

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

---

# Lógica fuzzy na simulação da produtividade de trigo por nitrogênio e hidrogel

Ângela Teresinha Woschinski de Mamann<sup>1</sup>

Ana Paula Brezolin<sup>2</sup>

Ari Higino Scremin<sup>3</sup>

Douglas César Reginatto<sup>4</sup>

Luana Henriksen<sup>5</sup>

Eldair Fabricio Dornelles<sup>6</sup>

Osmar Brunelau Scremin<sup>7</sup>

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias - DECEng/UNIJUÍ

José Antonio Gonzalez da Silva<sup>8</sup>

Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias - DECEng/UNIJUÍ

**Resumo.** O objetivo do estudo é adequar o modelo de lógica fuzzy para simulação da produtividade biológica e grãos de trigo nas condições de uso de hidrogel, nitrogênio e temperatura máxima no sistema soja/trigo. O estudo foi conduzido nos anos de 2014 e 2015, em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições seguindo um esquema fatorial 5 x 5, para doses de hidrogel (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>), adicionado no sulco junto à semente e doses de N (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>), aplicado no estádio de 3<sup>a</sup> folha expandida, respectivamente. O modelo fuzzy gerado possibilitou estimar os valores de produtividade biológica e grãos nas condições de uso do hidrogel em função das doses de nitrogênio e temperatura máxima no sistema soja/trigo.

**Palavras-chave.** *Triticum aestivum*, tecnologia, produtividade de grãos, temperatura

## 1 Introdução

O trigo é um dos cereais mais produzidos do mundo [6]. No Brasil, esta cultura é de fundamental importância no sistema de produção agrícola do centro-sul e sul do país [7]. Para incrementar a produtividade do trigo, o N é um dos nutrientes mais necessários [13]. No entanto, na aplicação é importante adequar o estádio de desenvolvimento da planta

---

<sup>1</sup>angela.mamann@ibiruba.ifrs.edu.br

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

<sup>3</sup>ahscremin@hotmail.com

<sup>4</sup>reginattodouglas@gmail.com

<sup>5</sup>luanabehnenh@gmail.com

<sup>6</sup>eldair.dornelles@gmail.com

<sup>7</sup>osmarcremin@hotmail.com

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

com adequada temperatura do ar e umidade do solo. A redução de eficiência do uso de N representa um custo significativo e pode causar impactos ambientais [16].

Estudos que ajudem o agricultor a elevar a produtividade e diminuir os custos de produção devem ser realizados para garantir a sustentabilidade agrícola [9]. Frente a isso, o uso do hidrogel surge como uma alternativa para minimizar problemas vinculados à deficiência hídrica [8], de forma que incorporado ao solo pode aumentar a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, atuando como condicionadores de solo [3].

Uma das formas de aprimorar os estudos de hidrogeis com fertilizantes é a utilização da modelagem matemática à descrição de interações complexas que ocorrem na agricultura. Neste sentido, a lógica fuzzy que se utiliza da programação computacional, pode traduzir expressões verbais em quantitativas colaborando na resolução de problemas complexos [5]. Neste contexto, o objetivo do estudo é adequar o modelo de lógica fuzzy para simulação da produtividade biológica e grãos de trigo nas condições de uso de hidrogel, nitrogênio e temperatura máxima no sistema soja/trigo.

