

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

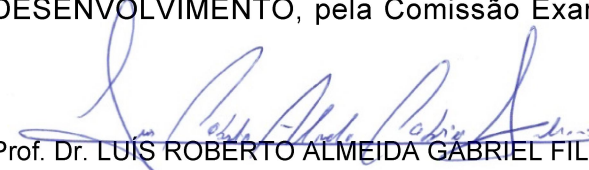
AUTOR: BRUNO CÉSAR GÓES

ORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

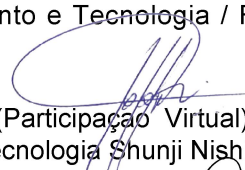
COORIENTADOR: RENATO JAQUETO GOES

COORIENTADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

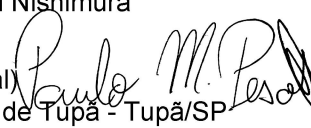
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONEGÓCIO E DESENVOLVIMENTO, pela Comissão Examinadora:



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



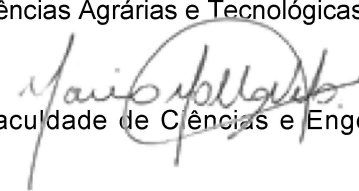
Prof. Dr. LUÍS HILARIO TOBLER GARCIA (Participação Virtual)
Big Data no Agronegócio / Faculdade de Tecnologia Shunji Nishimura



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 Biossistemas / 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 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 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 milheto.....	41
Tabela 7 – Correlação de Pearson entre as variáveis de saída analisadas para a cultura da soja com cobertura vegetal de milheto 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 milheto 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 milheto 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 milheto durante o Ano 2.	46
Tabela 11 - Teste F das variáveis de produtividade, biométricas e nutricionais da cultura da soja semeada em palhada de milheto 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 milheto.....	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 milheto.....	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 milheto.....	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 milheto.....	54
Tabela 16 - Intervalo do conjunto fuzzy de saída dos teores foliares de nutrientes para a cobertura vegetal de milheto.	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 milheto, 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 milheto, 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 milheto.....	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 milheto 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 milho 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, milheto 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, milheto 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, milheto 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 milheto 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 agrônômicos, 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 agrônômicos, 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 (PAPAGEORGIOU; 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”.

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

Resumo

O Sistema Plantio Direto (SPD) foi introduzido no Brasil como modo de produção em meados da década de 1970, no entanto, foi apenas no início da década de 1990 que SPD ganhou destaque e expressividade em área como sistema de produção agrícola. Um dos fatores que influenciaram o aumento da adoção do SPD nos últimos 20 anos, é o movimento sustentável da agricultura, tendo como objetivo a preservação e conservação dos recursos naturais e do solo. O uso de coberturas vegetais proporciona diversos benefícios ao solo, como a exemplo o controle da erosão, aumento da presença de matéria orgânica. Dessa maneira, necessita-se que planta adotada como cultura de cobertura possua capacidade de adaptação às condições locais do manejo, específico de cada região, além de características fisiológicas comuns às coberturas vegetais, como sistema radicular profundo e alta produção de fitomassa. O milheto é uma gramínea bastante utilizada como cobertura vegetal para SPD em razão de sua elevada produção de matéria seca, proporcionando ao solo o aumento da capacidade de retenção de água, manutenção e regulação da temperatura da superfície do solo. Sendo assim, com base no experimento realizado, em que consistiu na utilização da cultura soja sob diferentes doses de molibdênio com aplicação via foliar e cultivada sob a cobertura vegetal de milheto 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, a cobertura vegetal de milheto apresentou bons resultados para o teor foliar de N sob altas doses de nitrogênio em cobertura vegetal e doses medianas de Mo aplicada em via foliar na cultura da soja em sucessão, sendo o mesmo efeito foi observado em relação ao estande. Tais resultados possibilitam ao produtor rural a melhor tomada de decisão na adubação, diminuindo custos e aumentando a produtividade da sua cultura, otimizando os recursos produtivos utilizados para a semeadura da soja.

Palavras-chave: Lógica *Fuzzy*, Palhada, Semeadura Direta, Modelagem Matemática.

FUZZY MODELING OF PRODUCTIVITY AND NUTRITIONAL AND BIOMETRIC EFFECTS OF SOY CULTIVATED UNDER DIRECT PLANTING SYSTEMS AS A FUNCTION OF MOLYBDENUM DOSES AND NITROGEN DOSES IN PLANT COVERAGE OF MILLET

Abstract

The No-Tillage System (NTS) was introduced in Brazil as a mode of production in the mid-1970s, however, it was only in the early 1990s that NTS gained prominence and expressiveness in area as an agricultural production system. One of the factors that influenced the increase in the adoption of SDP in the last 20 years is the sustainable movement of agriculture, aiming at the preservation and conservation of natural resources and soil. The use of mulches provides several benefits to the soil, such as erosion control, increased presence of organic matter. Thus, it is necessary that the plant adopted as cover crop has the ability to adapt to local management conditions, specific to each region, in addition to physiological characteristics common to plant cover, such as deep root system and high production of phytomass. Millet is a grass widely used as a cover for NTS due to its high dry matter production, providing the soil with increased water retention capacity, maintenance and regulation of soil surface temperature. Thus, based on the experiment, which consisted of using soybean under different doses of molybdenum with application via foliar and grown under the cover of millet under different doses of nitrogen in NTS, we sought to perform the *fuzzy* modeling of effects on the biometric, nutritional and yield variables of soybean. Thus, millet cover showed good results for leaf Nitrogen (N) content under high doses of nitrogen in cover crop and median doses of Molybdenum (Mo) applied in foliar pathway in soybean crop in succession. Such results enable the rural producer to make the best decision in fertilization, reducing costs and increasing the productivity of his crop, optimizing the productive resources used for sowing soybeans.

Keywords: *Fuzzy Logic, Straw, Direct Seeding, Mathematical Modeling.*

2.1 Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de soja do mundo, e produziu na safra de 2017/18 aproximadamente 120 milhões de toneladas, um percentual de 4,6 superior em relação à produção da safra anterior (CONAB, 2019). Já a exportação da cultura foi de quase 83,6 milhões de toneladas de grãos, representando um valor equivalente a US\$ 33,2 bilhões (ABIOVE, 2018).

A soja é uma cultura pertencente à família das leguminosas e possui como característica um alto valor proteico, figurando-se entre as cinco principais fontes de proteínas, sendo utilizada tanto para consumo animal, na fabricação de ração, quanto para o consumo humano (ODENATH PENHA et al., 2007; SILVA et al., 2010).

Atualmente, são destinados no Brasil para o cultivo de leguminosas uma área de aproximadamente 63,5 milhões de hectares de um total de 79,2 milhões de hectares de área cultivada no país. Para a cultura da soja, são demandados cerca de 35,8 milhões de hectares, o que representa 45,2% da área total de plantio e 56,4% da área destinada às leguminosas (IBGE, 2019).

O Sistema Plantio Direto (SPD) foi introduzido no Brasil como modo de produção em meados da década de 1970, no entanto, foi apenas no início da década de 1990 que SPD ganhou destaque e expressividade em área como sistema de produção agrícola, no qual saiu de aproximadamente 1,4 milhão de hectares em 1991 para 32,8 milhões de hectares em 2017, representando atualmente cerca de 49% da área cultivada no país (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007; DENARDIN, 2007; IBGE, 2017).

Um dos fatores que influenciaram o aumento da adoção do SDP nos últimos 20 anos, é o movimento sustentável da agricultura, tendo como objetivo a preservação e conservação dos recursos naturais e do solo por meio de técnicas agrícolas de manejo sustentável (SIQUEIRA NETO et al., 2010; SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2014).

O uso de coberturas vegetais proporciona diversos benefícios ao solo, como a exemplo o controle da erosão, aumento da presença de matéria orgânica, aumento da capacidade de armazenamento de água no solo além de melhorar sua qualidade em relação à fertilidade funcionando como adubo verde, e proporcionando ao produtor rural a redução dos custos com insumos e fertilizantes (GABRIEL; GARRIDO; QUEMADA, 2013; ROTH et al., 2018; SHACKELFORD; KELSEY; DICKS, 2019).

O nitrogênio é um dos principais nutrientes agregados ao solo, resultando do efeito positivo da utilização das coberturas vegetais, podendo ser considerada em alguns casos,

substitutos dos fertilizantes nitrogenados, e proporcionado redução nos custos de produção além dos efeitos benéficos ao meio ambiente (BERGTOLD et al., 2019; RUFFATTI et al., 2019; ZHANG et al., 2019).

Dessa maneira, necessita-se que planta adotada como cultura de cobertura possua capacidade de adaptação às condições locais do manejo, específico de cada região, além de características fisiológicas comuns às coberturas vegetais, como sistema radicular profundo; alta produção de fitomassa; resistente à períodos de déficit hídrico, além de possuir valor comercial no mercado (ALVARENGA et al., 2001; LIMA et al., 2009; CHAUVIN et al., 2015).

A cultura da soja pertence ao grupo das leguminosa, que possuem alto teor proteicos, sendo assim, grande requerente de quantidade de nitrogênio como de fonte de nutrientes para formação e enchimento dos grãos (TAMAGNO et al., 2017; MENZA et al., 2019). Para tal, contam com o auxílio das bactérias fixadoras de nitrogênio que vivem em simbiose com o sistema radicular da soja em troca dos compostos resultantes da fotossíntese da planta, além do suprimento por meio da mineralização da matéria orgânica (STREETER, 1985; SANTACHIARA; SALVAGIOTTI; ROTUNDO, 2019; YIN et al., 2019).

Por sua vez, a utilização do molibdênio (Mo) como fertilizante de fonte suplementar, permite facilitar o processo de assimilação e fixação do nitrogênio por parte da cultura da soja (leguminosas), uma vez que o Mo atua processo bioquímico de nitrificação (GALINDO et al., 2017; SILVA et al., 2017; IMRAN et al., 2019).

O milheto é uma gramínea bastante utilizada como cobertura vegetal para SPD em razão de sua elevada produção de matéria seca, proporcionando ao solo o aumento da capacidade de retenção de água, manutenção e regulação da temperatura da superfície do solo, além do fornecimento de nutrientes por meio da decomposição da matéria orgânica (ALVARENGA et al., 2001; LIMA et al., 2009). Nesse sentido, a cultura do milheto destaca-se como uma das melhores opções de coberturas vegetais para posterior plantio da soja, sob SPD, aferindo no aumento da produtividade da cultura sucessora (soja), assim como na altura da planta (PACHECO et al., 2008; LIMA et al., 2009).

Nesse aspecto, a realização de experimentos agronômicos tem por objetivo investigar as causas e efeitos da aplicação de recursos tecnológicos e naturais na agricultura por meio de análises estatísticas, a exemplo, sobre a interferência na produtividade da tangerina para a aplicação em diferentes doses de nitrogênio (KIKNADZE; TAVDGIRIDZE; JASHI, 2018); medir o grau de influência no crescimento das culturas de cerejeiras e de milho em relação à diferentes níveis de salinidade da água (BRAZ et al., 2019; LIMA et al., 2019).

Entretanto, para determinar valores intermediários, aos realizados nos experimentos agrícolas, são utilizadas técnicas de modelagem matemática visando a previsão dos acontecimentos agrônômicos para os eventos não realizados por meio do comportamento dos dados, fazendo uso de modelos de regressão (PUTTI, 2015). Nesse sentido, existem técnicas sofisticadas de modelagem computacional que permitem o melhor ajuste dos dados agrônômicos, inferindo os menores erros de ajustes de modelos matemáticos, a exemplo da lógica *fuzzy*, introduzida no meio científico pelo matemático Zadeh em meados de 1960 (ZADEH, 1965).

São as mais diversas áreas de atuação da lógica *fuzzy*, visto atuar na resolução de problemas no qual é considerado alto o grau de incerteza, como nas áreas médica e epidemiológica (ARJI et al., 2019; THUKRAL; RANA, 2019). O uso dessa teoria, se aplica também na área das ciências agrárias, no aperfeiçoamento dos modelos matemáticos, como na determinação da produtividade do trigo em relação à diferentes doses de lodo e efluentes de esgoto (PUTTI et al., 2017), na determinação da produtividade de tomateiro em relação à níveis de salinidade da água (VIAIS NETO et al., 2019b, 2019a), e na utilização do mapeamento do solo em relação a fertilidade para cultura da seringueira por meio de lógica *fuzzy* e geoestatística (LIMA et al., 2018).

Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo estudar o comportamento da produtividade na cultura da soja cultivada em SPD em relação a diferentes doses de molibdênio e nitrogênio por meio da modelagem *fuzzy* para a cultura de cobertura vegetal de milheto.

2.2 Material e Métodos

Este tópico aborda a descrição do experimento utilizado para elaboração da modelagem *fuzzy* e das análises estatísticas em relação à produtividade e efeitos nutricionais e biométricos da cultura da soja cultivada sob SPD em função de diferentes doses de molibdênio e nitrogênio em cobertura vegetal de milheto.

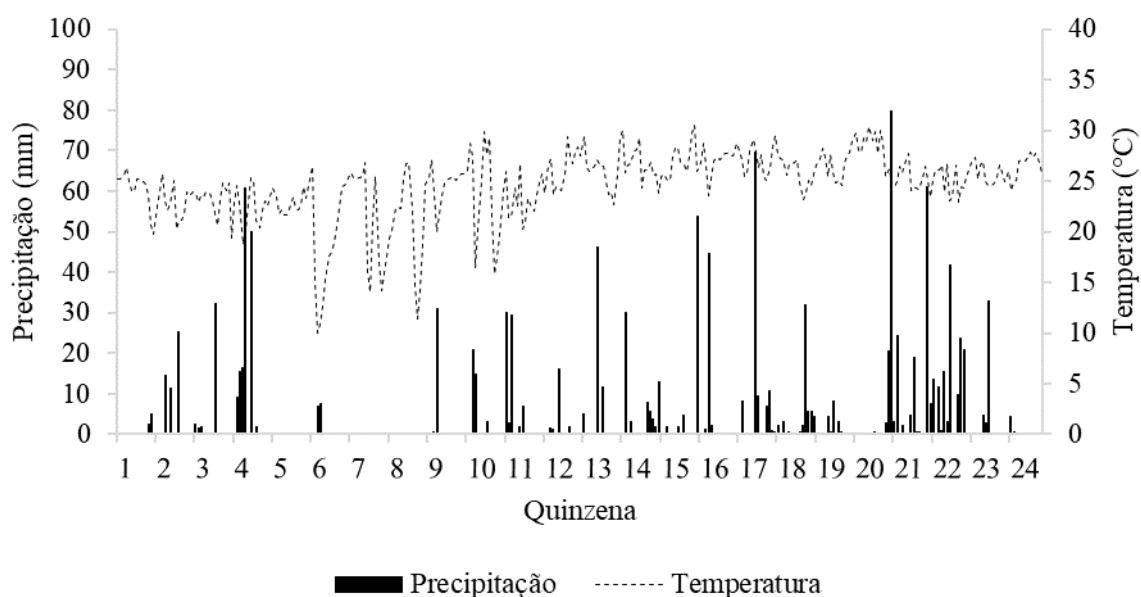
2.2.1. Descrição do experimento

O experimento foi realizado nos anos agrícolas de 2013/14 e 2014/15, na cidade de Selvíria-MS, na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) pertencente à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) de Ilha Solteira. Sua posição geográfica, localiza-se nas coordenadas de longitude Oeste 51° 22’ e de latitude Sul 20° 22’, com altitude

de 335 metros e solo classificado como Latossolo Vermelho de textura argilosa (GOES, 2016; SANTOS et al., 2018). O clima da região, segundo a classificação Köppen, é de tipo Aw com características de precipitação total anual média de 1.330 mm com umidade relativa do ar em 66% e temperatura média de 25° C (CENTURION, 1982).

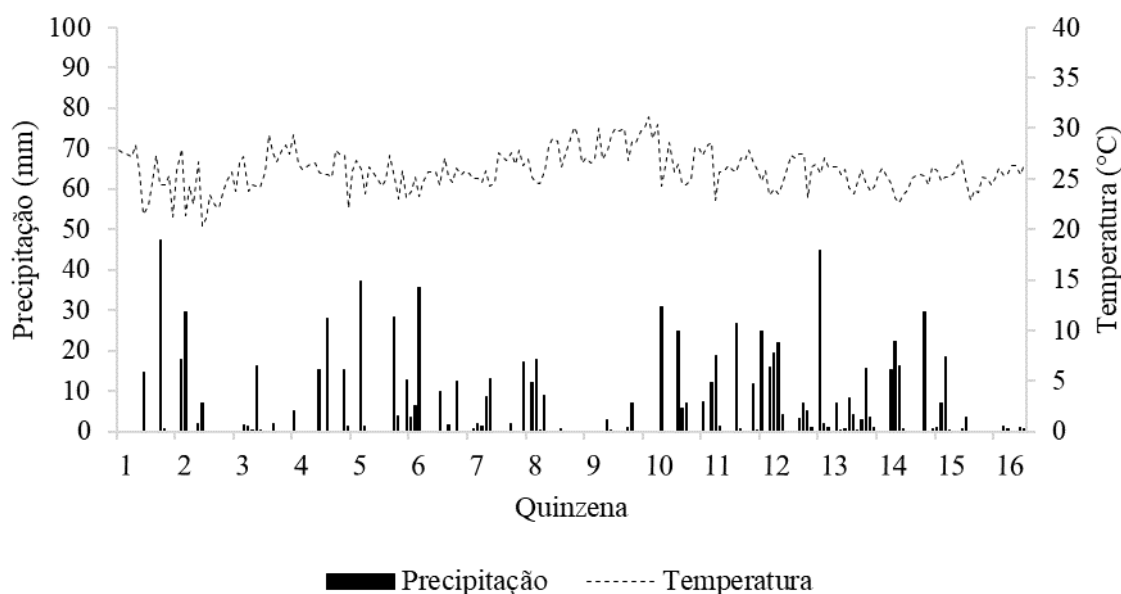
Estão apresentados nas Figuras 1 e 2, os dados das variáveis de temperatura e pluviosidade coletados durante a realização dos experimentos nos anos agrícolas de 2013/14 e 2014/15, respectivamente.

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.



Legenda: primeira quinzena dia 20/05/2013 e vigésima quarta quinzena 07/04/2014. Fonte: Estação Meteorológica da FEPE (GOES, 2016).

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.



Legenda: primeira quinzena dia 15/09/2014 e vigésima quarta quinzena 13/04/2015. Fonte: Estação Meteorológica da FEPE (GOES, 2016).

Antes da realização do experimento no primeiro ano da semeadura da cobertura vegetal de milheto, a área foi utilizada para o cultivo da soja na safra 2012/13, antecedendo o seu plantio; já em relação ao segundo ano, antecedeu-se ao plantio da cobertura vegetal, o cultivo de milho e de feijão na área destinada ao experimento (GOES, 2016).

Por sua vez, foram utilizadas para a cobertura vegetal de milheto quatro doses diferentes de N (0, 40, 80 e 120 kg.ha⁻¹) seguida de três repetições, sendo suas parcelas constituídas em 14 linhas de 12 m de comprimento e com espaçamento de 0,34 m entrelinhas, sendo utilizadas para ambos os anos, a quantidade de 18 kg.ha⁻¹ de sementes de milheto da variedade ADR 300 (GOES, 2016).

Já, a adubação nitrogenada foi realizada por meio do nitrato de amônio (NH₄NO₃) quando expandidas entre quatro e cinco folhas da cultura do milheto, sendo depositado o fertilizante ao lado da planta. A dessecação da cobertura vegetal durante o primeiro ano ocorreu durante o estágio de grãos leitosos (02/08/2013), sendo a palhada manejada com rolo-faca (20/11/2013). No segundo ano foi realizada a aplicação do herbicida (29/11/2014) glifosato + carfentrazona etílica na proporção de 300 L.ha⁻¹.

Já para a cultura da soja em sucessão, foi adotado o esquema fatorial 4 x 4, seguido de três repetições, realizando a adubação nitrogenada na cobertura vegetal com quatro diferentes dosagens (0, 40, 80 e 120 kg.ha⁻¹) e a aplicação de Mo via foliar na soja em sucessão

em quatro níveis diferentes (0, 12.4, 25 e 50 g.ha⁻¹) com parcelas distribuídas em 7 linhas com 5 m de comprimentos e espaçamento entrelinhas de 0,45 m.

Foram utilizadas sementes de soja da variedade BRS Valiosa RR, resistentes à doenças como: *Cercospora sojina* (mancha “olho-de-rã”); *Diaporthe phaseolorum* f. sp. meridionalis (crancho da haste); *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incog* (nematoides de galhas) e *Microsphaera diffusa* (oídio) (SEMENTES BREJEIRO, 2017). A adubação da soja ocorreu conforme as recomendações de Raij et al., (1996), do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), sendo utilizado para ambos os anos, a quantidade de 250 kg.ha⁻¹, porém com formulação 04-30-10 (N – P₂O₅ – K₂O) para o ano 2013/14 e formulação de 08-28-16 para o ano agrícola 2014/15. As suas sementes foram inoculadas com as estirpes SEMIA 5019 (*Bradyrhizobium elkanii*) e SEMIA 5079 (*Bradyrhizobium japonicum*), visando melhorar a capacidade da fixação biológica do nitrogênio com doses de 2 ml.ha⁻¹.

O controle das plantas daninhas foi realizado com a aplicação do clorimuron etílico + glifosato na dosagem de 10 + 1260 g do i.a.ha⁻¹ durante a expansão do quinto trifólio; já a aplicação do Mo via foliar, ocorreu durante o estágio V8, quando expandidos completamente sete trifólios, por meio de um pulverizador costal com 350 L.ha⁻¹ de calda.

2.2.2. Variáveis analisadas

Foram analisadas, além da produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹] variáveis biométricas: estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], altura da planta (APL) [cm], número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de 1000 grãos (MG) [g]; e variáveis nutricionais das folhas, sendo elas: os teores de nitrogênio (TN) [g.kg⁻¹], fósforo (TP) [g.kg⁻¹], potássio (TK) [g.kg⁻¹], cálcio (TCa) [g.kg⁻¹], magnésio (TMg) [g.kg⁻¹], enxofre (TS) [g.kg⁻¹]; cobre (TCu) [mg.kg⁻¹]; zinco (TZn) [mg.kg⁻¹]; manganês (TMn) [mg.kg⁻¹] e molibdênio (TMo) [mg.kg⁻¹]; totalizando 18 variáveis avaliadas.

Para avaliação do teor foliar dos nutrientes, foi realizada a coleta das folhas no momento da expansão do terceiro trifólio durante o estágio R2 em 30 plantas por parcela, sendo posteriormente, as amostras levadas à estufa de circulação forçada por um período de 72 horas à 65°C e moídas no moinho do tipo Wiley (RAIJ et al., 1996; GOES, 2016).

O estande foi determinado por meio da contagem das plantas contidas em 3 m de comprimento nas três linhas centrais, realizando a conversão do número de plantas por hectare.

A altura de inserção foi realizada medindo a distância da inserção da primeira vagem em relação ao colo da planta, já a altura da planta foi calculada com base no colo até o ápice da haste principal em dez plantas por cada parcela.

A massa de 1000 grãos foi obtida pela pesagem de uma amostra contendo 1000 grãos de cada parcela em uma balança de precisão (0,01 g), sendo posteriormente determinada a umidade dos grãos pelo método da estufa ($105 \pm 3^\circ\text{C}$) com uma correção de 13% para a massa obtida, na qual realizou a conversão para área útil da parcela para determinação da produtividade dos grãos (GOES, 2016).

2.2.3. Modelagem *fuzzy*

A partir do experimento conduzido por Goes (2016), em que consistiu na utilização da cultura soja sob diferentes doses de molibdênio com aplicação via foliar e cultivada sob a cobertura vegetal de milho 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.

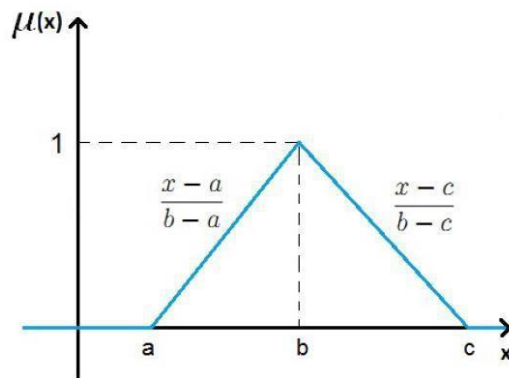
O modelo *fuzzy* proposto é representado por uma função $F: A \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow B \subset \mathbb{R}^{18}$, tal que: $(x_1, x_2) \mapsto F(x_1, x_2) = (y_1, y_2, \dots, y_{18})$, sendo $\mathbb{R}$ o conjunto dos números reais, $A = A_1 \times A_2$ e $B = B_1 \times B_2 \times \dots \times B_{18}$, com $A_1 = [0, 120]$ representando o intervalo real com os limites mínimo e máximo de nitrogênio considerados no experimento, $A_2 = [0, 50]$ o respectivo intervalo de molibdênio e $B_i = [b_i^1, b_i^2]$ o conjunto representado pelas variáveis de saída, com $1 \leq i \leq 18, i \in \mathbb{N}$. O conjunto B_i foi definido pelos valores de máximo e mínimo utilizados no experimento para cada variável de saída associada.

O sistema baseado em regras *fuzzy* (SBRF) foi elaborado por meio de um processador de entrada, com base em regras linguísticas, um método de inferência *fuzzy* e um processador de saída (ou *defuzzificador*), resultando num número real como variável de saída.

Foram utilizadas funções de pertinência do tipo triangular, conforme representado na Equação (1) (CREMASCO; GABRIEL FILHO; CATANEO, 2010), e exemplificado na Figura 3, para determinação das variáveis de entrada, uma vez que, devido à facilidade computacional, permite a manipulação e controle dos dados, além de obter os menores erros de ajustes de modelos matemáticos, passando a função pela média do conjunto dos dados (PEREIRA FILHO, 1999; BOSO, 2018).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x < b, \\ \frac{x-c}{b-c} & \text{se } b < x < c, \\ 0 & \text{se } x \geq c. \end{cases} \quad (1)$$

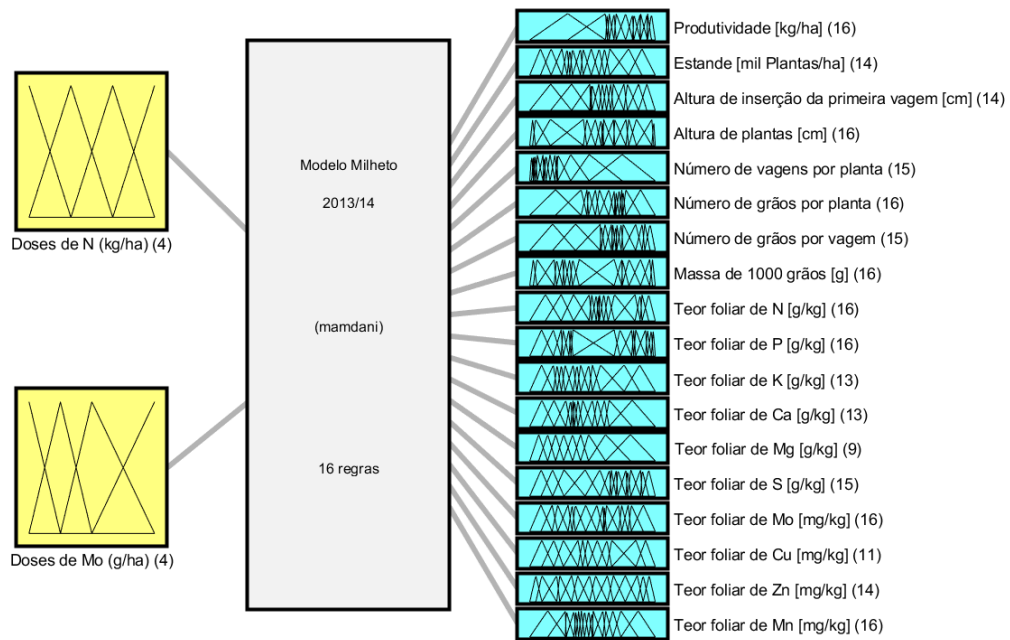
Figura 3 – Exemplificação da função de pertinência do tipo triangular.



Fonte: Silva Neto (2011)

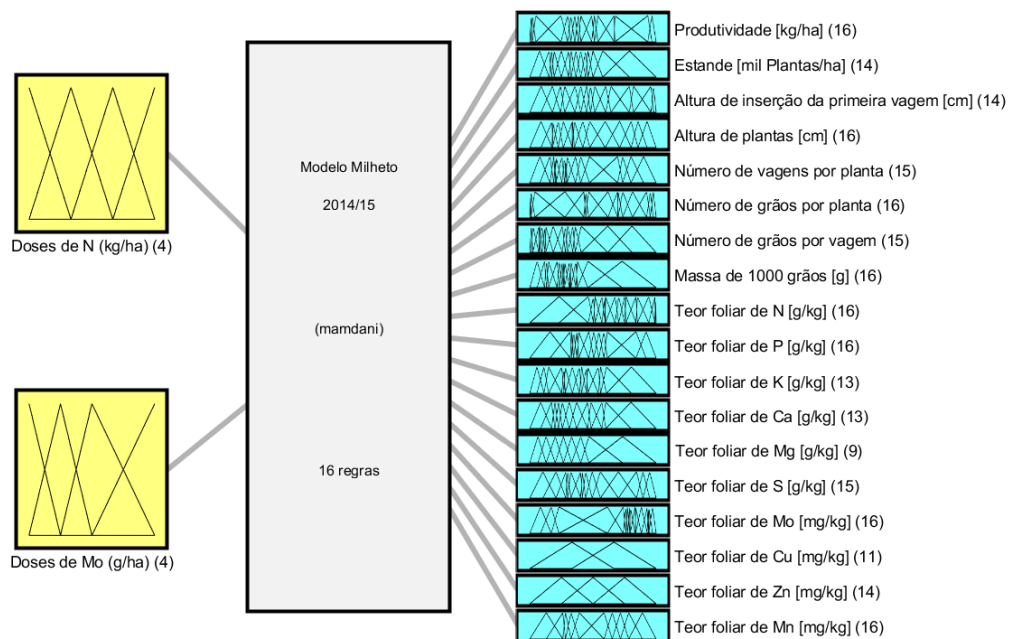
Estão representados nas Figuras 5 e 6, o SBRF pela função $F = A \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^{18}$ tal que $F(x_1, x_2) = (f_1(x_1, x_2), f_2(x_1, x_2), \dots, f_{18}(x_1, x_2))$ sendo o domínio representado pelo produto dos planos cartesianos doses de nitrogênio, $A_1 = [0, 120]$ e doses de molibdênio $A_2 = [0, 50]$ e o contradomínio constituído em $\mathbb{R}^{18}$, estando este, associados às variáveis de saída: teor foliar dos nutrientes, variáveis biométricas e produtividade de grãos da soja, para os anos agrícolas 2013/14 e 2014/15 respectivamente.

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 milheto no ano safra 2013/14.



Fonte: Elaborada pelo autor.

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 milheto no ano safra 2014/15.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conjunto fuzzy das variáveis de entrada

Para elaboração do conjunto *fuzzy* das variáveis de entrada do tipo triangular, foi desenvolvido o SBRF das variáveis; Nitrogênio e Molibdênio, sendo ambos constituídos de quatro conjuntos denominados por C_1 , C_2 , C_3 e C_4 para respectivas dosagens de N e Mo, e suas extremidades classificadas por $[p_{i-1}, p_i, p_{i+1}]$, para qual p_0 e p_5 são extremidades expressar por $p_0 = p_1 - (p_2 - p_1) = 2p_1 - p_2$ e $p_5 = p_4 + (p_4 - p_3) = 2p_4 - p_3$, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Definição das funções de pertinência triangulares da variável de entrada.

Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
C_1	Triangular	$[p_0, p_1, p_2]$
C_2	Triangular	$[p_1, p_2, p_3]$
C_3	Triangular	$[p_2, p_3, p_4]$
C_4	Triangular	$[p_3, p_4, p_5]$

Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com o delineamento experimental adotado, foram propostas 4 doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg.ha⁻¹) e 4 doses de molibdênio (0; 12,5; 25 e 50 g.ha⁻¹). Sendo assim, as entradas do sistema *fuzzy* serão definidas pelas variáveis nitrogênio e molibdênio, e terão respectivamente os seguintes conjuntos *fuzzy* associados: A_{1j} e A_{2j} , com $1 \leq j \leq 4$, $j \in \mathbb{N}$. Tais conjuntos *fuzzy* são definidos na forma de números *fuzzy*, tendo portando somente um ponto com grau de pertinência 1, e podendo ser definidos com somente três pontos, a saber:

- **a**: ínfimo do suporte da função de pertinência associado ao conjunto *fuzzy*;
- **b**: ponto com grau de pertinência 1;
- **c**: máximo do suporte da função de pertinência associado ao conjunto *fuzzy*.

Sendo assim, estabelece-se todos conjuntos *fuzzy* A_i^1 e A_i^2 denotando todos delimitadores das funções de pertinência associadas da forma $A_i^r: [a_i^r, b_i^r, c_i^r]$ com $1 \leq r \leq 2$, $1 \leq i \leq 4$, $r, i \in \mathbb{N}$. A definição de tais delimitadores é feita da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 \Delta_1 &= 40, \Delta_2 = 12.5 \\
 b_i^1 &= \Delta_1(i - 1), \quad i = 1, 2, 3, 4 \\
 b_i^2 &= \Delta_2(i - 1), \quad i = 1, 2, 3 \\
 b_4^2 &= 50 \\
 a_{i+1}^r &= b_i^r, c_i^r = b_{i+1}^r, \quad i = 1, 2, 3 \\
 a_1^r &= b_1^r - (b_2^r - b_1^r), c_4^r = b_4^r + (b_4^r - b_3^r).
 \end{aligned}$$

Estão apresentados nas Tabelas 2 e 3, as funções de pertinência das variáveis de entrada, N e Mo respectivamente, cujos os valores numéricos foram retirados da análise experimental realizada por Goes (2016), referente as diferentes dosagens de 0, 40, 80 e 120 kg.ha^{-1} para nitrogênio e 0, 12.5, 25 e 50 g.ha^{-1} para molibdênio.

Tabela 2 – Definição da função de pertinência da variável de entrada nitrogênio.

Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
C_1	Triangular	$[-40, 0, 40]$
C_2	Triangular	$[0, 40, 80]$
C_3	Triangular	$[40, 80, 120]$
C_4	Triangular	$[80, 120, 160]$

Fonte: Elaborada pelo autor.

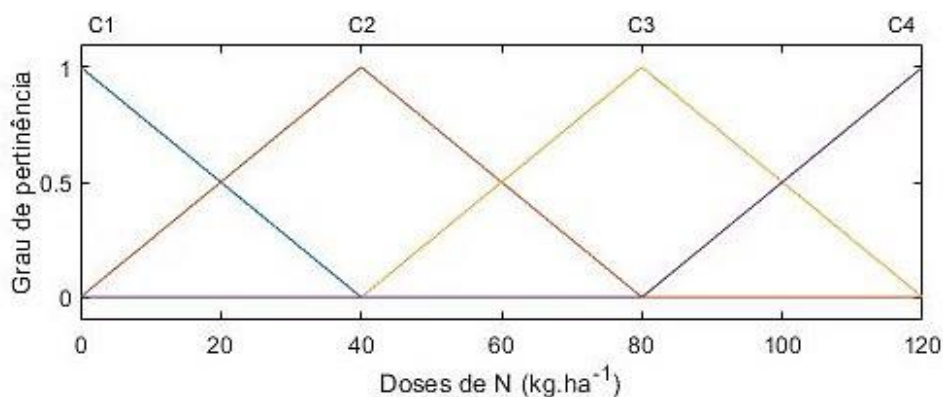
Tabela 3 - Definição da função de pertinência da variável de entrada molibdênio.

Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
C_1	Triangular	$[-12,5; 0; 12,5]$
C_2	Triangular	$[0; 12,5; 25]$
C_3	Triangular	$[12,5; 25; 50]$
C_4	Triangular	$[25; 50; 75]$

Fonte: Elaborada pelo autor.

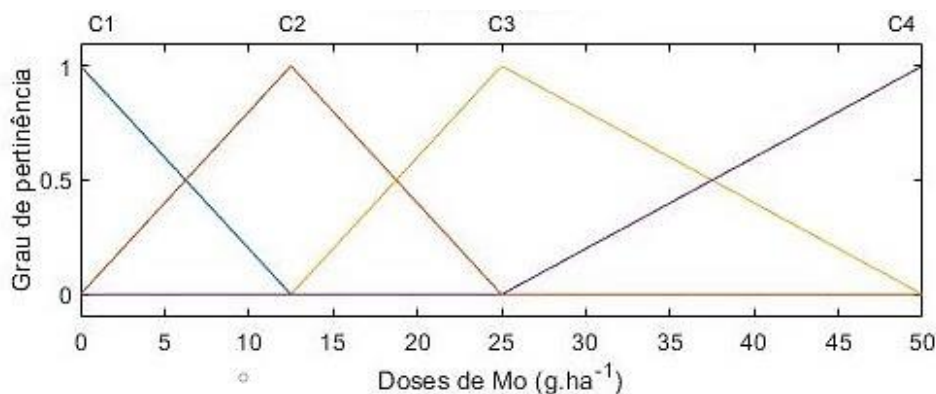
Estão representados nas Figuras 6 e 7, as funções de pertinência das variáveis de entrada, N e Mo respectivamente.

Figura 6 – Função de pertinência da variável de entrada nitrogênio.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 7 – Função de pertinência da variável de entrada molibdênio.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conjunto fuzzy das variáveis de saída

Foram utilizadas funções de pertinência do tipo triangular para representar as variáveis de saída, assim como, nas variáveis de entrada, justificando-se pela facilidade computacional para manipulação dos dados, além de resultar nos menores erros estatísticos de ajustes de modelos (PEREIRA FILHO, 1999).

Uma vez que no delineamento experimental adotado existem dois fatores de 4 níveis (4 doses de nitrogênio e 4 doses de molibdênio), estabeleceu-se 16 tratamentos. Cada tratamento está relacionado à uma (1) média de cada variável. Sendo assim, propõe-se inicialmente o estabelecimento de 16 conjuntos *fuzzy* para cada variável de saída, denotados por C_i^j , com $1 \leq i \leq 16$ e $1 \leq j \leq 18$, $i, j \in \mathbb{N}$, uma vez que este presente modelo possui 18 variáveis de saída.

Todavia, para variáveis que possuam médias de quaisquer dois tratamentos idênticas, somente um único conjunto *fuzzy* foi associado. Logo, se k_j é o número de médias distintas entre os tratamentos em cada variável de saída, tem-se a proposição agora efetiva de k_j conjuntos *fuzzy* para cada variável de saída, denotados por $C_{k_j}^j$, com $1 \leq k_j \leq 16$ e $1 \leq j \leq 18$, $j, k_j \in \mathbb{N}$.

Tais conjuntos *fuzzy* são definidos na forma de números *fuzzy*, tendo portando somente um ponto com grau de pertinência 1, e sendo definidos com somente três pontos, a saber:

- **a**: ínfimo do suporte da função de pertinência associado ao conjunto *fuzzy*;
- **b**: ponto com grau de pertinência 1;
- **c**: máximo do suporte da função de pertinência associado ao conjunto *fuzzy*.

Sendo assim, estabelece-se todos conjuntos *fuzzy* $C_{k_j}^j$ denotando todos delimitadores das funções de pertinência associadas da forma $C_{k_j}^j : [a_{k_j}^j, b_{k_j}^j, c_{k_j}^j]$ com $1 \leq k_j \leq 16$ e $1 \leq j \leq 18, j, k_j \in \mathbb{N}$.

Definindo para cada $j, 1 \leq j \leq 18, j \in \mathbb{N}$, o conjunto $\{m_k^j\}_{k=1}^{k=k_j}$, com $m_k^j \leq m_{k+1}^j$, $1 \leq k \leq 15$, formado pelas k_j médias distintas da variável j , a definição dos delimitadores dos conjuntos $C_{k_j}^j$ (Tabela 4) é feita para todos $j, 1 \leq j \leq 18, j \in \mathbb{N}$, da seguinte forma:

$$\begin{aligned} b_k^j &= m_k^j, 1 \leq k \leq k_j \\ a_{k+1}^j &= b_k^j, \quad c_k^j = b_{k+1}^j, \quad 1 \leq k < k_j \\ a_1^j &= b_1^j - (b_2^j - b_1^j), \quad c_{k_j}^j = b_{k_j}^j + (b_{k_j}^j - b_{k_j-1}^j). \end{aligned}$$

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.

Conjunto <i>fuzzy</i>	Delimitadores		
C_1	$[a_1^j, b_1^j, c_1^j]$	=	$[b_1^j - (b_2^j - b_1^j), b_1^j, b_2^j]$
C_2^j	$[a_2^j, b_2^j, c_2^j]$	=	$[b_1^j, b_2^j, b_3^j]$
C_3^j	$[a_3^j, b_3^j, c_3^j]$	=	$[b_2^j, b_3^j, b_4^j]$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$
$C_{k_j-1}^j$	$[a_{k_j-1}^j, b_{k_j-1}^j, c_{k_j-1}^j]$	=	$[b_{k_j-2}^j, b_{k_j-1}^j, b_{k_j}^j]$
$C_{k_j}^j$	$[a_{k_j}^j, b_{k_j}^j, c_{k_j}^j]$	=	$[b_{k_j-1}^j, b_{k_j}^j, b_{k_j}^j + (b_{k_j}^j - b_{k_j-1}^j)]$

Fonte: Elaborada pelo autor.

Base de regras

A base de regras consiste na associação do par ordenado (A_i^1, A_p^2) , $1 \leq p \leq 4$, $1 \leq i \leq 4, p, i \in \mathbb{N}$ de conjuntos *fuzzy* de entrada de cada um dos 16 tratamentos à algum conjunto *fuzzy* de saída $C_{k_j}^j$, para cada variável $j, 1 \leq j \leq 18, j \in \mathbb{N}$, feito por meio da identificação da média $m_{j, k_{ip}}$ do tratamento relacionado ao par ordenado (A_i^1, A_p^2) de conjuntos de entrada, que por sua vez, fica associado ao conjunto *fuzzy* de saída $C_{k_{ip}}^j$ (Tabela 5).

Tabela 5 - Base de regras do sistema *fuzzy* relativa à j -ésima variável de saída do SBRF, $1 \leq j \leq 18, j \in \mathbb{N}$

Regra	Conjuntos <i>Fuzzy</i> de Entrada	Conjuntos <i>Fuzzy</i> de Saída
1	(A_1^1, A_1^2)	$(C_{k_{11}}^1, C_{k_{11}}^2, \dots, C_{k_{11}}^{18})$
2	(A_1^1, A_2^2)	$(C_{k_{12}}^1, C_{k_{12}}^2, \dots, C_{k_{12}}^{18})$
3	(A_1^1, A_2^3)	$(C_{k_{13}}^1, C_{k_{13}}^2, \dots, C_{k_{13}}^{18})$
4	(A_1^1, A_2^4)	$(C_{k_{14}}^1, C_{k_{14}}^2, \dots, C_{k_{14}}^{18})$
5	(A_2^1, A_1^2)	$(C_{k_{21}}^1, C_{k_{21}}^2, \dots, C_{k_{21}}^{18})$
6	(A_2^1, A_2^2)	$(C_{k_{22}}^1, C_{k_{22}}^2, \dots, C_{k_{22}}^{18})$
7	(A_2^1, A_2^3)	$(C_{k_{23}}^1, C_{k_{23}}^2, \dots, C_{k_{23}}^{18})$
8	(A_2^1, A_2^4)	$(C_{k_{24}}^1, C_{k_{24}}^2, \dots, C_{k_{24}}^{18})$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
16	(A_4^1, A_4^2)	$(C_{k_{44}}^1, C_{k_{44}}^2, \dots, C_{k_{44}}^{18})$

Fonte: Elaborada pelo autor.

Método de inferência e defuzzyficação

Foi utilizado o Método de Mamdani para realização do processo de inferência e *defuzzyficação* de associação das variáveis de saída por meio da base de regras, calculando-se com base no centro de massa, conforme a Equação (2), em que m_k representa o centro do conjunto *fuzzy* B_k (MAMDANI; ASSILIAN, 1975; CAO; REES; FENG, 2001; BELARBI et al., 2005).

$$u = \frac{\sum_{k=1}^m m_k \mu_{B_k}(u)}{\sum_{k=1}^m \mu_{B_k}(u)} \quad (2)$$

Softwares utilizados

Utilizou-se a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox*, do software MATLAB®, licenciado para uso pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Campus de Tupã para elaboração dos gráficos e das funções de pertinência, além do uso de planilhas eletrônicas (Microsoft EXCEL) e o software MINITAB® para realização das análises estatísticas.

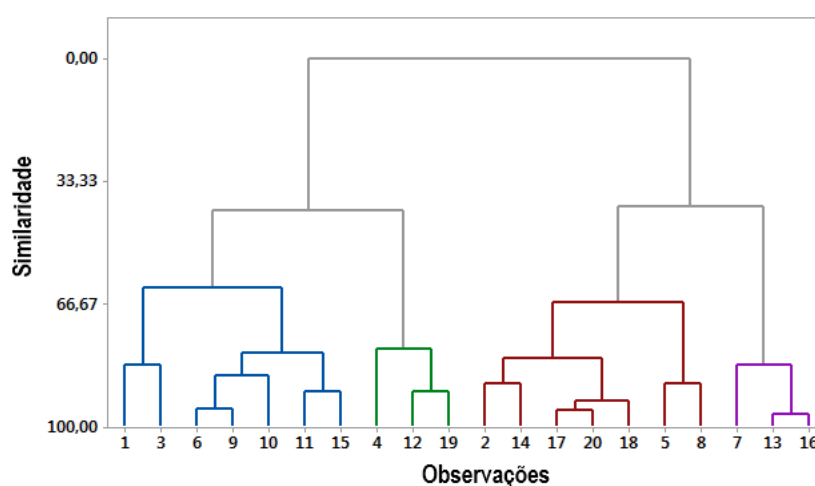
2.2.4. Análise Multivariada

Foi determinado o grau de relacionamento entre as variáveis estudadas por meio da análise multivariada, verificando o grau de similaridade e dissimilaridade entre as mesmas em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio.

A análise multivariada consiste na extração e no processamento de informações de conjuntos com grandes quantidades de dados (YAMANISHI et al., 2018), formando grupos reduzidos com base na similaridade e dissimilaridade entre as variáveis (MAIONE; BARBOSA; BARBOSA, 2019), entendendo, desse modo, a influência de múltiplas variáveis $\times$ simultaneamente em y (GRECH; CALLEJA, 2018; MAIONE; BARBOSA; BARBOSA, 2019).

A utilização da técnica de análise de dados multivariada permite estimar a importância das variáveis em relação ao processo de classificação de dados, identificando as variáveis que prejudicam o desempenho do modelo (CHANDRASHEKAR; SAHIN, 2014). Desta maneira, se estabelece a relação entre as variáveis, formando grupos, conhecidos como *clusters*, para elaboração do dendrograma, como ilustrado na Figura 8 (FORINA et al., 2007; CHONG; LEE; LING, 2013).

Figura 8 – Demonstração de dendrograma.



Fonte: MINITAB (2019)

O grau de similaridade é calculado com base na distância entre as variáveis, estando diretamente relacionada ao grau de correlação entre as mesmas. A exemplo, se tivermos um grau de correlação entre duas variáveis de 0,879, sua distância no dendrograma, será calculada por meio da subtração de uma unidade, ou seja, $1 - 0,879 = 0,121$, ou seja, quanto maior for

o grau de correlação entre as variáveis, menor será seu distanciamento na apresentação gráfica do dendrograma.

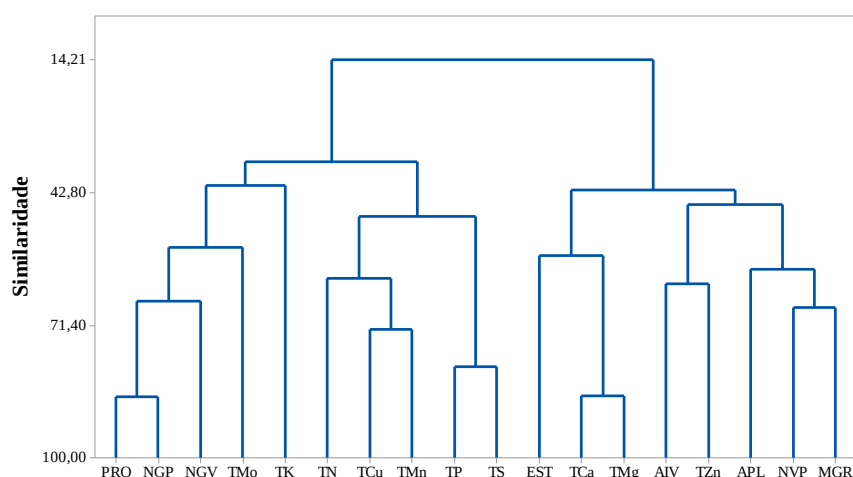
2.3 Resultados e Discussão

Os resultados foram descritos conforme os modelos *fuzzy* elaborados para as 18 variáveis de saída da cultura da soja, referente aos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15, em relação ao comportamento das mesmas, frente à aplicação de diferentes doses de nitrogênio sob a cobertura vegetal e diferentes doses de molibdênio aplicada via foliar na cultura em sucessão, cultivada sob SPD.

2.3.1 Análise Multivariada

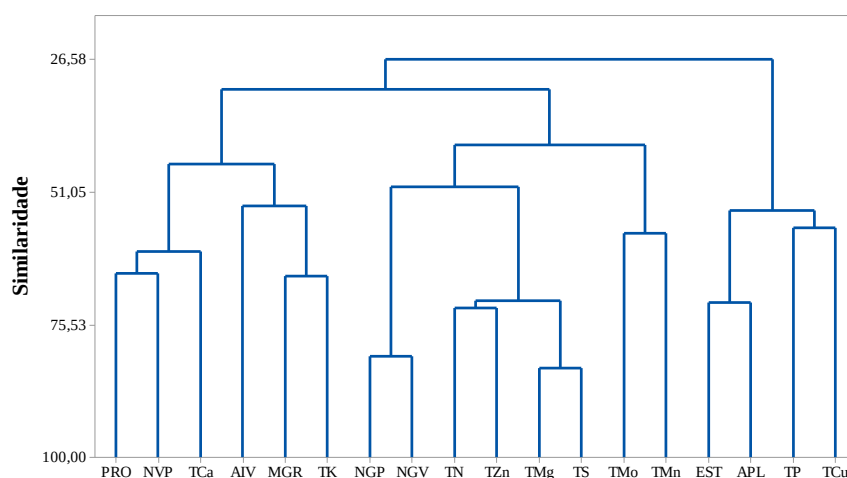
Foi elaborada a análise multivariada das variáveis de saída da cultura da soja em relação a cobertura vegetal de milho para os anos agrícolas de 2013/14 e 2014/15, por meio da correlação de Pearson com significância de 5%. Os níveis de similaridade entre as variáveis, estão representados nas Figuras 9 e 10, por meio do dendrograma, a seguir.

Figura 9 – Dendrograma das variáveis de saída da cultura da soja, do ano agrícola 2013/14 para a cobertura vegetal de milho.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 10 – Dendrograma das variáveis de saída da cultura da soja, do ano agrícola 2014/15 para a cobertura vegetal de milho.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A análise gráfica do dendrograma representa a formação de grupos de variáveis com níveis de similaridade em relação ao comportamento frente às diferentes dosagens de nitrogênio e molibdênio que foram utilizadas no experimento, ao passo que, quanto mais alto for o grau de similaridade, menor será o número de variáveis agrupadas, ocasionando na formação de um maior número de grupos e do mesmo modo, ao passo que diminui o grau de similaridade, ocorre a formação de números menores de grupos, porém com maior quantidade de variáveis agrupadas.

A posição ocupada pelas variáveis no gráfico de dendrograma, se baseia no coeficiente de correlação de Pearson, de modo que, quanto maior for o grau de correlação entre as mesmas, maior será a proximidade entre elas, por outro lado, a exemplo as variáveis, produtividade (PRO) e número de grãos por planta (NGP), na Figura 9, com coeficiente de 0,737, sendo a distância, resultado da diferença de uma (1) unidade, $1 - 0,737 = 0,263$. Por outro lado, a distância entre as variáveis PRO e MGR, é resultado da diferença entre 1 e 0,290, resultando em 0,710, evidenciado no dendrograma a distância entre ambas.

