

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

LÓGICA FUZZY NA SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA DE AVEIA PELO USO DE NITROGÊNIO E HIDROGEL¹

Ari Higino Scremin², Rubia Diana Mantai³, Anderson Marolli⁴, Osmar Bruneslau Scremin⁵, Ana Paula Brezolin⁶, José Antonio Gonzales Da Silva⁷.

¹ Parte dos resultados de pesquisa desenvolvida pelo DEAg/UNIJUÍ

² 2 Mestrando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

³ Doutorando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁴ Doutorando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

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.

⁶ Doutorando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁷ Professor do Departamento de Estudos Agrários, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ

INTRODUÇÃO

A aveia é uma espécie com múltiplas possibilidades de utilização como para a produção de grãos, forragem, cobertura do solo e adubação verde (SILVA et al., 2015). No período frio do ano com a diminuição das pastagens, serve como disponibilidade de alimentos com elevados concentrados proteicos e energéticos mantendo a qualidade das carnes e a produtividade leite em bovinos (FERRAZZA et al., 2013). No entanto, por ser uma gramínea exige um manejo adequado do N-fertilizante, pois este pode ser lixiviado ou volatizado gerando contaminação ambiental e aumento nos custos de produção (MANTAI et al., 2015). Neste sentido, o uso de hidrorretentores de água, pode ser uma alternativa ao armazenando água, pois absorve a água em seu interior, inchando e liberando-a gradativamente (AZEVEDO, 2014).

Desta maneira, usar modelos que permitem a manipulação e entendimento destes dados, muitas vezes imprecisos, pode representar uma tecnologia inovadora à tomada de decisões quanto ao manejo e ao desempenho das culturas (STEFANOSKI et al., 2013). Neste contexto, 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 (CASTRO, 2005).

O objetivo é adequar o modelo de Lógica Fuzzy para simulação da produtividade de biomassa da aveia nas condições de uso de nitrogênio e hidrogel junto ação combinada da temperatura média do ar, considerando as condições reais de cultivo nos sistemas de cultivo soja/aveia e milho/aveia.

MATERIAL E MÉTODOS

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Os trabalhos foram desenvolvidos 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 5 x 5 nas fontes de variação doses de hidrogel nos níveis 0, 30, 60, 90 e 120 kg/ha (aplicados junto ao sulco na semeadura), e doses de N-fertilizante (fonte ureia) nos níveis 0, 30, 60, 90 e 120 kg/ha (aplicado em cobertura no estágio de quarta folha expandida), com o uso da cultivar de aveia branca URS-Corona, no sistema de cultivo soja/aveia e milho/aveia. No experimento visando quantificar a produtividade de biomassa da planta, a colheita do material vegetal foi realizada rente ao solo, a partir da coleta de um metro linear das três linhas centrais de cada parcela, no ciclo final de maturação. As amostras com a biomassa verde foram direcionadas à estufa de ar forçado na temperatura de 65 °C, até atingir peso constante. Após, foram pesadas em balança de precisão e com posterior estimativa da produtividade biológica total convertida em kg/ha. Os dados climáticos foram obtidos através da estação meteorológica do IRDeR (Instituto Regional de Desenvolvimento e Extensão Rural), próxima aos experimentos.

Para o desenvolvimento da programação da Lógica Fuzzy na previsibilidade da produtividade biológica, foi utilizado o Toolbox "fuzzy", do software Matlab. A programação foi implementada para as entradas: Nitrogênio e Temperatura Máxima, com o conectivo "e" para a avaliação das regras. A base de regras foi construída a partir dos dados reais da produtividade de biológica nas condições de uso de hidrogel e nitrogênio. O método de inferência utilizado nesta pesquisa é o método de Mamdani ou método MAX-MIN. Para a diferenciação dos anos de cultivo foi usada a variável temperatura máxima, e mostrou-se importante nas simulações devido à variação da mesma durante os anos de estudo. A cada condição de uso do hidrogel, foi construído um simulador fuzzy, num total de 10 simuladores. Para a variável de saída (Produtividade de biológica), o intervalo teve como limite inferior e superior a produtividade de biológica observada do efeito cumulativo dos anos. Na sequência, foi feita a validação dos simuladores fuzzy, para o efeito cumulativo dos anos, sendo que as saídas ficaram dentro do intervalo de confiança, a 5% de probabilidade de erro.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

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 biomassa.