## 2 Materiais e Métodos

O trabalho foi desenvolvido a campo, nos anos de 2014 e 2015, em de Augusto Pestana, RS, Brasil. Dois experimentos foram conduzidos, um para quantificar a produtividade de biomassa total (PB, kg ha<sup>-1</sup>), o outro, para estimar a produtividade de grãos (PG, kg ha<sup>-1</sup>). Nos dois experimentos o delineamento foi o de blocos casualizados com quatro repetições, seguindo um esquema fatorial 5 x 5 nas fontes de variação doses de hidrogel (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>)(aplicados junto ao sulco na semeadura), e doses de N (fonte ureia) (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) (aplicado em cobertura no estádio de terceira folha expandida), com o uso da cultivar de trigo TEC 10, no sistema de cultivo soja/trigo. A colheita para a estimativa da produtividade de grãos ocorreu de forma manual pelo corte das três linhas centrais de cada parcela. Após, as plantas foram trilhadas com colheitadeira estacionária e direcionadas ao laboratório para correção da umidade de grãos a 13 % e pesagem para estimativa da produtividade. No experimento visando quantificar a produtividade biológica, a colheita do material vegetal foi realizada rente ao solo, a partir da coleta de um metro linear das três linhas centrais de cada parcela, aos 120 dias após a emergência. As amostras de biomassa foram direcionadas a estufa de ar forçado à temperatura de 65°C, até atingir peso constante para estimativa da produtividade biológica. Os dados climáticos foram obtidos pela estação meteorológica próxima a área experimental.

Para o desenvolvimento da programação da lógica fuzzy na simulação da produtividade biológica e grãos, foi utilizado o Toolbox “fuzzy”, do software Matlab. A programação foi implementada para as variáveis de entradas, nitrogênio (N) com doses (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) e temperatura média máxima ( $T_{Max}$ ) em 2014 e 2015 com o conectivo e para a avaliação das regras e o método de inferência utilizado foi o de Mamdani. Destaca-se que a base de regras foi construída com a ajuda de um especialista considerando resultados obtidos a campo. Para cada condição de uso do hidrogel, foi construído um simulador fuzzy, e para cada variável de saída, produtividade biológica (PB, kg ha<sup>-1</sup>) e grãos (PG, kg ha<sup>-1</sup>), o intervalo de confiança a 5 por cento de probabilidade de erro teve como limite

inferior e superior a produtividade biológica e grãos observados no experimento.

### 3 Resultados e Discussão

As Tabelas 1 e 2 apresentam a base de regras da lógica fuzzy, considerando as variáveis de entrada nitrogênio e temperatura máxima à simulação da produtividade de grãos e de biomassa, respectivamente. No nitrogênio, as variáveis linguísticas (VL) e seu correspondente valor quantitativo (VQ) foi definido por especialista nas condições de uso das doses N-fertilizante, sendo muito baixa (MB, 0 kg ha<sup>-1</sup>), baixa (B, 30 kg ha<sup>-1</sup>), média (M, 60 kg ha<sup>-1</sup>), alta (A, 90 kg ha<sup>-1</sup>) e muito alta (MA, 120 kg ha<sup>-1</sup>). Na temperatura máxima ( $T_{Max}$ ), as variáveis linguísticas e seu correspondente valor quantitativo foi definido como baixa (B, 21 °C) e alta (25 °C). Destaca-se que as classificações estabelecidas foram por ano de cultivo, permitindo mostrar as diferenças envolvidas pela temperatura máxima entre os anos e qualificar a simulação da produtividade biológica e de grãos via lógica nebulosa nas doses de nitrogênio e hidrogel.

Na Tabela 1, para as regras das variáveis linguísticas de saída à produtividade de grãos, foram estabelecidos quatro intervalos, que são muito baixa (MB), baixa (B), média (M) e alta (A). Por outro lado, na produtividade biológica (2), cinco intervalos foram definidos, em muito baixa (MB), baixa(B), média (M), alta (A) e muito alta (MA). Destaca-se que para a simulação da produtividade biológica e de grãos via fuzzy, foram empregados os valores reais de mínimo e máximo do efeito cumulativo dos anos testados, independente de N, para inferências do comportamento real e simulado do incremento de hidrogel.

A Tabela 3 apresenta a média e os limites inferior e superior do intervalo de confiança dos valores reais e simulados por lógica fuzzy à produtividade biológica e de grãos no uso do hidrogel e N no sistema soja/trigo. Na ausência de uso do hidrogel, observa-se que o incremento de N promove uma estabilidade da produtividade de grãos a partir do ponto 90 kg ha<sup>-1</sup> de N. Por outro lado, na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de hidrogel, esta estabilidade se dá a partir do ponto 60 kg ha<sup>-1</sup> de N. Nas doses 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de hidrogel, alterou o comportamento, apresentando linearidade da produtividade de grãos. Na análise da produtividade biológica, percebe-se comportamento linear, com maior quantidade de biomassa na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo que a partir da dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de hidrogel, combinada com a dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, a produtividade se torna estável.

