

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

BRUNO CÉSAR GÓES

**MODELAGEM FUZZY DA PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DA SOJA NO PLANTIO
DIRETO UTILIZANDO DOSES DE MOLIBDÊNIO VIA FOLIAR E NITROGÊNIO**

TUPÃ-SP

2020

BRUNO CÉSAR GÓES

**MODELAGEM FUZZY DA PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DA SOJA NO PLANTIO
DIRETO UTILIZANDO DOSES DE MOLIBDÊNIO VIA FOLIAR E NITROGÊNIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Tupã, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Agronegócio e Desenvolvimento.

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento

Linha de pesquisa: Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Coorientadores: Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel

**TUPÃ-SP
2020**

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Biblioteca e Documentação da FCE – Unesp, Câmpus Tupã:

G598m Góes, Bruno César
Modelagem Fuzzy da produção e nutrição da soja no plantio
direto utilizando doses de molibdênio via foliar e nitrogênio /
Bruno César Góes. – Tupã: [s.n.], 2020.
164 f. : il.

Tese (Doutorado em Agronegócio e Desenvolvimento) –
Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de
Ciências e Engenharia, 2020.

Orientador: Luís Roberto Almeida Gabriel Filho
Coorientador: Renato Jaqueto Goes
Coorientador: Camila Pires Cremasco Gabriel

1. Modelagem Matemática. 2. Milheto. 3. Sorgo. 4.
Coberturas Vegetais. I. Título. II. Autor.

Fonte: Eliana Kátia Pupim, bibliotecária CRB 8 – 6202.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: **MODELAGEM FUZZY DA PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DA SOJA NO PLANTIO DIRETO UTILIZANDO DOSES DE MOLIBDÊNIO FOLIAR E NITROGÊNIO**

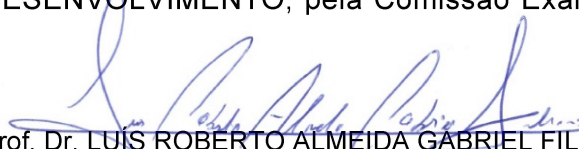
AUTOR: BRUNO CÉSAR GÓES

ORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

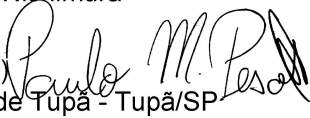
COORIENTADOR: RENATO JAQUETO GOES

COORIENTADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONEGÓCIO E DESENVOLVIMENTO, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP


Prof. Dr. LUÍS HILARIO TOBLER GARCIA (Participação Virtual)
Big Data no Agronegócio / Faculdade de Tecnologia Shunji Nishimura


Prof. Dr. PAULO MURINELLI PESOTI (Participação Virtual)
Instituto Federal de São Paulo - IFSP - Câmpus Avançado de Tupã - Tupã/SP


Profa. Dra. CAROLINA DOS SANTOS BATISTA BONINI (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP


Prof. Dr. MARIO MOLLO NETO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

Tupã, 29 de outubro de 2020

Dedico,

À minha família, pais e irmãos, por todo incentivo dado durante esta longa caminhada para realização desse sonho, e ao meu filho e esposa, por estarem ao meu lado durante todo tempo.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço à DEUS pela realização de uma etapa tão grandiosa e vitoriosa em minha vida, completada com muita perseverança durante este longo caminho, que começou a ser trilhado no ano de 2013.

Agradeço à minha família, meus pais Antônio e Roseli, pela educação e ensinamento de vida, na busca pelos meus sonhos e conquistas, fruto de trabalho e dedicação. Aos meus irmãos, Juninho e Caio, pelo apoio, carinho e parceria demonstrada ao longo da vida, e durante esta etapa de finalização e concretização de um sonho, para com os quais, tenho minha eterna gratidão e amor.

Ao meu filho Bruninho, o ser mais precioso, que tenho como fonte de motivação e superação em busca de meus objetivos pessoais e profissionais, te amo. A minha esposa Élide, que presenciou ao meu lado todas as dificuldades encontradas ao longo desse caminho, me ajudando a superar cada etapa.

Aos meus amigos, o orientador Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho e Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti, pessoas, as quais não me cabem palavras da tamanha gratidão e responsabilidade atribuída a vocês por essa realização, e que sempre os levarei como exemplos de professores e de pessoas ao longo da vida, profissional e pessoal.

A Profa. Dra. Camila Pires Cremasco e Prof. Dr. Renato Jaqueto Góes pelo apoio e orientação ao longo dessa jornada acadêmica, acompanhando desde tempo de graduação e mestrado.

Aos amigos, Willian Zanetti e Jhonatan Piazzentin, que compartilham da mesma vida acadêmica, agradeço pelos auxílios requeridos durante este tempo.

A Faculdade de Ciências e Engenharia – UNESP e Programa de Pós-graduação em Agronegócio e Desenvolvimento – PGAD, por todas as oportunidades que me foram dadas, para construção da vida acadêmica, iniciada em 2011 na graduação até a conclusão do doutorado em 2020, e acolhimento por todo o processo envolvido durante o período de transferência, e que sem essas oportunidades, não seria possível a concretização dessa etapa, MUITO OBRIGADO!

Aos funcionários e docentes da Faculdade de Ciências e Engenharia – UNESP Campus de Tupã, pelo convívio diário e por toda a presteza e solicitude no atendimento quando se fez necessário durante esses anos.

RESUMO

A soja é considerada uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, sendo na sua maioria utilizada para a fabricação de ração, muito embora, haja um crescimento de seu uso na alimentação humana, como para a produção de biocombustíveis. Devido à grande extensão da área destinada à produção da soja, seu plantio ocorre sob uma grande diversidade de solos e climas, característicos do Brasil, proporcionando diferentes condições edafoclimáticas, interferindo diretamente na produtividade da cultura da soja. Desse modo, é de interesse a utilização da manutenção da palhada de coberturas vegetais proporcionando o aumento do teor nutricional do solo além de reduzir a perda de água pelo processo de evaporação, melhorando o armazenamento de água e nutrientes no solo. O Sistema Plantio Direto (SPD) é uma tecnologia que tem por característica a ocupação permanente do terreno agrícola por meio de culturas vegetais, no qual é feito o plantio sobre a palhada da cobertura vegetal da cultura antecessora. Nesse sentido, o milho, assim como o sorgo é uma cultura muito utilizada como cobertura vegetal por ter como características, o rápido desenvolvimento mesmo sob condições de déficit hídrico, além de possuir o sistema radicular profundo possibilitando na alta capacidade de extração de nutrientes e do volume de produção de palhada. Nesse sentido, é usual a realização de experimentos agronômicos, no qual busca-se aferir estatisticamente o comportamento de culturas vegetais em relação à causas e efeitos visando a otimização dos recursos em experimentação. A técnica da lógica *fuzzy*, baseia-se na habilidade de modular e expressar o raciocínio humano de maneira simplificada e compreensível, em áreas, nas quais são tratadas informações imprecisas, assim como ocorrem nos experimentos agronômicos. Sendo assim, com base no experimento realizado, em que consistiu na utilização da cultura da soja sob diferentes doses de molibdênio com aplicação via foliar e cultivada sob a cobertura vegetal de milho e sorgo sob diferentes doses de nitrogênio em SPD, buscou-se realizar a modelagem *fuzzy* dos efeitos em relação às variáveis biométricas, nutricionais e de produtividade dos grãos de soja. Dessa maneira, foram considerados satisfatórios a realização da modelagem matemática *fuzzy* para expressar o comportamento das variáveis de produtividade, biométricas e nutricionais sob diferentes dosagens de nitrogênio aplicada em cobertura vegetal de milho e sorgo diferentes níveis de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja em sucessão. E, portanto, as superfícies tridimensionais permitem analisar o comportamento simultaneamente das variáveis analisadas em função da variação dos fatores condicionantes, nitrogênio e molibdênio.

Palavras-chave: Lógica *Fuzzy*, Cobertura Vegetal, Modelagem Matemática.

ABSTRACT

Soybean is one of the main crops of Brazilian agribusiness, being mostly used for the manufacture for animal feeding, although there is a growth of its use in human food, as well as for the production of biofuels. Due to the large extension of the area destined to soy production, this causes its planting to occur under a great diversity of soils and climates, characteristic of Brazil, providing different edaphoclimatic conditions, directly interfering with soybean crop productivity. Thus, it is of interest to use the mulching of mulches, increasing the nutritional content of the soil and reducing water loss through the evaporation process, improving the storage of water and nutrients in the soil. No-Tillage System (NTS) is a technology which has the permanent occupation of the agricultural land by means of plant crops, which is planted on the mulch of the predecessor crop. In this sense, millet, as well as sorghum is a crop widely used as vegetation cover because of its characteristics, the rapid development even under water deficit conditions, besides having a deep root system allowing in the high capacity of extraction of nutrients and straw production volume. In this sense, it is usual to carry out agronomic experiments, which seeks to statistically assess the behavior of plant crops in relation to causes and effects in order to optimize the resources under experimentation. The technique of *fuzzy* logic is based on the ability to modulate and express human reasoning in a simplified and understandable manner, in areas where inaccurate information is treated, as occurs in agronomic experiments. Thus, based on the experiment, which consisted of the use of soybean under different doses of molybdenum with application via foliar and grown under the cover of millet and sorghum under different doses of nitrogen in NTS, the aim was to perform the modeling effects in relation to biometric, nutritional and yield variables of soybeans. Thus, *fuzzy* mathematical modeling was considered satisfactory to express the behavior of productivity, biometric and nutritional variables under different dosages of nitrogen applied in millet and sorghum cover, different levels of foliar molybdenum applied to soybean crop in succession. Therefore, the three-dimensional surfaces allow to analyze the behavior of the analyzed variables simultaneously as a function of the variation of the conditioning factors, nitrogen and molybdenum.

