

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

A TECNOLOGIA DE HIDROGEL À EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO PARA O TRIGO NO BRASIL COM EMPREGO DE LÓGICA FUZZY NA SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE¹

Ângela Teresinha Woschinski De Mamann², Rubia Diana Mantai³, Ana Paula Brezolin⁴, Osmar Brunelau Scremin⁵, Douglas César Reginatto⁶, José Antonio Gonzalez Da Silva⁷.

¹ Parte dos resultados de pesquisa desenvolvida pelo DEAg/UNIJUÍ

² Docente IFRS e Mestre em Modelagem Matemática pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ, angela.mamann@ibiruba.ifrs.edu.br

³ Doutoranda em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ, rdmantai@yahoo.com.br

⁴ Doutoranda em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ, anabrezolin@hotmail.com

⁵ Doutorando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ, osmarscremin@hotmail.com

⁶ Mestrando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ, reginattodouglas@gmail.com

⁷ Professor do Departamento de Estudos Agrários, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ, jagsfaem@yahoo.com.br

Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é a maior fonte de calorias e proteínas para o ser humano (Schwerz et al., 2015), destacando-se como um dos cereais mais produzidos no mundo (Pinnow et al., 2013). Para incrementar a produtividade e viabilizar a cultura do trigo são indispensáveis a fertilização do solo e a adequada nutrição da planta junto as condições de clima favorável (Prando et al., 2013). Frente a isso Viola et al. (2013), afirmam que o nitrogênio é decisivo na produtividade do trigo. Porém, o seu uso pode promover a produtividade ou trazer prejuízos como acamamento da planta e perdas por volatilização e lixiviação (Hawerth et al., 2015), resultando em contaminação ambiental e elevado custo à produção (Silva et al., 2015). Portanto, é necessário tecnologias que permitam melhoria da produtividade com maior sustentabilidade (Mantai et al., 2015). Neste contexto, como o hidrogel melhora a capacidade do solo em reter água e nutrientes para as plantas (Van Cotten, 1998; Venturoli & Venturoli, 2011), pode ser considerado um recurso para o melhor aproveitamento do nitrogênio. Os hidrogeis são redes poliméricas tridimensionais biodegradáveis, que retém água em sua estrutura, incha, formando gel, capaz de hidratar e liberar água por longo período de tempo (Kaewpirom & Boonsang, 2006; Venturoli & Venturoli, 2011).

Diante dessas e outras dificuldades encontradas no controle de alguns fatores em experimentos, a pesquisa científica utiliza modelos matemáticos que permitem a descrição de complexas interações que ocorrem em comunidades vegetais (Walter et al., 2010). Desta forma, destaca-se a lógica fuzzy em aplicações práticas bem sucedidas, sendo muito utilizada na modelagem de fenômenos biológicos (Barros & Bassanezi, 2010).

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

O objetivo do estudo é verificar a possibilidade de uso da tecnologia de hidrogel para incremento da eficiência de uso do nitrogênio no trigo brasileiro e adequar modelo de lógica fuzzy para simulação da produtividade de grãos nas condições de uso de nitrogênio e hidrogel junto ação da temperatura média máxima em condições reais de cultivo.

Metodologia

O trabalho foi desenvolvido a campo, nos anos agrícolas de 2014 e 2015, no município de Augusto Pestana, RS. O delineamento experimental foi o 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 (aplicados junto ao sulco na semeadura), e doses de N-fertilizante (fonte ureia) nos níveis 0, 30, 60 e 120 kg/ha (aplicado em cobertura no estágio 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. Os dados climáticos foram obtidos através da estação meteorológica do IRDer, situada próxima a área experimental.

Para o desenvolvimento da programação da lógica fuzzy na simulação da produtividade 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) e temperatura máxima ($T_{máx}$) em 2014 e 2015 com o conectivo 'e' para a avaliação das regras e o método de inferência utilizado foi o de Mamdani. Ressalta-se que a dose de hidrogel e nitrogênio de 90 kg/ha foi interpolada a cada condição de uso do nitrogênio e hidrogel, por meio de regressões. Para cada condição de uso do hidrogel, foi construído um simulador fuzzy, e para a variável de saída, produtividade de grãos (PG, kg/ha), o intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro teve como limite inferior e superior a produtividade de grãos observada no experimento.

Resultados e discussão

A tabela 1 apresenta a base de regras da lógica fuzzy, considerando as variáveis de entrada nitrogênio e temperatura máxima à simulação da produtividade de grãos em cada dose de hidrogel.

Tabela 1. Base de regras Lógica Fuzzy para a simulação da produtividade de grãos do trigo no sistema soja/trigo.