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

Tabela 1. Base de regras Lógica Fuzzy para a simulação da produtividade biológica n sistema de sucessão soja/aveia.

N		Ano	T _{MÁX} (°C)		Regras/Variáveis Linguísticas de Saída				
V _L	V _Q		V _L	V _Q	PB _{H0}	PB _{H30}	PB _{H60}	PB _{H90}	PB _{H120}
MB	0	2015	B	21	M	M	M	M	B
		2014	A	25	MB	MB	MB	MB	MB
B	30	2015	B	21	A	A	M	M	M
		2014	A	25	B	B	M	M	M
M	60	2015	B	21	A	MA	MA	A	A
		2014	A	25	M	M	M	A	A
A	90	2015	B	21	MA	MA	MA	MA	MA
		2014	A	25	A	A	A	A	A
MA	120	2015	B	21	MA	MA	MA	MA	MA
		2014	A	25	A	MA	A	MA	MA
Valor real		Mínimo			4517	5601	6017	6782	7348
(2014+2015)		Máximo			15289	14984	13361	14167	14835

N= nitrogênio (kg/ha); T_{MÁX}= temperatura média máxima; VL= variáveis linguísticas; VQ= variáveis quantitativas; PB= produtividade de biomassa; MB= muito baixa; B= baixa; M= média; A= alta; MA= muito alta; H= hidrogel (kg/ha).

Nas Tabelas 1 e 3, no uso do 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 baixo (MB, 0 kg/ha), baixo (B, 30 kg/ha), médio (M, 60 kg/ha), alto (A, 90 kg/ha) e muito alto (MA, 120 kg/ha). Para a temperatura máxima (T_{MÁX}), as variáveis linguísticas e seu correspondente valor quantitativo foram definidos como baixo (B, 21°C) e alto (A, 25 °C). Para as regras das variáveis linguísticas de saída da produtividade biológica, cinco intervalos foram definidos, em muito baixa (MB), baixa(B), média (M), alta (A) e muito alta (MA). Destaca-se que para a simulação da produtividade biológica via fuzzy, 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 nas doses de hidrogel. Para se atribuir um significado aos termos linguísticos, associa-se cada um destes a um conjunto fuzzy definido sobre um universo de discurso comum (SANTOS & NÄÄS, 2006).

Destaca-se que as classificações estabelecidas foram por ano de cultivo, como mostra a Figura 1, permitindo mostrar as diferenças envolvidas pela temperatura máxima entre os anos e qualificar a simulação da produtividade biológica via lógica nebulosa nas doses de nitrogênio e hidrogel.

