das plantas. Em 2001/02, o número de grãos por panícula foi a variável que mais contribuiu para o rendimento de grãos, com uma participação de 55% pela análise de regressão múltipla progressiva e 57,76% de efeito direto pela análise de trilha. No experimento de 2002/03 índice de colheita foi a variável independente que teve maior influência nas variações do rendimento de grãos, sendo responsável por 34% das variações pela análise de regressão múltipla progressiva e 55,14% de efeito direto pela análise de trilha.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, adubação nitrogenada, manejo, produtividade de grãos.

Grain sorghum subjected to different doses and time of applications nitrogen, in two agricultural years

Abstract: In order to verify the contribution of direct and indirect income and morphological parameters on the yield of grain was held experiments with nitrogen fertilizer in the crop of grain sorghum, implemented in tranches with different doses and times, during two different crop years. The experiment conducted in 2001/02 had a population density of 171,000 plants/ha⁻¹, under no tillage and was characterized by low precipitation. The assay carried out in the agricultural year of 2002/03, was characterized by a higher precipitation and was used 214,000 plants/ha⁻¹, in conventional tillage. The experimental design was a randomized block with three repetitions, and constituted by 21 nitrogen treatments: 200 kg N/ha⁻¹ at seeding; 150 kg N/ha⁻¹ at seeding plus 50 kg N/ha⁻¹ top dressed 20, 44, 55, 66 and 74 days after the emergence of the plants; 100 kg N/ha⁻¹ at seeding and 100 kg N/ha⁻¹ plus 20, 44, 55, 66 and 74 days after the emergence of the plants; 50 kg N/ha⁻¹ at seeding and 150 kg N/ha⁻¹ 20, 44, 55, 66 and 74 days after the emergence of the plants; 200 kg N/ha⁻¹ as top dressed only 20, 44, 55, 66 and 74 days after the emergence of the plants. In 2001/02, the number of grains per panicle was the variable that contributed most to grain yield, at 55% by multiple regression analysis and progressive direct effect of 57,76% for examining trail. In the experiment of 2002/03 harvest index was the independent variable that has greater influence on

changes in grain yield, accounting for 34% of variations of multiple regression analysis for progressive and 55.14% of direct effect by analysis of track.

Key words: *Sorghum bicolor*, nitrogen fertilization, management, seed yield.

Introdução

Em função das perdas constantes de produção nas lavouras de milho ocasionadas pelas sequências de estiagens que tem ocorrido no Brasil, a cultura do sorgo surge como excelente opção de substituição.

Neste aspecto há de se considerar que a planta de sorgo é muito diferente da planta de milho, pois a mesma apresenta uma série de características adaptativas que o milho não possui, que são: maior capacidade de tolerância a situações de estresse hídrico, devido a maior eficiência de uso da água; sistema radicular mais profundo e ramificado; presença de estômatos em maior número e em menor tamanho; presença de cera nas folhas e colmos; possui capacidade de entrar em estado de dormência na presença de estresse; tem capacidade de retomar o crescimento logo que o estresse é aliviado com taxas similares as anteriores ao estresse; apresenta maior tolerância a solos com má drenagem.

Por possuir essas características adaptativas é de se esperar que o sorgo tenha uma maior eficiência de uso do nitrogênio em relação ao milho nas mais diversas condições edafo-climáticas. Isto com certeza torna o manejo de nitrogênio mais flexível, oferecendo um número maior de opções do que o milho. Com isto, sugere-se que se possa realizar uma aplicação com alta dose nitrogênio mais tardiamente, e que se obtém ainda assim um rendimento médio satisfatório nesta cultura.

Com o objetivo de verificar a contribuição direta e indireta de parâmetros de rendimento e morfológicos sobre a produtividade de grãos, realizou-se experimentos com a adubação nitrogenada na cultura de sorgo granífero, aplicada em parcelamentos com diferentes doses e épocas, durante dois anos agrícolas distintos.

Material e Métodos

Local

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Fitotecnia, do Centro de Ciências Rurais, da Universidade Federal de Santa Maria, nos anos agrícolas 2001/02 e 2002/03, cujas coordenadas geográficas são: latitude 29° 42'S, longitude 53° 49'W e altitude média de 95 metros.