Keywords: *Fuzzy* Logic, Vegetation Coverage, Mathematical Modeling.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Definição das funções de pertinência triangulares da variável de entrada.....	33
Tabela 2 – Definição da função de pertinência da variável de entrada nitrogênio.....	34
Tabela 3 - Definição da função de pertinência da variável de entrada molibdênio.....	34
Tabela 4 - Características dos delimitadores da j -ésima variável de saída do SBRF, $1 \leq j \leq 18, j \in \mathbb{N}$, com funções de pertinência triangular.....	36
Tabela 5 - Base de regras do sistema fuzzy relativa à j -ésima variável de saída do SBRF, $1 \leq j \leq 18, j \in \mathbb{N}$	37
Tabela 6 – Passos de Amalgamação das variáveis de saída da cultura da soja para a cobertura vegetal de milho.....	41
Tabela 7 – Correlação de Pearson entre as variáveis de saída analisadas para a cultura da soja com cobertura vegetal de milho para nível de significância de 5% (Ano 2013/14).	42
Tabela 8 – Correlação de Pearson entre as variáveis de saída analisadas para a cultura da soja com cobertura vegetal de milho para nível de significância de 5% (Ano 2014/15).	43
Tabela 9 - Média das variáveis analisadas, produtividade, variáveis biométricas e teores foliares da cultura da soja semeada em palhada de milho durante o Ano 1.	45
Tabela 10 - Média das variáveis analisadas, produtividade, variáveis biométricas e teores foliares da cultura da soja semeada em palhada de milho durante o Ano 2.	46
Tabela 11 - Teste F das variáveis de produtividade, biométricas e nutricionais da cultura da soja semeada em palhada de milho sob SPD.....	47
Tabela 12 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída dos teores de N, P, K, Ca e Mg do Ano 1 para cobertura vegetal de milho.....	50
Tabela 13 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída dos teores de S, Mo, Cu, Zn e Mn do Ano 1 para cobertura vegetal de milho.....	51
Tabela 14 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída dos teores de N, P, K, Ca e Mg do Ano 2 para cobertura vegetal de milho.....	54
Tabela 15 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída dos teores de S, Mo, Cu, Zn e Mn do Ano 2 para cobertura vegetal de milho.....	54
Tabela 16 - Intervalo do conjunto fuzzy de saída dos teores foliares de nutrientes para a cobertura vegetal de milho.	55
Tabela 17 - Base de regras do sistema fuzzy dos teores foliares de nutrientes do ano safra 2013/14, para a cultura da soja semeada sob a palhada de milho, cultivada em SPD.....	56
Tabela 18 - Base de regras do sistema fuzzy dos teores foliares de nutrientes do ano safra 2014/15, para a cultura da soja semeada sob a palhada de milho, cultivada em SPD.....	57
Tabela 19 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de milho.....	71

Tabela 20 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de milho.....	71
Tabela 21 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade avaliadas no Ano 2 para cobertura vegetal de milho.....	74
Tabela 22 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas no Ano 2 para cobertura vegetal de milho.	74
Tabela 23 - Intervalo dos conjuntos fuzzy de saída das variáveis biométricas para cobertura vegetal de milho.....	75
Tabela 24 - Base de regras do sistema fuzzy das variáveis biométricas e de produtividade do ano safra 2013/14, para a cultura da soja semeada sob a palhada de milho, cultivada em SPD.	76
Tabela 25 - Base de regras do sistema fuzzy das variáveis biométricas e de produtividade do ano safra 2014/15, para a cultura da soja semeada sob a palhada de milho, cultivada em SPD.	77
Tabela 26 - Dados climáticos de temperatura e precipitação das safras 2013/14 e 2014/15, da cidade de Selvíria-MS (FEPE).	92
Tabela 27 – Definição da função de pertinência da variável de entrada nitrogênio.	97
Tabela 28 – Definição da função de pertinência da variável de entrada molibdênio.	97
Tabela 29 - Características dos delimitadores das variáveis de saída do SBRF, com funções de pertinência triangular.	99
Tabela 30 - Base de regras do sistema fuzzy relativa à j -ésima variável de saída do SBRF, $1 \leq j \leq 18, j \in \mathbb{N}$	100
Tabela 31 – Passos de Amalgamação das variáveis de saída da cultura da soja para a cobertura vegetal de sorgo.	104
Tabela 32 – Correlação de Pearson entre as variáveis de saída analisadas para a cultura da soja com cobertura vegetal de sorgo para nível de significância de 5% (Ano 2013/14).	105
Tabela 33 – Correlação de Pearson entre as variáveis de saída analisadas para a cultura da soja com cobertura vegetal de sorgo para nível de significância de 5% (Ano 2014/15).	106
Tabela 34 - Média das variáveis analisadas, produtividade, variáveis biométricas e teores foliares da cultura da soja semeada em palhada de sorgo durante o Ano 1.	108
Tabela 35 - Média das variáveis analisadas, produtividade, variáveis biométricas e teores foliares da cultura da soja semeada em palhada de sorgo durante o Ano 2.	109
Tabela 36 - Teste F das variáveis de produtividade, biométricas e nutricionais da cultura da soja semeada em palhada de sorgo sob SPD.....	110
Tabela 37 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída dos teores de N, P, K, Ca e Mg do Ano 1 para a cobertura vegetal de sorgo.	114

Tabela 38 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída dos teores de S, Mo, Cu, Zn e Mn do Ano 1 para a cobertura vegetal de sorgo.	114
Tabela 39 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída dos teores de N, P, K, Ca e Mg do Ano 2 para a cobertura vegetal de sorgo.	117
Tabela 40 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída dos teores de S, Mo, Cu, Zn e Mn do Ano 2 para a cobertura vegetal de sorgo.	118
Tabela 41 - Intervalo do conjunto fuzzy de saída dos teores foliares de nutrientes para a cobertura vegetal de sorgo.....	118
Tabela 42 - Base de regras do sistema fuzzy dos teores foliares de nutrientes do Ano 1, para a cultura da soja semeada sob a palhada de sorgo, cultivada em SPD.....	120
Tabela 43 - Base de regras do sistema fuzzy dos teores foliares de nutrientes do Ano 2, para a cultura da soja semeada sob a palhada de sorgo, cultivada em SPD.....	121
Tabela 44 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de sorgo.	133
Tabela 45 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de sorgo.....	133
Tabela 46 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade avaliadas durante o Ano 2 para a cobertura vegetal de sorgo.	136
Tabela 47 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto fuzzy de saída das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas durante o Ano 2 para a cobertura vegetal de sorgo.....	136
Tabela 48 - Intervalo dos conjuntos fuzzy de saída das variáveis biométricas para cobertura vegetal de sorgo.	137
Tabela 49 - Base de regras do sistema fuzzy das variáveis biométricas e de produtividade do ano safra 2013/14, para a cultura da soja semeada sob a palhada de sorgo, cultivada em SPD.	138
Tabela 50 - Base de regras do sistema fuzzy das variáveis biométricas e de produtividade do ano safra 2014/15, para a cultura da soja semeada sob a palhada de sorgo, cultivada em SPD.	139
Tabela 51 - Coeficiente de Correlação de Spearman da cultura da soja cultivada em coberturas vegetais de milho e sorgo.	148

