

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

---

## Predição do Rendimento de Grãos Frente as Doses e Épocas do Fornecimento de Nitrogênio no Sistema Soja/Trigo

Ana Paula Brezolin<sup>1</sup>Rubia Diana Mantai<sup>2</sup>Anderson Marolli<sup>3</sup>Ângela Teresinha Woschinski de Mammann<sup>4</sup>Ari Higino Scremin<sup>5</sup>Osmar Bruneslau Scremin<sup>6</sup>

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, UNIJUÍ, Ijuí, RS

José Antonio Gonzalez da Silva<sup>7</sup>

Departamento de Estudos Agrários, UNUJUÍ, Ijuí, RS

**Resumo.** O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma espécie muito cultivada mundialmente, podendo ser utilizado de várias formas. Este cereal por não ter a característica de fixação biológica do nutriente nitrogênio, necessita que o mesmo seja fornecido para completar os processos biológicos que determinarão o crescimento e reprodução da planta. Acerca disso, se faz necessário um estudo que melhor defina as doses e épocas de aplicação da adubação nitrogenada no trigo, pois, o manejo inadequado acarretará perdas para a cultura, gerando poluição ambiental. Portanto, este artigo propõe a aplicação e simulação de modelos que permitem elucidar a dinâmica de aproveitamento do nitrogênio e sua otimização de uso sobre a expressão rendimento de grãos do trigo classe industrial tipo pão (BRS Guamirim) sobre o efeito das doses e fracionamento do nutriente no sistema de cultivo de alta relação carbono/nitrogênio. Uma condição-chave em qualificar o manejo desta espécie em relação às condições regionais do noroeste do estado do Rio Grande do Sul, principal região produtora do Brasil. O experimento tratou da avaliação dos fatores nos anos de 2012, 2013 e 2014. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, seguindo um esquema fatorial  $4 \times 3$  nas fontes de variação doses de N-fertilizante (0, 30, 60, 120 kg de N ha<sup>-1</sup>) na fonte uréia e fracionamento do N-fertilizante, nos estádios fenológicos (V<sub>3</sub>, V<sub>3</sub>/V<sub>6</sub> e V<sub>3</sub>/R<sub>4</sub>). Para a análise e simulação dos dados foi utilizado o programa computacional GENES [2], através deste foi possível obter as equações de regressão linear, múltipla e a superfície de resposta. Sendo assim, percebe-se que os modelos propostos pelas regressões linear e múltipla obtiveram grande acurácia na predição do rendimento de grãos aliados

---

<sup>1</sup>anabrezolin@hotmail.com<sup>2</sup>rdmantai@yahoo.com.br<sup>3</sup>marollia@yahoo.com.br<sup>4</sup>angelademamann@hotmail.com<sup>5</sup>ahscremin@hotmail.com<sup>6</sup>osmarscremin@hotmail.com<sup>7</sup>jagsfaem@yahoo.com.br

a melhor dose e época do adubo químico. Portanto, a dose sem fracionamento se mostra mais eficiente e indicado, proporcionando maior rendimento de grãos. Destarte, qualifica o modelo de otimização da superfície de resposta na predição da produtividade de grãos atrelado as doses e condições de fracionamento do N-fertilizante.

**Palavras-chave.** *Triticum aestivum* L., fracionamento, regressão linear e múltipla, superfície de resposta

## 1 Introdução

O trigo é uma espécie cultivada em larga escala, em diversas regiões do mundo, pois é possível a fabricação de inúmeros derivados obtidos pela sua industrialização, principalmente destaca-se na produção de diferentes tipos de farinha [4, 6]. Além disso, o trigo se constitui em uma importante cultura na rotação e ou sucessão cultural nas unidades de produção agropecuárias, garantindo o fluxo econômico e a sustentabilidade da propriedade [6]. No Brasil, os maiores produtores de trigo estão concentrados na Região Sul: Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, responsáveis por produzir cerca de 90% da produção nacional [1].

Para o trigo, por ser da família das Gramíneas, é essencial a adubação nitrogenada para completar os seus processos biológicos e obter a maior eficiência na produtividade final do grãos [7]. Para tanto, faz-se necessária a aplicação do mesmo, em forma de fertilizantes. O nitrogênio (N) é o nutriente mais absorvido e o mais exigido pelas plantas de trigo. Além disto, exerce forte influência na definição da produtividade desta cultura [5]. Todavia, a adubação nitrogenada é um fator limitante, influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente [6].

