

## Análise da Superfície de Resposta sobre o Uso do Biopolímero Hidrogel no Sistema Soja/Aveia

Adriana Roselia Kraissig<sup>1</sup>, Osmar Brunelau Scremin<sup>2</sup>, Rubia D. Mantai<sup>3</sup>, Anderson Marolli<sup>4</sup>, Ângela Teresinha Woschinski de Mamann<sup>5</sup>, Ana Paula Brezolin<sup>6</sup>, Ari Higinio Scremin<sup>7</sup>, José Antonio Gonzalez da Silva<sup>8</sup>

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

**Resumo.** O cultivo da aveia branca (*Avena Sativa*) vem aumentando no decorrer dos anos. Contudo, sua produtividade é altamente dependente do uso de nitrogênio, o qual se dissipa facilmente no ambiente, principalmente em anos desfavoráveis. Os hidrorretentores de água no solo surgem como uma alternativa eficiente para manter a umidade no solo, bem como para melhorar o aproveitamento do nitrogênio. O objetivo do experimento é verificar através da análise de superfície de resposta, se há aumento da eficiência de uso de nitrogênio quanto a produtividade de grãos de aveia pelo uso do hidrogel. Em caso positivo, será possível definir a combinação ideal de N-fertilizante com o biopolímero no sistema de sucessão de reduzida liberação de N-residual. O experimento foi realizado em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições em fatorial 4 x 4, para doses de hidrogel (0, 30, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup>), adicionado no sulco junto à semente e doses de N-fertilizante (0, 30, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup>), aplicado no estádio de V<sub>4</sub> (quarta folha expandida), respectivamente. O uso de distintas doses do biopolímero hidroabsorvente associadas à adubação nitrogenada em cobertura influencia positivamente na produtividade de grãos de aveia. A dose ajustada de hidrogel e nitrogênio à máxima produtividade de grãos no sistema soja/aveia é ao redor de 65 e 80 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Palavras-chave.** *Avena Sativa*, nitrogênio, hidrogel, superfície de resposta, sistema soja/aveia.

### 1 Introdução

A aveia é um cereal de múltiplos propósitos, sendo destinada à alimentação humana e animal. Na alimentação humana é comumente empregada na fabricação de farinha e flocos, já na alimentação animal é destinada à elaboração de pastagens, feno e ensilagem [5, 6].

---

<sup>1</sup>maryshelei@yahoo.com.br

<sup>2</sup>osmarcremin@hotmail.com

<sup>3</sup>rdmantai@yahoo.com.br

<sup>4</sup>marollia@yahoo.com.br

<sup>5</sup>angelademamann@hotmail.com

<sup>6</sup>anabrezolin@hotmail.com

<sup>7</sup>arihiginosremin@gmail.com

<sup>8</sup>jagsfaem@yahoo.com.br

O uso de técnicas de manejo, condições do solo, genética e clima favoráveis são fatores essenciais ao aumento da produtividade de grãos de aveia. Dentre as técnicas de manejo, a aplicação do nitrogênio é indispensável ao aumento da produtividade [6, 11]. Em contrapartida, o nitrogênio é um produto de fácil dissipação ao meio ambiente, em anos desfavoráveis [8, 11]. Estas perdas podem ser decorrentes da lixiviação em anos chuvosos ou da volatilização em anos secos, com diminuição da produtividade, aumento de custos e poluição ambiental [1, 8]. Uma maneira de melhorar a absorção do nitrogênio pelas plantas é a manutenção da umidade no solo através do uso de biopolímeros [3, 9]. O biopolímero hidrogel é um hidroabsorvente que pode atuar como uma alternativa a situações que envolvem longos períodos de estiagem ou reduzido armazenamento de água pelo solo [13]. Neste contexto, a utilização de biopolímeros pode ser considerada uma tendência tecnológica inovadora que permite a manutenção da umidade e o melhoramento da eficiência do nitrogênio aos grãos da aveia. O estudo tem como objetivo verificar se há aumento da eficiência do nitrogênio na produtividade de grãos de aveia pelo uso do hidrogel. Se confirmado, será definida a combinação ideal de N-fertilizante com o biopolímero voltado à máxima elaboração da produtividade de grãos de aveia em sistema de reduzida liberação de N-residual.