Para análise complementar do dendrograma, são trazidos os passos de Amalgamação na Tabela 6, demonstrando o número de variáveis agrupadas a cada passo a nível de similaridade. A distância entre os grupos formados, caracteriza a relevância quanto à quantidade de *cluster* necessários para o agrupamento, a medida em que ocorre uma mudança abrupta entre os passos.

Tabela 6 – Passos de Amalgamação das variáveis de saída da cultura da soja para a cobertura vegetal de milheto.

2013/14				2014/15			
Passo	Agrupados	Similaridade	Distância	Passo	Agrupados	Similaridade	Distância
1	17	86,85	0,26	1	17	83,40	0,33
2	16	86,48	0,27	2	16	81,33	0,37
3	15	80,28	0,39	3	15	72,33	0,55
4	14	72,23	0,55	4	14	71,33	0,57
5	13	67,50	0,64	5	13	71,07	0,57
6	12	66,22	0,67	6	12	66,46	0,67
7	11	62,48	0,75	7	11	65,97	0,68
8	10	61,29	0,77	8	10	61,93	0,76
9	9	59,26	0,81	9	9	58,65	0,82
10	8	56,27	0,87	10	8	57,69	0,84
11	7	54,60	0,90	11	7	54,34	0,91
12	6	47,87	1,04	12	6	53,54	0,92
13	5	45,36	1,09	13	5	50,09	0,99
14	4	42,20	1,15	14	4	45,87	1,08
15	3	41,18	1,17	15	3	42,26	1,15
16	2	36,13	1,27	16	2	32,18	1,35
17	1	14,20	1,71	17	1	26,57	1,46

Fonte: Elaborada pelo autor.

Observa-se na Tabela 6, anteriormente, o aumento relativo da distância entre os agrupamentos formados ao longo de cada passo. Por exemplo, para o ano 2013/14, entre o passo 1 e 16 nota-se um aumento médio de 0,07 a cada passo, já quando ocorre o avanço do passo 16 para o 17, percebe-se uma mudança abrupta da distância, de aproximadamente 0,44, o que pode representar uma região a ser seccionada no dendrograma, referindo-se a uma quantidade necessária de *cluster*, para um nível de similaridade de 36,13% entre as variáveis. Já em relação ao ano 2014/15, nota-se uma mudança abrupta entre o passo 15 e 16, para uma formação de 3 *clusters*, com similaridade de 42,26% entre as variáveis.

Por sua vez, a distância entre as variáveis na representação gráfica do dendrograma, dá-se por meio da correlação de Pearson, sendo que, à medida que existe um maior grau de correlação entre as variáveis, menor será a distância entre as mesmas.

Observa-se nas Tabelas 7 e 8, a correlação de Pearson entre as variáveis analisadas para a cultura da soja em relação a cobertura vegetal de milheto, para o nível de significância de 5%, para os anos 2013/14 e 2014/15 respectivamente.

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).

	PRO	EST	AIV	APL	NVP	NGP	NGV	MGR	TN	TP	TK	TCa	TMg	TS	TMo	TCu	TZn
EST	-																
AIV	-	-															
APL	-	-	-														
NVP	-	-	-	-													
NGP	0,737	-	-	0,287	0,292												
NGV	0,324	-	-	-	-0,716	0,411											
MGR	0,290	-	-	0,316	0,35	0,323	-										
TN	-	-	-	-	-	-	-	-									
TP	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
TK	-	-0,437	-	-	-	-	-	-	-	-							
TCa	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,299	-	-0,354						
TMg	-	0,296	-	-	-	-	-	-	-0,294	-	-	0,730					
TS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,606	-	-	-				
TMo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
TCu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,361	-0,404	-	-		
TZn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,288	-	-	
TMn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,375	-0,297	-	-	0,445	0,387

Legenda: Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm], Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [unid.], Teor foliar de nitrogênio (TN) [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo (TP) [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio (TK) [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio (TCa) [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio (TMg) [g.kg⁻¹], Teor foliar de enxofre (TS) [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio (TMo) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre (TCu) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco (TZn) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês (TMn) [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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).

	PRO	EST	AIV	APL	NVP	NGP	NGV	MGR	TN	TP	TK	TCa	TMg	TS	TMo	TCu	TZn
EST	-																
AIV	-	-															
APL	-	0,427	-														
NVP	0,319	-	-	-													
NGP	-	-	-	-	0,569												
NGV	-	-	-	-	-	0,627											
MGR	-	-	-	-0,365	-	-	-										
TN	-	-0,287	-	-	-	-	-	0,372									
TP	-0,392	-	-	-	-	-	-	-0,468	-								
TK	-	-	-	-	-	-	-	0,329	-	-							
TCa	0,295	-0,316	-	-	-	0,393	-	-	-	-0,286	-						
TMg	-	-0,353	-	-0,301	-	-	-	0,415	0,426	-0,296	-	0,487					
TS	-	-0,445	-	-	-	-	-	0,388	0,500	-	-	0,300	0,668				
TMo	-	-	-	-	-0,356	-	0,284	-	-	-	-	-	-	-			
TCu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
TZn	-	-	-	-	-	-	-	0,311	0,447	-	-	-	0,422	0,503	-	-	
TMn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Legenda: Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm], Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [unid.], Teor foliar de nitrogênio (TN) [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo (TP) [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio (TK) [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio (TCa) [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio (TMg) [g.kg⁻¹], Teor foliar de enxofre (TS) [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio (TMo) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre (TCu) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco (TZn) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês (TMn) [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota-se na Tabela 7, o alto grau de correlação entre as variáveis PRO e NGP, sendo demonstrada pela proximidade entre ambas, na análise gráfica do dendrograma (Figura 9); já por sua vez, a correlação negativa de 0,716 entre as variáveis NVP e NGV, explica o seu distanciamento gráfico, referente ao ano 2013/14.

Verifica-se, por sua vez, a correlação negativa existente entre o Teor foliar de nitrogênio e as variáveis, Teor foliar de magnésio e Teor foliar de cálcio, sendo de -0,299 e -0,294 respectivamente, já por sua vez, nota-se entre TMg e TCa, uma correlação positiva de 0,730, estando representadas lado a lado no dendrograma da Figura 9.

Já para o segundo ciclo da cultura, verifica-se a correlação (Tabela 8) positiva entre as TMg e TS, demonstrada graficamente no dendrograma (Figura 10), sua proximidade em relação ao grau de similaridade de seus comportamentos. Já a dissimilaridade é notada pela correlação negativa existente entre a variável TP com as variáveis PRO e MGR, -0,392 e -0,468 respectivamente, assim como o distanciamento gráfico das variáveis.

2.3.2 Estatística descritiva das variáveis analisadas

Foi aferida a média para cada variável em função da combinação entre as doses de nitrogênio aplicada em cobertura vegetal e doses de molibdênio aplicada via foliar na cultura da soja, referente aos Ano1 e 2 de realização do experimento, conforme pode ser observado nas Tabelas 9 e 10.

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.

PRO												
	0	12,5	25	50	EST				AIV			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	2804	2768	3548	3544	233,3	209,9	204,9	198,8	14,20	13,50	12,20	14,87
40	3124	3623	3406	3279	206,2	213,6	216,0	191,4	14,70	13,67	13,87	15,80
80	2000	2734	2939	3270	196,3	200,0	218,5	204,9	14,07	13,07	15,40	13,17
120	2897	3411	3262	3270	186,4	213,6	227,2	201,2	12,20	11,20	13,13	13,13

APL					NVP				NGP			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	80,73	75,45	78,20	78,87	69,20	77,90	85,65	69,40	153,3	160,1	205,7	192,4
40	72,23	84,90	67,90	84,50	131,05	108,00	75,90	84,20	174,6	223,0	201,0	193,9
80	56,30	70,80	72,80	72,60	76,60	71,87	80,73	95,10	123,1	170,0	185,7	202,2
120	75,20	59,90	55,60	68,70	67,90	86,10	70,60	76,60	161,9	193,3	193,3	198,0

NGV					MGR				TN			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	2,232	2,066	2,412	2,823	120,8	121,4	128,3	126,4	43,98	39,18	40,27	43,54
40	1,333	2,063	2,703	2,307	125,8	125,8	127,3	121,0	42,72	42,91	45,78	43,24
80	1,682	2,385	2,305	2,131	122,2	120,3	125,1	128,1	42,89	41,14	42,23	45,90
120	2,382	2,246	2,601	2,740	120,1	118,4	118,7	121,7	42,40	46,36	45,41	42,93

TP					TK				TCa			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	8,280	8,429	8,425	8,738	11,50	12,75	11,83	12,25	9,375	8,583	8,417	8,417
40	8,759	8,816	8,437	8,341	11,42	12,00	11,33	11,25	8,000	7,083	7,500	7,375
80	8,747	8,847	8,809	8,379	11,75	11,25	11,00	11,75	8,167	8,167	7,667	7,250
120	8,388	8,839	8,648	8,676	13,08	12,08	11,67	12,00	6,667	6,250	7,083	7,333

TMg					TS				TMo			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	4,500	4,083	4,250	4,250	2,925	2,848	2,948	2,762	5,707	6,502	6,377	6,160
40	4,000	3,667	3,833	3,583	2,905	2,558	2,958	2,493	5,927	6,154	6,342	5,584
80	3,750	3,917	4,083	4,083	2,848	3,109	3,098	3,041	6,075	6,456	5,801	5,369
120	3,583	3,667	3,750	3,667	2,632	3,024	3,005	3,151	5,515	6,653	6,195	5,765

TCu					TZn				TMn			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	11,50	13,00	13,00	14,33	57,50	62,00	56,33	58,33	105,0	120,7	131,3	120,3
40	15,33	14,00	14,33	18,00	62,67	56,33	61,33	62,33	167,3	129,0	160,5	182,0
80	15,33	16,00	16,33	12,33	59,67	60,67	58,67	59,33	136,3	143,7	133,7	140,0
120	14,67	15,33	14,00	18,67	57,67	62,00	60,33	56,67	127,5	152,0	154,5	143,0

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.

PRO					EST				AIV			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	3313	3511	3973	2950	253,1	242,0	237,0	240,7	12,28	14,27	12,53	11,47
40	3251	3366	3458	3651	225,9	246,9	258,0	244,4	12,87	13,73	12,87	13,60
80	3480	2939	3655	3343	240,7	232,1	250,6	249,4	11,92	11,22	12,40	10,87
120	3279	3938	2979	3195	230,9	258,0	271,6	233,3	11,60	14,35	13,03	12,10
APL					NVP				NGP			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	91,50	77,60	82,13	82,38	71,20	76,60	75,00	82,90	191,0	134,7	138,5	136,2
40	86,80	79,20	86,80	88,87	77,33	71,60	70,27	122,30	118,5	163,6	93,0	187,8
80	82,10	84,60	83,60	80,80	68,13	85,90	110,20	91,00	89,7	163,3	163,5	175,9
120	79,27	80,07	90,52	92,80	107,30	115,00	62,27	78,00	193,5	167,5	89,2	155,1
NGV					MGR				TN			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	2,685	1,763	1,831	1,645	164,8	200,5	160,8	164,0	40,83	40,72	38,06	37,05
40	1,535	2,364	1,348	1,535	168,4	168,7	172,3	165,3	37,19	38,92	39,22	38,08
80	1,367	1,901	1,489	1,935	155,6	169,2	173,2	162,3	39,74	37,78	42,40	36,61
120	1,805	1,461	1,453	2,011	153,1	154,3	148,7	179,7	39,85	41,81	34,09	42,35
TP					TK				TCa			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	3,848	3,778	3,781	4,130	16,50	19,58	17,83	13,42	8,333	7,417	8,000	7,667
40	3,913	3,622	3,752	3,760	15,42	17,25	16,08	17,42	8,250	8,333	7,833	8,583
80	3,959	3,790	3,936	3,780	13,42	14,92	16,42	15,92	7,583	7,500	7,667	7,167
120	4,192	3,743	3,878	3,788	14,83	12,92	13,75	14,67	9,250	7,833	8,333	8,667
TMg					TS				TMo			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	3,750	3,333	3,583	4,083	2,643	2,591	2,550	2,546	6,969	7,319	7,428	7,127
40	3,500	3,500	3,417	3,500	2,941	2,456	2,373	2,461	6,827	7,332	4,687	4,897
80	3,333	3,250	3,500	3,500	2,522	2,429	2,753	2,530	6,959	6,750	7,293	6,641
120	3,583	3,417	3,500	3,667	2,861	2,443	2,294	2,895	4,398	6,205	6,808	6,712
TCu					TZn				TMn			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	10,00	10,00	13,33	13,33	50,00	43,33	46,67	46,67	75,00	110,00	123,33	65,00
40	10,00	10,00	10,00	10,00	50,00	50,00	43,33	50,00	75,00	75,00	85,00	80,00
80	10,00	10,00	10,00	10,00	46,67	50,00	50,00	43,33	115,00	105,00	115,00	110,00
120	10,00	10,00	10,00	10,00	43,33	46,67	43,33	50,00	100,00	76,67	110,00	80,00

Na Tabela 11, apresenta-se a análise estatística do Teste F, com base na interação entre a combinação entre os fatores, nitrogênio, molibdênio a combinação entre ambos.

Tabela 11 - Teste F das variáveis de produtividade, biométricas e nutricionais da cultura da soja semeada em palhada de milheto sob SPD.

	Ano 1			Ano 2		
	N	Mo	N × Mo	N	Mo	N × Mo
PRO	7,05 ^{**}	8,16 ^{**}	2,00 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,95 ^{ns}
EST	0,17 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,34 ^{ns}
AIV	5,14 ^{**}	2,19 ^{ns}	1,62 ^{ns}	3,15 [*]	2,52 ^{ns}	1,06 ^{ns}
APL	24,88 ^{**}	5,53 ^{**}	8,28 ^{**}	0,35 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,05 ^{ns}
NVP	20,03 ^{**}	2,23 ^{ns}	9,85 ^{**}	3,10 [*]	3,24 [*]	8,97 ^{**}
NGP	8,50 ^{**}	24,98 ^{**}	3,87 ^{**}	0,25 ^{ns}	3,86 [*]	4,28 ^{**}
NGV	5,84 ^{**}	13,06 ^{**}	3,32 ^{**}	2,22 ^{ns}	2,45 ^{ns}	4,09 ^{**}
MGR	2,44 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,89 ^{ns}	1,35 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,67 ^{ns}
TN	0,76 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,99 ^{ns}
TP	0,50 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,25 ^{ns}
TK	0,82 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,30 ^{ns}	2,99 [*]	0,51 ^{ns}	1,36 ^{ns}
TCa	5,28 ^{**}	0,49 ^{ns}	0,41 ^{ns}	2,27 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,38 ^{ns}
TMg	4,47 ^{**}	0,28 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,16 ^{ns}
TS	1,13 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,76 ^{ns}
TMo	0,32 ^{ns}	3,02 [*]	0,53 ^{ns}	15,51 ^{**}	2,96 [*]	9,17 ^{**}
TCu	4,84 ^{**}	1,71 ^{ns}	2,69 [*]	2,00 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,67 ^{ns}
TZn	0,35 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,16 ^{ns}
TMn	6,74 ^{**}	0,91 ^{ns}	1,28 ^{ns}	24,20 ^{**}	14,60 ^{**}	7,26 ^{**}

^{ns} Não significativo, * e **, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo Teste F.

2.3.3 Modelagem *fuzzy* da cultura da soja

Nesta seção foi descrita a modelagem *fuzzy* das 18 variáveis de saída em relação aos diferentes níveis de nitrogênio utilizado na cobertura vegetal de milheto e diferentes níveis de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja em sucessão, cultivada sob SPD, para os anos de 2013/14 (Ano 1) e 2014/15 (Ano 2).

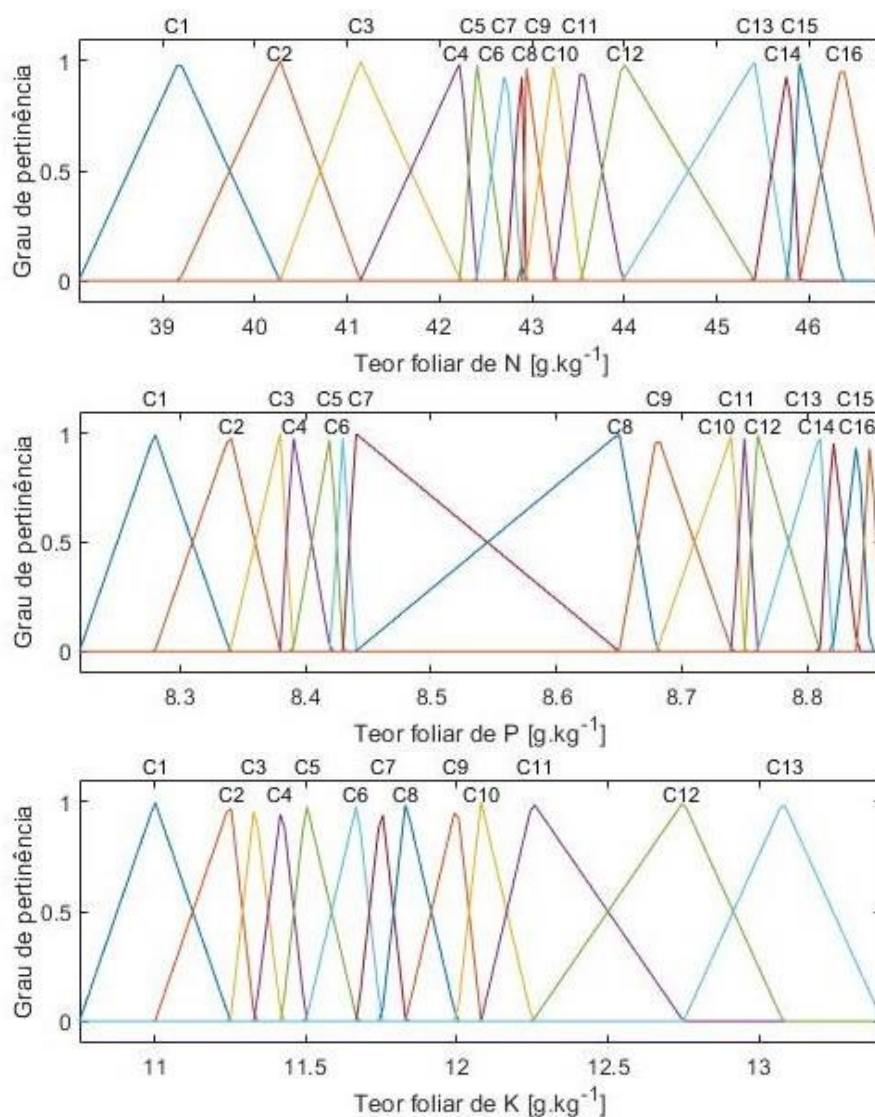
Modelagem fuzzy das variáveis dos teores foliares de nutrientes

Com a definição da base de regras do conjunto *fuzzy* das variáveis de saída referente ao experimento realizado por Goes (2016), foram elaboradas as funções de pertinência dos

conjuntos *fuzzy* de saída dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Mo, Cu, Zn e Mn em relação a diferentes doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg.ha⁻¹) aplicado na cobertura vegetal de milho e diferentes doses de molibdênio (0, 12.5, 25 e 50 g.ha⁻¹) aplicado via foliar na cultura da soja em sucessão sob SPD, para os anos 2013/14 e 2014/15.

Dessa maneira, apresenta-se nas Figuras 11 e 12, as funções de pertinência dos teores foliares nutricionais avaliados para os anos de 2013/14; assim como, os delimitadores das referidas funções de pertinência nas Tabelas 12 e 13.

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.



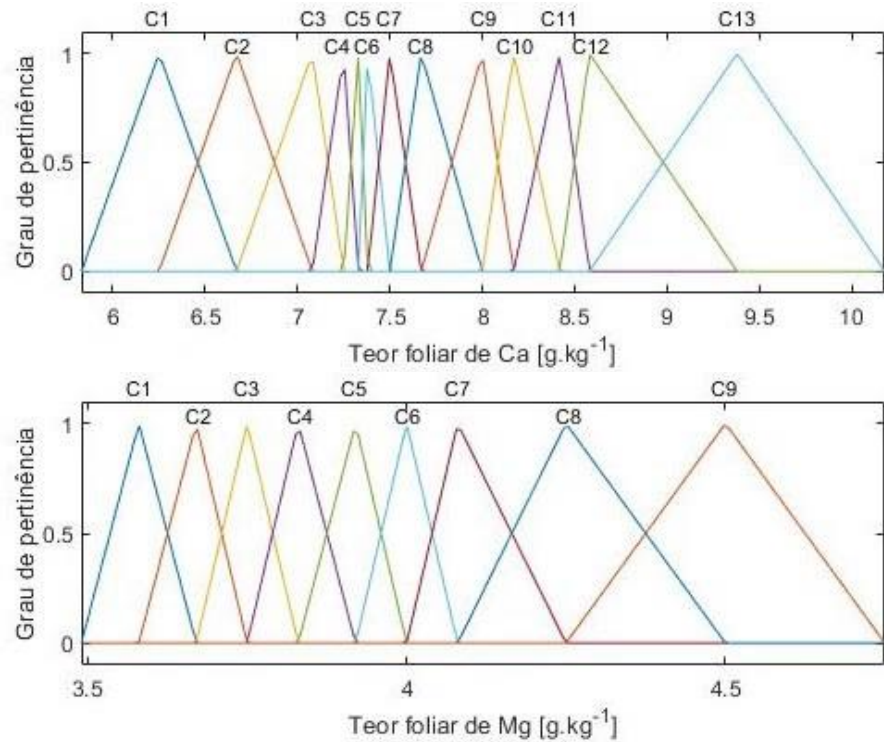
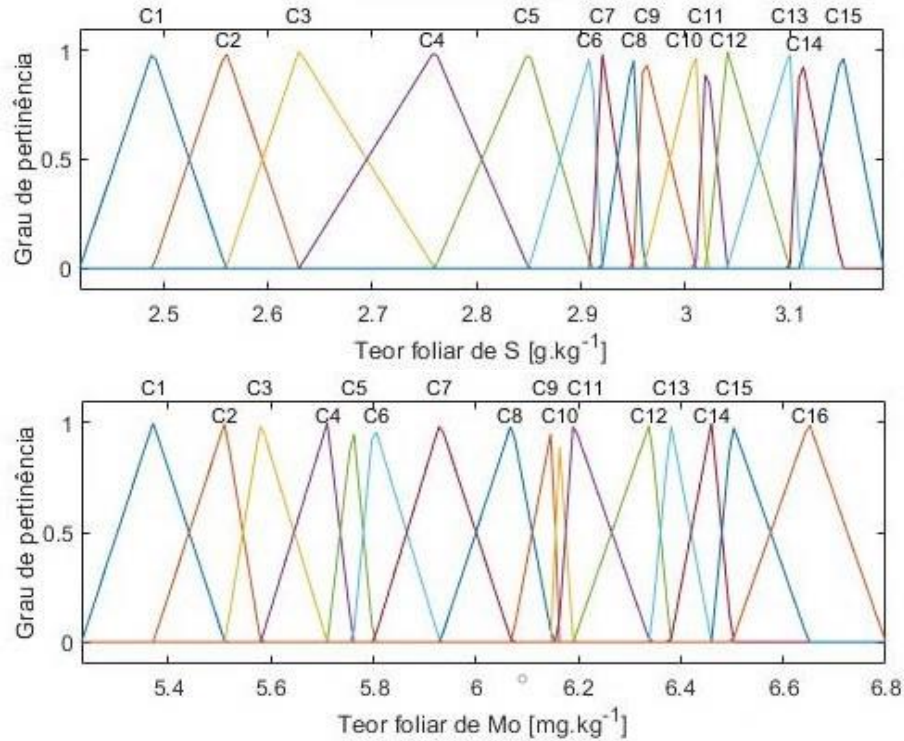


Figura 12 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn avaliados durante o Ano 1 para cobertura vegetal de milho.



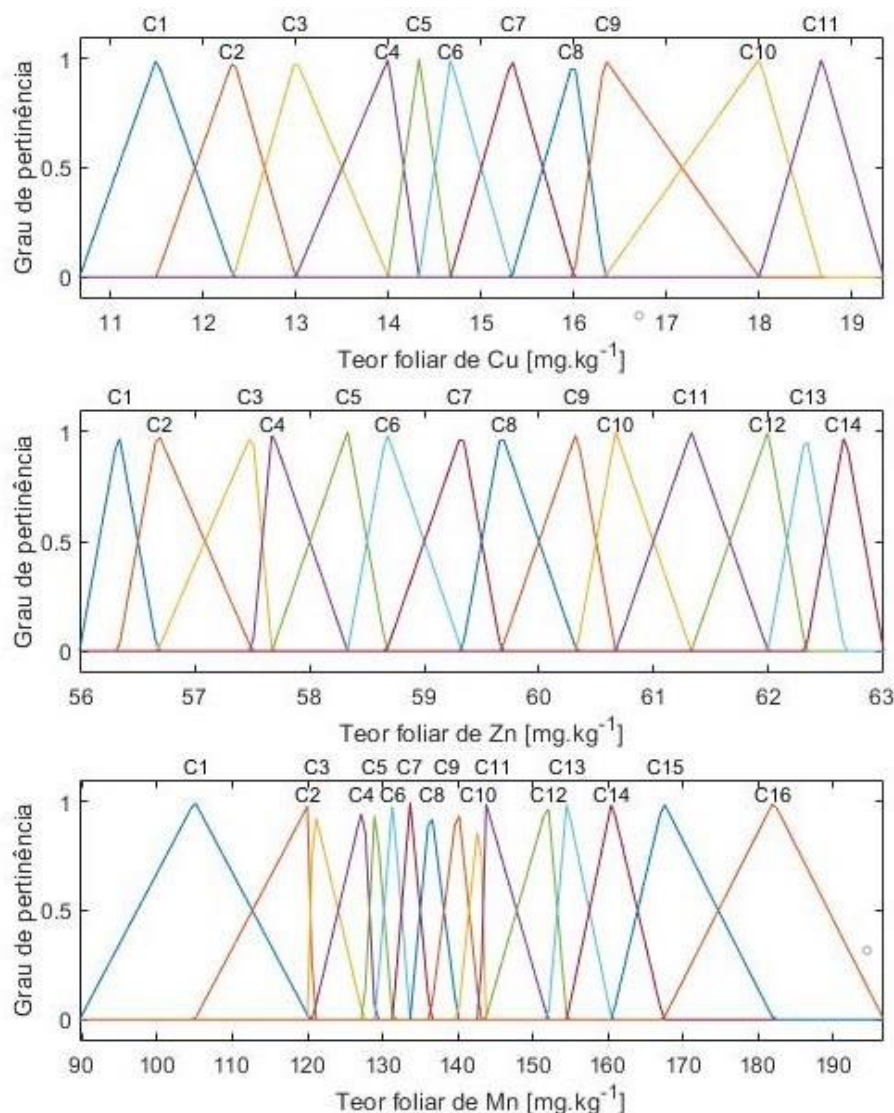


Tabela 12 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto *fuzzy* de saída dos teores de N, P, K, Ca e Mg do Ano 1 para cobertura vegetal de milho.

Conjunto <i>fuzzy</i>	N	P	K	Ca	Mg
C ₁	[38,09; 39,18; 40,27]	[8,22; 8,28; 8,34]	[10,75; 11,00; 11,25]	[5,83; 6,25; 6,67]	[3,49; 3,58; 3,67]
C ₂	[39,18; 40,27; 41,14]	[8,28; 8,34; 8,38]	[11,00; 11,25; 11,33]	[6,25; 6,67; 7,08]	[3,58; 3,67; 3,75]
C ₃	[40,27; 41,14; 42,23]	[8,34; 8,38; 8,39]	[11,25; 11,33; 11,42]	[6,67; 7,08; 7,25]	[3,67; 3,75; 3,83]
C ₄	[41,14; 42,23; 42,40]	[8,38; 8,39; 8,42]	[11,33; 11,42; 11,50]	[7,08; 7,25; 7,33]	[3,75; 3,83; 3,92]
C ₅	[42,23; 42,40; 42,72]	[8,39; 8,42; 8,43]	[11,42; 11,50; 11,67]	[7,25; 7,33; 7,38]	[3,83; 3,92; 4,00]
C ₆	[42,40; 42,72; 42,89]	[8,42; 8,43; 8,44]	[11,50; 11,67; 11,75]	[7,33; 7,38; 7,50]	[3,92; 4,00; 4,08]
C ₇	[42,72; 42,89; 42,91]	[8,43; 8,44; 8,65]	[11,67; 11,75; 11,83]	[7,38; 7,50; 7,67]	[4,00; 4,08; 4,25]
C ₈	[42,89; 42,91; 42,93]	[8,44; 8,65; 8,68]	[11,75; 11,83; 12,00]	[7,50; 7,67; 8,00]	[4,08; 4,25; 4,50]
C ₉	[42,91; 42,93; 43,24]	[8,65; 8,68; 8,74]	[11,83; 12,00; 12,08]	[7,67; 8,00; 8,17]	[4,25; 4,50; 4,75]
C ₁₀	[42,93; 43,24; 43,54]	[8,68; 8,74; 8,75]	[12,00; 12,08; 12,25]	[8,00; 8,17; 8,42]	[3,49; 3,58; 3,67]
C ₁₁	[43,24; 43,54; 43,98]	[8,74; 8,75; 8,76]	[12,08; 12,25; 12,75]	[8,17; 8,42; 8,58]	[3,58; 3,67; 3,75]
C ₁₂	[43,54; 43,98; 45,41]	[8,75; 8,76; 8,81]	[12,25; 12,75; 13,08]	[8,42; 8,58; 9,38]	-
C ₁₃	[43,98; 45,41; 45,78]	[8,76; 8,81; 8,82]	[12,75; 13,08; 13,41]	[8,58; 9,38; 10,18]	-
C ₁₄	[45,41; 45,78; 45,90]	[8,81; 8,82; 8,84]	-	[5,83; 6,25; 6,67]	-
C ₁₅	[45,78; 45,90; 46,36]	[8,82; 8,84; 8,85]	-	[6,25; 6,67; 7,08]	-
C ₁₆	[45,90; 46,36; 46,82]	[8,84; 8,85; 8,86]	-	[6,67; 7,08; 7,25]	-

Legenda: Teor foliar de nitrogênio (TN) [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo (TP) [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio (TK) [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio (TCa) [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio (TMg) [g.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

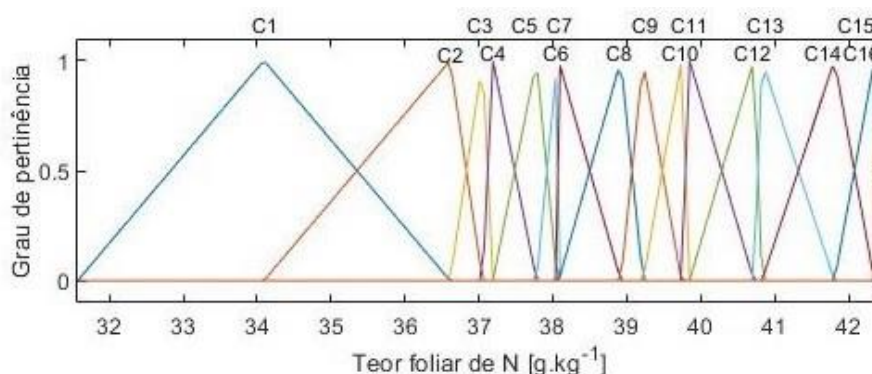
Tabela 13 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto *fuzzy* de saída dos teores de S, Mo, Cu, Zn e Mn do Ano 1 para cobertura vegetal de milho.

Conjunto <i>fuzzy</i>	S	Mo	Cu	Zn	Mn
C ₁	[2,42; 2,49; 2,56]	[5,23; 5,37; 5,51]	[10,67; 11,50; 12,33]	[55,99; 56,33; 56,67]	[89,67; 105,00; 120,33]
C ₂	[2,49; 2,56; 2,63]	[5,37; 5,51; 5,58]	[11,50; 12,33; 13,00]	[56,33; 56,67; 57,50]	[105,00; 120,33; 120,67]
C ₃	[2,56; 2,63; 2,76]	[5,51; 5,58; 5,71]	[12,33; 13,00; 14,00]	[56,67; 57,50; 57,67]	[120,33; 120,67; 127,50]
C ₄	[2,63; 2,76; 2,85]	[5,58; 5,71; 5,76]	[13,00; 14,00; 14,33]	[57,50; 57,67; 58,33]	[120,67; 127,50; 129,00]
C ₅	[2,76; 2,85; 2,91]	[5,71; 5,76; 5,80]	[14,00; 14,33; 14,67]	[57,67; 58,33; 58,67]	[127,50; 129,00; 131,33]
C ₆	[2,85; 2,91; 2,92]	[5,76; 5,80; 5,93]	[14,33; 14,67; 15,33]	[58,33; 58,67; 59,33]	[129,00; 131,33; 133,67]
C ₇	[2,91; 2,92; 2,95]	[5,80; 5,93; 6,07]	[14,67; 15,33; 16,00]	[58,67; 59,33; 59,67]	[131,33; 133,67; 136,33]
C ₈	[2,92; 2,95; 2,96]	[5,93; 6,07; 6,15]	[15,33; 16,00; 16,33]	[59,33; 59,67; 60,33]	[133,67; 136,33; 140,00]
C ₉	[2,95; 2,96; 3,01]	[6,07; 6,15; 6,16]	[16,00; 16,33; 18,00]	[59,67; 60,33; 60,67]	[136,33; 140,00; 143,00]
C ₁₀	[2,96; 3,01; 3,02]	[6,15; 6,16; 6,19]	[16,33; 18,00; 18,67]	[60,33; 60,67; 61,33]	[140,00; 143,00; 143,67]
C ₁₁	[3,01; 3,02; 3,04]	[6,16; 6,19; 6,34]	[18,00; 18,67; 19,34]	[60,67; 61,33; 62,00]	[143,00; 143,67; 152,00]
C ₁₂	[3,02; 3,04; 3,10]	[6,19; 6,34; 6,38]	-	[61,33; 62,00; 62,33]	[143,67; 152,00; 154,50]
C ₁₃	[3,04; 3,10; 3,11]	[6,34; 6,38; 6,46]	-	[62,00; 62,33; 62,67]	[152,00; 154,50; 160,50]
C ₁₄	[3,10; 3,11; 3,15]	[6,38; 6,46; 6,50]	-	[62,33; 62,67; 63,01]	[154,50; 160,50; 167,33]
C ₁₅	[3,11; 3,15; 3,19]	[6,46; 6,50; 6,65]	-	-	[160,50; 167,33; 182,00]
C ₁₆	-	[6,50; 6,65; 6,80]	-	-	[167,33; 182,00; 196,67]

Legenda: Teor foliar de enxofre (TS) [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio (TMo) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre (TCu) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco (TZn) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês (TMn) [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

São apresentadas na Figura 13 as funções de pertinências das variáveis nutricionais dos teores foliares de N, P, K, Ca e Mg, e na Figura 14, as funções de pertinência dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn, ambas referentes ao ano safra 2014/15, assim como os delimitadores das funções de pertinência do referido ano, nas Tabelas 14 e 15, conforme o mesmo agrupamento realizado das variáveis nas Figuras 13 e 14.

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.



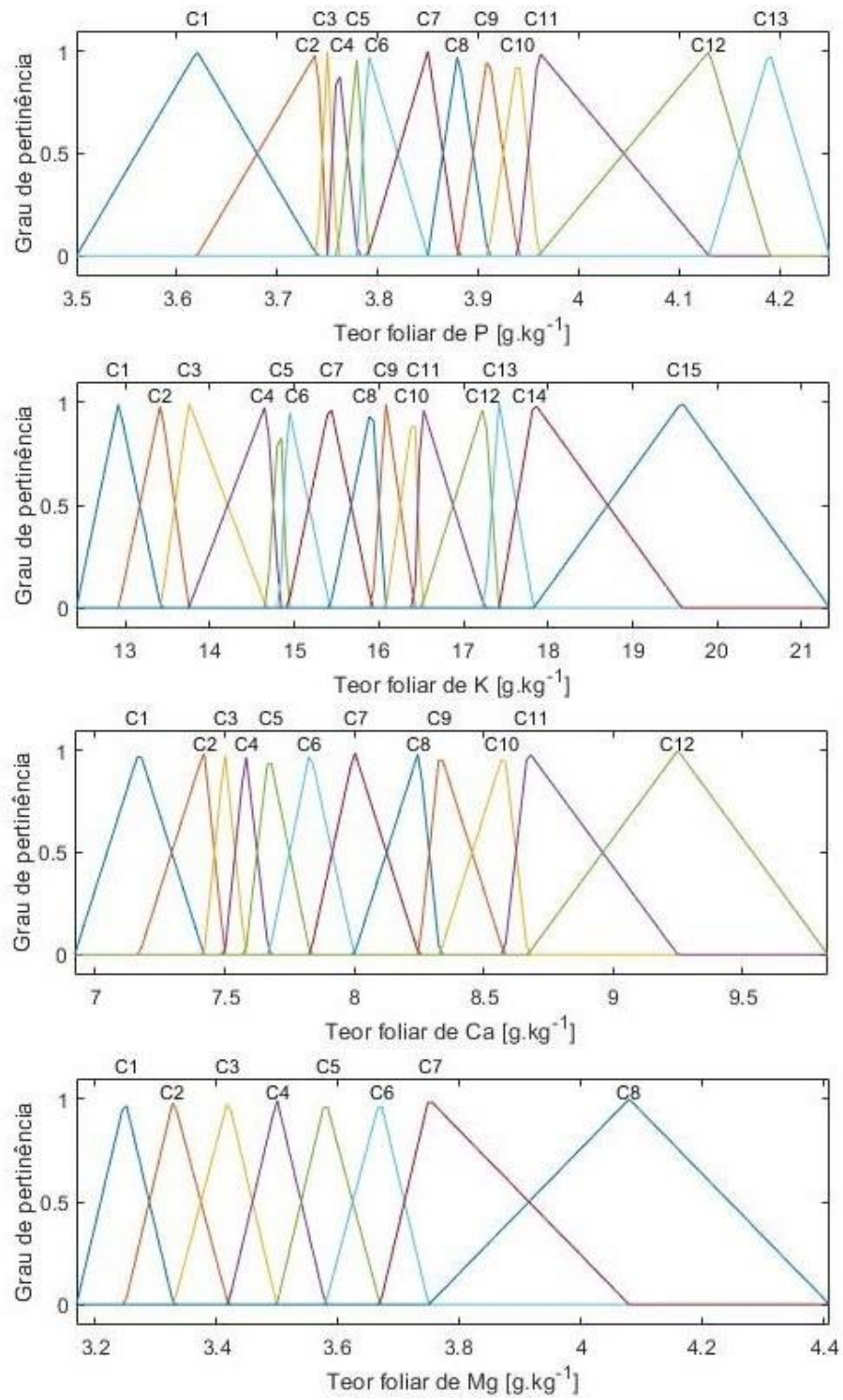
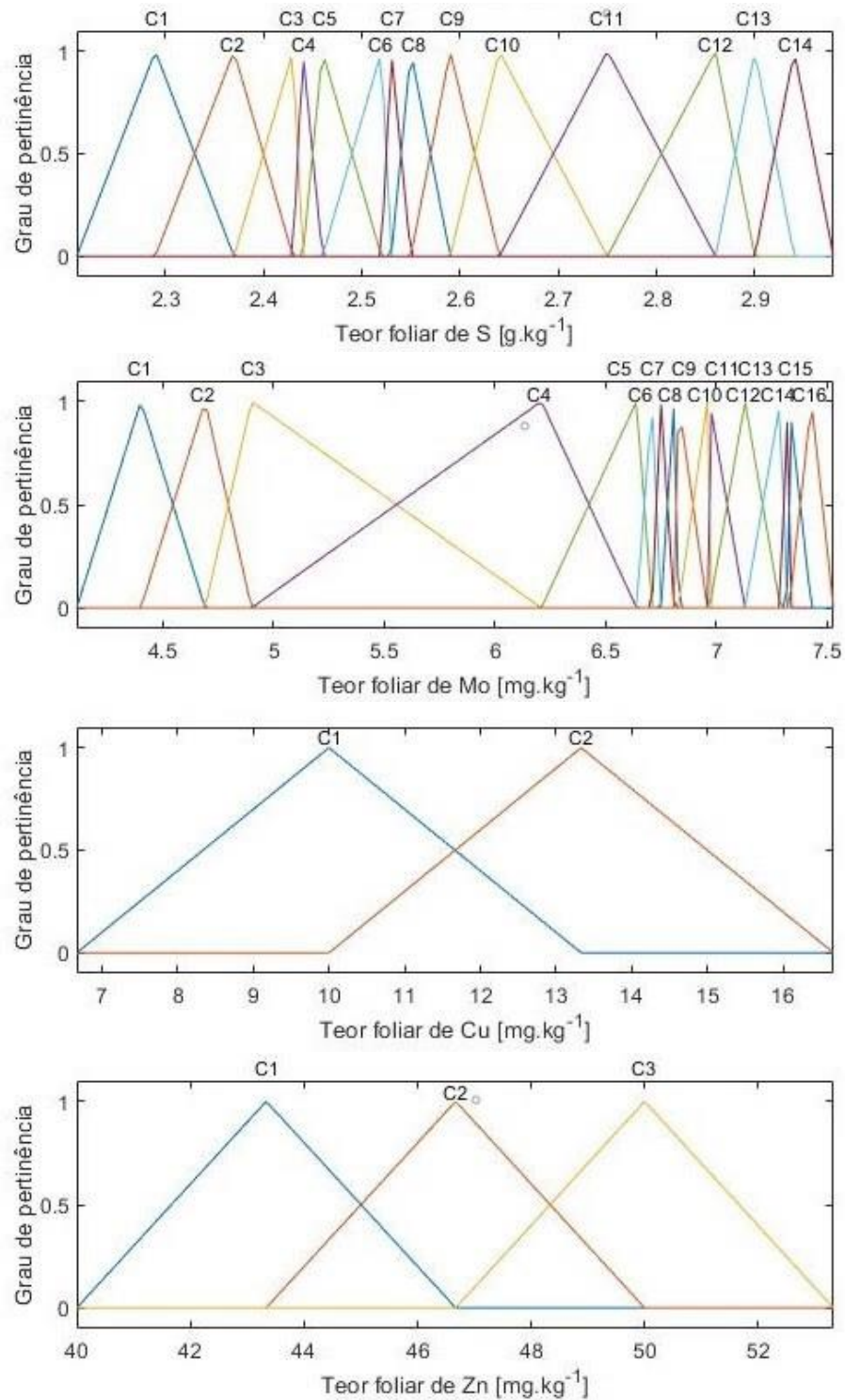


Figura 14 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn avaliados durante o Ano 2 para cobertura vegetal de milho.



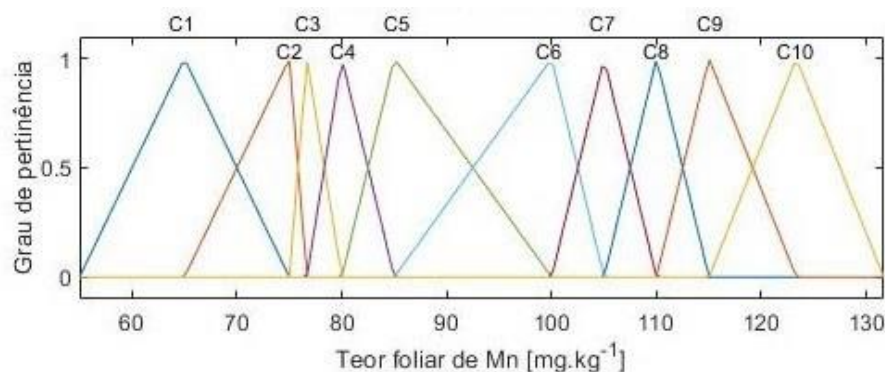


Tabela 14 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto *fuzzy* de saída dos teores de N, P, K, Ca e Mg do Ano 2 para cobertura vegetal de milho.

Conjunto <i>fuzzy</i>	N	P	K	Ca	Mg
C ₁	[31,57; 34,09; 36,61]	[3,50; 3,62; 3,74]	[12,42; 12,92; 13,42]	[6,92; 7,17; 7,42]	[3,17; 3,25; 3,33]
C ₂	[34,09; 36,61; 37,05]	[3,62; 3,74; 3,75]	[12,92; 13,42; 13,75]	[7,17; 7,42; 7,50]	[3,25; 3,33; 3,42]
C ₃	[36,61; 37,05; 37,19]	[3,74; 3,75; 3,76]	[13,42; 13,75; 14,67]	[7,42; 7,50; 7,58]	[3,33; 3,42; 3,50]
C ₄	[37,05; 37,19; 37,78]	[3,75; 3,76; 3,78]	[13,75; 14,67; 14,83]	[7,50; 7,58; 7,67]	[3,42; 3,50; 3,58]
C ₅	[37,19; 37,78; 38,06]	[3,76; 3,78; 3,79]	[14,67; 14,83; 14,92]	[7,58; 7,67; 7,83]	[3,50; 3,58; 3,67]
C ₆	[37,78; 38,06; 38,08]	[3,78; 3,79; 3,85]	[14,83; 14,92; 15,42]	[7,67; 7,83; 8,00]	[3,58; 3,67; 3,75]
C ₇	[38,06; 38,08; 38,92]	[3,79; 3,85; 3,88]	[14,92; 15,42; 15,92]	[7,83; 8,00; 8,25]	[3,67; 3,75; 4,08]
C ₈	[38,08; 38,92; 39,22]	[3,85; 3,88; 3,91]	[15,42; 15,92; 16,08]	[8,00; 8,25; 8,33]	[3,75; 4,08; 4,41]
C ₉	[38,92; 39,22; 39,74]	[3,88; 3,91; 3,94]	[15,92; 16,08; 16,42]	[8,25; 8,33; 8,58]	-
C ₁₀	[39,22; 39,74; 39,85]	[3,91; 3,94; 3,96]	[16,08; 16,42; 16,50]	[8,33; 8,58; 8,67]	-
C ₁₁	[39,74; 39,85; 40,72]	[3,94; 3,96; 4,13]	[16,42; 16,50; 17,25]	[8,58; 8,67; 9,25]	-
C ₁₂	[39,85; 40,72; 40,83]	[3,96; 4,13; 4,19]	[16,50; 17,25; 17,42]	[8,67; 9,25; 9,83]	-
C ₁₃	[40,72; 40,83; 41,81]	[4,13; 4,19; 4,25]	[17,25; 17,42; 17,83]	-	-
C ₁₄	[40,83; 41,81; 42,35]	-	[17,42; 17,83; 19,58]	-	-
C ₁₅	[41,81; 42,35; 42,40]	-	[17,83; 19,58; 21,33]	-	-
C ₁₆	[42,35; 42,40; 42,45]	-	-	-	-

Legenda: Teor foliar de nitrogênio (TN) [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo (TP) [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio (TK) [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio (TCa) [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio (TMg) [g.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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.

Conjunto <i>fuzzy</i>	S	Mo	Cu	Zn	Mn
C ₁	[2,21; 2,29; 2,37]	[4,11; 4,40; 4,69]	[6,67; 10,00; 13,33]	[39,99; 43,33; 46,67]	[55,00; 65,00; 75,00]
C ₂	[2,29; 2,37; 2,43]	[4,40; 4,69; 4,90]	[10,00; 13,33; 16,66]	[43,33; 46,67; 50,00]	[65,00; 75,00; 76,67]
C ₃	[2,37; 2,43; 2,44]	[4,69; 4,90; 6,21]	-	[46,67; 50,00; 53,33]	[75,00; 76,67; 80,00]
C ₄	[2,43; 2,44; 2,46]	[4,90; 6,21; 6,64]	-	-	[76,67; 80,00; 85,00]
C ₅	[2,44; 2,46; 2,52]	[6,21; 6,64; 6,71]	-	-	[80,00; 85,00; 100,00]
C ₆	[2,46; 2,52; 2,53]	[6,64; 6,71; 6,75]	-	-	[85,00; 100,00; 105,00]
C ₇	[2,52; 2,53; 2,55]	[6,71; 6,75; 6,81]	-	-	[100,00; 105,00; 110,00]
C ₈	[2,53; 2,55; 2,59]	[6,75; 6,81; 6,83]	-	-	[105,00; 110,00; 115,00]
C ₉	[2,55; 2,59; 2,64]	[6,81; 6,83; 6,96]	-	-	[110,00; 115,00; 123,33]
C ₁₀	[2,59; 2,64; 2,75]	[6,83; 6,96; 6,97]	-	-	[115,00; 123,33; 131,66]
C ₁₁	[2,64; 2,75; 2,86]	[6,96; 6,97; 7,13]	-	-	-
C ₁₂	[2,75; 2,86; 2,90]	[6,97; 7,13; 7,29]	-	-	-
C ₁₃	[2,86; 2,90; 2,94]	[7,13; 7,29; 7,32]	-	-	-
C ₁₄	[2,90; 2,94; 2,98]	[7,29; 7,32; 7,33]	-	-	-
C ₁₅	-	[7,32; 7,33; 7,43]	-	-	-
C ₁₆	-	[7,33; 7,43; 7,53]	-	-	-

Legenda: Teor foliar de enxofre (TS) [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio (TMo) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre (TCu) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco (TZn) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês (TMn) [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

Foi elaborado o intervalo dos conjuntos *fuzzy* de saída das variáveis nutricionais dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Mo, Cu, Zn e Mn, apresentados na Tabela 16, referente aos dois ciclos de realização do experimento Anos 1 e 2.

Tabela 16 - Intervalo do conjunto *fuzzy* de saída dos teores foliares de nutrientes para a cobertura vegetal de milheto.

Variáveis de saída	Intervalo dos conjuntos <i>fuzzy</i>	
	2013/14	2014/15
N	[38,09; 46,82]	[31,57; 42,45]
P	[8,22; 8,86]	[3,5; 4,25]
K	[10,75; 13,41]	[12,42; 21,33]
Ca	[5,83; 10,18]	[6,92; 9,83]
Mg	[3,49; 4,75]	[3,17; 4,41]
S	[2,42; 3,19]	[2,21; 2,98]
Mo	[5,23; 6,80]	[4,11; 7,53]
Cu	[10,67; 19,34]	[6,67; 16,66]
Zn	[55,99; 63,01]	[39,99; 53,33]
Mn	[89,67; 196,67]	[55,00; 131,66]

Legenda: Teor foliar de nitrogênio [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio [g.kg⁻¹], Teor foliar de enxofre [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

Observa-se na Tabela 16, o intervalo do conjunto *fuzzy* referente ao teor foliar de K, ser maior no segundo ciclo em relação ao primeiro, notando-se uma maior concentração do nutriente. Por outro lado, verifica-se para o teor foliar do Mn, a concentração maior no intervalo do primeiro ano safra em relação ao segundo.

Nas Tabelas 17 e 18, estão representadas a base de regras dos modelos *fuzzy* elaborados referente aos teores foliares dos nutrientes analisados da cultura da soja, sob diferentes doses de nitrogênio aplicado em cobertura vegetal de milheto e diferentes doses de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja cultivada em SPD, nos anos safra 2013/14 e 2014/15, respectivamente.

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 milheto, cultivada em SPD.

Variáveis de entrada		Variáveis de saída									
N	Mo	TN	TP	TK	TCa	TMg	TS	TMo	TCu	TZn	TMn
1	1	12	1	5	13	9	7	4	1	3	1
1	2	1	6	12	12	7	5	15	3	12	3
1	3	2	5	8	11	8	8	13	3	1	6
1	4	11	10	11	11	8	4	10	5	5	2
2	1	6	12	4	9	6	6	7	7	14	15
2	2	8	14	9	3	2	2	9	4	1	5
2	3	14	7	3	7	4	9	12	5	11	14
2	4	10	2	2	6	1	1	3	10	13	16
3	1	7	11	7	10	3	5	8	7	8	8
3	2	3	16	2	10	5	14	14	8	10	11
3	3	4	13	1	8	7	13	6	9	6	7
3	4	15	3	7	4	7	12	1	2	7	9
4	1	5	4	13	2	1	3	2	6	4	4
4	2	16	15	10	1	2	11	16	7	12	12
4	3	13	8	6	3	3	10	11	4	9	13
4	4	9	9	9	5	2	15	5	11	2	10

Legenda: Doses de nitrogênio (N) [kg.ha⁻¹], Doses de molibdênio (Mo) [g.ha⁻¹], Teor foliar de nitrogênio [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio [g.kg⁻¹], Teor foliar de enxofre [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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 milheto, cultivada em SPD.