Clima

O clima da região, segundo a classificação de Wilhelm Koeppen, é do tipo Cfa - clima subtropical. A temperatura média do ar do mês mais quente ocorre em janeiro (24,8°C) e a do mês mais frio em julho (14,1°C). A média das temperaturas mínimas do mês mais quente, em janeiro (18,7°C) e a do mês mais frio em julho (9,3°C) (Moreno, 1961). A radiação solar acompanha a variação do comprimento do dia, variando de 199 cal/cm²/dia no mês de julho a 518 cal/cm²/dia no mês de dezembro. A umidade relativa do ar oscila de maneira inversa com a temperatura do ar e radiação solar, sendo máxima nos meses de inverno, chegando a 83,8% no mês de julho.

Solo

O solo pertence a Unidade de Mapeamento Santa Maria, sendo classificado como Alissolo Crômico argilúvico típico, apresenta maior parte do horizonte B textural (textura franco arenosa ou mais fina que 15% de argila), predominando as cores: matiz 7,5 YR ou mais amarelo com valor superior a 3 e croma superior a 4, ou matiz mais vermelho que 7,5 YR com croma maior que 4 (Embrapa, 1999). São solos medianamente profundos, friáveis e imperfeitamente drenados, apresentando relevo suavemente ondulado a ondulado e são mais apropriados para pastagens, mas podem ser utilizados com milho e soja, apresentando bons rendimentos (Brasil, 1973).

Análise química do solo

A análise química foi realizada pelo Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Santa e apresentou os seguintes resultados:

Resumo da análise do ano agrícola 2001/02

pH SMP=6,2; P=8,8 mg/L; K=112 mg/L e matéria orgânica=3,2%.

Resumo da análise do ano agrícola 2002/03

pH SMP=5,9; P=7,2 mg/L; K=92 mg/L e matéria orgânica=3,3%.

Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento blocos ao acaso, com três repetições, constituído por 21 tratamentos com nitrogênio:

Trat.1 - 200 kg N/ha na base;

Trat.2 - 150 kg N/ha na base e 50 kg N/ha aos 20 dias após a emergência;

Trat.3 - 150 kg N/ha na base e 50 kg N/ha aos 44 dias após a emergência;

Trat.4 - 150 kg N/ha na base e 50 kg N/ha aos 55 dias após a emergência;

Trat.5 - 150 kg N/ha na base e 50 kg N/ha aos 66 dias após a emergência;

Trat.6 - 150 kg N/ha na base e 50 kg N/ha aos 74 dias após a emergência;

Trat.7 - 100 kg N/ha na base e 100 kg N/ha aos 20 dias após a emergência;

Trat.8 - 100 kg N/ha na base e 100 kg N/ha aos 44 dias após a emergência;

Trat.9 - 100 kg N/ha na base e 100 kg N/ha aos 55 dias após a emergência;

Trat.10 - 100 kg N/ha na base e 100 kg N/ha aos 66 dias após a emergência;

Trat.11- 100 kg N/ha na base e 100 kg N/ha aos 74 dias após a emergência;
Trat.12 - 50 kg N/ha na base e 150 kg N/ha aos 20 dias após a emergência;
Trat.13 - 50 kg N/ha na base e 150 kg N/ha aos 44 dias após a emergência;
Trat.14 - 50 kg N/ha na base e 150 kg N/ha aos 55 dias após a emergência;
Trat.15 - 50 kg N/ha na base e 150 kg N/ha aos 66 dias após a emergência;
Trat.16 - 50 kg N/ha na base e 150 kg N/ha aos 74 dias após a emergência;
Trat.17 - 200 kg N/ha aos 20 dias após a emergência;
Trat.18 - 200 kg N/ha aos 44 dias após a emergência;
Trat.19 - 200 kg N/ha aos 55 dias após a emergência;
Trat.20 - 200 kg N/ha aos 66 dias após a emergência;
Trat.21 - 200 kg N/ha aos 74 dias após a emergência.

A fonte de nitrogênio utilizada foi a uréia. Por se tratar de diferentes tratamentos com nitrogênio na base e em cobertura, a aplicação foi realizada manualmente. A aplicação de base foi feita na linha, tão logo era concluída a semeadura com trator e semeadora. A uréia aplicada na base foi incorporada com irrigação. A aplicação de nitrogênio em cobertura foi na fileira, junto as plantas, e a uréia foi incorporada manualmente com o auxílio de enxada.

