

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

**LÓGICA FUZZY COMO PROPOSTA INOVADORA NA SIMULAÇÃO DA
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE TRIGO PELAS CONDIÇÕES
METEOROLÓGICAS E USO DO NITROGÊNIO¹
FUZZY LOGIC AS AN INNOVATIVE PROPOSAL IN THE SIMULATION OF
WHEAT GRAIN PRODUCTIVITY BY METEOROLOGICAL CONDITIONS
AND USE OF NITROGEN**

**Ana Paula Brezolin Trautmann², Osmar Bruneslau Scremin³, Anderson
Marolli⁴, Adriana Roselia Krausig⁵, Ângela Teresinha Woschinski De
Mamann⁶, José Antonio Gonzalez Da Silva⁷**

¹ Pesquisa institucional desenvolvida no Departamento de Estudos Agrários-DEAg/UNIJUI

² Doutoranda em Modelagem Matemática, UNIJUI, anabrezolin@hotmail.com

³ Doutorando em Modelagem Matemática, UNIJUI, osmarcremin@hotmail.com

⁴ Doutorando em Modelagem Matemática, UNIJUI, marollia@yahoo.com.br

⁵ Doutoranda em Modelagem Matemática, UNIJUI, maryshelei@yahoo.com.br

⁶ Doutoranda em Modelagem Matemática, UNIJUI, angelademamann@hotmail.com

⁷ Professor Orientador, DEAg/UNIJUI, jagsfaem@yahoo.com.br

Introdução

Na agricultura, as técnicas de modelagem matemática são fundamentadas em processos que envolvem múltiplos fatores (LEAL et al. 2015). Dentre as tecnologias usadas nestes sistemas está o sistema de lógica fuzzy, que produz inferências sobre os valores das variáveis usando como entrada observações linguísticas. Estas representam a opinião do especialista sobre as variáveis.

O trigo é uma das culturas de maior importância econômica do mundo (SILVA et al., 2018). No Brasil, este cereal é de suma importância no sistema de produção agrícola do Sul do país (CHAVARRIA et al., 2015). Para incrementar a produtividade do trigo, o nitrogênio é o nutriente mais requerido pela planta (SCHWERZ et al., 2015). No entanto, na aplicação é importante adequar o estágio de desenvolvimento da planta com a adequada dose, além da temperatura do ar e umidade do solo (MAMANN et al., 2018). Portanto, o uso do fracionamento com a dose ajustada surge como alternativa em maximizar a eficiência de aproveitamento pelo trigo.

Uma das formas de aprimorar os estudos do fracionamento com a dose adequada 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. O objetivo do estudo é o uso de lógica fuzzy para simulação da produtividade de grãos de trigo nas condições de uso de nitrogênio junto aos efeitos de temperatura do ar e precipitação pluviométrica em sistema soja/trigo.

Metodologia

O trabalho foi desenvolvido em 2013, 2014 e 2015, no Instituto Regional de Desenvolvimento

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

Rural (IRDeR)/DEAg/UNIJUI, Augusto Pestana - RS. O delineamento foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em esquema fatorial 4 x 3, para doses de N-fertilizante (0, 30, 60, 120 kg ha^{-1}) e formas de fornecimento do nutriente [condição cheia (100%) no estágio fenológico V_3 (terceira folha expandida); fracionada (70%/30%) no estágio fenológico V_3/V_6 (terceira e sexta folha expandida) e; fracionada (70%/30%) no estágio fenológico V_3/E (terceira folha expandida e início de enchimento de grãos)], respectivamente. O experimento foi conduzido no sistema soja/trigo, com a unidade experimental representada por 5 linhas de 5 m de comprimento e espaçamento entre linhas de 0,20 m, correspondendo a $5m^{-2}$. A colheita para a estimativa da produtividade de grãos ocorreu de forma manual pelo corte das três linhas centrais de cada parcela. As informações das temperaturas para o cálculo da soma térmica e precipitação pluviométrica foram obtidas pela Estação Automática instalada a 500 metros do experimento. A soma térmica (ST) foi obtida a

partir da emergência das plantas pelo modelo:

$$ST = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_b$$

, onde T_{max} = temperatura máxima; T_{min} = temperatura mínima; n = número de dias do período de emergência a colheita; T_b = temperatura base. A temperatura base do trigo utilizada foi de 4°C.

Na programação da lógica fuzzy na simulação da produtividade foi utilizado o Toolbox “fuzzy”, do software Matlab. A programação foi implementada para as variáveis de entrada, doses de nitrogênio (N, kg ha^{-1}), soma térmica (ST, graus dia^{-1}) e a precipitação pluviométrica (PP, mm^{-2}), com a variável de saída produtividade de grãos (PG, kg ha^{-1}). As informações foram organizadas e classificadas em termos linguísticos para a composição da base de regras com auxílio do especialista, considerando o conjunto de resultados de três safras agrícolas. O método de inferência utilizado foi o de Mamdani. Em cada condição de fracionamento, foi construído um simulador fuzzy. A variável PG foi dividida em quatro intervalos equidistantes (Tabela 1).

