

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL VIA LÓGICA FUZZY NA SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE INDUSTRIAL DE GRÃOS DE AVEIA PELO USO DO NITROGÊNIO E NÃO LINEARIDADE DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS¹

ARTIFICIAL INTELLIGENCE THROUGH FUZZY LOGIC IN SIMULATING THE INDUSTRIAL PRODUCTIVITY OF OAT GRAINS BY THE USE OF NITROGEN AND NONLINEARITY OF METEOROLOGICAL CONDITIONS

Cibele Luisa Peter², Rubia Diana Mantai³, Odenis Alessi⁴, Vanessa Pansera⁵, Eduarda Warmbier⁶, José Antonio Gonzalez da Silva⁷

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

² Mestranda em Modelagem Matemática, UNIJUÍ, e-mail: cibele.peter2017@gmail.com

³ Doutora em Modelagem Matemática, UNIJUÍ, e-mail: rdmantai@yahoo.com.br

⁴ Doutorando em Modelagem Matemática, UNIJUÍ, e-mail: odenisalessi@hotmail.com

⁵ Doutoranda em Modelagem Matemática, UNIJUÍ, e-mail: vpansera@hotmail.com

⁶ Mestranda em Modelagem Matemática, UNIJUÍ, e-mail: eduarda.warmbier@gmail.com

⁷ Professor Orientador, DEAg/UNIJUÍ, e-mail: jagsfaem@yahoo.com.br

Resumo

A inteligência artificial vem se mostrando como um campo eficiente para a ampliação de modelos direcionados à simulação e otimização de processos agrícolas. A lógica fuzzy é uma alternativa na representação destes processos, possibilitando as simulações de problemas que envolvem alta complexidade e alto grau de incerteza. Em sistemas agrícolas, são poucos os modelos eficientes envolvendo a adubação nitrogenada em conjunto com os elementos meteorológicos atuantes no sistema do cultivo. Desta forma, para a agricultura existe a necessidade da construção de modelos de simulação que envolvam variáveis controladas e não controladas. A aveia é um cereal de múltiplos propósitos, de grande importância para a alimentação animal e humana. A alta produtividade industrial de grãos de aveia é dependente de vários elementos, dentre eles a adubação nitrogenada e as condições meteorológicas. O nitrogênio é responsável por diversas funções para a planta, é o mais absorvido e está diretamente ligado à produtividade e qualidade dos grãos. Porém em condições desfavoráveis, a absorção do nitrogênio pela planta pode ser afetada. O objetivo do estudo é empregar inteligência artificial via lógica fuzzy na simulação da produtividade industrial de grãos de aveia, envolvendo o uso de nitrogênio e a não linearidade das condições meteorológicas. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com 4 repetições, seguindo um esquema fatorial 4 x 2, com quatro doses de nitrogênio (0 kg ha⁻¹, 30 kg ha⁻¹, 60 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹) e duas cultivares (Barbarasul e Brisasul), no sistema de cultivo soja/aveia nos anos de 2011 a 2016. No desenvolvimento da lógica fuzzy foi considerada a função de pertinência triangular e método de inferência Mamdani. Após foi utilizada análise de regressão na comparação dos dados observados na bioexperimentação e os dados simulados. A maioria dos valores simulados pela lógica fuzzy, em comparação aos dados obtidos pela bioexperimentação, obtiveram erros absolutos menores que o desvio padrão dos dados observados. As regressões que indicaram o comportamento dos dados observados e dos dados simulados mostraram eficiência no uso da lógica fuzzy. O modelo fuzzy proposto possibilita simular com eficiência a produtividade industrial de grãos de aveia, considerando o uso de nitrogênio aplicado as condições de temperatura e precipitação pluviométrica

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

dos anos agrícolas.