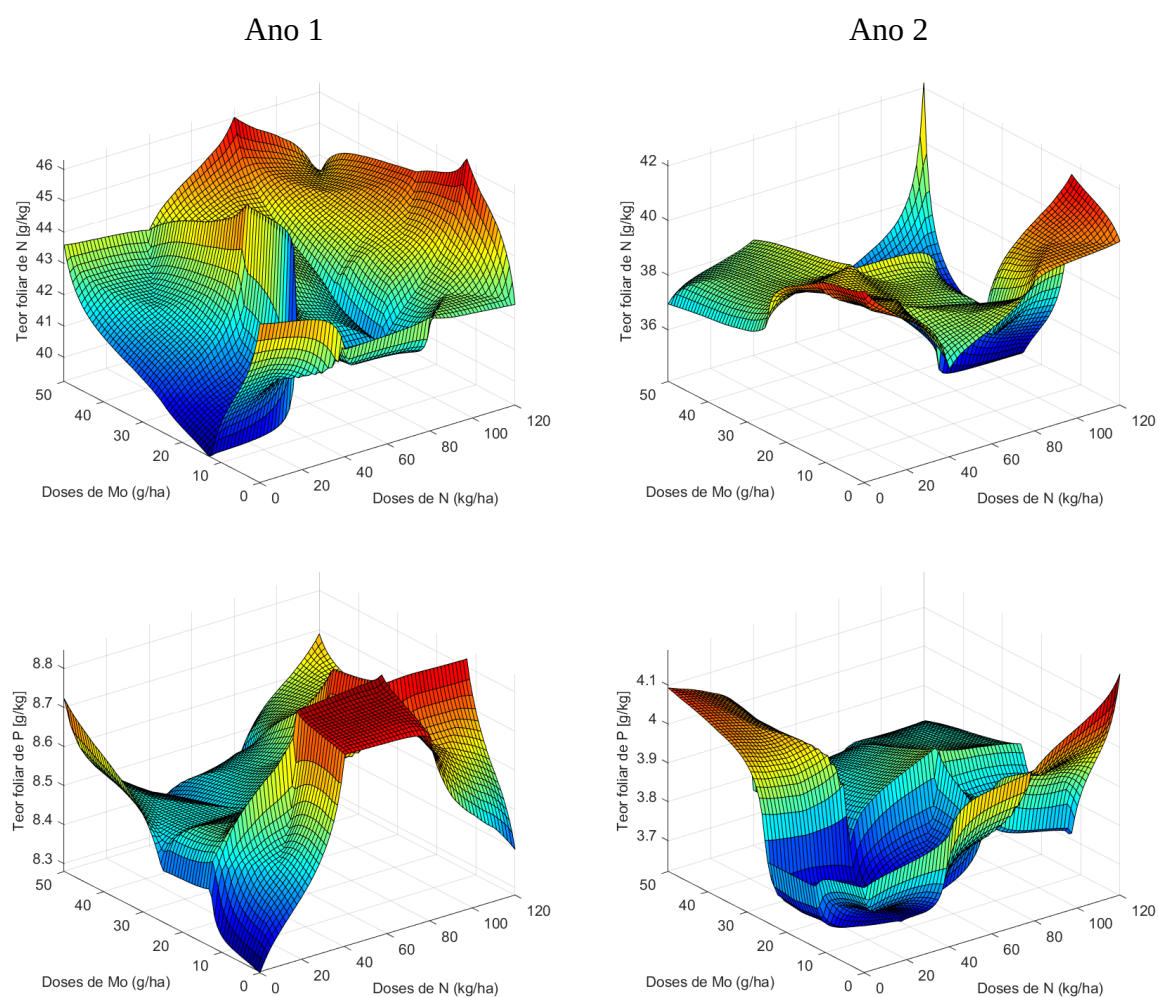
Variáveis de entrada		Variáveis de saída									
N	Mo	TN	TP	TK	TCa	TMg	TS	TMo	TCu	TZn	TMn
1	1	13	7	11	9	7	10	11	1	3	2
1	2	12	5	15	2	2	9	14	1	1	8
1	3	6	5	14	7	5	8	16	2	2	10
1	4	3	12	2	5	8	8	12	2	2	1
2	1	4	9	7	8	4	14	9	1	3	2
2	2	8	1	12	9	4	5	15	1	3	2
2	3	9	3	9	6	3	2	2	1	1	5
2	4	7	4	13	10	4	5	3	1	3	4
3	1	10	11	2	4	2	6	10	1	2	9
3	2	5	6	6	3	1	3	7	1	3	7
3	3	16	10	10	5	4	11	13	1	3	9
3	4	2	5	8	1	4	7	5	1	1	8
4	1	11	13	5	12	5	12	1	1	1	6
4	2	14	2	1	6	3	4	4	1	2	3
4	3	1	8	3	9	4	1	8	1	1	8
4	4	15	6	4	11	6	13	6	1	3	4

Legenda: Doses de nitrogênio (N) [kg.ha⁻¹], Doses de molibdênio (Mo) [g.ha⁻¹], Teor foliar de nitrogênio [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio [g.kg⁻¹], Teor foliar de enxofre [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

A primeira linha da Tabela 17 é interpretada da seguinte maneira: se a dosagem de nitrogênio considerada na cobertura vegetal de milho pertencer ao conjunto C_1 (0 kg.ha^{-1}) e o nível de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja, pertencer também ao conjunto C_1 (0 kg.ha^{-1}), a saída referente ao teor foliar de nitrogênio (TN) pertencerá ao conjunto C_{12} para o ciclo 2013/14 e C_{13} no ciclo 2014/15 (Tabela 18), por sua vez, para o primeiro ciclo, obterá o teor foliar de fósforo (TP) C_1 e teor foliar de potássio (TK) C_5 , e no segundo ciclo será de C_7 e C_{11} , respectivamente para TP e TK. As demais linhas são interpretadas de maneira análoga.

Por meio do método de inferência e *defuzzyficação* foram elaboradas as superfícies tridimensionais dos respectivos modelos matemáticos em relação ao comportamento dos teores foliares dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg, apresentados na Figura 15 e o mapa de contorno do teor de N ilustrado na Figura 16.

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.



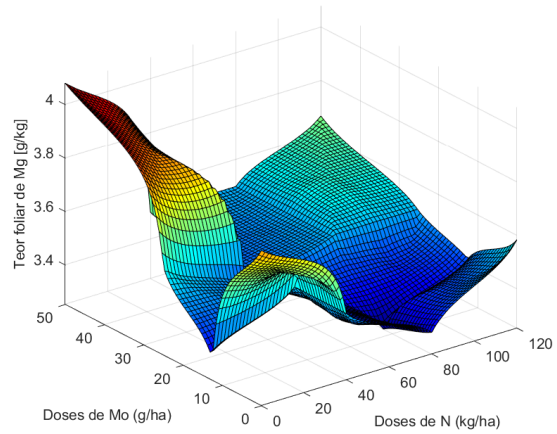
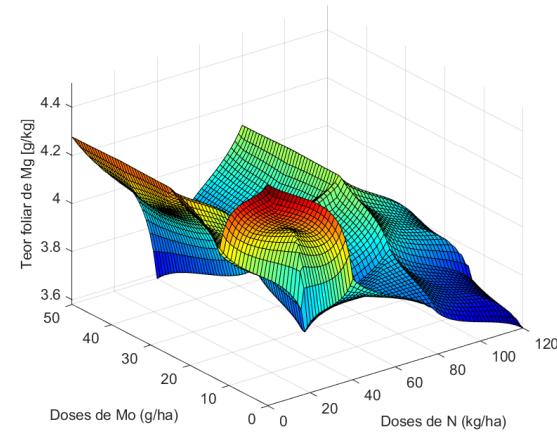
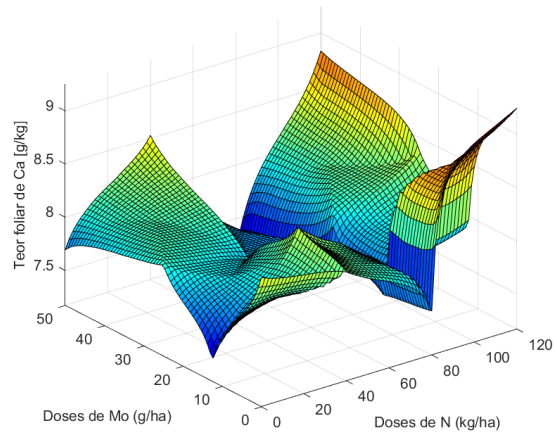
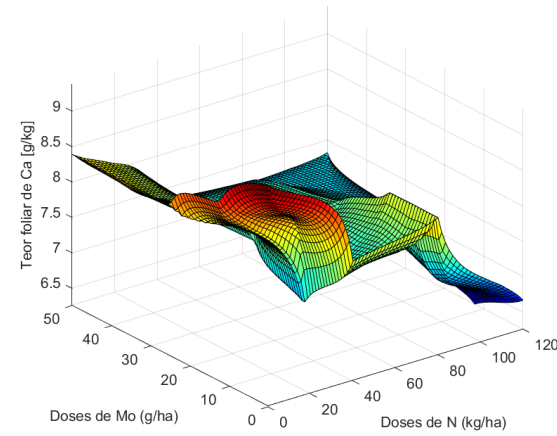
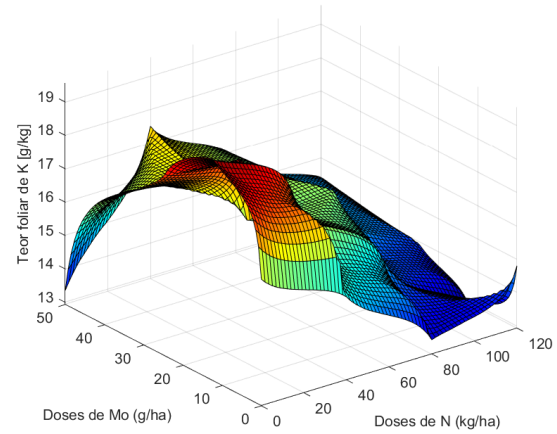
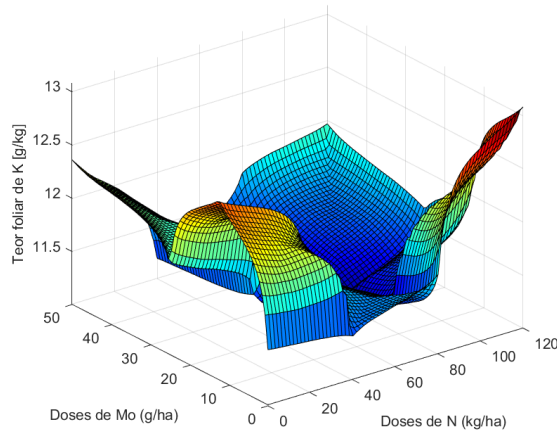
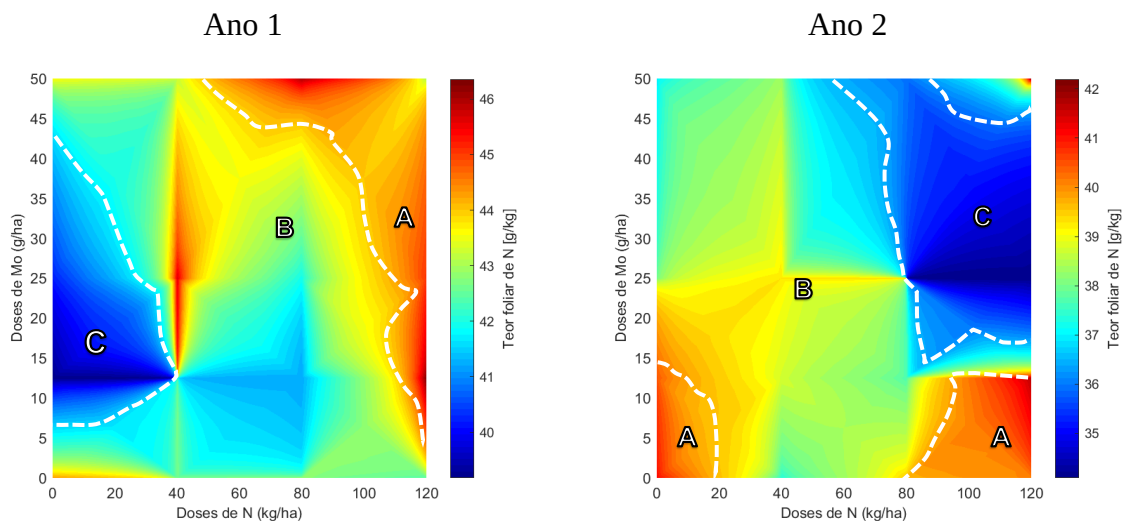


Figura 16 - Mapa de contorno do teor foliar de N da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de milho.

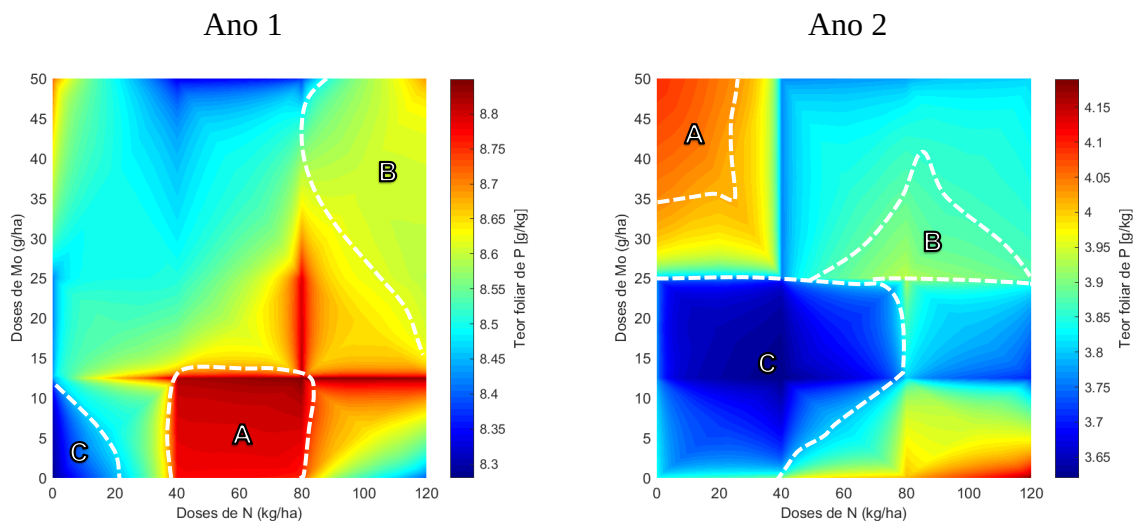


As regiões que apresentaram os maiores valores, estão representados pela letra “A”, por outro lado, os menores resultados estão compreendidos na região “C”, expressos nos mapas de contorno. Nota-se no Ano 1, que o máximo teor foliar de nitrogênio na cultura da soja foi obtido na região “A” entre os valores de 15 e 25 g.ha⁻¹ de Mo, quando sujeita a alta dosagem de adubação nitrogenada, assim como observado por Goes (2016), para o qual verificou-se o ponto máximo de 24,5 g.ha⁻¹. Por outro lado, nota-se o menor teor deste nutriente quando submetida a doses menores de nitrogênio para a mesma faixa de molibdênio, 15 e 25 g.ha⁻¹, ilustrado na região “C”.

O Mo participa ativamente do metabolismo no N, influenciando no processo de nitrificação, atuando na redução do nitrato a nitrito e atividade de nitrogenase, melhorando no processo de FBN pelas plantas. Portanto, pode-se atribuir tal resultado devido a relação de melhor FBN no intervalo entre 15 e 25 g.ha⁻¹ de doses de Mo combinada com a decomposição da palhada e liberação de N para altas doses de N aplicada na cobertura vegetal.

Apresenta-se na Figura 17, o mapa de contorno do teor foliar de fósforo obtido no experimento.

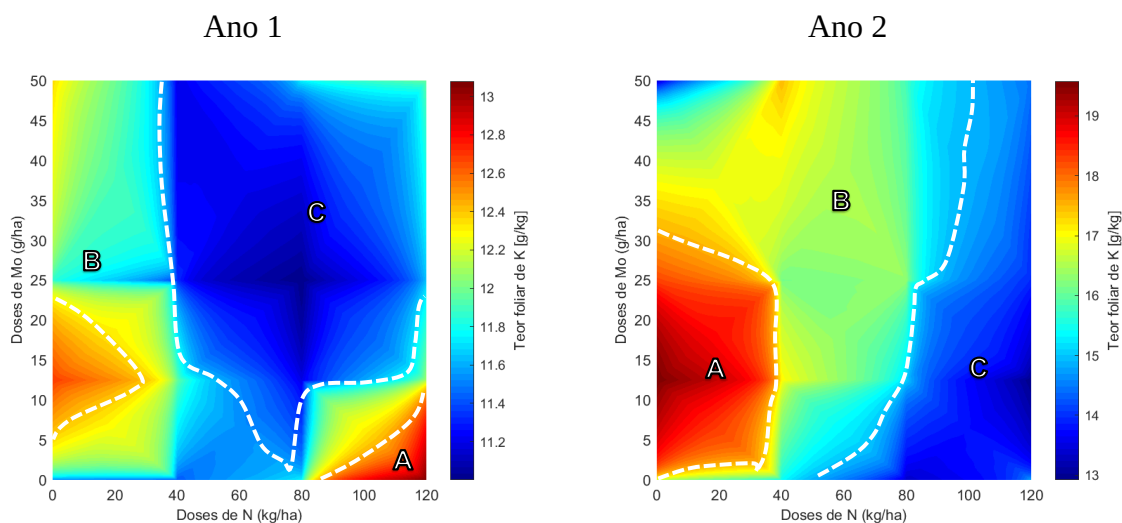
Figura 17 - Mapa de contorno do teor foliar de P da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de milho.



Não foi constatado efeito significativo estatisticamente nos tratamentos utilizados para o teor foliar de P em ambas as safras. Para Raij et al. (1996), os teores de P mantiveram-se na faixa adequada entre 2,5 e 5 g.ha⁻¹, notada no segundo ciclo do experimento, podendo ser considerado pelo fato do nutriente não ser limitante para o desenvolvimento da cultura da soja, na área de realização do experimento (SOUSA; LOBATO, 1996), sendo suficiente para a cultura. Da mesma maneira, não foram observados efeitos significativos do teor foliar de P no trabalho realizado por Caioni (2015) para doses de molibdênio e nitrogênio aplicados na cultura do milho safrinha, assim como no trabalho realizado por Silva (2011) para a cultura da soja semeada sob a palhada de milho e sorgo.

O mapa de contorno do teor de potássio, está representado na Figura 18.

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.

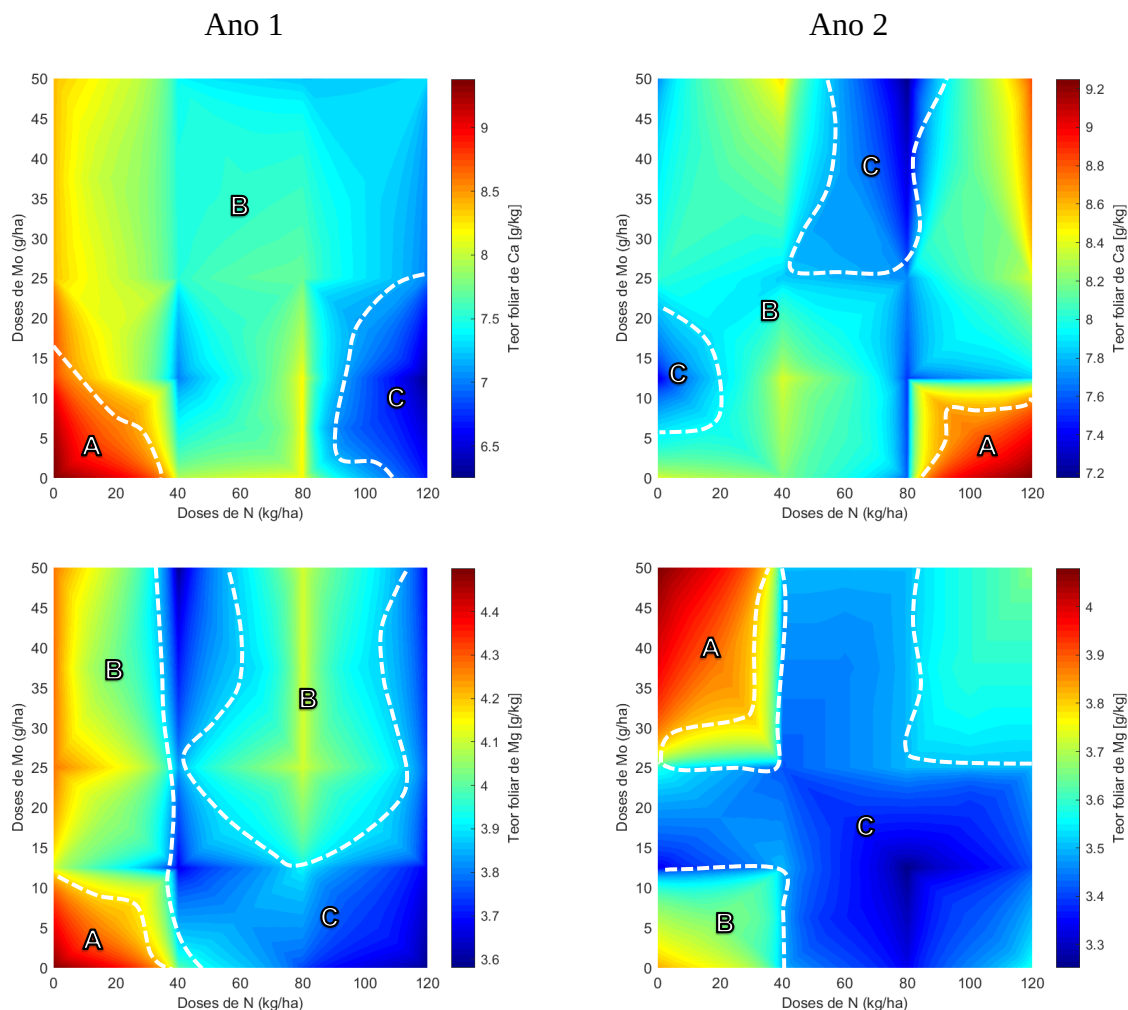


No segundo ano, os valores referentes ao teor foliar de K, foram superiores em relação ao primeiro ciclo, fato que pode ser observado na Tabela 16, no intervalo dos conjuntos *fuzzy*, para o qual verificou-se no Ano 1 um intervalo de [10,75; 13,41] e para a o Ano 2, foi obtido o intervalo [12,42; 21,33].

A importância do K para a cultura, resulta em uma melhor eficiência no uso da água em relação a perdas pelo processo de transpiração, a qual é influenciada pelo potencial osmótico e pelo processo de abertura e fechamento dos estômatos. O potássio não possui nenhum papel na estruturação da composição orgânica da planta, sendo facilmente liberado após o processo de decomposição da palhada e absorvido pela cultura da soja, resultando nos maiores valores (CAMACHO et al., 1995; CATUCHI et al., 2012).

Os teores de cálcio e magnésio, estão apresentados na Figura 19.

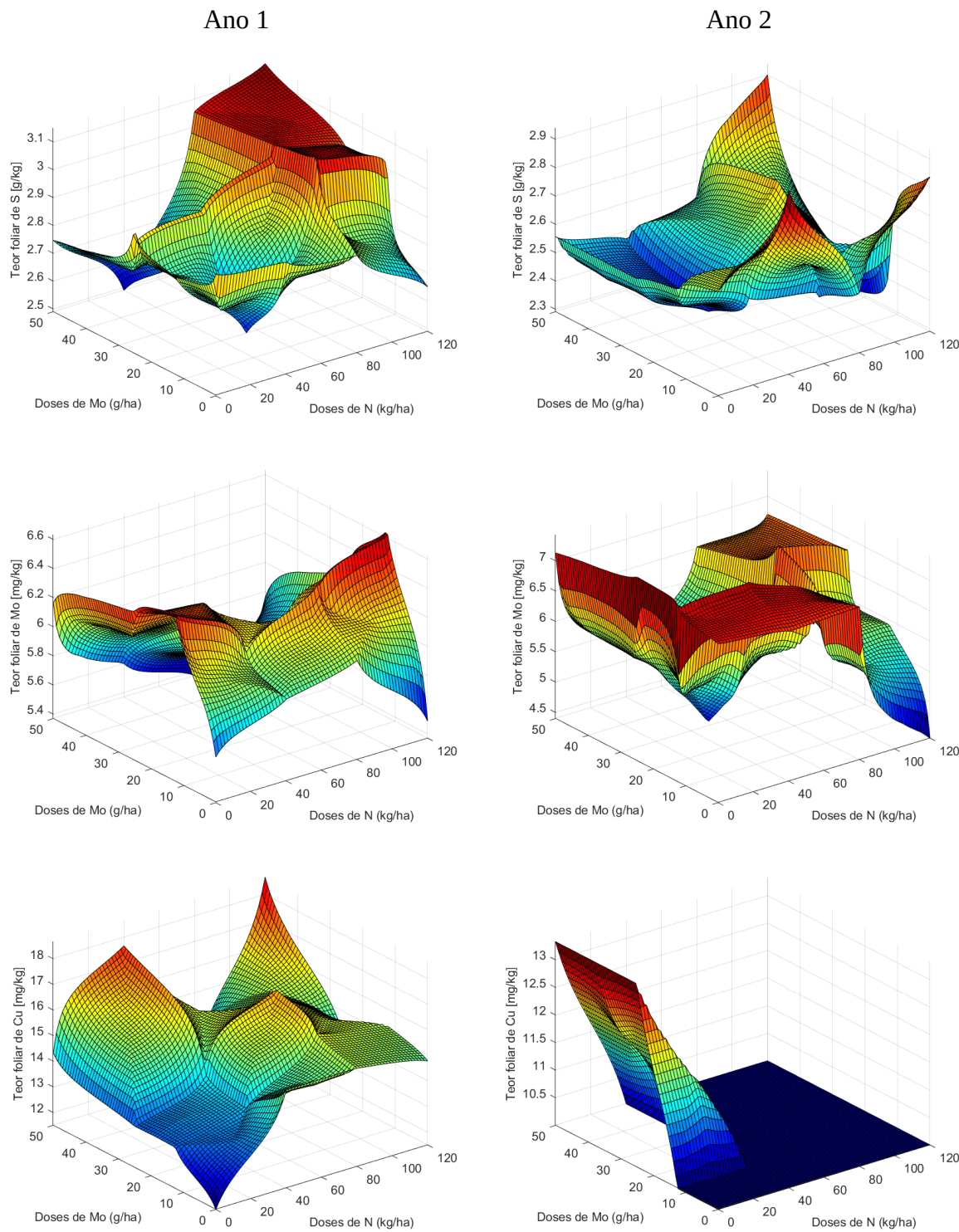
Figura 19 - Mapa de contorno dos teores foliares de Ca e Mg da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de milho.



Da mesma maneira, os TCa e TMg encontram-se dentro da faixa adequada para a cultura, ambos resultando em efeitos significativos em relação a dosagem de nitrogênio para o Ano 1 (Tabela 11), e estão dentro dos limites conforme as recomendações do IAC (RAIJ et al., 1996), observado na Tabela 16. Nota-se que durante o primeiro ano (Figura 15), que o comportamento dos teores foliares dos nutrientes de cálcio e magnésio, foram maiores na ausência das adubações de nitrogênio na cobertura vegetal e de molibdênio aplicada via foliar na cultura da soja em sucessão, expressos na região “A” do mapa de contorno; por outro lado, os valores desses nutrientes são menores ao passo em que ocorre o aumento da dosagem da adubação nitrogenada, ilustrado na região “C”.

Da mesma forma, os gráficos de superfície dos teores foliares dos nutrientes S, Mo, Cu, Zn e Mn estão representados na Figura 20 e o mapa de contorno do teor de S, na Figura 21.

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.



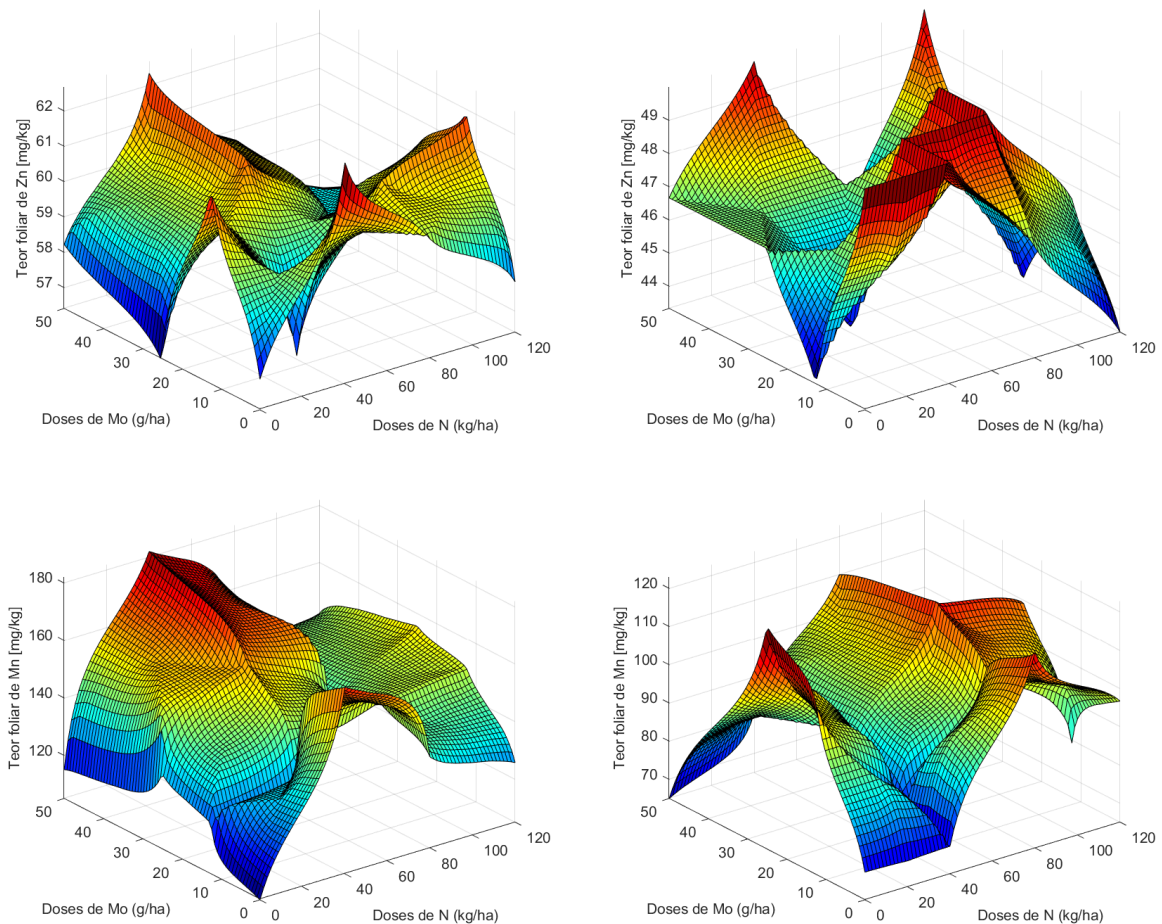
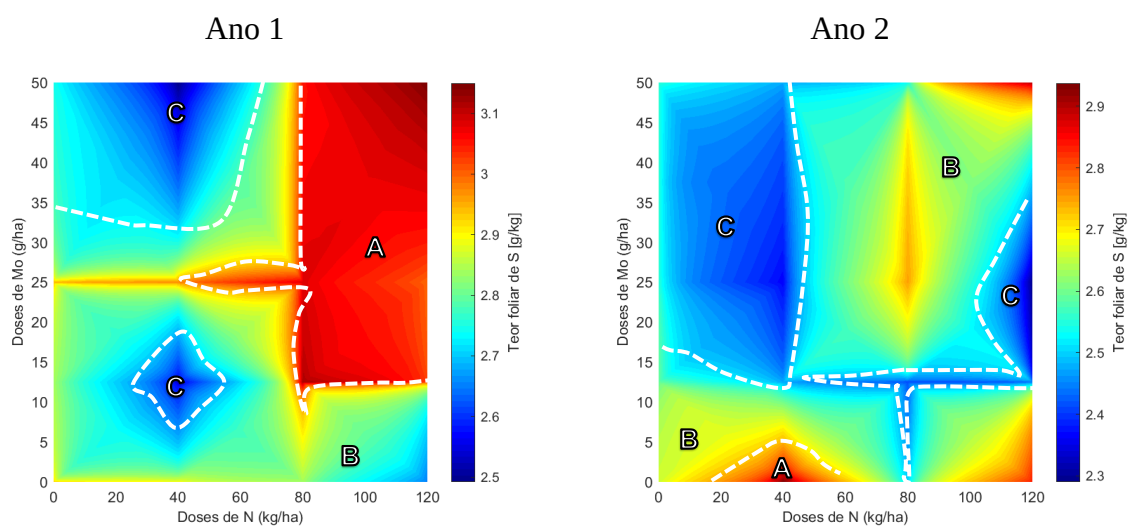


Figura 21 - Mapa de contorno do teor foliar de S da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.

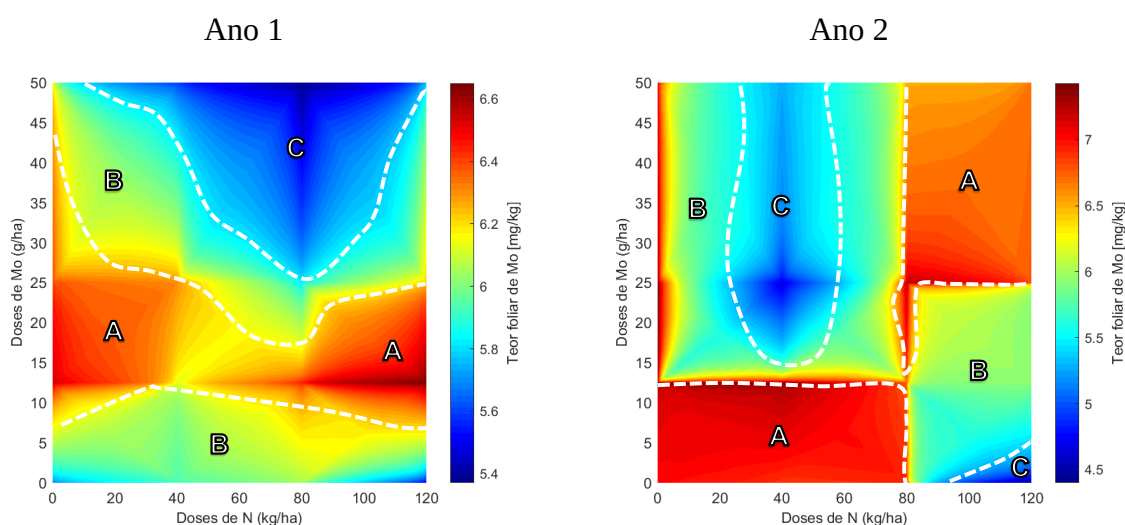


Os maiores valores obtidos para TS, estão localizados na região “A” do mapa do mapa de contorno, sendo para o Ano 1, compreendido no intervalo entre 15 e 50 g.ha⁻¹ de molibdênio, para valores acima de 80 kg.ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 21). Pode-se atribuir ao fato

dos nutrientes N e S atuarem na formação de proteínas, composta estruturalmente em maior parte desses nutrientes, sendo encontrados aproximadamente 34 átomos de N para cada átomo de S (KRISHNAN, 2005). Destaca-se também a participação do Mo, uma vez que atua diretamente no metabolismo de N e S para constituição das enzimas, aumentando a síntese de aminoácidos sulfatados, influenciando diretamente na formação das proteínas (GOES, 2016).

Os mapas de contornos do teor foliar de Mo, estão representados na Figura 22.

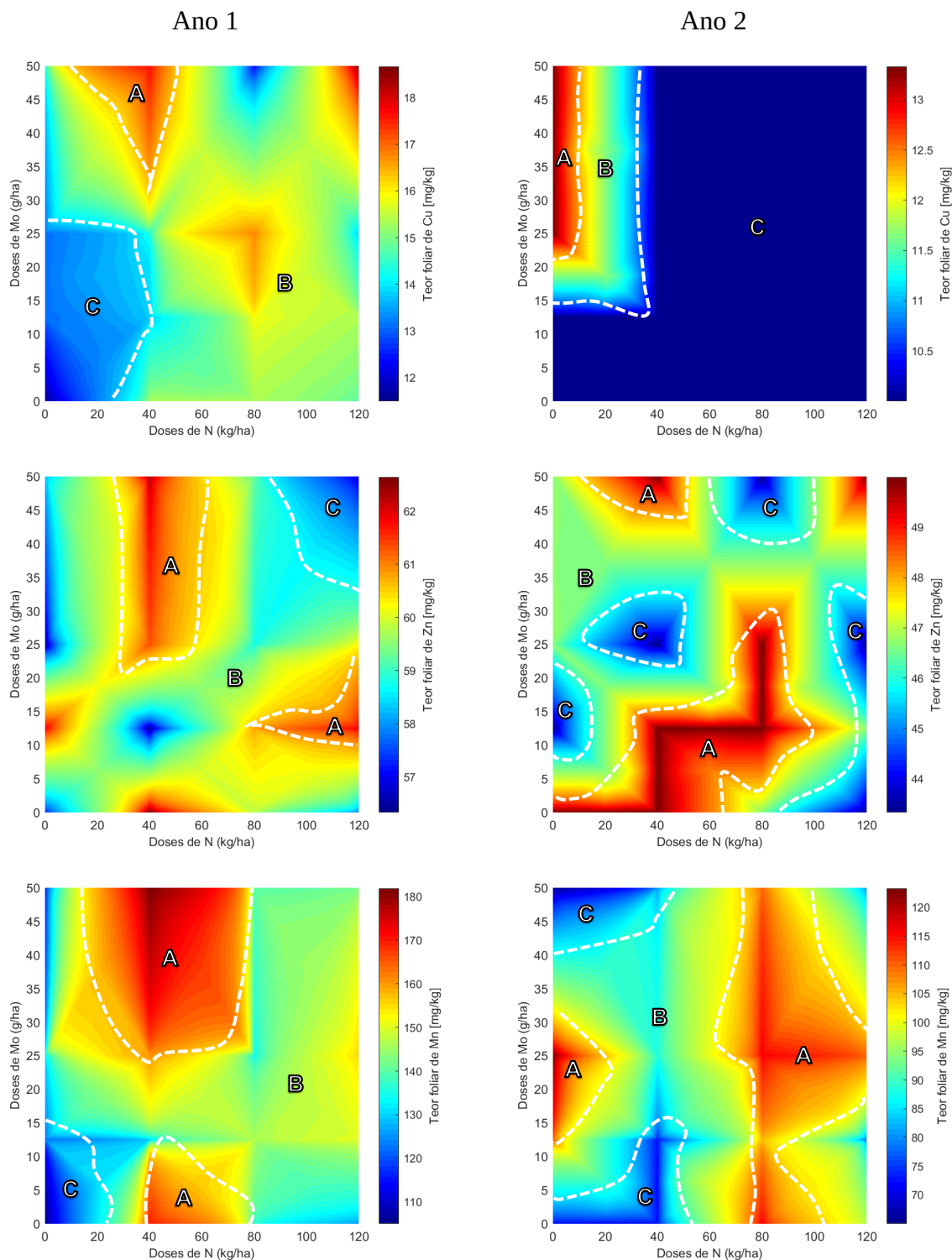
Figura 22 - Mapa de contorno do teor foliar de Mo da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milho.



De acordo com Goes (2016), e conforme o resultado do teste F (Tabela 11) não houve significância estatística para dosagens de Mo foliar para Ano 1, uma vez que o comportamento de tal nutriente, é aumentar sua disponibilidade à medida que ocorre o aumento do pH do solo (DECHEN; NACHTIGALL, 2005). Por sua vez, a ausência de efeitos em relação a adubação com Mo, deve-se às boas características do solo da região de realização do experimento, próximas as recomendações do IAC que é entre 1 e 5 mg.kg⁻¹ (RAIJ et al., 1996), obtida pelos intervalos dos conjuntos *fuzzy* de saída durante o primeiro ano de realização do experimento, já por sua vez, no Ano2 ocorreu diferenças significativas estatisticamente em relação aos teores de Mo em função da variação de N e Mo, aplicado em cobertura vegetal e via foliar na cultura da soja.

Estão representados na Figura 23, os mapas de contorno dos teores foliares de cobre, zinco e manganês.

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 milheto.



Com significância estatística aferidas no Ano 2 do experimento em relação a combinação entre os fatores de variação, N, Mo e N×Mo, o teor foliar de Mn obteve maior representatividade na faixa dos 80 kg.ha⁻¹ de nitrogênio aplicado na cobertura vegetal, representados na região “A”.

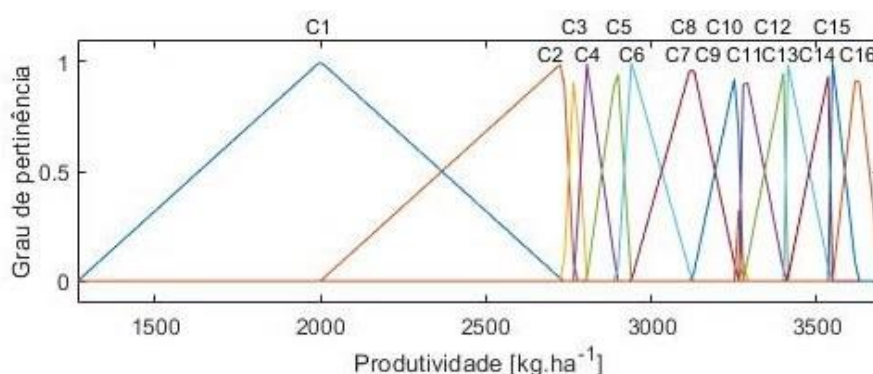
Modelagem fuzzy das variáveis biométricas e de produtividade

De maneira análoga a estruturação da modelagem *fuzzy* dos teores de nutrientes, foram elaboradas as modelagens *fuzzy* das variáveis biométricas e de produtividade da cultura da soja em relação a diferentes doses de nitrogênio aplicada sob cobertura vegetal de milho e diferentes doses de molibdênio aplicada via foliar na cultura da soja em sucessão, cultivada sob SPD, para os anos safra 2013/14 (Ano 1) e 2014/15 (Ano 2).

Com a definição da base de regras do conjunto *fuzzy* das variáveis de saída, foram elaboradas as funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* de saída das variáveis biométricas: estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], altura de planta (APL) [cm], número de vagens por planta (NVP) [unid.], número de grãos por planta (NGP) [unid.], número de grãos por vagem (NGV) [unid.], massa de 1000 grãos (MGR) [g] e de produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹]. O comportamento das variáveis fora analisado em função da variação de doses de nitrogênio aplicada em cobertura vegetal de milho e doses diferentes de molibdênio aplicada via foliar na cultura da soja em sucessão, cultivada sob SPD.

Sendo assim, apresenta-se nas Figuras 24 e 25, as funções de pertinência das variáveis biométricas e de produtividade avaliadas no Ano 1, assim como os delimitadores das referidas funções, expressos nas Tabelas 19 e 20.

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.



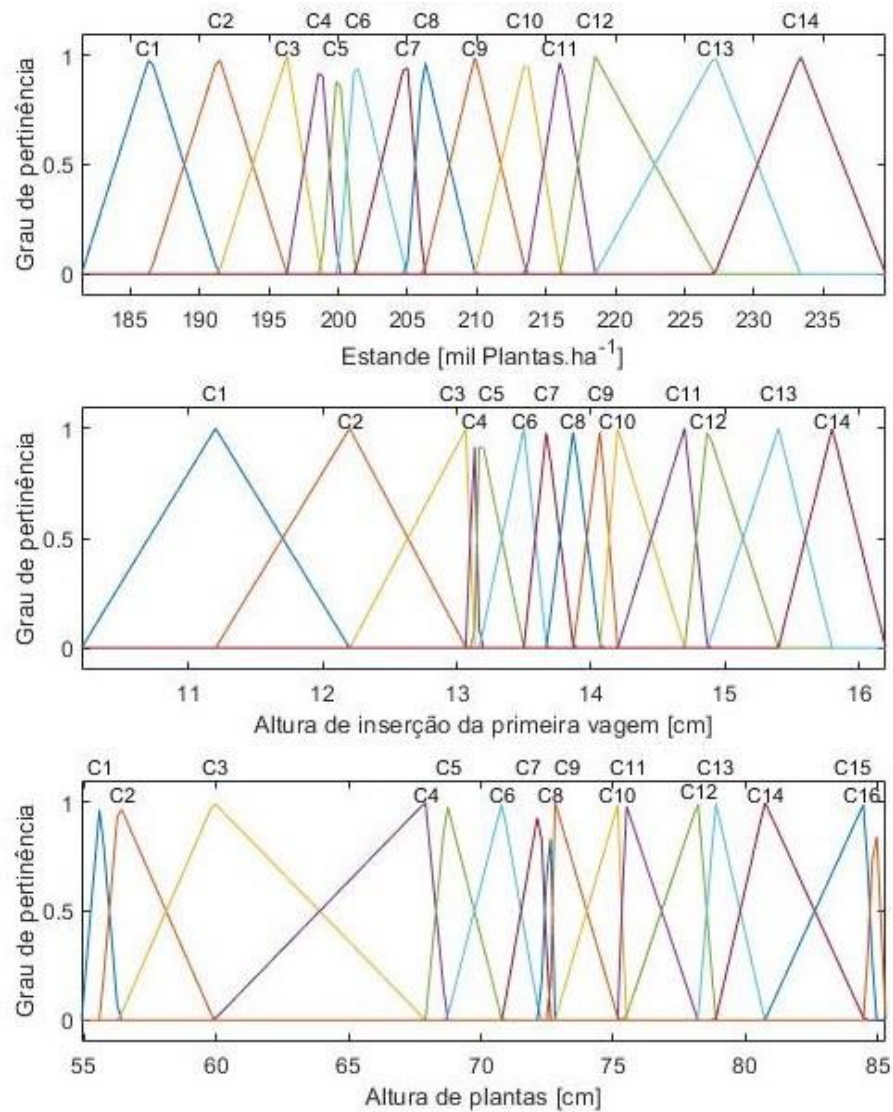
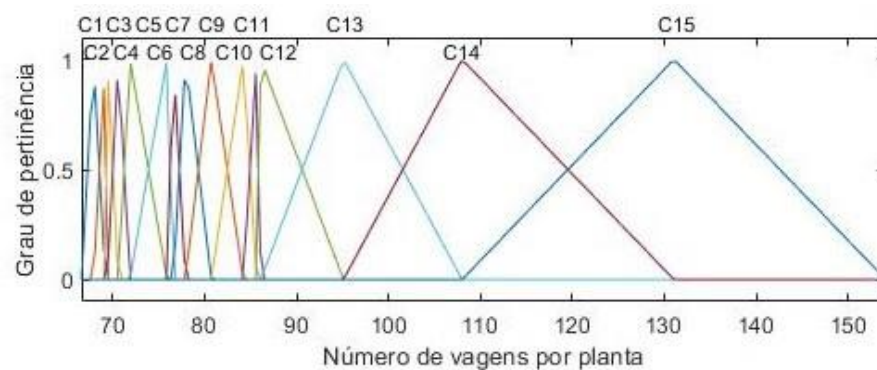


Figura 25 - Função de pertinência das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de milho.



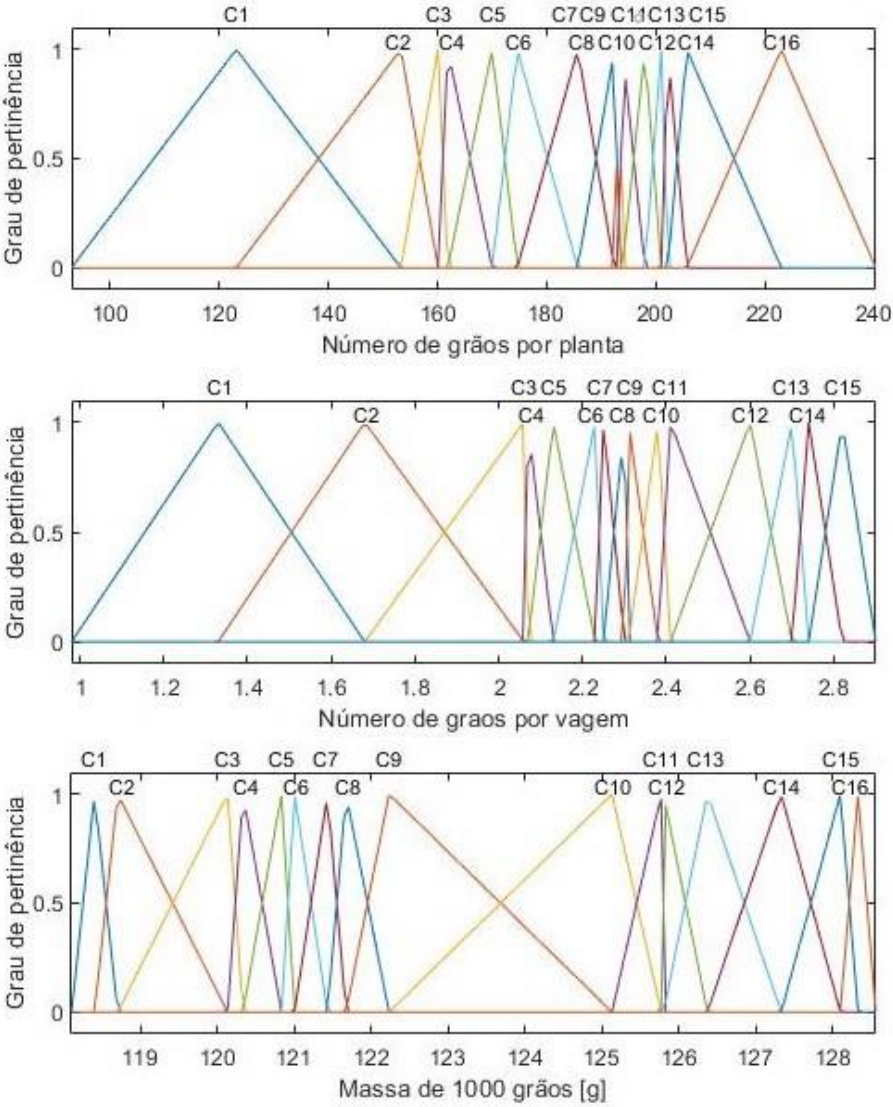


Tabela 19 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto *fuzzy* de saída das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de milheto.

Conjunto <i>fuzzy</i>	PRO	EST	AIV	APL
C ₁	[1265,03; 1999,50; 2733,97]	[181,48; 186,42; 191,36]	[10,20; 11,20; 12,20]	[54,90; 55,60; 56,30]
C ₂	[1999,50; 2733,97; 2767,70]	[186,42; 191,36; 196,30]	[11,20; 12,20; 13,07]	[55,60; 56,30; 59,90]
C ₃	[2733,97; 2767,70; 2804,27]	[191,36; 196,30; 198,77]	[12,20; 13,07; 13,13]	[56,30; 59,90; 67,90]
C ₄	[2767,70; 2804,27; 2897,40]	[196,30; 198,77; 200,00]	[13,07; 13,13; 13,17]	[59,90; 67,90; 68,70]
C ₅	[2804,27; 2897,40; 2939,13]	[198,77; 200,00; 201,23]	[13,13; 13,17; 13,50]	[67,90; 68,70; 70,80]
C ₆	[2897,40; 2939,13; 3123,70]	[200,00; 201,23; 204,94]	[13,17; 13,50; 13,67]	[68,70; 70,80; 72,23]
C ₇	[2939,13; 3123,70; 3262,17]	[201,23; 204,94; 206,17]	[13,50; 13,67; 13,87]	[70,80; 72,23; 72,60]
C ₈	[3123,70; 3262,17; 3269,63]	[204,94; 206,17; 209,88]	[13,67; 13,87; 14,07]	[72,23; 72,60; 72,80]
C ₉	[3262,17; 3269,63; 3269,97]	[206,17; 209,88; 213,58]	[13,87; 14,07; 14,20]	[72,60; 72,80; 75,20]
C ₁₀	[3269,63; 3269,97; 3279,03]	[209,88; 213,58; 216,05]	[14,07; 14,20; 14,70]	[72,80; 75,20; 75,45]
C ₁₁	[3269,97; 3279,03; 3406,20]	[213,58; 216,05; 218,52]	[14,20; 14,70; 14,87]	[75,20; 75,45; 78,20]
C ₁₂	[3279,03; 3406,20; 3411,30]	[216,05; 218,52; 227,16]	[14,70; 14,87; 15,40]	[75,45; 78,20; 78,87]
C ₁₃	[3406,20; 3411,30; 3543,60]	[218,52; 227,16; 233,33]	[14,87; 15,40; 15,80]	[78,20; 78,87; 80,73]
C ₁₄	[3411,30; 3543,60; 3548,07]	[227,16; 233,33; 239,50]	[15,40; 15,80; 16,20]	[78,87; 80,73; 84,50]
C ₁₅	[3543,60; 3548,07; 3622,50]	-	-	[80,73; 84,50; 84,90]
C ₁₆	[3548,07; 3622,50; 3696,93]	-	-	[84,50; 84,90; 85,30]

Legenda: Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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 milheto.