## 2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido a campo, em Augusto Pestana, RS, Brasil, no sistema de cultivo de reduzida liberação de N-residual (sistema soja/aveia), em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, seguindo um esquema fatorial 4 x 4 nas fontes de variação doses de hidrogel nos níveis 0, 30, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup>, e doses de N-fertilizante (fonte uréia) nos níveis 0, 30, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup>. A produtividade de grãos foi obtida pelo corte de três linhas centrais de cada parcela no estágio de maturidade de colheita, com umidade de grãos ao redor de 12%. 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<sup>-1</sup>).

Ao atender aos pressupostos de homogeneidade e normalidade, foi realizada análise de variância para detecção dos efeitos principais e de interação. Através do modelo de Scott e Knott foi realizado o teste de comparação de médias da produtividade de grãos, das combinações hidrogel/nitrogênio. A partir de equações quadráticas ( $Y = b_0 \pm b_1x \pm b_2x^2$ ), foi estimada a dose ideal de N-fertilizante ( $N_{ideal} = -\frac{b_1}{2b_2}$ ) e hidrogel ( $H_{ideal} = -\frac{b_1}{2b_2}$ ) à máxima produtividade de grãos nas condições de uso do nitrogênio e do biopolímero, nos anos e sistemas de cultivo. Além disso, para o ajuste da dose combinada de hidrogel e nitrogênio, foi realizada análise de regressão por superfície de resposta ( $Z_i = \beta_0 + \beta_1H_j + \beta_2N_j + \beta_3H_j^2 + \beta_4N_j^2 + \dots + \beta_nH_jN + \varepsilon_j$ ) sendo,  $Z_i$ = variável dependente (produtividade de grãos);  $\beta_n$ = estimativa dos coeficientes da regressão; H e N= valores codificados dos níveis de tratamento [doses de nitrogênio (0, 30, 60, 120 kg de N ha<sup>-1</sup>) e doses de hidrogel (0, 30, 60, 120 kg de N ha<sup>-1</sup>)];  $\beta_1H_j$  e  $\beta_2N_j$  = efeito principal da interação dos níveis de tratamento;  $\beta_3H_j^2$  e  $\beta_4N_j^2$ = efeitos de curvatura;  $\beta_5H_jN_j$ = efeitos das interações;  $\varepsilon_j$ = Erro. A partir da superfície de resposta obtida, foi possível estimar por derivadas parciais

$N_{ideal} = \frac{\partial PG}{\partial N}$  e  $H_{ideal} = \frac{\partial PG}{\partial N}$  a dose ideal da combinação de hidrogel e nitrogênio no sistema de cultivo. Para essas determinações foi empregado o programa computacional Genes.

### 3 Resultados e Discussão

A busca da dose ideal de nitrogênio e hidrogel são apresentadas pela Tabela 1, através das equações polinomiais que descrevem o comportamento dos tratamentos. As doses ideais de N-fertilizante variaram entre 71 a 84 kg ha<sup>-1</sup>. A condição de uso de 60 kg ha<sup>-1</sup> de hidrogel foi a que mais reduziu a necessidade de uso de N-fertilizante com produtividade de grãos similar as demais doses. O uso de hidrogel em cada ponto de N-fertilizante apresentou comportamento quadrático, sendo que a dose ideal de biopolímero variou de 40 kg ha<sup>-1</sup> a 68 kg ha<sup>-1</sup>. Para diminuir as perdas, é necessário o estudo de novas tecnologias visando melhorar a eficiência do nitrogênio na aveia. Neste contexto, surge como alternativa o uso de biopolímeros que possuem grande capacidade de retenção e armazenamento de água, melhorando a eficiência de absorção de nutrientes [9]. Em café, é constatada a eficiência do polímero adicionado ao substrato cafeeiro, em que a altura e o peso seco das plantas aumentaram com a adição do biopolímero, alongando os intervalos entre irrigações [13]. Em trigo, o uso do polímero hidrogel ocasionou o aumento da eficiência de uso do nitrogênio à produtividade de grão de trigo [10].