Abstract

Artificial intelligence has proved to be an efficient field for expanding models aimed at simulating and optimizing agricultural processes. Fuzzy logic is an alternative in the representation of these processes, allowing simulations of problems involving high complexity and a high degree of uncertainty. In agricultural systems, there are few efficient models involving nitrogen fertilization in conjunction with the meteorological elements that act in the cultivation systems. Thus, for agriculture there is a need to build simulation models that involve controlled and uncontrolled variables. Oat is a multi-purpose cereal, of great importance for animal and human food. The high industrial productivity of oat grains is dependent on several elements, among them nitrogen fertilization and weather conditions. Nitrogen is responsible for several functions for the plant, it is the most absorbed and is directly linked to the productivity and quality of grains. However, under unfavorable conditions, nitrogen absorption by the plant can be affected. The purpose of the study is to employ artificial intelligence via fuzzy logic to simulate the industrial productivity of oat grains, involving the use of nitrogen and the non-linearity of weather conditions. The experimental design was randomized blocks with 4 replications, following a 4 x 2 factorial scheme, with four nitrogen doses (0 kg ha^{-1} , 30 kg ha^{-1} , 60 kg ha^{-1} e 120 kg ha^{-1}) and two cultivars (Barbarasul and Brisasul), in the soybean/oat cultivation system in the years 2011 to 2016. In the development of the fuzzy logic, the triangular relevance function and Mamdani inference method were considered. Afterwards, regression analysis was used to compare the data observed in bio experimentation and the simulated data. Most of the values simulated by the fuzzy logic, compared to the data obtained by bio experimentation, obtained absolute errors smaller than the standard deviation of the observed data. The regressions that indicated the behavior of the observed data and the simulated data showed efficiency in the use of fuzzy logic. The proposed fuzzy model allows to simulate efficiently the industrial productivity of oat grains, considering the use of nitrogen applied to the temperature and rainfall conditions of agricultural years.

Palavras-chave: *Avena sativa*, condição meteorológica, rendimento de cariopse, regressão, modelagem.

Keywords: *Avena sativa*, weather condition, karyopsis yield, regression, modeling.

1 INTRODUÇÃO

A inteligência artificial está se tornando bastante difundida, na busca de resolução de problemas complexos e na tomada de decisões. É uma ferramenta de importante aplicação na agricultura, possibilitando maior entendimento dos processos agrícolas e auxiliando na simulação e previsão da produtividade de safras (BANERJEE et al., 2018).

Na agricultura, modelos matemáticos estão sendo cada vez mais buscados, pois permitem a descrição das interações complexas que ocorrem nos agroecossistemas. A lógica fuzzy, conhecida também como subjetiva ou nebulosa, tem sido utilizada a fim de obter simulações eficientes para tratar de problemas com características complexas, sendo capaz de capturar informações incertas, tornando-se solução para problemas até então não solucionáveis por técnicas clássicas (ROSA et al., 2015; VERONEZ et al., 2019). É capaz de tratar conceitos vagos, de modo geral descritos na linguagem natural e convertê-los para um formato numérico de fácil entendimento. Modelos nebulosos são produzidos a partir de regras elaboradas por especialistas, que aceitam a inclusão de várias variáveis, fornecendo experiência na elaboração de um sistema de inferência do tipo “Se

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

<estado> então <resposta>” (SILVA & ESTUMANO et al., 2017; TRAUTMANN et al., 2020).

A aveia é um importante cereal cultivado no sul do Brasil, devido a seus múltiplos propósitos, sendo utilizada para alimentação animal e humana. Este cereal possui alto teor de fibras, além de apresentar excelentes características funcionais e nutricionais, auxilia na prevenção de doenças crônico-degenerativas (DIAS et al., 2016; DORNELLES et al., 2018). Para a obtenção de uma boa produtividade e qualidade dos grãos de aveia, existem influências de diversos fatores, como as condições meteorológicas e as tecnologias de manejo (BREZOLIN et al., 2016; KRYSCZUN et al., 2017). Dentre as tecnologias de manejo, o fornecimento de nitrogênio é indispensável (MANTAI et al., 2015; MAROLLI et al., 2018). Entretanto, durante o cultivo, é comum que as condições meteorológicas desfavoráveis, como temperatura do ar elevada, reduzida umidade do solo, ou elevada precipitação, interfiram na ação do nitrogênio, gerando perdas por processos de volatilização ou lixiviação, ocasionado prejuízos econômicos e poluição ambiental (SILVA et al., 2015; SANTOS et al., 2016).