Caracterização da unidade experimental

As parcelas constituíram-se de quatro linhas de 12 metros de comprimento, espaçadas de 0,70 m entre si, com dimensões de 12,0 x 2,8 m, sendo a área útil, para avaliar a produtividade de grãos e seus componentes, de 5,6 m². As amostragens que envolveram coleta de plantas foram obtidas também nas duas linhas centrais, porém fora da área destinada a determinação da produção de grãos.

Instalação e condução do experimento

Experimento I - ano agrícola 2001/02

No primeiro ano, o experimento foi realizado em plantio direto na palha, onde o procedimento adotado foi o seguinte: uma área experimental de 5.000 m² de campo nativo foi dessecada com herbicida Glyphosate (5L/ha de produto comercial) utilizando um pulverizador costal, aproximadamente quinze dias antes da semeadura do experimento. Após a operação de dessecação realizou-se a demarcação do experimento.

A adubação de base com fósforo e potássio foi realizada mecanicamente no sulco na ocasião da semeadura. Utilizou-se para este fim semeadora de plantio direto e trator. A fonte de potássio utilizada foi cloreto de potássio e a de fósforo o super fosfato simples (P₂O₅ - 18%). Aplicou-se com base na interpretação da Rolas (1995), 20 kg de potássio e 50 kg de fósforo por hectare.

A data de semeadura foi em 01/11/2001. A semeadora foi regulada para população de 250.000 plantas/ha e profundidade de, aproximadamente, 5 cm. A cultivar de sorgo granífero

semeada foi a BRS 305, material com boa presença de tanino (anti-pássaro) e também por ter apresentado produtividade média de 6.020 kg/ha no Ensaio Sul-Riograndense de Sorgo Granífero 1999/2000 conduzido pela Embrapa Clima Temperado (Raupp *et al.*, 2000). Cabe ressaltar ainda que esta cultivar é registrada exclusivamente para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul (Embrapa, 2004).

O desbaste foi realizado quando as plantas tinham aproximadamente 15 cm (três folhas) e, neste caso, foi ajustado para 10 plantas por metro linear de modo a obter uma população de 171.428, plantas/ha. Inicialmente a idéia era usar uma densidade populacional maior, mas isto não foi possível, pois as agências meteorológicas oficiais anunciaram que os cultivos de primavera e verão enfrentariam forte estiagem e optou-se então pelo uso de uma densidade populacional abaixo daquela empregada nos ensaios em rede com sorgo granífero no Rio Grande do Sul que é de 15 plantas por metro linear (Raupp e Brancão, 1998). Esta decisão foi tomada, para evitar a maior competição de plantas por água e também por permitir o uso racional da água em futuras aplicações, já que no local onde foi instalado o experimento havia reduzida disponibilidade deste recurso.

O controle das plantas daninhas foi feito mediante a aplicação de herbicida Atrazine (3,0L/ha de produto comercial) em pós emergência no início do desenvolvimento da cultura. Uma semana depois foi aplicado Bentazon (1,5L/ha de produto comercial).

O controle de *Spodoptera frugiperda* e *Diabrotica speciosa* foi realizado mediante duas aplicações de inseticida a base de Permetrina (25g ia/ha). A primeira aplicação foi feita duas semanas após a emergência das plantas, e a segunda, três semanas após.

Realizaram-se quatro irrigações, sendo a primeira na ocasião da semeadura e aos 66, 73 e 80 dias após a emergência das plantas. Em cada irrigação foi aplicado aproximadamente 10 mm de água, utilizando mangueira de pvc manual, com vazão de 32 litros por minuto. Com o auxílio de um relógio era controlado o tempo de aplicação em cada fileira, de modo que cada parcela recebesse 10 mm. A finalidade destas aplicações de água era fazer com que não perdesse o experimento devido à ocorrência da forte estiagem.

Experimento II - ano agrícola 2002/03

O experimento II foi realizado na mesma área do experimento anterior, com preparo convencional do solo, utilizando lavração e gradagens. Após, realizou-se a demarcação do experimento. Neste segundo ano de experimento foi feita a opção pelo preparo convencional, porque este solo estava bastante compactado, dificultando o estabelecimento das plantas, e também pelo fato das agências meteorológicas oficiais anunciarem que durante a estação de crescimento dos cultivos de primavera-verão haveria excesso de precipitação, o que mais tarde se confirmou durante a condução do experimento.