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Valores das variáveis climáticas de temperatura e pluviosidade em Selvíria-MS, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) no ano agrícola 2013/14.	27
Figura 2 – Valores das variáveis climáticas de temperatura e pluviosidade em Selvíria-MS, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) no ano agrícola 2014/15.	28
Figura 3 – Exemplificação da função de pertinência do tipo triangular.	31
Figura 4 - SBRF de avaliação da soja com duas variáveis de entrada (doses de N e doses de Mo), 18 variáveis de saída (variáveis biométricas, nutricionais e produtividade) na cobertura vegetal de milho no ano safra 2013/14.....	32
Figura 5 - SBRF de avaliação da soja com duas variáveis de entrada (doses de N e doses de Mo), 18 variáveis de saída (variáveis biométricas, nutricionais e produtividade) na cobertura vegetal de milho no ano safra 2014/15.....	32
Figura 6 – Função de pertinência da variável de entrada nitrogênio.	34
Figura 7 – Função de pertinência da variável de entrada molibdênio.	35
Figura 8 – Demonstração de dendrograma.	38
Figura 9 – Dendrograma das variáveis de saída da cultura da soja, do ano agrícola 2013/14 para a cobertura vegetal de milho.	39
Figura 10 – Dendrograma das variáveis de saída da cultura da soja, do ano agrícola 2014/15 para a cobertura vegetal de milho.	40
Figura 11 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de N, P, K, Ca e Mg avaliados durante o Ano 1 para cobertura vegetal de milho.....	48
Figura 12 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn avaliados durante o Ano 1 para cobertura vegetal de milho.	49
Figura 13 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de N, P, K, Ca e Mg avaliados durante o Ano 2 para cobertura vegetal de milho.....	51
Figura 14 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn avaliados durante o Ano 2 para cobertura vegetal de milho.	53
Figura 15 - Superfície tridimensional dos teores foliares de N, P, K, Ca e Mg da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de milho.	58
Figura 16 - Mapa de contorno do teor foliar de N da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de milho.	60
Figura 17 - Mapa de contorno do teor foliar de P da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de milho.	61
Figura 18 - Mapa de contorno do teor foliar de K da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de milho.	62
Figura 19 - Mapa de contorno dos teores foliares de Ca e Mg da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de milho.	63

Figura 20 - Superfície tridimensional dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.....	64
Figura 21 - Mapa de contorno do teor foliar de S da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.....	65
Figura 22 - Mapa de contorno do teor foliar de Mo da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.....	66
Figura 23 - Mapa de contorno dos teores foliares de Cu, Zn e Mn da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.	67
Figura 24 - Função de pertinência das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de milho.....	68
Figura 25 - Função de pertinência das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de milho.	69
Figura 26 - Função de pertinência das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade avaliadas durante o Ano 2 para a cobertura vegetal de milho.....	72
Figura 27 - Função de pertinência das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas durante o Ano 2 para a cobertura vegetal de milho.	73
Figura 28 - Superfície tridimensional e das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.	78
Figura 29 - Mapa de contorno da produtividade da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.....	80
Figura 30 - Mapa de contorno da altura de inserção da primeira vagem (AIV) da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.....	81
Figura 31 - Mapa de contorno da altura de planta (ALP) e estande (EST) da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.	82
Figura 32 - Superfície tridimensional das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.	83
Figura 33 - Mapa de contorno das variáveis biométricas NGV e NGP da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.	84
Figura 34 - Mapa de contorno das variáveis biométricas NVP e MGR da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.	85
Figura 35 - SBRF de avaliação da soja com duas variáveis de entrada (doses de N e doses de Mo), 18 variáveis de saída (variáveis biométricas, nutricionais e produtividade), na cobertura vegetal de sorgo para o ano agrícola 2013/14.	95

Figura 36 – SBRF de avaliação da soja com duas variáveis de entrada (doses de N e doses de Mo), 18 variáveis de saída (variáveis biométricas, nutricionais e produtividade), na cobertura vegetal de sorgo para o ano agrícola 2013/14.	96
Figura 37 – Função de pertinência da variável de entrada nitrogênio.	98
Figura 38 – Função de pertinência da variável de entrada molibdênio.	98
Figura 39 - Ilustração do dendrograma.	101
Figura 40 – Dendrograma das variáveis de saída da cultura da soja, do ano agrícola 2013/14 para a cobertura vegetal de sorgo.	102
Figura 41 – Dendrograma das variáveis de saída da cultura da soja, do ano agrícola 2014/15 para a cobertura vegetal de sorgo.	103
Figura 42 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de N, P, K, Ca e Mg avaliados durante o Ano 1 para cobertura vegetal de sorgo.....	111
Figura 43 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn avaliados durante o Ano 1 para cobertura vegetal de sorgo.....	112
Figura 44 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de N, P, K, Ca e Mg avaliados durante o Ano 2 para cobertura vegetal de sorgo.....	115
Figura 45 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn avaliados durante o Ano 2 para cobertura vegetal de sorgo.....	116
Figura 46 - Superfície tridimensional dos teores foliares de N, P, K, Ca e Mg da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de sorgo.	122
Figura 47 - Mapa de contorno dos teores foliares de N e P da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de sorgo.	124
Figura 48 - Mapa de contorno do teor foliar de K, Ca e Mg da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de sorgo.	125
Figura 49 - Superfície tridimensional dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de sorgo.....	126
Figura 50 - Mapa de contorno dos teores foliares de S e Mo da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de sorgo.	128
Figura 51 - Mapa de contorno dos teores foliares de Cu, Zn e Mn da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de sorgo.	129
Figura 52 - Função de pertinência das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de sorgo.	130
Figura 53 - Função de pertinência das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de sorgo.	131
Figura 54 - Função de pertinência das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade avaliadas durante o Ano 2 para a cobertura vegetal de sorgo.	134

Figura 55 - Função de pertinência das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas durante o Ano 2 para a cobertura vegetal de sorgo.	135
Figura 56 - Superfície tridimensional das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de sorgo.	140
Figura 57 - Mapa de contorno das variáveis biométricas, estande e de produtividade da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de sorgo.....	142
Figura 58 - Mapa de contorno das variáveis biométricas, AIV e APL da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de sorgo.	143
Figura 59 - Superfície tridimensional das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de sorgo.	144
Figura 60 - Mapa de contorno das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio do Ano 2 para a cobertura vegetal de sorgo.	145
Figura 61 - Comparação dos mapas de contorno do teor de Cálcio da cultura da soja entre as coberturas vegetais, milho e sorgo no Ano 1.....	149
Figura 62 - Comparação dos mapas de contorno do teor de magnésio da cultura da soja entre as coberturas vegetais, milho e sorgo no Ano 1.	150
Figura 63 - Comparação dos mapas de contorno da altura de inserção da primeira vagem da cultura da soja entre as coberturas vegetais, milho e sorgo no Ano 2.	151

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos	Descrição	Unidades
PRO	Produtividade	[kg.ha ⁻¹]
EST	Estande	[mil Plantas.ha ⁻¹]
AIV	Altura de inserção da primeira vagem	[cm]
APL	Altura da planta	[cm]
NVP	Número de vagens por planta	[unid.]
NGP	Número de grãos por planta	[unid.]
NGV	Número de grãos por vagem	[unid.]
MGR	Massa de 1000 grãos	[g]
TN	Teor foliar de nitrogênio	[g.kg ⁻¹]
TP	Teor foliar de fósforo	[g.kg ⁻¹]
TK	Teor foliar de potássio	[g.kg ⁻¹]
TCa	Teor foliar de cálcio	[g.kg ⁻¹]
TMg	Teor foliar de magnésio	[g.kg ⁻¹]
TS	Teor foliar de enxofre	[g.kg ⁻¹]
TMo	Teor foliar de molibdênio	[mg.kg ⁻¹]
TCu	Teor foliar de cobre	[mg.kg ⁻¹]
TZn	Teor foliar de zinco	[mg.kg ⁻¹]
TMn	Teor foliar de manganês	[mg.kg ⁻¹]
SPD	Sistema Plantio Direto	-
SSD	Sistema Semeadura Direta	-
SBRF	Sistema baseado em regras <i>fuzzy</i>	-

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	16
2 CAPÍTULO I – MODELAGEM FUZZY DA PRODUTIVIDADE E DOS EFEITOS NUTRICIONAIS E BIOMÉTRICOS DA SOJA CULTIVADA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DE DOSES DE MOLIBDÊNIO E DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA VEGETAL DE MILHETO	22
Resumo	22
2.1 Introdução	24
2.2 Material e Métodos	26
2.2.1. Descrição do experimento	26
2.2.2. Variáveis analisadas	29
2.2.3. Modelagem <i>fuzzy</i>	30
2.2.4. Análise Multivariada	38
2.3 Resultados e Discussão	39
2.3.1 Análise Multivariada	39
2.3.2 Estatística descritiva das variáveis analisadas	44
2.3.3 Modelagem <i>fuzzy</i> da cultura da soja.....	47
2.4 Conclusões	86
3 CAPÍTULO II – MODELAGEM FUZZY DA PRODUTIVIDADE E DOS EFEITOS NUTRICIONAIS E BIOMÉTRICOS DA SOJA CULTIVADA EM PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DE DOSES DE MOLIBDÊNIO E DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA VEGETAL DE SORGO	87
Resumo	87
3.1 Introdução	89
3.2 Material e Métodos	91
3.2.1 Descrição do experimento	92
3.2.2 Variáveis analisadas	93
3.2.3 Modelagem <i>fuzzy</i>	94
3.2.4 Análise Multivariada	101
3.3 Resultados e Discussão	102
3.3.1 Análise Multivariada	102
3.3.2 Estatística descritiva das variáveis analisadas	107
3.3.3 Modelagem <i>fuzzy</i> da cultura da soja.....	110
3.3.5 Comparação dos resultados obtidos do modelo fuzzy para cultura da soja cultivada em coberturas vegetais de milho e sorgo.....	147

3.4 Conclusões	151
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
REFERÊNCIAS	154

1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja é considerada uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, sendo na sua maioria utilizada para a fabricação de ração, muito embora, haja um crescimento de seu uso na alimentação humana, assim como também para a produção de biocombustíveis (CONAB, 2017). O Brasil, encontra-se atualmente como o segundo maior produtor da cultura de soja no mundo com mais de 115 milhões de toneladas produzidas na safra 2017/18, (DEAGRO, 2017; CONAB, 2018) além de ser a cultura com maior demanda de extensão de área territorial, ocupando cerca de 35,822 milhões de hectares (CONAB, 2019).