Na simulação da produtividade de grãos e biológica pela lógica fuzzy observou-se que os resultados obtidos foram próximos da média, porém, quando mais distante, representou valor dentro do intervalo de confiança estabelecido, independente das condições de uso de nitrogênio e hidrogel. A modelagem matemática por lógica fuzzy pode processar, de forma conveniente, informações imprecisas, com expressões verbais abstratas, como exemplo, muito baixo, baixo, longe, muito rápido, etc. [4], contudo necessita de regras para produzir os resultados almejados. As regras devem ser elaboradas por especialistas que fornecem sua experiência profissional para a elaboração de um sistema de inferência [14]. Dessa forma a lógica fuzzy representa uma proposta importante e pode trazer grandes subsídios à agricultura com a interpretação de dados linguísticos através de programas computacionais [11]. A lógica fuzzy está sendo utilizada em várias áreas como na classificação de cordeiros

para o abate [10], produtividade de aves [12], estimativa de área de plantio de soja [1], maximização de lucros no cultivo de cacau [17] e estimativa da produtividade de trigo pelo nitrogênio [14].

## 4 Tabelas

Tabela 1: Base de regras lógica fuzzy para simulação da produtividade de grãos do trigo

N		Ano	$T_{Max}(^{\circ}C)$		Variáveis Linguísticas de Saída				
VL	VQ		VL	VQ	$PG_{H0}$	$PG_{H30}$	$PG_{H60}$	$PG_{H90}$	$PG_{H120}$
MB	0	2015	B	21	MB	MB	B	B	B
		2014	A	25	MB	MB	MB	MB	MB
B	30	2015	B	21	M	M	M	M	M
		2014	A	25	B	B	B	B	B
M	60	2015	B	21	A	M	A	A	A
		2014	A	25	B	M	B	B	B
A	90	2015	B	21	A	A	M	A	A
		2014	A	25	M	M	M	B	B
MA	120	2015	B	21	A	A	A	A	A
		2014	A	25	M	A	M	M	B
Valor Real (2014+2015)			Mínimo		1214	1257	1265	1266	1151
			Máximo		3189	3395	3487	3222	3165

N = nitrogênio ( $kg\ ha^{-1}$ );  $T_{Max}$  = temperatura média máxima; VL= variáveis linguísticas; VQ= variáveis quantitativas; PG= produtividade de grãos; MB= muito baixa; B= baixa; M= média; A= alta; MA= muito alta; H= hidrogel ( $kg\ ha^{-1}$ ).

Tabela 2: Base de regras lógica fuzzy a simulação da produtividade biológica do trigo

N ( $kg\ ha^{-1}$ )		Ano	$T_{Max}(^{\circ}C)$		Variáveis Linguísticas de Saída				
VL	VQ		VL	VQ	$PB_{H0}$	$PB_{H30}$	$PB_{H60}$	$PB_{H90}$	$PB_{H120}$
MB	0	2015	B	21	B	B	B	B	B
		2014	A	25	MB	MB	B	B	MB
B	30	2015	B	21	M	A	M	A	A
		2014	A	25	B	M	B	M	B
M	60	2015	B	21	A	A	A	A	MA
		2014	A	25	M	A	M	B	B
A	90	2015	B	21	A	MA	MA	A	MA
		2014	A	25	A	MB	A	M	M
MA	120	2015	B	21	MA	MA	MA	MA	MA
		2014	A	25	MA	MA	MA	A	A
Valor Real (2014+2015)			Mínimo		6038	5255	6424	6396	5755
			Máximo		11212	11782	11796	12238	13021

N = nitrogênio;  $T_{Max}$  = temperatura média máxima; VL= variáveis linguísticas; VQ= variáveis quantitativas; PG= produtividade de grãos; MB= muito baixa; B= baixa; M= média; A= alta; MA= muito alta; H= hidrogel ( $kg\ ha^{-1}$ ).