Fósforo, potássio e nitrogênio e as doses usadas na adubação de base foram iguais ao descrito no experimento I.

A semeadura foi realizada em 16/11/2002, manualmente, com sementes de BRS 305, de modo a obter 250.000 plantas/ha.

O desbaste foi realizado quando as plantas tinham altura média de 15 cm (três folhas) e, foi ajustado 15 plantas por metro linear para obter uma população de 214.285 plantas/ha. Ao contrário do ano anterior, o ano agrícola de 2002/2003 foi um ano bastante chuvoso, e optou-se pelo uso de uma densidade populacional maior.

O controle das plantas daninhas foi efetuado mediante a aplicação de herbicida Atrazine (3,0 L/ha de produto comercial) em pós emergência com uma aplicação aos 20 e outra aos 30 dias após a emergência da cultura. Também foram realizadas, durante o período vegetativo, duas aplicações de Bentazon (1,5L/ha de produto comercial).

O controle da *Spodoptera frugiperda* foi realizado mediante a aplicação de inseticida a base de Permetrina (25g ia/ha de produto comercial), aos 37 e aos 47 dias após a emergência das plantas.

Variáveis avaliadas

Na área útil de cada parcela foram avaliadas as seguintes variáveis: Estatura de plantas (cm), diâmetro de colmo (mm), população final de plantas, número de panículas, número de espiguetas por panícula, número de grãos por panícula, rendimento de grãos (kg/ha), peso de mil grãos (g), índice de colheita (%).

Análises estatísticas

Após a submissão dos parâmetros morfológicos e de rendimento de grãos a análise da variância e aplicação do teste de Scott-Knott para comparação de médias, foi realizada a análise de regressão múltipla progressiva através do método Stepwise, a fim de verificar quais as variáveis que mais influenciaram no rendimento de grãos.

Para finalizar as análises nos parâmetros morfológicos e de rendimento de grãos, realizou-se o estudo da variação total do rendimento devido ao efeito simples e conjunto dos seus componentes, utilizando-se o coeficiente de caminhamento ou análise de trilha (Vencovsky & Barriga, 1992). Para realização da análise de trilha foi utilizado o programa Genes (Cruz, 1997).

Resultados e Discussão

Experimento I - ano agrícola 2001/02

Análise de regressão múltipla progressiva

Para realizar a análise de regressão múltipla utilizou-se como variáveis independentes os seguintes parâmetros: diâmetro de colmo, estatura de planta, população final, número de panículas,

número de espiguetas por panícula, número de grãos por panícula, índice de colheita e peso de mil grãos. Como variável dependente foi utilizado o rendimento de grãos.

Através da aplicação do método Stepwise, verificou-se que houveram cinco interações entre variáveis independentes com o rendimento de grãos (Tabela 1). Na interação um a variável a entrar no modelo foi o número de grãos por panícula e ficaram de fora da equação diâmetro de colmo, estatura de planta, população final, número de panículas, número de espiguetas, índice de colheita e peso de mil grãos. Para a interação dois, a variável que entrou no modelo foi o índice de colheita, sendo que ficaram de fora da equação diâmetro de colmo, estatura de planta, população final, número de panículas, número de espiguetas e peso de mil grãos. Na interação três, entrou no modelo a variável peso de mil grãos e ficaram de fora da equação as variáveis diâmetro de colmo, estatura de planta, população final, número de panículas e número de espiguetas. Na interação quatro, entrou no modelo o número de panículas e ficaram de fora diâmetro de colmo, estatura de planta, população e número de espiguetas. Dentro da interação cinco, entrou no modelo o diâmetro de colmo e ficaram de fora estatura de planta, número de espiguetas e população final.

Tabela 1 – Modelos de equações ajustadas através da análise de regressão múltipla utilizando o método Stepwise em sorgo granífero submetido a 21 tratamentos com nitrogênio. Santa Maria, RS, CCR/UFSM, 2001/02.