Devido à grande extensão da área destinada à produção da soja, seu plantio ocorre sob uma grande diversidade de solos e climas, característicos do Brasil, proporcionando diferentes condições edafoclimáticas, interferindo diretamente na produtividade da cultura em razão da disponibilidade nutricional dos recursos naturais de cada região, demandado pela cultura da soja (GOES, 2016; GHARBIA et al., 2018).

Desse modo, é de interesse a utilização da manutenção da palhada de coberturas vegetais proporcionando o aumento do teor nutricional do solo além de reduzir a perda de água pelo processo de evaporação, melhorando o armazenamento de água e nutrientes no solo (GOES, 2016; ANJOS et al., 2017).

Nesse contexto, insere-se a Agricultura de Conservação (AC) que consiste na adoção de um conjunto de princípios orientados à práticas sustentáveis na agricultura, visando o aumento da produtividade agrícola, reduzindo o uso de insumos, como combustíveis, sementes, fertilizantes e água (FINDLATER; KANDLIKAR; SATTERFIELD, 2019). São práticas da AC: (1) a utilização do Sistema Plantio Direto (SPD) que consiste na manutenção da palhada sob o solo para conservação da umidade e regulação da temperatura da superfície; (2) mínimo revolvimento do solo, o que melhora a capacidade de retenção de água e infiltração e (3) a Rotação de Culturas que auxilia no controle de pragas e ervas daninhas (FINDLATER; KANDLIKAR; SATTERFIELD, 2019; LABORDE et al., 2020).

O SPD é uma tecnologia que tem por característica a ocupação permanente do terreno agrícola por meio de culturas vegetais, no qual é feito o plantio sobre a palhada da cobertura vegetal da cultura antecessora (NESPOLI et al., 2017). Esse processo auxilia no combate a erosão no solo além de aumentar a capacidade de armazenamento de água evitando sua perda pelo processo de evaporação além de melhorar a atividade microbiana promovida

pela ciclagem dos nutrientes, devido ao acúmulo de matéria seca (DONK et al., 2010; RIBAS et al., 2015).

No mundo, existe um total de 116,9 milhões de hectares sob SPD, sendo que 66,53%, ou seja, 77,7 milhões de hectares estão concentrados nos 3 principais detentores da tecnologia conservacionista, liderados pelos Estados Unidos, seguidos de Argentina e Brasil (DERPSCH et al., 2010; GÓES, 2019).

Atualmente são cultivados no Brasil uma área no total de 65.913.738 hectares, o que representa aproximadamente 7,6% do território nacional, dos quais estão sob cultivo de SPD aproximadamente 32,878 milhões de hectares, o que representa 49,8% da área cultivada, sendo sob domínio do estado do Mato Grosso, a maior área com cerca de 8,1 milhões de hectares, seguido do Rio Grande do Sul com 6,02 milhões de hectares e Paraná com 4,859 milhões (MOTTER; ALMEIDA, 2015; IBGE, 2017; MIRANDA, 2018; GÓES, 2019).

As coberturas vegetais proporcionam o aumento do estímulo da atividade microbiana no solo aumentando sua capacidade metabólica além de promover a ciclagem e disponibilidade dos nutrientes, assim como na redução e controle de patógenos (DROST et al., 2019). A presença do acúmulo da matéria seca aumenta o carbono orgânico do solo, como também a taxa de eficiência de absorção dos nutrientes pela cultura, além dos benefícios gerados ao meio ambiente por meio das boas práticas agrícolas sustentáveis, advinda da utilização desse sistema de manejo (NEVINS; NAKATSU; ARMSTRONG, 2018).

A prática do plantio fazendo uso das coberturas vegetais, é comumente utilizada nos períodos de entressafras das plantações das culturas comerciais, servindo como fonte de matéria orgânica e nutrientes para a cultura subsequente (comercial), aprimorando-se dos benefícios proporcionados pela cultura antecessora (LAMAS, 2017; NEVINS; NAKATSU; ARMSTRONG, 2018).

Por sua vez, para serem consideradas como boas culturas de coberturas, as mesmas devem possuir como características, um sistema radicular profundo para maior produção de fitomassa aumentando desse modo, a disponibilidade da matéria orgânica sobre o solo, alta resistência à período de déficit hídricos, além de resistências à doenças, pragas e nematoides, além de possuir valor comercial para sua comercialização (ALVARENGA et al., 2001; LAMAS, 2017).

Algumas culturas são mais comumente utilizadas como coberturas vegetais, a exemplo da cultura do sorgo, milheto, braquiária, capim e entre outras, dependendo da região de cultivo para a qual melhor se adapte à cultura de cobertura conforme as condições edafoclimáticas características para cada região (RUFATO et al., 2007; CORREIA;

DURIGAN, 2008), sendo em alguns casos realizado o consórcio de leguminosas e gramíneas para obtenção do benefício mútuo das coberturas, resultando na maior produtividade de matéria seca (CRUSCIOL et al., 2013).

O milheto é uma cultura muito utilizada como cobertura vegetal por ter como características, o rápido desenvolvimento mesmo sob condições de déficit hídrico, além de possuir o sistema radicular profundo possibilitando na alta capacidade de extração de nutrientes e do volume de produção de palhada (SORATTO et al., 2012), destacando-se o seu alto potencial produtivo sob condições edafoclimáticas adversas (PEREIRA FILHO et al., 2003).

Entre outras utilizações da cultura do milheto, é seu aproveitamento sob forma de planta forrageira para pastagem de gado, principalmente na região Sul do Brasil, além também do uso para fabricação de ração por meio de suas sementes (PEREIRA FILHO et al., 2003; DANTAS; NEGRÃO, 2010).

O sorgo é outra cultura também muito utilizada como cobertura vegetal, pois a mesma, apresenta características semelhantes à cultura do milheto a exemplo do sistema radicular profundo garantindo uma alta produção de matéria seca, juntamente com sua capacidade de extração de água de camadas de solos mais profundas (BORRELL; HAMMER; DOUGLAS, 2000) além da alta resistência a estresses causados por adversidade climáticas (TEIXEIRA et al., 2011; MANTOVANI et al., 2012; RODRIGUES; MAGALHAES; SOUZA, 2012).

O nitrogênio (N) é um dos elementos que mais sofrem influência pela adoção do SPD devido à presença da matéria seca no solo, alterando os processos de mineralização, imobilização e lixiviação, uma vez que ocorre mais lentamente a decomposição da matéria orgânica em razão da presença de maior umidade no solo (LARA CABEZAS et al., 2000; KAPPES; ARF; ANDRADE, 2013).

Um dos nutrientes mais demandados pela cultura da soja, é exatamente o N, devido ao alto teor proteico dos grãos (MENZA et al., 2019). No entanto, a quantidade de N presente no solo é escassa, além de esgotar-se rapidamente agravada pelas condições edafoclimáticas do território brasileiro acelerando o processo de decomposição da matéria orgânica (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001).

Por sua vez a ação do Molibdênio (Mo), por meio da adubação foliar durante a fase reprodutiva, permite aumentar a capacidade de fixação do N pela cultura da soja aumentando assim a sua produtividade (GOLO et al., 2009; POSSENTI; VILLELA, 2010).

O Mo atua como cofator das enzimas envolvidas no processo de nitrificação, transformando nitrito em nitrato, participando diretamente das reações bioquímicas do

metabolismo do nitrogênio, considerado essencial para o desenvolvimento e nutrição da planta (POSSENTI; VILLELA, 2010; NUNES et al., 2017). Nesse sentido, a utilização do Mo, torna-se uma alternativa para redução de custos com adubação nitrogenada, de modo a substituir ou complementar o uso do nitrogênio como fertilizante no sistema de produção das culturas agrícolas (BISCARO et al., 2009).

A soja quando cultivada em SPD, obteve um aumento de produtividade em cerca de 17% comparado ao sistema de preparo convencional, podendo proporcionar melhoria nas condições físicas, químicas e biológicas do solo, quanto a maior disponibilidade de água e nutrientes e teor de matéria orgânica, proporcionadas pelo SPD influenciando diretamente no desenvolvimento e produtividade da cultura (FIDELIS et al., 2003; ALBUQUERQUE et al., 2013).

Ademais, a cultura da soja e as bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, convivem em mecanismo de simbiose, na qual as bactérias fornecem nitrogênio às plantas em troca de substâncias exsudadas pelos seus sistemas radiculares, sendo esta relação aprimorada pela utilização do SPD devido a redução da temperatura do solo, presença de uma maior umidade no solo e de toda matéria orgânica fornecida pela manutenção da palhada (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001; GOES, 2016).