A utilização da lógica fuzzy pode auxiliar na previsibilidade da produtividade industrial de grãos de aveia, em condições reais de cultivo, envolvendo efeitos controlados e não controlados na simulação de processos biológicos, podendo contribuir na definição de manejos mais satisfatórios. O objetivo do trabalho é empregar inteligência artificial via lógica fuzzy na simulação da produtividade industrial de grãos de aveia, envolvendo o uso de nitrogênio e a não linearidade das condições meteorológicas.

2 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido nos anos de 2011 a 2016 na área experimental do Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR), pertencente ao Departamento de Estudos Agrários (DEAg) da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI) no município de Augusto Pestana-RS. Na semeadura, foi utilizada semeadora-adubadora na composição da parcela com 5 linhas com 5 metros de comprimento cada, e espaçamento entre linhas de 0,20 m, correspondendo a uma unidade experimental de 5 m². O delineamento experimental foi de blocos casualizados com 4 repetições, seguindo um esquema fatorial 4 x 2, com quatro doses de nitrogênio (0 kg ha⁻¹, 30 kg ha⁻¹, 60 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹) e duas cultivares (Barbarasul e Brisasul), no sistema de cultivo soja/aveia. Neste estudo foi considerada a média dos resultados de ambas as cultivares. As variáveis meteorológicas como temperatura mínima e máxima e a precipitação pluviométrica foram obtidas através da estação meteorológica automatizada, instalada a 200 metros do experimento.

Para a estimativa da produtividade de grãos, a colheita ocorreu de forma manual pelo corte das três linhas centrais de cada parcela, que após trilhadas com colheitadeira estacionária, foram direcionadas ao laboratório para correção da umidade de grãos para 13% e posterior pesagem para estimativa da produtividade, convertida para a unidade de um hectare.

A produtividade industrial (PI) foi obtida por

$$PI = PG \cdot \frac{NG > 2mm}{100} \cdot ID$$

em que PG é a produtividade de grãos, NG>2mm é o número de grãos com espessura maior que 2 mm considerando um conjunto de 100 grãos e ID é o índice de descasque, dado por

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

$$ID = \frac{M_C}{M_G}$$

em que M_C é a massa da cariopse de 50 grãos e M_G é a massa de 50 grãos.

O número de grãos maiores que dois milímetros ($NG > 2 \text{ mm}$, n) foi obtido pela contagem de 100 grãos, que foram colocados em uma peneira de malha de 2 mm sendo contabilizados os que ficaram retidos. O índice de descasque ($ID, \text{g g}^{-1}$) foi determinado pela razão entre a massa da cariopse de 50 grãos maiores que 2 mm e sua massa de grãos.

Após a obtenção dos dados, foi aplicada análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 5%, a fim de identificar os efeitos principais e de interação. Visando a simulação da produtividade industrial de grãos da aveia, desenvolveu-se um modelo via Lógica fuzzy. Utilizou-se o Sistema Baseado em Regras fuzzy (SBRF), implementado pelo Toolbox fuzzy Logic do software Matlab, tendo como variáveis de entrada a temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação pluviométrica, ano de cultivo e dose de nitrogênio, e como variável de saída a produtividade industrial. Foi utilizado o método de inferência de Mamdani, com emprego do conectivo “e” para avaliação das regras, funções de pertinência do tipo triangular, e defuzzificação pelo método do menor valor da função máxima de associação agregada.

Obteve-se a ajuda de um engenheiro agrônomo com experiência na cultura da aveia, na determinação das classes e intervalos para cada variável de entrada e saída, assim como, a base de regras que contempla a lógica de incertezas fuzzy. Para a temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$), foi considerado o domínio de intervalo [8; 12,5], para a temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) considerou-se o domínio de intervalo [21; 23,5] e para a precipitação pluviométrica (mm), foi definido o domínio de intervalo [500; 850]. Estas três variáveis meteorológicas foram classificadas em baixa (B), média (M) e alta (A). Os anos de cultivos foram classificados em desfavorável (AD), intermediário (AI) e favorável (AF) à produtividade de grãos, codificando-os em 0, 1 e 2, respectivamente. Para as doses de adubação nitrogenada (kg ha^{-1}) foi considerado o domínio de intervalo [0; 120], classificados em muito baixa (MB), baixa (B), moderada (MD), alta (A) e muito alta (MA). Na variável de saída os intervalos de imagem representam o valor máximo e o mínimo dos dados coletados experimentalmente, considerando as médias dos anos de avaliação. Portanto, para a produtividade industrial (kg ha^{-1}) considerou-se um intervalo de [300; 2170], sendo dividida em sete intervalos equidistantes, classificados em muito baixa (MB), baixa (B), moderadamente aceitável (MA), aceitável (AC), relativamente alta (RA), alta (A) e excelente (E).