Tabela 1: Equação de regressão e seus parâmetros na estimativa da dose ideal de nitrogênio e hidrogel à produtividade de grãos (PG) no sistema de cultivo soja/aveia.

Hidrogel (kg ha <sup>-1</sup> )	Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )	PG= $b_0 \pm b_1x \pm b_2x^2$	P ( $b_i X^n$ )	Dose Ideal (kg ha <sup>-1</sup> )	PG <sub>E</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )
sistema soja/aveia					
0	-	2036 + 25,51x - 0,17x <sup>2</sup>	*	75	2993
30	-	2224 + 21,5x - 0,15x <sup>2</sup>	*	73	3180
60	-	2066 + 26,88x - 0,19x <sup>2</sup>	*	71	3017
120	-	1998 + 21,9x - 0,13x <sup>2</sup>	*	84	2859
-	0	2030 + 2,6478x - 0,0264x <sup>2</sup>	*	50	2100
-	30	2767 + 4,19x - 0,0523x <sup>2</sup>	*	40	2846
-	60	2880 + 3,4723x - 0,0347x <sup>2</sup>	*	50	2851
-	120	2741 + 2,2863x - 0,0168x <sup>2</sup>	*	68	2818

P( $b_i X^n$ ) = probabilidade do parâmetro de inclinação; \* = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; PG<sub>E</sub>= produtividade de grãos estimada.

A utilização de polímeros tem favorecido o cultivo de diferentes espécies pelo armazenamento da água no solo. Sendo satisfatórios os resultados obtidos com centeio em que o polímero aumentou significativamente a produção de matéria verde, quando submetida a diferentes níveis de fertilização, mesmo sob baixo abastecimento hídrico [4]. Como substituto da irrigação no cafeeiro, o hidrogel proporcionou mudas de mesma qualidade que as irrigadas [9]. Neste contexto, entende-se que o uso de biopolímeros surge como uma alternativa para melhorar a eficiência de absorção de nutrientes.

A Tabela 2, apresenta os coeficientes de determinação e a soma de quadrados na estrutura de superfície de resposta voltada a construção de um modelo de simulação da produtividade de grãos de aveia na combinação hidrogel (H) e nitrogênio (N). Os coeficientes de determinação indicaram maior contribuição das variáveis nitrogênio e hidrogel de forma isolada na estrutura de superfície de resposta. Dentre estas, o nitrogênio evidencia maior contribuição no modelo de simulação da produtividade de grãos. As variáveis de forma quadrática combinada ( $H^2N^2$ ) mostraram pouca influência na estrutura de superfície. O coeficiente de determinação ou explicação  $R^2$  quantifica a qualidade do ajustamento, pois fornece uma medida da proporção da variação explicada pela equação de regressão em relação à variação total das respostas [12].

Tabela 2: Soma de quadrados dos parâmetros do modelo de superfície de resposta no uso combinado de nitrogênio e hidrogel à produtividade de grãos de aveia no sistema soja/aveia.

Variáveis do Modelo de Superfície de Resposta		
Parâmetros	SQ	$R^2$
H	79860376	35
$\bar{H}^2$	16044522	7
N	112942650	50
$\bar{N}^2$	28316216	12
HN	19897768	9
$\bar{H}^2\bar{N}$	23523653	10
$\bar{H}\bar{N}^2$	24094834	11
$\bar{H}^2\bar{N}^2$	1519783	1

$SQ$  = soma dos quadrados;  $R^2$  = coeficiente de determinação (%); H= hidrogel ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); N= nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

A Tabela 3, apresenta os modelos estruturais de superfícies de resposta. O modelo proposto à simulação é o número 10, por apresentar uma estrutura simples, coeficiente de determinação similar aos mais complexos e trazer o nitrogênio e hidrogel de forma isolada de grau 1 (H; N) e grau 2 ( $H^2$ ;  $N^2$ ) e combinada com grau 1 (HN). Portanto, o modelo escolhido apresenta os dados necessários para derivação parcial no cálculo do ponto ótimo combinado.