Sendo assim, a cultura da soja em sucessão pode ser influenciada pelos tipos de coberturas vegetais em razão das diferentes concentrações de nitrogênio na matéria seca, as quais, podem ter aumento de produtividade com uso da adubação foliar de molibdênio, uma vez que esse nutriente participa do metabolismo do nitrogênio, facilitando sua assimilação por parte da planta (MADALOSSO, 2015; GOES, 2016).

Nesse sentido, é comum a realização de experimentos agronômicos, no qual busca-se aferir estatisticamente o comportamento de culturas vegetais, em relação a causas e efeitos, visando a otimização dos recursos em experimentação (VIAIS NETO, 2016). A exemplo de Freitas et al., (2019), que avaliaram experimentalmente a tolerância da alface em relação à diferentes doses de salinidade buscando-se a melhor eficiência para absorção de fósforo (P) e potássio (K); Akhtar et al., (2019) que realizaram o experimento com uso integrado de palha e fertilizante nitrogenado para aferir a melhor funcionalidade do solo e da produção de soja.

No entanto, os experimentos agrícolas não expressam os resultados de valores para os quais não foram realizados os testes agronômicos, sendo nesse caso, necessário recorrer aos modelos matemáticos de regressão, possibilitando expressar os resultados intermediários para o experimento realizado no campo (PUTTI, 2015; VIAIS NETO, 2016). Para tais, existem diversas técnicas computacionais que realizam essas modelagem com menores erros de ajustes,

a exemplo da lógica *fuzzy*, que teve início no meio científico em meados de 1965 (ZADEH, 1965).

A técnica da lógica *fuzzy*, baseia-se na habilidade de modular e expressar o raciocínio humano de maneira simplificada e compreensível, em áreas, nas quais são tratadas informações imprecisas, assim como ocorrem nos experimentos agrônômicos (LI et al., 2016; VIAIS NETO, 2016; GARG; AGGARWAL; SOKHAL, 2018). Sua aplicação está nas mais diversas áreas, como na elaboração de mapas de precipitações de radares meteorológicos (SILVER et al., 2020), no aprimoramento da segurança de pedestre facilitando a locomoção e fluxo de tráfego (ALKHEDER; ALRUKAIBI, 2020), na administração de remédios para regular a pressão arterial e de doenças cardíacas (IANCU, 2018; SHARMA et al., 2020), para criação de sistema de alerta para colisão de ponte de navio (WU et al., 2019) e no gerenciamento de energia para veículos elétricos híbrido (MA et al., 2019).

É grande a aplicabilidade da técnica de modelagem matemática *fuzzy* na área das ciências agrárias, visto resolver problemas de avaliação de fenômenos agrônômicos e biológicos de maneira eficiente (GABRIEL FILHO et al., 2012), a exemplo da utilização da lógica *fuzzy* como apoio para tomada de decisão sobre a utilização de fertilizantes nitrogenados em culturas vegetais (PAPADOPOULOS; KALIVAS; HATZICHRISTOS, 2011; PRABAKARAN; VAITHIYANATHAN; GANESAN, 2018), sua aplicação no gerenciamento da produção de algodão na agricultura de precisão (PAPAGEORGIU; MARKINOS; GEMPTOS, 2009), a utilização para controle do pH em solução hidropônica (MORIMOTO; HASHIMOTO, 1991), a utilização da modelagem *fuzzy* para avaliar os efeitos da irrigação e doses de salinidade na cultura do tomate (VIAIS NETO et al., 2019a, 2019b).

Dessa maneira, justifica-se a aplicação do estudo em questões práticas para o produtor rural, tais como a utilização da adubação nitrogenada e adubação com molibdênio via foliar, aplicadas sobre coberturas vegetais para posterior plantio de soja. Tal fato, destaca-se pela cultura da soja ser exigente em relação ao consumo de nitrogênio e pela participação do molibdênio no processo de fixação biológica desse nutriente. Buscando a determinação de resultados em diversos outros pontos não verificados em experimentos, propõe-se a utilização da teoria *fuzzy*.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja cultivada sobre palhada de sorgo e de milho com diferentes níveis de nitrogênio, utilizando modelagem *fuzzy*, bem como estabelecer uma comparação de tais efeitos.

Para atingir o objetivo proposto, a tese foi dividida em dois capítulos, sendo o primeiro intitulado “Modelagem *fuzzy* da produtividade e dos efeitos nutricionais na cultura da soja cultivada em plantio direto em função de doses de molibdênio e doses de nitrogênio em cobertura vegetal de milho” e o segundo capítulo intitulado como “modelagem *fuzzy* da produtividade e dos efeitos nutricionais na cultura da soja cultivada em plantio direto em função de doses de molibdênio e doses de nitrogênio em cobertura vegetal de sorgo”.

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 29/10/2022.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O milheto, assim como o sorgo, mostraram-se eficientes culturas de cobertura para soja em sucessão sob cultivo de SPD, para diferentes níveis de nitrogênio aplicado em cobertura vegetal e doses de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja. As modelagens matemáticas *fuzzy*, permitem identificar as melhores combinações entre as diferentes doses de N aplicado em cobertura vegetal e as diferentes doses de Mo aplicado via foliar na cultura da soja.

Tais resultados possibilitam aos produtores, reduzir custos com fertilizantes por meio da economia gerada pela precisão dos resultados obtidos dos modelos matemáticos, sendo eficientes quanto ao resultado desejado.

Deste modo, observou-se para a cultura do milheto, as menores alturas de plantas obtidas em regiões gráficas sob alta influência de nitrogênio, sendo o mesmo comportamento aferido para o teor de K e Mg. Por sua vez, a massa de 1000 grãos de soja semeada sob palhada de sorgo, expressou melhores resultados para altas dosagens de nitrogênio, sendo igual comportamento relatado para a altura de planta.

Dessa maneira, as modelagens realizadas, permitem identificar a melhor combinação de adubação nitrogenada e molíbdica em busca no melhor resultado para a variável em questão desejada, de forma a economizar recursos, sejam financeiros e e/ou tempo para produção retornando sob forma de lucros aos produtores.

REFERÊNCIAS

- AHMADI, H, et al, Diseases Diagnosis Using Fuzzy Logic Methods: A Systematic and Meta-Analysis Review, **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v, 161, p, 145–172, 2018,
- AKHTAR, K, et al, Integrated Use of Straw Mulch with Nitrogen Fertilizer Improves Soil Functionality and Soybean Production, **Environment International**, v, 132, p, 1–10, 2019,
- ALBUQUERQUE, A, W, de et al, Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v, 17, n, 7, p, 721–726, 2013,
- ALKHEDER, S,; ALRUKAIBI, F, Enhancing Pedestrian Safety, Walkability and Traffic Flow with Fuzzy Logic, **Science of The Total Environment**, v, 701, p, 1–21, 2020,
- ALVARENGA, C, et al, Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto, **Informe Agropecuário**, v, 22, n, 208, p, 25–36, 2001,
- ANJOS, J, C, R, dos et al, Water storage in a Plinthaqualf cultivated with sugarcane under straw levels, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v, 52, n, 6, p, 464–473, 2017,
- APPIAH-NKANSAH, N, B, et al, Ethanol Production from Mixtures of Sweet Sorghum Juice and Sorghum Starch Using Very High Gravity Fermentation with Urea Supplementation, **Industrial Crops and Products**, v, 111, p, 247–253, jan, 2018,
- ARAYA, A, et al, Grain Sorghum Production Functions under Different Irrigation Capacities, **Agricultural Water Management**, v, 203, p, 261–271, 2018,
- ARJI, G, et al, Fuzzy Logic Approach for Infectious Disease Diagnosis: A Methodical Evaluation, Literature and Classification, **Biocybernetics and Biomedical Engineering**, v, 39, n, 4, p, 937–955, out, 2019,
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS, **Brasil é o maior exportador de soja do mundo**: Exportação, São Paulo: Abiove, 2018, ,
- BAUER, L, **Estimação do coeficiente de correlação de Spearman ponderado**, 2007, 95 f, Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007,
- BELARBI, K, et al, Design of Mamdani Fuzzy Logic Controllers with Rule Base Minimisation Using Genetic Algorithm, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v, 18, n, 7, p, 875–880, 2005,
- BERGTOLD, J, S, et al, A review of economic considerations for cover crops as a conservation practice, **Renewable Agriculture and Food Systems**, v, 34, n, 1, p, 62–76, 2019,
- BETA, T,; OBILANA, A, B,; CORKE, H, Genetic Diversity in Properties of Starch from Zimbabwean Sorghum Landraces, **Cereal Chemistry Journal**, v, 78, n, 5, p, 583–589, 2001,
- BISCARO, G, A, et al, Molibdênio via semente e nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em solo de cerrado, **Ciência e Agrotecnologia**, v, 33, n, 5, p, 1280–1287, 2009,