Conjunto <i>fuzzy</i>	NVP	NGP	NGV	MGR
C ₁	[66,60; 67,90; 69,20]	[92,87; 123,07; 153,27]	[0,98; 1,33; 1,68]	[118,10; 118,40; 118,70]
C ₂	[67,90; 69,20; 69,40]	[123,07; 153,27; 160,07]	[1,33; 1,68; 2,06]	[118,40; 118,70; 120,13]
C ₃	[69,20; 69,40; 70,60]	[153,27; 160,07; 161,87]	[1,68; 2,06; 2,07]	[118,70; 120,13; 120,33]
C ₄	[69,40; 70,60; 71,87]	[160,07; 161,87; 170,00]	[2,06; 2,07; 2,13]	[120,13; 120,33; 120,83]
C ₅	[70,60; 71,87; 75,90]	[161,87; 170,00; 174,60]	[2,07; 2,13; 2,23]	[120,33; 120,83; 121,00]
C ₆	[71,87; 75,90; 76,60]	[170,00; 174,60; 185,70]	[2,13; 2,23; 2,25]	[120,83; 121,00; 121,43]
C ₇	[75,90; 76,60; 77,90]	[174,60; 185,70; 192,40]	[2,23; 2,25; 2,30]	[121,00; 121,43; 121,67]
C ₈	[76,60; 77,90; 80,73]	[185,70; 192,40; 193,30]	[2,25; 2,30; 2,31]	[121,43; 121,67; 122,23]
C ₉	[77,90; 80,73; 84,20]	[192,40; 193,30; 193,33]	[2,30; 2,31; 2,38]	[121,67; 122,23; 125,13]
C ₁₀	[80,73; 84,20; 85,65]	[193,30; 193,33; 193,90]	[2,31; 2,38; 2,41]	[122,23; 125,13; 125,77]
C ₁₁	[84,20; 85,65; 86,10]	[193,33; 193,90; 198,00]	[2,38; 2,41; 2,60]	[125,13; 125,77; 125,80]
C ₁₂	[85,65; 86,10; 95,10]	[193,90; 198,00; 201,00]	[2,41; 2,60; 2,70]	[125,77; 125,80; 126,37]
C ₁₃	[86,10; 95,10; 108,00]	[198,00; 201,00; 202,20]	[2,60; 2,70; 2,74]	[125,80; 126,37; 127,33]
C ₁₄	[95,10; 108,00; 131,05]	[201,00; 202,20; 205,67]	[2,70; 2,74; 2,82]	[126,37; 127,33; 128,10]
C ₁₅	[108,00; 131,05; 154,10]	[202,20; 205,67; 223,00]	[2,74; 2,82; 2,90]	[127,33; 128,10; 128,33]
C ₁₆	-	[205,67; 223,00; 240,33]	-	[128,10; 128,33; 128,56]

Legenda: Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [g]. Fonte: Elaborada pelo autor.

Do mesmo modo, apresenta-se na Figura 26 as funções de pertinência das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade do Ano 2, e as funções de pertinência das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) referente ao mesmo ano, estão expressas na Figura 27.

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.

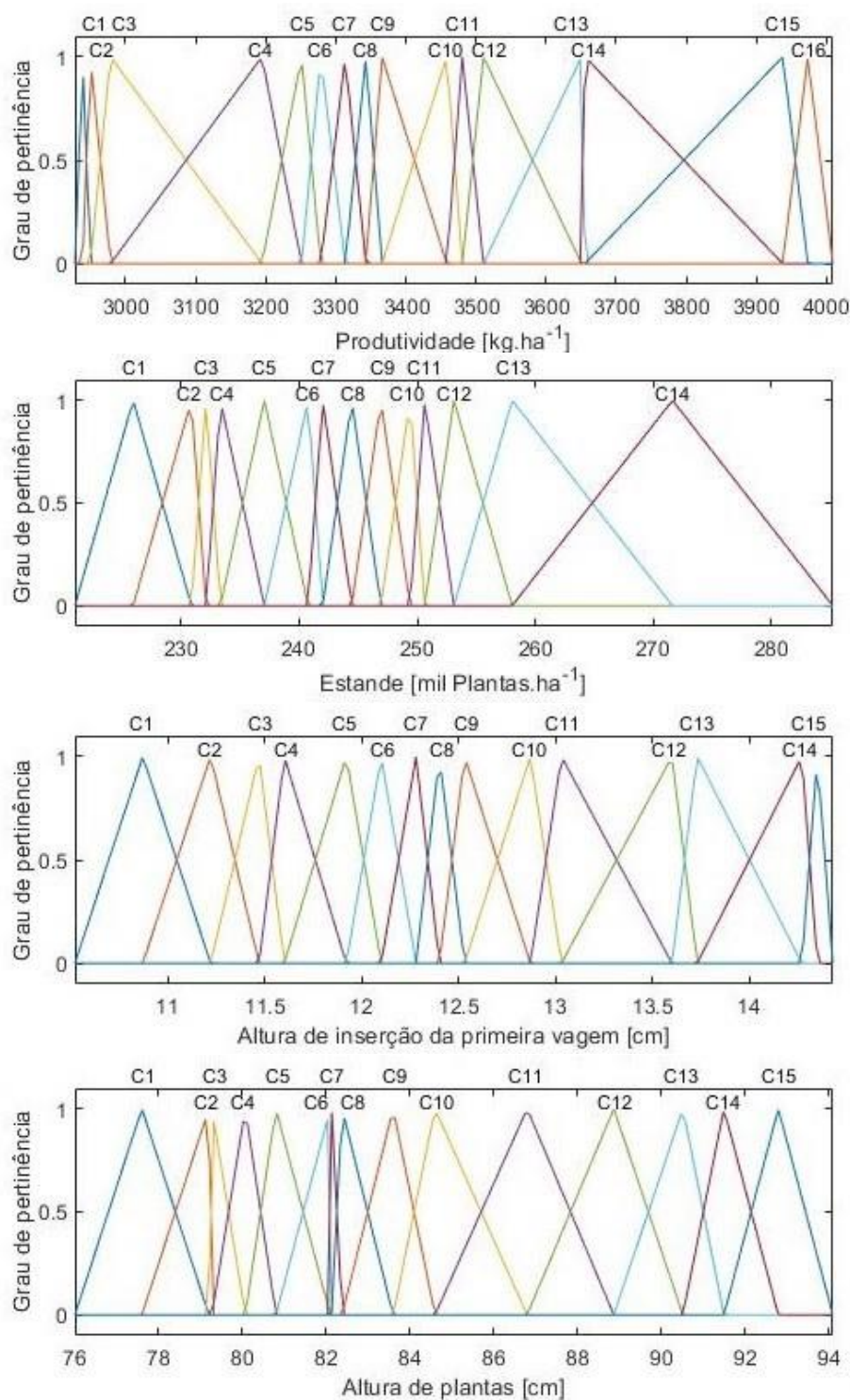
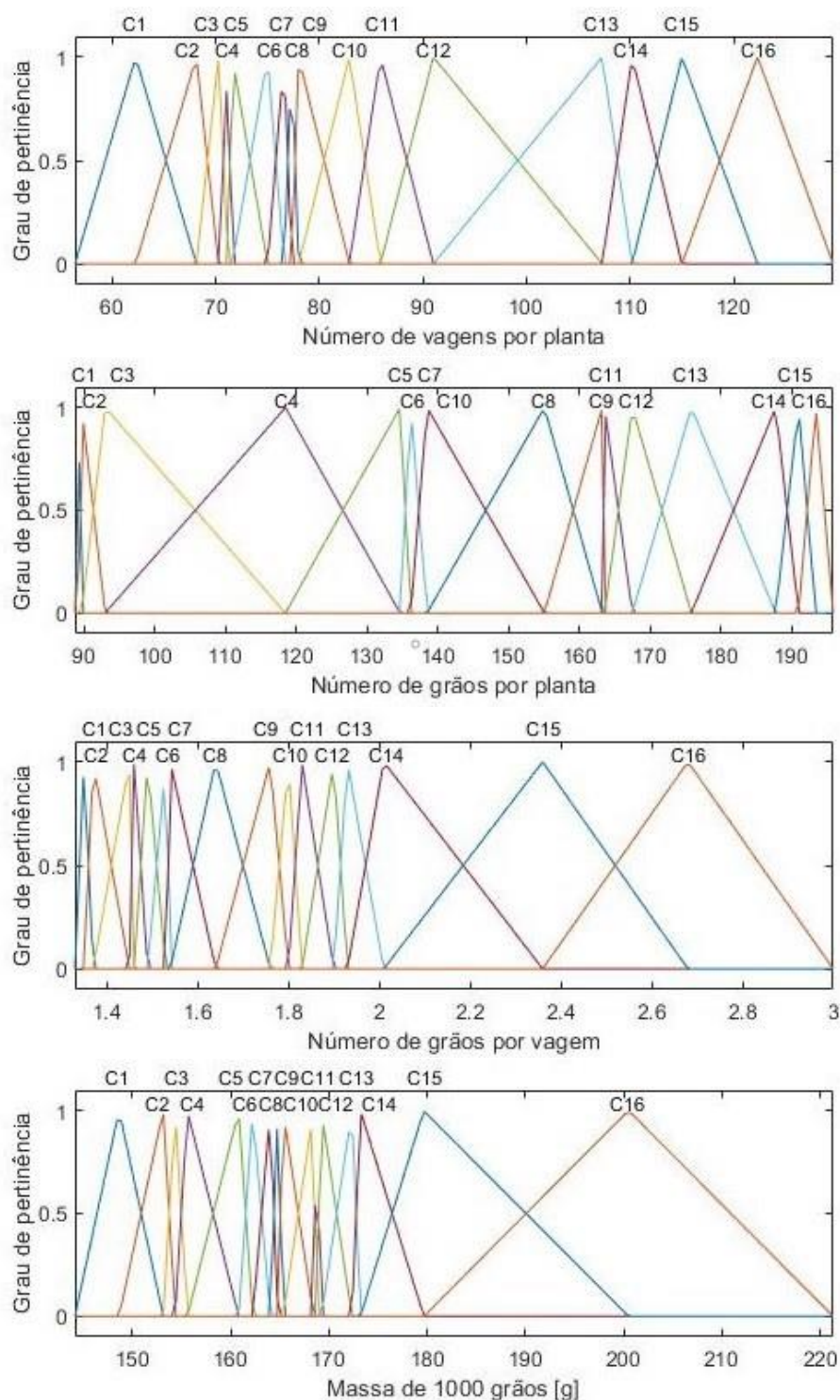


Figura 27 - Função de pertinência das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas durante o Ano 2 para a cobertura vegetal de milho.



Apresenta-se na Tabela 21 os delimitadores das funções de pertinências das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade do Ano 2, e na Tabela 22, estão apresentados os delimitadores das funções de pertinência das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) do Ano 2.

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.

Conjunto <i>fuzzy</i>	PRO	EST	AIV	APL
C ₁	[2927,82; 2938,77; 2949,72]	[221,00; 225,93; 230,86]	[10,52; 10,87; 11,22]	[76,00; 77,60; 79,20]
C ₂	[2938,77; 2949,72; 2978,68]	[225,93; 230,86; 232,10]	[10,87; 11,22; 11,47]	[77,60; 79,20; 79,27]
C ₃	[2949,72; 2978,68; 3194,64]	[230,86; 232,10; 233,33]	[11,22; 11,47; 11,60]	[79,20; 79,27; 80,07]
C ₄	[2978,68; 3194,64; 3251,08]	[232,10; 233,33; 237,04]	[11,47; 11,60; 11,92]	[79,27; 80,07; 80,80]
C ₅	[3194,64; 3251,08; 3278,58]	[233,33; 237,04; 240,74]	[11,60; 11,92; 12,10]	[80,07; 80,80; 82,10]
C ₆	[3251,08; 3278,58; 3313,47]	[237,04; 240,74; 241,98]	[11,92; 12,10; 12,28]	[80,80; 82,10; 82,13]
C ₇	[3278,58; 3313,47; 3342,94]	[240,74; 241,98; 244,44]	[12,10; 12,28; 12,40]	[82,10; 82,13; 82,38]
C ₈	[3313,47; 3342,94; 3365,93]	[241,98; 244,44; 246,91]	[12,28; 12,40; 12,53]	[82,13; 82,38; 83,60]
C ₉	[3342,94; 3365,93; 3458,42]	[244,44; 246,91; 249,38]	[12,40; 12,53; 12,87]	[82,38; 83,60; 84,60]
C ₁₀	[3365,93; 3458,42; 3480,48]	[246,91; 249,38; 250,62]	[12,53; 12,87; 13,03]	[83,60; 84,60; 86,80]
C ₁₁	[3458,42; 3480,48; 3510,68]	[249,38; 250,62; 253,09]	[12,87; 13,03; 13,60]	[84,60; 86,80; 88,87]
C ₁₂	[3480,48; 3510,68; 3650,67]	[250,62; 253,09; 258,02]	[13,03; 13,60; 13,73]	[86,80; 88,87; 90,52]
C ₁₃	[3510,68; 3650,67; 3655,43]	[253,09; 258,02; 271,60]	[13,60; 13,73; 14,27]	[88,87; 90,52; 91,50]
C ₁₄	[3650,67; 3655,43; 3937,73]	[258,02; 271,60; 285,18]	[13,73; 14,27; 14,35]	[90,52; 91,50; 92,80]
C ₁₅	[3655,43; 3937,73; 3973,42]	-	[14,27; 14,35; 14,43]	[91,50; 92,80; 94,10]
C ₁₆	[3937,73; 3973,42; 4009,11]	-	-	-

Legenda: Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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.

Conjunto <i>fuzzy</i>	NVP	NGP	NGV	MGR
C ₁	[56,41; 62,27; 68,13]	[88,73; 89,20; 89,67]	[1,33; 1,35; 1,37]	[144,16; 148,65; 153,14]
C ₂	[62,27; 68,13; 70,27]	[89,20; 89,67; 93,00]	[1,35; 1,37; 1,45]	[148,65; 153,14; 154,35]
C ₃	[68,13; 70,27; 71,20]	[89,67; 93,00; 118,49]	[1,37; 1,45; 1,46]	[153,14; 154,35; 155,60]
C ₄	[70,27; 71,20; 71,60]	[93,00; 118,49; 134,69]	[1,45; 1,46; 1,49]	[154,35; 155,60; 160,82]
C ₅	[71,20; 71,60; 75,00]	[118,49; 134,69; 136,20]	[1,46; 1,49; 1,53]	[155,60; 160,82; 162,25]
C ₆	[71,60; 75,00; 76,60]	[134,69; 136,20; 138,51]	[1,49; 1,53; 1,54]	[160,82; 162,25; 164,04]
C ₇	[75,00; 76,60; 77,33]	[136,20; 138,51; 155,09]	[1,53; 1,54; 1,64]	[162,25; 164,04; 164,80]
C ₈	[76,60; 77,33; 78,00]	[138,51; 155,09; 163,27]	[1,54; 1,64; 1,76]	[164,04; 164,80; 165,34]
C ₉	[77,33; 78,00; 82,90]	[155,09; 163,27; 163,47]	[1,64; 1,76; 1,80]	[164,80; 165,34; 168,44]
C ₁₀	[78,00; 82,90; 85,90]	[163,27; 163,47; 163,60]	[1,76; 1,80; 1,83]	[165,34; 168,44; 168,72]
C ₁₁	[82,90; 85,90; 91,00]	[163,47; 163,60; 167,53]	[1,80; 1,83; 1,90]	[168,44; 168,72; 169,23]
C ₁₂	[85,90; 91,00; 107,30]	[163,60; 167,53; 175,87]	[1,83; 1,90; 1,93]	[168,72; 169,23; 172,34]
C ₁₃	[91,00; 107,30; 110,20]	[167,53; 175,87; 187,80]	[1,90; 1,93; 2,01]	[169,23; 172,34; 173,21]
C ₁₄	[107,30; 110,20; 115,00]	[175,87; 187,80; 191,02]	[1,93; 2,01; 2,36]	[172,34; 173,21; 179,65]
C ₁₅	[110,20; 115,00; 122,30]	[187,80; 191,02; 193,47]	[2,01; 2,36; 2,68]	[173,21; 179,65; 200,48]
C ₁₆	[115,00; 122,30; 129,60]	[191,02; 193,47; 195,92]	[2,36; 2,68; 3,00]	[179,65; 200,48; 221,31]

Legenda: Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [g]. Fonte: Elaborada pelo autor.

Foram também elaborados os intervalos dos conjuntos *fuzzy* de saída das variáveis biométricas e de produtividade para os dois anos do experimento, conforme podem ser analisados na Tabela 23.

Tabela 23 - Intervalo dos conjuntos *fuzzy* de saída das variáveis biométricas para cobertura vegetal de milho.

Variáveis de saída	Intervalo dos conjuntos <i>fuzzy</i>	
	2013/14	2014/15
PRO	[1265,03; 3696,93]	[2927,82; 4009,11]
EST	[181,48; 239,50]	[221,00; 285,18]
AIV	[10,20; 16,20]	[10,52; 14,43]
APL	[54,90; 85,30]	[76,00; 94,10]
NVP	[66,60; 154,10]	[56,41; 129,60]
NGP	[92,87; 240,33]	[88,73; 195,92]
NGV	[0,98; 2,90]	[1,33; 3,00]
MGR	[118,10; 128,56]	[144,16; 221,31]

Legenda: Legenda: Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm], Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [g].
Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base na Tabela 23, é possível verificar a maior produtividade de grãos de soja no segundo ano de experimento, uma vez que o intervalo dos conjuntos *fuzzy* de saída do segundo ano, apresenta valores maiores em relação ao primeiro ano. Nesse mesmo sentido, nota-se a maior massa de 1000 grãos também durante o segundo ano.

A base de regras elaborada dos conjuntos *fuzzy* de saída das variáveis biométricas e de produtividade, em função de diferentes doses de nitrogênio aplicados em cobertura vegetal e diferentes doses de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja em sucessão, cultivada sob SPD, estão expressas nas Tabelas 24 e 25, para os Anos 1 e 2, respectivamente.

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 milheto, cultivada em SPD.

Variáveis de entrada		Variáveis de saída							
N	Mo	PRO	EST	AIV	APL	NVP	NGP	NGV	MGR
1	1	4	14	10	14	2	2	6	5
1	2	3	9	6	11	8	3	4	7
1	3	15	7	2	12	11	15	11	16
1	4	14	4	12	13	3	8	15	13
2	1	7	8	11	7	15	6	1	12
2	2	16	10	7	16	14	16	3	11
2	3	12	11	8	4	6	13	13	14
2	4	11	2	14	15	10	11	9	6
3	1	1	3	9	2	7	1	2	9
3	2	2	5	3	6	5	5	10	4
3	3	6	12	13	9	9	7	8	10
3	4	9	7	5	8	13	14	5	15
4	1	5	1	2	10	1	4	10	3
4	2	13	10	1	3	12	10	7	1
4	3	8	13	4	1	4	9	14	2
4	4	10	6	4	5	7	12	12	8

Legenda: Doses de nitrogênio (N) [kg.ha⁻¹], Doses de molibdênio (Mo) [g.ha⁻¹], Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm], Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [g]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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 milheto, cultivada em SPD.

Variáveis de entrada		Variáveis de saída							
N	Mo	PRO	EST	AIV	APL	NVP	NGP	NGV	MGR
1	1	7	12	7	14	4	15	16	8
1	2	12	7	14	1	7	5	9	16
1	3	16	5	9	7	6	7	11	5
1	4	2	6	3	8	10	6	8	7
2	1	5	1	10	11	8	4	6	10
2	2	9	9	13	2	5	11	15	11
2	3	10	13	10	11	3	3	1	13
2	4	13	8	12	12	16	14	7	9
3	1	11	6	5	6	2	2	2	4
3	2	1	3	2	10	11	9	12	12
3	3	14	11	8	9	14	10	5	14
3	4	8	10	1	5	12	13	13	6
4	1	6	2	4	3	13	16	10	2
4	2	15	13	15	4	15	12	4	3
4	3	3	14	11	13	1	1	3	1
4	4	4	4	6	15	9	8	14	15

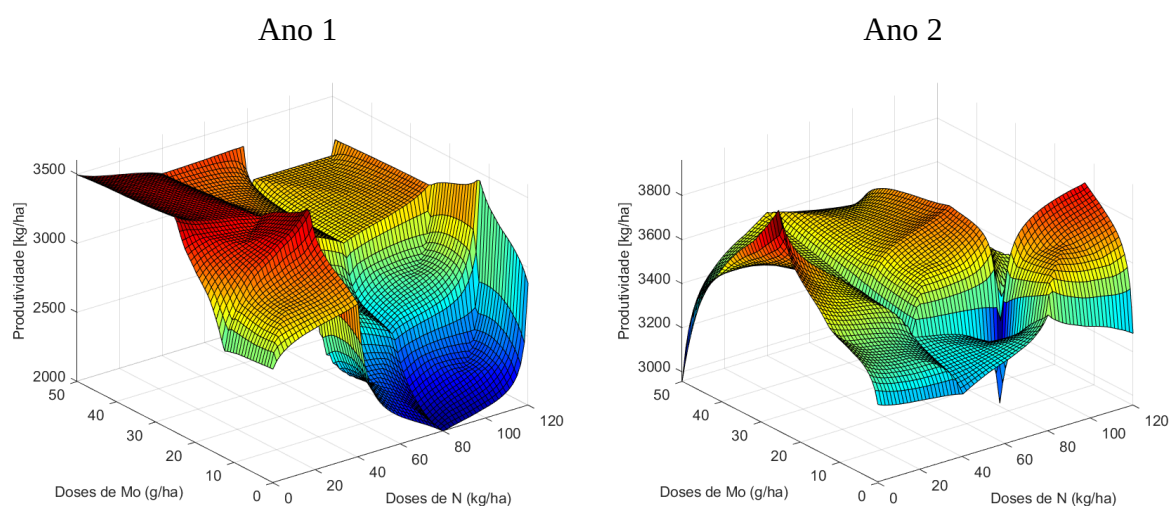
Legenda: Doses de nitrogênio (N) [kg.ha⁻¹], Doses de molibdênio (Mo) [g.ha⁻¹], Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm], Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [g]. Fonte: Elaborada pelo autor.

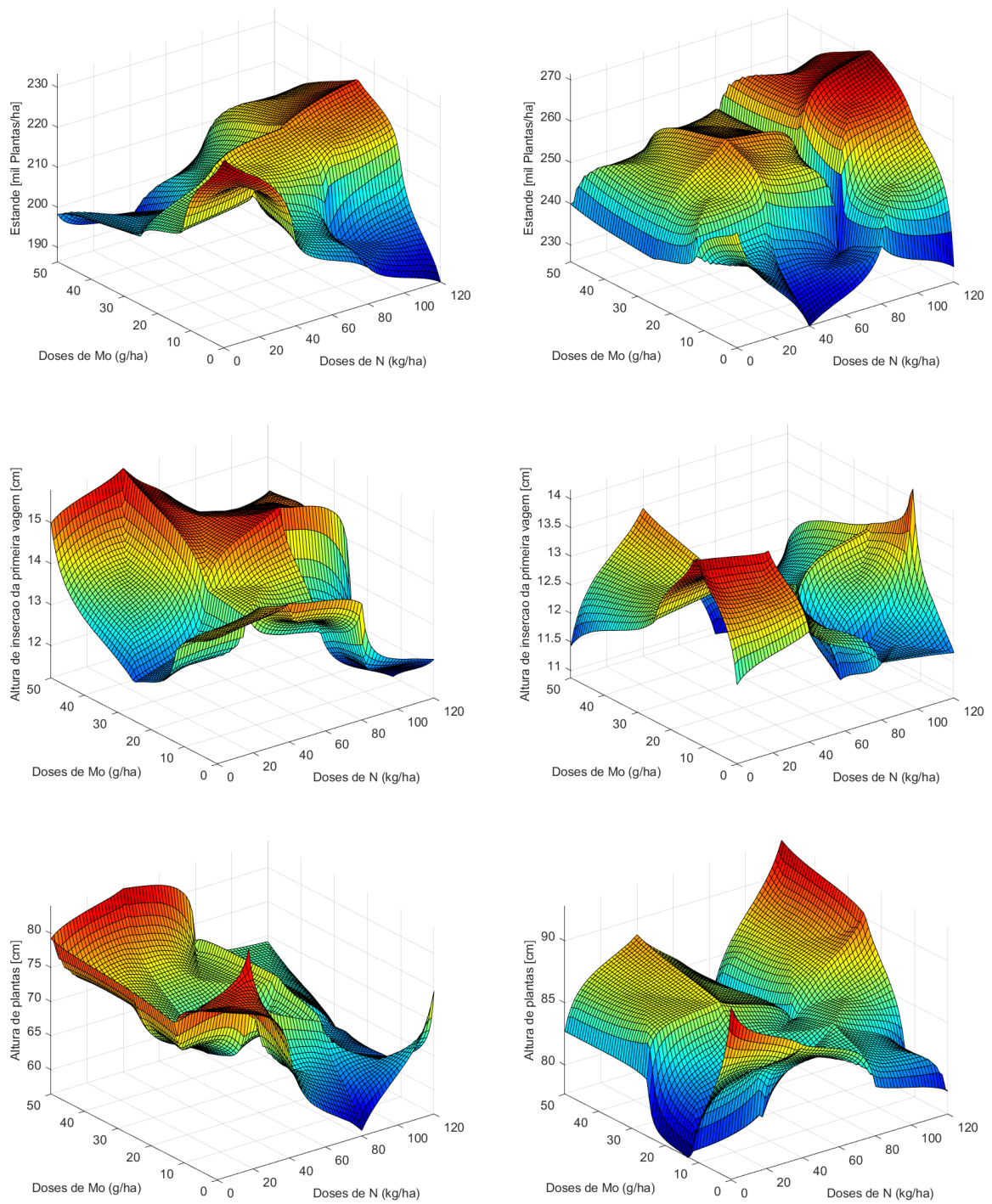
A análise do resultado da base de regras do sistema *fuzzy*, consiste nos resultados sobre o comportamento das variáveis biométricas e de produtividade, em relação às diferentes combinações entre as doses de nitrogênio aplicada em cobertura vegetal e doses de molibdênio aplicada via foliar na cultura da soja em sucessão. Dessa maneira, é possível verificar em relação ao primeiro ciclo (Tabela 24), que a maior produtividade de grãos será obtida frente a combinação de 40 kg.ha⁻¹ de N e 12,5 g.ha⁻¹ de Mo, resultando no conjunto *fuzzy* 16 de saída. Por sua vez, a menor produtividade será obtida quando da dosagem de 80 kg.ha⁻¹ de N e 25 g.ha⁻¹ de Mo.

Desse modo, a base de regras permite ao produtor rural a melhor tomada de decisão, frente à otimização dos recursos produtivos, reduzindo custos com fertilizantes, aumentando a eficiência produtiva além de obter melhores produtividades para cultura da soja.

Conforme elaborado para as variáveis nutricionais, foram também elaborados para as variáveis biométricas e de produtividade, gráficos de superfícies tridimensionais e mapas de contorno, representando o comportamento dessas variáveis de acordo com os modelos matemáticos gerados. Encontra-se na Figura 28 os gráficos de superfícies das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade.

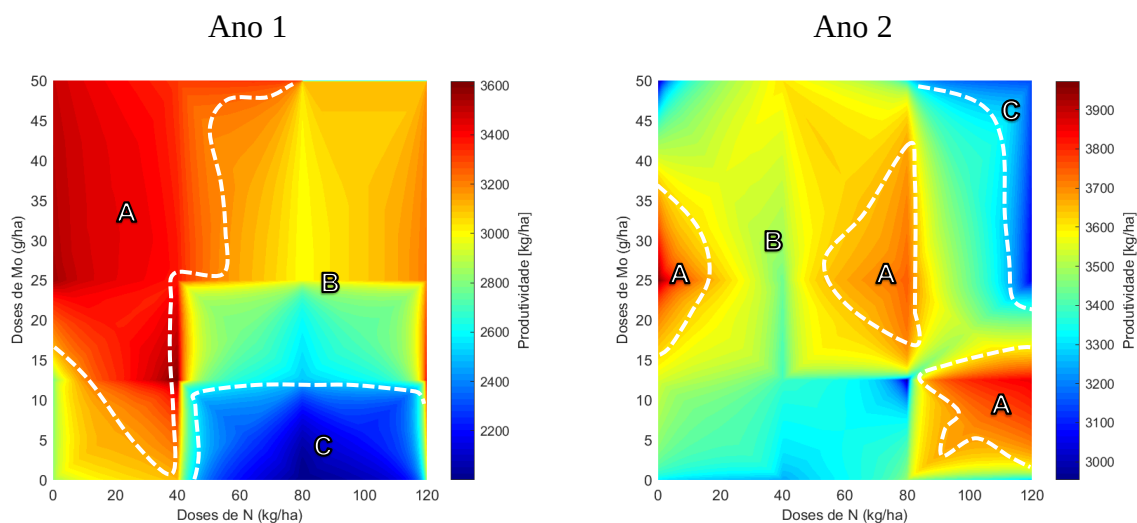
Figura 28 - Superfície tridimensional e das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milheto.





Na Figura 29, estão representados os mapas de contorno da produtividade da cultura da soja.

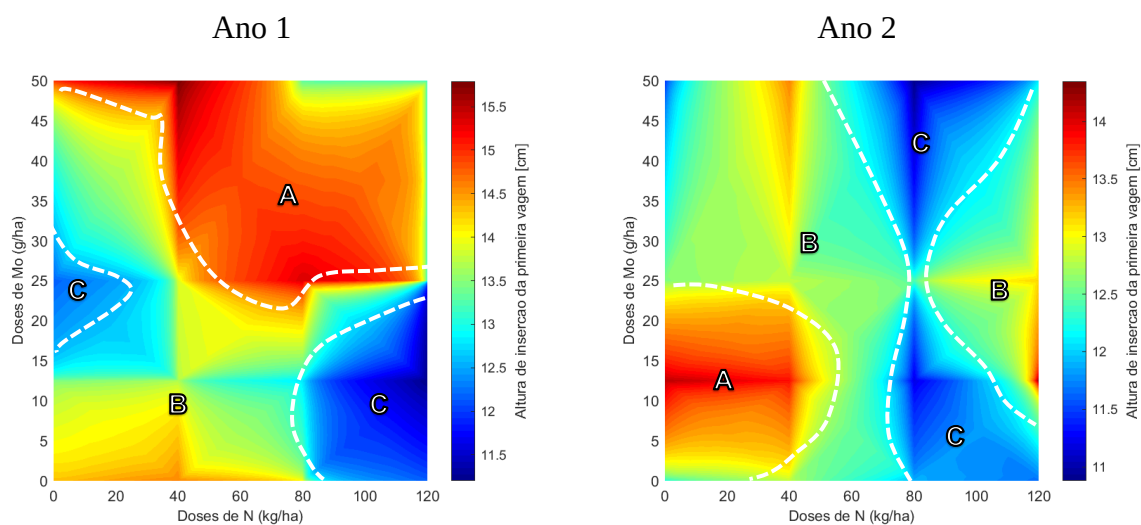
Figura 29 - Mapa de contorno da produtividade da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milheto.



Durante o segundo ano do experimento não foi constatada diferença significativa estatisticamente para interação entre as diferentes doses de N e Mo utilizadas (Tabela 11), sendo o mesmo efeito relatado no trabalho realizado por Fabian (2009) para a produtividade da cultura da soja cultivada sob o efeito de coberturas vegetais (crotalária, milheto, braquiária, pousio e ausência de cobertura vegetal). Da mesma maneira, foi observada a ausência dos efeitos sobre a produtividade da soja cultivada em SPD, nas coberturas vegetais (mucuna-preta, gandu, crotalária, milheto) no experimento conduzido por Carvalho et al. (2004), assim como no trabalho de Silva (2011). No entanto, constatou-se no segundo ano, uma maior produtividade em relação ao Ano 1, conforme observado nos intervalos de [1265,03; 3696,93] e [2927,82; 4009,11] para os Anos 1 e 2, respectivamente, na Tabela 23.

Apresenta-se na Figura 30, os mapas de contorno da altura de inserção da primeira vagem.

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.

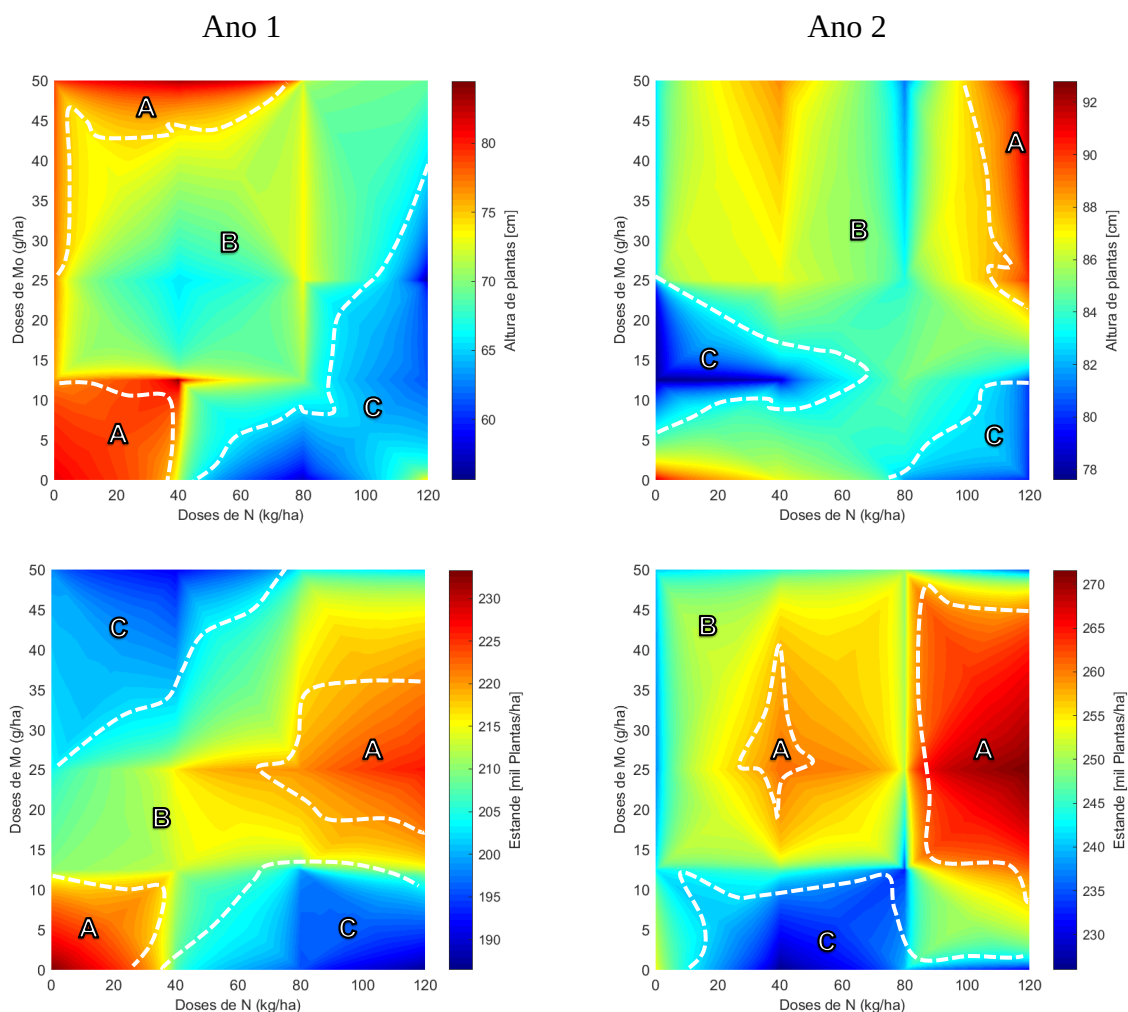


Com relação à altura de inserção da primeira vagem, aferiu-se estatisticamente significativo em relação aos dois períodos analisados, frente as diferentes doses de N utilizadas no experimento. Nota-se que para altos níveis de N utilizados sob a cobertura vegetal de milho, constata-se nos menores valores de AIV, região “C” do mapa, sendo os valores maiores obtidos à medida em que ocorre o aumento da dosagem de Mo.

Comportamento semelhante foi aferido em relação à altura de planta para cada ano do experimento, que por sua vez, as alturas aferidas no Ano 2 são relativamente maiores em relação ao primeiro, como pode ser observado na (Tabela 23) dos intervalos dos conjuntos *fuzzy* de saída.

Os mapas de contorno da altura da planta e estande, estão representados na Figura 31.

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.

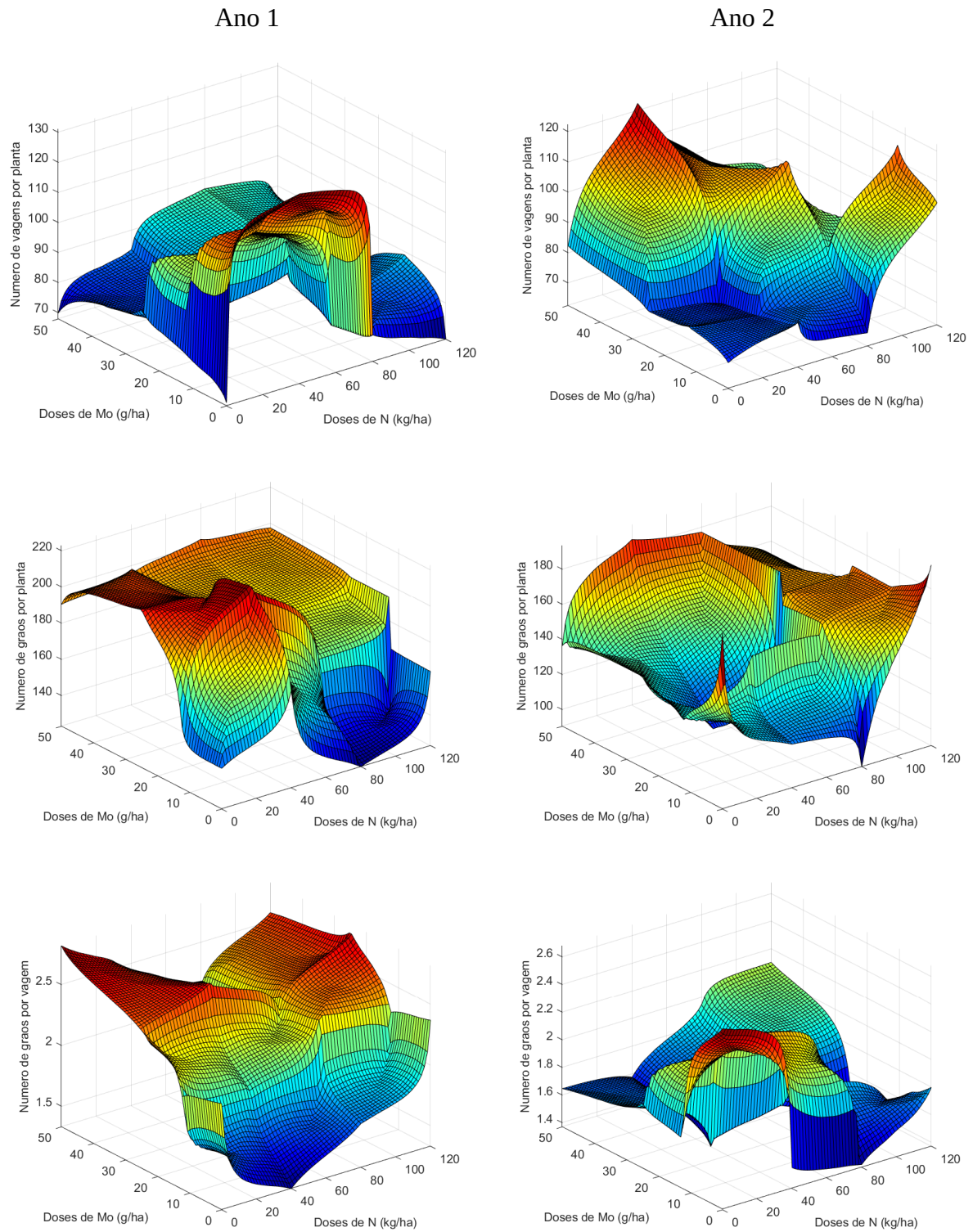


O comportamento obtido em relação à altura das plantas é de tal maneira, que a medida que ocorre aumento da dosagem de nitrogênio aplicado na cobertura vegetal, menores foram as suas aferições, sendo constatado em ambos os anos de realização do experimento, como foi observado na região “C” de ambos os mapas.

Por sua vez, os maiores valores para a variável biométrica, referente ao estande (ESP), foram obtidos em ambos os anos na região da faixa de 25 g.ha⁻¹ de adubação de Mo para um nível de nitrogênio de 120 kg.ha⁻¹, de acordo com a região “A” dos mapas.

Encontra-se na Figura 32, as superfícies tridimensionais das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) e os mapas de contorno das variáveis NGV e NGP, expressos na Figura 33.

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.



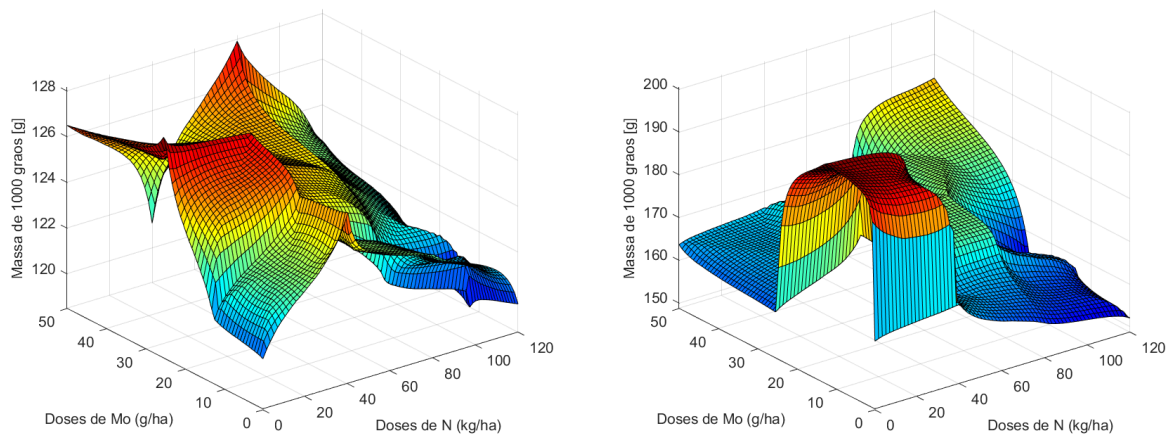
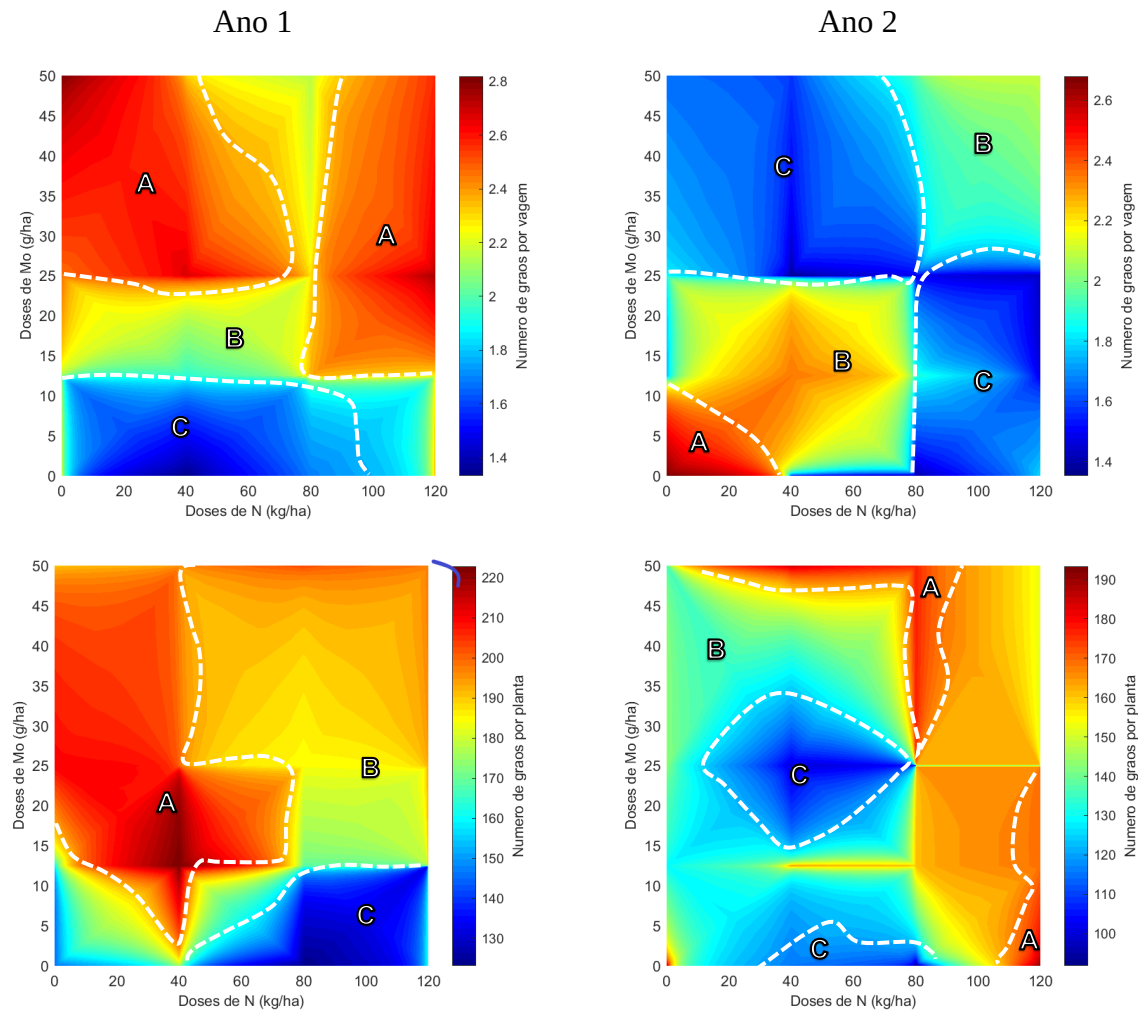
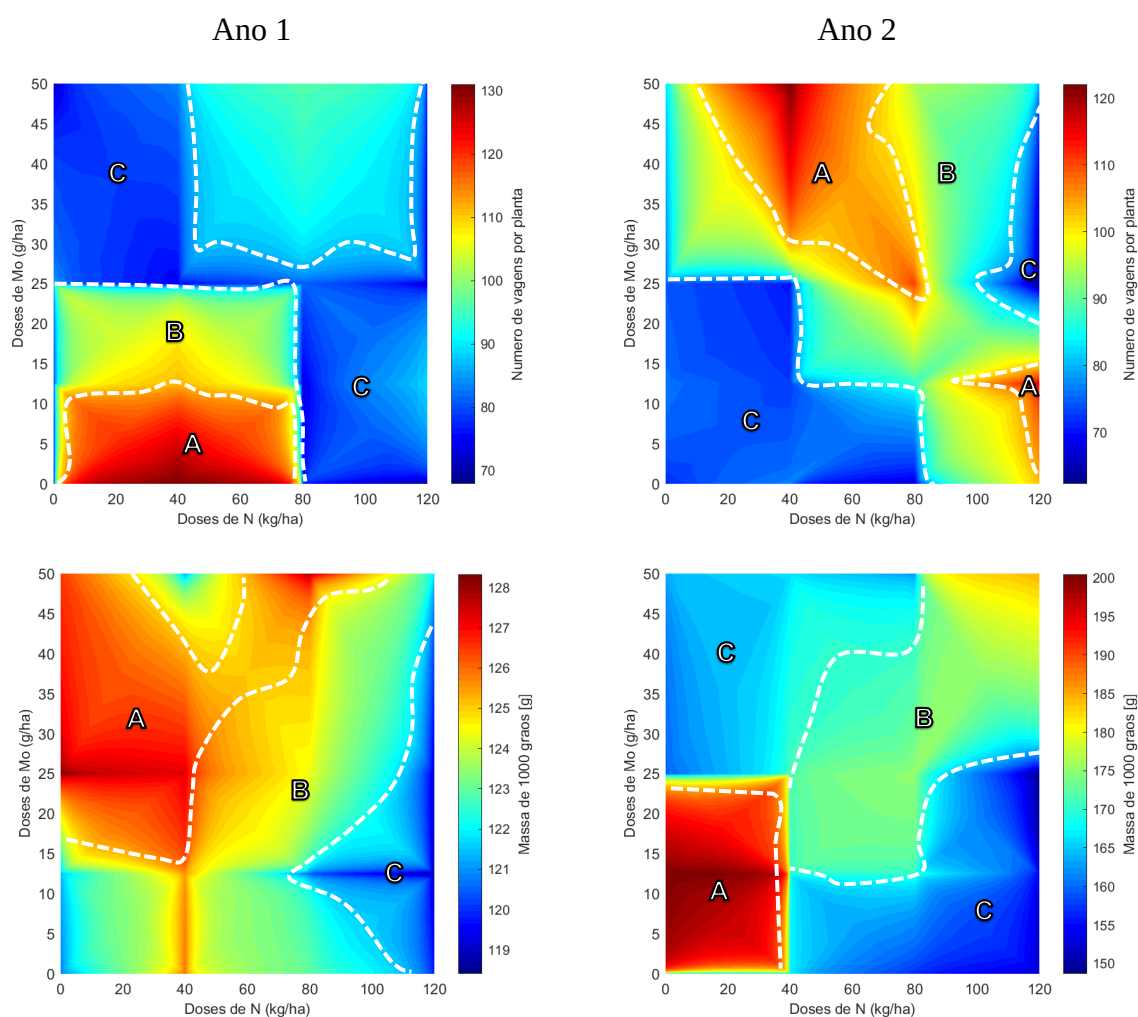


Figura 33 - Mapa de contorno das variáveis biométricas NGV e NGP da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de milheto.



Nos tratamentos utilizados para análise da variação do número de grãos por vagem, não se aferiu significância estatística para ao Ano 2 de realização do experimento. Tal resultado pode ser explicado frente a estabilidade em relação a variações do ambiente, sendo de mesmo resultado modo obtido no trabalho realizado por Silva (2011) para efeito em coberturas vegetais, assim como no trabalho de Oliveira (2015). Já durante a realização no Ano 1, o número de grãos por vagem diferiu estatisticamente em relação a interação dos fatores de N e Mo, assim como o número de grãos por planta, que por sua vez, aferiu maiores valores quando combinados, do baixo nível de nitrogênio em cobertura vegetal e altas doses de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja, sendo obtido o mesmo comportamento da massa de 1000 grãos, ambos durante o Ano 1 do experimento.

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.



Para o Ano 2, a alta concentração de nitrogênio em cobertura vegetal prejudicou o desenvolvimento do NGV e MGR, sendo expressos os menores valores para tais variáveis nessa região, que por sua vez a massa de 1000 grãos foi superior em relação ao Ano 1 (Tabela 23).

2.4 Conclusões

A cobertura vegetal de milho apresentou bons resultados para o teor foliar de N sob altas doses de nitrogênio em cobertura vegetal e doses medianas de Mo aplicada em via foliar na cultura da soja em sucessão, expressos graficamente por meio das modelagens realizadas. O mesmo efeito foi percebido em relação ao estande, observando-se os maiores valores na mesma região compreendida, para ambos os anos de realização do experimento.

Por outro lado, conforme demonstrado graficamente com base na modelagem *fuzzy*, as menores alturas de plantas foram aferidas sob influência de altos níveis de adubação nitrogenada, assim como obtido para o teor foliar de K e Mg.

Dessa maneira, foi considerada satisfatória 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 diferentes níveis de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja em sucessão.