Resultados e discussão

Na Tabela 1, para a variável independente St, considerou-se o domínio no intervalo [1370, 1803], representando as faixas: <1575 [Baixa (B)] e >1575 [Alta (A)]. Para a variável independente N, considerou-se o domínio no intervalo [0, 120], representando as faixas: <30 [dose baixa (B)]; 30-90 [dose intermediária (I)] e >90 [dose alta (A)]. Para a variável independente Prec, considerou-se o domínio do intervalo [777, 1009], representando as faixas: <893 [Baixo (B)] e >893 [Alta (A)]. Para a variável de saída, os intervalos da imagem foram o valor máximo e o mínimo dos dados observados da produtividade de grãos de trigo.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

Tabela 1. Base de regras fuzzy para a simulação da produtividade de grãos do trigo.

| N (kg ha ⁻¹) | | ST (graus dia ⁻¹) | | PP (mm) | | PG (kg ha ⁻¹) | | |
|--------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------|
| V _L | V _Q | V _L | V _Q | V _L | V _Q | V ₃ | V ₃ /V ₆ | V ₃ /E |
| B | [0, 30[| B | 1575 | B | 893 | MB | MB | MB |
| | | A | 1575 | A | 893 | B | B | B |
| | | A | 1575 | B | 893 | MB | MB | MB |
| I | [30, 90[| B | 1575 | B | 893 | M | M | M |
| | | A | 1575 | A | 893 | M | M | M |
| | | A | 1575 | B | 893 | M | M | M |
| A | [90, 120] | B | 1575 | B | 893 | M | M | M |
| | | A | 1575 | A | 893 | A | A | A |
| | | A | 1575 | B | 893 | M | M | M |
| Valor Real | Mínimo | - | - | - | - | 1056 | 891 | 897 |
| | Máximo | - | - | - | - | 4000 | 4076 | 4000 |

N= nitrogênio; ST= Soma térmica; PP= Precipitação pluviométrica; V_L= Variáveis linguísticas; V_Q= Variáveis quantitativas; PG= produtividade de grãos; MB= Muito baixa; B= Baixa; M= Média; A= alta; I= Intermediária; V₃= Condição cheia (100%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida; V₃/V₆= Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira e sexta folha expandida; V₃/E= Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida e início do enchimento de grão

Na Tabela 2, das condições meteorológicas do ciclo da cultura do trigo, destaca-se, que no ano de favorecimento à máxima produtividade de grãos, o total acumulado de precipitação pluviométrica foi similar à média de precipitação ao longo de 26 anos. Por outro lado, a drástica redução da expressão da produtividade em 2014 foi condicionada ao elevado volume de chuvas na comparação à média histórica. No entanto, a mediana produção agrícola da cultura obtida em 2015 foi relacionada ao baixo volume de chuvas na comparação a média histórica. Portanto, com base nas médias da Tabela 2, os anos foram classificados como: 2013 (ano favorável=AF), 2014 (ano desfavorável=AD) e 2015 (ano intermediário=AI) ao cultivo do trigo.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

Tabela 2. Temperatura e precipitação nos meses de cultivo e média de produtividade.

| Ano | Mês | Temperatura (°C) | Precipitação (mm) | | PG _R (kg ha ⁻¹) | Classe |
|------|----------|------------------|-------------------|----------|---|--------|
| | | Média | Média 26 anos* | Ocorrida | | |
| 2013 | Mai | 16,6 | 149,7 | 100,5 | 3357 a | AF |
| | Junho | 13,15 | 162,5 | 191 | | |
| | Julho | 13,75 | 135,1 | 200,8 | | |
| | Agosto | 14,85 | 138,2 | 223,8 | | |
| | Setembro | 16,6 | 167,4 | 46,5 | | |
| | Outubro | 18,65 | 156,5 | 211,3 | | |
| | Total | - | 909,4 | 973,9 | | |
| 2014 | Mai | 17,2 | 149,7 | 412 | 1414 c | AD |
| | Junho | 13,8 | 162,5 | 412 | | |
| | Julho | 15,76 | 135,1 | 144 | | |
| | Agosto | 16,23 | 138,2 | 77,8 | | |
| | Setembro | 18,46 | 167,4 | 274,8 | | |
| | Outubro | 21,76 | 156,5 | 230,8 | | |
| | Total | - | 909,4 | 1551,4 | | |
| 2015 | Mai | 17,8 | 149,7 | 20,3 | 2441 b | AI |
| | Junho | 14,5 | 162,5 | 59,4 | | |
| | Julho | 12,4 | 135,1 | 176,6 | | |
| | Agosto | 18,1 | 138,2 | 61,4 | | |
| | Setembro | 17,5 | 167,4 | 194,6 | | |
| | Outubro | 20,2 | 156,5 | 286,6 | | |
| | Total | - | 909,4 | 798,9 | | |