A Tabela 1 apresenta as variáveis de entrada e saída com suas respectivas classes e amplitudes. Devido à quantidade de variáveis de entrada e classes, foi formulada uma base com 405 regras linguísticas para a variável de saída (dados não apresentados).

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

Tabela 1. Classes das variáveis de entrada e saída utilizadas na base de regras da lógica fuzzy para a simulação da produtividade industrial de grãos da aveia.

Variável	Classe	Amplitude de Classe			Variável	Classe	Amplitude de Classe			
		V _{min}	Vértice	V _{máx}			V _{min}	Vértice	V _{máx}	
Variáveis de entrada	\bar{T}_{min}	B	8	8	10,2	Variáveis de entrada	MB	0	0	30
		M	8	10,2	12,5		B	0	30	60
		A	10,2	12,5	12,5		N	MD	30	60
	\bar{T}_{max}	B	21	21	22,2		A	60	90	120
		M	21	22,2	23,5		MA	90	120	120
		A	22,2	23,5	23,5		Variável de saída	MB	300	300
ΣPP	B	500	500	675	B	435		630	830	
	M	500	675	850	MA	565		830	1095	
	A	675	850	850	PI	AC		830	1095	1360
Ano	AD	0	0	1	RA	1095		1360	1625	
	AI	0	1	2	A	1360		1670	1890	
	AF	1	2	2	E	1680	2170	2170		

V_{min} = valor mínimo da forma triangular; V_{máx} = valor máximo da forma triangular; \bar{T}_{min} = temperatura média mínima (°C); \bar{T}_{max} = temperatura média máxima (°C); ΣPP = precipitação pluviométrica (mm); N= dose de nitrogênio (kg ha⁻¹); AD= ano desfavorável; AI= ano intermediário; AF= ano favorável; PI = produtividade industrial (kg ha⁻¹); B = baixa; M = média; MD = moderada; A= alta; MB = muito baixa; MA = moderadamente aceitável; AC = aceitável; RA = relativamente alta; E = excelente.

A fim de validar a base de regras e verificar a eficiência do modelo fuzzy foi considerado o comportamento de regressões obtidas pelos pontos observados e simulados e respectivos valores dos parâmetros dos modelos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, são apresentados os valores da produtividade industrial da aveia observados em campo e simulados pela lógica fuzzy, a partir das médias de temperatura mínima e máxima e de precipitação pluviométrica dos distintos anos de cultivo e da condição de adubação nitrogenada. Os anos de cultivo 2012 e 2014 foram classificados em anos desfavoráveis (AD) à produtividade de grãos; 2015 e 2016 em anos intermediários (AI); e 2011 e 2013 em anos favoráveis (AF). Observa-se que em todos os anos de cultivo, exceto 2015 (AI), nas simulações das doses de 60 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹ ocorreram resultados iguais, demonstrando uma estabilidade de produtividade a partir da dose de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Em 2016 (AI), os resultados da produtividade industrial simulados e observados são mais reduzidos em comparação aos outros anos, mesmo sendo um ano intermediário à produtividade de grãos. Isto se deve ao fato de que as condições meteorológicas deste ano, apesar de não terem influenciado negativamente na produtividade de grãos, causaram variação na espessura e na relação entre a massa da cariopse e de grãos, que são fatores relacionados à qualidade industrial de grãos. Além disso, neste ano as doses de nitrogênio não interferiram

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

significativamente nos resultados relativos à produtividade industrial, pois os valores observados e simulados apresentam-se muito próximos nas diferentes doses. Esses resultados indicam que o modelo de lógica fuzzy desenvolvido foi eficiente na simulação da produtividade industrial de grãos, evidenciando a capacidade de reconhecimento de processos biológicos pela teoria dos conjuntos via lógica fuzzy.

