

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

**LÓGICA FUZZY COMO UMA PROPOSTA INOVADORA PARA SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA AVEIA PELO MANEJO DO NITROGÊNIO E A NÃO LINEARIDADE DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS<sup>1</sup>**  
**FUZZY LOGIC AS AN INNOVATIVE PROPOSAL FOR SIMULATION OF OIL PRODUCTIVITY BY NITROGEN MANAGEMENT AND NON-LINEARITY OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS**

**Rubia Diana Mantai<sup>2</sup>, Osmar Bruneslau Scremin<sup>3</sup>, Anderson Marolli<sup>4</sup>, Ana Paula Brezolin Trautmann<sup>5</sup>, Douglas César Reginatto<sup>6</sup>, José Antonio Gonzalez Da Silva<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Pesquisa institucional desenvolvida no Departamento de Estudos Agrários-DEAg/UNIJUI.

<sup>2</sup> Doutoranda em Modelagem Matemática, UNIJUI, [rdmantai@yahoo.com.br](mailto:rdmantai@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Doutorando em Modelagem Matemática, UNIJUI, [osmarcremin@hotmail.com](mailto:osmarcremin@hotmail.com)

<sup>4</sup> Doutorando em Modelagem Matemática, UNIJUI, [marollia@yahoo.com.br](mailto:marollia@yahoo.com.br)

<sup>5</sup> Doutoranda em Modelagem Matemática, UNIJUI, [anabrezolin@hotmail.com](mailto:anabrezolin@hotmail.com)

<sup>6</sup> Mestre em Modelagem Matemática, UNIJUI, [reginattodouglas@gmail.com](mailto:reginattodouglas@gmail.com)

<sup>7</sup> Professor Orientador, DEAg/UNIJUI, [jagsfaem@yahoo.com.br](mailto:jagsfaem@yahoo.com.br)

## **INTRODUÇÃO**

A aveia branca tem assumido forte expressão de produção no sul do Brasil, considerada um cereal de diversos propósitos, sendo que, na alimentação humana, traz grandes benefícios à saúde, pelo elevado conteúdo de proteínas e de fibras (MANTAI et al., 2016). A aveia branca necessita da adubação nitrogenada, a qual merece atenção, não somente pelo alto custo que representa, mas, pelo uso eficiente na garantia de produtividade num processo de maior sustentabilidade de cultivo (BENIN et al., 2012). A recomendação de uso do nitrogênio em aveia trata da aplicação do nutriente na base (semeadura) e em cobertura (30 a 60 dias após emergência), considerando a dose total a ser fornecida. No entanto, no momento da adubação nem sempre são obtidas as melhores condições de umidade de solo e temperatura para melhor aproveitamento do nutriente pela cultura (MAROLLI et al., 2017). Anos de clima favorável e desfavorável alteram a disponibilidade de nitrogênio e a eficiência de uso pela planta (ESPINDULA et al., 2010). A época de aplicação de nitrogênio é um dos aspectos mais polêmicos no manejo da adubação nitrogenada. Assim, em alguns casos, a antecipação da adubação nitrogenada, pode ser mais eficiente no aumento da produtividade (ARENHARDT et al., 2015). Na cultura da aveia, é constatado poucos modelos que buscam descrever o comportamento e simulação da produtividade deste cereal pelo manejo do nitrogênio, principalmente quando se trata de modelos matemáticos à simulação e previsão dos efeitos não lineares envolvidos nos agroecossistemas. Importante para validação de tecnologias mais sustentáveis. Os modelos fuzzy, são técnicas que possibilitam a descrição de sistemas complexos de comportamentos não lineares, produzidos a partir de regras, que devem

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

ser elaboradas por especialistas, fornecendo sua experiência à elaboração de um sistema de inferência do tipo “Se [condição] Então [resultado]” (MAMANN et al., 2018). O uso de lógica fuzzy pode representar uma nova ferramenta de simulação da produtividade da aveia, envolvendo relações não lineares das condições ambientais com os agroecossistemas cultivados. Portanto, voltada a simulação e otimização de uso do nitrogênio pelo manejo da dose na base e cobertura com a época de aplicação, em condições reais de cultivo. O objetivo do trabalho é adequar o modelo de lógica fuzzy para simulação da produção de grãos de aveia nas condições de fornecimento de nitrogênio na base e cobertura junto a ação combinada de temperatura do ar, precipitação pluviométrica e soma térmica, em condições reais de cultivo no sistema de sucessão milho/aveia.

## METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido nos anos agrícolas 2015, 2016 e 2017, na área experimental do Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR), pertencente a UNIJUI, no município de Augusto Pestana/RS. O experimento foi delineado em blocos casualizados com quatro repetições, seguindo um modelo fatorial 3x4, representando três adubações nitrogenadas de base (0, 30 e 60 kg/ha) e quatro épocas de aplicação de adubação nitrogenada em cobertura (0, 10, 30 e 60 Dias Após a Emergência - DAE) em resíduo cultural de milho, utilizando a cultivar de aveia branca, Brisasul. A dose de adubação nitrogenada fornecida nas diferentes épocas em cobertura foi definida respeitando as indicações técnicas da cultura da aveia para uma estimativa de 4000 kg/ha de rendimento de grãos, portanto, fornecendo 100 kg/ha de N. Foram consideradas as variáveis: precipitação pluviométrica acumulada (PP), temperatura mínima (T<sub>mín</sub>), temperatura máxima (T<sub>máx</sub>), temperatura média (T<sub>méd</sub>), soma térmica acumulada (ST), doses de nitrogênio aplicadas na base (NB), aplicações de nitrogênio em cobertura nas diferentes épocas (NE) e produtividade de grãos (PG). Para o desenvolvimento da programação da lógica fuzzy na simulação da produtividade de grãos, foi utilizado o Toolbox fuzzy, do software Matlab. A programação foi implementada para as variáveis de entradas: NE em cobertura (0, 10, 30 e 60 dias), PP e T<sub>méd</sub> nos anos de cultivo 2015, 2016 e 2017 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 de nitrogênio na base, 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 de aveia observados no experimento. Os dados referentes às variáveis PP, T<sub>mín</sub>, T<sub>máx</sub> e T<sub>méd</sub>, foram obtidos por meio da estação meteorológica, instalada a 200 m do experimento. Na definição das variáveis potenciais para compor o modelo de simulação por lógica fuzzy, foi utilizada a técnica de separação de variáveis Stepwise, encontrada junto ao software GENES. A partir daí, foram desenvolvidos modelos para a estimativa da produtividade de grãos, considerando as variáveis: precipitação pluviométrica, temperatura média e nitrogênio época.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

Na Tabela 1, está apresentada a análise conjunta dos anos agrícolas, os valores mínimo, médio e máximo dos indicadores meteorológicos. Destaca-se que, a precipitação e a soma térmica são valores cumulativos avaliados até o momento do fornecimento de nitrogênio em cada condição de adubação de base.

Tabela 1. Valores mínimo, médio e máximo dos indicadores meteorológicos no fornecimento de nitrogênio na semeadura e cobertura

| N Época (Dias)   | Valor  | Precipitação (mm) | T <sub>méd</sub> (°C) | T <sub>máx</sub> (°C) | T <sub>mín</sub> (°C) | ST (°C dia <sup>-1</sup> ) |
|------------------|--------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| (2015+2016+2017) |        |                   |                       |                       |                       |                            |
| 10               | Mínimo | 43,2              | 13,2                  | 19,7                  | 8,2                   | 99,6                       |
|                  | Médio  | 51,3              | 15,6                  | 22,0                  | 9,1                   | 116,0                      |
|                  | Máximo | 59,5              | 16,5                  | 23,3                  | 9,7                   | 125,0                      |
| 30               | Mínimo | 10,7              | 14,4                  | 18,9                  | 7,8                   | 315,9                      |
|                  | Médio  | 112,6             | 15,0                  | 21,3                  | 8,7                   | 343,0                      |
|                  | Máximo | 246,7             | 16,2                  | 24,0                  | 10,1                  | 381,5                      |
| 60               | Mínimo | 128,5             | 15,3                  | 21,9                  | 8,6                   | 690,1                      |
|                  | Médio  | 233,2             | 16,5                  | 22,7                  | 10,3                  | 755,0                      |
|                  | Máximo | 336,2             | 17,2                  | 24,0                  | 12,3                  | 796,1                      |
| (10/30/60)       | Mínimo | 10,7              | 13,9                  | 18,9                  | 7,8                   | 96,6                       |
|                  | Médio  | 142,5             | 15,7                  | 22,0                  | 9,3                   | 404,7                      |
|                  | Máximo | 336,2             | 17,2                  | 24,0                  | 12,3                  | 796,1                      |

N – Nitrogênio; PG – Produtividade de grãos; T<sub>méd</sub> – Temperatura média; T<sub>máx</sub> – Temperatura máxima; T<sub>mín</sub> – Temperatura mínima; ST – Soma térmica.