- BISCARO, G, A, et al, Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar no feijoeiro irrigado cultivado em solo de cerrado, **Acta Scientiarum, Agronomy**, v, 33, n, 4, p, 665–670, 2011,
- BORRELL, A, K,; HAMMER, G, L,; DOUGLAS, A, C, L, Does Maintaining Green Leaf Area in Sorghum Improve Yield under Drought? I, Leaf Growth and Senescence, **Crop Science**, v, 40, n, 4, p, 1026–1037, 2000,
- BOSO, A, C, M, R, **Modelagem matemática e computacional na avaliação do uso de água magnetizada na irrigação do rabanete utilizando o sistema Mamdani**, 2018, 106 f, Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018,
- BRAZ, R, dos S, et al, Growth and Physiology of Maize under Water Salinity and Nitrogen Fertilization in Two Soils, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v, 23, n, 12, p, 907–913, dez, 2019,
- CAIONI, S, **Doses de molibdênio e nitrogênio em milho safrinha e efeito residual na cultura da soja em plantio direto**, 2015, 53 f, Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Sistemas de Produção, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015,
- CAMACHO, R, et al, Avaliação do estado nutricional do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em solução nutritiva, com variação no fornecimento de N, P e K, **Scientia Agrícola**, v, 52, n, 3, p, 1–4, 1995,
- CAO, S, G,; REES, N, W,; FENG, G, Mamdani-Type Fuzzy Controllers Are Universal Fuzzy Controllers, **Fuzzy Sets and Systems**, v, 123, n, 3, p, 359–367, 2001,
- CARVALHO, M, A, C, de et al, Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v, 39, n, 11, p, 1141–1148, 2004,
- CASSOL, E, A,; DENARDIN, J, E,; KOCHHANN, R, A, Sistema Plantio Direto: Evolução e Implicações sobre a Conservação do Solo e da Água, **Tópicos em Ciência do Solo**, v, 5, n, dezembro, p, 333–365, 2007,
- CASTRO, E, et al, Potential for Ethanol Production from Different Sorghum Cultivars, **Industrial Crops and Products**, v, 109, p, 367–373, 2017,
- CATUCHI, T, A, et al, Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v, 47, n, 4, p, 519–527, abr, 2012,
- CENTURION, J, F, Balanço hídrico na região de Ilha Solteira, **Científica**, v, 10, n, 1, p, 57–61, 1982,
- CHANDRASHEKAR, G,; SAHIN, F, A Survey on Feature Selection Methods, **Computers & Electrical Engineering**, v, 40, n, 1, p, 16–28, jan, 2014,
- CHAUVIN, C, et al, Biochemical Characteristics of Cover Crop Litter Affect the Soil Food Web, Organic Matter Decomposition, and Regulation of Plant-Parasitic Nematodes in a Banana Field Soil, **Applied Soil Ecology**, v, 96, p, 131–140, 2015,

CHEN, G.; WEIL, R, R, Penetration of Cover Crop Roots through Compacted Soils, **Plant and Soil**, v, 331, n, 1–2, p, 31–43, jun, 2010,

CHONG, C, Y,; LEE, S, P,; LING, T, C, Efficient Software Clustering Technique Using an Adaptive and Preventive Dendrogram Cutting Approach, **Information and Software Technology**, v, 55, n, 11, p, 1994–2012, 2013,

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, **A produtividade da soja: Análise e perspectivas**, Brasília: Conab, 2017, ,

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, **Grãos - Série Histórica**, Brasília: Conab, 2018, , Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra-serie-historica-dashboard>>, Acesso em: 19 abr, 2018,

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, **Acompanhamento da safra de grãos: Safra 2017/2018**, v, 6, n, 5, Brasília: Conab, 2019a, ,

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, **Acompanhamento da safra de grãos: Safra 2017/2018**, v, 6, n, 5, Brasília: Conab, 2019b, ,

CORREIA, N, M,; DURIGAN, J, C, Culturas de coberturas e sua influência na fertilidade do solo sob Sistema de Plantio Direto (SPD), **Bioscience Journal**, v, 24, n, 4, p, 12, 2008,

COSTA, R, P, da; ABRAMCZUK, A, A,; MARTINEZ JUNIOR, L, C, A lógica Fuzzy e a análise de alternativas de investimento, **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v, 3, n, 2, p, 73–84, 2007,

CREMASCO, C, P,; GABRIEL FILHO, L, R, A,; CATANEO, A, Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores fuzzy para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura, **Energia na Agricultura**, v, 25, n, 1, p, 21, 30 mar, 2010,

CRUSCIOL, C, A, C, et al, Cycling of Nutrients and Silicon in Pigeonpea and Pearl Millet Monoculture and Intercropping, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 37, n, 6, p, 1628–1640, 2013,

DA SILVA SOUZA, G, A, V, et al, Agronomic Evaluation of Legume Cover Crops for Sustainable Agriculture, **Russian Agricultural Sciences**, v, 44, n, 1, p, 31–38, 2018,

DANTAS, C, C, O,; NEGRÃO, F, de M, Características agronômicas do Milheto (*Pennisetum glaucum*), **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v, 4, n, 137, p, 1–20, 2010,

DECHEN, A, R,; NACHTIGALL, G, R, Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores, In: **Nutrição mineral de plantas**, Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, p, 1–5,

DENARDIN, J, E, **Evolução do SPD: Árvore do Conhecimento - Sistema Plantio Direto**, Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2007, ,

DEPARTAMENTO DO AGRONEGÓCIO, **Safra Mundial de Soja 2017/18: 7º Levantamento do USDA**, São Paulo: FIESP, 2017, , Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br> > arquivo-download>, Acesso em: 15 abr, 2018,

DERPSCH, R, et al, Current Status of Adoption of No-till Farming in the World and Some of Its Main Benefits, **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v, 3, p, 25, 2010,

DERPSCH, R, et al, Why Do We Need to Standardize No-Tillage Research? **Soil and Tillage Research**, v, 137, p, 16–22, 2014,

DONK, S, J, van et al, Crop Residue Cover Effects on Evaporation, Soil Water Content, and Yield of Deficit-Irrigated Corn in West-Central Nebraska, **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v, 53, n, 6, p, 1787–1797, 2010,

DROST, S, M, et al, Decomposition of Mixtures of Cover Crop Residues Increases Microbial Functional Diversity, **Geoderma**, p, 1–11, 2019,

FABIAN, A, J, **Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação**, 2009, 83 f, Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009,

FIDELIS, R, R, et al, Some aspects of no-tillage system on soybean, **Bioscience Journal**, v, 19, n, 1, p, 23–31, 2003,

FINDLATER, K, M,; KANDLIKAR, M,; SATTERFIELD, T, Misunderstanding Conservation Agriculture: Challenges in Promoting, Monitoring and Evaluating Sustainable Farming, **Environmental Science & Policy**, v, 100, p, 47–54, 2019,

FORINA, M, et al, A New Algorithm for Seriation and Its Use in Similarity Dendrograms, **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v, 87, n, 2, p, 262–274, 2007,

FREITAS, W, E, de S, et al, Sulfur-Induced Salinity Tolerance in Lettuce Is Due to a Better P and K Uptake, Lower Na/K Ratio and an Efficient Antioxidative Defense System, **Scientia Horticulturae**, v, 257, p, 1–11, 2019,

GABRIEL FILHO, L, R, A, et al, Aplicação da lógica fuzzy para avaliação da eficiência e racionalidade de usinas sucroalcooleiras, In: **Recentes Avanços em Sistemas Fuzzy**, São Carlos: SBMAC - Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, 2012, p, 405–423,

GABRIEL, J, L,; GARRIDO, A,; QUEMADA, M, Cover Crops Effect on Farm Benefits and Nitrate Leaching: Linking Economic and Environmental Analysis, **Agricultural Systems**, v, 121, p, 23–32, out, 2013,

GALINDO, F, S, et al, Modes of Application of Cobalt, Molybdenum and Azospirillum Brasilense on Soybean Yield and Profitability, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v, 21, n, 3, p, 180–185, mar, 2017,

GARG, B,; AGGARWAL, S,; SOKHAL, J, Crop Yield Forecasting Using Fuzzy Logic and Regression Model, **Computers & Electrical Engineering**, v, 67, p, 383–403, abr, 2018,

GHARBIA, S, S, et al, Spatially Distributed Potential Evapotranspiration Modeling and Climate Projections, **Science of The Total Environment**, v, 633, n, 1, p, 571–592, 2018,

GIAROLA, N, F, B, et al, Cultivares de soja sob plantio direto em Latossolo Vermelho compactado, **Acta Scientiarum, Agronomy**, v, 31, n, 4, p, 641–646, 2009,

GIAROLA, N, F, B, et al, On the Visual Evaluation of Soil Structure: The Brazilian Experience in Oxisols under No-Tillage, **Soil and Tillage Research**, v, 127, p, 60–64, 2013,

GÓES, B, C, **Modelagem Fuzzy do acúmulo de matéria seca e das variáveis nutricionais de coberturas vegetais de preparo para sistema plantio direto em resposta à diferentes doses de nitrogênio**, 2019, 87 f, Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento, Universidade Estadual Paulista, Tupã, 2019,

GOES, R, J, **Doses de Nitrogênio em Coberturas Vegetais e Molibdênio Foliar na Soja em Sucessão**, 2016, 77 f, Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Agronomia (Sistemas de Produção), Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016,