Tabela 2. Produtividade industrial de grãos de aveia observada e simulada por lógica fuzzy pelo nitrogênio, temperaturas mínima e máxima, precipitação pluviométrica e anos de cultivo.

Ano	Temperatura Média (°C)		ΣPP (mm)	Dose N (kg ha ⁻¹)	Vo (kg ha ⁻¹)	DP (kg ha ⁻¹)	Vs (kg ha ⁻¹)	EA (kg ha ⁻¹)
	T _{min}	T _{max}						
Produtividade de indústria								
2011 (AF)	10,1	22,4	767	0	1109	96	1090	19
				30	1578	151	1650	72
				60	1698	303	1650	48
				120	1560	117	1650	90
2012 (AD)	11,5	22,2	698	0	1037	137	1090	53
				30	1440	182	1360	80
				60	1665	113	1650	15
				120	1689	178	1650	39
2013 (AF)	8,7	21,2	510	0	1504	165	1660	156
				30	1810	172	1660	150
				60	2169	170	2040	129
				120	2108	223	2040	68
2014 (AD)	11,9	22,9	844	0	891	116	833	58
				30	1100	136	1090	10
				60	1294	153	1360	66
				120	1393	81	1360	33
2015 (AI)	12,3	22,0	651	0	1098	104	1090	8
				30	1453	194	1360	93
				60	1701	170	1660	41
				120	1442	225	1360	82
2016 (AI)	9,9	23,5	625	0	315	55	384	69
				30	403	60	384	19
				60	424	71	384	40
				120	355	59	384	29

T_{min} = temperatura média mínima; T_{max} = temperatura média máxima; ΣPP = precipitação pluviométrica; N = dose de nitrogênio; Vo = valor observado; Vs = valor simulado pela lógica fuzzy; EA = erro absoluto; DP = desvio padrão do valor observado; AD = ano desfavorável; AI = ano intermediário; AF = ano favorável.

Nas mais diversas áreas do conhecimento, a lógica fuzzy vem sendo aplicada, pois é capaz de capturar informações vagas e transformar para uma fácil utilização (MAMANN et al., 2020; TAVARES et al., 2020). Na agricultura, Silva et al. (2014), através do modelo neuro fuzzy estimaram a produtividade do trigo em função da adubação nitrogenada. Cardoso et al. (2018) utilizaram a lógica fuzzy, na qual se mostrou eficiente para estudar a propagação de incertezas da precipitação pluviométrica e do potencial erosivo das chuvas para o estado da Bahia. Veronez et al.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