Por meio da elaboração das superfícies tridimensionais e mapas de contornos, é possível identificar as regiões com maiores valores para cada variável dada a combinação obtida entre as dosagens de nitrogênio e molibdênio. Tais resultados, são simplificados por meio da elaboração da base de regras, permitindo ao produtor rural, a melhor tomada de decisão frente aos recursos produtivos utilizados para cultivo da soja, reduzindo os custos com fertilizantes, tornando-os mais eficientes e aumentando a produtividade da cultura.

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

Resumo

O Sistema Plantio Direto (SPD) é uma tecnologia de manejo agrícola baseada em técnicas de conservação do solo e dos recursos naturais, promovendo ações que potencializam as atividades econômicas sem causar danos ao meio ambiente. A utilização das coberturas vegetais, funcionam como adubo verde, fornecendo dessa maneira vários benefícios ao solo e para a cultura em sucessão. Por sua vez, a cultura da soja é uma das culturas em sucessão mais utilizadas sob cultivo de SPD, sendo até o ano de 2001, empregado em pelo menos 80% da área total de cultivo da soja no Brasil, muito em razão de suas características como fixadoras biológicas de nitrogênio, além de sua importância econômica para o agronegócio brasileiro. A cultura do sorgo é dotada de características condizente às coberturas vegetais, entre elas, possuir uma alta tolerância a períodos de déficit hídrico; produzir grande volume de matéria seca, além de ter um sistema radicular profundo para melhor captação de água. Sendo assim, foi realizada a modelagem *fuzzy* dos resultados na cultura da soja em relação às variáveis biométricas, teores de nutrientes nas folhas e produtividade de grãos, em razão das diferentes doses de nitrogênio aplicada na cobertura vegetal de sorgo, e de molibdênio aplicado via foliar na soja em sucessão, sob cultivo de SPD. Foi possível verificar que a palhada de sorgo influenciou diretamente em grande maioria das variáveis analisadas, de produtividade, biométricas e nutricionais, a exemplo a massa referente a 1000 grãos de soja, para a qual apresentou os melhores resultados quando submetida à alta dosagem de nitrogênio durante os dois anos de realização do experimento, sendo igual comportamento observado em relação à altura de planta. Dessa forma 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.

Palavras-chave: Lógica *Fuzzy*; Adubação Nitrogenada; Modelagem Matemática.

FUZZY MODELING OF PRODUCTIVITY AND THE NUTRITIONAL AND BIOMETRIC EFFECTS OF SOYBEAN GROWN IN DIRECT PLANTING AS A FUNCTION OF MOLYBDENUM DOSES AND NITROGEN DOSES IN VEGETABLE SORGHUM COVERAGE

Abstract

The No-Tillage System (NTS) is an agricultural management technology based on soil and natural resource conservation techniques, promoting actions that enhance economic activities without causing damage to the environment. The use of mulches acts as green manure, thus providing various benefits to the soil and crop in succession. In turn, soybean cultivation is one of the most widely used succession crops under NTS cultivation. Until 2001, it was used in at least 80% of the total soybean cultivation area in Brazil, due to its characteristics, as biological nitrogen fixators, besides its economic importance for the Brazilian agribusiness. Sorghum crop is endowed with characteristics consistent with the vegetal coverings, among them, having a high tolerance to periods of water deficit; produce large volumes of dry matter, and have a deep root system for better water uptake. Thus, *fuzzy* modeling of soybean crop results was performed in relation to biometric variables, leaf nutrient content and grain yield, due to the different doses of nitrogen applied to sorghum cover and molybdenum applied via leaf, in soybean in succession under NTS cultivation. It is possible to verify that sorghum straw directly influenced most of the analyzed productivity, biometric and nutritional variables, such as the mass of 1000 soybeans, which presented the best results when submitted to high nitrogen dosage during the period. the two years of the experiment, being the same behavior observed in relation to the plant height. Thus, the modeling performed, allow to identify the best combination of nitrogen and molybdenum fertilization in search of the best result for the desired variable, in order to save resources, whether financial and / or time for production returning in the form of profits to producers.

Keywords: *Fuzzy* Logic; Nitrogen Fertilization; Mathematical Modeling.

3.1 Introdução

O Sistema Plantio Direto (SPD) é uma tecnologia de manejo agrícola baseada em técnicas de conservação do solo e dos recursos naturais, promovendo ações que potencializam as atividades econômicas causando menores danos ao meio ambiente (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007). O SPD proporciona diversos benefícios ao solo, entre eles, a maior oferta de nitrogênio (N) devido a decomposição da palhada sob sua superfície, como também, o aumento da capacidade de armazenamento e retenção de água, evitando desse modo, perdas pelo processo de evapotranspiração (HOU; XU; OUYANG, 2018; PARDO; MARTÍNEZ, 2019).

Esse sistema de produção foi introduzido no Brasil por volta de 1970 na região sul do país, no estado do Paraná, trazida pelos agricultores paranaenses advinda de agricultores americanos (EUA) e ingleses (Inglaterra), sendo adaptada à lavouras com clima tropical e subtropical temperado (MOTTER; ALMEIDA, 2015). No entanto, foi após os anos de 1990 que o SPD destacou-se como sistema de produção agrícola no Brasil sob forte influência do movimento da Agricultura Conservacionista (AC) ocorrido após o período da Revolução Verde, baseando-se em três princípios, sendo eles: (1) menor revolvimento e perturbação do solo; (2) maximização da palhada sob a superfície do solo e (3) estimulação da atividade biológica do solo por meio do processo de rotação de culturas (SIQUEIRA NETO et al., 2010; DERPSCH et al., 2014).

A área utilizada sob SPD atualmente no Brasil é de quase 33 milhões de hectares, o que corresponde a 49,8% da área cultivada no país, que obteve um crescimento médio de 26,8% ao ano desde sua introdução como sistema de produção agrícola, em 1970, e alcançou o auge de crescimento durante a década de 1990, com um crescimento médio anual de 41,8% (GIAROLA et al., 2013; IBGE, 2017; GÓES, 2019).

A utilização das coberturas vegetais, funcionam como adubo verde, fornecendo dessa maneira vários benefícios ao solo e para a cultura em sucessão, melhorando na compactação do solo e ajudando no combate a erosão; no fornecimento de nutrientes, e também podendo atuar no combate às plantas daninhas, chegando em alguns casos uma redução entre 75% e 90% dessas pragas, além de consistir num sistema de manejo sustentável utilizando técnicas que não degradam o meio ambiente (FIDELIS et al., 2003; CHEN; WEIL, 2010; ROSARIO-LEBRON et al., 2019).

No entanto, não é qualquer cultura vegetal que pode ser adotada como cultura de cobertura, pois é preciso que as mesmas, possuam algumas características fisiológicas

importantes, como: um profundo sistema radicular; alta produção de matéria orgânica; resistência à períodos de estresse hídricos e condições climáticas adversas, além também de possuir valor para comercialização (ALVARENGA et al., 2001; DA SILVA SOUZA et al., 2018).

Por sua vez, a cultura da soja é uma das culturas em sucessão mais utilizadas sob cultivo de SPD, sendo até o ano de 2001, empregado em pelo menos 80% da área total de cultivo da soja no Brasil, muito em razão de suas características como fixadoras biológicas de nitrogênio, além de sua importância econômica para o agronegócio brasileiro (GIAROLA et al., 2009; PEREIRA et al., 2011). Sua expressividade, nota-se pelo Brasil ser o segundo maior produtor da cultura do mundo com produção de mais de 115 milhões de toneladas, na safra 2017/2018, atrás apenas dos EUA, que obtiveram uma produção de mais de 123 milhões de toneladas; e também por ser o maior exportador de soja, sendo mais de 83 milhões de toneladas enviada ao comércio exterior em 2019 (DEAGRO, 2017; CONAB, 2018, 2019b).

O sorgo é a quinta cultura de cereais mais importante do mundo, e pertence à família das gramíneas, localizando-se principalmente em áreas de climas tropicais áridos e semiáridos, adaptando-se para regiões secas e quentes (BETA; OBILANA; CORKE, 2001; QI et al., 2018). Seus cereais são aproveitados pelas indústrias para produção de ração animal e forragem para alimentação dos ruminantes, como também é utilizado para produção de biocombustíveis (CASTRO et al., 2017; APPIAH-NKANSAH et al., 2018; SELLE et al., 2018).

A cultura do sorgo é dotada de características condizente às coberturas vegetais, entre elas, possuir uma alta tolerância a períodos de déficit hídrico; produzir grande volume de matéria seca, além de ter um sistema radicular profundo para melhor captação de água (PEDREIRA et al., 2003; ARAYA et al., 2018), sendo assim, utilizada como cobertura vegetal para efeito de avaliação da fertilidade do solo, em relação ao plantio convencional e SPD (CORREIA; DURIGAN, 2008; SALES et al., 2016).

O nitrogênio (N) é um dos principais nutrientes fornecidos ao solo por meio da decomposição da palhada das coberturas vegetais, e que será aproveitado e utilizado pela cultura em sucessão (PRECHSL et al., 2017). Por sua vez, a cultura da soja, pertencente a família das leguminosas, é rica em proteínas sendo considerada fonte importante de proteína vegetal, demandando grande quantidade de nitrogênio para crescimento e desenvolvimento dos grãos (TAMAGNO et al., 2017; MENZA et al., 2019).

Por sua vez, a utilização da adubação com molibdênio (Mo), atua como processo complementar à adubação nitrogenada, pois sua deficiência afeta a taxa de absorção de N pelas plantas, principalmente nas leguminosas fixadoras de N, pois o Mo atua no processo de

nitrificação, auxiliando na assimilação do nitrogênio (KAISER et al., 2005; SCHWARZ; MENDEL; RIBBE, 2009; BISCARO et al., 2011).

Nesse sentido, as experimentações agronômicas são realizadas com a finalidade de testar e avaliar as causas e efeitos de novas tecnologias aplicadas na agricultura, sejam elas; quanto ao manejo da água adotado para diferentes sistemas de produção (TERAVEST et al., 2015); ou influência na produtividade para diferentes capacidades de irrigação (ARAYA et al., 2018); ou na análise das propriedades sensoriais em relação a diferentes doses de nitrogênio (GROENBAEK et al., 2016). No entanto, as técnicas estatísticas utilizadas para demonstrar os melhores resultados do experimento agrônômico, não expressam os resultados para os valores intermediários, os quais não foram testados em campo, sendo necessário recorrer a modelos matemáticos de regressão (PUTTI, 2015; VIAIS NETO, 2016).

Atualmente existem técnicas computacionais que permitem a realização de modelagens matemáticas com menores erros para ajustes dos modelos, entre elas, destaca-se a lógica *fuzzy*, a qual, foi introduzida no meio científico por volta de 1965, pelo matemático Zadeh (ZADEH, 1965). Seu conceito consiste na habilidade de modelar os dados, semelhante ao raciocínio humano, atuando em áreas nas quais são dotadas de informações imprecisas (LI et al., 2016; GARG; AGGARWAL; SOKHAL, 2018).

A lógica *fuzzy* aplica-se nas mais diversas áreas, a exemplo na previsão da resistência de asfalto em camada fina (ZEHTABCHI; HASHEMI; ASADI, 2018); na realização de diagnósticos de doenças (AHMADI et al., 2018); e para avaliação de alternativas de investimentos financeiros (COSTA; ABRAMCZUK; MARTINEZ JUNIOR, 2007); além das mais variadas aplicações no campo agrônômico, como na determinação para controle de qualidade de imagem de um sensor de imagem de colheita de campo (KIM; ZHANG; REID, 2001); na classificação de solos (PEGALAJAR et al., 2019); na análise da produtividade da cultura do tomateiro em relação a diferentes níveis de salinidade (VIAIS NETO et al., 2019a, 2019b).

Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo estudar o comportamento da produtividade na cultura da soja cultivada em SPD em relação a diferentes doses de molibdênio e nitrogênio por meio da modelagem *fuzzy* para a cultura de cobertura vegetal de sorgo.

3.2 Material e Métodos

Este tópico descreve a elaboração do experimento agrícola utilizado para realização da modelagem *fuzzy*, assim como as análises estatísticas das variáveis estudadas, sendo elas:

produtividade de grãos, variáveis nutricionais e biométricas da soja sob cultivo de SPD em função de diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio, sob cobertura vegetal de sorgo.

3.2.1 Descrição do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) pertencente à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” de Ilha Solteira, localizada na cidade de Selvíria-MS, à 335 metros acima do nível do mar, com coordenadas geográficas: 51°22’ de longitude Oeste e 20°22’ de latitude Sul, com solo classificado Latossolo Vermelho de textura argilosa (GOES, 2016; SANTOS et al., 2018).

A região tem características climáticas, segundo classificação de Köppen, tipo Aw (Tropical) com precipitação anual média de 1.330 mm, UR do ar de 66% e temperatura média de 25°C (CENTURION, 1982; KOTTEK et al., 2006). Está apresentado na Tabela 26, os dados climáticos de temperatura e precipitação dos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15, da cidade de Selvíria-MS, na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da Unesp de Ilha Solteira (FEPE).

Tabela 26 - Dados climáticos de temperatura e precipitação das safras 2013/14 e 2014/15, da cidade de Selvíria-MS (FEPE).

Mês	Ano Agrícola 2013/14		Ano Agrícola 2014/15	
	Temperatura Média [°C]	Chuva [mm]	Temperatura Média [°C]	Chuva [mm]
Maio	23,9	34,0	-	-
Junho	22,9	215,6	-	-
Julho	20,7	16,4	-	-
Agosto	21,3	0,2	-	-
Setembro	24,1	103,9	25,6	80,2
Outubro	25,1	64,7	25,1	64,7
Novembro	26,3	128,2	25,3	188,6
Dezembro	27,2	195,3	26,1	107,7
Janeiro	26,3	94,2	27,9	79,7
Fevereiro	26,9	219,2	26,0	180,5
Março	25,3	194,3	25,0	183,1
Abril	26,9	0,2	25,3	26,4

Fonte: Dados da Estação Meteorológica da FEPE (GOES, 2016).

A cobertura vegetal de sorgo foi cultivada com diferentes doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg.ha⁻¹) seguida de três repetições cada uma, dotada de 14 linhas de 12 m e comprimento e espaçamento de 0,34 m de entrelinhas, utilizando 12 kg.ha⁻¹ de sementes de

sorgo granífero para os dois anos do experimento, 2013/14 e 2014/15, da Asgrow Jade® distribuídos pelas Sementes Semeali.

A fonte de nitrogênio utilizada como adubo, foi o nitrato de amônio (NH_4NO_3) com 33% de N, sendo este, depositado ao lado da cobertura vegetal de sorgo quando já expandidas entre quatro e cinco folhas.

Por sua vez, para a cultura da soja, foi realizado o esquema fatorial 4×4 seguido de três repetições, referentes às diferentes doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg.ha^{-1}) das coberturas vegetais e molibdênio (0, 12.5, 25 e 50 g.ha^{-1}) aplicado via foliar na soja em sucessão, constituídos em parcelas com 7 linhas de 5 m de comprimento e 0,45 m de entrelinhas.

Utilizou-se a variedade de soja BRS Valiosa RR, bem resistentes à pragas e doenças do tipo *Cercospora sojina* (mancha “olho-de-rã”); *Diaporthe phaseolorum* f. sp. meridionalis (cranco da haste); *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incog* (nematoides de galhas) e *Microsphaera diffusa* (oídio) (SEMENTES BREJEIRO, 2017). A adubação foi realizada com base nas recomendações do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), adotando para os dois anos do experimento, 250 kg.ha^{-1} de $(\text{N} - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{K}_2\text{O})$, utilizando a formulação de 04-30-10 para a safra 2013/14 e formulação de 08-28-16 para a safra 2014/15 (RAIJ et al., 1996).

As sementes de soja sofreram processo de inoculação para aumentar a capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN) com as estirpes SEMIA 5019 (*Bradyrhizobium elkanii*) e SEMIA 5079 (*Bradyrhizobium japonicum*) na dosagem de 2 ml.ha^{-1} .

Aplicou-se doses de $10 + 1260 \text{ g}$ do i.a. ha^{-1} de glifosato + clorimuron etílico para controle das plantas daninhas, quando expandido o quinto trifólio; já quando expandido por completo sete trifólios (estágio V8), ocorreu a aplicação via foliar do molibdênio utilizando o pulverizador costal com 350 L.ha^{-1} de calda.

3.2.2 Variáveis analisadas

Foram analisadas um total de 18 variáveis na cultura da soja, entre elas, a produtividade de grãos (PRO), variáveis biométricas (estande (Est) [$\text{mil Plantas.ha}^{-1}$], altura de inserção da primeira vagem (AI) [cm], altura da planta (AP) [cm], número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de 1000 grãos (MG) [g]) e variáveis nutricionais de teores foliares (nitrogênio (TN) [g.kg^{-1}], fósforo (TP) [g.kg^{-1}], potássio (TK) [g.kg^{-1}], cálcio (TCa) [g.kg^{-1}], magnésio (TMg) [g.kg^{-1}], enxofre (TS) [g.kg^{-1}]; cobre (TCu) [mg.kg^{-1}]; zinco (TZn) [mg.kg^{-1}]; manganês (TMn) [mg.kg^{-1}] e molibdênio (TMo) [mg.kg^{-1}]).

Durante a expansão do terceiro trifólio (estádio R2) da cultura da soja, as folhas foram coletadas para realização da avaliação do teor foliar dos nutrientes, em 30 plantas por parcela, sofrendo o processo de circulação forçada por 72 horas à 65°C e moídas no moinho do tipo Wiley (RAIJ et al., 1996; GOES, 2016).

A determinação do estande [mil plantas ha⁻¹] foi realizado pela contagem do número de plantas em 3 m de comprimento nas três linhas centrais, sendo posteriormente feita a conversão para plantas por hectare.

Já a altura da planta foi medida com base na distância entre o colo e o ápice da haste principal, sendo realizada em dez plantas por parcela. Por sua vez, a altura de inserção da primeira vagem, foi calculada pela distância entre a inserção e o colo da planta, também realizada em dez plantas a cada parcela.

Em cada parcela foram coletadas amostras de 1000 grãos, pesadas em balanças de precisão (0,01 g), determinando assim a massa de 1000 grãos de soja; já a umidade dos grãos foi obtida pelo método da estufa (105 ± 3°C) corrigindo em 13% a massa obtida, sendo posteriormente realizada a conversão para área útil da parcela determinando a produtividade.

3.2.3 Modelagem *fuzzy*

A partir do experimento realizado por Goes (2016), foi realizada a modelagem *fuzzy* dos resultados na cultura da soja em relação às variáveis biométricas, teores de nutrientes nas folhas e produtividade de grãos, em razão das diferentes doses de nitrogênio aplicada na cobertura vegetal de sorgo, e de molibdênio aplicado via foliar na soja em sucessão, sob cultivo de SPD.

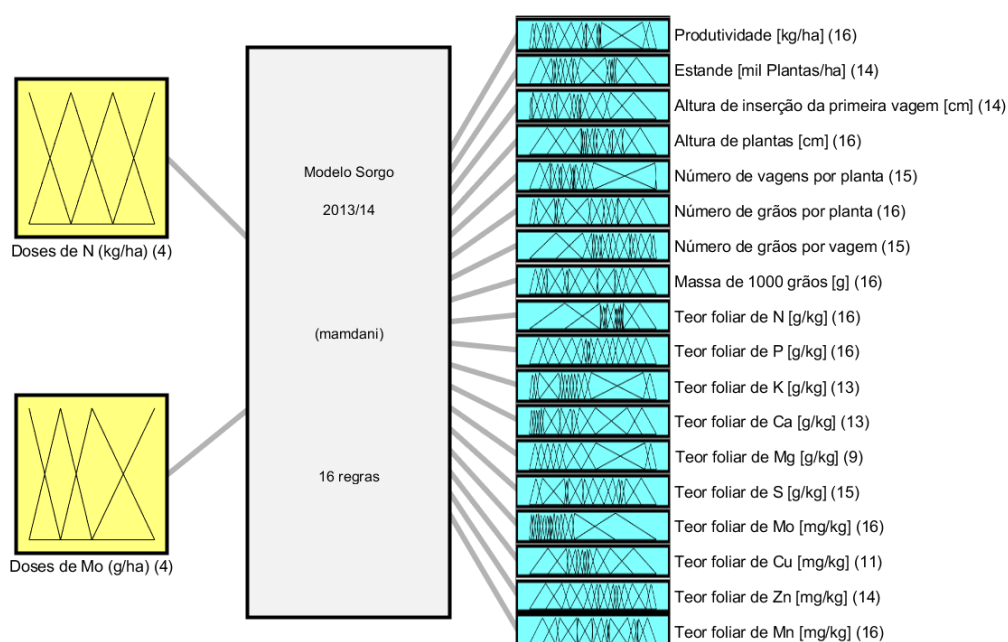
O modelo *fuzzy* proposto é análogo ao modelo elaborado no Capítulo I, sendo representado por uma função $F: A \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow B \subset \mathbb{R}^{18}$, tal que $(x_1, x_2) \mapsto F(x_1, x_2) = (y_1, y_2, \dots, y_{18})$, sendo $\mathbb{R}$ o conjunto dos números reais, $A = A_1 \times A_2$ e $B = B_1 \times B_2 \times \dots \times B_{18}$, com $A_1 = [0, 120]$ representando o intervalo real com os limites mínimo e máximo de nitrogênio considerados no experimento, $A_2 = [0, 50]$ o respectivo intervalo de molibdênio e $B_i = [b_i^1, b_i^2]$ o conjunto representado pelas variáveis de saída, com $1 \leq i \leq 18$, $i \in \mathbb{N}$. O conjunto B_i foi definido pelos valores de máximo e mínimo utilizados no experimento para as variáveis de saída associada: teor foliar dos nutrientes, variáveis biométricas e produtividade de grãos da soja.

O Sistema Baseado em Regras *Fuzzy* (SBRF), foi elaborado com base em regras linguísticas para definir o processador de entrada, no qual, por meio de um método de inferência

fuzzy e um processador de saída, ou *defuzzyficador*, obtém-se um número real associada a variável de saída, exemplificado nas Figuras 35 e 36, referentes as safras 2013/14 e 2014/15 respectivamente.

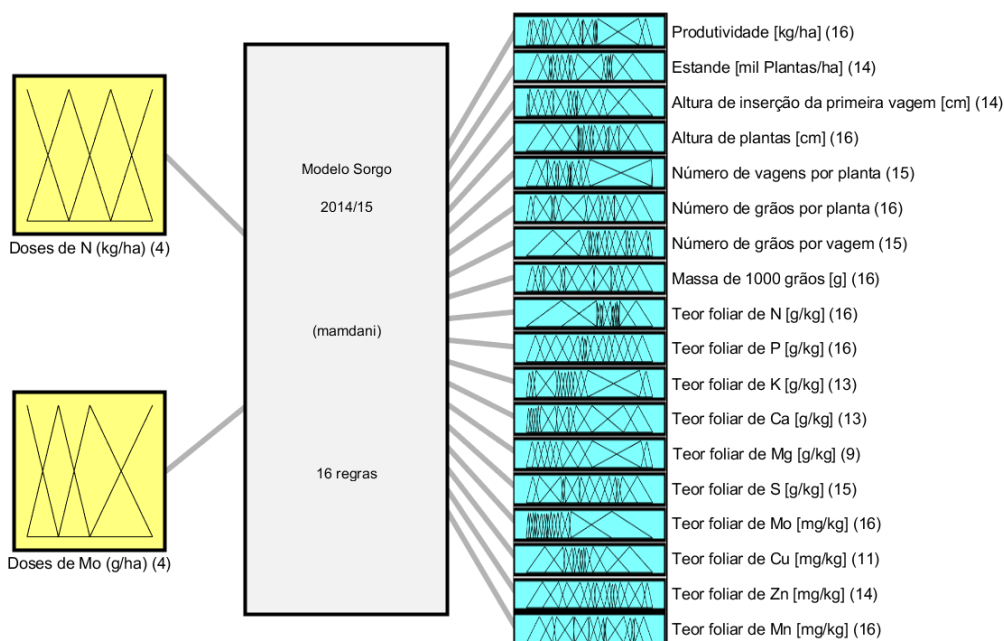
Para definição das variáveis de entrada, foram utilizadas funções de pertinência do tipo triangular, uma vez que facilita-se na manipulação e controle dos dados devido à técnica computacional, resultando em menores erros de ajustes de modelo (PEREIRA FILHO, 1999; CREMASCO; GABRIEL FILHO; CATANEO, 2010).

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.



Fonte: Elaborada pelo autor.

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.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Desta maneira, representa-se o SBRF pela função $F: A \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^{18}$ de modo que $F(x_1, x_2) = (f_1(x_1, x_2), f_2(x_1, x_2), \dots, f_{18}(x_1, x_2))$ para qual o domínio da função é representado pelo produto dos planos cartesianos referente às doses de nitrogênio e molibdênio, $A_1 = [0, 120]$ e $A_2 = [0, 50]$, respectivamente, e o contradomínio associado às 18 variáveis de saída (teor foliar dos nutrientes, variáveis biométricas e produtividade), constituído em $\mathbb{R}^{18}$, para os anos agrícolas de 2013/14 e 2014/15 respectivamente.

Conjunto fuzzy das variáveis de entrada

O conjunto *fuzzy* das variáveis de entrada foi elaborado utilizando funções de pertinência do tipo triangular, sendo o mesmo apresentado no Capítulo anterior, sendo este constituído de quatro conjuntos (C_1, C_2, C_3, C_4) referentes às quatro dosagens de Nitrogênio e Molibdênio, retirados do experimento realizado por Goes (2016).

Adotou-se para os valores utilizados no experimento das variáveis de entrada, (0, 40, 80 e 120 kg.ha⁻¹) para nitrogênio e (0, 12.5, 25 e 50 g.ha⁻¹) para molibdênio, o grau de pertinência igual a 1, representados nas Tabelas 27 e 28, respectivamente.

Tabela 27 – Definição da função de pertinência da variável de entrada nitrogênio.

Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
C_1	Triangular	$[-40, 0, 40]$
C_2	Triangular	$[0, 40, 80]$
C_3	Triangular	$[40, 80, 120]$
C_4	Triangular	$[80, 120, 160]$

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 28 – Definição da função de pertinência da variável de entrada molibdênio.

Conjunto Fuzzy	Tipo	Delimitadores
C_1	Triangular	$[-12,5; 0; 12,5]$
C_2	Triangular	$[0; 12,5; 25]$
C_3	Triangular	$[12,5; 25; 50]$
C_4	Triangular	$[25; 50; 75]$

Fonte: Elaborada pelo autor.

Desta forma, de acordo com o delineamento experimental adotado, foram propostas 4 doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg.ha⁻¹) e 4 doses de molibdênio (0, 12,5, 25 e 50 g.ha⁻¹). Sendo assim, pode-se afirmar que as entradas do sistema *fuzzy* foram definidas pelas variáveis nitrogênio e molibdênio, tendo respectivamente os seguintes conjuntos *fuzzy* associados: A_i^1 e A_i^2 , com $1 \leq i \leq 4, j \in \mathbb{N}$. Tais conjuntos *fuzzy* são definidos na forma de números *fuzzy*, tendo portando somente um ponto com grau de pertinência 1, e podendo ser definidos com somente três pontos, a saber:

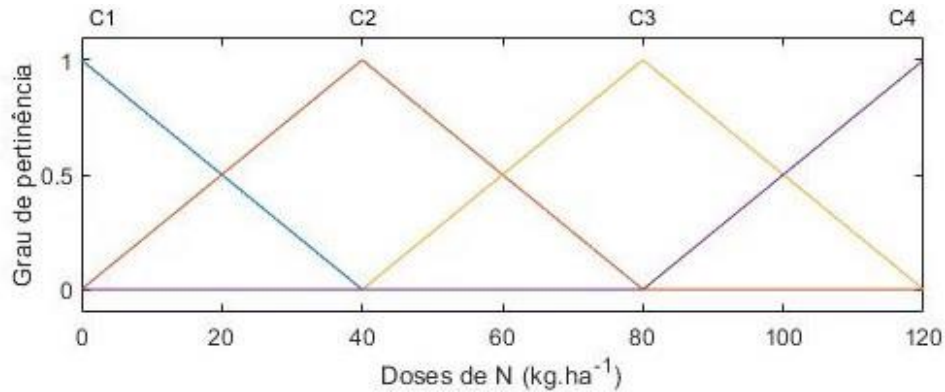
- **a**: ínfimo do suporte da função de pertinência associado ao conjunto *fuzzy*;
- **b**: ponto com grau de pertinência 1;
- **c**: máximo do suporte da função de pertinência associado ao conjunto *fuzzy*.

Sendo assim, estabelece-se todos conjuntos *fuzzy* A_i^1 e A_i^2 denotando todos delimitadores das funções de pertinência associadas da forma $A_i^r: [a_i^r, b_i^r, c_i^r]$ com $1 \leq r \leq 2, 1 \leq i \leq 4, r, i \in \mathbb{N}$. A definição de tais delimitadores é feita da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 \Delta_1 &= 40, \Delta_2 = 12.5 \\
 b_i^1 &= \Delta_1(i - 1), \quad i = 1, 2, 3, 4 \\
 b_i^2 &= \Delta_2(i - 1), \quad i = 1, 2, 3 \\
 b_4^2 &= 50 \\
 a_{i+1}^r &= b_i^r, c_i^r = b_{i+1}^r, \quad i = 1, 2, 3 \\
 a_1^r &= b_1^r - (b_2^r - b_1^r), c_4^r = b_4^r + (b_4^r - b_3^r).
 \end{aligned}$$

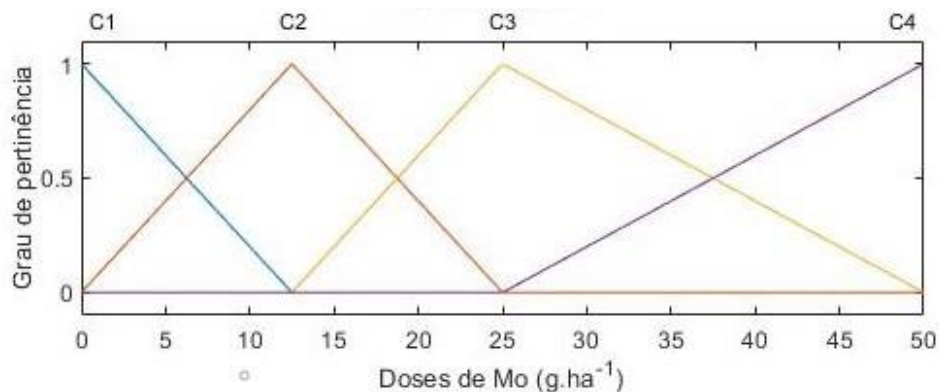
As funções de pertinência das variáveis Nitrogênio e Molibdênio são as mesmas apresentadas no Capítulo I, sendo novamente apresentadas nas Figuras 37 e 38.

Figura 37 – Função de pertinência da variável de entrada nitrogênio.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 38 – Função de pertinência da variável de entrada molibdênio.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conjunto fuzzy das variáveis de saída

Uma vez que no delineamento experimental adotado tem-se dois fatores de 4 níveis (4 doses de nitrogênio e 4 doses de molibdênio), estabeleceu-se 16 tratamentos. Cada tratamento está relacionado à uma (1) média de cada variável. Sendo assim, propôs-se inicialmente o estabelecimento de 16 conjuntos *fuzzy* para cada variável de saída, denotados por C_i^j , com $1 \leq i \leq 16$ e $1 \leq j \leq 18$, $i, j \in \mathbb{N}$, uma vez que este presente modelo possui 18 variáveis de saída.

Todavia, para variáveis que possuam médias de quaisquer dois tratamentos idênticas, somente um único conjunto *fuzzy* foi associado. Logo, se k_j é o número de médias distintas entre os tratamentos em cada variável de saída, tem-se a proposição agora efetiva de k_j conjuntos *fuzzy* para cada variável de saída, denotados por $C_{k_j}^j$, com $1 \leq k_j \leq 16$ e $1 \leq j \leq 18, j, k_j \in \mathbb{N}$.

Tais conjuntos *fuzzy* são definidos na forma de números *fuzzy*, tendo portando somente um ponto com grau de pertinência 1, e sendo definidos com somente três pontos, a saber:

- **a** : ínfimo do suporte da função de pertinência associado ao conjunto *fuzzy*;
- **b** : ponto com grau de pertinência 1;
- **c** : máximo do suporte da função de pertinência associado ao conjunto *fuzzy*.

Sendo assim, estabelece-se todos conjuntos *fuzzy* $C_{k_j}^j$ denotando todos delimitadores das funções de pertinência associadas da forma $C_{k_j}^j : [a_{k_j}^j, b_{k_j}^j, c_{k_j}^j]$ com $1 \leq k_j \leq 16$ e $1 \leq j \leq 18, j, k_j \in \mathbb{N}$.

Definindo para cada $j, 1 \leq j \leq 18, j \in \mathbb{N}$, o conjunto $\{m_k^j\}_{k=1}^{k=k_j}$, com $m_k^j \leq m_{k+1}^j$, $1 \leq k \leq 15$, formado pelas k_j médias distintas da variável j , a definição dos delimitadores dos conjuntos $C_{k_j}^j$ (Tabela 29) é feita para todos $j, 1 \leq j \leq 18, j \in \mathbb{N}$, da seguinte forma:

$$\begin{aligned} b_k^j &= m_k^j, 1 \leq k \leq k_j \\ a_{k+1}^j &= b_k^j, \quad c_k^j = b_{k+1}^j, \quad 1 \leq k < k_j \\ a_1^j &= b_1^j - (b_2^j - b_1^j), \quad c_{k_j}^j = b_{k_j}^j + (b_{k_j}^j - b_{k_j-1}^j). \end{aligned}$$

Tabela 29 - Características dos delimitadores das variáveis de saída do SBRF, com funções de pertinência triangular.

Conjunto <i>fuzzy</i>	Delimitadores		
C_1^j	$[a_1^j, b_1^j, c_1^j]$	=	$[b_1^j - (b_2^j - b_1^j), b_1^j, b_2^j]$
C_2^j	$[a_2^j, b_2^j, c_2^j]$	=	$[b_1^j, b_2^j, b_3^j]$
C_3^j	$[a_3^j, b_3^j, c_3^j]$	=	$[b_2^j, b_3^j, b_4^j]$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$
$C_{k_j-1}^j$	$[a_{k_j-1}^j, b_{k_j-1}^j, c_{k_j-1}^j]$	=	$[b_{k_j-2}^j, b_{k_j-1}^j, b_{k_j}^j]$
$C_{k_j}^j$	$[a_{k_j}^j, b_{k_j}^j, c_{k_j}^j]$	=	$[b_{k_j-1}^j, b_{k_j}^j, b_{k_j}^j + (b_{k_j}^j - b_{k_j-1}^j)]$

Fonte: Elaborada pelo autor.

Base de regras

A base de regras consiste na associação do par ordenado (A_i^1, A_p^2) , $1 \leq p \leq 4, 1 \leq i \leq 4, p, i \in \mathbb{N}$ de conjuntos *fuzzy* de entrada de cada um dos 16 tratamentos à algum conjunto *fuzzy* de saída C_{kj}^j , para cada variável j , $1 \leq j \leq 18, j \in \mathbb{N}$.

Isto foi feito identificando a média $m_{j,k_{ip}}$ do tratamento relacionado ao par ordenado (A_i^1, A_p^2) de conjuntos de entrada, que por sua vez, fica associado ao conjunto *fuzzy* de saída $C_{k_{ip}}^j$ (Tabela 30).

Tabela 30 - Base de regras do sistema *fuzzy* relativa à j -ésima variável de saída do SBRF, $1 \leq j \leq 18, j \in \mathbb{N}$

Regra	Conjuntos <i>Fuzzy</i> de Entrada	Conjuntos <i>Fuzzy</i> de Saída
1	(A_1^1, A_1^2)	$(C_{k_{11}}^1, C_{k_{11}}^2, \dots, C_{k_{11}}^{18})$
2	(A_1^1, A_2^2)	$(C_{k_{12}}^1, C_{k_{12}}^2, \dots, C_{k_{12}}^{18})$
3	(A_1^1, A_2^3)	$(C_{k_{13}}^1, C_{k_{13}}^2, \dots, C_{k_{13}}^{18})$
4	(A_1^1, A_2^4)	$(C_{k_{14}}^1, C_{k_{14}}^2, \dots, C_{k_{14}}^{18})$
5	(A_2^1, A_1^2)	$(C_{k_{21}}^1, C_{k_{21}}^2, \dots, C_{k_{21}}^{18})$
6	(A_2^1, A_2^2)	$(C_{k_{22}}^1, C_{k_{22}}^2, \dots, C_{k_{22}}^{18})$
7	(A_2^1, A_2^3)	$(C_{k_{23}}^1, C_{k_{23}}^2, \dots, C_{k_{23}}^{18})$
8	(A_2^1, A_2^4)	$(C_{k_{24}}^1, C_{k_{24}}^2, \dots, C_{k_{24}}^{18})$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
16	(A_4^1, A_4^2)	$(C_{k_{44}}^1, C_{k_{44}}^2, \dots, C_{k_{44}}^{18})$

Fonte: Elaborada pelo autor.

Método de inferência e defuzzyficação

Para realização do processo de inferência e *defuzzyficação*, utilizou-se no presente trabalho o método proposto por Mamdani e Assilian (1975), classificado como controladores universais, mais utilizado no meio científico (CAO; REES; FENG, 2001).

As variáveis de saída foram calculadas por meio do centro de massa e associadas com base nas regras elaboradas pelo SBRF, sendo o processo de *defuzzyficação* expresso pela Equação (3) a seguir (BELARBI et al., 2005).

$$u = \frac{\sum_{k=1}^m m_k \mu_{B_k}(u)}{\sum_{k=1}^m \mu_{B_k}(u)} \quad (3)$$

Em que:

- m_k = centro de massa do conjunto B_k .

Foram utilizadas planilhas eletrônicas, da Microsoft Excel e o software MATLAB® para determinação do SBRF, ambos licenciados para uso pela Faculdade de Ciências e Engenharia de Tupã (FCE/UNESP). Já para a realização da análise gráfica e criação das funções de pertinência, utilizou-se a ferramenta *Fuzzy Logic* do software MATLAB®.

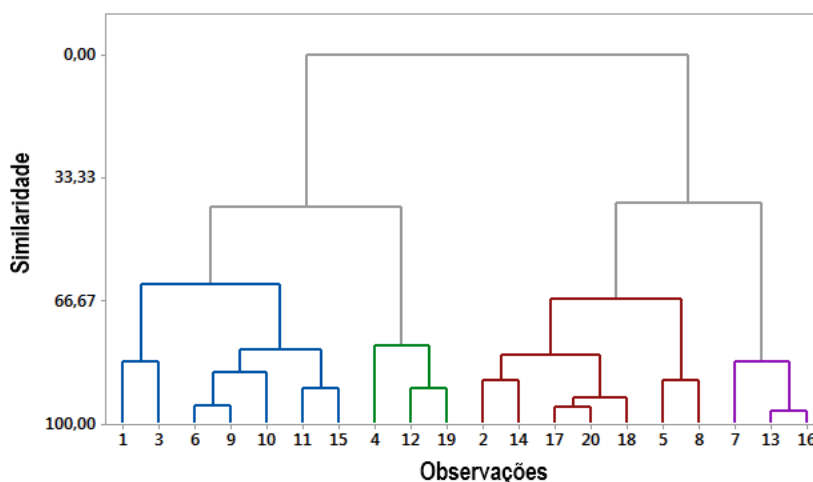
3.2.4 Análise Multivariada

A análise multivariada avalia o grau de influência entre as variáveis com base na similaridade e dissimilaridade, reduzindo o conjunto de dados por meio do processamento de informações, em grupos menores (YAMANISHI et al., 2018; MAIONE; BARBOSA; BARBOSA, 2019).

Dessa maneira, foi realizada a análise multivariada entre as variáveis para verificar o grau de similaridade e dissimilaridade entre elas em relação as variáveis de entrada, nitrogênio e molibdênio.

Tal técnica permite avaliar a importância das variáveis em relação ao conjunto com base na sua classificação, formando grupos (*cluster*) originando no dendrograma, conforme a Figura 39 (FORINA et al., 2007; CHANDRASHEKAR; SAHIN, 2014).

Figura 39 - Ilustração do dendrograma.



Fonte: MINITAB (2019)

O distanciamento entre as variáveis é calculado com base no grau de correlação entre as mesmas, ou seja, quanto maior for o grau de correlação, menor será a distância entre elas, por exemplo, se o grau de correlação obtido entre duas variáveis for de 0,991; a distância será de 0,009; obtendo-se tal valor pela subtração de 1 unidade.

3.3 Resultados e Discussão

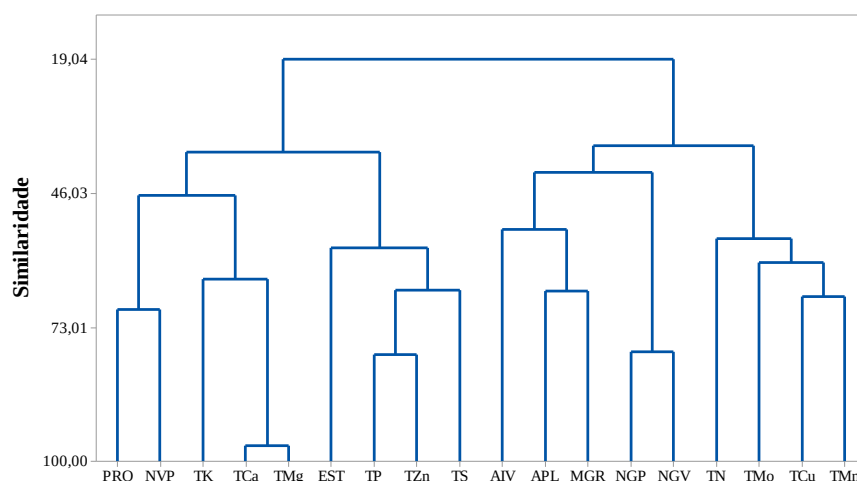
Os resultados foram apresentados conforme os modelos *fuzzy* das variáveis estudadas para a cultura da soja, totalizando 18 variáveis de saída, para os dois anos agrícolas do experimento, 2013/14 e 2014/15, em relação ao comportamento sob diferentes níveis de nitrogênio aplicado na cobertura vegetal de sorgo e diferentes doses de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja em sucessão sob SPD.

3.3.1 Análise Multivariada

A análise multivariada foi realizada para as 18 variáveis de saída da cultura da soja, cultivada em sucessão sob SPD em cobertura vegetal de sorgo, durante os anos agrícolas 2013/14 e 2014/15, com base na correlação de Pearson com nível de significância de 5%.

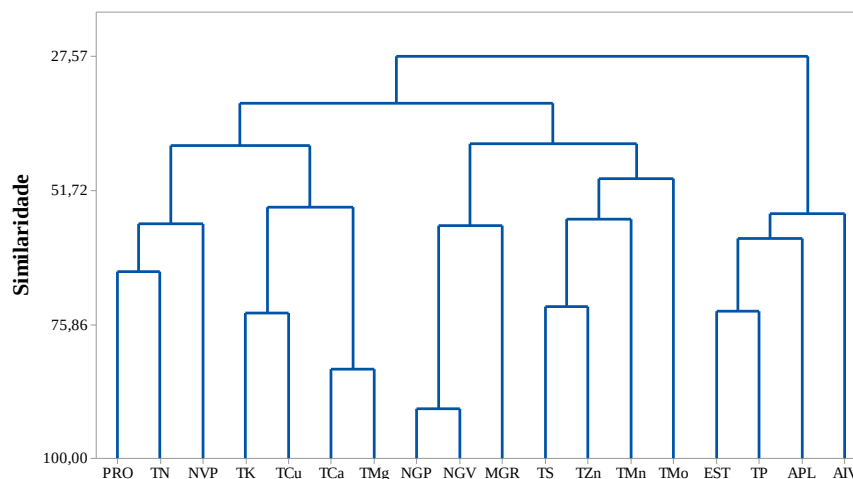
Dessa maneira, estão representados nas Figuras 40 e 41, a análise gráfica de dendrograma, os níveis de similaridade entre as variáveis de saída.

Figura 40 – Dendrograma das variáveis de saída da cultura da soja, do ano agrícola 2013/14 para a cobertura vegetal de sorgo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 41 – Dendrograma das variáveis de saída da cultura da soja, do ano agrícola 2014/15 para a cobertura vegetal de sorgo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O dendrograma representa o agrupamento das variáveis em grupos menores, denominados *cluster*, por meio do grau de similaridade entre as mesmas. Quanto maior a similaridade em relação ao comportamento das variáveis, menor será o número de agrupados, já por outro lado, haverá uma maior quantidade de variáveis em um mesmo *cluster* para um nível de similaridade menor.

A composição gráfica do dendrograma é realizada com base nos passos de Amalgamação, que trazem consigo informações referentes à distância dos grupos formados em relação ao nível de similaridade entre as variáveis estudadas a cada passo, como pode-se observar na Tabela 31.

Tabela 31 – Passos de Amalgamação das variáveis de saída da cultura da soja para a cobertura vegetal de sorgo.

2013/14				2014/15			
Passo	Agrupados	Similaridade	Distância	Passo	Agrupados	Similaridade	Distância
1	17	96,70	0,06	1	17	90,92	0,18
2	16	78,42	0,43	2	16	83,84	0,32
3	15	77,81	0,44	3	15	73,75	0,52
4	14	69,33	0,61	4	14	73,49	0,53
5	13	66,72	0,66	5	13	72,66	0,54
6	12	65,61	0,68	6	12	66,35	0,67
7	11	65,53	0,68	7	11	60,29	0,79
8	10	63,19	0,73	8	10	57,98	0,84
9	9	59,94	0,80	9	9	57,71	0,84
10	8	57,04	0,85	10	8	56,81	0,86
11	7	55,07	0,89	11	7	55,90	0,88
12	6	53,20	0,93	12	6	54,68	0,90
13	5	46,37	1,07	13	5	49,59	1,00
14	4	41,87	1,16	14	4	43,63	1,12
15	3	37,71	1,24	15	3	43,23	1,13
16	2	36,40	1,27	16	2	35,97	1,28
17	1	19,04	1,61	17	1	27,57	1,44

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base na Tabela 31, é possível verificar a formação distinta de 2 grupos concentrados no primeiro ano e 3 grupos para o segundo ano, uma vez que ocorre um aumento abrupto da distância em relação ao aumento do passo de amalgamação, sendo 16 para o 17 e 15 para 16, nos Anos 1 e 2, respectivamente.

Apresenta-se nas Tabelas 32 e 33, os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas para cultura do sorgo, nos Anos 1 e 2, respectivamente.

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).

	PRO	EST	AIV	APL	NVP	NGP	NGV	MGR	TN	TP	TK	TCa	TMg	TS	TMo	TCu	TZn
EST	-																
AIV	-0,286	-0,318															
APL	-	-	-														
NVP	0,387	-	-0,303	-0,162													
NGP	0,451	-	-	-	-												
NGV	-	-	-	-	-0,619	0,556											
MGR	-	-	-	0,312	-	-	-										
TN	-	-	-	-	-	-	-	-									
TP	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
TK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
TCa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
TMg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,413	0,934					
TS	-	-	-	-	-	-0,285	-	-	-	0,541	-	-	-				
TMo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
TCu	-	-	-	-	-	-	-	-	0,318	0,293	-	-0,307	-	-	-		
TZn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,569	-	-	-	0,311	-	-	
TMn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,334	-

Legenda: Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm], Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [unid.], Teor foliar de nitrogênio (TN) [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo (TP) [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio (TK) [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio (TCa) [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio (TMg) [g.kg⁻¹], Teor foliar de enxofre (TS) [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio (TMo) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre (TCu) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco (TZn) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês (TMn) [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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).

	PRO	EST	AIV	APL	NVP	NGP	NGV	MGR	TN	TP	TK	TCa	TMg	TS	TMo	TCu	TZn
EST	-																
AIV	-	0,397															
APL	-	0,467	-														
NVP	-	-	-	-													
NGP	-	-	-0,3	-	0,318												
NGV	-	-	-0,309	-	-	0,819											
MGR	-	-	-	-	-	-	-										
TN	0,327	-	-	-	-	-	-	-									
TP	-	0,47	-	-	-	-	-	-	0,29								
TK	0,352	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
TCa	-	-0,36	-	-	-	-	-	0,37	-	-	-						
TMg	-	-0,449	-	-0,326	-	-	-	-	-	-0,371	0,312	0,677					
TS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,405	0,299				
TMo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
TCu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,475	-	0,288	-	-		
TZn	-	-	-	-	-	-	-	-	0,368	-	-	-	-	0,453	-	-	
TMn	-	-	-	-	-	-	-	-	0,285	-	-	-	-	-	-	-	-

Legenda: Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm], Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [unid.], Teor foliar de nitrogênio (TN) [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo (TP) [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio (TK) [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio (TCa) [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio (TMg) [g.kg⁻¹], Teor foliar de enxofre (TS) [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio (TMo) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre (TCu) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco (TZn) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês (TMn) [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

De mesmo modo, como apresentando no capítulo anterior, o comportamento das variáveis apresentados nos dendrogramas das Figuras 40 e 41, é reflexo da análise de correlação entre as mesmas, para as quais, aproximam-se as variáveis que possuem maior grau da correlação de Pearson, e distanciam-se a medida em que o mesmo diminui.

Nota-se no Ano 1 (Figura 40) o alto grau de similaridade entre as variáveis TCa e TMg, para a qual possuem o valor de 0,934 da correlação de Pearson, sendo a distância entre ambas, calculada pela subtração de uma (1) unidade, ou seja, $1 - 0,934$, resultando em 0,006, por outro lado, o comportamento oposto é verificado entre as variáveis EST e TMg durante o Ano 2, com grau de correlação de -0,449, refletindo no distanciamento gráfico apresentado no dendrograma da Figura 41, resultando numa distância de 1,449 ($1 - (-0,449)$).

2.3.4 Estatística descritiva das variáveis analisadas

Assim como realizado no capítulo anterior, constam de maneira análoga a média em relação a cada variável de saída em função da combinação entre as doses de nitrogênio e molibdênio, aplicados em cobertura vegetal e via foliar na cultura da soja em sucessão, respectivamente, para ambos anos de realização do experimento, Tabelas 34 e 35.

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.

PRO												
	EST				AIV							
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	3741	2159	3055	2824	212,3	235,8	232,1	211,1	12,50	13,00	13,93	14,15
40	2198	3029	1962	2756	200,0	246,9	229,6	201,2	12,87	11,50	16,00	14,80
80	2015	2253	2585	2370	204,9	193,8	234,6	229,6	14,27	15,57	11,60	14,30
120	2992	2829	3855	3069	233,3	216,0	207,4	202,5	13,70	14,27	12,07	17,30

APL					NVP				NGP			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	57,73	62,67	63,20	64,37	113,00	58,70	78,60	68,60	238,8	132,9	213,4	213,5
40	63,87	65,93	52,45	74,60	67,20	74,50	74,25	72,93	149,1	183,2	224,9	150,9
80	72,00	62,70	66,70	80,10	80,47	69,23	112,80	64,10	197,5	128,4	153,2	186,7
120	70,40	75,20	71,70	67,60	83,90	63,50	75,40	74,67	201,1	207,2	214,0	160,5

NGV					MGR				TN			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	2,113	2,268	2,798	3,216	115,8	118,2	118,4	121,0	40,72	44,66	39,52	44,47
40	2,242	2,609	3,029	2,070	116,4	119,6	117,8	122,7	44,10	31,64	43,82	39,62
80	2,482	1,894	1,369	2,924	116,3	122,8	121,2	115,2	42,70	43,31	44,71	44,10
120	2,397	3,282	2,838	2,162	124,1	123,4	116,4	125,4	40,39	48,42	43,28	41,09

TP					TK				TCa			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	8,885	8,329	8,035	8,600	11,58	11,08	11,58	11,33	7,083	7,000	7,250	7,250
40	8,550	7,963	8,143	8,246	11,00	11,25	10,42	11,75	7,417	8,417	7,333	8,625
80	8,649	8,733	8,800	8,370	13,08	10,92	11,42	11,17	10,250	7,917	7,167	8,000
120	8,803	8,389	8,475	8,407	13,25	10,33	10,25	11,33	9,167	8,333	8,333	10,750

TMg					TS				TMo			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	3,750	3,500	3,583	3,500	2,938	3,010	2,801	3,007	4,884	5,578	6,035	5,959
40	3,833	3,667	3,667	4,127	3,153	2,798	2,928	3,279	5,010	5,107	4,733	4,802
80	5,000	3,917	3,667	3,917	3,213	3,190	3,178	2,955	7,466	5,709	5,450	5,231
120	4,333	3,917	3,833	5,083	2,833	3,015	3,108	3,064	4,550	4,619	5,199	5,341

TCu					TZn				TMn			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	19,00	15,67	14,00	22,33	64,33	59,67	54,33	58,00	167,5	157,7	133,0	144,7
40	17,00	10,00	15,00	14,00	57,00	51,33	57,00	59,00	163,0	122,0	124,0	140,5
80	16,00	15,00	14,33	13,00	63,67	60,00	61,00	57,67	162,5	149,0	147,7	148,0
120	15,33	12,67	15,33	14,33	62,00	60,33	56,00	53,33	115,5	132,5	161,0	140,0

Fonte: Elaborada pelo autor.