Buscando selecionar as variáveis meteorológicas e de fornecimento do nitrogênio que efetivamente atuam sobre a variável dependente, produtividade de grãos (PG), foi realizada a técnica de regressão parcial denominada StepWise para entrada no processo de fuzzyficação (Tabela 2). Nesta perspectiva, foram selecionadas as variáveis que em todas as condições de adubação de base mostraram significância. Portanto, as variáveis temperatura média (T<sub>méd</sub>), precipitação pluviométrica e época de fornecimento de nitrogênio (N Época), foram classificadas para o processo de simulação por lógica fuzzy.

Tabela 2. Seleção de variáveis pela técnica de StepWise sob doses de nitrogênio na base em diferentes anos de cultivo

| Fonte de Variação  | Quadrado Médio/(2015+2016+2017) |           |           |           |
|--------------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                    | 0 N Base                        | 10 N Base | 30 N Base | 60 N Base |
| Regressão          | 6345546*                        | 5391114*  | 5549487*  | 3674042*  |
| Temperatura Média  | 2070344*                        | 2313058*  | 802114*   | 5540776*  |
| Temperatura Mínima | 1848364*                        | 2178491*  | ns        | ns        |
| Temperatura Máxima | ns                              | ns        | 852803*   | 5869896*  |
| Soma Térmica       | 11518659*                       | 7211592*  | ns        | ns        |
| Precipitação       | 5447636*                        | 6648691*  | 761484*   | 4761436*  |
| N Época            | 5132062*                        | 5970142*  | 709409*   | 5165772*  |
| Desvio             | 399873                          | 288359    | 310061    | 347668    |

N – Nitrogênio, \* - Significativo a 5% de probabilidade de erro; ns – Não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Foram construídas através do conhecimento técnico de um especialista, a base de informações qualitativas para a elaboração do conjunto de regras fuzzy (Tabela 3). No nitrogênio, as variáveis linguísticas (VL) e seu correspondente valor quantitativo (VQ) definido segundo experimento nas condições de época de uso de N-fertilizante, sendo precoce (P, 10 dias após a emergência),

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

adequado (AD, 30 dias após a emergência) e tardio (T, 60 dias após a emergência). Na temperatura média ( $T_{med}$ ), as variáveis linguísticas e seu correspondente valor quantitativo foi definido como baixo (B, 13 °C), adequado (AD, 15 °C) e muito alto (MA, 17 °C). Referente a precipitação pluviométrica, as variáveis linguísticas e seus devidos valores quantitativos cumulativos foram classificados em baixo (B, 10 mm), adequado (AD, 146 mm) e alto (A, 336 mm).

**Tabela 3. Base de regras Lógica Fuzzy para a simulação da produtividade de grãos de aveia**

| N Época (dias) |       | $T_{med}$ (°C) |       | Precipitação (mm) |       | PG |
|----------------|-------|----------------|-------|-------------------|-------|----|
| $V_L$          | $V_Q$ | $V_L$          | $V_Q$ | $V_L$             | $V_Q$ |    |
| P              | 10    | B              | 13    | B                 | 10    | MB |
| AD             | 30    | AD             | 15    | AD                | 146   | B  |
| T              | 60    | MA             | 17    | A                 | 336   | M  |
|                |       |                |       |                   |       | AD |

N – Nitrogênio; PG – Produtividade de grãos;  $T_{med}$  – Temperatura média;  $V_L$  – Variáveis linguísticas;  $V_Q$  – Variáveis quantitativas; P – Precoce; AD – Adequado; T – Tardio; B – Baixo; M – Médio; A – Alto; MB – Muito baixo; MA – Muito alto.