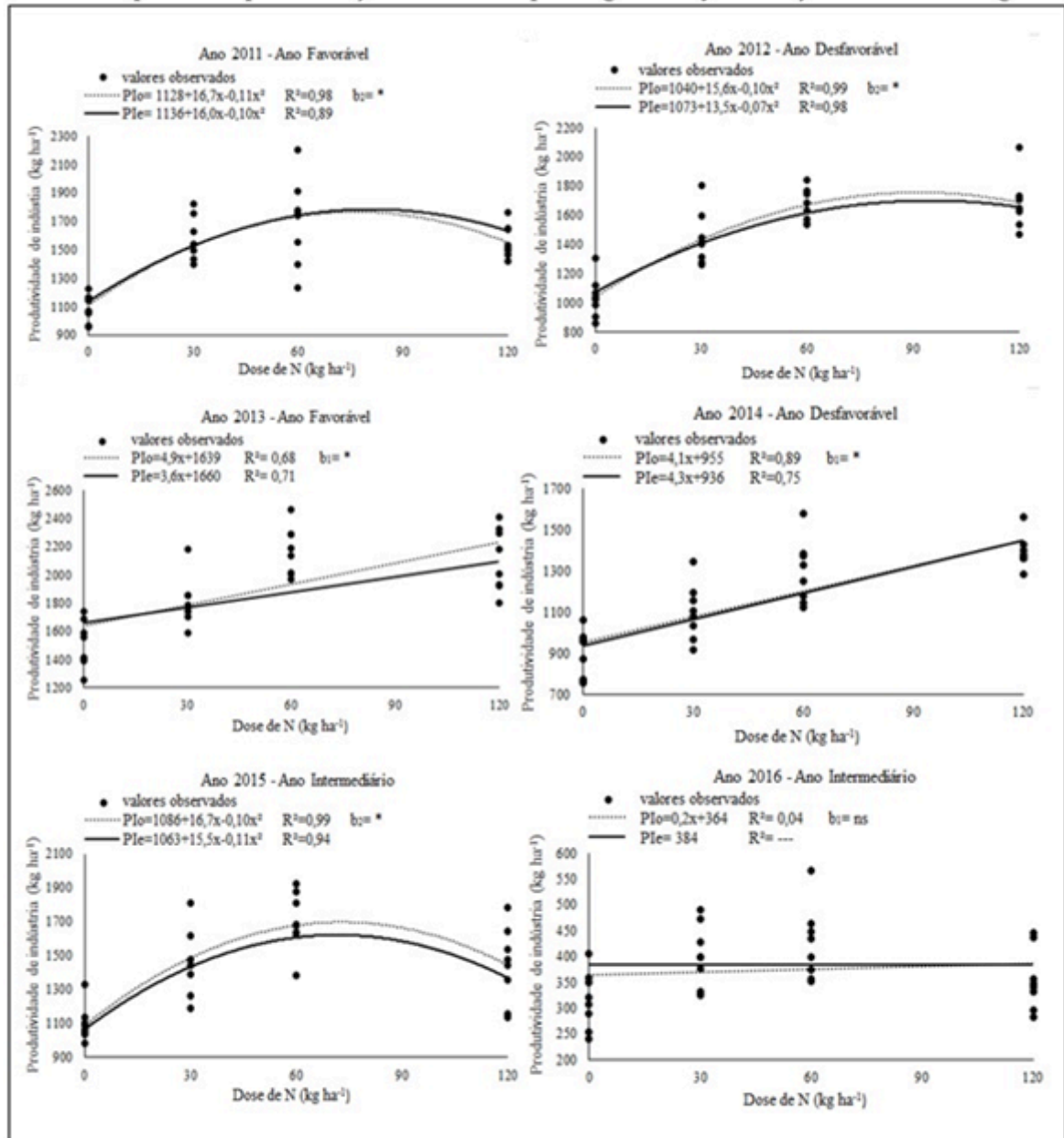
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

(2019) aplicaram a lógica fuzzy na classificação de frutas e legumes para o mercado consumidor.

Na Figura 1, a partir dos valores médios da produtividade industrial observada em campo e dos resultados da simulação por fuzzy estão apresentados os comportamentos e parâmetros das equações de regressão. Observa-se que as equações determinadas pelos pontos observados possuem comportamento semelhante às equações determinadas pelos pontos simulados. Também, os coeficientes das equações desenvolvidas pelos valores reais e simulados se mostram próximos. Estas condições indicam confiabilidade para o modelo fuzzy, validando a sua estrutura e base de regras desenvolvida à estimativa da produtividade industrial de grãos de aveia, uma variável de grande importância para a indústria de alimentos. Portanto, processos de inteligência artificial podem trazer elementos que descrevem possíveis comportamentos a partir das condições de safras agrícolas sobre a produtividade industrial referente à cariopse de grãos de aveia.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

Figura 1. Comportamento da produtividade industrial de grãos de aveia a partir de dados observados pela bioexperimentação e estimados pela lógica fuzzy em função do uso de nitrogênio.



PIo = equação da produtividade de indústria dos grãos a partir dos dados observados; PIE = equação da produtividade de indústria dos grãos a partir dos dados estimados pela lógica fuzzy; R² = coeficiente de determinação; b_n = probabilidade do parâmetro de inclinação; * = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; ns = não significativo.