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.

PRO												
	EST				AIV							
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	3075	2908	3284	3146	256,8	280,2	276,5	255,6	13,00	14,13	13,67	12,67
40	3745	3319	3267	3046	244,4	291,4	274,1	245,7	12,27	13,80	12,50	13,73
80	3321	3224	3422	3377	249,4	238,3	279,0	274,1	13,20	12,15	14,07	12,18
120	3328	3118	2874	2834	277,8	260,5	251,9	246,9	14,27	13,90	13,53	13,43

APL					NVP				NGP			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	85,53	95,20	94,20	81,55	90,80	69,10	81,20	54,70	130,0	158,2	120,5	86,9
40	88,00	82,80	90,17	84,80	58,65	72,50	95,50	55,20	193,1	133,7	150,3	82,9
80	91,80	84,18	88,40	94,23	67,60	77,70	97,20	76,50	213,2	166,2	134,0	130,9
120	91,87	89,52	82,10	89,75	68,40	63,60	65,73	70,10	87,4	89,9	106,0	107,8

NGV					MGR				TN			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	1,422	2,256	1,506	1,591	159,3	164,1	153,5	151,6	40,18	41,60	41,86	37,71
40	3,284	1,854	1,565	1,507	170,4	168,0	154,9	173,2	41,65	39,22	37,96	42,65
80	3,150	2,151	1,383	1,702	182,8	165,2	164,3	161,7	39,01	40,32	41,63	42,21
120	1,317	1,432	1,629	1,541	152,0	170,2	171,9	160,1	38,76	38,41	37,24	39,32

TP					TK				TCa			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	3,707	3,984	3,868	3,402	15,08	15,17	14,58	13,17	8,000	7,333	8,083	7,167
40	3,744	3,865	3,618	3,850	14,75	12,92	14,75	17,67	7,877	7,667	7,250	7,750
80	3,682	3,479	3,886	3,921	14,00	14,75	12,83	14,83	8,333	8,500	8,500	8,500
120	3,554	3,795	3,554	3,564	15,33	15,58	13,58	12,42	8,083	7,750	8,333	8,500

TMg					TS				TMo			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	3,500	3,167	3,333	3,417	2,437	2,774	2,582	2,118	4,437	4,567	6,435	6,928
40	3,333	3,333	3,167	3,583	2,915	2,462	2,293	2,553	6,221	5,932	5,042	5,522
80	3,667	3,667	3,500	3,417	2,699	2,371	2,899	2,685	5,990	5,340	5,411	4,900
120	3,500	3,333	3,417	3,583	2,509	2,766	2,665	3,033	5,450	5,827	6,233	5,931

TCu					TZn				TMn			
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50	0	12,5	25	50
0	10,00	10,00	10,00	10,00	40,00	46,67	46,67	40,00	55,00	60,00	60,00	50,00
40	10,00	10,00	10,00	13,33	46,67	46,67	43,33	45,00	65,00	55,00	55,00	75,00
80	10,00	10,00	10,00	10,00	40,00	43,33	46,67	50,00	65,00	68,33	55,00	60,00
120	10,00	10,00	10,00	10,00	43,33	43,33	43,33	46,67	55,00	58,33	55,00	58,33

Fonte: Elaborada pelo autor.

O teste F, referente a análise estatística das variáveis de produtividade, biométricas e nutricionais em função dos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio e a interação entre os fatores, estão representados na Tabela 36, a seguir.

Tabela 36 - Teste F das variáveis de produtividade, biométricas e nutricionais da cultura da soja semeada em palhada de sorgo sob SPD.

	Ano 1			Ano 2		
	N	Mo	N × Mo	N	Mo	N × Mo
PRO	11,58 ^{**}	1,06 ^{ns}	5,12 ^{**}	0,91 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,35 ^{ns}
EST	0,19 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,23 ^{ns}
AIV	0,93 ^{ns}	4,56 ^{**}	4,80 ^{**}	1,22 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,27 ^{ns}
APL	3,69 [*]	2,09 ^{ns}	1,66 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,33 ^{ns}
NVP	2,05 ^{ns}	10,82 ^{**}	6,13 ^{**}	3,22 ^{ns}	8,23 ^{**}	3,94 ^{**}
NGP	18,00 ^{**}	22,98 ^{**}	22,66 ^{**}	10,94 ^{**}	7,68 ^{**}	3,22 ^{**}
NGV	4,28 [*]	1,27 ^{ns}	7,84 ^{**}	12,59 ^{**}	18,22 ^{**}	11,40 ^{**}
MGR	0,97 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,92 ^{ns}
TN	3,14 [*]	0,16 ^{ns}	4,59 ^{**}	1,74 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1,38 ^{ns}
TP	1,37 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,89 ^{ns}
TK	0,18 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,85 ^{ns}
TCa	3,65 [*]	1,43 ^{ns}	1,08 ^{ns}	2,83 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,50 ^{ns}
TMg	2,35 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,23 ^{ns}
TS	0,78 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,80 ^{ns}	2,33 ^{ns}	0,08 ^{ns}	3,41 ^{**}
TMo	10,68 ^{**}	0,34 ^{ns}	4,82 ^{**}	1,01 ^{ns}	1,10 ^{ns}	4,89 ^{**}
TCu	13,84 ^{**}	10,76 ^{**}	6,28 ^{**}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,00 ^{ns}
TZn	1,03 ^{ns}	1,45 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,29 ^{ns}
TMn	2,05 ^{ns}	0,91 ^{ns}	2,31 [*]	1,29 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,27 ^{ns}

^{ns} Não significativo, * e **, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo Teste F.

3.3.2 Modelagem *fuzzy* da cultura da soja

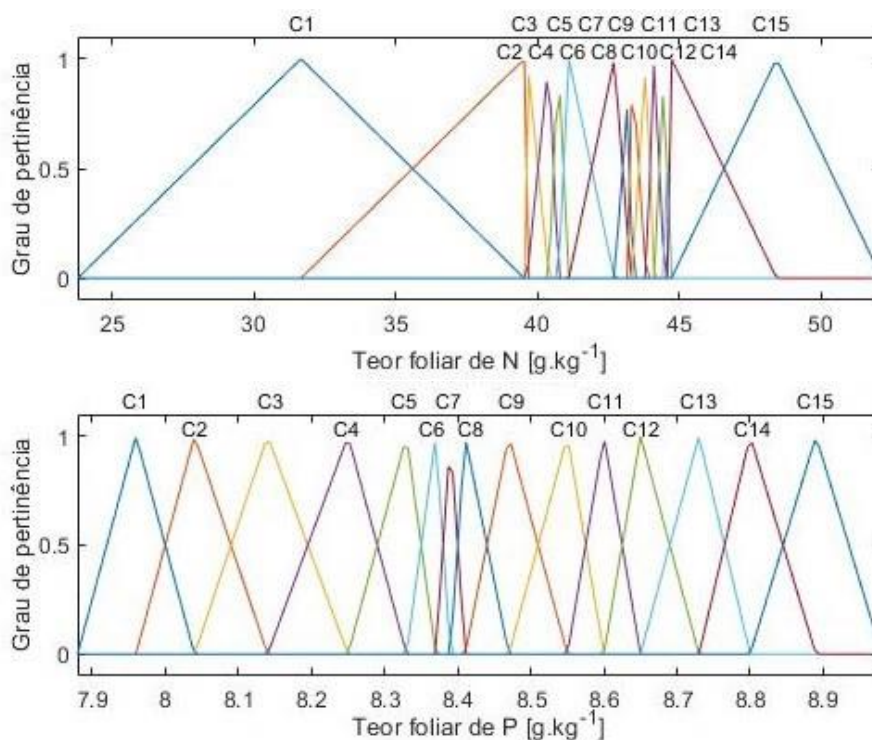
Apresenta-se nesta seção a descrição da modelagem *fuzzy* referente as 18 variáveis de saída estudadas em relação aos diferentes doses de nitrogênio aplicada em cobertura vegetal de sorgo e diferentes doses de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja em sucessão, cultivada sob SPD, para os anos de 2013/14 (Ano 1) e 2014/15 (Ano 2).

Modelagem fuzzy das variáveis dos teores foliares de nutrientes

Após a definição da base de regras do conjunto *fuzzy* de saída, foram realizadas as funções de pertinência dos respectivos conjuntos *fuzzy* das variáveis de saída referente aos teores foliares dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Mo, Cu, Zn e Mn em função dos diferentes níveis de N e Mo, (0, 40, 80 e 120 kg.ha⁻¹) e (0, 12.5, 25 e 50 g.ha⁻¹), respectivamente, aplicados em cobertura vegetal de sorgo e via foliar na cultura da soja em sucessão cultivada sob SPD durante os anos 2013/14 (Ano 1) e 2014/15 (Ano 2), durante o experimento conduzido por Goes (2016).

Sendo assim, estão representadas nas Figuras 42 e 43 as respectivas funções de pertinência das variáveis de saída dos teores foliares de nutrientes do Ano 1, bem como, as os delimitadores das funções de pertinência do Ano 1, apresentados nas Tabelas 37 e 38.

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.



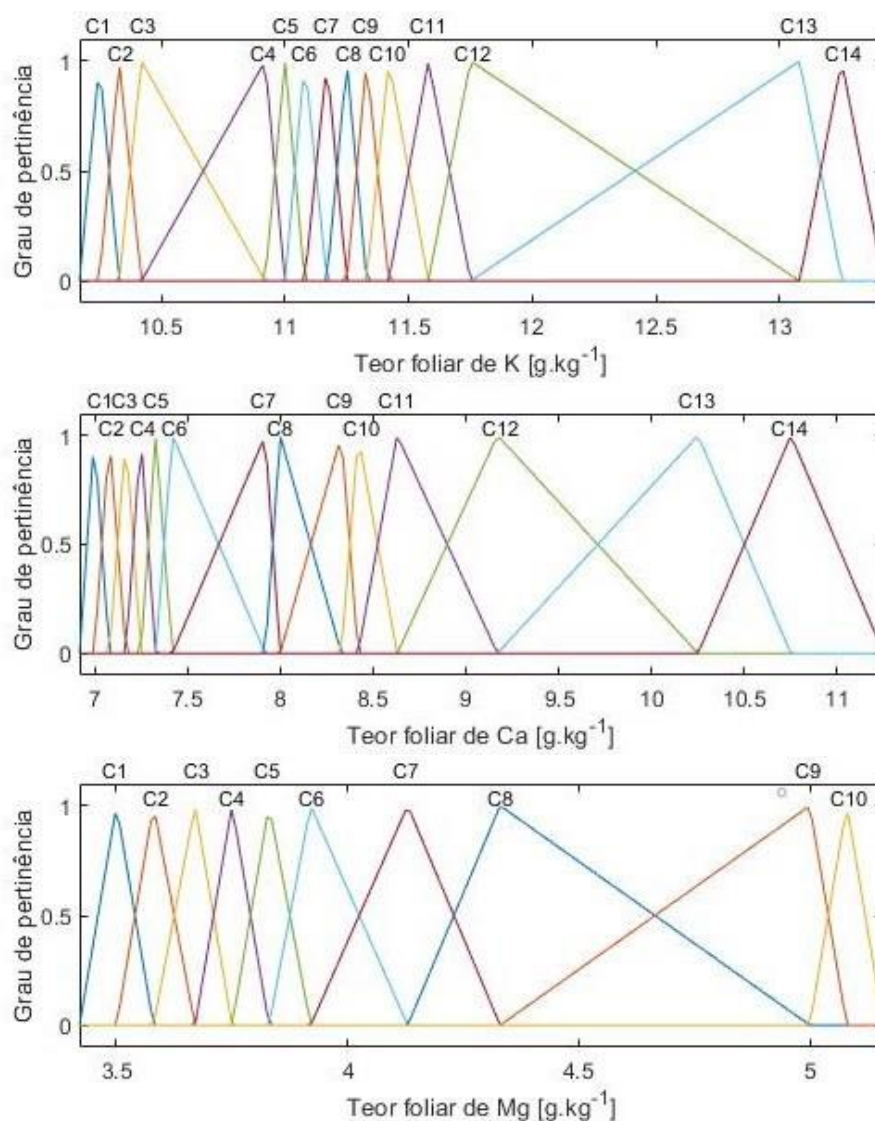
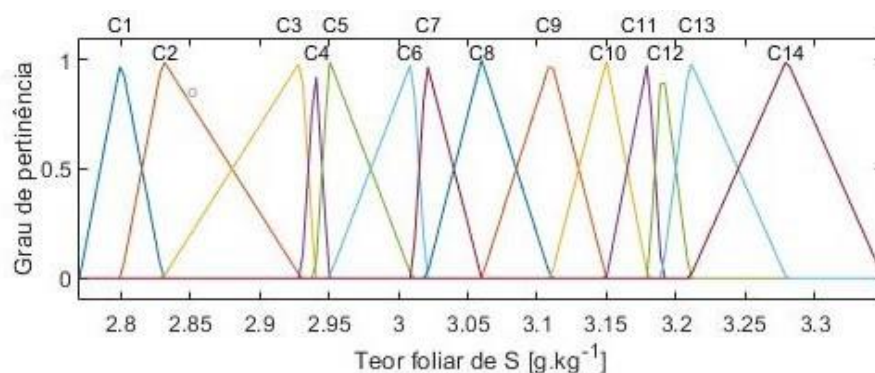


Figura 43 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn avaliados durante o Ano 1 para cobertura vegetal de sorgo.



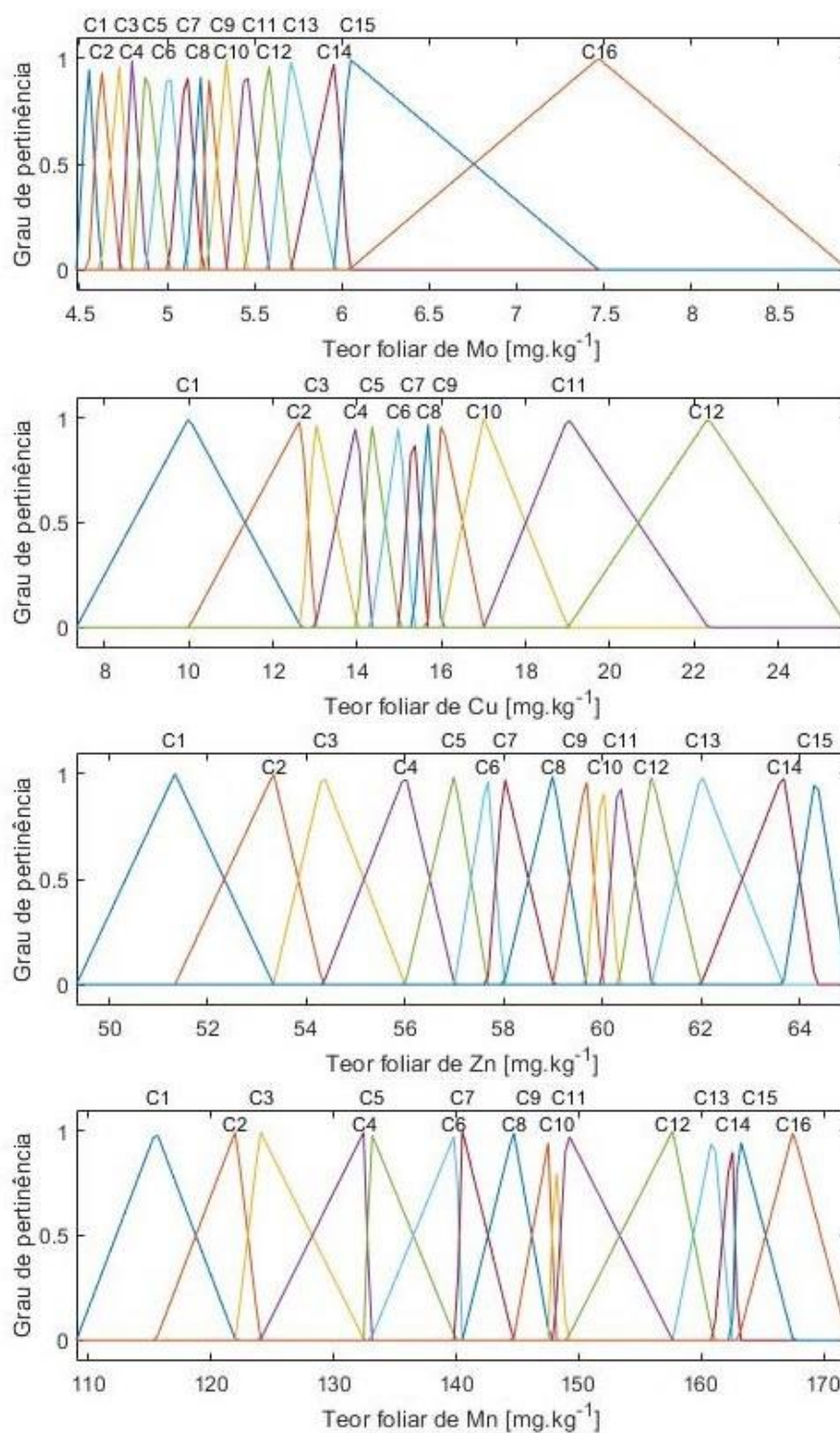


Tabela 37 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto *fuzzy* de saída dos teores de N, P, K, Ca e Mg do Ano 1 para a cobertura vegetal de sorgo.

Conjunto <i>fuzzy</i>	N	P	K	Ca	Mg
C ₁	[23,76; 31,64; 39,52]	[7,88; 7,96; 8,04]	[10,17; 10,25; 10,33]	[6,92; 7,00; 7,08]	[3,42; 3,50; 3,58]
C ₂	[31,64; 39,52; 39,62]	[7,96; 8,04; 8,14]	[10,25; 10,33; 10,42]	[7,00; 7,08; 7,17]	[3,50; 3,58; 3,67]
C ₃	[39,52; 39,62; 40,39]	[8,04; 8,14; 8,25]	[10,33; 10,42; 10,92]	[7,08; 7,17; 7,25]	[3,58; 3,67; 3,75]
C ₄	[39,62; 40,39; 40,72]	[8,14; 8,25; 8,33]	[10,42; 10,92; 11,00]	[7,17; 7,25; 7,33]	[3,67; 3,75; 3,83]
C ₅	[40,39; 40,72; 41,09]	[8,25; 8,33; 8,37]	[10,92; 11,00; 11,08]	[7,25; 7,33; 7,42]	[3,75; 3,83; 3,92]
C ₆	[40,72; 41,09; 42,70]	[8,33; 8,37; 8,39]	[11,00; 11,08; 11,17]	[7,33; 7,42; 7,92]	[3,83; 3,92; 4,13]
C ₇	[41,09; 42,70; 43,28]	[8,37; 8,39; 8,41]	[11,08; 11,17; 11,25]	[7,42; 7,92; 8,00]	[3,92; 4,13; 4,33]
C ₈	[42,70; 43,28; 43,31]	[8,39; 8,41; 8,47]	[11,17; 11,25; 11,33]	[7,92; 8,00; 8,33]	[4,13; 4,33; 5,00]
C ₉	[43,28; 43,31; 43,82]	[8,41; 8,47; 8,55]	[11,25; 11,33; 11,42]	[8,00; 8,33; 8,42]	[4,33; 5,00; 5,08]
C ₁₀	[43,31; 43,82; 44,10]	[8,47; 8,55; 8,60]	[11,33; 11,42; 11,58]	[8,33; 8,42; 8,63]	[5,00; 5,08; 5,16]
C ₁₁	[43,82; 44,10; 44,47]	[8,55; 8,60; 8,65]	[11,42; 11,58; 11,75]	[8,42; 8,63; 9,17]	-
C ₁₂	[44,10; 44,47; 44,66]	[8,60; 8,65; 8,73]	[11,58; 11,75; 13,08]	[8,63; 9,17; 10,25]	-
C ₁₃	[44,47; 44,66; 44,71]	[8,65; 8,73; 8,80]	[11,75; 13,08; 13,25]	[9,17; 10,25; 10,75]	-
C ₁₄	[44,66; 44,71; 48,42]	[8,73; 8,80; 8,89]	[13,08; 13,25; 13,42]	[10,25; 10,75; 11,25]	-
C ₁₅	[44,71; 48,42; 52,13]	[8,80; 8,89; 8,98]	-	-	-
C ₁₆	-	-	-	-	-

Legenda: Teor foliar de nitrogênio (TN) [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo (TP) [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio (TK) [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio (TCa) [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio (TMg) [g.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

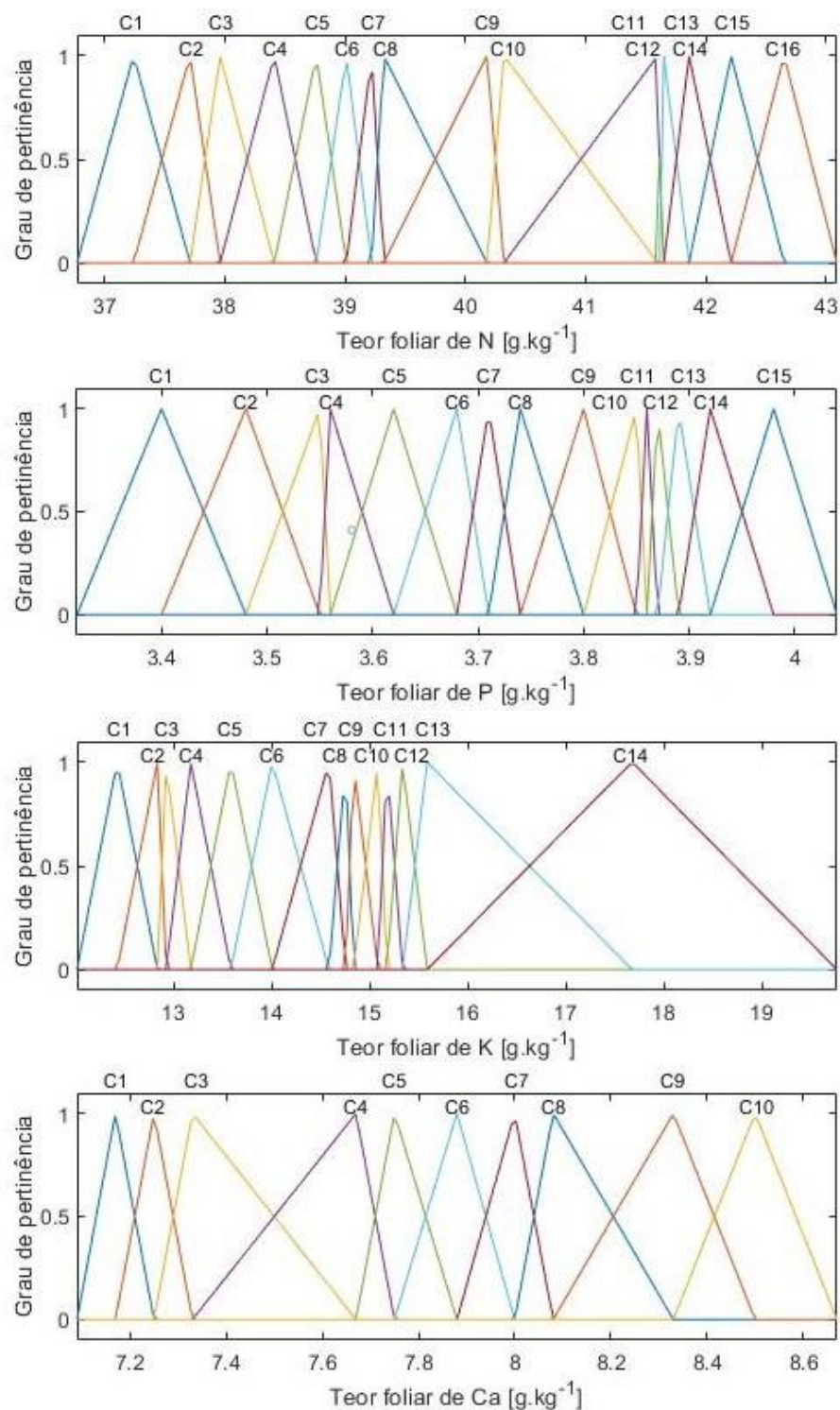
Tabela 38 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto *fuzzy* de saída dos teores de S, Mo, Cu, Zn e Mn do Ano 1 para a cobertura vegetal de sorgo.

Conjunto <i>fuzzy</i>	S	Mo	Cu	Zn	Mn
C ₁	[2,77; 2,80; 2,83]	[4,48; 4,55; 4,62]	[7,33; 10,00; 12,67]	[49,33; 51,33; 53,33]	[109,00; 115,50; 122,00]
C ₂	[2,80; 2,83; 2,93]	[4,55; 4,62; 4,73]	[10,00; 12,67; 13,00]	[51,33; 53,33; 54,33]	[115,50; 122,00; 124,00]
C ₃	[2,83; 2,93; 2,94]	[4,62; 4,73; 4,80]	[12,67; 13,00; 14,00]	[53,33; 54,33; 56,00]	[122,00; 124,00; 132,50]
C ₄	[2,93; 2,94; 2,95]	[4,73; 4,80; 4,88]	[13,00; 14,00; 14,33]	[54,33; 56,00; 57,00]	[124,00; 132,50; 133,00]
C ₅	[2,94; 2,95; 3,01]	[4,80; 4,88; 5,01]	[14,00; 14,33; 15,00]	[56,00; 57,00; 57,67]	[132,50; 133,00; 140,00]
C ₆	[2,95; 3,01; 3,02]	[4,88; 5,01; 5,11]	[14,33; 15,00; 15,33]	[57,00; 57,67; 58,00]	[133,00; 140,00; 140,50]
C ₇	[3,01; 3,02; 3,06]	[5,01; 5,11; 5,20]	[15,00; 15,33; 15,67]	[57,67; 58,00; 59,00]	[140,00; 140,50; 144,67]
C ₈	[3,02; 3,06; 3,11]	[5,11; 5,20; 5,23]	[15,33; 15,67; 16,00]	[58,00; 59,00; 59,67]	[140,50; 144,67; 147,67]
C ₉	[3,06; 3,11; 3,15]	[5,20; 5,23; 5,34]	[15,67; 16,00; 17,00]	[59,00; 59,67; 60,00]	[144,67; 147,67; 148,00]
C ₁₀	[3,11; 3,15; 3,18]	[5,23; 5,34; 5,45]	[16,00; 17,00; 19,00]	[59,67; 60,00; 60,33]	[147,67; 148,00; 149,00]
C ₁₁	[3,15; 3,18; 3,19]	[5,34; 5,45; 5,58]	[17,00; 19,00; 22,33]	[60,00; 60,33; 61,00]	[148,00; 149,00; 157,67]
C ₁₂	[3,18; 3,19; 3,21]	[5,45; 5,58; 5,71]	[19,00; 22,33; 25,66]	[60,33; 61,00; 62,00]	[149,00; 157,67; 161,00]
C ₁₃	[3,19; 3,21; 3,28]	[5,58; 5,71; 5,96]	-	[61,00; 62,00; 63,67]	[157,67; 161,00; 162,50]
C ₁₄	[3,21; 3,28; 3,35]	[5,71; 5,96; 6,04]	-	[62,00; 63,67; 64,33]	[161,00; 162,50; 163,00]
C ₁₅	-	[5,96; 6,04; 7,47]	-	[63,67; 64,33; 64,99]	[162,50; 163,00; 167,50]
C ₁₆	-	[6,04; 7,47; 8,90]	-	-	[163,00; 167,50; 172,00]

Legenda: Teor foliar de enxofre (TS) [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio (TMo) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre (TCu) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco (TZn) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês (TMn) [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

De maneira análoga estão representadas as funções de pertinência das variáveis dos teores dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg nas Figuras 44 e 45 as funções de pertinência dos teores dos nutrientes S, Mo, Cu, Zn e Mn referente ao Ano 2 de condução no experimento realizado por Goes (2016), em relação a adoção de diferentes doses de N e Mo, aplicados em cobertura vegetal de sorgo e via foliar na cultura da soja em sucessão respectivamente.

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.



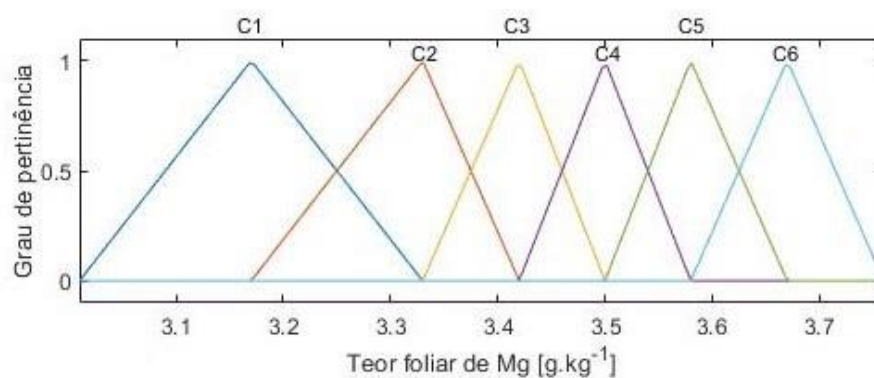
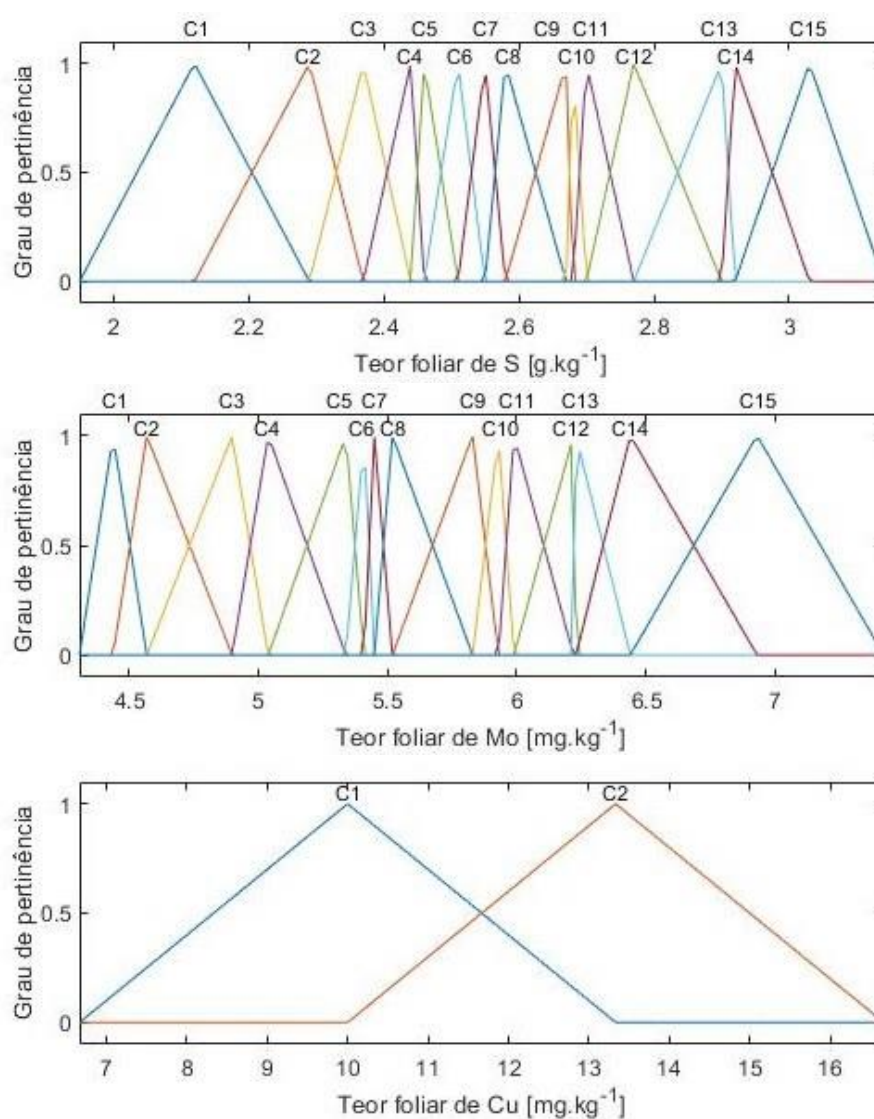
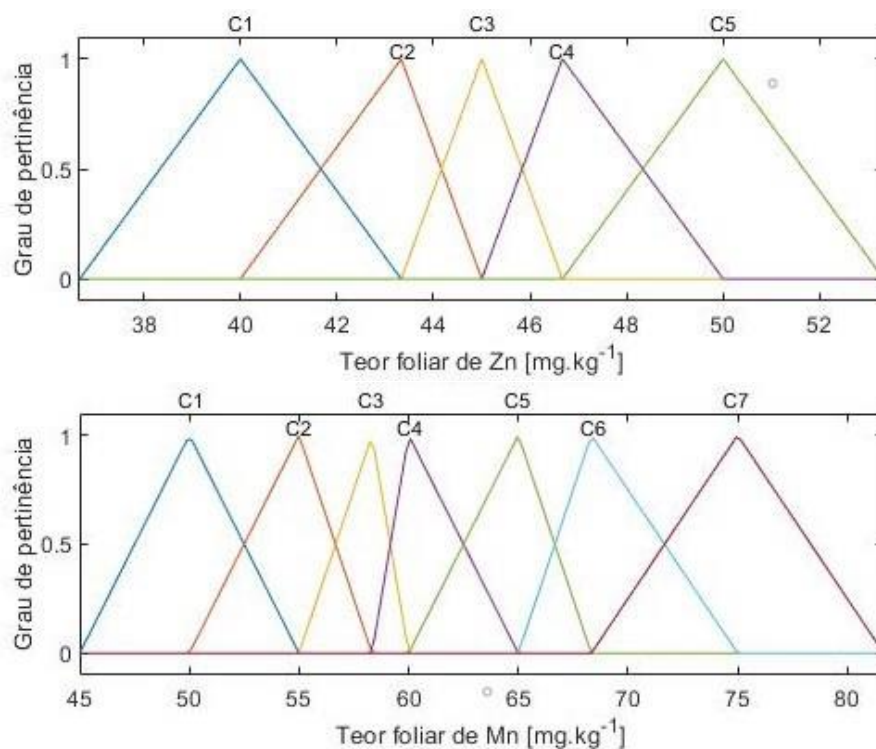


Figura 45 - Função de pertinência das variáveis nutricionais dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn avaliados durante o Ano 2 para cobertura vegetal de sorgo.





Na Tabela 39 está representado os delimitadores das funções de pertinência das variáveis de saída referente aos teores foliares dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg; e encontra-se na Tabela 40 os delimitadores das variáveis de saídas dos teores dos nutrientes S, Mo, Cu, Zn e Mn, das respectivas funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* de saída do Ano 2.

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.

Conjunto <i>fuzzy</i>	N	P	K	Ca	Mg
C ₁	[36,77; 37,24; 37,71]	[3,32; 3,40; 3,48]	[12,01; 12,42; 12,83]	[7,09; 7,17; 7,25]	[3,01; 3,17; 3,33]
C ₂	[37,24; 37,71; 37,96]	[3,40; 3,48; 3,55]	[12,42; 12,83; 12,92]	[7,17; 7,25; 7,33]	[3,17; 3,33; 3,42]
C ₃	[37,71; 37,96; 38,41]	[3,48; 3,55; 3,56]	[12,83; 12,92; 13,17]	[7,25; 7,33; 7,67]	[3,33; 3,42; 3,50]
C ₄	[37,96; 38,41; 38,76]	[3,55; 3,56; 3,62]	[12,92; 13,17; 13,58]	[7,33; 7,67; 7,75]	[3,42; 3,50; 3,58]
C ₅	[38,41; 38,76; 39,01]	[3,56; 3,62; 3,68]	[13,17; 13,58; 14,00]	[7,67; 7,75; 7,88]	[3,50; 3,58; 3,67]
C ₆	[38,76; 39,01; 39,22]	[3,62; 3,68; 3,71]	[13,58; 14,00; 14,58]	[7,75; 7,88; 8,00]	[3,58; 3,67; 3,76]
C ₇	[39,01; 39,22; 39,32]	[3,68; 3,71; 3,74]	[14,00; 14,58; 14,75]	[7,88; 8,00; 8,08]	-
C ₈	[39,22; 39,32; 40,18]	[3,71; 3,74; 3,80]	[14,58; 14,75; 14,83]	[8,00; 8,08; 8,33]	-
C ₉	[39,32; 40,18; 40,32]	[3,74; 3,80; 3,85]	[14,75; 14,83; 15,08]	[8,08; 8,33; 8,50]	-
C ₁₀	[40,18; 40,32; 41,60]	[3,80; 3,85; 3,86]	[14,83; 15,08; 15,17]	[8,33; 8,50; 8,67]	-
C ₁₁	[40,32; 41,60; 41,63]	[3,85; 3,86; 3,87]	[15,08; 15,17; 15,33]	-	-
C ₁₂	[41,60; 41,63; 41,65]	[3,86; 3,87; 3,89]	[15,17; 15,33; 15,58]	-	-
C ₁₃	[41,63; 41,65; 41,86]	[3,87; 3,89; 3,92]	[15,33; 15,58; 17,67]	-	-
C ₁₄	[41,65; 41,86; 42,21]	[3,89; 3,92; 3,98]	[15,58; 17,67; 19,76]	-	-
C ₁₅	[41,86; 42,21; 42,65]	[3,92; 3,98; 4,04]	-	-	-
C ₁₆	[42,21; 42,65; 43,09]	-	-	-	-

Legenda: Teor foliar de nitrogênio (TN) [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo (TP) [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio (TK) [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio (TCa) [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio (TMg) [g.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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.

Conjunto <i>fuzzy</i>	S	Mo	Cu	Zn	Mn
C ₁	[1,95; 2,12; 2,29]	[4,31; 4,44; 4,57]	[6,67; 10,00; 13,33]	[36,67; 40,00; 43,33]	[45,00; 50,00; 55,00]
C ₂	[2,12; 2,29; 2,37]	[4,44; 4,57; 4,90]	[10,00; 13,33; 16,66]	[40,00; 43,33; 45,00]	[50,00; 55,00; 58,33]
C ₃	[2,29; 2,37; 2,44]	[4,57; 4,90; 5,04]	-	[43,33; 45,00; 46,67]	[55,00; 58,33; 60,00]
C ₄	[2,37; 2,44; 2,46]	[4,90; 5,04; 5,34]	-	[45,00; 46,67; 50,00]	[58,33; 60,00; 65,00]
C ₅	[2,44; 2,46; 2,51]	[5,04; 5,34; 5,41]	-	[46,67; 50,00; 53,33]	[60,00; 65,00; 68,33]
C ₆	[2,46; 2,51; 2,55]	[5,34; 5,41; 5,45]	-	-	[65,00; 68,33; 75,00]
C ₇	[2,51; 2,55; 2,58]	[5,41; 5,45; 5,52]	-	-	[68,33; 75,00; 81,67]
C ₈	[2,55; 2,58; 2,67]	[5,45; 5,52; 5,83]	-	-	-
C ₉	[2,58; 2,67; 2,68]	[5,52; 5,83; 5,93]	-	-	-
C ₁₀	[2,67; 2,68; 2,70]	[5,83; 5,93; 5,99]	-	-	-
C ₁₁	[2,68; 2,70; 2,77]	[5,93; 5,99; 6,22]	-	-	-
C ₁₂	[2,70; 2,77; 2,90]	[5,99; 6,22; 6,23]	-	-	-
C ₁₃	[2,77; 2,90; 2,92]	[6,22; 6,23; 6,44]	-	-	-
C ₁₄	[2,90; 2,92; 3,03]	[6,23; 6,44; 6,93]	-	-	-
C ₁₅	[2,92; 3,03; 3,14]	[6,44; 6,93; 7,42]	-	-	-
C ₁₆	-	-	-	-	-

Legenda: Teor foliar de enxofre (TS) [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio (TMo) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre (TCu) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco (TZn) [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês (TMn) [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

De maneira análoga ao capítulo anterior, foram realizados os intervalos para cada variável de saída referente aos teores de nutrientes em relação aos Anos 1 e 2, conforme pode ser observado na Tabela 41, a seguir.

Tabela 41 - Intervalo do conjunto *fuzzy* de saída dos teores foliares de nutrientes para a cobertura vegetal de sorgo.

Variáveis de saída	Intervalo dos conjuntos <i>fuzzy</i>	
	2013/14	2014/15
N	[23,76; 52,13]	[36,77; 43,09]
P	[7,88; 8,98]	[3,32; 4,04]
K	[10,17; 13,42]	[12,01; 19,76]
Ca	[6,92; 11,25]	[7,09; 8,67]
Mg	[3,42; 5,16]	[3,01; 3,76]
S	[2,77; 3,35]	[1,95; 3,14]
Mo	[4,48; 8,90]	[4,31; 7,42]
Cu	[7,33; 25,66]	[6,67; 16,66]
Zn	[49,33; 64,99]	[36,67; 53,33]
Mn	[109,00; 172,00]	[45,00; 81,67]

Legenda: Teor foliar de nitrogênio [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio [g.kg⁻¹], Teor foliar de enxofre [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota-se na Tabela 41, durante o Ano 1 de realização do experimento uma diferença significativa superior da presença dos nutrientes P e Mn em relação ao Ano 2; já por outro lado, nota-se uma superioridade do teor foliar de K para o segundo ano do experimento.

Foram elaboradas as bases de regras para os dois anos de realização do experimento de Goes (2016), referente as variáveis de saídas dos conjuntos *fuzzy* em relação aos teores dos nutrientes da cultura da soja semeada sob a palhada de sorgo em função de diferentes doses de nitrogênio aplicada em cobertura vegetal e diferentes doses de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja em sucessão cultivada sob SPD. Dessa maneira estão representadas nas Tabelas 42 e 43, a base de regras para os Anos 1 e 2 respectivamente.

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.

Variáveis de entrada		Variáveis de saída									
N	Mo	TN	TP	TK	TCa	TMg	TS	TMo	TCu	TZn	TMn
1	1	5	15	11	2	4	4	5	11	15	16
1	2	13	5	6	1	1	6	12	8	9	12
1	3	2	2	11	4	2	1	15	4	3	5
1	4	12	11	9	4	1	6	14	12	7	8
2	1	11	10	5	6	5	10	6	10	5	15
2	2	1	1	8	10	3	1	7	1	1	2
2	3	10	3	3	5	3	3	3	6	5	3
2	4	3	4	12	11	7	14	4	4	8	7
3	1	7	12	13	13	9	13	16	9	14	14
3	2	9	13	4	7	6	12	13	6	10	11
3	3	14	14	10	3	3	11	11	5	12	9
3	4	11	6	7	8	6	5	9	3	6	10
4	1	4	14	14	12	8	2	1	7	13	1
4	2	15	7	2	9	6	7	2	2	11	4
4	3	8	9	1	9	5	9	8	7	4	13
4	4	6	8	9	14	10	8	10	5	2	6

Legenda: Doses de nitrogênio (N) [kg.ha⁻¹], Doses de molibdênio (Mo) [g.ha⁻¹], Teor foliar de nitrogênio [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio [g.kg⁻¹], Teor foliar de enxofre [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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.

Variáveis de entrada		Variáveis de saída									
N	Mo	TN	TP	TK	TCa	TMg	TS	TMo	TCu	TZn	TMn
1	1	9	7	10	7	4	4	1	1	1	2
1	2	11	15	11	3	1	12	2	1	4	4
1	3	14	12	7	8	2	8	14	1	4	4
1	4	2	1	4	1	3	1	15	1	1	1
2	1	13	8	8	6	2	14	12	1	4	5
2	2	7	11	3	4	2	5	10	1	4	2
2	3	3	5	8	2	1	2	4	1	2	2
2	4	16	10	14	5	5	7	8	2	3	7
3	1	6	6	6	9	6	11	11	1	1	5
3	2	10	2	8	10	6	3	5	1	2	6
3	3	12	13	2	10	4	13	6	1	4	2
3	4	15	14	9	10	3	10	3	1	5	4
4	1	5	3	12	8	4	6	7	1	2	2
4	2	4	9	13	5	2	12	9	1	2	3
4	3	1	3	5	9	3	9	13	1	2	2
4	4	8	4	1	10	5	15	10	1	4	3

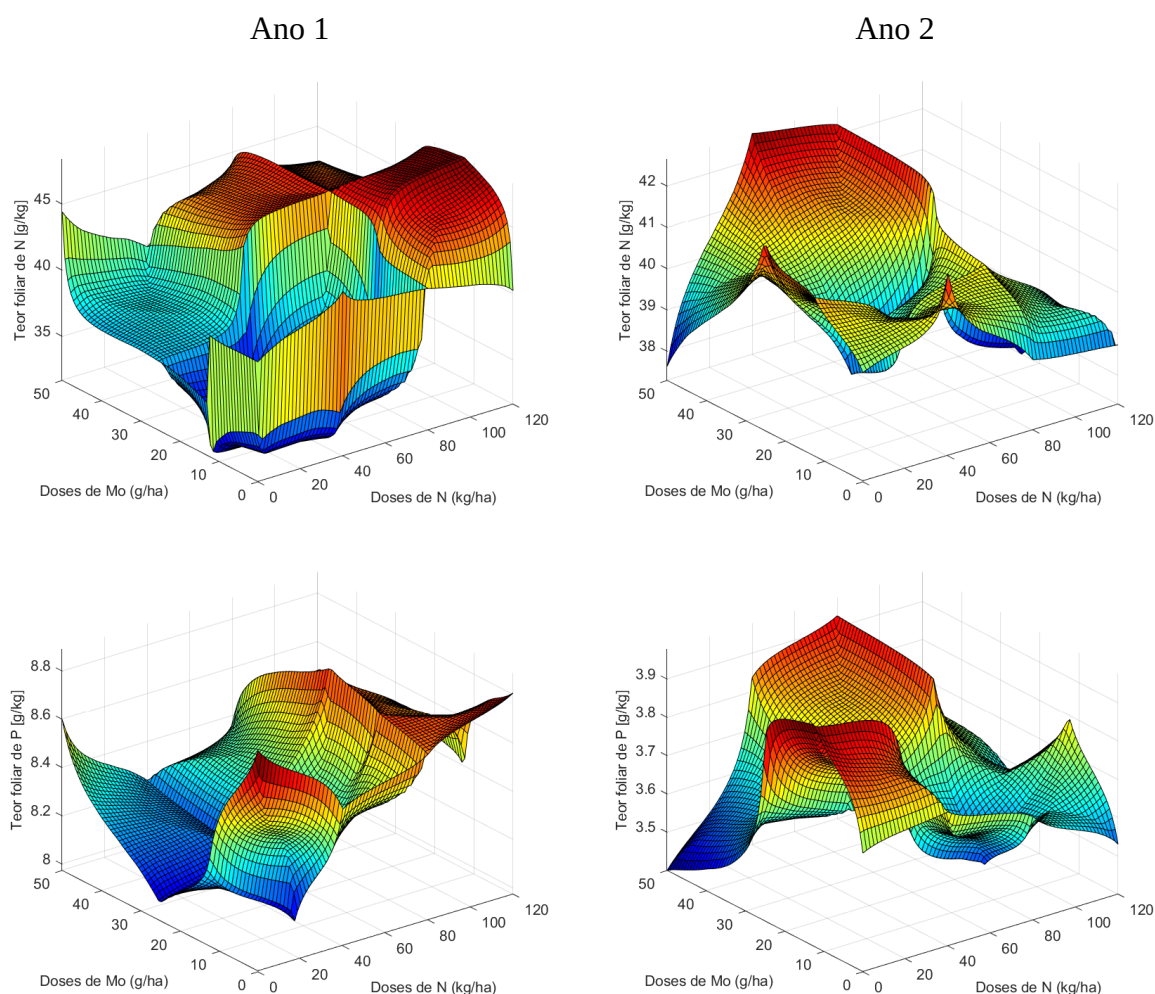
Legenda: Doses de nitrogênio (N) [kg.ha⁻¹], Doses de molibdênio (Mo) [g.ha⁻¹], Teor foliar de nitrogênio [g.kg⁻¹], Teor foliar de fósforo [g.kg⁻¹], Teor foliar de potássio [g.kg⁻¹], Teor foliar de cálcio [g.kg⁻¹], Teor foliar de magnésio [g.kg⁻¹], Teor foliar de enxofre [g.kg⁻¹], Teor foliar de molibdênio [mg.kg⁻¹], Teor foliar de cobre [mg.kg⁻¹], Teor foliar de zinco [mg.kg⁻¹], Teor foliar de manganês [mg.kg⁻¹]. Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base nas regras de saída elaboradas pelo sistema *fuzzy*, tem-se em relação ao Ano 1, o maior teor foliar de N quando utilizado a quantidade de 120 kg.ha^{-1} de N na cobertura vegetal e a dose de $12,5 \text{ g.ha}^{-1}$ de Mo aplicado via foliar na cultura da soja, resultando no maior conjunto de saída (15). Já em relação ao Ano 2, o maior teor foliar de N é obtido na presença de 80 kg.ha^{-1} de N e 50 g.ha^{-1} de Mo. Essa analogia, aplica-se para o entendimento da base de regras das demais variáveis do conjunto *fuzzy* de saída.

Os gráficos de superfície tridimensionais e os respectivos mapas de contorno do comportamento das variáveis de saída (TN, TP, TK, TCa, TMg, TS, TMo, TCu, TZn e TMn) em relação a diferentes doses de N e Mo, foram elaborados após a definição do método de inferência e *defuzzyficação*. Sendo assim, são apresentados na Figura 46, as superfícies tridimensionais dos teores foliares dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg para os Anos 1 e 2.

Na Figura 47, são apresentados os mapas de contorno dos teores de N e P.

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.



