

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

LÓGICA FUZZY NA PREVISIBILIDADE DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE AVEIA NAS FORMAS DE FORNECIMENTO DO NITROGÊNIO¹ **FUZZY LOGIC IN THE FORECASTING OF OIL GRAIN PRODUCTIVITY IN THE FORMS OF NITROGEN SUPPLY**

Osmar Brunoslau Scremin², Anderson Marolli³, Rubia Diana Mantai⁴, Karla Kolling⁵, Douglas César Reginatto⁶, José Antonio Gonzalez Da Silva⁷

¹ Pesquisa Institucional Desenvolvida no Departamento de Estudos Agrários - DEAg/UNIJUI

² Aluno do curso de Doutorado em Modelagem Matemática da UNIJUI, bolsista CAPES, osmarscremin@hotmail.com

³ Aluno do curso de Doutorado em Modelagem Matemática da UNIJUI, marolia@yahoo.com.br

⁴ Aluna do curso de Doutorado em Modelagem Matemática da UNIJUI, rdmantai@yahoo.com.br

⁵ Aluna do curso de Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI, kolling.karla@gmail.com

⁶ Mestre em Modelagem Matemática da UNIJUI, reginattodouglas@gmail.com

⁷ Professor Doutor do Departamento de Estudos Agrários, Orientador, jagsfaem@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Os processos biológicos e os fenômenos da natureza representam dados que se comportam de maneira imprecisa, e seu entendimento via modelagem matemática exige técnicas acuradas que possibilitem sua explicação (SCHIASSI et al. 2015). Várias técnicas de modelagem matemática de dados não lineares, estão sendo exploradas para análise de dados incertos, dentre elas a modelação difusa (SILVA et al. 2014). A teoria fuzzy foi introduzida vez por Zadeh (1965), e ao longo dos anos vem sendo utilizada na agricultura por possibilitar o entendimento de dados imprecisos (MAHDAVIAN et al., 2012; LEAL et al., 2015).

Pela grande aceitação na indústria de alimentos, rotação de culturas e alimentação animal, aveia tornou-se uma importante alternativa nos sistemas de produção (ARENHARDT et al. 2017). Altas produtividades com qualidade de grãos de aveia o uso do nitrogênio é essencial (SILVA et al. 2016). No entanto, o nutriente é altamente dinâmico, facilmente perdidos por lixiviação e/ou volatilização (MAROLLI et al., 2017b)

O ajuste da época de aplicação do nitrogênio, seja na base ou em cobertura, aliado a condições adequadas de ambiente de cultivo pode refletir em expressivo aumento na produtividade, indicando a possibilidade de entender a complexidade das relações planta, solo e clima via lógica *fuzzy*, representando uma ferramenta inovadora de simulação na agricultura. O objetivo do estudo 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 à ação combinada de temperatura do ar, precipitação pluviométrica e soma térmica, em condições reais de cultivo.

METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em 2015, 2016 e 2017 no Instituto Regional de Desenvolvimento Rural-IRDeR/DEAg/UNIJUI, Augusto Pestana, RS. O experimento foi em blocos casualizados com

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

quatro repetições, em fatorial 3x4, sendo três adubações nitrogenadas de base (0, 30 e 60 kg ha⁻¹) e quatro épocas de aplicação de adubação nitrogenada em cobertura (0, 10, 30 e 60 Dias Após a Emergência) em resíduo cultural de soja, utilizando a cultivar Brisasul. A dose de adubação nitrogenada fornecida foi respeitando as indicações técnicas da cultura na expectativa de rendimento de grãos de 4000 kg ha⁻¹. As parcelas foram constituídas por cinco linhas espaçadas 0,20 m entre si e 5 m de comprimento.

Na programação da lógica *fuzzy* foi utilizado o *Toolbox fuzzy*, do *software Matlab*, implementada para as variáveis de entradas, nitrogênio época (NE) em cobertura (0, 10, 30 e 60 dias), precipitação (Prec) e temperatura média (T_{méd}). A variável de saída foi a Produtividade de Grãos (PG). O método de inferência utilizado foi o de *Mamdani*, sendo a base de regras construída com a ajuda de um especialista com resultados obtidos a campo, a partir da Mineração de Dados. Para cada condição de uso de nitrogênio na base (NB), foi construído um simulador *fuzzy*. Na definição das variáveis potenciais para compor o modelo de simulação por lógica *fuzzy*, foi utilizada a técnica de separação de variáveis via *Stepwise*, encontrada junto ao programa GENES.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentadas as informações meteorológicas que fazem parte das variáveis de entrada para o processo de *fuzzy*ificação.

Tabela 1. Valores mínimo, médio e máximo dos indicadores meteorológicos de 2015, 2016 e 2017, no fornecimento de nitrogênio na semeadura e cobertura.