GOLO, A, L, et al, Qualidade das sementes de soja com a aplicação de diferentes doses de molibdênio e cobalto, **Revista Brasileira de Sementes**, v, 31, n, 1, p, 40–49, 2009,

GRECH, V,; CALLEJA, N, WASP (Write a Scientific Paper): Multivariate Analysis, **Early Human Development**, v, 123, p, 42–45, ago, 2018,

GROENBAEK, M, et al, Nitrogen Split Dose Fertilization, Plant Age and Frost Effects on Phytochemical Content and Sensory Properties of Curly Kale (*Brassica Oleracea* L, Var, *Sabellica*), **Food Chemistry**, v, 197, p, 530–538, 2016,

HOU, R,; XU, X,; OUYANG, Z, Effect of Experimental Warming on Nitrogen Uptake by Winter Wheat under Conventional Tillage versus No-till Systems, **Soil and Tillage Research**, v, 180, p, 116–125, 2018,

HUNGRIA, M,; CAMPO, R, J,; MENDES, I, C, **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**, Londrina: Embrapa Soja, 2001, ,

IANCU, I, Heart Disease Diagnosis Based on Mediative Fuzzy Logic, **Artificial Intelligence in Medicine**, v, 89, p, 51–60, jul, 2018,

IMRAN, M, et al, Molybdenum-Induced Effects on Photosynthetic Efficacy of Winter Wheat (*Triticum Aestivum* L,) under Different Nitrogen Sources Are Associated with Nitrogen Assimilation, **Plant Physiology and Biochemistry**, v, 141, p, 154–163, 2019,

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Sistema de preparo do solo e Área com plantio direto na palha**, Brasília, DF: IBGE, 2017, ,

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, Brasília: IBGE, 2019, ,

KAISER, B, N, et al, The Role of Molybdenum in Agricultural Plant Production, **Annals of Botany**, v, 96, n, 5, p, 745–754, 2005,

KAPPES, C,; ARF, O,; ANDRADE, J, A, da C, Coberturas vegetais, manejo do solo, doses de nitrogênio e seus efeitos na nutrição mineral e nos atributos agrônômicos do milho, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 37, n, 5, p, 1322–1333, 2013,

- KIKNADZE, N.; TAVDGIRIDZE, G.; JASHI, D, Influence of Various Forms of Nitrogen Fertilizers at Productivity of Mandarin Unshiu and Red Soils, **Annals of Agrarian Science**, v, 16, n, 3, p, 344–347, set, 2018,
- KIM, Y.; ZHANG, Q.; REID, J, F, Fuzzy Logic for Image Quality Control of a Field Crop Imaging Sensor, **IFAC Proceedings Volumes**, v, 34, n, 9, p, 215–220, 2001,
- KOTTEK, M, et al, World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated, **Meteorologische Zeitschrift**, v, 15, n, 3, p, 259–263, 2006,
- KRISHNAN, H, B, Engineering Soybean for Enhanced Sulfur Amino Acid Content, **Crop Science**, v, 45, n, 2, p, 454–462, 2005,
- LABORDE, J, P, et al, Identifying the Drivers and Predicting the Outcome of Conservation Agriculture Globally, **Agricultural Systems**, v, 177, p, 1–12, 2020,
- LAMAS, F, M, Plantas de coberturas: O que é isto? **Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação**, p, 1–3, 2017,
- LARA CABEZAS, W, A, R, et al, Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG), **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 24, n, 2, p, 363–376, 2000,
- LI, J, et al, A New Fuzzy Regression Model Based on Least Absolute Deviation, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v, 52, p, 54–64, 2016,
- LIMA, G, S, de et al, Growth and Production Components of West Indian Cherry Cultivated with Saline Waters and Potassium Fertilization, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v, 23, n, 4, p, 250–256, 2019,
- LIMA, E, do V, et al, Características agronômicas, produtividade e qualidade fisiológica da soja “safrinha” sob semeadura direta, em função da cobertura vegetal e da calagem superficial, **Revista Brasileira de Sementes**, v, 31, n, 1, p, 69–80, 2009,
- LIMA, J, S, de S, et al, Fuzzy Logic and Geostatistics in Studying the Fertility of Soil Cultivated with the Rubber Tree, **Revista Ciência Agronômica**, v, 49, n, 2, p, 228–238, 2018,
- MA, K, et al, Numerical Investigation on Fuzzy Logic Control Energy Management Strategy of Parallel Hybrid Electric Vehicle, **Energy Procedia**, v, 158, p, 2643–2648, 2019,
- MADALOSSO, T, **Balanço e eficiência de uso de nutrientes em sistemas de produção de grãos na Região Oeste do Paraná**, 2015, 112 f, Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Marechal Cândido Rondon, Marechal Rondon, 2015,
- MAIONE, C.; BARBOSA, F.; BARBOSA, R, M, Predicting the Botanical and Geographical Origin of Honey with Multivariate Data Analysis and Machine Learning Techniques: A Review, **Computers and Electronics in Agriculture**, v, 157, p, 436–446, 2019,
- MAMDANI, E, H.; ASSILIAN, S, An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, **International Journal of Man-Machine Studies**, v, 7, n, 1, p, 1–13, 1975,

MANTOVANI, E, C, et al, Cultivo do Sorgo: Solos, **Embrapa Milho e Sorgo**, v, 2, n, 8, p, 1–7, 2012,

MENZA, N, C, L, et al, Nitrogen Limitation in High-Yield Soybean: Seed Yield, N Accumulation, and N-Use Efficiency, **Field Crops Research**, v, 237, p, 74–81, 2019,

MINITAB, **Dendrograma**, Disponível em: <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/multivariate/how-to/cluster-observations/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/dendrogram/>>, Acesso em: 30 dez, 2019,

MIRANDA, E, Potência Agrícola e Ambiental, áreas cultivadas no Brasil e no mundo, **Agroanalysis**, p, 1–3, 2018,

MORIMOTO, T,; HASHIMOTO, Y, Application of Fuzzy Logic and Neural Network to the Process Control of Solution Ph in Deep Hydroponic Culture, **IFAC Proceedings Volumes**, v, 24, n, 11, p, 147–152, set, 1991,

MOTTER, P,; ALMEIDA, H, G, **Plantio Direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**, Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015,

NESPOLI, A, et al, Consórcio de alface e milho verde sobre cobertura viva e morta em plantio direto, **Horticultura Brasileira**, v, 35, n, 3, p, 453–457, 2017,

NEVINS, C, J,; NAKATSU, C,; ARMSTRONG, S, Characterization of Microbial Community Response to Cover Crop Residue Decomposition, **Soil Biology and Biochemistry**, v, 127, p, 39–49, 2018,

NUNES, R, T, C, et al, Produção e qualidade de sementes de feijão-caupi em função de doses de molibdênio e da população de plantas, **Revista de Ciências Agrárias**, v, 40, n, 3, p, 533–542, 2017,

ODENATH PENHA, L, A, et al, A soja com alimento: valor nutricional, benefícios para a saúde e cultivo orgânico, **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v, 25, n, 1, 2007,

OLIVEIRA, C, O, E, **Produção e posterior semeadura de sementes de soja enriquecida com molibdênio: qualidade fisiológica, alterações químicas e nutricionais, métodos e épocas de aplicação**, 2015, 86 f, Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015,

PACHECO, L, P, et al, Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v, 43, n, 7, p, 815–823, 2008,

PAPADOPOULOS, A,; KALIVAS, D,; HATZICHRISTOS, T, Decision Support System for Nitrogen Fertilization Using Fuzzy Theory, **Computers and Electronics in Agriculture**, v, 78, n, 2, p, 130–139, 2011,

PAPAGEORGIU, E, I,; MARKINOS, A,; GEMPTOS, T, Application of Fuzzy Cognitive Maps for Cotton Yield Management in Precision Farming, **Expert Systems with Applications**, v, 36, n, 10, p, 12399–12413, 2009,

PARDO, G.; MARTÍNEZ, Y, Conservation Agriculture in Trouble? Estimating the Economic Impact of an Eventual Glyphosate Prohibition in Spain, **Planta Daninha**, v, 37, p, e019197994, 2019,

PEDREIRA, M, dos S, et al, Características agronômicas e composição química de oito híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], **Revista Brasileira de Zootecnia**, v, 32, n, 5, p, 1083–1092, 2003,

PEGALAJAR, M, C, et al, A Munsell Colour-Based Approach for Soil Classification Using Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks, **Fuzzy Sets and Systems**, p, S0165011419301721, nov, 2019,

PEREIRA FILHO, I, A, et al, Manejo da Cultura do Milheto, **Embrapa Milho e Sorgo**, v, 29, p, 1–17, 2003,

PEREIRA FILHO, R, D, **Desenvolvimento e implementação de controladores nebulosos em uma coluna piloto de destilação em batelada**, 1999, 189 f, Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Sistemas de Processos Químicos e Informática, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999,

PEREIRA, R, G, et al, Sistemas de manejo do solo: soja [*Glycine max* (L,)] consorciada com *Brachiaria decumbens* (STAPF), **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v, 41, n, 1, 2011, Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/6981>>, Acesso em: 25 dez, 2019,