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

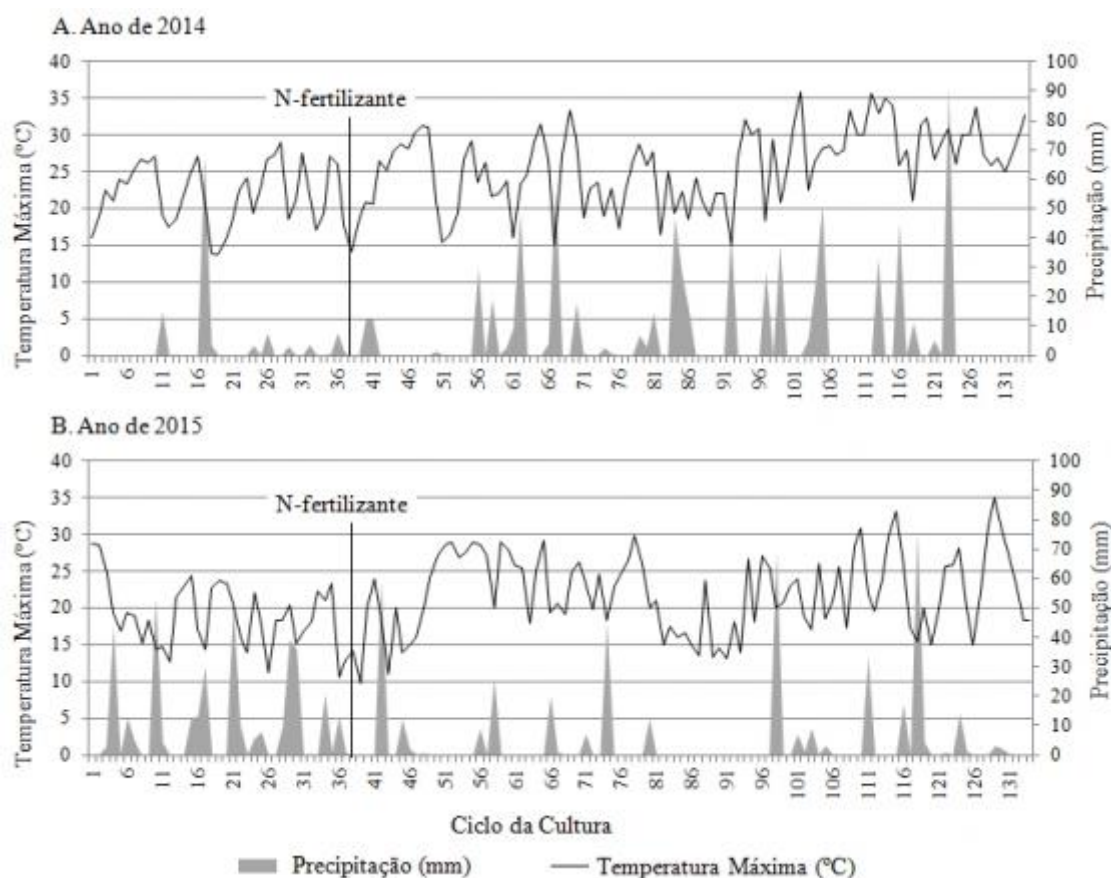


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura máxima no ciclo da aveia.

Na Tabela 2, está apresentada a média e os limites inferior e superior do intervalo de confiança dos valores reais e simulados pela Lógica Fuzzy. Na análise da produtividade biológica, de modo geral, o incremento de N-fertilizante promoveu maior expressão desta variável indicando uma tendência de linearidade.

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

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

H (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	PB (kg ha ⁻¹)			Fuzzy
		L _i	$\bar{x}$	L _s	PB (kg ha ⁻¹)
Análise conjunta (2014 + 2015)					
0	0	5067	7481 e	9553	8430
	30	8847	10414 d	11758	9910
	60	10854	11531 c	12113	11300
	90	11457	12466 b	13332	12900
	120	11920	13404 a	14671	12900
Média H ₀		9626	11059	12285	11088
30	0	6120	8616 e	10757	9000
	30	8976	10613 d	12017	10300
	60	10101	11789 b	13237	11500
	90	12164	12974 a	13669	12900
	120	13589	14159 a	14648	14000
Média H ₃₀		10190	11630	12648	11540
60	0	6344	7908 d	9249	8680
	30	9261	9676 c	10031	9690
	60	10514	11784 b	12873	10700
	90	11400	12194 a	12875	11800
	120	11680	12604 a	13053	11800
Média H ₆₀		9839	10883	11616	10534
90	0	7156	8271 e	9500	9460
	30	9588	10112 d	10561	10500
	60	11272	11852 c	12350	12300
	90	12100	12669 b	13157	12600
	120	12872	13485 a	14012	13500
Média H ₉₀		10597	11277	11916	11672
120	0	7721	8367 e	8990	8980
	30	9791	10204 d	11300	11100
	60	11660	11902 c	13100	13000
	90	12359	12830 b	13234	13200
	120	12757	13759 a	14617	14100
Média H ₁₂₀		10857	11412	12248	12076