N Época (Dias)	Valor	Precipitação (mm)	T _{méd} (°C)	T _{máx} (°C)	T _{min} (°C)	ST (°C dia ⁻¹)
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; T_{méd} – Temperatura média; T_{máx} – Temperatura máxima; T_{min} – Temperatura mínima; ST – Soma térmica.

Buscando selecionar variáveis meteorológicas e de fornecimento do nitrogênio como indicadores potenciais para entrada de dados na lógica *fuzzy* foi realizada a técnica de regressão parcial *StepWise* (não apresentado). Foram selecionadas as variáveis temperatura média, precipitação e nitrogênio época, para o processo de simulação por lógica *fuzzy*. A temperatura, luz e radiação solar são elementos que influenciam na produtividade, agindo como catalisador dos processos biológicos, alterando a normalidade das atividades fisiológicas (TONIN et al., 2014). Neste sentido, o método *StepWise* permite selecionar essas variáveis com maior capacidade explicativa, permitindo chegar a um modelo mais reduzido com eficiência na simulação

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

(TRAUTMANN et al., 2017).

Na Tabela 2, as variáveis quantitativas foram expressas em termos linguísticos, e seu correspondente valor quantitativo. Para o nitrogênio foram definidos, como baixo (B, 10 dias após a emergência), adequado (AD, 30 dias após a emergência) e muito alto (MA, 60 dias após a emergência). Na temperatura média, as variáveis linguísticas e seu correspondente valor quantitativo foram definidos como baixo (B, 13 °C), médio (M, 15 °C) e muito alto (MA, 17 °C). Referente à precipitação, 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 2. Base de regras *Fuzzy* para a simulação da produtividade de grãos de aveia.

N Época (dias)		T _{med} (°C)		Precipitação (mm)		Variáveis Linguísticas de Saída			
V _L	V _Q	V _L	V _Q	V _L	V _Q	PG _{NB0}	PG _{NB10}	PG _{NB30}	PG _{NB60}
B	10	B	13	B	10	AD	AD	AD	AD
B	10	B	13	AD	146	B	B	B	B
B	10	B	13	A	336	B	B	B	B
B	10	AD	15	B	10	B	B	B	B
B	10	AD	15	AD	146	B	B	B	B
B	10	AD	15	A	336	B	B	B	B
B	10	MA	17	B	10	B	B	B	B
B	10	MA	17	AD	146	M	M	M	M
B	10	MA	17	A	336	B	B	B	B
AD	30	B	13	B	10	B	B	B	B
AD	30	B	13	AD	146	MB	MB	MB	MB
AD	30	B	13	A	336	M	M	M	M
AD	30	AD	15	B	10	M	M	M	M
AD	30	AD	15	AD	146	AD	AD	AD	AD
AD	30	AD	15	A	336	B	B	B	B
AD	30	MA	17	B	10	B	B	B	B
AD	30	MA	17	AD	146	M	M	M	M
AD	30	MA	17	A	336	B	B	B	B
MA	60	B	13	B	10	B	B	B	B
MA	60	B	13	AD	146	M	M	M	M
MA	60	B	13	A	336	B	B	B	B
MA	60	AD	15	B	10	B	B	B	B
MA	60	AD	15	AD	146	M	M	M	M
MA	60	AD	15	A	336	M	M	M	M
MA	60	MA	17	B	10	B	B	B	B
MA	60	MA	17	AD	146	B	B	B	B
MA	60	MA	17	A	336	B	B	B	B

N – Nitrogênio; NB – Nitrogênio base; PG – Produtividade de grãos; T_{med} – Temperatura média; V_L – Variáveis linguísticas; V_Q – Variáveis quantitativas; B – Baixo; M – Médio; AD – Adequado; A – Alto; MA – Muito alto.

As classificações estabelecidas foram por ano de cultivo, permitindo mostrar as diferenças envolvidas pela precipitação pluviométrica e temperatura média entre os anos e qualificar a simulação da produtividade de grãos via lógica nebulosa nas diferentes doses de nitrogênio na semeadura e épocas de fornecimento em cobertura. Nas Tabelas 2 e 3, para as regras das variáveis linguísticas de saída à produtividade de grãos, foram estabelecidos quatro intervalos, que são baixa (B), média (M), adequada (AD) e muito bom (MB). Segundo Perissinotto et al., 2009, para expressar conceitos é muito comum o uso de elementos qualitativos ao invés de valores quantitativos. Assim, ao invés de assumir instâncias numéricas, uma variável linguística assume

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

instâncias linguísticas (SCHIASSI et al., 2015b).