Este trabalho tem por objetivo simular e modelar os efeitos proporcionados por doses e fracionamento de nitrogênio em distintas épocas de adubação na cultura de trigo, cultivada sob semeadura direta, no sistemas de cultivo de alta taxa de decomposição residual (sistema soja/trigo). Atrelado a isso, a análise da expressão rendimento de grãos, fazendo uso de modelos de regressão linear e múltipla e de superfície de resposta, que permitem estimar a máxima produtividade de grãos em trigo voltada as condições regionais do noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

## 2 Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido na área experimental do IRDeR (Instituto Regional de Desenvolvimento Rural) pertencente ao DEAg (Departamento de Estudos Agrário) da UNIJUÍ, durante os anos agrícolas de 2012, 2013 e 2014. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, seguindo um modelo fatorial  $4 \times 3$  sendo quatro doses de aplicação da adubação nitrogenada e três épocas de adubação nitrogenada, no sistema de cultivo (soja/trigo). Neste sentido, os fatores de tratamento estão assim representados em seus respectivos níveis: a) doses de nitrogênio (0, 30, 60, 120 kg nitrogênio  $\text{ha}^{-1}$ ); b) épocas de adubação nitrogenada ( $V_3$ ,  $V_3/V_6$ ,  $V_3$  e  $V_3/R_4$ ); c) cultivar (BRS Guamirim). A condição  $V_3$  representa a dose cheia utilizada do nitrogênio

e  $V_3/V_6$  e  $V_3/R_4$ , o fracionamento com 70% da dose em  $V_3$ , e o restante 30% adicionado em  $V_6$  ou  $R_4$ .

As parcelas foram constituídas por cinco linhas espaçadas 0,20 m entre si e cinco metros de comprimento, resultando em cinco metros quadrados por parcela. A variável mensurada foi: Rendimento de Grãos (RG). Para a obtenção dos resultados foi utilizado o programa computacional GENES [2], sendo os dados submetidos a análise de variância (ANOVA), e teste de médias pelo modelo de Scott e Knott.

Além disso, a utilização da regressão linear e múltipla correlacionando as variáveis que são diretamente ligadas a produção de grão de trigo, pode fornecer modelos que permitem obter a estimativa em qualquer dose e época de fornecimento da adubação nitrogenada.

Sendo assim, o modelo de regressão linear simples é representado pela seguinte equação [3]:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i \quad (1)$$

onde, a análise de regressão linear simples é um método para se estimar o valor esperado de uma variável  $Y_i$ , dados os valores de algumas outras variáveis  $X_i$ , minimizando os erros  $\epsilon_i$ .

Além disso, os autores [3] descrevem a equação do modelo de regressão múltipla como:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \epsilon_i \quad (2)$$

onde,  $\beta$  = coeficientes de regressão;  $X$  = constante;  $Y$  = variável resposta;  $\epsilon$  = erro ou variância do coeficiente de regressão;  $p$  = número de parâmetros.

Para [2], a superfície de resposta envolve princípios de regressão múltipla, pois considera duas variáveis independentes no modelo de regressão, sendo que envolve vários graus de influência destas variáveis independentes sobre a principal.

É considerada a seguinte equação:

$$Z_i = \beta_0 + \beta_1 X_j + \beta_2 Y_j + \beta_3 X_j^2 + \beta_4 Y_j^2 + \beta_5 X_j Y_j + \epsilon_j \quad (3)$$

onde,  $Z_i$  = Variável dependente;  $\beta_0$  = Estimativas dos coeficientes da regressão;  $X$  e  $Y$  = Os valores codificados dos fatores (época e doses, respectivamente);  $\beta_1 X_j$  e  $\beta_2 Y_j$  = São responsáveis pelo efeito principal (fatores interagidos);  $\beta_3 X_j^2$  e  $\beta_4 Y_j^2$  = Responsáveis pelos efeitos da curvatura e pelo produto dos termos;  $\beta_5 X_j Y_j$  = Responsáveis pelos efeitos das interações;  $\epsilon_j$  = Erro.