A aplicação de modelos matemáticos tem auxiliado na simulação precisa das safras, permitindo aos agricultores um planejamento satisfatório de suas atividades (ARAUJO et al., 2017). Diversos trabalhos utilizaram a lógica fuzzy, Khatchatourian e Treter (2010) desenvolveram uma metodologia baseada na lógica fuzzy para avaliação e classificação de desempenho econômico-financeiro de

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

cooperativas agrícolas. Cavalcanti et al. (2013) utilizaram lógica fuzzy para avaliação da aceitação sensorial de pão de forma enriquecido com sementes de faveleira (*Cnidocolus quercifolius*), planta originária do Nordeste brasileiro de alta qualidade de ácidos graxos e ômega-6. Schiassi et al. (2015) simularam a produtividade de carne de frango com maior eficiência no consumo de ração a partir da lógica fuzzy. Maranduba et al. (2016) utilizaram lógica fuzzy para avaliar a viabilidade do ciclo de vida do biodiesel produzido no Brasil, considerando dois cenários de mistura. Semeraro et al. (2019) na análise da cultura do trigo utilizaram regressões em conjunto da lógica fuzzy para determinar o índice de vegetação por sensoriamento remoto. Neste estudo, concluíram que a lógica fuzzy pode apoiar o desenvolvimento de ferramentas para estimar o desempenho das culturas. Em trigo, Trautmann et al. (2020) utilizaram a lógica fuzzy na simulação da produtividade de grãos nas condições de uso do nitrogênio junto aos efeitos de temperatura do ar e precipitação pluviométrica. Os resultados apresentados pela lógica fuzzy foram satisfatórios quando comparados com os valores observados, mostrando a eficiência deste modelo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As regressões que indicam o comportamento dos dados observados pela bioexperimentação e o comportamento dos dados simulados via lógica fuzzy mostram eficiência no uso deste modelo.

O modelo fuzzy proposto possibilita simular com efetividade a produtividade industrial de grãos de aveia, pelas variáveis de entrada doses de nitrogênio, temperatura mínima e máxima, precipitação pluviométrica e categoria de ano agrícola.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, G. L., MANTOVANI, E. C., VIEIRA, G. H. S., COSTA, M. S. Modelos para a estimativa da produção de biomassa aplicados à cultura do milho. **Pensar Acadêmico**, v. 12, n. 1, p. 43-56, 2017.

BANERJEE, G., SARKAR, U., DAS S., GHOSH, I. Artificial intelligence in agriculture: A literature survey. **International Journal of Scientific Research in Computer Science Applications and Management Studies**. 7(3):1-5, 2018.

BREZOLIN, A. P., SILVA, J. A. G. da, FRANTZ, F. C. R., BINELO, M. O., VALDIERO, A. C., ZIMMER, C. M., MANTAI, R. D., MAROLLI, A., SCREMIN, O. B., MAZURKIEVICZ, G. The efficiency of wheat yields by nitrogen dose and fractionation. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.3440-3449, 2016.

CARDOSO, Y. S., LOPES, M. R., DE ASSIS SILVA, S., Alves, D. I., DE SOUZA LIMA, J. S. Distribuição e incerteza da precipitação pluviométrica e do potencial erosivo das chuvas para o Estado da Bahia, Brasil. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 2, p. 149-159, 2018.

CAVALCANTI, M. T., SILVA, F. L. H., CAVALCANTI, J. H. F., FLORENTINO, E. R., FLORÊNCIO, I. M., MOREIRA, R. T. Aplicação da lógica fuzzy na análise sensorial de pão de forma enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.208-215, 2013.

DIAS, B. F., SANTANA, G. S., PINTO, E. G., DE OLIVEIRA, C. F. D. Caracterização físico-química e análise microbiológica de cookie de farinha de aveia. **Journal of Neotropical**

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

Agriculture, 3(3), 10-14. 2016.

DORNELLES, E. F., KRAISIG, A. R., DA SILVA, J. A., SAWICKI, S., ROOS-FRANTZ, F., CARBONERA, R. Artificial intelligence in seeding density optimization and yield simulation for oat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 183-188, 2018.