INTERAÇÃO	EQUAÇÃO AJUSTADA	R ²
1	$Y=2359,6427 + 1,1011NGP$	0,55
2	$Y=375,8968+1,0613NGP+57,9487IC$	0,59
3	$Y=-2078,9866+1,2383NGP+63,4725IC+75,9414PMG$	0,64
4	$Y=-4771,4548+28,0630NPA+1,2331NGP+62,4927IC+65,5853PMG$	0,66
5	$Y=-6728,9094+126,4873DIA+38,5958NPA+1,1773NGP+52,2545IC+69,2890PMG$	0,69

Onde: Y = rendimento de grãos

DIA = diâmetro de colmo

NGP = número de grãos por panícula

NPA = número de panículas

IC = índice de colheita

PMG = peso de mil grãos.

Através dos coeficientes de determinação (Tabela 1), observa-se que à medida que se vai acrescentando variáveis independentes vai aumentando o R². A magnitude do aumento indica a contribuição da variável. As variáveis diâmetro de colmo, número de grãos por panícula, número de panículas, índice de colheita e peso de mil grãos apresentaram efeito significativo na correlação com rendimento de grãos, sendo que 69% das variações no rendimento de grãos pode ser explicado

por esses parâmetros. Estatura de planta, número de espiguetas e população final não apresentaram efeito significativo sobre o rendimento de grãos. A variável número de grãos por panícula ($R^2 = 0,55$) foi a que mais contribuiu para o rendimento de grãos, com uma participação de 55%. Índice de colheita foi a segunda variável que mais contribuiu para o rendimento. A seguir vem o peso de mil grãos, número de panículas e diâmetro de colmo.

Análise de trilha

De maneira geral constatou-se, pela análise de caminhamento que os coeficientes diretos das variáveis explicativas tiveram o mesmo sinal das correlações, e suas magnitudes foram pouco elevadas, pois não superaram a estimativa do efeito residual, com exceção da variável número de grãos por panícula (Tabela 2).

O número de grãos por panícula destaca-se como a mais associada ao rendimento de grãos e tem seu efeito direto com o mesmo sinal da correlação e uma magnitude que supera o efeito da variável residual (Tabela 2). Neste caso, segundo Vencovsky e Barriga (1992) e Cruz e Regazzi (1997) se o coeficiente de correlação entre um fator causal e o caráter final (Y) for igual ou semelhante ao seu efeito direto, em magnitude e sinal, esta correlação explica a verdadeira associação existente. Assim, uma seleção direta sobre o referido fator causal será eficiente para melhorar o caráter Y. Através desta análise feita no presente estudo, pode-se afirmar que esta variável auxiliar é a principal determinante das variações na variável principal (rendimento de grãos).

Através do coeficiente de determinação mostrado na Tabela 2, pode-se afirmar que 69% na variação do rendimento podem ser explicados pelos oito caracteres analisados. Ao multiplicar o resultado do efeito direto pelo coeficiente de correlação, estabeleceu-se os seguintes percentuais de participação no rendimento de grãos de sorgo: diâmetro de colmo (+6,38%), estatura de planta (+2,57%), população final (-0,42%), número de panículas (+2,50), número de espiguetas (+0,01%), número de grãos por panícula (+57,76%), índice de colheita (+5,35%) e peso de mil grãos (-5,21%).

A análise de caminhamento confirmou o que anteriormente a análise progressiva aditiva já havia detectado, que o número de grãos por panícula é a variável que mais contribui para o rendimento de grãos. Postula-se que as condições ambientais favoráveis, principalmente a temperatura, durante a estação de crescimento, foi determinante para esta variável se destacar dentre as demais. Isto concorda com Allison e Daynard (1979) e Bonhome *et al.*, (1984), que observaram efeitos positivos da temperatura nos primeiros dias da emergência ao espigamento sobre o número de óvulos formados (futuros grãos) em milho.

TABELA 2 - Efeito direto e indireto das variáveis diâmetros de colmo, estatura de planta, população final, número de panículas, número de espiguetas, número de grãos por panícula, índice de colheita e peso de mil grãos sobre rendimento de grãos. Santa Maria, RS, CCR/UFSM, 2001/02