H= hidrogel; N= nitrogênio; Li e Ls= limite inferior e superior do intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro; $\bar{x}$ = média; PB= produtividade de biomassa; Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada condição de uso do hidrogel constituem grupo estatisticamente homogêneo pelo modelo Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Na análise das médias pelo uso do hidrogel, independente da dose do N-fertilizante, pode-se destacar que a dose de 120 kg/ha de hidrogel mostrou uma maior produtividade de biomassa, porém comparando com as demais doses a variabilidade não foi expressiva (Tabela 2).

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

Tabela 3. Lógica Fuzzy na simulação da produtividade biológica da aveia por nitrogênio e temperatura no uso do hidrogel, no sistema milho/aveia.

N		Ano	T _{MÁX} (°C)		Regras/Variáveis Linguísticas de Saída				
V _L	V _Q		V _L	V _Q	PB _{H0}	PB _{H30}	PB _{H60}	PB _{H90}	PB _{H120}
MB	0	2015	B	21	B	B	M	M	B
		2014	A	25	MB	MB	B	MB	MB
B	30	2015	B	21	A	A	A	M	M
		2014	A	25	M	B	MB	B	B
M	60	2015	B	21	A	A	A	A	A
		2014	A	25	A	M	M	M	M
A	90	2015	B	21	MA	A	MA	A	A
		2014	A	25	A	A	A	A	A
MA	120	2015	B	21	MA	MA	MA	MA	MA
		2014	A	25	MA	A	MA	MA	MA
Valor real			Mínimo		4231	4122	5601	4659	4066
(2014+2015)			Máximo		12534	12132	12982	13167	13572

H= hidrogel; N= nitrogênio; Li e Ls= limite inferior e superior do intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro; X₇₇₃= média; PB= produtividade de biomassa; Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada condição de uso do hidrogel constituem grupo estatisticamente homogêneo pelo modelo Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Na simulação da produtividade biológica pela Lógica Fuzzy foi observado que os resultados obtidos foram próximos da média observada, independente das condições de uso de nitrogênio e hidrogel. Contudo, os resultados da simulação via Lógica Fuzzy, também sugerem um comportamento linear sobre a produtividade biológica, como ocorrida nos valores reais testados no sistema soja/aveia. Uma proposta importante e que pode trazer grandes subsídios à agricultura está no emprego de interpretação de dados linguísticos com o uso de programas computacionais (REZENDE et al., 2015).

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

Tabela 4- Lógica Fuzzy na simulação da produtividade da aveia por nitrogênio e temperatura no uso do hidrogel, no sistema milho/aveia.

H (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	PB (kg ha ⁻¹)			Fuzzy
		L _i	$\bar{x}$	L _s	PB (kg ha ⁻¹)
Análise conjunta (2014 + 2015)					
0	0	4469	5993 e	7299	6040
	30	8393	9003 d	9527	9420
	60	10080	10455 c	10770	10500
	90	10408	10927 b	11372	10700
	120	10982	11645 a	12215	11700
Média H ₀		8866	11645	12215	9672
30	0	4275	6416 e	8253	5870
	30	7726	9106 d	10289	8130
	60	8954	9777 c	10482	9130
	90	9609	10488 b	11241	10100
	120	10378	11189 a	11885	11300
Média H ₃₀		8188	9395	10430	8906
60	0	6065	7991 e	9643	8280
	30	6598	8218 d	9606	9500
	60	9320	9826 c	10261	10200
	90	10349	11010 b	11577	11300
	120	11599	12300 a	12902	12200
Média H ₆₀		8786	9869	10797	10296
90	0	4912	6736 e	8300	6510
	30	6975	8259 d	9360	7850
	60	9124	9644 c	10091	9980
	90	10352	10937 d	11440	11100
	120	11798	12308 a	12745	12400
Média H ₉₀		8632	9576	10387	9568
120	0	4471	6188 e	7661	6140
	30	6199	7691 d	8971	7630
	60	8949	9521 c	10011	10000
	90	10477	11014 b	11475	11200
	120	12074	12591 a	13035	12600
Média H ₁₂₀		8434	9401	10230	9514