O modelo de superfície de resposta desenvolvido à simulação da produtividade de grãos, no sistema de sucessão soja/aveia foi 1:

$$PG = 39,433 + 38,607H - 0,193H^2 + 58,624N - 0,305N^2 - 0,165HN. \quad (1)$$

Na simulação da dose ideal da combinação hidrogel e nitrogênio pelo modelo de superfície de resposta, fez-se a dedução por derivada parcial da produtividade de grãos em função do hidrogel ( $\frac{\partial PG}{\partial H}$ ) e do nitrogênio ( $\frac{\partial PG}{\partial N}$ ). Deste modo, como apresenta a Figura 1, no sistema soja/aveia, a dose ótima de hidrogel e nitrogênio foi de  $66 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $78 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, numa produtividade de grãos esperada de  $3614 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Na (Figura 1), a simulação da produtividade de grãos pela dose ótima de hidrogel e nitrogênio indicou uma produtividade de grãos de 3614. O emprego da análise de superfície de resposta representou um método de otimização que qualifica o entendimento

Tabela 3: Soma de quadrados da estrutura do modelo de superfície de resposta no uso combinado de nitrogênio e hidrogel à produtividade de grãos de aveia no sistema soja/aveia.

n	Modelo Estrutural/Superfície de Resposta	GL	soja/aveia	
			SQ	R <sup>2</sup>
1	PG=a+bH	1	79860376	35
2	PG=a+bN	1	112942650	50
3	PG=a+bH+cN	2	140194178	62
4	PG=a+bH+cH <sup>2</sup> +dN	3	156238700	69
5	PG=a+bH+cN+dN <sup>2</sup>	3	168510394	74
6	PG=a+bH+cH <sup>2</sup> +dN+eN <sup>2</sup>	4	178695629	79
7	PG=a+bH+cN+dHN	3	160091946	71
8	PG=a+bH+cH <sup>2</sup> +dN+eHN	4	170020448	75
9	PG=a+bH+cN+dN <sup>2</sup> +eHN	4	180303976	80
10	PG=a+bH+cH <sup>2</sup> +dN+eN <sup>2</sup> +fHN	5	187150931	83
11	PG=a+bH+cH <sup>2</sup> +dN+eN <sup>2</sup> +fHN+gH <sup>2</sup> N	6	192034047	85
12	PG=a+bH+cH <sup>2</sup> +dN+eN <sup>2</sup> +fHN+gHN <sup>2</sup>	6	192605229	85
13	PG=a+bH+cH <sup>2</sup> +dN+eN <sup>2</sup> +fHN+gH <sup>2</sup> N+hHN <sup>2</sup>	7	196351895	87
14	PG=a+bH+cH <sup>2</sup> +dN+eN <sup>2</sup> +fHN+gH <sup>2</sup> N+hHN <sup>2</sup> +iH <sup>2</sup> N <sup>2</sup>	8	197871679	87

GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados. R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação (%); H =hidrogel (kg ha<sup>-1</sup>); N = nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>); PG = produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>); a, b, c, d, e, f, g, h, i = coeficientes de regressão; n = número do modelo estrutural.

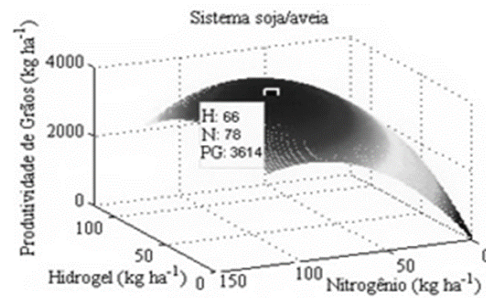


Figura 1: Superfície de Resposta da otimização de uso combinado de hidrogel e nitrogênio nas condições do sistema de sucessão soja/aveia. H = Hidrogel (kg ha<sup>-1</sup>); N = Nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>); PG = Produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>).

de processos agrícolas na busca de validação de tecnologias mais sustentáveis e eficientes no sistema de cultivo soja/aveia.