Diâmetro de colmo	
Efeito direto sobre rendimento	0,190300
Efeito indireto via estatura	-0,019605
Efeito indireto via população	0,004685
Efeito indireto via número de panículas	-0,076602
Efeito indireto via número de espiguetas	-0,0014 12
Efeito indireto via número de grãos	0,261181
Efeito indireto via índice de colheita	0,039933
Efeito indireto via peso de mil grãos	
Total	0,335500
Estatura de planta	
Efeito direto sobre rendimento	0,084103
Efeito indireto via diâmetro	-0,044359
Efeito indireto via população	-0,004839
Efeito indireto via número de panículas	0,037226
Efeito indireto via número de espiguetas	0,001247
Efeito indireto via número de grãos	0,177994
Efeito indireto via índice de colheita	0,045742
Efeito indireto via peso de mil grãos	0,008685
Total	0,305800
População final	
Efeito direto sobre rendimento	-0,016403
Efeito indireto via diâmetro	-0,054350
Efeito indireto via estatura	0,024811
Efeito indireto via número de panículas	0,151138
Efeito indireto via número de espiguetas	0,000530
Efeito indireto via número de grãos	0,122148
Efeito indireto via índice de colheita	0,029683
Efeito indireto via peso de mil grãos	0,000043
Total	0,257600

Número de panículas

Efeito direto sobre rendimento	0,206698
Efeito indireto via diâmetro	-0,070525
Efeito indireto via estatura	0,015147
Efeito indireto via população	-0,011994
Efeito indireto via número de espiguetas	0,001927
Efeito indireto via número de grãos	-0,065140
Efeito indireto via índice de colheita	-0,000515
Efeito indireto via peso de mil grãos	0,045502
Total	0,121100

 Número de espiguetas

Efeito direto sobre rendimento	0,005787
Efeito indireto via diâmetro	-0,046433
Efeito indireto via estatura	0,018124
Efeito indireto via população	-0,001502
Efeito indireto via número de panículas	0,068830
Efeito indireto via número de grãos	-0,070020
Efeito indireto via índice de colheita	0,004175
Efeito indireto via peso de mil grãos	0,049289
Total	0,019900

Número de grãos

Efeito direto sobre rendimento	0,774559
Efeito indireto via diâmetro	0,064169
Efeito indireto via estatura	0,019327
Efeito indireto via população	-0,002587
Efeito indireto via número de panículas	-0,017383
Efeito indireto via número de espiguetas	-0,000523
Efeito indireto via índice de colheita	0,022915
Efeito indireto via peso de mil grãos	-0,115777
Total	0,744700

Índice de colheita

Efeito direto sobre rendimento	0,177638
Efeito indireto via diâmetro	0,042779
Efeito indireto via estatura	0,021657
Efeito indireto via população	-0,002741

Efeito indireto via número de panículas	-0,000599
Efeito indireto via número de espiguetas	-0,000136
Efeito indireto via número de grãos	0,099918
Efeito indireto via peso de mil grãos	-0,037116
Total	0,301400

Peso de mil grãos

Efeito direto sobre rendimento	0,213926
Efeito indireto via diâmetro	-0,056024
Efeito indireto via estatura	0,003415
Efeito indireto via população	-0,000003
Efeito indireto via número de panículas	0,043965
Efeito indireto via número de espiguetas	0,001333
Efeito indireto via número de grãos	-0,419191
Efeito indireto via índice de colheita	-0,030820
Total	-0,243400

Coefficiente de determinação = 0,6887698

Efeito da variável residual = 0,5578801

Experimento II - ano agrícola 2002/03

Análise de regressão múltipla progressiva

Para executar a análise de regressão múltipla usou-se como variáveis independentes, os seguintes parâmetros: estatura de planta, diâmetro de colmo, número de espiguetas por panícula, número de grãos por panícula, peso de mil grãos e índice de colheita. O rendimento de grãos foi usado como variável dependente.

Através da análise de regressão múltipla pelo método Stepwise obteve-se três interações das variáveis independentes como o rendimento de grãos (Tabela 3). Na interação um, entrou no modelo de equação a variável índice de colheita e ficaram de fora as variáveis estatura de planta, diâmetro de colmo, peso de mil grãos, número de espiguetas e número de grãos por panícula. Na interação dois entrou no modelo de equação o diâmetro de colmo e ficaram de fora estatura de planta, peso de mil grãos e número de espiguetas. Dentro da interação três, entrou no modelo de equação a estatura de planta e ficaram de fora as variáveis peso de mil grãos, número de espiguetas,

número de grãos por panícula. Em todas as interações ficaram de fora dos modelos de equações, as variáveis peso de mil grãos, número de espiguetas e número de grãos por panícula.