KHATCHATOURIAN, O., TRETER, J. Aplicação da lógica fuzzy para avaliação econômico-financeira de cooperativas de produção. **JISTEM: Journal of Information Systems and Technology Management**, v.7, p.141-161, 2010.

KRYSCZUN, D. K., DA SILVA, J. A., MAROLLI, A., TRAUTMANN, A. P., LUCIO, A. D., CARBONERA, R. Growth regulator on oat yield indicators. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 12, p. 828-833, 2017.

MAMANN, A. T., DA SILVA, J. A., SCREMIN, O. B., TRAUTMANN, A. P., ARGENTA, C. V., MATTER, E. M. Diffuse system simulating wheat productivity by nitrogen and temperature in the use of biopolymers. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, n.5, p.289-297, 2020.

MANTAI, R. D., SILVA, J. A. G., ARENHARDT, E. G., HECK, T. G., SAUSEN, A. T. Z. R., KRÜGER, C. A. M. B., CARDOSO, A. M., GOI NETO, C. J, KRYSCZUN, D. K. The effect of nitrogen dose on the yield indicators of oats. **African Journal of Agricultural Research**, 10(39), 3773-3781. 2015.

MARANDUBA, H. L., RIBEIRO, E. L. F., VIEIRA, J., CRUZ, R. S., OLIVEIRA, F. B. S., ALMEIDA NETO, J. A. Uso da Lógica Fuzzy na avaliação da viabilidade do ciclo de vida do biodiesel. **LALCA Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, v.1, p.22-33, 2016.

MAROLLI, A., SILVA, J. A. G. da., SAWICKI, S., BINELO, M. O., SCREMIN, A. H., REGINATTO, D. C., DORNELLES, E. F, LAMBRECHT, D. M. A simulação da biomassa de aveia por elementos climáticos, nitrogênio e regulador de crescimento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 70(2), 535-544. 2018.

ROSA, H. T., WALTER, L. C., STRECK, N. A., CARLI, C. de, RIBAS, G. G., MARCHESAN, E. Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.1159-1165, 2015.

SANTOS, S. M. C. dos, ANTONANGELO, J. A., DEUS, A. C. F., FERNANDES, D. M. Perdas de Amônia por volatilização em resposta a adubação nitrogenada do feijoeiro. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 16-20, 2016.

SCHIASSI, L., JÚNIOR, T. Y., 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 de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.140-146, 2015.

SEMERARO, T., MASTROLEO, G., POMES, A., LUVISI, A., GISSI, E., Aretano, R. Modelling fuzzy combination of remote sensing vegetation index for durum wheat crop analysis. **Computers**

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 2 - Fome zero e agricultura sustentável

and Electronics in Agriculture, v.156, p.684–692, 2019.

SILVA, A. A., SILVA, I. A., TEIXEIRA FILHO, M., BUZETTI, S., TEIXEIRA, 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. da, ARENHARDT, E. G., KRÜGER, C. A. M. B., LUCCHESI, O. A., METZ, M., MAROLLI, A. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.19, p.27-33, 2015.

SILVA, L.E.C., DA COSTA ESTUMANO, K. Análise do Faturamento de uma Empresa Prestadora de Serviços de Telecomunicações Utilizando um Sistema de Lógica Fuzzy. **Produção em Foco**, v. 7, n. 1, 2017.

TAVARES, C. P., BILLA, C. Z., ADAMATTI, D. F. Uma extensão ao modelo de emoções e de personalidades baseado em sistemas multiagentes utilizando distribuição normal, lógica Fuzzy e matemática intervalar. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 12, n. 1, p. 54-70, 2020.

TRAUTMANN, A. P., DA SILVA, J.A., BINELO, M.O., VALDIERO, A.C., HENRICHSEN, L., BASSO, N.C. Simulation of wheat yield by nitrogen and nonlinearity of environmental conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 44-51, 2020.

VERONEZ, A. C. C. S., DOS SANTOS, A. F., SOUZA, C. C., DOS REIS NETO, J. F. Classificação de Frutas e Legumes Utilizando Lógica Fuzzy. **Revista de Ciências Gerenciais**, v. 23, n. 37, p. 52-56, 2019.

Parecer CEUA: 640.285