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

N		Ano	T _{máx} (°C)		Variáveis Linguísticas de Saída				
V _L	V _Q		V _L	V _Q	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			Mínimo		1214	1257	1265	1266	1151
(2014+2015)			Máximo		3189	3395	3487	3222	3165

N= nitrogênio (kg ha⁻¹); T_{máx}= temperatura média máxima; V_L= variáveis linguísticas; V_Q= variáveis quantitativas; PG= produtividade de grãos; MB= muito baixa; B= baixa; M= média; A= alta; H= hidrogel (kg ha⁻¹)

Na tabela 1, para o 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), baixa (B, 30 kg/ha), média (M, 60 kg/ha), alta (A, 90 kg/ha) e muito alta (MA, 120 kg/ha). Na temperatura média máxima (T_{máx}), as variáveis linguísticas e seu correspondente valor quantitativo foi definido como baixa (B, 21°C) e alta (A, 25°C). 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) (Tabela 1). Destaca-se que para a simulação da produtividade de grãos via fuzzy (Tabela 1), foram empregados os valores reais de mínimo e máximo do efeito cumulativo dos anos testados, independente de N-fertilizante, para inferências do comportamento real e simulado do incremento de doses de hidrogel.

A tabela 2 apresenta a média e os limites inferior e superior do intervalo de confiança dos valores reais e simulados por lógica fuzzy à produtividade de grãos no uso do hidrogel e nitrogênio no sistema soja/trigo.

Na ausência de uso do hidrogel, observa-se que o incremento de N-fertilizante promove uma estabilidade da produtividade de grãos a partir do ponto 90 kg/ha de nitrogênio. Por outro lado, na dose 120 kg/ha de hidrogel, esta estabilidade se dá a partir do ponto 60 kg/ha de nitrogênio. Nas doses 30, 60 e 90 kg/ha de hidrogel, alterou o comportamento, apresentando linearidade da produtividade de grãos, aumentando a eficiência de uso do nitrogênio.

Na simulação da produtividade de grãos 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.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

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. (Bilobrovec et al., 2004), 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 baseado em regras do tipo “Se <condição> Então <resultado>”, usadas para realizar a análise desejada (Silva et al., 2014). A lógica fuzzy pode ser utilizada em situações complexas no tratamento de informações imprecisas de forma a traduzir expressões verbais em quantitativas. Desta forma, a lógica fuzzy e as redes neurais artificiais tem utilidade em diversas áreas de pesquisa, pois são adequadas para a análise de sistemas com incertezas, sendo usadas como ferramentas alternativas aos métodos estatísticos (Yilmaz & Kaynar, 2011). Segundo Schiassi et al. (2015), a metodologia fuzzy tem sido utilizada em pesquisa em bem-estar animal, desempenho produtivo de frangos de corte, análises de custo de produção, sistemas de monitoração para redes de transmissão de energia elétrica e detecção de cio em vacas leiteiras. Antunes & Zullo Júnior (2005) utilizando lógica fuzzy conseguiram estimar áreas de plantio de soja, com resultados altamente correlacionados com estimativas oficiais. Silva et al., (2014), gerou um modelo neuro fuzzy que possibilitou estimar os valores de produtividade de trigo em função das doses de nitrogênio com valores de erro menores que os dos modelo utilizando regressão quadrática.

Tabela 2. Lógica Fuzzy na simulação da produtividade de grãos de trigo por nitrogênio e temperatura no uso do hidrogel, no sistema soja/trigo.



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

H (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	PG (kg ha ⁻¹)			Simulação/Fuzzy PG (kg ha ⁻¹)
		L _i	\bar{X}	L _s	
Análise conjunta (2014 + 2015)					
0	0	1286	1382	1463	1460
	30	1815	2168	2470	2200
	60	2116	2507	2843	2230
	90	2627	2756	2886	2610
	120	2360	2728	3045	2610
Média H ₀		2041	2308	2541	2222
30	0	1364	1518	1649	1530
	30	1966	2334	2651	2330
	60	2305	2522	2707	2680
	90	2400	2709	2975	2770
	120	2522	2908	3239	2880
Média H ₃₀		2111	2398	2644	2438
60	0	1351	1680	1963	1910
	30	1770	2173	2518	2380
	60	2167	2540	2859	2410
	90	2284	2690	3038	2730
	120	2445	2876	3246	2840
Média H ₆₀		2003	2392	2725	2454
90	0	1336	1614	1853	1840
	30	1720	2220	2648	2240
	60	2103	2515	2868	2270
	90	2151	2576	2940	2270
	120	2273	2691	3049	2650
Média H ₉₀		1917	2323	2672	2254
120	0	1274	1616	1909	1740
	30	1616	2213	2725	2160
	60	2011	2503	2924	2190
	90	2013	2485	2891	2190
	120	2103	2544	2923	2190
Média H ₁₂₀		1803	2272	2674	2094

H= hidrogel; N= nitrogênio; L_i e L_s= limite inferior e superior do intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro; \bar{X} = média; PG= produtividade de grãos

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

Conclusões

O uso de hidrogel com 30 e 60 kg/ha promove maior eficiência de uso do nitrogênio no trigo brasileiro à produtividade de grãos. O modelo fuzzy possibilita estimar os valores de produtividade de grãos nas condições de uso do hidrogel e nitrogênio com a temperatura média máxima. Portanto, a lógica fuzzy é mais um modelo que pode ser utilizado nas simulações de produtividade agrícola.