## 4 Conclusões

O uso da adubação nitrogenada aliada a diferentes doses do biopolímero hidroabsorvente gera maior produtividade de grãos de aveia no sistema de sucessão soja/aveia, segundo a análise de superfície de resposta. A dose ajustada de hidrogel e nitrogênio à máxima produtividade de grãos é ao redor de 65 e 80 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

## Referências

- [1] C. A. M. B. Krüger and J. A. G. da Silva and S. L. P. Medeiros and G. A. Dalmago and A. J. da Silva and E. G. Arenhardt and E. Gewehr. Relações de variáveis ambientais e subperíodos na produtividade e teor de óleo em canola. In *Ciência Rural*, 44:1664-1670, 2014. DOI: 10.1590/0103-8478cr20121331.
- [2] J. A. de A. Acosta and T. J. C. Amado and L. S. da Silva and L. S. Santi and M. A. Weber. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. In *Ciência Rural*, 44:801-809, 2014. ISSN: 0103-8478.
- [3] J. R. C. Bezerra and P. V. de Azevedo and B. B. da Silva and J. M. Dias. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. In *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14:625-632, 2010.
- [4] J. Nissen and J. Tapia. Efecto de la aplicación de una poliacrilamida sobre la nutrición de ballica (*Lolium multiflorum*) en un suelo volcánico. In *Agro Sur*, 24:206-212, 1996.
- [5] M. Crestani. Dinâmica de caracteres componentes da produção e da qualidade química e industrial de grãos em aveia branca: interação genótipo vs. ambiente e capacidade combinatória. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.
- [6] M. C. Hawerth and F. I. F. de Carvalho and A. C. de Oliveira and J. A. G. da Silva and L. C. Gutkoski and J. F. Sartori and L. G. Woyann and R. L. Barbieri and F. J. Hawerth. Adaptability and stability of white oat cultivars in relation to chemical composition of the caryopsis. In *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48:42-50, 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000100006.
- [7] M. J. Tedesco and C. Gianello and C. A. Bissani and H. Bohnen and S. J. Volkweiss. Análise de solo, plantas e outros materiais. In *Boletim técnico*, 1995.
- [8] N. L. Carvalho and V. Zabet. NITROGÊNIO: NUTRIENTE OU POLUENTE?. In *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, 6:960-974, 2012. DOI: 10.5902/223611704671.
- [9] P. A. A. Marques and M. A. de Melo and E. H. Martinez. Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. In *Ciência Rural*, 43:1-7, 2013.

- [10] R. Pretto and L. M. Bandeira and D. R. da Silva and L. G. Arenhardt and A. T. W. de Mamann and J. A. G. da Silva. A tecnologia do hidrogel na eficiência de uso do nitrogênio sobre a produtividade de biomassa e grãos de trigo em sistema de rápida liberação de N-Residual. In *Salão do Conhecimento*, 2, 2016.
- [11] R. D. Mantai and J. A. G. da Silva and A. T. Z. R. Sausen and J. S. P. Costa and S. B. V. Fernandes and C. Ubessi. A eficiência na produção de biomassa e grãos de aveia pelo uso do nitrogênio. In *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19:343-349, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p343-349.
- [12] S. F. M. Santos and R. L. A. de Souza and S. R. Alcântara and G. A. S. Pinto and F. L. H. da Silva and G. R. de Macedo. Aplicação da metodologia de superfície de resposta no estudo da produção de pectinase por fermentação em estado sólido do pedúnculo de caju. In *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 10:101-109, 2008. ISSN 1517-8595.
- [13] T. L. F. Azevedo and A. Bertonha and A. C. A. Gonçalves and P. S. L. de Freitas and R. Rezende and J. A. Frizzone. Níveis de polímero superabsorvente, frequências de irrigação e crescimento de mudas de café. In *Acta Scientiarum. Agronomy*, 24:1239-1243, 2008. DOI: 10.4025/actasciagron.v24i0.2271.