### 3 Resultados e discussão

Na Tabela 1, ligando o estágio fenológico da cultura de trigo com o dia de fornecimento de nitrogênio, o ano de 2012, indicou coeficiente angular da equação não significativa, condição que reporta a ausência de diferenças entre as médias na produtividade de grãos. No ano de 2013, houve redução significativa do rendimento de grãos com o atraso da adubação. Portanto, a partir de  $V_3$  há uma redução significativa de produtividade de grãos em  $3,87 \text{ kg ha}^{-1}$  por dia. Em 2014 o coeficiente angular da equação não detectou diferença, corroborando com médias similares nas distintas épocas de aplicação.

Tabela 1: Equação de regressão e seus parâmetros para a estimativa do rendimento de grãos e médias de produtividade nos estádios (dias) do fornecimento de N. UNIJUÍ, 2016.

Ano	Estádio (Dias)	RG (kg ha <sup>-1</sup> )	Equação RG = a ± bx	R <sup>2</sup> (%)	P (b <sub>ix</sub> )
2012	V <sub>3</sub> (30)	2294 a	2272 + 0,68x	98	ns
	V <sub>6</sub> (60)	2311 a			
	R <sub>4</sub> (90)	2335 a			
-----					
2013	V <sub>3</sub> (30)	3346 a	3484 - 3,87x	90	*
	V <sub>6</sub> (60)	3295 a			
	R <sub>4</sub> (90)	3113 b			
-----					
2014	V <sub>3</sub> (30)	1488 a	1504 - 1,21x	50	ns
	V <sub>6</sub> (60)	1390 a			
	R <sub>4</sub> (90)	1415 a			

V<sub>3</sub> = colar formado na 3ª folha do colmo principal-dose cheia (30 dias), V<sub>3</sub>/V<sub>6</sub> = Colar formado na 6ª folha do colmo principal-dose fracionada (60 dias) e V<sub>3</sub>/R<sub>4</sub> = Antese-dose fracionada (90 dias); R<sub>2</sub> = Coeficiente de determinação; RG = Rendimento de Grãos (kg ha<sup>-1</sup>); P(b<sub>ix</sub>) = Probabilidade da equação; \* = Significativo a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo modelo de Scott Knott.

Tabela 2: Equação de regressão e seus parâmetros para o rendimento de grãos (RG) e médias nos pontos observados de nitrogênio e definição da dose ideal com simulação (RG<sub>E</sub>). UNIJUÍ, 2016.

Ano	Dose (N)	RG (kg ha <sup>-1</sup> )	Equação RG = a ± bx ± cx <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (%)	P (b <sub>ix</sub> )	Dose ideal (N)	RG <sub>E</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )
2012 (AI)	0	1607 c	1659 + 22x - 0,10x <sup>2</sup>	95	*	110	2869
	30	2366 b					
	60	2492 b					
	120	2787 a					
-----							
2013 (AF)	0	1930 d	2132 + 21,3x	96	*	-	-
	30	2871 c					
	60	3665 b					
	120	4539 a					
-----							
2014 (AD)	0	1069 c	1065 + 14,3x - 0,08x <sup>2</sup>	99	*	89	1704
	30	1412 b					
	60	1638 a					
	120	1605 a					

RG = Rendimento de Grãos (kg ha<sup>-1</sup>); AI = Ano Intermediário; AF = Ano Favorável; AD = Ano Desfavorável; R<sub>2</sub> = coeficiente de determinação; P (b<sub>ix</sub>) = Probabilidade da significância de inclinação da reta. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade de erro pelo modelo de Scott & Knott.

Na Tabela 2, são apresentados modelos que buscam validar a eficiência máxima de uso do nitrogênio independentemente dos estádios de fornecimento e fracionamento do nitrogênio. Em 2012 a equação quadrática foi significativa, descrevendo uma dose ideal aos 110 kg de N ha<sup>-1</sup>, com produtividade simulada em 2869 kg ha<sup>-1</sup>. O mesmo comportamento quadrático foi obtido em 2014, prevendo uma produtividade de grãos de 1704

Tabela 3: Modelos obtidos pela regressão via análise de superfície de resposta nos distintos anos voltada a previsibilidade da produtividade de grãos. UNIJUÍ, 2016.