H= hidrogel; N= nitrogênio; Li e Ls= limite inferior e superior do intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro; $\bar{x}$ = média; PB= produtividade de biomassa; Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada condição de uso do hidrogel constituem grupo estatisticamente homogêneo pelo modelo Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Na Tabela 4 fazendo a análise das médias de uso do hidrogel independente da dose do N-fertilizante, pode-se destacar que a dose de 60 kg/ha de hidrogel mostrou uma maior produtividade de biomassa, porém comparando com as demais doses a variabilidade não foi expressiva. Os resultados observados indicam que independente das doses de hidrogel, o incremento de N-

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

fertilizante promoveu uma tendência linear. Destaca-se que a simulação pela Lógica Fuzzy também evidenciaram tendência de estabilidade à produtividade biológica, conforme os valores observados. Os resultados obtidos da simulação representam pontos dentro do intervalo de confiança da média, confirmando a adequada base de regras estabelecida e a possibilidade de uso da lógica nebulosa na previsibilidade da produtividade biológica e de grãos de aveia no uso de nitrogênio e hidrogel. Em trigo, Aldo et al. (2014), fez uso da neuro fuzzy na estimativa da produtividade de grãos em função da adubação nitrogenada, mostrando valores muitos próximos aos simulados por regressão.

CONCLUSÃO

No sistema soja/aveia, a dose mais elevada de hidrogel mostrou maior eficiência no aproveitamento do nitrogênio para a elaboração da produtividade de biomassa de aveia, porém, no sistema milho/aveia a dose mais eficiente foi a 60 kg/ha de hidrogel. Independente do sistema de sucessão as simulações via Lógica Fuzzy mostraram-se adequadas e com alta confiabilidade quanto à estimativa da produtividade de biomassa nas condições reais de cultivo pelas doses de hidrogel e nitrogênio.

PALAVRAS-CHAVE: Avena Sativa, novas tecnologias, temperatura, relação C/N.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, FAPERGS e à UNIJUÍ pelo aporte dos recursos destinados ao desenvolvimento deste estudo e pelas bolsas de Iniciação Científica e de Apoio Técnico, de Pós-graduação e de Produtividade em Pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALDO A. V. DA SILVA et al.. Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neuro fuzzy. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. V.18, n.2, p.180–187, 2014.
- AZEVEDO, GLAUCE TAÍS DE OLIVEIRA SOUSA. Produção de mudas clonais de Eucalyptus spp. com polímero hidroretentor incorporado ao substrato. 2014. xiv, 60 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- CASTRO, Evaristo Mauro de et al. Aspectos anatômicos e fisiológicos de plantas de guaco submetidas a diferentes fotoperíodos. Horticultura Brasileira, v. 23, n. 3, p. 846-850, 2005.
- FERRAZZA, Jussara Maria et al. Production of annual winter forages at different sowing times. Revista Ciência Agronômica, v. 44, n. 2, p. 379-389, 2013.
- REZENDE, Oscar Luiz Teixeira; LORENZONI, Luciano Lessa; KULITZ, Hans Rolf. Uso do sistema lógico fuzzy no controle da potência aplicada ao motor do sistema de ventilação de um gaseificador/combustor para produção de calor. Revista Ifes Ciência-ISSN 2359-4799, v. 1, n. 1, 2015.
- SANTOS, R.C.; NÄÄS, I.A. Utilização da lógica fuzzy para a simulação do estro de bovino leiteiro exposto a diferentes valores de temperatura e UR. In: Simpósio de construções rurais e ambientes protegidos, 2006, Campinas, SP. Anais. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2006. 1 CD.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

SILVA, José A. G. da et al. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, v.19, n.1, p.27–33, 2015.

STEFANOSKI, Diane C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.