Tabela 3: Lógica fuzzy na simulação da produtividade do trigo por nitrogênio e temperatura no uso do hidrogel

H	N	PG			PB			Simulação/Fuzzy	
		Li	X	Ls	Li	X	Ls	PG	PB
Análise conjunta (2014 + 2015)									
0	0	1286	1382	1463	6096	6552	6944	1460	6430
	30	1815	2168	2470	7473	7811	8101	2200	7590
	60	2116	2507	2843	8344	8659	8929	2230	8630
	90	2627	2756	2886	9138	9725	9799	2610	9140
	120	2360	2728	3045	10328	10697	10928	2610	10400
Média H0		2041	2308	2541	8276	8689	8940	2222	8438
30	0	1364	1518	1649	5882	7034	8022	1530	6390
	30	1966	2334	2651	8241	8613	8932	2330	8520
	60	2305	2522	2707	8777	9128	9428	2680	9170
	90	2400	2709	2975	5580	8580	11153	2770	9090
	120	2522	2908	3239	10460	10961	11391	2880	10800
Média H30		2111	2398	2644	7788	8863	9785	2438	8794
60	0	1351	1680	1963	6831	7481	8038	1910	7500
	30	1770	2173	2518	8037	8290	8507	2380	8040
	60	2167	2540	2859	8802	9182	9509	2410	9110
	90	2284	2690	3038	9681	10109	10476	2730	10300
	120	2445	2876	3246	10413	11073	11639	2840	11000
Média H60		2003	2392	2425	8753	9227	9634	2454	9190
90	0	1336	1614	1853	6565	7211	7764	1840	7560
	30	1720	2220	2648	7330	8224	8990	2240	8730
	60	2103	2515	2868	8170	9071	9843	2270	9320
	90	2151	2576	2940	8938	9806	10651	2270	10600
	120	2273	2691	3049	9795	10912	11870	2650	11000
Média H90		1917	2323	2672	8160	9045	9824	2254	9442
120	0	1274	1616	1909	6071	7137	8050	1740	7020
	30	1616	2213	2725	6607	8094	9369	2160	8660
	60	2011	2503	2924	7597	9001	10206	2190	9520
	90	2013	2485	2891	8370	9962	11327	2190	10300
	120	2103	2544	2923	9126	10820	12273	2190	11000
Média H120		1803	2272	2674	7554	9003	10245	2094	9300

H= hidrogel (kg ha<sup>-1</sup>); N= nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>); Li e Ls= limite inferior e superior do intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro;  $\bar{X}$ = média; PG= produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>); PB= produtividade de biomassa (kg ha<sup>-1</sup>); Médias seguidas pela mesma letra constituem grupo estatisticamente homogêneo pelo modelo Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

## 5 Conclusões

O modelo fuzzy gerado possibilitou estimar os valores de produtividade biológica e grãos nas condições de uso do hidrogel em função das doses de nitrogênio e tempera-

tura máxima. Destaca-se que não houve diferença significativa entre as médias obtidas experimentalmente e aquelas obtidas utilizando o sistema lógica fuzzy.