Palavras-chave

Triticum aestivum; modelagem matemática; sustentabilidade

Agradecimentos

Ao CNPq, FAPERGS, UNIJUÍ e ao IFRS pelo aporte dos recursos destinados ao desenvolvimento deste estudo e pelas bolsas de estudo e pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ANTUNES, J.F.G.; ZULLO JUNIOR, J. Aplicação de lógica fuzzy para estimativa de área plantada da cultura de soja utilizando imagens AVHRR-NOAA. Master, Unicamp, 2005.
- BARROS, L. C. e BASSANEZI, R.C. “Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática”. Primeira edição. Coleção IMECC Textos Didáticos, v. 5, 2010.
- BILOBROVEC, M. ; MARÇAL , R.F.M.; KOVALESKI, J.L. Implementação de um sistema de controle inteligente utilizando a lógica fuzzy. XI SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 08 a 10 de novembro de 2004.
- HAWERROTH, M. C.; SILVA, J. A. G. da; SOUZA, C. A.; OLIVEIRA, A. C.; LUCHE, H. de S.; ZIMMER, C. M.; HAWERROTH, F. J.; SCHIAVO, J.; SPONCHIADO, J. C. Redução do acamamento em aveia branca com uso do regulador de crescimento etil trinexapac. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 50, n. 2, p. 115-125, 2015.
- KAEWPIROM, S.; BOONSANG, S. Electrical response characterisation of poly (ethylene glycol) macromer (PEGM)/chitosan hydrogels in NaCl solution. European Polymer Journal. v.42, p.1609-1616, 2006.
- MANTAI, R. D.; SILVA, J.A.G. da; SAUSEN, A. T. Z. R.; COSTA, J. S. P.; FERNANDES, S. B. V.; UBESSI, C. A eficiência na produção de biomassa e grãos de aveia pelo uso do nitrogênio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, p.343-349, 2015.
- PINNOW, C.; BENIN, G.; VIOLA, R.; SILVA, C. L. S.; GUTKOSKI, L. C.; CASSOL, L. C. Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio. Bragantia, v.72, p.20-28, 2013.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

PRANDO, A. M., ZUCARELI, C., FRONZA, V., DE OLIVEIRA, F. Á., & JÚNIOR, A. O. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 43, p.34-41, 2013.

SCHIASSI, L., YANAGI JÚNIOR, T., REIS, G. M., ABREU, L. H., CAMPOS, A. T., & CASTRO, J. D. O.. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*. v.19, n.2, p. 140-146, 2015.

SCHWERZ, F., CARON, B. O., SCHMIDT, D., DE OLIVEIRA, D. M., ELLI, E. F., ELOY, E., & ROCKENBACH, A. P. Growth retardant and nitrogen levels in wheat agronomic characteristics. *Científica*, v.43(2), p. 93-100, 2015.

SILVA, A.A.V.; SILVA, I.A.F.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA, M.C.M.. Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neuro fuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.2, p.180-187, 2014.

SILVA, J. A. G.; ARENHARD, E. G.; KRÜGERS, C. A. M. B.; LUCHESE, O. A.; METZ, M.; MAROLLI, A. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. *Agriambi*, v.19, p.27-33, 2015.

VAN COTTEN, W. TerraCottem no combate à poluição ou contaminação do solo. Relatório de aplicação, 1998.

VENTUROLI, F.; VENTUROLI, S. Recuperação florestal em uma área degradada pela exploração de areia no Distrito Federal. *Ateliê Geográfico*, v.5, p.183-195, 2011.

VIOLA, R.; BENIN G.; CASSOL, L.C.; PINNOW, C.; FLORES, M.M. F.; BORNHOFEN, E. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. *Bragantia*, v.72, p.90-100, 2013.

WALTER, L.C.; ROSA, H.T.; STRECK, N. A. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, n.11, pp. 1237-1245, 2010.

YILMAZ, I.; KAYNAR, O.. Multiple regression, ANN (RBF, MLP) and ANFIS models for prediction of swell potencial of clayey soils. *Expert systems with applications*, v.38, p.5958-5966, 2011.