POSSENTI, J, C.; VILLELA, F, A, Efeito do molibdênio aplicado via foliar e via sementes sobre o potencial fisiológico e produtividade de sementes de soja, **Revista Brasileira de Sementes**, v, 32, n, 4, p, 143–150, 2010,

PRABAKARAN, G.; VAITHIYANATHAN, D.; GANESAN, M, Fuzzy Decision Support System for Improving the Crop Productivity and Efficient Use of Fertilizers, **Computers and Electronics in Agriculture**, v, 150, p, 88–97, 2018,

PRECHSL, U, E, et al, Assessing the Environmental Impacts of Cropping Systems and Cover Crops: Life Cycle Assessment of FAST, a Long-Term Arable Farming Field Experiment, **Agricultural Systems**, v, 157, p, 39–50, 2017,

PUTTI, F, F, **Análise dos indicadores biométricos e nutricionais da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) irrigada com água tratada magneticamente utilizando modelagem fuzzy**, 2015, 186 f, Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015,

PUTTI, F, F, et al, Fuzzy Modeling on Wheat Productivity under Different Doses of Sludge and Sewage Effluent, **Engenharia Agrícola**, v, 37, n, 6, p, 1103–1115, 2017,

QI, Y, et al, Optimization of Starch Isolation from Red Sorghum Using Response Surface Methodology, **Food Science and Technology**, v, 91, p, 242–248, maio 2018,

RAIJ, B, V, et al, Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, **Instituto Agrônomo - IAC**, (IAC, Boletim Técnico, 100), v, 1, n, 2, p, 285, 1996,

- RIBAS, G, G, et al, Temperatura do solo afetada pela irrigação e por diferentes coberturas, **Engenharia Agrícola**, v, 35, n, 5, p, 817–828, 2015,
- RODRIGUES, J, A, S,; MAGALHAES, P, C,; SOUZA, T, C, de, Cultivo do Sorgo: Ecofisiologia, **Embrapa Milho e Sorgo**, v, 2, n, 8, p, 1–14, 2012,
- ROSARIO-LEBRON, A, et al, Can Winter Cover Crop Termination Practices Impact Weed Suppression, Soil Moisture, and Yield in No-till Soybean [Glycine Max (L.) Merr.]? **Crop Protection**, v, 116, p, 132–141, fev, 2019,
- ROTH, R, T, et al, A Cost Analysis Approach to Valuing Cover Crop Environmental and Nitrogen Cycling Benefits: A Central Illinois on Farm Case Study, **Agricultural Systems**, v, 159, p, 69–77, 2018,
- RUFATO, L, et al, Coberturas vegetais no desenvolvimento vegetativo de plantas de pessegueiro, **Revista Brasileira de Fruticultura**, v, 29, n, 1, p, 107–109, 2007,
- RUFFATTI, M, D, et al, Impacts of Nitrogen Application Timing and Cover Crop Inclusion on Subsurface Drainage Water Quality, **Agricultural Water Management**, v, 211, p, 81–88, jan, 2019,
- SALES, R, P, et al, Physical quality of a Latosol under no-tillage and conventional tillage in the semi-arid region, **Revista Ciência Agronômica**, v, 47, n, 3, p, 429–438, 2016,
- SANTACHIARA, G,; SALVAGIOTTI, F,; ROTUNDO, J, L, Nutritional and Environmental Effects on Biological Nitrogen Fixation in Soybean: A Meta-Analysis, **Field Crops Research**, v, 240, p, 106–115, 2019,
- SANTOS, H, G, dos et al, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5, ed, Brasília, DF: Embrapa, 2018,
- SCHWARZ, G,; MENDEL, R, R,; RIBBE, M, W, Molybdenum Cofactors, Enzymes and Pathways, **Nature**, v, 460, n, 7257, p, 839–847, 2009,
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, **Agricultura Sustentável**, São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2014, v, 2
- SELLE, P, H, et al, Outlook: Sorghum as a Feed Grain for Australian Chicken-Meat Production, **Animal Nutrition**, v, 4, n, 1, p, 17–30, 2018,
- SEMENTES BREJEIRO, **Catálogo de Cultivares Sementes Brejeiro**, , 2017, , Disponível em: <<https://www.brejeiro.com.br/catalogo-sementes-2017.pdf>>, Acesso em: 27 dez, 2019,
- SHACKELFORD, G, E,; KELSEY, R,; DICKS, L, V, Effects of Cover Crops on Multiple Ecosystem Services: Ten Meta-Analyses of Data from Arable Farmland in California and the Mediterranean, **Land Use Policy**, v, 88, p, 1–10, 2019,
- SHARMA, R, et al, An Optimal Interval Type-2 Fuzzy Logic Control Based Closed-Loop Drug Administration to Regulate the Mean Arterial Blood Pressure, **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v, 185, p, 105167, mar, 2020,

- SILVA, A, da et al, Molybdenum Supply and Biological Fixation of Nitrogen by Two Brazilian Common Bean Cultivars, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v, 21, n, 2, p, 100–105, fev, 2017,
- SILVA, A, F, da, **Culturas de cobertura, doses e formas de aplicação de potássio na cultura da soja**, 2011, 75 f, Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Sistemas de Produção, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011,
- SILVA, C, O, da et al, Influência do processamento na qualidade proteica de novos cultivares de soja destinados à alimentação humana, **Revista de Nutrição**, v, 23, n, 3, p, 389–397, 2010,
- SILVA NETO, G, cunha da, **Um método para solução de problemas de otimização multiobjetivo em ambiente fuzzy**, 2011, 83 f, Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Matemática, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011,
- SILVER, M, et al, Improving Weather Radar Precipitation Maps: A Fuzzy Logic Approach, **Atmospheric Research**, v, 234, p, 1–15, 2020,
- SIQUEIRA NETO, M, et al, Soil Carbon Stocks under No-Tillage Mulch-Based Cropping Systems in the Brazilian Cerrado: An on-Farm Synchronic Assessment, **Soil and Tillage Research**, v, 110, n, 1, p, 187–195, 2010,
- SORATTO, R, P, et al, Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalaria e milho, cultivados solteiros e consorciados, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v, 47, n, 10, p, 1462–1470, 2012,
- SOUSA, D, M, G.; LOBATO, E, Correção do Solo e Adubação da Cultura da Soja, **Embrapa Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados**, n, 33, p, 31, 1996,
- STREETER, J, G, Nitrate Inhibition of Legume Nodule Growth and Activity, **Plant Physiology**, v, 77, p, 321–324, 1985,
- TAMAGNO, S, et al, Nutrient Partitioning and Stoichiometry in Soybean: A Synthesis-Analysis, **Field Crops Research**, v, 200, p, 18–27, 2017,
- TEIXEIRA, M, B, et al, Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 35, n, 3, p, 867–876, 2011,
- TERAVEST, D, et al, Crop Production and Soil Water Management in Conservation Agriculture, No-till, and Conventional Tillage Systems in Malawi, **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v, 212, p, 285–296, dez, 2015,
- THUKRAL, S.; RANA, V, Versatility of Fuzzy Logic in Chronic Diseases: A Review, **Medical Hypotheses**, v, 122, p, 150–156, jan, 2019,
- VIAIS NETO, D, dos S, **Modelagem fuzzy para avaliação do desenvolvimento do tomate em tensões de água no solo e doses de salinidade na irrigação**, 2016, 70 f, Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016,

VIAIS NETO, D, dos S, et al, Fuzzy Modeling of the Effects of Irrigation and Water Salinity in Harvest Point of Tomato Crop, Part Ii: Application and Interpretation, **Engenharia Agrícola**, v, 39, n, 3, p, 305–314, 2019a,

VIAIS NETO, D, dos S, et al, Fuzzy Modeling of the Effects of Irrigation and Water Salinity in Harvest Point of Tomato Crop, Part i: Description of the Method, **Engenharia Agrícola**, v, 39, n, 3, p, 294–304, 2019b,

WU, B, et al, Fuzzy Logic Based Approach for Ship-Bridge Collision Alert System, **Ocean Engineering**, v, 187, p, 106152, set, 2019,

YAMANISHI, J, et al, Multivariate Analysis for Scanning Tunneling Spectroscopy Data, **Applied Surface Science**, v, 428, p, 186–190, jan, 2018,

YIN, Y,-G, et al, On-Line Rapid Purification of [¹³N]N₂ Gas for Visualization of Nitrogen Fixation and Translocation in Nodulated Soybean, **Applied Radiation and Isotopes**, v, 151, p, 7–12, 2019,

ZADEH, L, A, Fuzzy sets, **Information and Control**, v, 8, n, 3, p, 338–353, 1965,

ZEHTABCHI, A,; HASHEMI, S, A, H,; ASADI, S, Predicting the Strength of Polymer-Modified Thin-Layer Asphalt with Fuzzy Logic, **Construction and Building Materials**, v, 169, p, 826–834, 2018,

ZHANG, L, et al, Integrating Cover Crops with Chicken Grazing to Improve Soil Nitrogen in Rice Fields and Increase Economic Output, **Science of The Total Environment**, p, 135218, nov, 2019,