*= Média de precipitação pluviométrica obtida de 1989 a 2015; Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si na probabilidade de 5% de erro pelo teste de Scott & Knott; AI= Ano intermediário; AF= Ano favorável; AD= Ano desfavorável; PG_R= Produtividade média de grãos

Na Tabelas 3, estão apresentadas as médias dos valores reais e simulados pelo modelo da lógica fuzzy à produtividade de grãos, nas condições de fornecimento do nitrogênio. Independente do estágio fenológico, o N-fertilizante proporcionou alteração na produtividade de grãos de trigo. Além disso, nos estádios de fornecimento do nutriente, de modo geral, o incremento de N-fertilizante proporcionou aumento médio da produtividade de grãos, fortalecendo sua necessidade nos processos ligados ao desenvolvimento da planta. Essa tendência de crescimento da produtividade de grãos também foi obtida pelo modelo fuzzy. Na simulação da produtividade de grãos pelo modelo baseado em regras fuzzy para cada condição de N-fertilizante, estão muito próximos aos observados às condições reais de cultivo. Além disso, a média geral de cada condição de uso do nitrogênio observada e simulada via lógica fuzzy, apresentaram valores muito próximos. Destaca-se, que o erro relativo da produção não ultrapassou 200 kg ha⁻¹, evidenciando confiabilidade dos dados utilizados para as simulações.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

Tabela 3. Lógica Fuzzy na simulação da produtividade do trigo por doses de nitrogênio, soma térmica e temperatura nas condições de uso do nitrogênio no sistema soja/trigo

| Estádio Fenológico | N (kg ha ⁻¹) | PG _O (kg ha ⁻¹) | PG _S (kg ha ⁻¹) | Erro Relativo |
|--------------------------------------|--------------------------|--|--|---------------|
| | | \bar{X} | Modelo Fuzzy (2013+2014+2015) | |
| V ₃ | 0 | 1659 | 1670 | -11 |
| | 30 | 2154 | 2080 | 74 |
| | 60 | 2694 | 2530 | 164 |
| | 120 | 2997 | 2850 | 147 |
| Média V ₃ | | 2376 | 2283 | 93 |
| V ₃ /V ₆ | 0 | 1479 | 1540 | -61 |
| | 30 | 2058 | 1980 | 78 |
| | 60 | 2540 | 2550 | -10 |
| | 120 | 2950 | 2790 | 160 |
| Média V ₃ /V ₆ | | 2332 | 2215 | 117 |
| V ₃ /E | 0 | 1469 | 1570 | -101 |
| | 30 | 2138 | 1960 | 178 |
| | 60 | 2562 | 2450 | 112 |
| | 120 | 2984 | 3070 | -86 |
| Média V ₃ /E | | 2288 | 2263 | 25 |

V₃ = Condição cheia (100%) da dose de nitrogênio na terceira folha; V₃/V₆ = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira e sexta folha expandida; V₃/E = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida e início do enchimento de grão; N = nitrogênio; \bar{X} = média; PG_O = produtividade de grãos observada; PG_S = produtividade de grãos simulada

Considerações finais

O modelo fuzzy gerado possibilita estimar os valores de produtividade grãos nas condições de uso de uso do nitrogênio com temperatura do ar e precipitação pluviométrica. Destaca-se que não houve diferença significativa entre as médias obtidas experimentalmente e aquelas obtidas utilizando o sistema lógica fuzzy.

Palavras-chave: Triticum aestivum, temperatura, precipitação, soja/trigo; modelagem

Keywords: Triticum aestivum, temperature, precipitation, soybean/wheat, modeling

Referências

- CHAVARRIA, G. et al. Regulador de crescimento em plantas de trigo: reflexos sobre o desenvolvimento vegetativo, rendimento e qualidade de grãos. Revista Ceres, v. 62, n.6, p. 583-588, 2015.
- LEAL, A. J. F. et al. Redes neurais artificiais na predição da produtividade de milho e definição de sítios de manejo diferenciado por meio de atributos do solo. Bragantia, v. 74, n. 4, p.436-444, 2015.
- MAMANN, A. T. W. et al. Lógica fuzzy na simulação da produtividade de trigo por nitrogênio e hidrogel. Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, v. 6, n. 1, p.1-7, 2018.
- SCHWERZ, F. et al. Growth retardant and nitrogen levels in wheat agronomic characteristics. Jaboticabal, v.43, n.2, p.93-100, 2015.
- SILVA, E. R. et al. Épocas de semeadura do trigo para a região Centro-Sul Mato Grossense. Revista de Agricultura Neotropical, v. 5, n. 1, p. 23-27, 2018.