## 6 Agradecimentos

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

## Referências

- [1] J. F. G. Antunes, J. Zullo Junior. Aplicação de lógica fuzzy para estimativa de área plantada da cultura de soja utilizando imagens AVHRR-NOAA. In *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2007.
- [2] K. S. S. Benett, C. G. S. Benett, G. G. Santos, E. Costa. Effects of hydrogel and nitrogen fertilization on the production of arugula in successive crops. *African Journal of Agricultural Research*, 10: 2601-2607, 2015. DOI: 10.5897/AJAR2015.9709.
- [3] M. R. M. Bernardi, M. Sperotto Junior, O. Daniel; A. C. T. Vitorino. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. *Revista Cerne*, 18:67-74, 2012. DOI: 10.1590/S0104-77602012000100009
- [4] M. Bilobrovec, R.F.M Marçal, J. L. Kovaleski. Implementação de um sistema de controle inteligente utilizando a lógica fuzzy. In *XI SIMPEP-Simpósio de Engenharia e Produção*, Bauru, São Paulo, Brasil, 2004.
- [5] P. A. P. Borges, N. A. Toniazzo, E. J. C. DA Silva. Equilíbrio no espaço: experimentação e modelagem matemática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31: 2309. ISSN: 1806-9126.
- [6] A. P. Brezolin, J. A. G. Silva, F. Roos-Frantz, M. O. Binelo, C. A. M. B. Krüger, E. G. Arenhardt, A. Marolli, R. D. Mantai, O. B. Scremin, E. F. Dornelles. Wheat yield obtained from nitrogen dose and fractionation. *African Journal of Agricultural*, 12: 566-576, 2017. DOI:10.5897/AJAR2016.11929.
- [7] G. Chavarria, W. P. Rosa, L. Hoffmann, M. R. Durigon. Regulador de crescimento em plantas de trigo: reflexos sobre o desenvolvimento vegetativo, rendimento e qualidade de grãos. *Revista Ceres*, 62: 583-588, 2015. DOI: 10.1590/0034-737X201562060011.
- [8] D. A. Fernandes, M. M. V. Araujo, E. C. Camili. Crescimento de plântulas de maracujazeiro-amarelo sob diferentes lâminas de irrigação e uso de hidrogel. *Revista de Agricultura*, 90:229 - 236, 2015.
- [9] F. H. Kaneko, O. Arf, D. D. C. Gitti, M. V. Arf, C. A. Chioderoli, C. Kappes. Manejo do solo e do Nitrogênio em milho cultivado em espaçamentos reduzido e tradicional. *Bragantia*, 69, 677-686, 2010. DOI: 10.1590/S0006-87052010000300020.

- [10] F. S. Ramos, C. C. Souza, J. F. Reis Neto, D. M. Frainer. Practical tool in classification of animals for slaughter by fuzzy logic. *African Journal of Agricultural Research*, 10:604-612, 2015. DOI: 10.5897/AJAR2014.9429.
- [11] O. L. T. Rezende, L. L. Lorenzoni, H. R. Kulitz. Uso do sistema lógico fuzzy no controle da potência aplicada ao motor do sistema de ventilação de um gaseificador/combustor para produção de calor. *Revista Ifes Ciência*, 1, 2015. ISSN 2359-4799.
- [12] L. Schiassi, T. Yanagi Júnior, G. M. Reis, L. H. Abreu, A. T. Campos, J. D. O. Castro. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, 19:140-146, 2015. ISSN 1807-1929.
- [13] F. Schwerz, B. O. Caron, D. Schmidt, D. M. Oliveira, E. F. Elli, E. Eloy, A. P. Rockenbach. Growth retardant and nitrogen levels in wheat agronomic characteristics. *Científica*, 43:93-100, 2015. DOI:10.15361/1984-5529.2015v43n2p93-100.
- [14] A. A. V. Silva, I. A. F. Silva, M. C. M. Teixeira Filho, S. Buzetti. Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neuro fuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18:180-187, 2014. DOI: 10.1590/S1415-43662014000200008.
- [15] R. C. M. Sita, C. B. Reissmann, C. Marques, E. Oliveira, A. D. Taffarel. Effect of polymers associated with N and K fertilizer sources on *Dendrathera grandiflorum* growth and K, Ca and Mg relations. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48:335-342, 2005. ISSN:1516-8913.
- [16] M. H. Todeschini, A. S. Milioli, D. M. Trevizan, E. Bornhofen, T. Finatto, L. Storck, G. Benin. Nitrogen use efficiency in modern wheat cultivars. *Bragantia*, 75:351-361, 2016. DOI:10.1590/1678-4499.385.
- [17] J. M. Vargens, R. Tanscheit, M. M. B. R. Vellasco. Previsão de produção agrícola baseada em regras linguísticas e lógica fuzzy. *Sba Controle e Automação*, 14:114-120, 2003. DOI: 10.1590/S0103-17592003000200003.