Modelo	R <sup>2</sup>
2012	
Z = 2271 + 0,68749X	12
Z = 1851 + 8,78936Y	66
Z = 1810 + 0,68749X + 8,78936Y	66
Z = 1822 + 0,19583X + 0,00409X <sup>2</sup> + 8,78936Y	66
Z = 1618 + 0,68749X + 22,04781Y - 0,10668Y <sup>2</sup>	79
Z = 1630 + 0,195X + 0,004X <sup>2</sup> + 22,047Y - 0,106Y <sup>2</sup>	78
Z = 1875 - 0,39751X + 7,54936Y + 0,02066XY	66
X mínimo = 30	Y máximo = 120
X máximo = 90	Z mínimo = 1332
Y mínimo = 0	Z máximo = 3023
2013	
Z = 3483 - 3,87188X	9
Z = 2131 + 21,31817Y	90
Z = 2364 - 3,87188X + 21,31817Y	91
Z = 2147 + 4,79062X - 0,07219X <sup>2</sup> + 21,31817Y	91
Z = 2155 - 3,87188X + 35,74258Y - 0,11606Y <sup>2</sup>	95
Z = 1938 + 4,790X - 0,072X <sup>2</sup> + 35,742 - 0,116Y <sup>2</sup>	94
Z = 2418 - 4,78001X + 20,28031Y + 0,01729XY	91
X mínimo = 30	Y máximo = 120
X máximo = 90	Z mínimo = 1678
Y mínimo = 0	Z máximo = 5024
2014	
Z = 1503 - 1,21146X	18
Z = 1212 + 4,15492Y	45
Z = 1285 - 1,21146X + 4,15492Y	47
Z = 1492 - 9,47396X + 0,06885X <sup>2</sup> + 4,15492Y	48
Z = 1138 - 1,21146X + 14,33761Y - 0,08193Y <sup>2</sup>	70
Z = 1344 - 9,473X + 0,068X <sup>2</sup> + 14,337Y - 0,081Y <sup>2</sup>	69
Z = 1335 - 2,04667X + 3,20039Y + 0,0159XY	47
X mínimo = 30	Y máximo = 120
X máximo = 90	Z mínimo = 891
Y mínimo = 0	Z máximo = 2048

Z = rendimento de grãos (kg ha<sup>-1</sup>); X = época de fracionamento do N [V<sub>3</sub> (30 dias), V<sub>3</sub>/V<sub>6</sub> (60 dias), V<sub>3</sub>/R<sub>4</sub> (90 dias)]; Y = doses de nitrogênio (0, 30, 60 120 kg de N ha<sup>-1</sup>); R<sub>2</sub> = coeficiente de determinação.

kg ha<sup>-1</sup> com 89 kg de N ha<sup>-1</sup>. Destaca-se que em 2013 a linearidade foi obtida no comportamento da produtividade de grãos. Uma condição que reporta os benefícios do ano favorável na absorção de nitrogênio à elaboração dos grãos, confirmada pelos elevados valores médios obtidos com o incremento das doses de nitrogênio.

O rendimento de grãos pode ser otimizado frente à análise simultânea envolvendo as inter-relações da dose com a época/fracionamento do N-fertilizante se forem conhecidas à função dos valores experimentais, gerando um modelo matemático. Um gráfico dessa função produz a superfície de resposta na variável de interesse. Desta forma, na Tabela 3,

está apresentado os distintos modelos que permitem esta simulação em cada condição de cultivo.

As diferentes equações apresentadas frente aos distintos anos permitiram prever via coeficiente de determinação que a análise superfície de resposta se mostra eficiente pela interatividade dose versus época/fracionamento no seguinte modelo matemático:

$$Z = b_0 \pm b_1X + b_2Y - b_3Y^2. \quad (4)$$

Os valores  $b$  são as estimativas dos coeficientes do polinômio, os valores  $X$  e  $Y$  representam os valores codificados dos fatores [época ( $V_3 = 30$  dias;  $V_3/V_6 = 60$  dias;  $V_3/R_4 = 90$  dias) e doses de nitrogênio (0, 30, 60, 120 kg de N ha<sup>-1</sup>), respectivamente]. Os termos lineares,  $b_1X$  e  $b_2Y$ , são responsáveis pelos efeitos principais, o termo quadrático  $b_3Y^2$ , é responsável pelo efeito da curvatura e pelo produto bifatorial do termo.

Na Figura 1 está apresentado os gráficos da análise superfície de resposta com os valores observados e estimados da produtividade de trigo nos anos de estudo de 2012, 2013 e 2014. De modo geral, a partir das condições definidas ficaram evidentes em todas as situações propostas que as simulações foram eficientes na predição da produtividade de grãos na comparação com os dados reais observados. Sendo assim, os modelos polinomiais e de superfície de resposta foram eficientes na interpretação do rendimento de grãos sob as doses e fracionamento do nitrogênio na condição de alta liberação de N-residual.