Para a simulação da produtividade de grãos via fuzzy, foram empregados os valores reais de mínimo e máximo do efeito cumulativo dos anos avaliados, para inferências do comportamento real e simulado do incremento de doses nitrogênio na semeadura com épocas de fornecimento em cobertura. Na Tabela 4, verifica-se que a produtividade de grãos simulada está muito próxima dos valores reais obtidos em cada condição de aplicação de nitrogênio na semeadura e em cobertura. A melhor época de aplicação do nitrogênio, segundo a simulação, está entre os 10 e 30 dias após a emergência. Ressalta-se que, com o aumento da dose do nitrogênio na semeadura a produtividade de grãos diminui mostrando a confiabilidade da simulação frente aos dados reais.

**Tabela 4. Lógica Fuzzy na simulação da produtividade de grãos de aveia sob doses de nitrogênio, temperatura e precipitação**

| N Base<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | N Época<br>(Dias) | PGo<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | Simulação Fuzzy<br>PGs (kg ha <sup>-1</sup> ) | Erro absoluto<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 0                                | 10                | 3372                          | 3200                                          | -172                                    |
|                                  | 30                | 3183                          | 3200                                          | 17                                      |
|                                  | 60                | 2146                          | 1970                                          | -176                                    |
| Média N Base 0                   |                   | 2900                          | 2790                                          | -110                                    |
| 10                               | 10                | 3095                          | 2940                                          | -155                                    |
|                                  | 30                | 3063                          | 2930                                          | -133                                    |
|                                  | 60                | 2174                          | 1870                                          | -304                                    |
| Média N Base 10                  |                   | 2777                          | 2580                                          | -197                                    |
| 30                               | 10                | 2748                          | 2770                                          | 22                                      |
|                                  | 30                | 2815                          | 2780                                          | -35                                     |
|                                  | 60                | 2278                          | 1780                                          | -498                                    |
| Média N Base 30                  |                   | 2614                          | 2443                                          | -171                                    |
| 60                               | 10                | 2479                          | 2480                                          | 1                                       |
|                                  | 30                | 2526                          | 2480                                          | -46                                     |
|                                  | 60                | 2137                          | 1520                                          | -617                                    |
| Média N Base 60                  |                   | 2381                          | 2160                                          | -221                                    |

N – Nitrogênio; PGo – Produtividade de grãos obtida; PGs – Produtividade de grãos simulada.

Os resultados obtidos da simulação se mostraram adequados a base de regras estabelecida e a possibilidade de uso da lógica fuzzy na previsibilidade da produtividade de grãos de aveia no uso

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

de nitrogênio em diferentes condições de aplicação do nutriente. Desta forma, o uso de modelos que permitem a manipulação e entendimento destes dados, muitas vezes imprecisos, representa uma tecnologia inovadora à tomada de decisões quanto ao manejo e ao desempenho das culturas (MAMANN et al., 2018).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A lógica fuzzy se mostra um modelo qualificado em prever a produtividade de grãos de aveia nas distintas condições de fornecimento de nitrogênio na base e cobertura envolvendo variáveis não lineares como a temperatura e precipitação pluviométrica. As médias reais e as obtidas por simulação via lógica fuzzy indicam que a melhor época de aplicação de nitrogênio se dá entre os 10 e 30 dias após a emergência das plantas sem uso de nitrogênio na semeadura.

**Palavras-chave:** Avena sativa L.; Adubação de base; Adubação de cobertura; Temperatura; Precipitação Pluviométrica

**Keywords:** Base fertilization; Coating fertilization; Temperature; Rainfall Precipitation

### REFERÊNCIAS

- ARENHARDT, E. G. et al. The nitrogen supply in wheat cultivation dependent on weather conditions and succession system in southern Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, v. 10, n. 48, p. 4322-4330, 2015.
- BENIN, G. et al. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 34, n. 3, p. 275-283, 2012.
- ESPINDULA, M. C. et al. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. *Ciênc. agrotec.* [online]. vol.34, n.6, pp. 1404-1411, 2010.
- 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 Computational and Applied Mathematics*, v. 6, n. 1, p. 2156-2163, 2018.
- MANTAI, R. D. et al. Simulation of oat grain (*Avena sativa*) using its panicle components and nitrogen fertilizer. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 40, p. 3975-3983, 2016.
- MAROLLI, A. et al. Contributive effect of growth regulator Trinexapac-Ethyl to oats yield in Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, v. 12, n. 10, p. 795-804, 2017.