TABELA 3- Modelos de equações ajustadas através da análise de regressão múltipla utilizando o método Stepwise em sorgo granífero submetido a 21 tratamentos com nitrogênio. Santa Maria, RS, CCR/UFSM, 2002/03.

INTERAÇÃO	EQUAÇÃO AJUSTADA	R ²
1	$Y=221,5774+254,8821IC$	0,34
2	$Y=-8107,9266+381,2419DIA+317,4001IC$	0,46
3	$Y=-19079,8765+50,0201EST+389,2286DIA$	0,50

Onde: Y = rendimento de grãos

IC= índice de colheita

DIA= diâmetro de colmo

EST= estatura de planta

A variável índice de colheita foi a variável independente que teve maior influência nas variações do rendimento de grãos, sendo responsável por 34% das variações. Diâmetro de colmo foi a segunda variável que mais contribuiu para o rendimento, sendo seguida pela estatura de planta.

O fato da variável índice de colheita ter sido selecionada como a que mais contribuiu, deve-se talvez a boa disponibilidade hídrica que ocorreu durante todas as fases de desenvolvimento do sorgo, mas, principalmente, durante o enchimento de grãos, período considerado crítico, no qual não faltou água, o que fez com que a planta apresentasse uma boa resposta em termos de peso de grãos. A menor disponibilidade hídrica em 2001/02, fez com que o número de grãos por panícula se destacasse. A quantidade de fotoassimilados produzidos pela planta no enchimento de grãos, pode ser apontada como a principal causa responsável por este desempenho desta variável. Cabe ressaltar que mesmo nesta condição de baixa disponibilidade hídrica do ano de 2001/02, a variável índice de colheita figurou como a segunda variável que mais contribuiu para o rendimento de grãos.

Análise de trilha

Através da análise de caminamento na Tabela 4, observa-se que as magnitudes das correlações das variáveis explicativas com o rendimento de grãos foram pouco elevadas, pois não superaram a estimativa do efeito residual.

Em termos de efeito direto a variável índice de colheita foi a única que se destacou como a mais associada ao rendimento de grãos, pois apresentou efeito direto elevado. Segundo o modelo de interpretação de análise de causa e efeito indicado por Singh e Chandhary (1979) apud Vencovsky e Barriga (1992) que afirma que se o coeficiente de correlação entre um fator causal e o caráter

final (Y) for igual ou semelhante ao seu efeito direto, em magnitude e sinal, esta correlação explica a verdadeira associação existente. Neste caso, uma seleção direta sobre o referido fator causal será eficiente para melhorar o caráter Y. Então pode-se afirmar com base no resultado da análise de trilha (Tabela 4) e também pela Stepwise (Tabela 3), que variável índice de colheita é a principal determinante das variações no rendimento de grãos.

Através do coeficiente de determinação mostrado na Tabela 4, pode-se afirmar que 51% na variação do rendimento pode ser explicado pelos seis caracteres analisados. Ao multiplicar o resultado do efeito direto pelo coeficiente de correlação, estabeleceu-se os seguintes percentuais de participação no rendimento de grãos de sorgo: estatura de planta (+1,09%), diâmetro de colmo (+3,28%), peso de mil grãos (+0,33%), número de espiguetas (+0,15%), número de grãos por panícula (+1,17%), índice de colheita (+55,14%).

TABELA 4 - Efeito direto e indireto das variáveis estatura de planta, diâmetro de colmo, número de espiguetas, número de grãos por panícula, índice de colheita e peso de mil grãos sobre rendimento de grãos. Santa Maria, RS, CCR/UFSM, 2002/03

Estatura de planta	
Efeito direto sobre rendimento	0,251944
Efeito indireto via diâmetro	0,003574
Efeito indireto via peso de mil grãos	0,060921
Efeito indireto via número de espiguetas	0,024169
Efeito indireto via número de grãos	-0,023513
Efeito indireto via índice de colheita	0,151754
Total	0,043500
Diâmetro de colmo	
Efeito direto sobre rendimento	0,388502
Efeito indireto via estatura	0,002318
Efeito indireto via peso de mil grãos	0,038471
Efeito indireto via número de espiguetas	0,017983
Efeito indireto via número de grãos	0,003514
Efeito indireto via índice de colheita	-0,289346
Total	0,084500
Peso de mil grãos	
Efeito direto sobre rendimento	-0,156771
Efeito indireto via estatura	0,097906
Efeito indireto via diâmetro	0,095338
Efeito indireto via número de espiguetas	0,012940