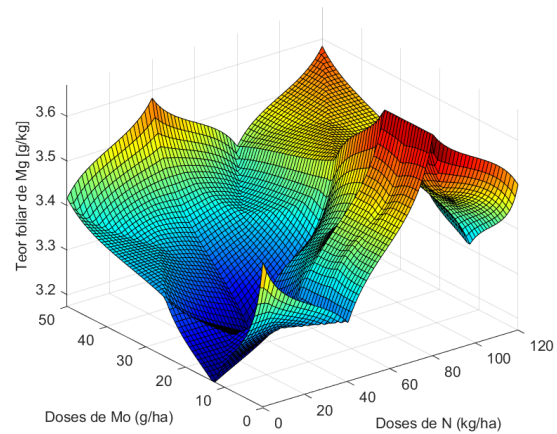
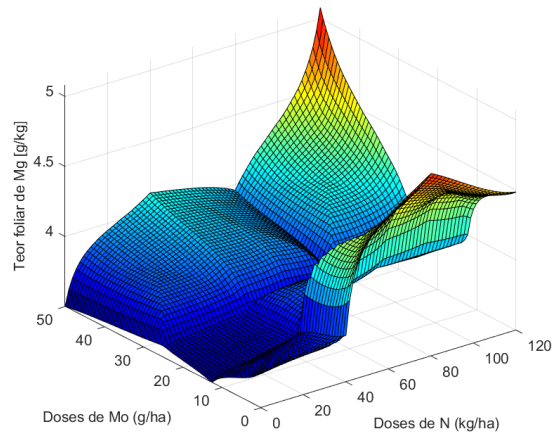
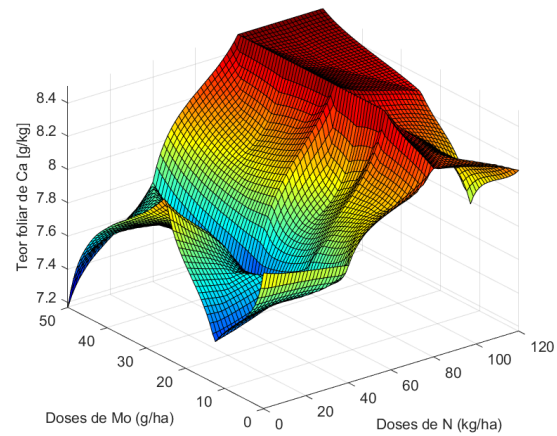
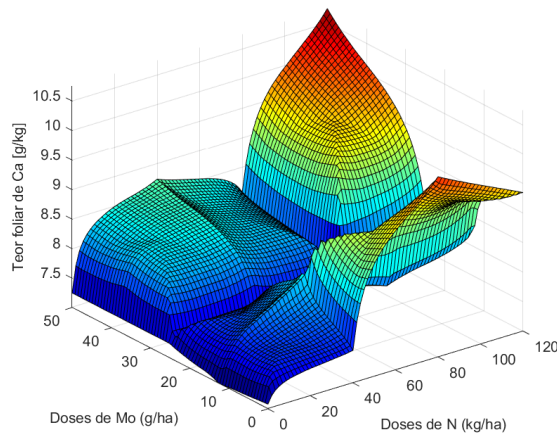
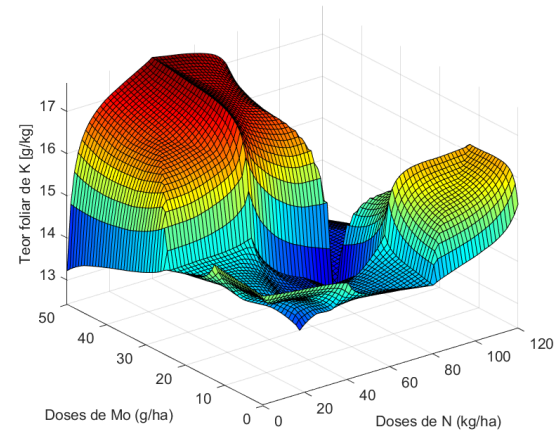
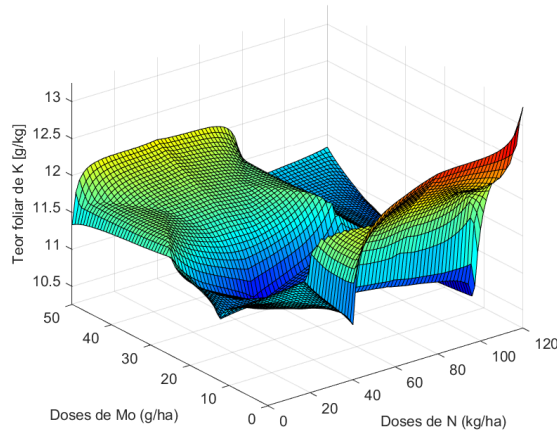
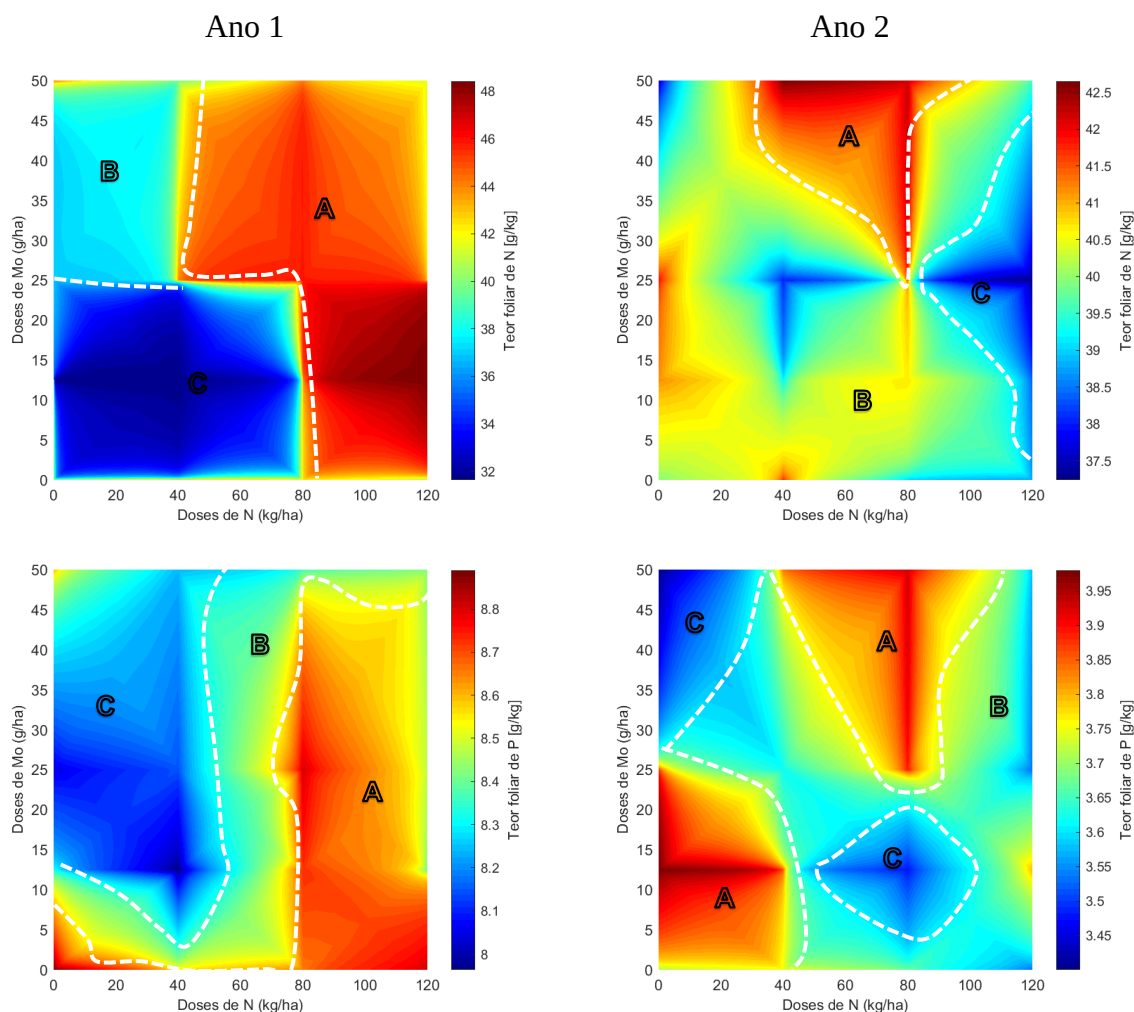


Figura 47 - Mapa de contorno dos teores foliares de N e P da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de sorgo.

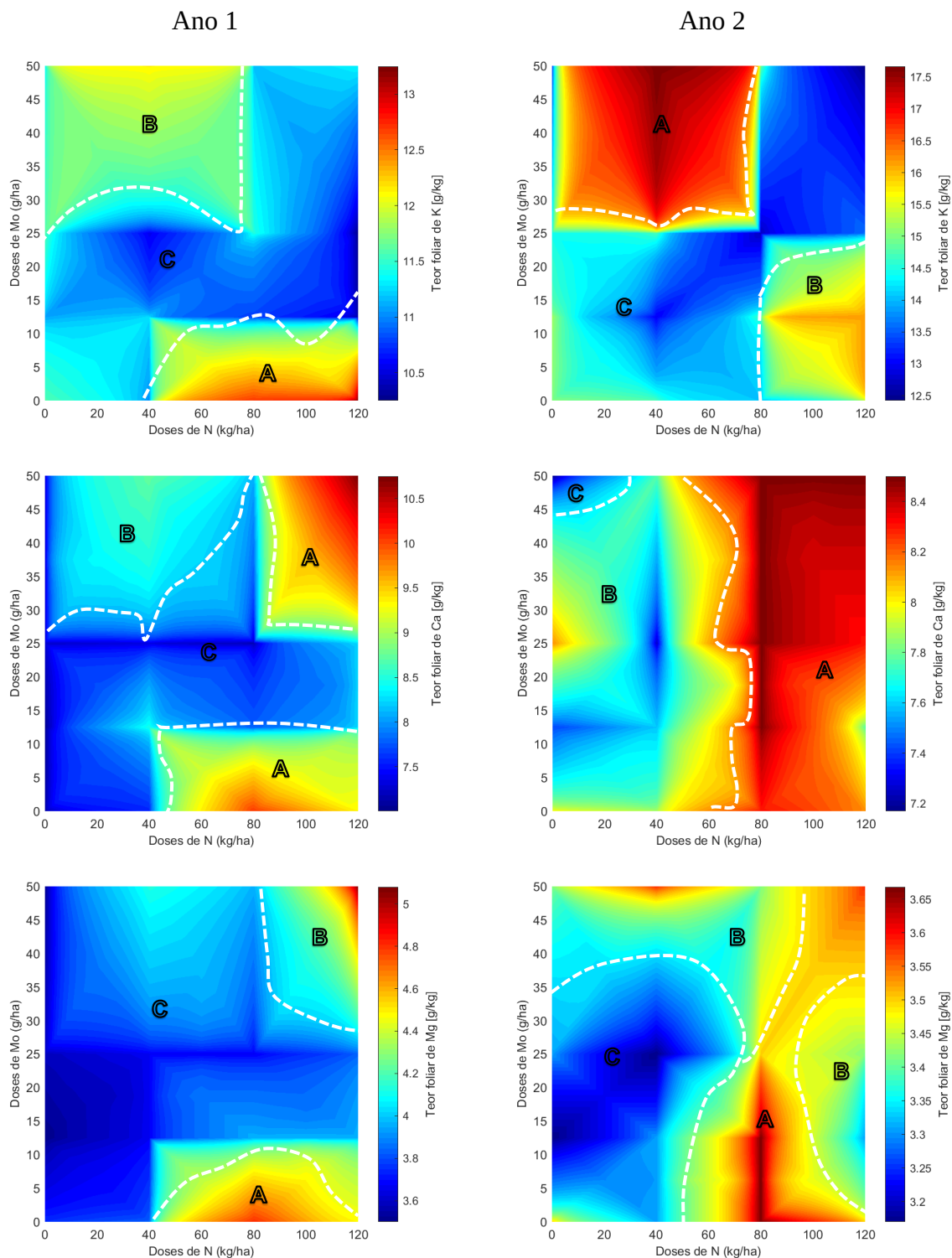


O teor de N mostrou-se significativo (Tabela 36) em relação a variação de N e sua interação com Mo avaliado no primeiro ano, na medida que houve maior presença do teor foliar de N quando submetido à alta dosagem de N aplicado em cobertura vegetal, sendo o efeito contrário notado, abaixo de 80 kg.ha⁻¹ para dosagem de N, região representada pela letra “A” no mapa, por outro lado, os menores valores foram obtidos quando utilizada menores quantidades de nitrogênio na adubação, representado pela região “C”.

Assim como ocorreu em cobertura vegetal de milho, avaliada no capítulo anterior, o teor foliar de P, não se mostrou estatisticamente significativo em ambos os anos do experimento, assim expressos na Tabela 36 e da análise estatística realizada por Goes (2016).

Estão representados na Figura 48, os mapas de contorno os teores de K, Ca e Mg.

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.

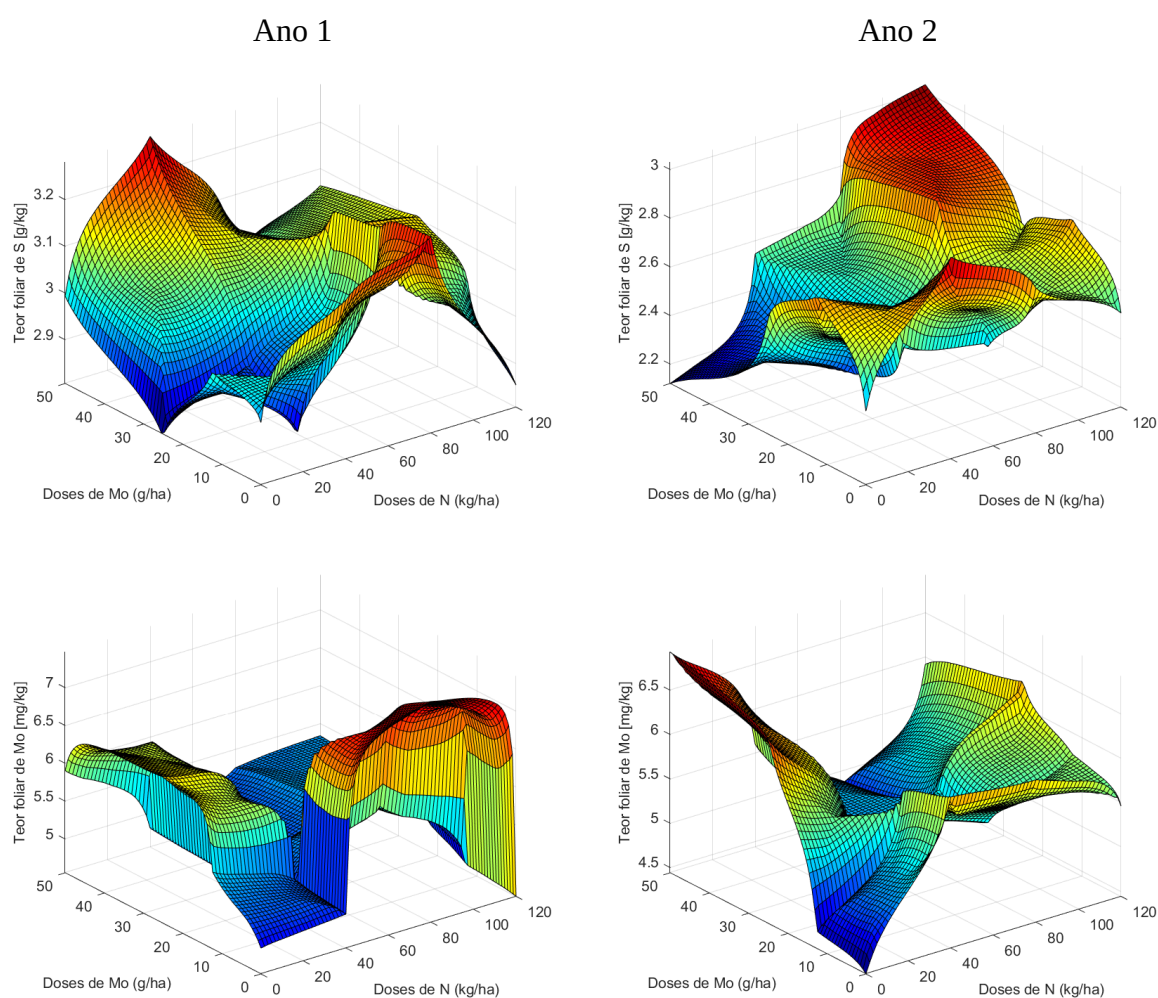


O teor de Mg apresentou menores resultados a dosagens inferiores a 40 kg.ha⁻¹ de nitrogênio aplicada na cobertura vegetal de sorgo, independentemente da dosagem aplicada de Mo via foliar na cultura da soja, evidenciado na região “C” do mapa. Comparando-se os anos

realizados, nota-se os maiores valores obtidos para o Ano 1, observado na Tabela 41, em que estão expressos a abrangência dos respectivos intervalos.

São apresentados na Figura 49, as superfícies tridimensionais dos teores foliares de S, Mo, Cu, Zn e Mn da cultura do sorgo. Por sua vez, os mapas de contornos dos teores de S e Mo, estão representados na Figura 50.

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.



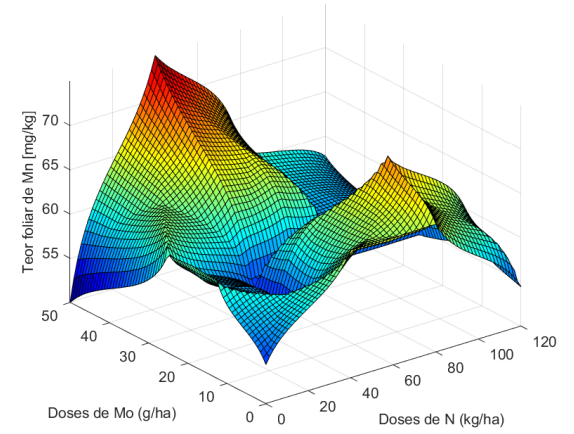
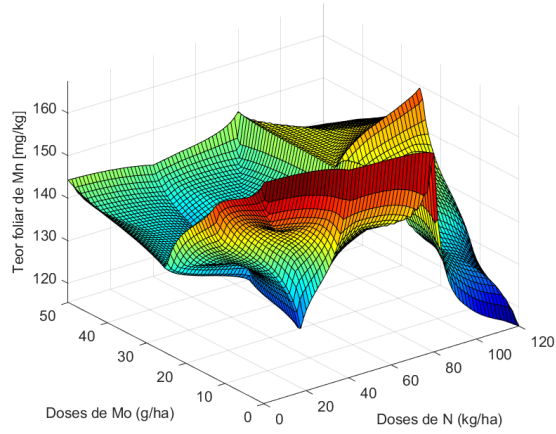
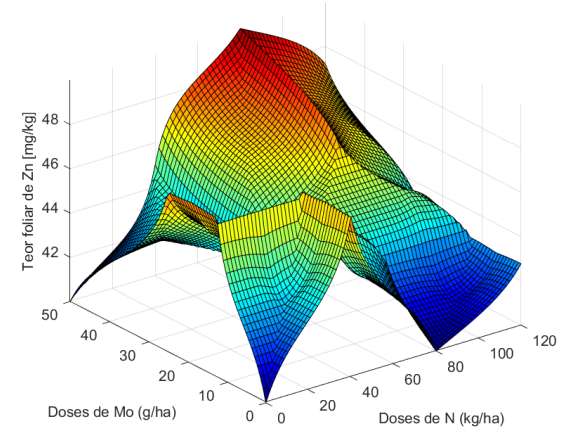
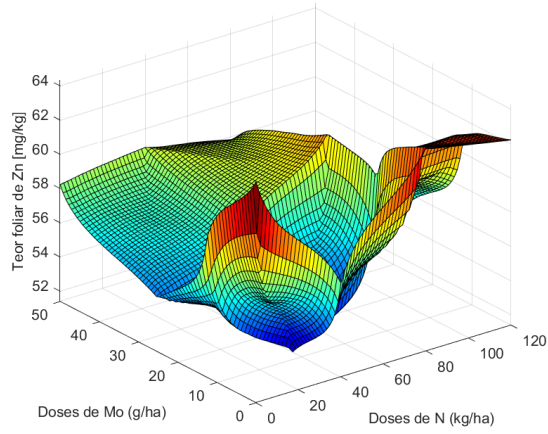
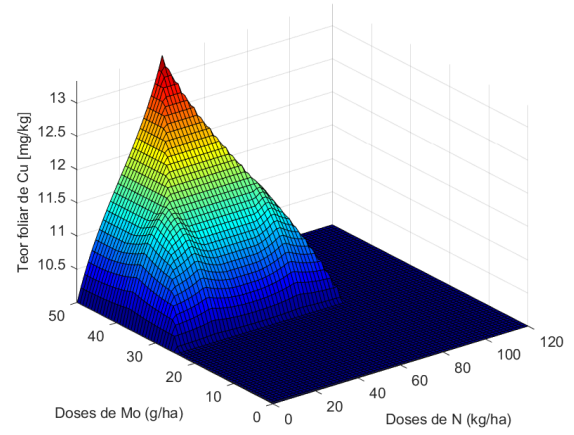
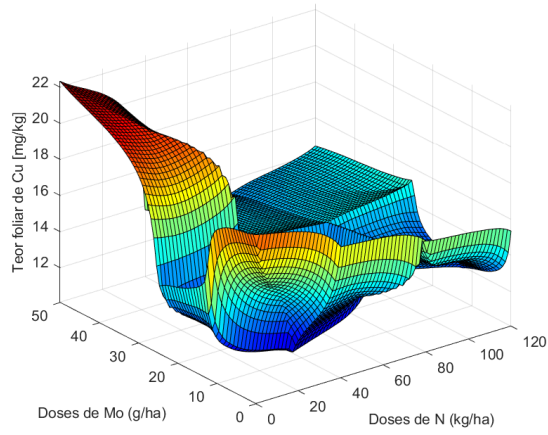
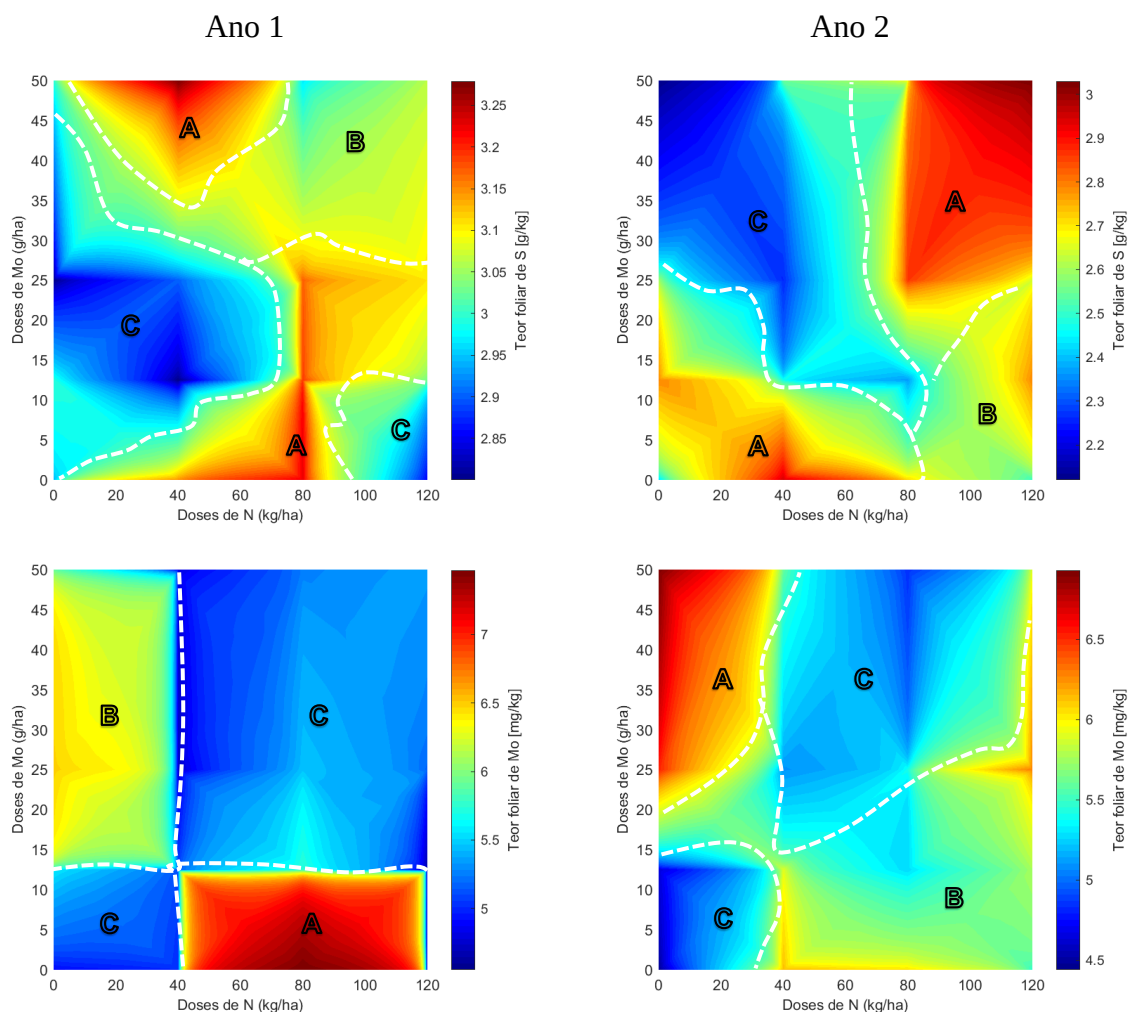


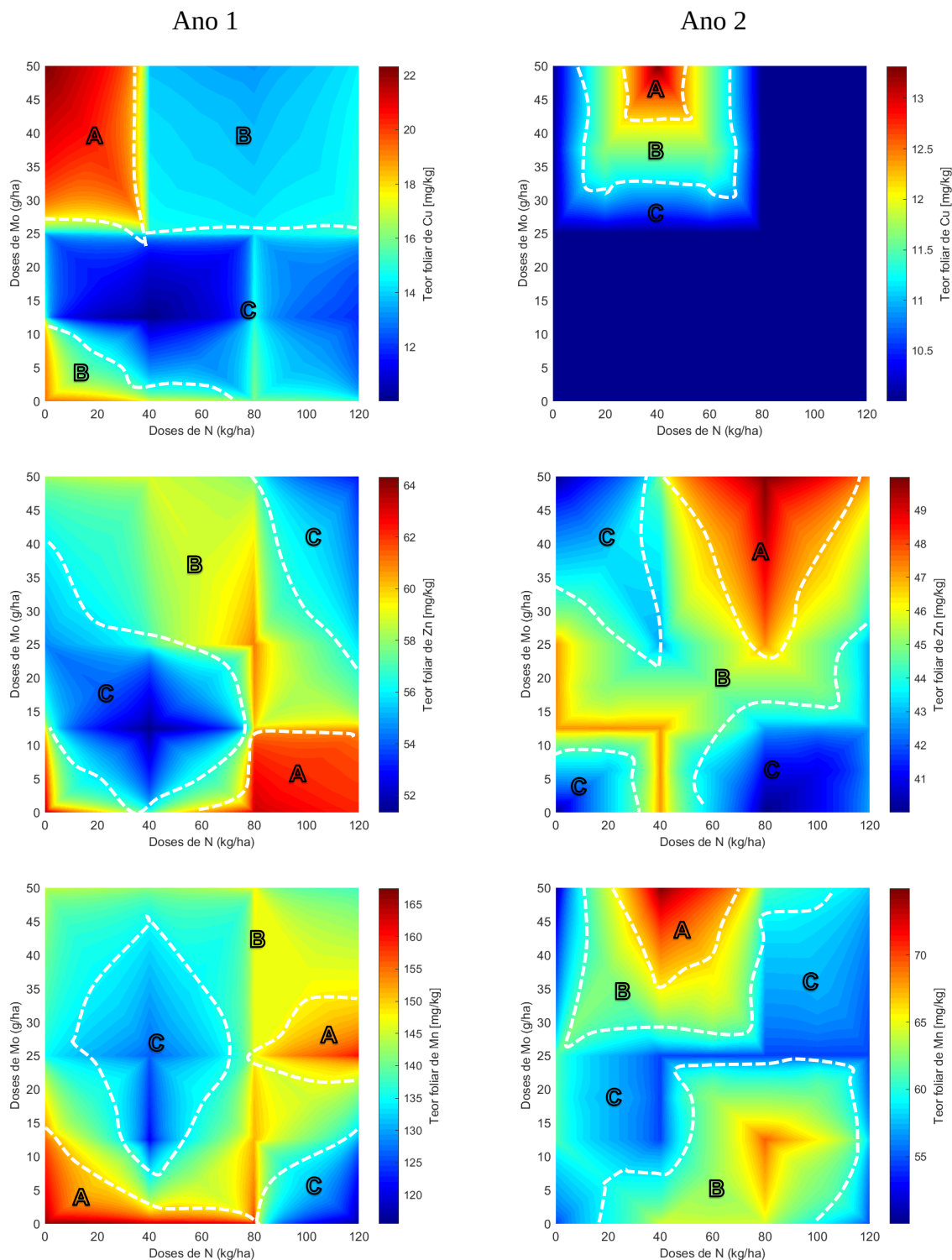
Figura 50 - Mapa de contorno dos teores foliares de S e Mo da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para cobertura vegetal de sorgo.



O comportamento do teor foliar de Mo, mostrou-se semelhantes para os dois anos do experimento, no que se refere aos menores valores obtidos, apresentados para níveis abaixo de 40 kg.ha^{-1} de N e 12.5 g.ha^{-1} de Mo, representados na região “C”, que por sua vez, os maiores valores foram registrados na região “A” compreendida acima de 40 kg.ha^{-1} de N combinado com baixas dosagens de Mo aplicado via foliar na cultura da soja em sucessão.

Os mapas de contornos dos teores de Cu, Zn e Mn, estão apresentados na Figura 51.

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.



O teor foliar de Cu apresentou os menores valores em regiões inferiores à $25 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ de Mo, representado pela região “C”, já o maior teor de Cu está na região compreendida acima de $25 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ de Mo aplicado via foliar e abaixo de $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N aplicado em cobertura vegetal de sorgo, na região identificada com a letra “A”.

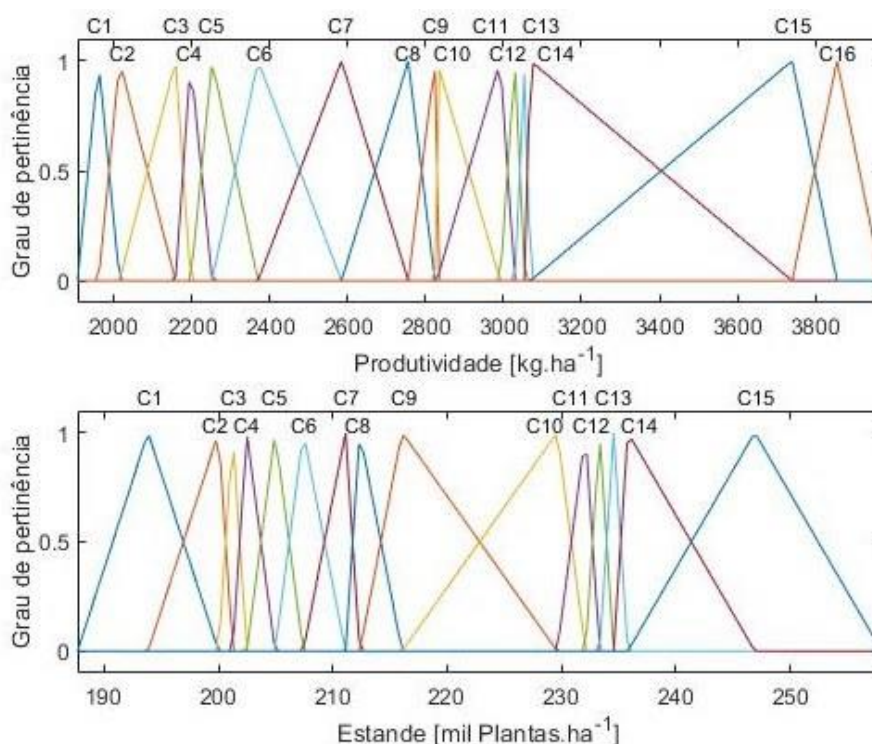
Modelagem fuzzy das variáveis biométricas e de produtividade

De maneira análoga ao capítulo anterior, foi realizada as modelagens *fuzzy* referentes às variáveis biométricas e de produtividade da cultura da soja semeada em palhada de sorgo sob diferentes doses de nitrogênio aplicado em cobertura vegetal e diferentes doses de molibdênio aplicado na cultura da soja via foliar durante os Anos 1e 2.

Sendo assim, realizou-se por meio da base de regras, o conjunto *fuzzy* de saída das variáveis biométricas e de produtividade, sendo elas: estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], altura de planta (APL) [cm], número de vagens por planta (NPV) [unid.], massa de 1000 grãos (MGR) [g] e de produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio, aplicados em cobertura vegetal e via foliar na cultura da soja, respectivamente.

As Figuras 52 e 53, a seguir, representam as funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* de saída avaliadas durante o Ano 1, referente às variáveis biométricas e de produtividade, e os seus delimitadores expressos nas Tabelas 44 e 45, do mesmo ano.

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.



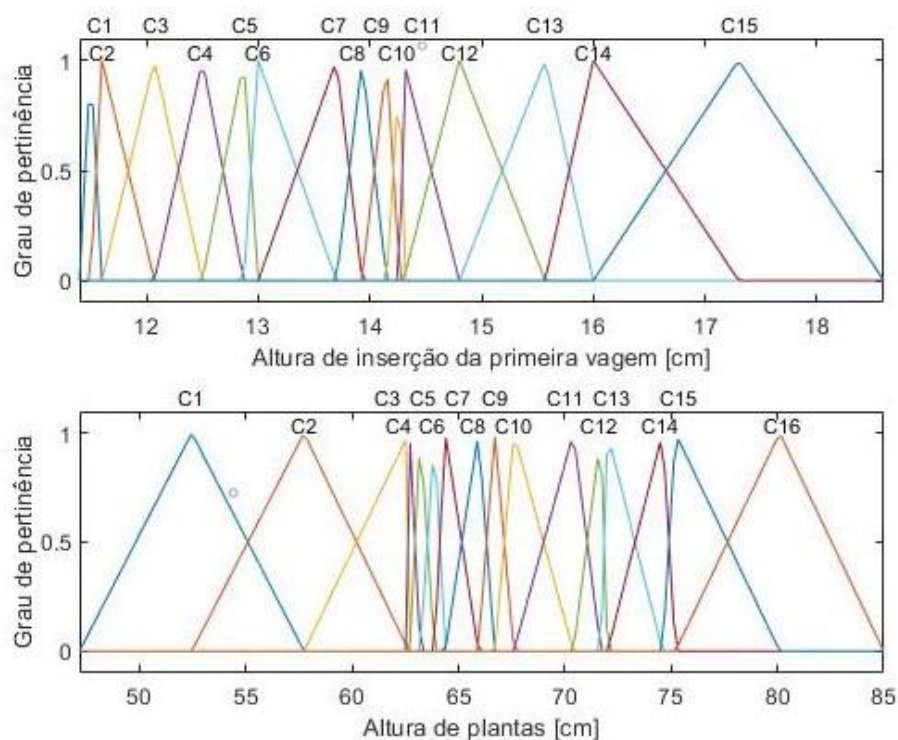
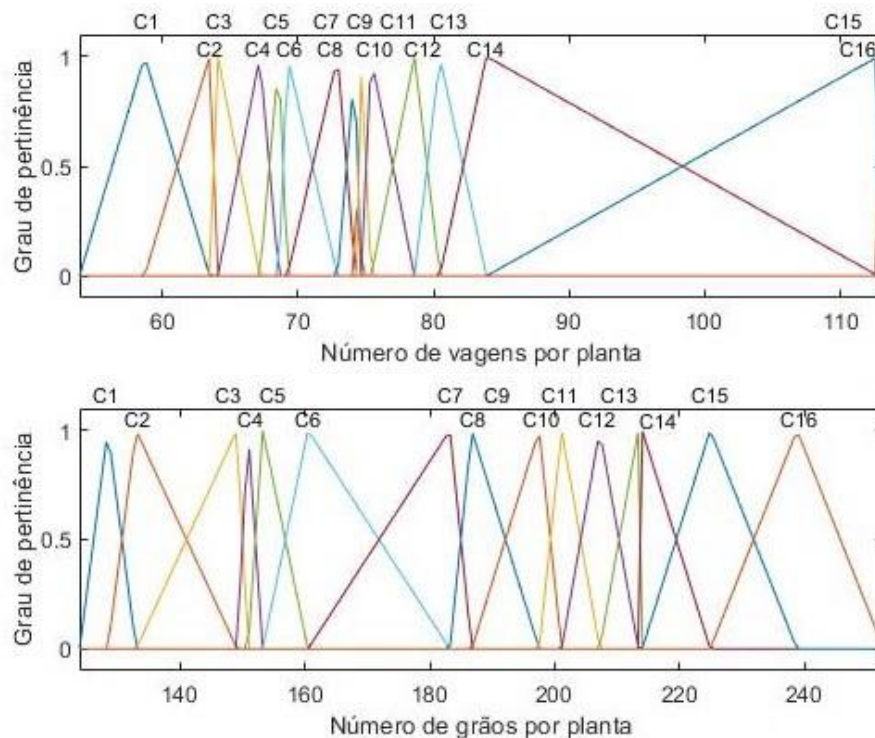


Figura 53 - Função de pertinência das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de sorgo.



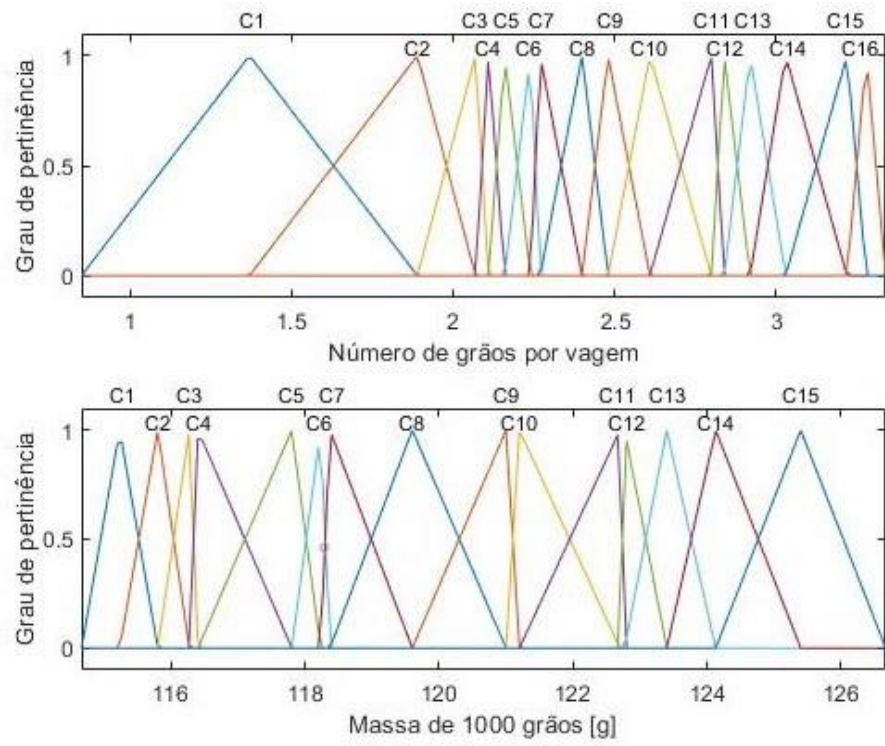


Tabela 44 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto *fuzzy* de saída das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade avaliadas durante o Ano 1 para a cobertura vegetal de sorgo.

Conjunto <i>fuzzy</i>	PRO	EST	AIV	APL
C ₁	[1907,67; 1961,57; 2015,47]	[187,66; 193,83; 200,00]	[11,40; 11,50; 11,60]	[47,17; 52,45; 57,73]
C ₂	[1961,57; 2015,47; 2158,87]	[193,83; 200,00; 201,23]	[11,50; 11,60; 12,07]	[52,45; 57,73; 62,67]
C ₃	[2015,47; 2158,87; 2197,87]	[200,00; 201,23; 202,47]	[11,60; 12,07; 12,50]	[57,73; 62,67; 62,70]
C ₄	[2158,87; 2197,87; 2252,83]	[201,23; 202,47; 204,94]	[12,07; 12,50; 12,87]	[62,67; 62,70; 63,20]
C ₅	[2197,87; 2252,83; 2370,47]	[202,47; 204,94; 207,41]	[12,50; 12,87; 13,00]	[62,70; 63,20; 63,87]
C ₆	[2252,83; 2370,47; 2584,73]	[204,94; 207,41; 211,11]	[12,87; 13,00; 13,70]	[63,20; 63,87; 64,37]
C ₇	[2370,47; 2584,73; 2756,07]	[207,41; 211,11; 212,35]	[13,00; 13,70; 13,93]	[63,87; 64,37; 65,93]
C ₈	[2584,73; 2756,07; 2824,13]	[211,11; 212,35; 216,05]	[13,70; 13,93; 14,15]	[64,37; 65,93; 66,70]
C ₉	[2756,07; 2824,13; 2829,13]	[212,35; 216,05; 229,63]	[13,93; 14,15; 14,27]	[65,93; 66,70; 67,60]
C ₁₀	[2824,13; 2829,13; 2991,80]	[216,05; 229,63; 232,10]	[14,15; 14,27; 14,30]	[66,70; 67,60; 70,40]
C ₁₁	[2829,13; 2991,80; 3029,27]	[229,63; 232,10; 233,33]	[14,27; 14,30; 14,80]	[67,60; 70,40; 71,70]
C ₁₂	[2991,80; 3029,27; 3055,10]	[232,10; 233,33; 234,57]	[14,30; 14,80; 15,57]	[70,40; 71,70; 72,00]
C ₁₃	[3029,27; 3055,10; 3068,83]	[233,33; 234,57; 235,80]	[14,80; 15,57; 16,00]	[71,70; 72,00; 74,60]
C ₁₄	[3055,10; 3068,83; 3740,63]	[234,57; 235,80; 246,91]	[15,57; 16,00; 17,30]	[72,00; 74,60; 75,20]
C ₁₅	[3068,83; 3740,63; 3855,43]	[235,80; 246,91; 258,02]	[16,00; 17,30; 18,60]	[74,60; 75,20; 80,10]
C ₁₆	[3740,63; 3855,43; 3970,23]	-	-	[75,20; 80,10; 85,00]

Legenda: Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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.

Conjunto <i>fuzzy</i>	NVP	NGP	NGV	MGR
C ₁	[53,90; 58,70; 63,50]	[123,87; 128,40; 132,93]	[0,85; 1,37; 1,89]	[114,66; 115,23; 115,80]
C ₂	[58,70; 63,50; 64,10]	[128,40; 132,93; 149,10]	[1,37; 1,89; 2,07]	[115,23; 115,80; 116,27]
C ₃	[63,50; 64,10; 67,20]	[132,93; 149,10; 150,87]	[1,89; 2,07; 2,11]	[115,80; 116,27; 116,40]
C ₄	[64,10; 67,20; 68,60]	[149,10; 150,87; 153,20]	[2,07; 2,11; 2,16]	[116,27; 116,40; 117,80]
C ₅	[67,20; 68,60; 69,23]	[150,87; 153,20; 160,47]	[2,11; 2,16; 2,24]	[116,40; 117,80; 118,23]
C ₆	[68,60; 69,23; 72,93]	[153,20; 160,47; 183,20]	[2,16; 2,24; 2,27]	[117,80; 118,23; 118,37]
C ₇	[69,23; 72,93; 74,25]	[160,47; 183,20; 186,70]	[2,24; 2,27; 2,40]	[118,23; 118,37; 119,60]
C ₈	[72,93; 74,25; 74,50]	[183,20; 186,70; 197,50]	[2,27; 2,40; 2,48]	[118,37; 119,60; 121,00]
C ₉	[74,25; 74,50; 74,67]	[186,70; 197,50; 201,10]	[2,40; 2,48; 2,61]	[119,60; 121,00; 121,20]
C ₁₀	[74,50; 74,67; 75,40]	[197,50; 201,10; 207,20]	[2,48; 2,61; 2,80]	[121,00; 121,20; 122,70]
C ₁₁	[74,67; 75,40; 78,60]	[201,10; 207,20; 213,40]	[2,61; 2,80; 2,84]	[121,20; 122,70; 122,77]
C ₁₂	[75,40; 78,60; 80,47]	[207,20; 213,40; 213,50]	[2,80; 2,84; 2,92]	[122,70; 122,77; 123,40]
C ₁₃	[78,60; 80,47; 83,90]	[213,40; 213,50; 214,00]	[2,84; 2,92; 3,03]	[122,77; 123,40; 124,13]
C ₁₄	[80,47; 83,90; 112,80]	[213,50; 214,00; 224,90]	[2,92; 3,03; 3,22]	[123,40; 124,13; 125,40]
C ₁₅	[83,90; 112,80; 113,00]	[214,00; 224,90; 238,80]	[3,03; 3,22; 3,28]	[124,13; 125,40; 126,67]
C ₁₆	[112,80; 113,00; 113,20]	[224,90; 238,80; 252,70]	[3,22; 3,28; 3,34]	-

Legenda: Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [g]. Fonte: Elaborada pelo autor.

De maneira análoga, apresenta-se nas Figura 54 e Figura 55 as funções de pertinência referente ao Ano 2 do experimento, assim como os delimitadores das referidas funções de pertinência nas Tabela 46 e Tabela 47.

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.

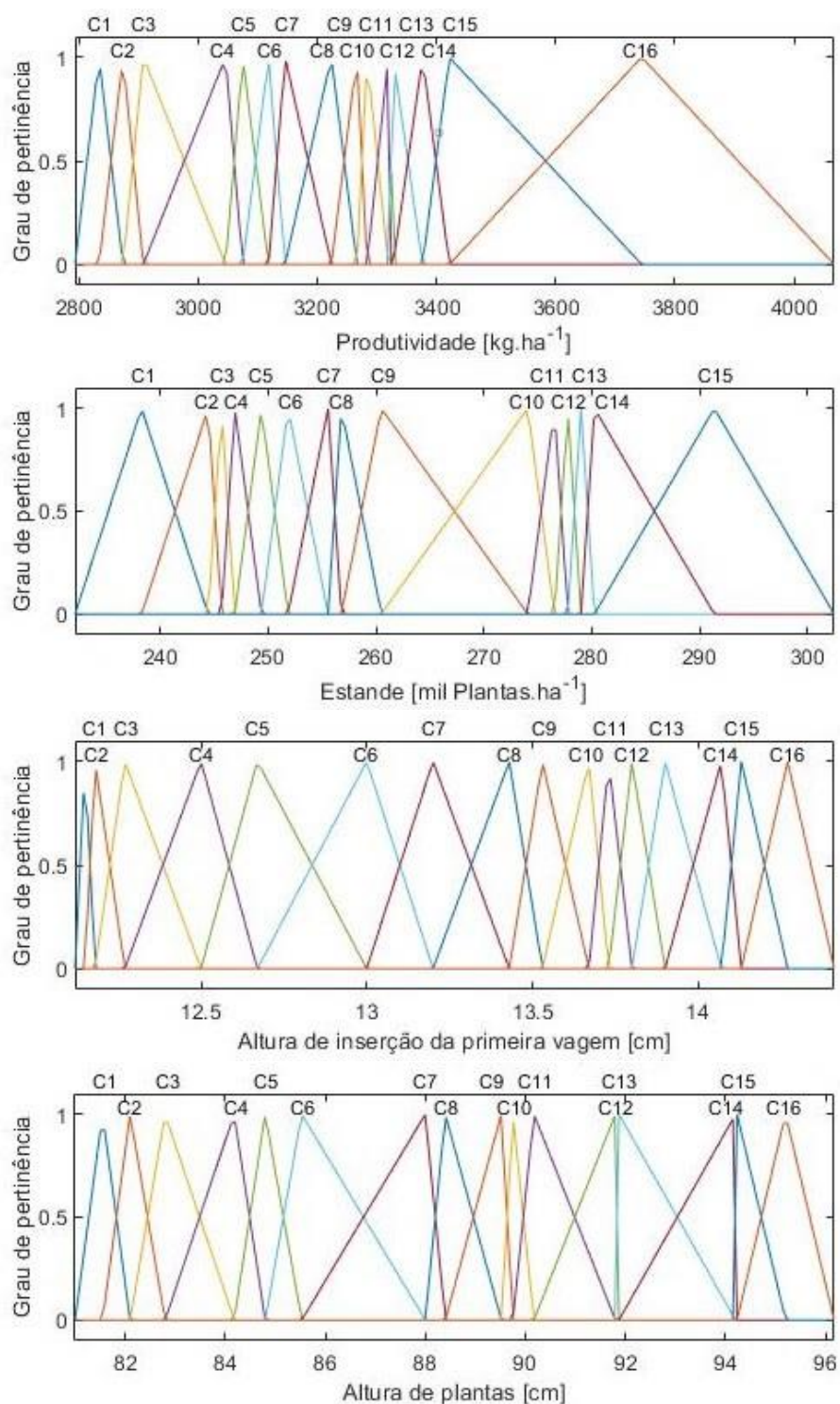


Figura 55 - Função de pertinência das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) avaliadas durante o Ano 2 para a cobertura vegetal de sorgo.

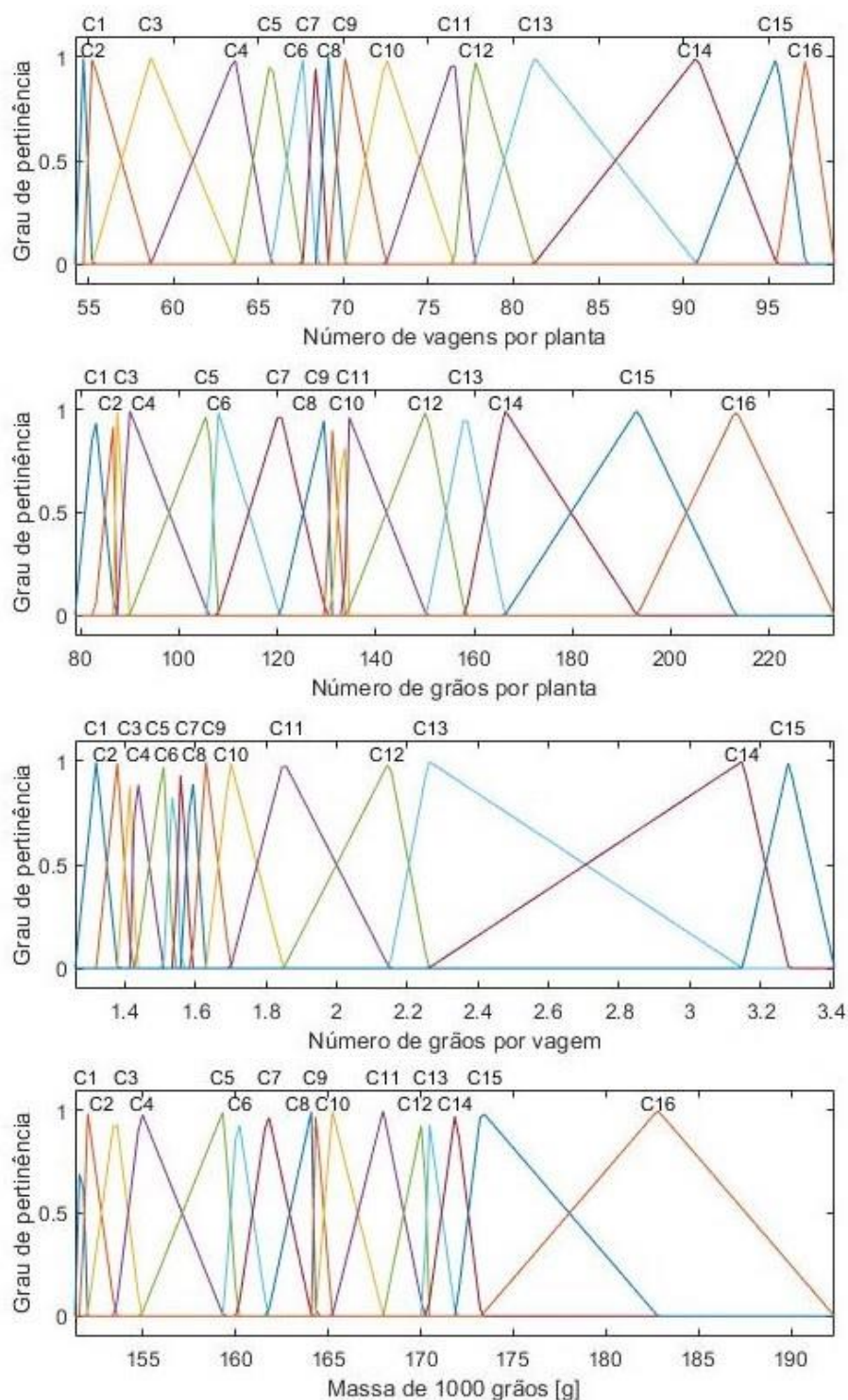


Tabela 46 - Delimitadores das funções de pertinência do conjunto *fuzzy* de saída das variáveis biométricas (EST, AIV, APL) e de produtividade avaliadas durante o Ano 2 para a cobertura vegetal de sorgo.