Para a simulação da produtividade de grãos via *fuzzy* foram empregados os valores reais de mínimo e máximo do efeito cumulativo dos anos testados, independente de ano de cultivo (Tabela 3), para inferências do comportamento real e simulado. Verifica-se que a produtividade de grãos simulada está muito próxima dos valores referente às médias de cada condição de aplicação de nitrogênio na semeadura com a época de fornecimento em cobertura. A melhor época de aplicação do nitrogênio, segundo a simulação, está entre os 10 e 30 dias após a emergência não tendo diferença significativa na produtividade de grãos nas diferentes doses de nitrogênio 10, 30 e 60 kg ha⁻¹ aplicados na semeadura. 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 3. Lógica *Fuzzy* na análise conjunta simulação da produtividade de grãos de aveia sob doses de nitrogênio, temperatura e precipitação.

N Base (kg ha ⁻¹)	N Época (Dias)	PG (kg ha ⁻¹) \bar{x}	Simulação/Fuzzy PG (kg ha ⁻¹)	Erro absoluto (kg ha ⁻¹)
0	10	3149	3330	181
	30	3195	3330	135
	60	2355	2330	-25
Média N Base 0		2900	2997	97
10	10	2954	3140	186
	30	3062	3140	78
	60	2424	2280	-144
Média N Base 10		2813	2853	40
30	10	2800	3010	210
	30	2981	3010	29
	60	2531	2170	-361
Média N Base 30		2771	2730	-41
60	10	2603	2830	227
	30	2798	2830	32
	60	2491	1910	-581
Média N Base 60		2631	2523	-108

N – Nitrogênio; PG – Produtividade de grãos; \bar{x} – Média;

Os resultados obtidos da simulação representam pontos próximos à média, confirmando adequada base de regras estabelecida e a possibilidade de uso da lógica *fuzzy* na previsibilidade da produtividade de grãos de aveia no uso de nitrogênio em diferentes condições de aplicação do nutriente. A modelagem via lógica *fuzzy* propicia a inserção destes valores permitindo o entendimento e a explicação da interação entre as diferentes áreas e processos existentes (SCHIASSI et al., 2015a).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo proposto pela lógica *fuzzy* quando ajustado para a cultura de aveia, se mostrou efetivo em prever a produtividade de grãos independente da forma de adubação ou ano de cultivo. Apesar das condições adversas de variáveis não controláveis, como temperatura e precipitação pluviométrica, a simulação por lógica *fuzzy*, indicou a melhor época de aplicação de nitrogênio entre os 10 e 30 dias após a emergência sem adubação de base, para a maior produtividade de

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: VIII Seminário de Inovação e Tecnologia

grãos. Os modelos *fuzzy* permitem a manipulação e entendimento de dados, muitas vezes imprecisos e representam uma proposta inovadora à tomada de decisões quanto ao manejo do nitrogênio na lavoura de aveia.

Palavras-chave: *Avena Sativa*; Inovação; Adubação de Base; Adubação de Cobertura; Modelagem Matemática.

Keywords: *Avena Sativa*; Innovation; Base Fertilization; Coverage Fertilize; Mathematical Modelin.

REFERÊNCIAS

- ARENHARDT, E. G. et al. The Nitrogen In Grain Yield And At Lodging Oat Cultivars. International Journal of Current Research, v. 9, n. 1, p. 45564-45571, 2017.
- 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.
- MAHDAVIAN, A. et al. Modeling of Some Important Mechanical Properties of Barley Straw using Fuzzy Logic. International Journal of Agricultural and Food Science, v. 2, p. 21-29, 2012.
- MAROLLI, A. et al. Biomass and grain yield of oats by growth regulator. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 21, n. 33, p. 163-168, 2017.
- PERISSINOTTO, M. et al. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. Ciência Rural, v. 39, n. 5, p. 1492-1498, 2009.
- SCHIASSI, L. et al. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, n. February, p. 140-146, 2015a.
- SCHIASSI, L. et al. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 2, p. 140-146, fev. 2015b.
- SILVA, J. A. G. et al. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Nitrogen efficiency in oats on grain yield with stability A eficiência do nitrogênio em aveia na produtividade de grãos com estabilidade. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 20, n. 12, p. 1095-1100, 2016.
- SILVA, A. A. V et al. 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. 1-6, 2014.
- TONIN, R. F. B. et al. Potencial fisiológico de sementes de milho híbrido tratadas com inseticidas e armazenadas em duas condições de ambiente. Scientia Agropecuaria Sitio, v. 5, n. 1, p. 7-16, 2014.
- TRAUTMANN, A. P. B. et al. Simulation of wheat biomass yield by thermal time, rainfall and nitrogen. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 21, n. 11, 2017.
- ZADEH, L.A. 1965. Fuzzy sets. Inform. Cont. 8:338-353.