Efeito indireto via número de grãos	-0,006792
Efeito indireto via índice de colheita	-0,063921

Total	-0,021300
-------	-----------

Número de espiguetas

Efeito direto sobre rendimento	0,108919
Efeito indireto via estatura	-0,055906
Efeito indireto via diâmetro	-0,064142
Efeito indireto via peso de mil grãos	0,018624
Efeito indireto via número de grãos	0,018478
Efeito indireto via índice de colheita	0,178065

Total	- 0,013800
-------	------------

Número de grãos

Efeito direto sobre rendimento	0,067585
Efeito indireto via estatura	-0,087651
Efeito indireto via diâmetro	0,020202
Efeito indireto via peso de mil grãos	0,015755
Efeito indireto via número de espiguetas	-0,029778
Efeito indireto via índice de colheita	0,186887

Total	0,173000
-------	----------

Índice de colheita

Efeito direto sobre rendimento	0,773858
Efeito indireto via estatura	-0,049406
Efeito indireto via diâmetro	-0,145261
Efeito indireto via peso de mil grãos	0,012949
Efeito indireto via número de espiguetas	-0,025062
Efeito indireto via número de grãos	0,016322

Total	0,583400
-------	----------

Coeficiente de determinação = 0,5117916

Efeito da variável residual = 0,6987191

Conclusões

No experimento 2001/02 (ano com baixa disponibilidade hídrica), o número de grãos por panícula foi a variável que mais influenciou no rendimento de grãos e em 2002/03 (ano com boa

disponibilidade hídrica) foi o índice de colheita. Neste caso, uma seleção direta sobre o número de grãos por panícula seria eficiente para melhorar o rendimento de grãos em variedades de sorgo para períodos secos e em anos com boa disponibilidade hídrica a seleção deveria ser feita sobre o índice de colheita.

Referências

- ALLISON, J.C.S., DAYNARD, T.B. Effects of change in time of flowering, induced by altering photoperiod or temperature, on attributes related to yield in maize. **Crop Science**, Madison, v. 19, 1979. p. 1-4.
- BONHOME, R. Varations in ovule number at silking in various corn genotypes. **Maydica**, Bergama, v. 29, 1984. p.101-107.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico**, 30, Recife, P.E. 1973. p.267-269.
- CRUZ, C. D. Programa Genes. **Aplicativo Computacional em Genética e Estatística**. Editora da UFV, Universidade Federal de Viçosa, MG,1997. 442p.
- CRUZ, C. D., REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2ª. Edição, Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, MG, 1997. p.90-93.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, Brasília, DF. 1999. p.124.
- EMBRAPA. Sorgo BRS 305. Sorgo Granífero para o Rio Grande do Sul <<http://www.cnpms.embrapa.br/brs305.html>>. Acesso em 11 jan. 2004.
- MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Secretária da Agricultura. Porto Alegre, RS. (**Boletim da Secretária da Agricultura**), 1961. 42p.
- RAUPP, A.A.A., Brancão, N. Ensaio Sul Riograndense de Sorgo Granífero 1997/1998, Capão do Leão-RS. Reunião Técnica Anual do Milho, 43. Reunião Técnica Anual do Sorgo, 26. **Anais**, Veranópolis- RS, FEOAGRO, 1998. p.68-70.
- RAUPP, A. A. A., Brancão, N., Parfitt, J.M.B., Franco, J.C.B. Ensaio Sul Riograndense de Sorgo Granífero 1999/2000, Bagé-RS.. Reunião Técnica Anual do Milho, 45. Reunião Técnica Anual do Sorgo, 28. **Anais**, Pelotas- RS. Embrapa Clima Temperado, 2000. p.325-328.
- ROLAS - **Recomendações de Adubação e de Calagem Para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**, 3ª Edição, Passo Fundo, 1995. 224p.
- VENCOVSKY, R., BARRIGA, P. Genética Biométrica no Fitomelhoramento. Ribeirão Preto, SP. **Revista Brasileira de Genética**, 1992. p.383-429.

Recebido em: 01/07/2010

Aceito para publicação em: 12/07/2010