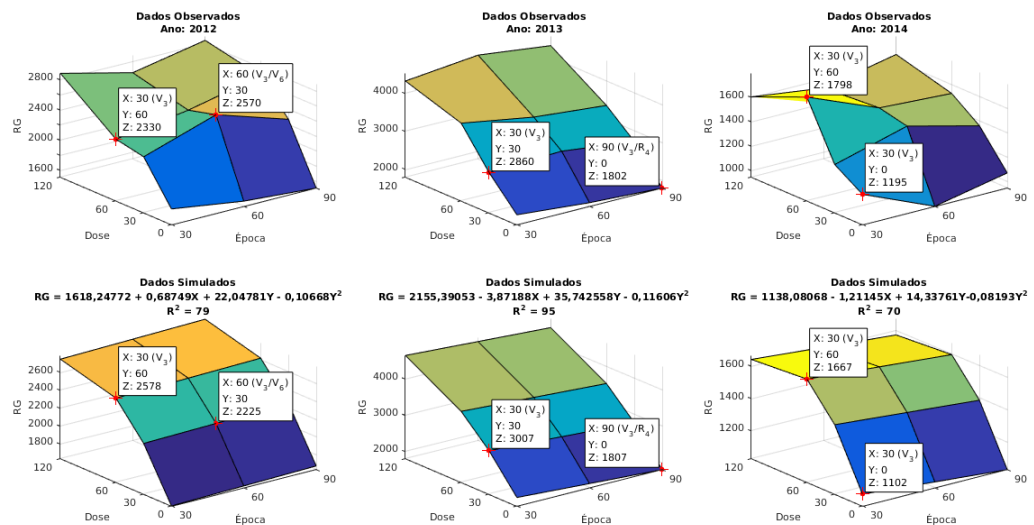


Figura 1: Superfícies de resposta na determinação do rendimento de grãos de trigo (RG) nos anos 2012, 2013 e 2014.

## 4 Conclusões

Analisando os resultados encontrados, percebe-se que os modelos propostos pelas regressões linear e múltipla obtiveram grande acurácia na predição do rendimento de grãos

aliados a melhor dose e época do adubo químico. Portanto, a dose sem fracionamento se mostra mais eficiente e indicado, resultando maior rendimento de grãos. Destarte, qualifica o modelo de otimização da superfície de resposta na predição da produtividade de grãos atrelado as doses e condições de fracionamento do N-fertilizante.

## Agradecimentos

Ao CNPq, à FAPERGS e à UNIJUÍ pelo aporte dos recursos destinados ao desenvolvimento deste estudo e pelas bolsas de iniciação científica e de apoio técnico, de Pós-graduação e de Produtividade em pesquisa.

## Referências

- [1] CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas da área, produção e produtividade de grãos: Safra 2013 de trigo, <http://www.conab.gov.br>, Acesso em: 19 de Jan. de 2015.
- [2] C. D. Cruz. *Programa GENES: Estatística experimental e matrizes*. Viçosa: Ed. UFV, 2006.
- [3] E. Detmann, M. P. Gionbelli, S. de C. Valadares Filho, P. V. R. Paulino. Uso de técnicas de regressão na avaliação, em bovinos de corte, da eficiência de conversão do alimento em produto: proposição de método e significância nutricional. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40 : 2827 – 2834, 2011. ISSN 1806 – 9290.
- [4] C. Pinnow, G. Benin, R. Viola, C. L. S. Silva, L. C. Gutkoski, L. C. Cassol. Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio. *Bragantia*, 72 : 20 – 28, 2013. ISSN 0006 – 8705.
- [5] A. M. Prando, C. Zucarelli, V. Fronza, F. A. Oliveira, A. Oliveira Júnior. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43 : 34 – 41, 2013. ISSN 1983 – 4063.
- [6] J. A. G. da Silva, E. G. Arenhardt, C. A. M. B. Krüger, O. A. Lucchese, M. Metz, A. Marolli. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. *Revista Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 19 : 27?33, 2015. ISSN 1807 – 1929.
- [7] M. C. M. Teixeira Filho, S. BuzettiII, M. Andreotti, O. Arf, M. E. de Sá. Application times, sources and doses of nitrogen on wheat cultivars under no-till in the Cerrado region. *Ciência Rural*, 41 : 1375 – 1382, 2011. ISSN 0103 – 8478.