Conjunto <i>fuzzy</i>	PRO	EST	AIV	APL
C ₁	[2793,80; 2834,01; 2874,22]	[232,1; 238,27; 244,44]	[12,12; 12,15; 12,18]	[81,00; 81,55; 82,10]
C ₂	[2834,01; 2874,22; 2908,27]	[238,27; 244,44; 245,68]	[12,15; 12,18; 12,27]	[81,55; 82,10; 82,80]
C ₃	[2874,22; 2908,27; 3046,30]	[244,44; 245,68; 246,91]	[12,18; 12,27; 12,50]	[82,10; 82,80; 84,18]
C ₄	[2908,27; 3046,30; 3075,08]	[245,68; 246,91; 249,38]	[12,27; 12,50; 12,67]	[82,80; 84,18; 84,80]
C ₅	[3046,30; 3075,08; 3118,46]	[246,91; 249,38; 251,85]	[12,50; 12,67; 13,00]	[84,18; 84,80; 85,53]
C ₆	[3075,08; 3118,46; 3146,18]	[249,38; 251,85; 255,56]	[12,67; 13,00; 13,20]	[84,80; 85,53; 88,00]
C ₇	[3118,46; 3146,18; 3223,97]	[251,85; 255,56; 256,79]	[13,00; 13,20; 13,43]	[85,53; 88,00; 88,40]
C ₈	[3146,18; 3223,97; 3266,67]	[255,56; 256,79; 260,49]	[13,20; 13,43; 13,53]	[88,00; 88,40; 89,52]
C ₉	[3223,97; 3266,67; 3283,79]	[256,79; 260,49; 274,07]	[13,43; 13,53; 13,67]	[88,40; 89,52; 89,75]
C ₁₀	[3266,67; 3283,79; 3319,40]	[260,49; 274,07; 276,54]	[13,53; 13,67; 13,73]	[89,52; 89,75; 90,17]
C ₁₁	[3283,79; 3319,40; 3320,55]	[274,07; 276,54; 277,78]	[13,67; 13,73; 13,80]	[89,75; 90,17; 91,80]
C ₁₂	[3319,40; 3320,55; 3327,69]	[276,54; 277,78; 279,01]	[13,73; 13,80; 13,90]	[90,17; 91,80; 91,87]
C ₁₃	[3320,55; 3327,69; 3376,97]	[277,78; 279,01; 280,25]	[13,80; 13,90; 14,07]	[91,80; 91,87; 94,20]
C ₁₄	[3327,69; 3376,97; 3421,69]	[279,01; 280,25; 291,36]	[13,90; 14,07; 14,13]	[91,87; 94,20; 94,23]
C ₁₅	[3376,97; 3421,69; 3744,58]	[280,25; 291,36; 302,47]	[14,07; 14,13; 14,27]	[94,20; 94,23; 95,20]
C ₁₆	[3421,69; 3744,58; 4067,47]	-	[14,13; 14,27; 14,41]	[94,23; 95,20; 96,17]

Legenda: Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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.

Conjunto <i>fuzzy</i>	NVP	NGP	NGV	MGR
C ₁	[54,20; 54,70; 55,20]	[78,84; 82,87; 86,90]	[1,26; 1,32; 1,38]	[151,32; 151,65; 151,98]
C ₂	[54,70; 55,20; 58,65]	[82,87; 86,90; 87,40]	[1,32; 1,38; 1,42]	[151,65; 151,98; 153,50]
C ₃	[55,20; 58,65; 63,60]	[86,90; 87,40; 89,90]	[1,38; 1,42; 1,43]	[151,98; 153,50; 154,87]
C ₄	[58,65; 63,60; 65,73]	[87,40; 89,90; 106,00]	[1,42; 1,43; 1,51]	[153,50; 154,87; 159,34]
C ₅	[63,60; 65,73; 67,60]	[89,90; 106,00; 107,82]	[1,43; 1,51; 1,54]	[154,87; 159,34; 160,09]
C ₆	[65,73; 67,60; 68,40]	[106,00; 107,82; 120,50]	[1,51; 1,54; 1,56]	[159,34; 160,09; 161,72]
C ₇	[67,60; 68,40; 69,10]	[107,82; 120,50; 129,98]	[1,54; 1,56; 1,59]	[160,09; 161,72; 164,10]
C ₈	[68,40; 69,10; 70,10]	[120,50; 129,98; 130,90]	[1,56; 1,59; 1,63]	[161,72; 164,10; 164,32]
C ₉	[69,10; 70,10; 72,50]	[129,98; 130,90; 133,70]	[1,59; 1,63; 1,70]	[164,10; 164,32; 165,21]
C ₁₀	[70,10; 72,50; 76,50]	[130,90; 133,70; 134,00]	[1,63; 1,70; 1,85]	[164,32; 165,21; 167,97]
C ₁₁	[72,50; 76,50; 77,70]	[133,70; 134,00; 150,30]	[1,70; 1,85; 2,15]	[165,21; 167,97; 170,18]
C ₁₂	[76,50; 77,70; 81,20]	[134,00; 150,30; 158,21]	[1,85; 2,15; 2,26]	[167,97; 170,18; 170,36]
C ₁₃	[77,70; 81,20; 90,80]	[150,30; 158,21; 166,20]	[2,15; 2,26; 3,15]	[170,18; 170,36; 171,88]
C ₁₄	[81,20; 90,80; 95,50]	[158,21; 166,20; 193,15]	[2,26; 3,15; 3,28]	[170,36; 171,88; 173,25]
C ₁₅	[90,80; 95,50; 97,20]	[166,20; 193,15; 213,22]	[3,15; 3,28; 3,41]	[171,88; 173,25; 182,80]
C ₁₆	[95,50; 97,20; 98,90]	[193,15; 213,22; 233,29]	-	[173,25; 182,80; 192,35]

Legenda: Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [g]. Fonte: Elaborada pelo autor.

Os intervalos para cada variável de saída foram definidos de maneira análoga ao capítulo anterior e estão descritos na Tabela 48, a seguir.

Tabela 48 - Intervalo dos conjuntos *fuzzy* de saída das variáveis biométricas para cobertura vegetal de sorgo.

Variáveis de saída	Intervalo dos conjuntos <i>fuzzy</i>	
	2013/14	2014/15
PRO	[1907,67; 3970,23]	[2793,80; 4067,47]
EST	[187,66; 258,02]	[232,10; 302,47]
AIV	[11,40; 18,60]	[12,12; 14,41]
APL	[47,17; 85,00]	[81,00; 96,17]
NVP	[53,90; 113,20]	[54,20; 98,90]
NGP	[123,87; 252,70]	[78,84; 233,29]
NGV	[0,85; 3,34]	[1,26; 3,41]
MGR	[114,66; 126,67]	[151,32; 192,35]

Legenda: Legenda: Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm], Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [g].
Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base nos intervalos dos conjuntos *fuzzy* de saída, verifica-se uma superioridade das variáveis de estande (EST) e massa de 1000 grãos (MGR) no Ano 2 de realização do experimento, e uma menor variação em termos de produtividade do segundo ano, mesmo fato observado em relação aos valores referentes à altura de plantas (APL).

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.

Variáveis de entrada		Variáveis de saída							
N	Mo	PRO	EST	AIV	APL	NVP	NGP	NGV	MGR
1	1	15	8	4	2	16	16	4	2
1	2	3	14	6	3	1	2	7	6
1	3	13	11	8	5	12	12	11	7
1	4	9	7	9	7	5	13	15	9
2	1	4	2	5	6	4	3	6	4
2	2	12	15	1	8	9	7	10	8
2	3	1	10	14	1	8	15	14	5
2	4	8	3	12	14	7	4	3	11
3	1	2	5	10	13	13	9	9	3
3	2	5	1	13	4	6	1	2	12
3	3	7	13	2	9	15	5	1	10
3	4	6	10	11	16	3	8	13	1
4	1	11	12	7	11	14	10	8	14
4	2	10	9	10	15	2	11	16	13
4	3	16	6	3	12	11	14	12	4
4	4	14	4	15	10	10	6	5	15

Legenda: Doses de nitrogênio (N) [kg.ha⁻¹], Doses de molibdênio (Mo) [g.ha⁻¹], Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm], Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [g]. Fonte: Elaborada pelo autor.

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.

Variáveis de entrada		Variáveis de saída							
N	Mo	PRO	EST	AIV	APL	NVP	NGP	NGV	MGR
1	1	5	8	6	6	14	8	3	5
1	2	3	14	15	16	8	13	13	8
1	3	10	11	10	14	13	7	5	3
1	4	7	7	5	1	1	2	8	1
2	1	16	2	3	7	3	15	15	13
2	2	11	15	12	3	10	10	11	11
2	3	9	10	4	11	15	12	7	4
2	4	4	3	11	5	2	1	5	15
3	1	12	5	7	12	6	16	14	16
3	2	8	1	1	4	12	14	12	10
3	3	15	13	14	8	16	11	2	9
3	4	14	10	2	15	11	9	10	7
4	1	13	12	16	13	7	3	1	2
4	2	6	9	13	9	4	4	4	12
4	3	2	6	9	2	5	5	9	14
4	4	1	4	8	10	9	6	6	6

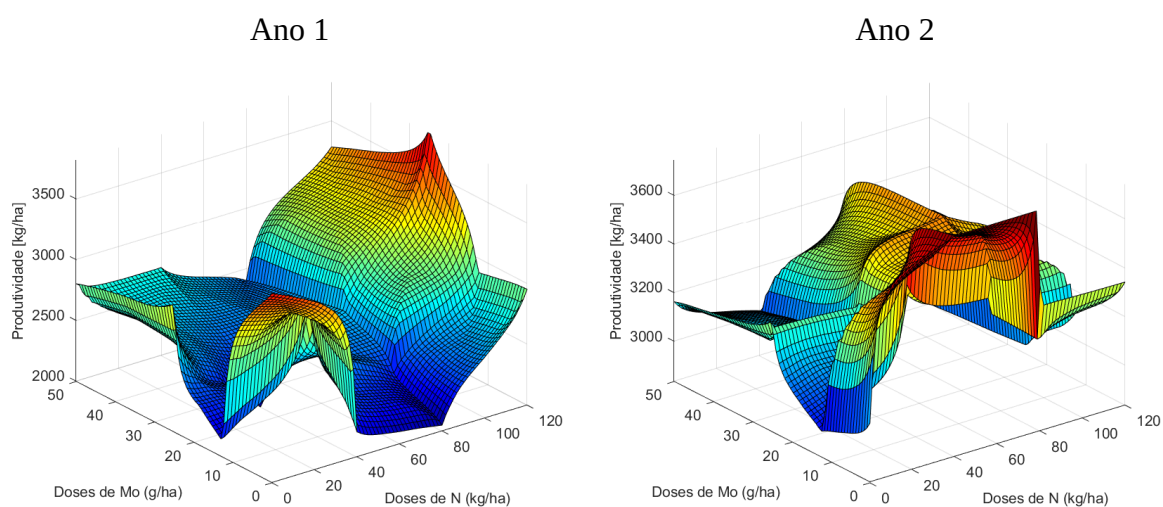
Legenda: Doses de nitrogênio (N) [kg.ha⁻¹], Doses de molibdênio (Mo) [g.ha⁻¹], Produtividade (PRO) [kg.ha⁻¹], Estande (EST) [mil Plantas.ha⁻¹], Altura de inserção da primeira vagem (AIV) [cm], Altura de planta (APL) [cm], Número de vagens por planta (NVP) [unid.], Número de grãos por planta (NGP) [unid.], Número de grãos por vagem (NGV) [unid.], Massa de 1000 grãos (MGR) [g]. Fonte: Elaborada pelo autor.

Como realizado em itens anteriores, a base de regras dos conjuntos *fuzzy* de saída, são interpretados de mesma maneira, a exemplo que a maior altura de planta aferida para a cultura da soja semeada em palhada de sorgo, é aferida quando da dosagem de 120 kg.ha⁻¹ de N e 50 g.ha⁻¹ de molibdênio durante o Ano 1, e 80 kg.ha⁻¹ de N aplicado em cobertura vegetal, combinado com 0 g.ha⁻¹ de Mo aplicado via foliar na cultura da soja, referente ao Ano 2 do experimento.

Da mesma forma, foram elaborados os gráficos de superfícies tridimensionais e respectivos mapas de contorno para cada variável de saída biométrica e de produtividade, ilustrando o comportamento das variáveis conforme os modelos matemáticos gerados. A Figura 56 ilustra o comportamento das variáveis (PRO, EST, AIV, APL) por meio das superfícies tridimensionais para os Anos 1 e 2.

Na Figura 57, são apresentados os mapas de contornos da produtividade e estande.

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.



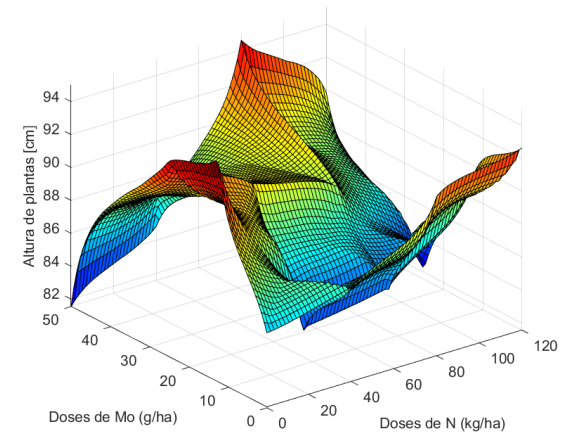
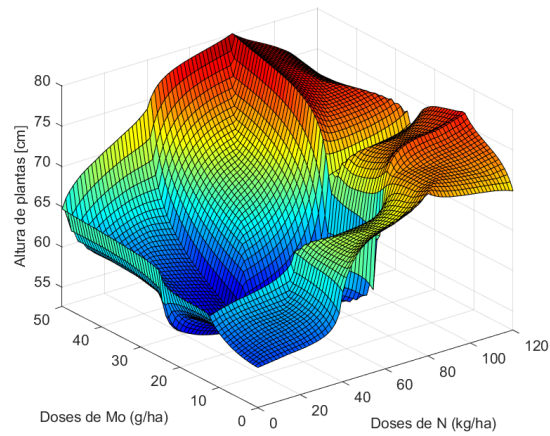
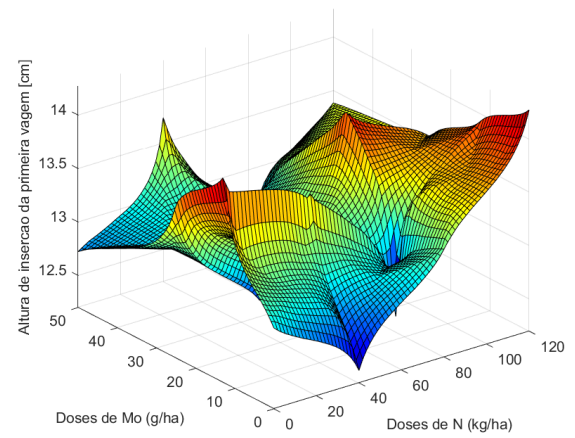
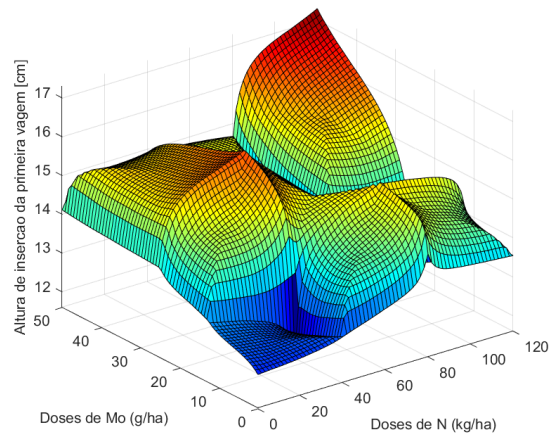
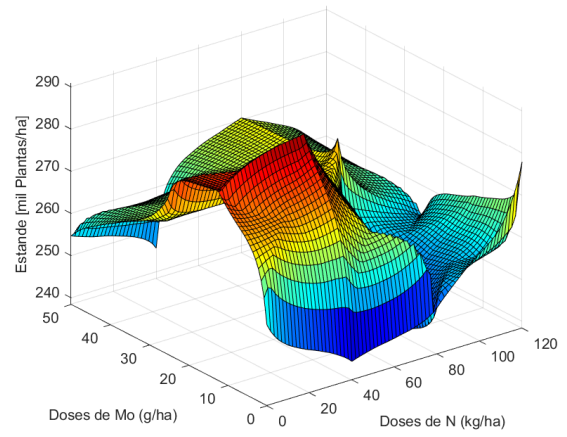
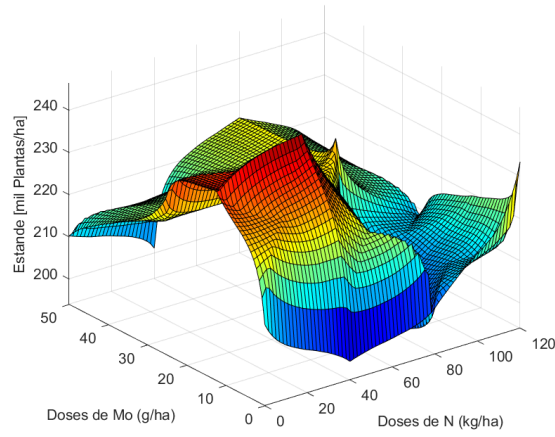
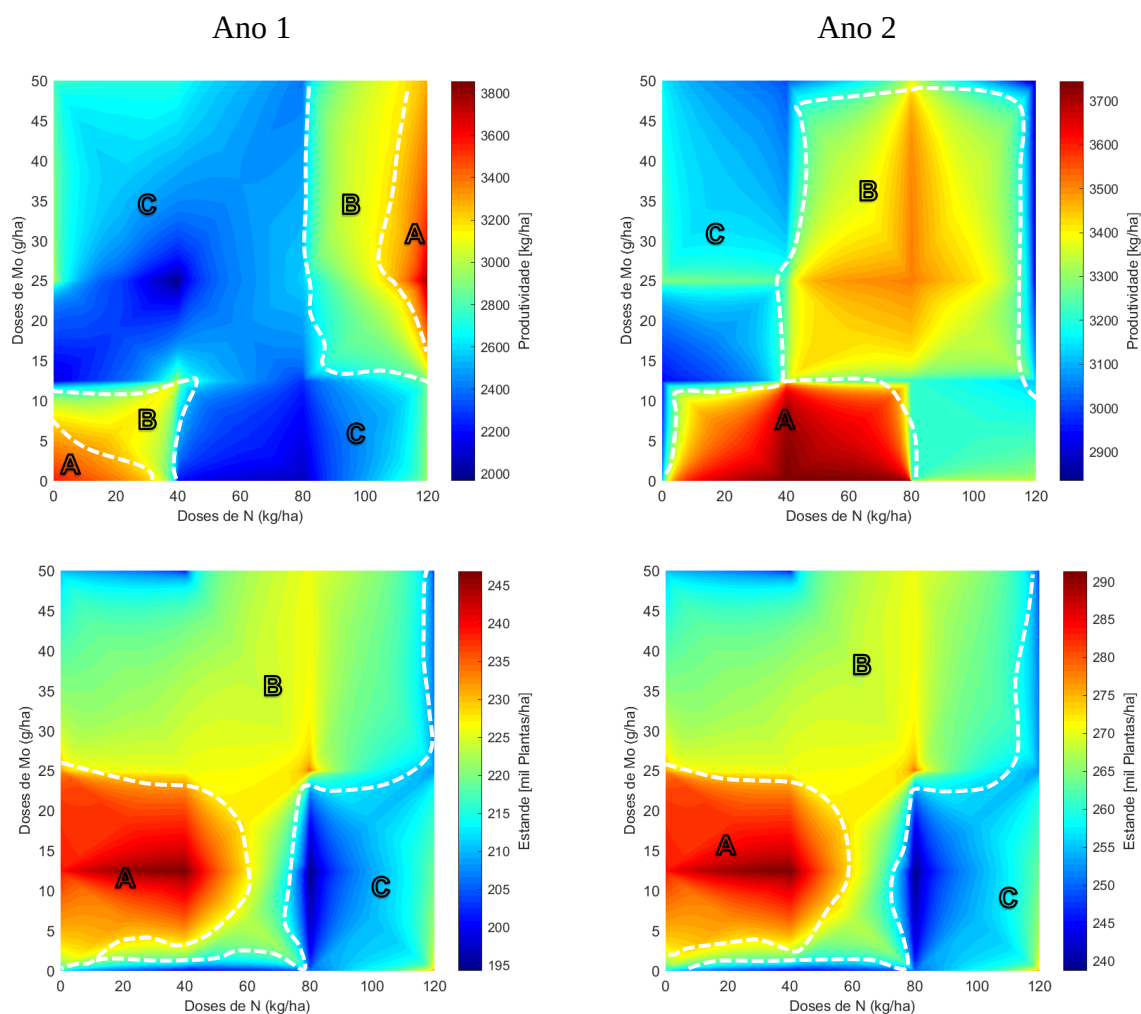


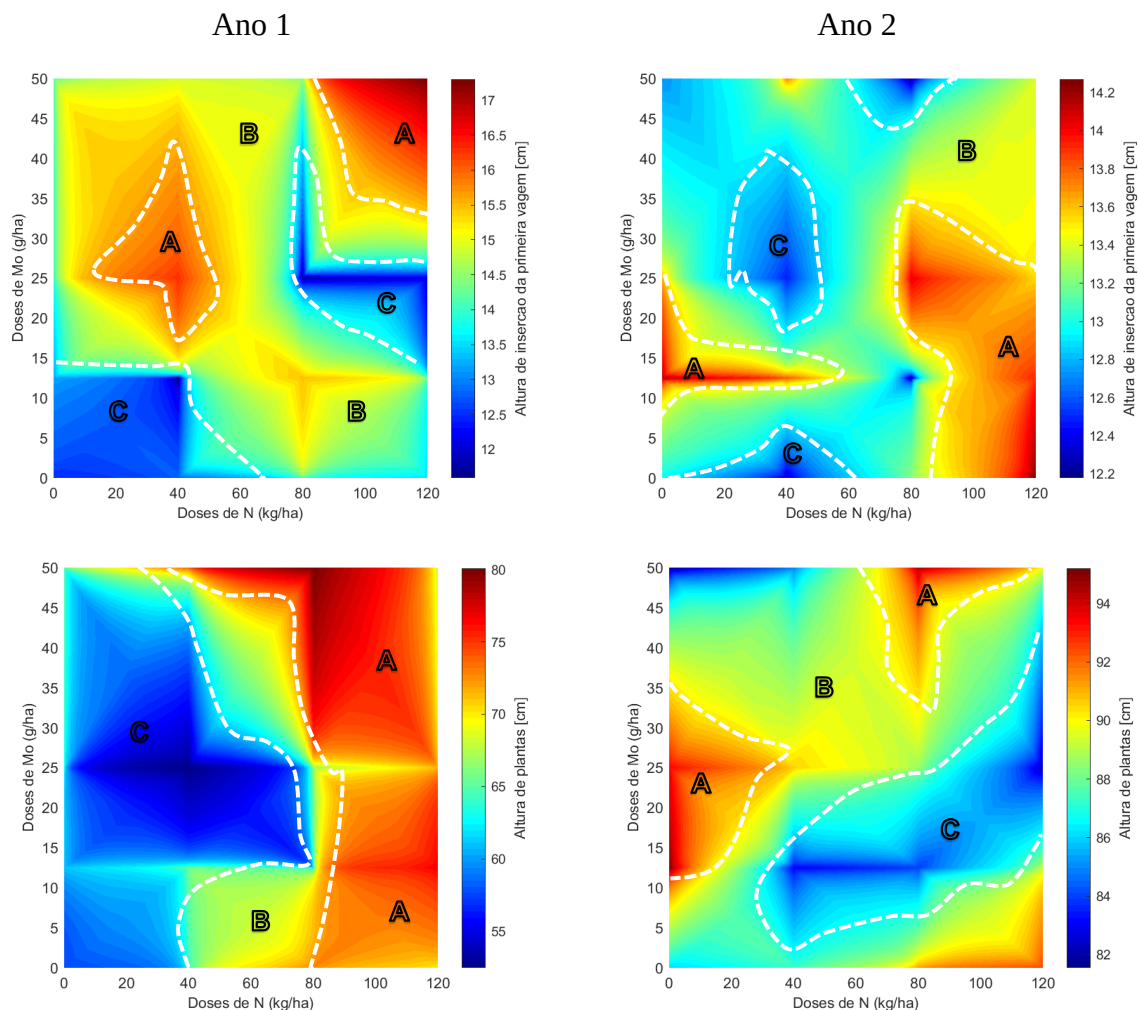
Figura 57 - Mapa de contorno das variáveis biométricas, estande e de produtividade da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio para a cobertura vegetal de sorgo.



O número de plantas da cultura da soja semeada em palhada de sorgo, foi superior aos valores encontrados sob a palhada de milho para ambos os anos de realização do experimento, obtendo os maiores valores, para dosagens até 50 kg.ha⁻¹ de N e até 25 g.ha⁻¹ de Mo, representados na região “A” dos mapas. Esta condição pode ter relação com o fato de a cultura do sorgo ter proporcionado a menor resistência ao corte da palhada favorecendo a disposição das sementes de soja no interior dos sulcos de semeadura.

Os mapas de contornos das variáveis AIV e APL, são apresentados na Figura 58.

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.

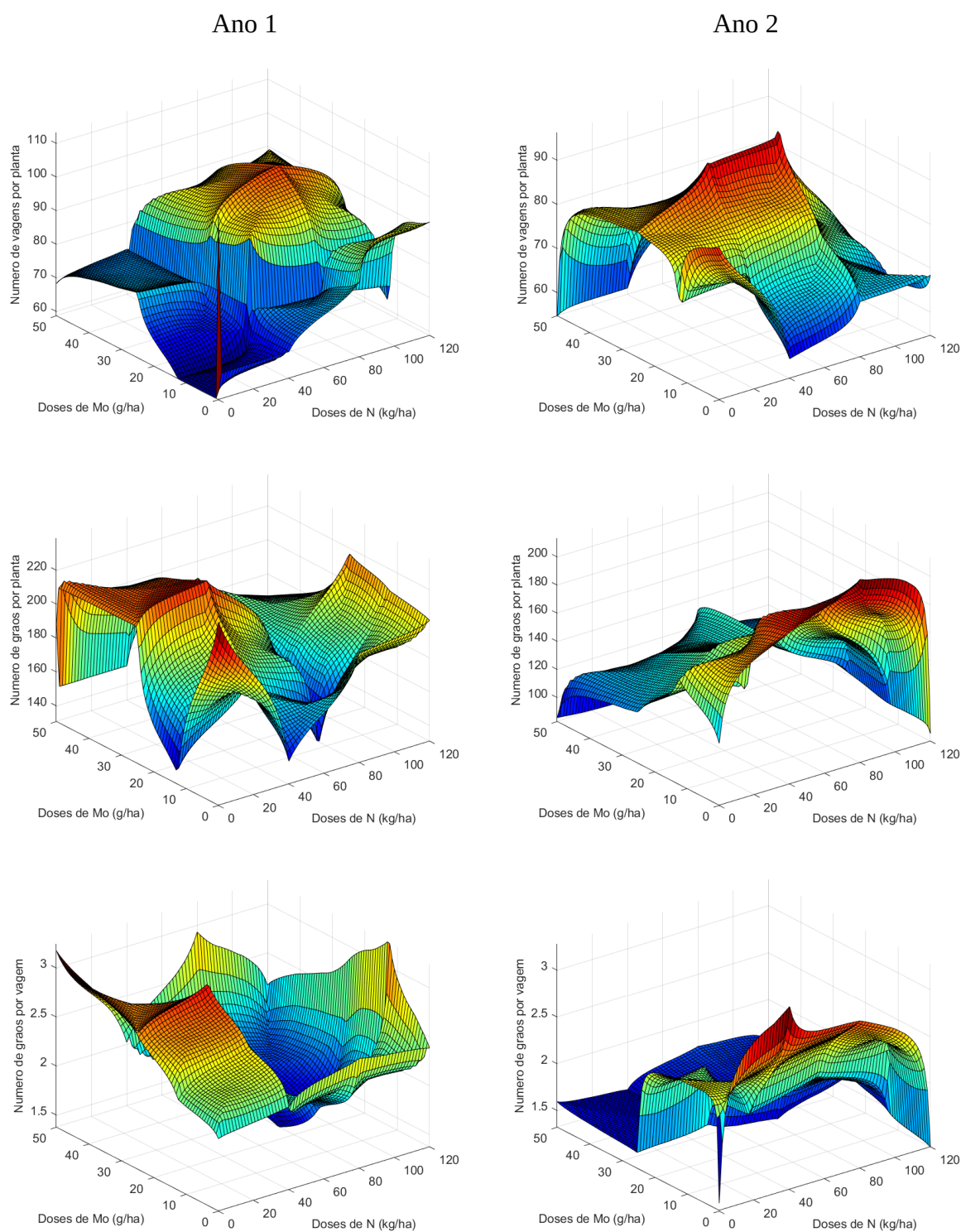


Assim como verificado para o número de plantas (EST), o mesmo comportamento foi observado em relação à altura de plantas, sendo aferidos os maiores valores para as plantas da cultura de soja semeada sob a palhada de sorgo em relação a cobertura vegetal de milho. Em relação a matéria seca de sorgo, as maiores alturas foram obtidas para níveis de nitrogênio superior a 80 kg.ha^{-1} para qualquer faixa de adubação molíbdica foliar, região “A”, conforme observado na Figura 56, para o Ano 1 do experimento. Segundo Goes (2016), a maior altura sob influência da palhada de sorgo, pode ser resultado em função da maior população de plantas sob sua semeadura e ocasionar em uma concorrência intraespecífica por nutrientes, água e luz.

Por sua vez, as plantas de soja mais altas resultam no maior número de grãos perdidos no ato da colheita, no qual devido a maior altura, menor será o diâmetro do caule, deixando a planta mais suscetível à ocorrência de perda de grãos.

Nas Figuras 59 e 60, são apresentadas as superfícies tridimensionais e mapas de contornos das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR), respectivamente.

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.



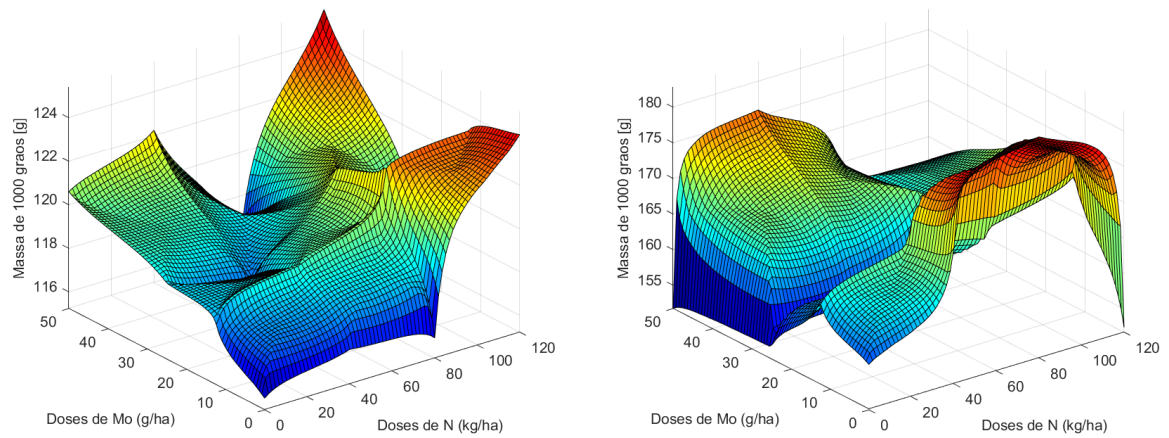
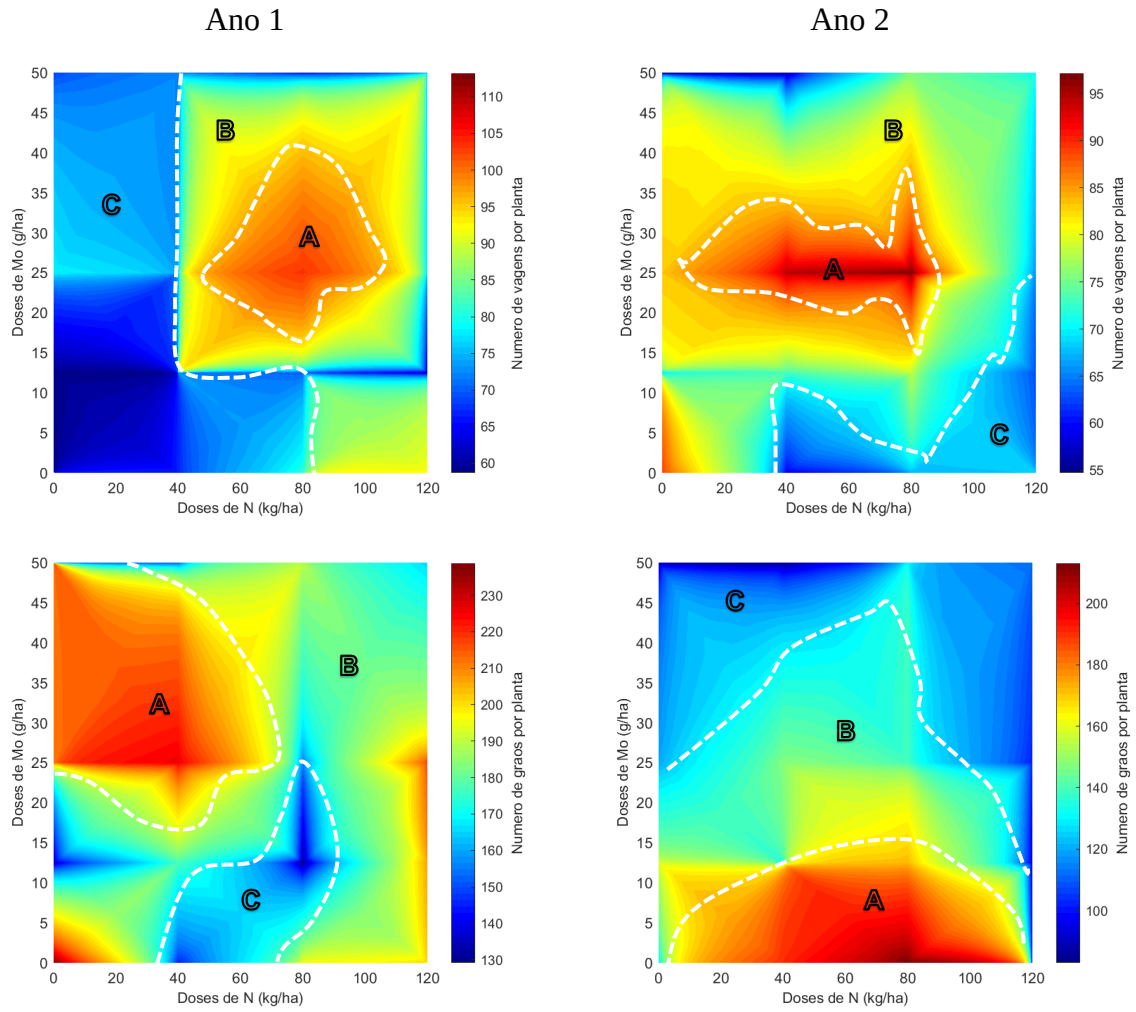
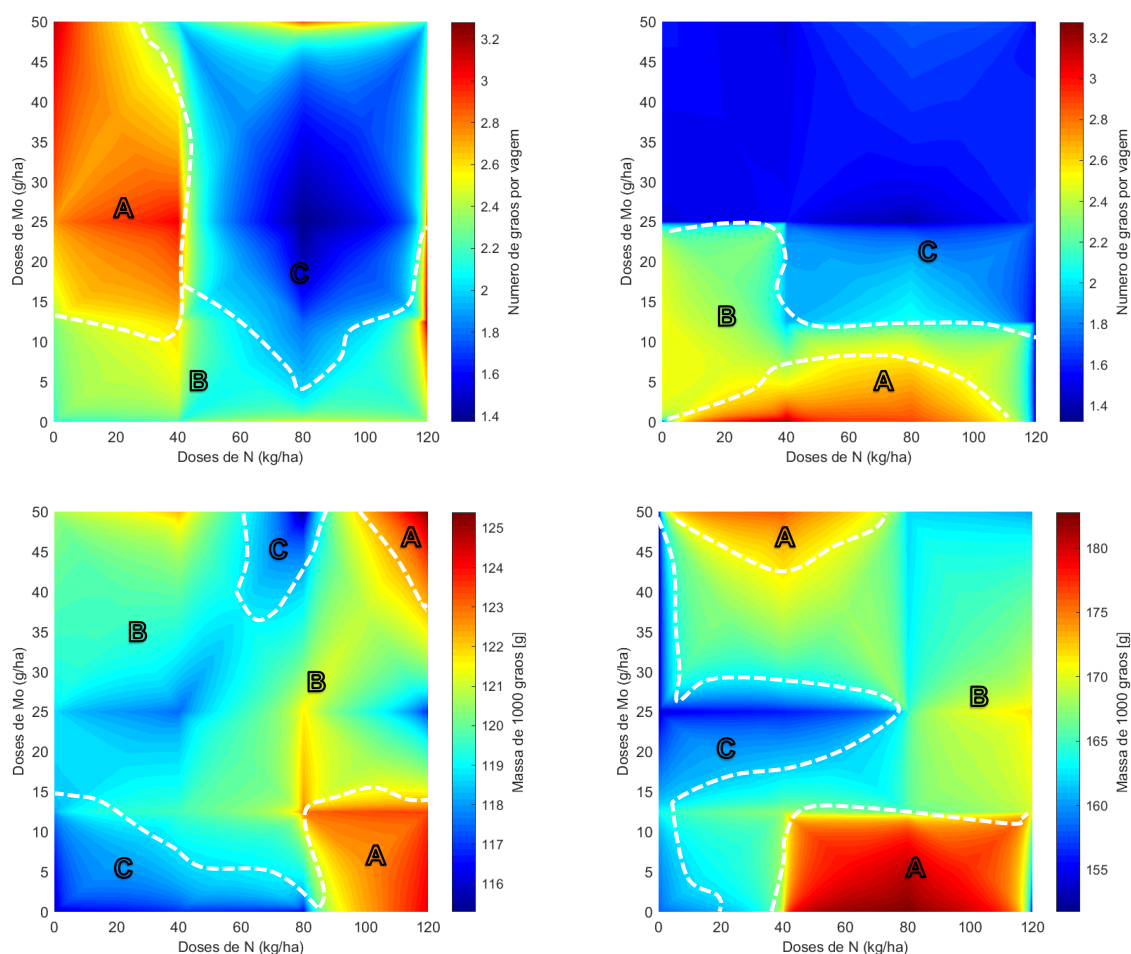


Figura 60 - Mapa de contorno das variáveis biométricas (NVP, NGP, NGV, MGR) da cultura da soja em relação aos diferentes níveis de nitrogênio e molibdênio do Ano 2 para a cobertura vegetal de sorgo.





As variáveis NGP e NGV apresentaram diferenças estatisticamente significativas durante os dois anos do experimento, conforme observado na Tabela 36. Nesse sentido, em relação ao comportamento apresentado no Ano 1, o NGP mostrou sob melhores condições, submetidos a alta dosagem de Mo, acima de 25 g.ha^{-1} aplicado via foliar na cultura da soja, já em relação ao Ano 2, os melhores resultados foram denotados na região abaixo de 10 g.ha^{-1} de Mo e entre 40 e 80 kg.ha^{-1} de nitrogênio aplicado em cobertura vegetal de sorgo.

Por outro lado, o número de grãos por vagem mostrou-se melhor em condições de baixa adubação nitrogenada na palhada de sorgo (abaixo de 40 kg.ha^{-1}) e níveis de Mo superiores a 20 g.ha^{-1} . Já em relação ao segundo ano, níveis de adubação molíbdica foliar acima de 15 g.ha^{-1} , mostraram-se inferiores ao obtidos em regiões inferiores cultivado com adubação nitrogenada entre 10 e 100 kg.ha^{-1} .

Com a finalidade de comparar tais resultados entre as diferentes culturas de coberturas adotadas, milho e sorgo, foi realizada a análise de correlação intraclass dos resultados obtidos pelas bases de regras do Ano 1 e Ano 2.

2.3.5 Comparação dos resultados obtidos do modelo fuzzy para cultura da soja cultivada em coberturas vegetais de milho e sorgo

A correlação por postos de Spearman permite verificar o grau de concordância entre as variáveis analisadas com base na ordenação dos postos atribuídos à cada interação realizada entre doses de nitrogênio e molibdênio, totalizando um número máximo de 16 postos, conforme as 16 bases de regras estabelecidas pelo modelo *fuzzy*.

O coeficiente de Spearman varia entre -1 e 1, de maneira que, quanto mais próximo dos extremos, maior será o grau de associação entre as postos analisados, sendo que, quanto menor o valor do coeficiente, menor será a correlação entre as variáveis, por outro lado, quanto mais próximo de 1, maior será o grau de associação entre os postos.

O coeficiente de correlação de Spearman é calculado da seguinte maneira, de acordo com a Equação (4) (BAUER, 2007):

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}; \text{ com } d_i = r(x_i) - r(y_i) \quad (4)$$

— d_i = (postos de x_i dentre os valores de x) – (postos de y_i dentre os valores de y)

Quando há a ocorrência de um número elevado de postos empatados, prefere-se a Equação (5), a seguir:

$$R_s = \frac{A_x + A_y - \sum d_i^2}{2\sqrt{A_x A_y}} \quad (5)$$

$$A = \frac{(n^3 - n) - \sum (t^3 - t)}{12}$$

— t o número de empates em cada posto.

Apresenta-se na Tabela 51, o coeficiente de correlação por postos de Spearman para as bases de regras das coberturas vegetais de milho e sorgo para os anos 1 e 2.

Tabela 51 - Coeficiente de Correlação de Spearman da cultura da soja cultivada em coberturas vegetais de milho e sorgo.

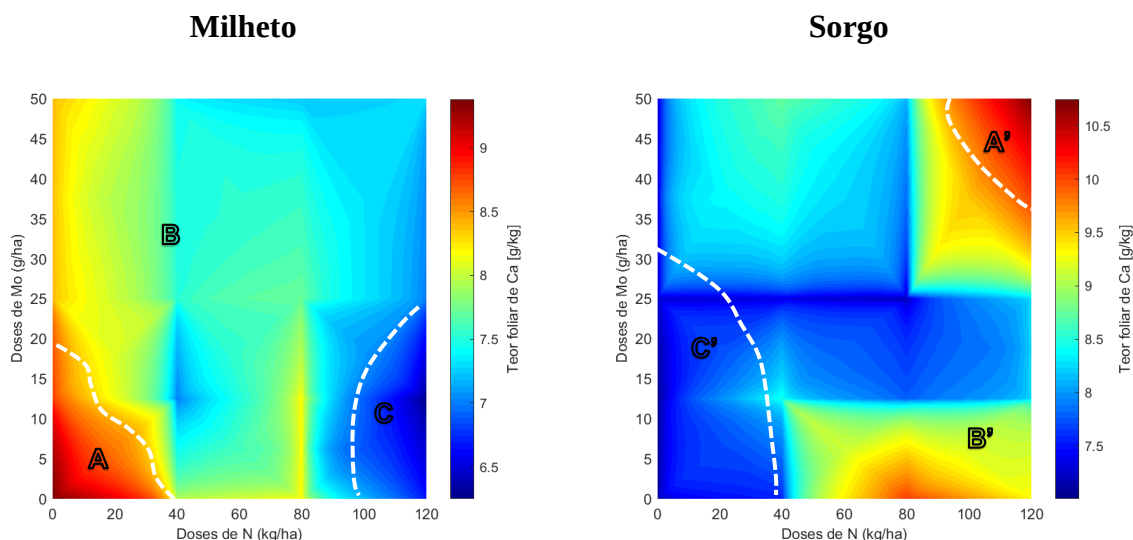
Variáveis	Coeficiente de Spearman	
	Ano 1	Ano 2
PRO	0,338 ^{ns}	0,147 ^{ns}
EST	0,324 ^{ns}	0,301 ^{ns}
AIV	-0,189 ^{ns}	0,528 ^{**}
APL	-0,247 ^{ns}	-0,424 ^{ns}
NVP	-0,452 ^{ns}	-0,200 ^{ns}
NGP	0,129 ^{ns}	-0,459 ^{ns}
NGV	0,235 ^{ns}	-0,100 ^{ns}
MGR	-0,383 ^{ns}	-0,094 ^{ns}
TN	0,160 ^{ns}	-0,018 ^{ns}
TP	0,078 ^{ns}	-0,476 ^{ns}
TK	0,110 ^{ns}	0,174 ^{ns}
TCa	-0,675 ^{**}	-0,061 ^{ns}
TMg	-0,668 [*]	0,078 ^{ns}
TS	0,183 ^{ns}	0,460 ^{ns}
TMo	0,262 ^{ns}	0,258 ^{ns}
TCu	-0,130 ^{ns}	-0,098 ^{ns}
TZn	0,197 ^{ns}	0,077 ^{ns}
TMn	-0,006 ^{ns}	0,293 ^{ns}

^{ns}Não significativo, * e **, significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo Teste F.

De acordo com a Tabela 51, apenas as variáveis TCa e TMg mostraram significativas do ponto de vista estatístico para o primeiro ano do experimento, com coeficiente de correlação de Spearman de -0,675 e -0,668, respectivamente, em relação à comparação das bases de regras originadas pelo modelo *fuzzy*.

O resultado de -0,675 para variável TCa da cultura da soja, demonstra um comportamento dos valores obtidos pela base de regras do teor de cálcio opostos entre as duas coberturas vegetais, de milho e sorgo, em relação às diferentes doses de nitrogênio e molibdênio, como pode ser observado na Figura 61, a seguir.

Figura 61 - Comparação dos mapas de contorno do teor de Cálcio da cultura da soja entre as coberturas vegetais, milheto e sorgo no Ano 1.

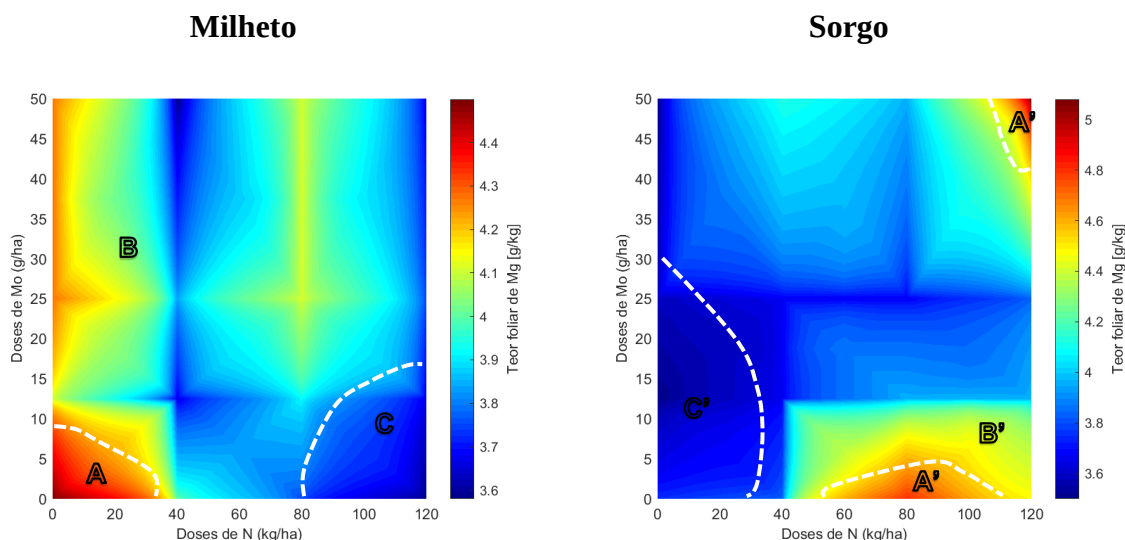


É possível observar que o teor foliar de cálcio na cultura da soja cultivada sob cobertura vegetal de milheto, os maiores valores são obtidos quando adotadas as menores dosagens de adubação nitrogenada aplicada na cobertura vegetal e menores dosagens da de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja, identificado na região A do mapa. Já os menores valores foram obtidos à medida que ocorre o aumento da dosagem de nitrogênio, representado na região C.

Por outro lado, o resultado do teor foliar de cálcio da soja cultivada em palhada de sorgo, apresentou os maiores valores quando utilizadas altas concentrações de adubação com nitrogênio na palhada e de molibdênio aplicado via foliar na cultura da soja, conforme pode ser observado na região A' do mapa de contorno. Por sua vez, os menores valores de teor foliar de cálcio são obtidos em baixas dosagens de nitrogênio e molibdênio, representado na região C' do mapa de contorno.

Apresenta-se na Figura 62, os mapas de contorno da variável TMg da cultura da soja cultivada sob coberturas vegetais de milheto e sorgo.

Figura 62 - Comparação dos mapas de contorno do teor de magnésio da cultura da soja entre as coberturas vegetais, milheto e sorgo no Ano 1.



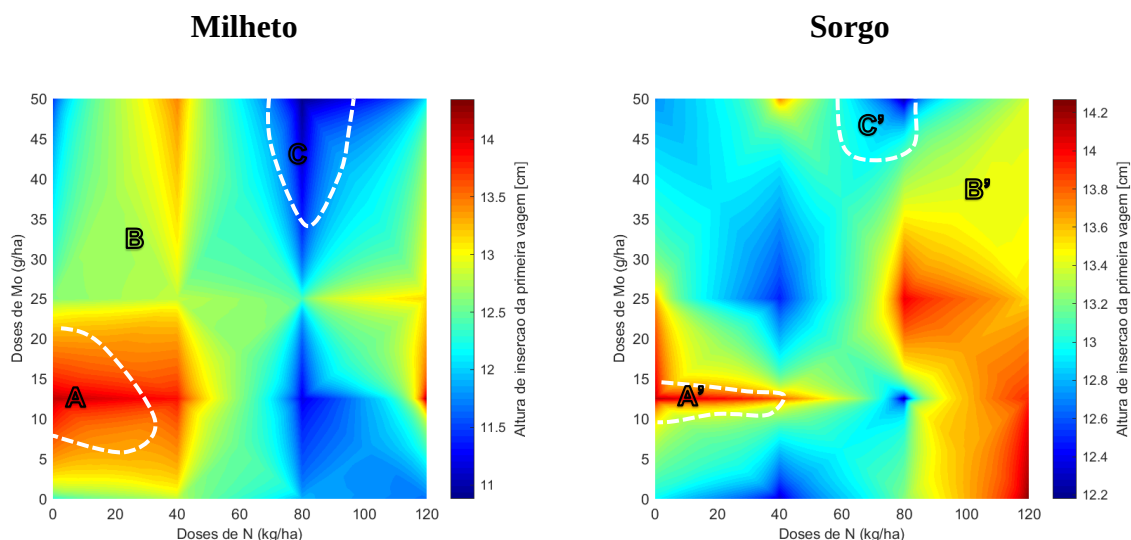
É possível observar onde as regiões que se concentram os maiores valores do teor de magnésio na cultura da soja cultivada sob palhadas de milheto e sorgo, localizam-se em regiões opostas quando comparados os mapas de contorno das respectivas coberturas vegetais. Para cobertura vegetal de milheto, as altas concentrações do TMg, ocorreram sob a influência de baixas dosagens de nitrogênio e molibdênio (região A), já por sua vez, sob a palhada de sorgo, os maiores valores foram sob altas concentrações e nitrogênio (região A').

Os menores valores, encontram-se na região C, sob influência de altas dosagens de nitrogênio em cobertura vegetal de milheto, que por sua vez, sob cobertura vegetal de sorgo, os menores valores aconteceram sob influência de baixas dosagens de nitrogênio e molibdênio (região C').

Em relação ao segundo ano, a única variável que apresentou significância estatística foi a altura de inserção da primeira vagem (AIV), com valor do coeficiente de correlação por postos de Spearman de 0,528, implicando em uma concordância de 52% do comportamento da base de regras.

Dessa forma, apresenta-se na Figura 63, a comparação da variável AIV da cultura da soja cultivada sob palhadas de milheto e sorgo.

Figura 63 - Comparação dos mapas de contorno da altura de inserção da primeira vagem da cultura da soja entre as coberturas vegetais, milheto e sorgo no Ano 2.



Com base na figura, é possível verificar um grau de semelhança entre o comportamento e disposição das regiões nos mapas de contorno das coberturas vegetais de milheto e sorgo. Os maiores valores obtidos da altura de inserção da primeira vagem, se concentram em regiões com baixas dosagens de nitrogênio e valores medianos de dosagens de molibdênio para cobertura vegetal de milheto, representados na região A do mapa de contorno. Por sua vez, sob cobertura vegetal de sorgo, os maiores valores foram obtidos sob influência de altas concentrações de nitrogênio, embora também, tenha apresentado altos valores sob efeito de baixa dosagens de nitrogênio e doses medianas de molibdênio, representado na região A', do mapa de contorno.

Os menores valores da altura de inserção da primeira vagem da cultura da soja foram obtidos sob efeito de altas dosagens de nitrogênio, na faixa de $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, para cobertura vegetal de milheto, representado pela região C. Já em à altura de inserção da primeira vagem da cultura da soja sob palhada de sorgo, foram obtidas sob influência de doses medianas de nitrogênio, porém de maneira mais distribuída no mapa de contorno, representada pela região C'.

3.4 Conclusões

A palhada de sorgo influenciou diretamente em grande maioria das variáveis analisadas, de produtividade, biométricas e nutricionais. A massa referente a 1000 grãos de

soja, apresentou os melhores resultados quando submetida à alta dosagem de nitrogênio durante os dois anos, sendo igual comportamento observado em relação à altura de planta.

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.

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,

PAPAGEORGIOU, 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 $[^{13}\text{N}]\text{N}_2$ 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,